



Università degli Studi di Ferrara

DOTTORATO DI RICERCA IN "TECNOLOGIA DELL'ARCHITETTURA"

CICLO XXVII

COORDINATORE Prof. ROBERTO DI GIULIO

**Gli impasti cementizi in Italia nel primo Novecento.
Percorso di conoscenza del materiale per la definizione di suggerimenti
operativi in fase di restauro.**

Settore Scientifico Disciplinare ICAR/12

Dottorando

Dott.ssa Nardelli Chiara

Tutore

Prof.ssa Fabbri Rita

Anni 2012/2014

INDICE

0. ABSTRACT DELLA RICERCA.....	6
1. INTRODUZIONE AL TEMA DI RICERCA	
1.1 Ambito della ricerca.....	11
1.2 Obiettivi della ricerca.....	13
1.3 Articolazione della ricerca.....	14
2. IMPASTI CEMENTIZI NEL PRIMO NOVECENTO	
2.1 Le sperimentazioni tra XIX e XX secolo.....	19
2.2 Diffusione in ambito italiano.....	28
2.2.1 La produzione in Italia.....	30
2.2.2 Brevetti, riviste di settore e manuali.....	32
2.3 Elementi costitutivi degli impasti cementizi.....	35
2.4 Composizioni e leganti brevettati.....	39
2.4.1 Cemento Portland.....	39
2.4.2 Cemento bianco.....	42
2.4.2.1 Cemento magnesiaco.....	44
2.4.3 Cemento pozzolanico.....	45
2.4.4 Cemento composito con aggiunte di origine vulcanica.....	47
2.4.5 Cemento ferrico.....	48
2.4.6 Cemento d'al toforno.....	49
2.4.7 Altre formulazioni.....	50
2.5 Le tecniche produttive ed esecutive.....	53
2.5.1 Esecuzione in opera.....	53
2.5.2 Esecuzione fuori opera.....	55
2.5.3 La finitura superficiale.....	56
2.6 Altri prodotti.....	57
3. ANALISI DEI DEGRADI DEGLI IMPASTI CEMENTIZI	
3.1 Scelta dei casi studio.....	63
3.1.1 Schede di ricognizione fotografica.....	67
3.1.2 Schede storiche.....	85
3.1.3 Schede del materiale.....	99
3.2 Valutazioni analitiche dei degradi.....	111
3.2.1 Valutazioni alla scala dell'edificio.....	112
3.2.1.1 Correlazione tra degrado e collocazione geografica.....	112
3.2.1.2 Correlazione tra degrado ed esposizione.....	115
3.2.1.3 Correlazione tra degrado e inquinamento.....	120
3.2.2 Valutazioni alla scala dell'elemento architettonico.....	123
3.2.2.1 Correlazione tra degrado e tipo di elemento.....	123
3.2.2.2 Correlazione tra degrado e posizione dell'elemento.....	128
3.2.2.3 Correlazione tra degrado e tecniche di esecuzione.....	130
3.2.2.4 Correlazione tra degrado e livello di elaborazione.....	133
3.2.3 Valutazioni alla scala del materiale.....	139
3.2.3.1 Analisi di laboratorio: indagini diagnostiche.....	139
3.2.3.2 Gli impasti: teoria dei brevetti e realtà di cantiere.....	143
3.2.3.3 Correlazione tra degradi e composizione degli impasti.....	148
3.2.3.4 Correlazione tra degradi e legante dell'impasto.....	156
3.2.3.5 Correlazione tra degradi e composizione degli aggregati.....	159
3.2.3.6 Correlazione tra degradi e rapporto legante/aggregato.....	165
3.2.4 Considerazioni conclusive.....	170
3.3 Le manifestazioni di degrado.....	171
3.3.1 Le schede delle manifestazioni di degrado.....	173

4. LA CONSERVAZIONE DEGLI IMPASTI CEMENTIZI	
4.1 La deperibilità delle architetture del primo Novecento.....	229
4.2 Alcuni esempi di interventi di restauro.....	230
4.2.1 Analisi degli interventi	257
4.3 Apporto teorico e metodologico della disciplina del restauro.....	266
4.3.1 Analisi degli interventi	270
5. SUGGERIMENTI OPERATIVI PER LA CONSERVAZIONE	
5.1 Quale approccio per il restauro del Novecento?.....	275
5.2 La tutela del patrimonio culturale del XX secolo: enti e normative...276	
5.2.1 La situazione europea.....	276
5.2.1.1 La norma europea UNI EN 1504.....	277
5.2.2 La situazione italiana.....	280
5.2.2.1 La normativa tecnica.....	282
5.3 Suggerimenti operativi.....	285
5.3.1 Fase applicativa: definizione degli interventi.....	288
5.3.1.1 Preconsolidamento.....	289
5.3.1.2 Pulitura.....	290
5.3.1.3 Consolidamento.....	294
5.3.1.4 Reintegrazione.....	295
Materiali da reintegro.....	305
Preparazione del supporto.....	309
Passivazione delle armature.....	310
Reintegrazione della finitura superficiale.....	312
Sigillatura delle fessurazioni.....	313
Reintegrazione volumetrica.....	314
5.3.1.5 Protezione.....	316
5.3.2 Conservazione programmata.....	317
6. CONCLUSIONI	
6.1 Sintesi dei risultati e possibili ambiti di sviluppo della ricerca.....	321
7. ALLEGATI	
7.1 Schede fotografiche dei casi studio del capitolo 3.....	325
7.2 Glossario.....	385
8. BIBLIOGRAFIA	
8.1 Bibliografia Capitoli 1 e 2.....	397
8.2 Bibliografia Capitolo 3.....	402
8.3 Bibliografia Capitolo 4.....	405
8.4 Bibliografia Capitoli 5, 6 e 7.....	407

0. ABSTRACT DELLA RICERCA

Negli ultimi anni si sta affermando una crescente attenzione verso le architetture del Novecento che, nell'innovazione tipologica e tecnologica, esprimono specifiche valenze culturali e che tuttavia presentano rilevanti problematiche conservative a causa proprio dell'elevato livello di sperimentazione dei materiali impiegati.

In particolare, gli impasti cementizi, accostati o meno al ferro, manifestano un'incredibile plasmabilità e facilità di lavorazione, peculiarità che ne garantiscono il successo nel periodo liberty (preso in esame con il lavoro di ricerca); con il diffondersi del lessico razionalista, negli anni successivi, si implementa la sperimentazione, introducendo sul mercato conglomerati e miscele a base cementizia, quali prodotti innovativi segno di 'durevolezza', impiegati principalmente per la realizzazione di strutture ardite che superano le possibilità costruttive consentite fino a quel momento. Tuttavia, l'esaltata durabilità e resistenza dell'impasto cementizio, sia esso confluito in prodotti conglomeratici con funzione strutturale oppure in raffinati elementi decorativi, rivela attualmente i propri limiti, cosicché molti fabbricati hanno già da tempo manifestato la necessità di adeguati interventi di restauro.

Nonostante la tutela ormai in atto per molti edifici pubblici novecenteschi, secondo il Codice dei beni culturali e del paesaggio - D. Lgs. n. 42/2004, ciò che appare ancora evidente negli interventi di recupero su fabbricati del XX secolo è la mancanza di attenzione nell'attività progettuale rispetto ai materiali posti in opera. Le scelte operative, infatti, mirano perlopiù al riutilizzo del fabbricato, senza porre la dovuta attenzione agli aspetti materici che la fabbrica custodisce, diversamente da quanto avviene nelle costruzioni più antiche¹. Ad oggi la normativa non fornisce indirizzi utili al progettista per favorire un incremento di attenzione verso i materiali moderni: la conservazione dei materiali novecenteschi resta, dunque, affidata alla sensibilità del professionista e del committente che spesso, dinanzi al forte degrado e all'urgenza dell'intervento, operano sull'edificio senza avvalersi di un confronto con specialisti di restauro.

L'indagine parte dallo studio della manualistica e della documentazione di archivio riguardante i brevetti e le tecniche esecutive degli impasti storici, con il fine di individuare quelli maggiormente diffusi durante il primo Novecento.

A ciò fa seguito l'analisi di sessantatre casi studio, indispensabile per conoscere le caratteristiche degli impasti novecenteschi posti in opera e le relative manifestazioni di degrado.

Gli edifici selezionati, che presentano diverse problematiche conservative, sono stati realizzati tra il 1900 e il 1918, sono dislocati tra l'Emilia Romagna e le regioni vicine e hanno perlopiù funzione residenziale. Per ciascun edificio sono state raccolte differenti tipologie di dati, la cui schedatura ha fornito una base per le successive elaborazioni interpretative. Queste ultime hanno lo scopo di mettere in relazione i degradi a diversi fattori che condizionano l'elemento in materiale cementizio. Il risultato di queste valutazioni, nonché primo prodotto della ricerca, si concretizza nella redazione delle 'schede dei degradi' relativi agli impasti cementizi usati in Italia durante il periodo preso in esame.

Successivamente sono stati individuati alcuni restauri effettuati su architetture del primo Novecento, attraverso cui è stato possibile analizzare i diversi approcci attualmente in uso in fase di cantiere, spaziando dalle tecniche esecutive, ai materiali, fino a giungere ai principi conservativi che guidano gli interventi.

A tale proposito si è rivelato utile prendere in esame anche i cantieri studio di progetti di ricerca nazionali ed europei che affrontano temi analoghi, permettendo un confronto tra le diverse prassi operative, ma anche una migliore comprensione dello stato attuale della ricerca in questo ambito.

Lo studio si conclude con la redazione del secondo e ultimo prodotto della ricerca, e

¹ MONTANARI G., *Cosa conservare dell'architettura contemporanea?*, in CALLEGARI G., MONTANARI G. (a cura di), 2001, pp. 29-35.

cioè di suggerimenti operativi utili ad un corretto svolgimento delle fasi di restauro, che conducano verso scelte conservative rispettose sia dei requisiti di sicurezza, che dei significati culturali del materiale, rilevanti per l'innovazione tecnologica espressa nella matericità e nell'aspetto.

Tale prodotto è indirizzato a tecnici e imprese che, in fase di progetto e di cantiere, approcciano alla conservazione di edifici storici realizzati con l'uso di materiali a base cementizia.

L'ingente numero di architetture realizzate con questi materiali, che in un futuro non lontano potranno essere identificate come beni culturali in numero crescente, impone di formulare adeguate pratiche di restauro, fornendo uno strumento utile per operare coerentemente sulle opere del Novecento.

«Architettura e calcestruzzo, un sodalizio inscindibile che da sempre ha permesso di esplorare le potenzialità espressive del materiale»¹.

¹ MARINO R., PIFERI C., in "Concreto", n. 66, 2005, p. 40.



1 INTRODUZIONE AL TEMA DI RICERCA

L'immagine alla pagina precedente ritrae un dettaglio degli elementi decorativi della facciata del palazzo in via Malpighi n. 12 a Milano.

1.1 AMBITO DELLA RICERCA

L'ambito della ricerca è incentrato sulla definizione di suggerimenti operativi da adottare durante il restauro di elementi decorativi e strutturali, realizzati con impasti cementizi, che caratterizzano il patrimonio architettonico italiano dell'inizio del XX secolo. Tale epoca ha segnato le tappe fondamentali del processo di trasformazione socio-economica del Paese, soprattutto per lo sviluppo di nuove tecnologie e materiali impiegati nell'edilizia.

La scarsa durabilità manifestata dagli impasti a base cementizia nel tempo, comporta l'esigenza di intervenire per garantire la loro conservazione.

Lo studio approfondisce gli aspetti riguardanti l'evoluzione storica e tecnologica delle miscele e delle loro manifestazioni di degrado, stabilendo indicazioni che guidino le fasi di restauro e conducano verso scelte conservative rispettose delle valenze culturali della materia lavorata.

Per quanto riguarda l'ambito temporale, gli edifici indagati nel terzo capitolo "Analisi dei degradi degli impasti cementizi" identificano una precisa stagione architettonica rappresentativa delle prime sperimentazioni che interessano le miscele cementizie. Il periodo analizzato spazia dagli inizi del Novecento alla fine del secondo decennio del XX secolo. La scelta di questo momento è dettata dall'avvio di un grande rinnovamento nella tecnica, nei materiali e nelle forme, che inizia a diffondersi a partire dall'*Esposizione Universale* di Torino del 1898, durante la quale Enrico Thovez fa un breve intervento sulle arti decorative, rintracciando nei motivi floreali delle stoffe e dei parati della ditta Liberty le caratteristiche peculiari del «nuovo stile» che è «nella forma fedelmente naturalistico e nella sostanza nettamente decorativo»¹. Tuttavia, come viene puntualizzato nel contributo di Marco Rosci presente nel volume "Mostra del Liberty italiano"², in Italia la grande diffusione dell'arte floreale avviene con un ritardo da 3 a 5 anni rispetto alle esperienze europee: i primi cambiamenti nel territorio italiano si manifestano, infatti, a partire dal 1902 con l'*Esposizione Internazionale d'Arte Decorativa Moderna* di Torino, nella quale si espongono eccellenti prove moderniste del mobiliere Eugenio Quarti e della fabbrica "L'arte della Ceramica" di Galileo Chini³; questi episodi sono le prime aperture verso il nuovo linguaggio, già diffuso nel resto d'Europa, e che in Italia comincia a manifestarsi.

Da questo momento l'affermazione delle miscele cementizie segue la diffusione del periodo *liberty*⁴; le sperimentazioni materiche ad essa relative acquistano, infatti, un proprio ruolo espressivo nell'affermazione di questa stagione; l'incredibile plasmabilità e facilità di lavorazione rendono le miscele il simbolo delle innovazioni formali e tecnologiche. Gli impasti permettono, infatti, di coniugare nello stesso elemento architettonico prestazioni strutturali e decorative, contenendo i costi. La varietà di usi consentita dal cemento, durante questa stagione architettonica, ha permesso, quindi, di indagare gli impasti secondo diversi aspetti, arricchendo il percorso seguito nel lavoro.

Dalla metà del secondo decennio la stagione liberty volge al declino, peraltro investita dai coevi eventi bellici, per lasciare il posto alle nuove correnti che si fanno strada sulla scena nazionale agli inizi del XX secolo. Tra il 1914 e il 1919⁵ si svolgono importanti esposizioni nazionali che sanciscono il cambiamento del linguaggio ar-

¹ THOVEZ E., in "Esposizione nazionale del 1898 a Torino. L'arte all'esposizione del 1898", n. 1, 1898, pp. 30-32.

² ROSCI M., *Le arti decorative e industriali del liberty-floreal*, in AA.VV., 1972, pp. 52-53.

³ BAIRATI E., RIVA D., 2001, p. 3.

⁴ GIOLA V., 2009, pp. 7-11.

⁵ BAIRATI E., RIVA D., 2001, p. 35: Nella "Prima Mostra di architettura" promossa dall'Associazione Architetti Lombardi alla Permanente di Milano (1914) e nella "Esposizione di Edilizia" a Messina (1914) viene presentata un'articolata sequenza di architetture moderniste; nella "Mostra di Nuove Tendenze" alla Famiglia Artistica di Milano (1914), invece, la presenza di Antonio Sant'Elia e Mario Chiattonne indica la strada verso il clima di marchio futurista delle successive esposizioni, di cui la "Prima Esposizione regionale lombarda di arti decorative" all'Umanitaria di Milano (1919) costituisce la prima tappa.

chitettonico, aprendo la strada alla stagione futurista. Quando più tardi con il Movimento Moderno si modificano i fondamenti e le motivazioni profonde dei linguaggi espressivi, le novità di pochi anni prima appaiono invecchiate⁶. Parallelamente l'uso delle miscele cementizie cambia, rivolgendosi prevalentemente ad elementi strutturali mai sperimentati prima.

Per quanto concerne l'ambito geografico, la ricerca prende in considerazione l'intero territorio italiano, restringendo il campo nella fase di indagine relativa ai degradi del materiale. Sono stati presi in considerazione, infatti, venti casi studio scelti nel territorio dell'Emilia Romagna, poi confrontati con quarantatre edifici dislocati nelle regioni vicine (Lombardia, Toscana, Veneto e Marche), aventi tutti funzione abitativa. L'obiettivo di tale scelta è di studiare un campione rappresentativo di un insieme più vasto di edifici, con condizioni climatiche prevalentemente simili. In questo modo è possibile valutare l'incidenza che alcuni fattori hanno sulla formazione dei degradi. Sono state compiute, per esempio, delle valutazioni prendendo in considerazione il diverso grado di inquinamento, le modalità di lavorazione ed esecuzione svolte, le varietà di impasti impiegati. Questo ha permesso di definire con maggiore specificità le cause dei degradi che interessano gli elementi plasmati con impasti cementizi e conseguentemente i suggerimenti operativi da adottare durante il restauro.

⁶ CARBONARA G., *Il restauro del nuovo e il tema dei cementi decorativi*, in GIOLA V., 2009, p. X.

1.2 OBIETTIVI DELLA RICERCA

Lo studio individua tre obiettivi: *l'obiettivo 'uno'* della ricerca è incentrato sulla definizione di un ampio quadro conoscitivo relativo all'ambito delle tecniche costruttive dell'inizio del Novecento in cui sono specificamente formulati e impiegati impasti cementizi. Attraverso lo studio e la catalogazione di manuali storici, riviste di settore dell'epoca, documenti d'archivio e pubblicazioni inerenti l'argomento delle miscele cementizie, sono stati individuati i principali tipi di aggregati e leganti presenti negli impasti impiegati all'epoca, le più diffuse tecniche di esecuzione in fase di produzione del materiale a livello industriale e di realizzazione in fase di cantiere. La ricostruzione dei prodotti e delle modalità costruttive dell'epoca aiuta a comprendere la specifica natura e caratterizzazione del materiale che, messo in opera in architetture del primo Novecento, presenta oggi trasformazioni e alterazioni che devono essere opportunamente risolte in fase di progetto e di intervento: senza una esaustiva conoscenza del materiale originariamente impiegato, non si può avere certezza dell'efficacia del restauro.

L'obiettivo 'due' riguarda la definizione dell'entità e delle cause dei degradi manifestatisi su manufatti realizzati con l'uso di impasti cementizi, comprendendone le conseguenze sul piano figurativo e strutturale. L'analisi di un campione di edifici, interessati da tali alterazioni, ha permesso di redigere delle schede analitiche per ciascun degrado, individuando le relazioni tra condizioni ambientali, caratteristiche dell'impasto, tecniche di lavorazione e degrado. Tali schede sono il primo prodotto della presente ricerca.

L'obiettivo 'tre' riguarda la possibilità di fornire una guida utile ad imprese e tecnici di cantiere, per intervenire su un materiale ancora poco conosciuto dal punto di vista conservativo. La disamina critica di alcuni restauri, compiuti su edifici realizzati nei primi anni del Novecento, ha dimostrato la varietà di procedure che si mettono in campo per intervenire, sia per quanto riguarda gli aspetti tecnici che per i principi teorici alla base delle operazioni: ciò è imputabile al fatto che non esistono prassi consolidate che guidino gli interventi in maniera univoca, cosicché gli interventi possono talvolta apportare problemi per la conservazione dell'edificio.

Quest'ultimo obiettivo si è concretizzato nella redazione di schede inerenti i suggerimenti operativi utili ad un corretto svolgimento delle fasi di restauro di elementi architettonici realizzati con impasti cementizi moderni. Queste schede sono il secondo e ultimo prodotto della ricerca. Tale materiale potrebbe risultare utile per operatori del settore che, in fase di progetto e di cantiere, approcciano alla conservazione di costruzioni novecentesche in cui sono rilevanti gli elementi architettonici plasmati con impasti cementizi. Avrebbero a disposizione, infatti, delle schede di rapida e facile consultazione per la definizione delle fasi operative legate a preconsolidamento, pulitura, consolidamento e protezione degli elementi architettonici in materiale cementizio. Inoltre, in maniera più approfondita, è stata trattata la sezione inerente la reintegrazione del materiale, differenziando le schede in base al tipo di operazione (sigillatura delle fessure, reintegrazione strato superficiale e reintegrazione volumetrica) e specificando le peculiarità dei diversi possibili materiali da impiegare per la produzione di valide miscele da reintegro.

1.3 ARTICOLAZIONE DELLA RICERCA

La ricerca si articola in più fasi che sviluppano e approfondiscono differenti aspetti che concorrono a definire l'argomento di studio.

La prima parte delinea il panorama dell'epoca studiata, stabilendo quali sono le tecniche di produzione ed esecuzione, i mezzi meccanici adoperati e le miscele maggiormente prodotte e immesse sul mercato agli inizi del XX secolo. È stato riportato e analizzato, in questa sezione, il materiale documentario reperito attraverso la consultazione di archivi storici e biblioteche. Tale documentazione consta di brevetti, manuali, riviste di settore, comunicati pubblicitari di carattere tecnico e fornisce informazioni utili a comprendere le conoscenze diffuse all'epoca riguardo agli impasti cementizi.

Nella seconda parte è stata compiuta l'analisi di sessantatre casi studio, per l'individuazione dei degradi che interessano gli elementi realizzati con l'uso di miscele cementizie.

Gli edifici selezionati, che presentano diverse problematiche conservative, sono stati realizzati sul territorio italiano tra il 1900 e il 1918 e hanno perlopiù funzione residenziale. Tali costruzioni, realizzate da progettisti più e meno noti, sono state scelte per valutare la rilevanza che fattori come condizioni al contorno, tecnica esecutiva, composizione mineralogico-petrografica del materiale, possono esercitare sulla formazione dei degradi.

Per ciascun caso studio sono state raccolte differenti categorie di dati che hanno permesso la redazione di tre tipi di schede: la prima è una scheda di presentazione fotografica dell'edificio, contenente fotografie globali e di dettaglio della costruzione e dei degradi che sono presenti sui fronti esterni; la seconda è una scheda storica che raccoglie il materiale documentario (elaborati tecnici storici, foto d'epoca, documenti di cantiere) rintracciato attraverso la consultazione di archivi e che ha permesso di ricostruire la storia di ogni edificio; la terza è la scheda riguardante le indagini diagnostiche relative alla composizione mineralogica dell'impasto cementizio con cui sono stati plasmati gli elementi architettonici dei fronti degli edifici.

I dati raccolti, attraverso la compilazione delle schede sopra descritte, sono la base per successive elaborazioni interpretative. Queste ultime hanno lo scopo di mettere in relazione i degradi ai diversi fattori che condizionano l'elemento in materiale cementizio. Tali valutazioni sono condotte su tre scale differenti di approfondimento: la prima riguarda il rapporto tra degrado e il contesto nel quale è inserito l'edificio; la seconda interessa la relazione tra il degrado e l'elemento architettonico, comprendendo la tipologia, la collocazione, la tecnica esecutiva ed il livello di elaborazione; la terza si concentra sul rapporto tra degrado e composizione mineralogico-petrografica dell'impasto, definendo quali sono i componenti che maggiormente tendono a minare la durabilità della miscela plasmata.

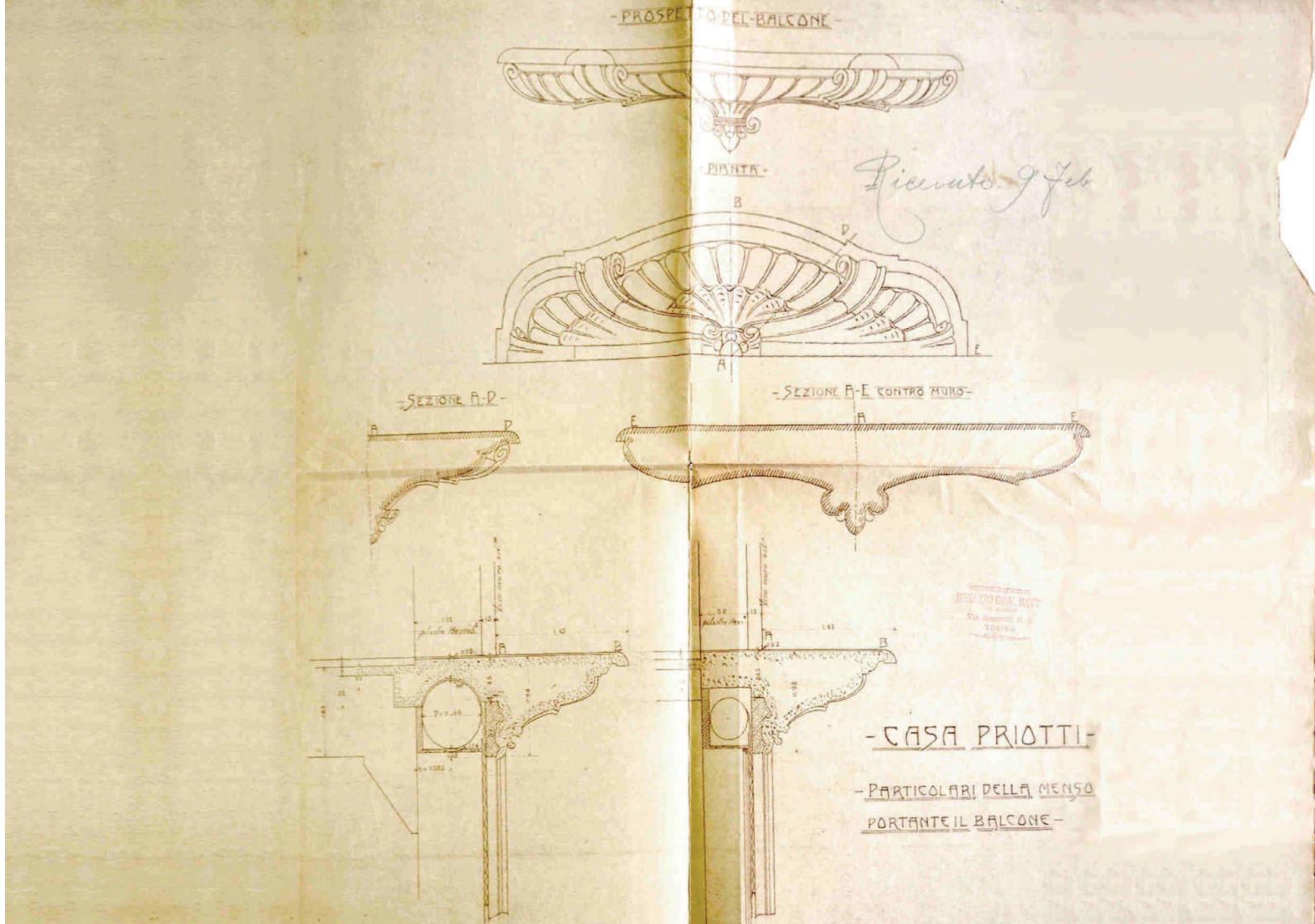
Il risultato di queste valutazioni si concretizza nella redazione delle 'schede dei degradi' relativi agli impasti cementizi usati in Italia durante il primo Novecento. Tali schede raccolgono una catalogazione delle trasformazioni riscontrate, permettendo di definire una sorta di guida, nella quale sono raccolte le indicazioni utili al riconoscimento del degrado. Esse contengono: le immagini necessarie a fornire delle informazioni visive per il riconoscimento del degrado; una definizione del fenomeno redatta sulla base delle raccomandazioni UNI NorMaL 1/88 e UNI 11182/2006, ma ampliata e modificata per adeguarla alle particolarità del degrado; una descrizione delle possibili localizzazioni del fenomeno, ipotizzate sulla base delle analisi condotte sui casi studio; le possibili condizioni ambientali in cui si manifesta; le cause che possono contribuire alla formazione del degrado e, infine, le manifestazioni associate ad esso.

L'ultima parte della ricerca consiste nella formulazione di suggerimenti operativi da adottare durante l'intervento di restauro. Per sviluppare questa fase, in primo luogo, sono stati selezionati alcuni restauri effettuati su architetture del primo Novecento, attraverso cui è stato possibile analizzare i diversi approcci attualmente in uso in

fase di cantiere: non solo le tecniche esecutive, i materiali e i metodi adottati, ma anche i principi conservativi che hanno guidato gli interventi.

A tale proposito si è rivelato utile prendere in esame, non solo cantieri di restauro avviati grazie a committenze private, ma anche i progetti di ricerca nazionali ed europei con temi affini a questo studio ("Sabbie locali e malte a vista nella conservazione degli edifici storici" programma di ricerca sviluppato dal laboratorio di Architettura Tecnica del Politecnico di Torino all'interno degli studi sull'evoluzione delle tecniche costruttive specialmente riferite ai secoli XIX e XX; "ROCARE - Roman cements for architectural restoration to new high standards" sviluppato con il programma di ricerca e sviluppo finanziato dalla comunità europea FP7 - 7th Framework Programme for Research and Technological Development). L'analisi di alcuni cantieri studio messi in atto grazie a tali ricerche, tuttora in corso di svolgimento, e riguardanti la conservazione di superfici murali del XX secolo con elementi in materiale cementizio, permette un confronto dei diversi orientamenti su metodi e materiali per il restauro, ma anche una migliore comprensione dello stato attuale della ricerca nel quale questo studio si inserisce. Per completare questo quadro conoscitivo è stato affrontato lo studio della situazione normativa europea ed italiana, relativa ai materiali a base cementizia e l'approccio conservativo verso l'architettura del XX secolo.

Al termine di queste ulteriori analisi, sono stati redatti i suggerimenti operativi utili ad un corretto svolgimento delle fasi di restauro. Tale prodotto è indirizzato a tecnici e imprese che, in fase di progetto e di cantiere, approcciano alla conservazione di edifici storici realizzati con l'uso di materiali a base cementizia.



2 IMPASTI CEMENTIZI NEL PRIMO NOVECENTO

L'immagine alla pagina precedente riporta un documento d'archivio che ritrae un dettaglio costruttivo di Casa Priotti a Torino realizzato dall'impresa di costruzioni G. A. Porcheddu, su progetto di Carlo Cepi, tra il 1900 e il 1909. L'apparato decorativo dell'abitazione è stato curato dalla ditta Fratelli Musso e Papotti.

Archivio Porcheddu Torino, Palazzo Priotti Torino, cartella n. 585/10267.

2.1 LE SPERIMENTAZIONI TRA XIX E XX SECOLO

«Della arena di Baja o di Cuma. Evvi ancora un altro genere di arena che produce effetti meravigliosi. Si trova nei dintorni di Baja e nei territori de' municipi, che sono intorno al Vesuvio; mescolata insomma di calce e pietre frantumate fa gagliarda non solo ogni specie di costruzione ma particolarmente quelle che si fanno in mare sott'acqua. [...] Perciò venendosi a mescolare insieme queste tre cose [nota: arena, tufo e calce] ricevendo di botto l'umido fanno presa, e indurite dallo stesso umido si rassodano tanto, che non può sciogliere né l'onda né qualunque impeto d'acqua. [...] Se adunque in questi luoghi rinvengonsi sorgenti di acqua bollente ed ovunque si scava, caldi vapori, sembra esser certo che dalla forza del fuoco, come nelle fornaci alla calce, così ivi al tufo ed alla terra sia stato tolto l'umore. Perciò nelle cose dissimili, penetrate dal fuoco, e ridotte ad una sola massa, la mancanza di umore cagionata dal calore, quando sia saturata di acqua tutto ad un tratto si mette in effervescenza a cagione del calore latente in esse così riunito, e fa sì che fra loro formino una forte coesione, e nello stesso tempo prontamente divengano solide»¹.

La citazione da Vitruvio riguarda una "gagliarda" miscela formata da pozzolana, tufo vulcanico e calce spenta, impasto capace di far presa e indurire sott'acqua; al contempo le sabbie vulcaniche ("prodotte dalla forza del fuoco"), produrrebbero delle buone malte da adoperarsi in ambito edile.

Da altri punti dell'opera di Vitruvio, è possibile ricavare indicazioni sul rapporto tra vari tipi di sabbie e calce per formare malte adatte alla realizzazione di murature, intonaci e per la formazione del calcestruzzo². Vitruvio, dunque, manifesta una notevole intuizione sul funzionamento delle malte idrauliche, stabilendo delle osservazioni molto vicine a quelli che formulerà più tardi il chimico Antoine-Laurent de Lavoisier alla fine del '700. Inoltre l'interesse del trattatista dimostra come, fin dai tempi più antichi, l'uomo abbia dato prova di voler approfondire lo studio e la sperimentazione di miscele artificiali con resistenza meccanica, tale da potersi sostituire agli altri materiali da costruzione presenti in natura, per la realizzazione di costruzioni e infrastrutture sempre più solide e ardite.

I Romani, avendo introdotto nuove tecniche di costruzione in tutto il loro impero, possono essere considerati i precursori dell'uso di malte idrauliche e conglomerati³ specifici.

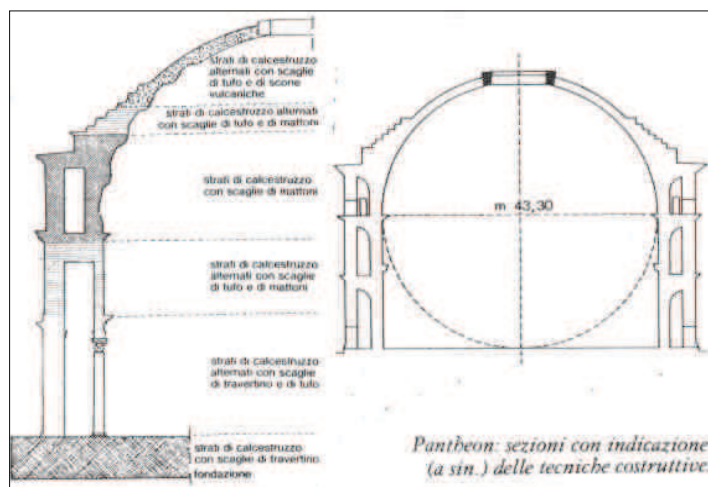


Fig. 1 - Sezione del Pantheon, costruzione di epoca romana realizzata con l'impiego di differenti tecniche che prevedono l'uso del conglomerato.

¹ VITRUVIO, *De Architectura*, libro II, Cap. VI, paragrafo 23-25. Traduzione tratta da: GORIA C., *Evoluzione storica dei leganti e dei conglomerati dall'empirismo alla loro conoscenza razionale*, in GORIA C., CUSINO L., BORASI V. (a cura di), 1976, pp. 31-32.

² «Con pezzi di tufo 2 parti di pozzolana con 1 parte di calce». in VITRUVIO, *De Architectura*, libro V, Cap. XII, paragrafo 85-86. Traduzione tratta da: GORIA C., *op. cit.*

³ Paragonabile in termini di resistenza meccanica ai calcestruzzi attuali, l'*opus caementicium* romano ha permesso, nell'antichità, la realizzazione di edifici dotati di grande qualità architettonica. COLLEPARDI M., 2003, pp. 61-75.

Un graduale declino, nella qualità e nella sperimentazione delle malte, a base cementizia comincia dopo la caduta dell'Impero Romano; per quanto attiene gli impasti, infatti, non sono riportate particolari scoperte durante il Medio Evo; esse lasciano il posto alla diffusione di tecniche costruttive e materiali locali.

La situazione si modifica dopo il XV secolo.

Una rivisitazione teorico-sperimentale delle opere di Vitruvio si riscontra nel trattato del 1570 *I Quattro libri dell'Architettura* di Andrea Palladio⁴, che aggiorna e documenta dettagliatamente le tecniche costruttive murarie, in cui le miscele conglomeratiche cementizie diventano materiali di fondamentale importanza.

La scoperta nel XVI secolo, da parte degli Olandesi, del trass di Andernach, un tufo a comportamento pozzolanico, permette loro di immettere in commercio malte che ricordano l'aspetto e il comportamento di quelle pozzolaniche di epoca romana⁵.

Ma soltanto a partire dal XVIII secolo in Europa si avviano interessanti sperimentazioni sull'uso di impasti, prevalentemente di materiali naturali a comportamento pozzolanico, per la creazione di malte. Le novità messe in campo per il miglioramento della tecnica costruttiva sono supportate dall'introduzione delle nozioni di chimica moderna da parte di Lavoisier, che permette di interpretare razionalmente i fenomeni chimici alla base di moltissimi procedimenti riguardanti le attività umane, tra cui anche la fabbricazione della calce. Restando in ambito chimico, una grande scoperta, che comporta il perfezionamento dei cementi moderni, avviene nel 1755 ad opera di Joseph Black⁶, il quale isola e identifica l'anidride carbonica. Egli comprende e inizia a formulare i processi alla base della cottura, spegnimento, presa ed indurimento del calcare. Risulta infatti che il carbonato di calcio in fase di calcinazione a 850°C perde la parte di anidride carbonica, divenendo ossido di calcio (la cosiddetta calce viva); attraverso lo spegnimento, a contatto con l'acqua, recupera parte del peso perduto tramite la formazione dell'idrossido di calcio (calce spenta); quest'ultimo a contatto con l'aria fa presa e indurisce, eliminando tutta l'acqua e recuperando l'anidride carbonica, ripristinando il carbonato di calcio iniziale, sotto forma di calce indurita.

In questo periodo si verificano anche progressi in campo produttivo; si avvia infatti il passaggio dai forni rurali con la legna come combustibile, noti come forni intermittenti, ai più stabili forni continui, alimentati a carbone, in cui il caricamento del calcare avviene nella parte alta del forno e lo scarico della calce cotta nella parte inferiore.

L'esigenza di individuare nuovi leganti che risolvano il problema delle costruzioni in ambiente marino e che non impieghino necessariamente pozzolane, difficilmente reperibili in gran parte del territorio europeo, comporta nuovi studi sull'argomento dei leganti idraulici, a partire dalla metà del XVIII secolo.

Nel 1750 l'ingegnere inglese John Smeaton viene incaricato di ricostruire il faro di Eddystone cosicché si attiva per ricercare la migliore calce, da mescolare con il trass olandese, capace di resistere in ambiente marino, come quello del faro⁷. I suoi studi lo conducono nel 1756⁸ a riconoscere, in alcuni tipi di calci esistenti, le proprietà idrauliche insite nella composizione, comprendendo che la resistenza all'acqua dipende dal contenuto di argilla nei calcari usati per la fabbricazione della calce.

Queste osservazioni spingono un produttore di calci, James Parker, ad effettuare una serie di ricerche che gli consentono di brevettare (brevetto n. 2120) nel 1796 un legante idraulico detto "roman cement", inizialmente noto come "cemento di

⁴ BIRAGHI M. (a cura di), 1992.

⁵ GORIA C., *Evoluzione storica dei leganti e dei conglomerati dall'empirismo alla loro conoscenza razionale*, in: GORIA C., CUSSINO L., BORASI V. (a cura di), 1976, pp. 9-80. L'affinità tra il trass e le malte romane è citata nel documento inglese: ROGERS J.C., *Trans. St. Albans and Hertfordshire Architectural and Archaeological Society*, 1933.

⁶ Joseph Black pubblica nella seconda metà del XVIII secolo una delle sue opere più note dal titolo: *Esperimenti sulla magnesia bianca, la calce viva ed altre sostanze alcaline*.

⁷ ALUNNO ROSSETTI V., 2007, pp. 2-4.

⁸ *Ibidem*.

Parker”, ottenuto per cottura di calcari marnosi (cioè contenenti argilla)⁹.

Tale cemento viene così descritto: «Il principio di detta invenzione consiste nel ridurre in polvere certi prodotti da pietra o materiali argillosi, chiamati noduli di argilla, e nel mettere in opera questa polvere con acqua, in modo da far formare un cemento più resistente e più duro di ogni malta o cemento attualmente preparato per mezzo artificiale»¹⁰.

Questo impasto, entrato in produzione grazie alla ditta “Parker, Wyatt & Co.”, trova un largo impiego nella tradizione costruttiva inglese dell’Ottocento e del primo Novecento, diffondendosi anche in gran parte dell’Europa. La Gran Bretagna, infatti, grazie alle citate scoperte, è il primo paese a sostituire le decorazioni in stucco con un impasto di calce e cemento per la realizzazione di apparati decorativi nelle facciate degli edifici¹¹. Il “roman cement” in breve tempo dimostra di essere un legante di rapida presa, grande resistenza, facile lavorabilità e basso costo e per lungo periodo è tra i principali materiali impiegati in tutta l’Europa centrale.



Figg. 2 e 3 - Esempi di edifici realizzati da John Nash, tra il 1811 e il 1825, a Londra; le facciate sono decorate con elementi realizzati con “roman cement”.

Tuttavia, gli studi sui leganti idraulici e gli impasti cementizi non si fermano alle scoperte inglesi, ma procedono anche in altri paesi europei e soprattutto in Francia, dove l’ingegnere Louis-Joseph Vicat, nel 1818, definisce la formula della calce idraulica artificiale¹², consentendo di eliminare dall’impasto i difetti e la dipendenza dalle proprietà variabili dei materiali naturali di cava. Egli comprende, infatti, che è possibile ottenere una miscela artificiale mescolando argilla e calcare e stabilendo a priori le opportune proporzioni: in questo modo è possibile evitare l’estrazione dai banchi calcarei, la cui composizione non è ben definita, a causa dell’eterogeneità dell’argilla, che deriva dal disfacimento di rocce composte preesistenti. Inoltre Vicat riesce ad identificare, tra i costituenti principali dell’impasto, la silice libera, componente essenziale per il conferimento dell’idraulicità.

Alle sperimentazioni di Vicat si succedono quelle di James Frost, il quale nel 1811 realizza il cosiddetto “cemento Frost”, mescolando due parti di calce con una parte di argilla, poi cotte ottenendo un prodotto idraulico artificiale. Nel 1822, tuttavia, abbandona questo procedimento per la creazione di un’altra miscela detta “cemento inglese”, ottenuta per calcinazione di calcare magnesiaco o dolomia, privi di allu-

⁹ GORIA C., *Evoluzione storica dei leganti e dei conglomerati dall’empirismo alla loro conoscenza razionale*, in GORIA C., CUSSINO L., BORASI V. (a cura di), 1976, pp. 9-80.

¹⁰ La descrizione dei contenuti del brevetto in lingua originale è in: GURTNER C. *et alii*, 2012, p. 5, <http://www.rocare.eu/page/seite,rocare-manual-on-best-practice-in-the-application-of-roman-cements.html>.

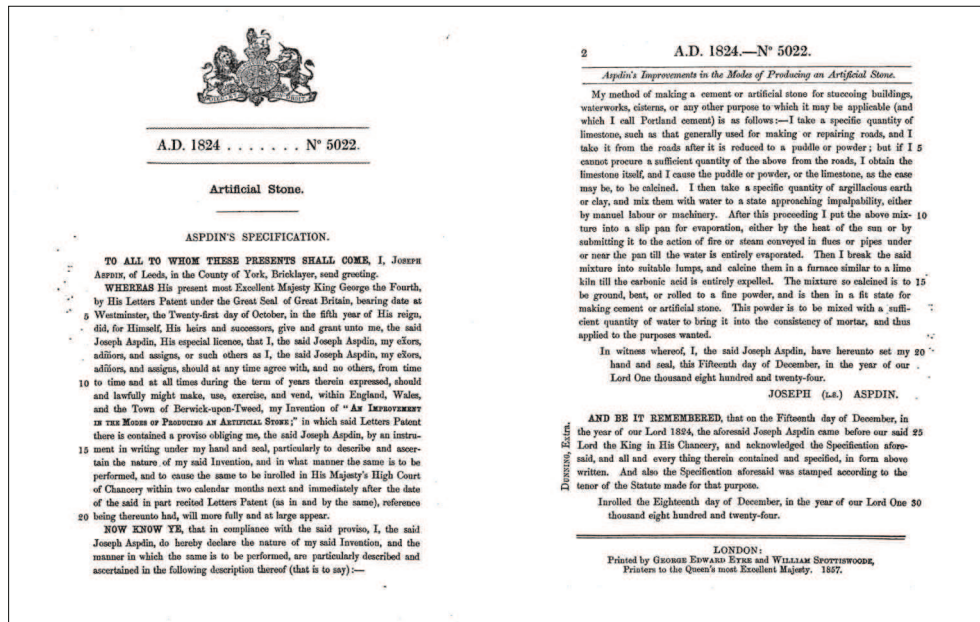
¹¹ *Ivi*, pp. 4-18.

¹² Nel 1818 L. J. Vicat pubblica una prima opera: *Ricerche sperimentali sulla calce per costruzioni, i cementi e le malte*, successivamente aggiornata, nel 1828, con la pubblicazione: *Riassunto delle conoscenze attuali sulle malte e i cementi calcarei*.

mina o terra argillosa¹³.

Nonostante i numerosi studi pubblicati in quegli anni in diverse parti d'Europa, riguardanti i progressi sulla conoscenza razionale dei cementi, l'invenzione che contribuisce alla diffusione di una rivoluzionaria tecnica costruttiva è il brevetto n. 5002 del 1824 per il "Portland Cement", ad opera di Joseph Aspdin, fornaciaio della contea di York. Egli prepara un cemento, per la prima volta assimilabile all'odierno impasto di cemento Portland, ottenuto per cottura di una miscela artificiale di calcare e argilla, detto "Portland" per la somiglianza con la pietra presente nelle isole Portland. Egli sostiene che la miscela di questo particolare materiale è data dall'unione di pietra da calce con una quantità determinata di terra argillosa o di argilla, mescolate ad acqua. Dopo il mescolamento, si lascia essiccare il composto fino a completa evaporazione dell'acqua presente. Tale prodotto viene cotto in forno, fino a quando l'acido carbonico viene completamente espulso. La miscela così ottenuta viene poi ridotta in polvere e quando mescolata nuovamente ad acqua raggiunge la consistenza di malta e può essere impiegata per la realizzazione di intonaci, lavori in acqua, cisterne o pietra artificiale¹⁴.

Fig. 4 - Brevetto di J. Aspdin, 1824, Artificial stone



Inizia dunque la produzione industriale di cemento Portland che, dopo alcuni decenni, intorno al 1844¹⁵, viene innovata da Isaac Charles Johnson, il quale, per superare le caratteristiche del prodotto di Aspdin, ottiene il clinker di cemento Portland, stabilendo delle precise proporzioni tra calcare e argilla e delle temperature di cottura più appropriate, e ben più alte di quelle sperimentate da Aspdin. Johnson comprende che è possibile ottenere prodotti migliori, se nella cottura si raggiunge una parziale fusione delle sostanze, comportando un'agglomerazione del prodotto cotto, sotto forma di grossi granuli (clinkerizzazione); questi prodotti vengono infine macinati e la polvere di clinker può essere immessa in commercio. Alla fine dell'Ottocento, gli studi di Vicat e di Johnson vengono approfonditi dal chimico Henri Louis Le Châtelier, il quale, dopo numerose sperimentazioni, stabilisce che nella cottura di calcare e argilla si formano una serie di composti chimici in base alle temperature raggiunte. In primo luogo si forma il silicato di calcio e successivamente anche l'allumina. Giunge dunque a dimostrare che all'interno

¹³ GORIA C., *Evoluzione storica dei leganti e dei conglomerati dall'empirismo alla loro conoscenza razionale*, in GORIA C., CUSSINO L., BORASI V. (a cura di), 1976, pp. 9-80.

¹⁴ *Ibidem*.

¹⁵ ALUNNO ROSSETTI V., 2007, pp. 2-4.

del clinker di Portland il costituente principale è il silicato tricalcico [C_3S] e gli altri costituenti, presenti in quantità minori, sono il silicato bicalcico [C_2S], l'alluminato tricalcico [C_3A] e il ferrito tricalcico¹⁶ (oggi noto come ferro-alluminato tetracalcico, la cui formulazione è C_4AF).

Un decennio dopo, lo studioso svedese di nome Alfred Törnebohm distingue i cristalli riconosciuti da Le Châtelier, identificandoli come: alite, considerato un silicato tricalcico con un discreto tenore di alluminato di calcio, belite, considerato un silicato bicalcico contenente alluminato tricalcico e celite, che viene riconosciuto come un materiale di riempimento contenente del ferro¹⁷.

Per comprendere la portata di queste scoperte, vale la pena precisare che tali componenti sono oggi ripresi dalle più recenti normative internazionali (ASTM - American Society for Testing and Materials International), definendone i valori minimi e massimi entro cui ciascuno di essi deve stare per ottenere un cemento a norma di legge.

Nel 1854 il generale Scott introduce il gesso durante la macinazione, allo scopo di regolarizzare e ritardare la presa del cemento¹⁸; nella seconda metà dell'Ottocento e primi del Novecento si comprende che le proprietà del cemento possono essere variate modificando le proporzioni dei costituenti; in questo modo si può controllare la resistenza meccanica, il calore sprigionato durante l'idratazione, l'indurimento ed altre proprietà. L'aggiunta per esempio di loppe d'altoforno o pozzolane naturali e artificiali rende la miscela impermeabile e resistente alle acque aggressive. Si diffondono così anche i cementi d'altoforno, pozzolanici e alluminosi¹⁹.

La diffusione degli impasti cementizi in Europa è legata, senza dubbio, alla produzione del legante cementizio; a partire dal 1799 inizia la fabbricazione del cemento Romano o di Parker, ottenuto dalla "Parker and Co.", che nel 1832 diviene "Wyatt, Parker & Co".

Nel 1809 nasce la "G. and T. Earle" che inizialmente fabbrica il cemento Parker e nel 1857 passa a fabbricare il cemento Portland.

Anche Aspdin mette in funzione un certo numero di fabbriche, a partire dal 1813 e dopo una serie di successioni si arriva nel 1900²⁰ alla "Associated Portland Cement Manufactured Ltd." .

Dalla seconda metà dell'Ottocento iniziano a diffondersi le fabbriche di cemento in molti paesi d'Europa.

In Francia, inizialmente hanno maggior diffusione le calce idrauliche e tra i cementi i più usati sono quelli naturali (da calcari argillosi) rispetto agli artificiali; qui la prima fabbrica di calce idraulica artificiale Vicat viene installata nel 1818 a Nemours da M. Giraud. A fine secolo si contano ottantasette fabbriche di calce idrauliche, ventotto fabbriche di cemento naturale, e venti fabbriche di cemento Portland artificiale. In Germania la prima fabbrica di cemento Portland sorge invece non prima del 1855. L'impiego degli impasti cementizi diviene sempre più diffuso, grazie anche alla possibilità, attraverso l'impiego di aggregati di dimensioni maggiori, di ottenere ottimi conglomerati cementizi con funzioni strutturali. Ma proprio il problema strutturale apre nel volgere di breve tempo, nuovi campi di indagine; è a partire dalla seconda metà dell'Ottocento che l'unione tra conglomerato cementizio e ferro diviene oggetto di sperimentazione, per dare una soluzione a tali questioni.

La scienza delle costruzioni (le cui radici affondano nel XVII secolo) diventa, infatti, territorio privilegiato per la sperimentazione di materiali cementizi: grazie alle prestazioni strutturali che i conglomerati realizzati con legante cementizio forniscono, è possibile approfondire gli studi inerenti la deformabilità e la resistenza

¹⁶ GORIA C., *Evoluzione storica dei leganti e dei conglomerati dall'empirismo alla loro conoscenza razionale*, in GORIA C., CUSSINO L., BORASI V. (a cura di), 1976, pp. 9-80.

¹⁷ CROOKES W. (a cura di), 1918, pp. 62-64.

¹⁸ TURRIZIANI R., in "Il secolo del cemento", suppl. a "L'industria del cemento", n. 757, 2000, pp. 9-10.

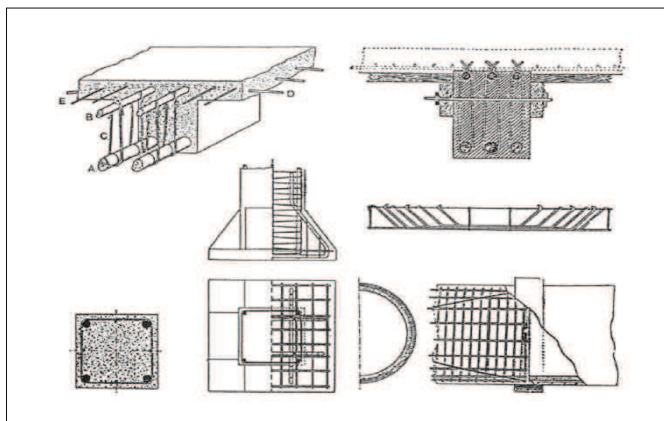
¹⁹ ALUNNO ROSSETTI V., 2007, pp. 2-4.

²⁰ GORIA C., *Evoluzione storica dei leganti e dei conglomerati dall'empirismo alla loro conoscenza razionale*, in GORIA C., CUSSINO L., BORASI V. (a cura di), 1976, p. 9-80.

degli elementi strutturali come travi, pilastri e solai.

Nel 1855 l'imprenditore edile Francois Coignet sviluppa un metodo per la realizzazione del "béton aggloméré o béton pisé" e brevetta l'armatura di un solaio in calcestruzzo con barre di ferro a doppio T²¹ e pochi anni più tardi pubblica "Le béton agglomérés appliqueés à l'art de construire" (1861), in cui tratta delle possibilità di impiego del conglomerato cementizio realizzato con i prodotti di Vicat e Johnson.

Fig. 5 - Francois Coignet, Disegno del brevetto per l'armatura dei solai in calcestruzzo.



In occasione dell'Esposizione Universale di Parigi del 1855, un altro imprenditore francese, Josef-Louis Lambot, presenta una barca realizzata con béton rinforzato con una griglia metallica²²: in sostanza cerca di sopperire alla mancanza di resistenza a trazione del conglomerato tramite l'impiego di un'armatura in ferro.

Fig. 6 - Josef Louis Lambot, barca in conglomerato cementizio armato presentata in occasione dell'Esposizione Universale di Parigi del 1855.



Da questo momento vengono brevettati numerosi sistemi che si distinguono per le diverse combinazioni e dosaggi di legante, aggregati, acqua e ferro e la Francia detiene il primato nella sperimentazione, grazie anche alla larga disponibilità di cemento e ferro. Tra i più importanti, si annovera quello di Joseph Monier, risalente al 1867²³, che sviluppa concretamente le idee di Lambot e Coignet. Egli infatti ha l'intuizione di assegnare alle armature la funzione di elementi tesi e ha, dunque, il ruolo di aver compreso in che modo armatura e conglomerato divengono complementari.

Nel 1889 l'ingegnere Paul Cottancin produce un nuovo prodotto denominato "ciment armée"²⁴, costituito da malta con inerti fini e alto dosaggio di cemento e un'armatura interna composta da tondi di diametro di 4mm, irrigidita da una nervatura

²¹ COIGNET F., in "L'ingénieur", 1 novembre 1855, p. 23.

²² IORI T., 2001, pp. 11-36.

²³ GORI R., SIVIERO E., SIMONCELLI B., *Nascita del calcestruzzo armato*, in BISCONTIN G., MIETTO D. (a cura di), 1993, pp. 53-54.

²⁴ IORI T., 2001, pp. 11-36.

disposta diagonalmente rispetto alla precedente, con cui realizza solette di 5-7 cm. Ma la sperimentazione che rivoluziona questo ambito giunge a compimento nel 1892, quando l'ingegnere belga Francois Hennebique stabilisce un procedimento per realizzare un solaio a lastre, unito in modo monolitico al pilastro di conglomerato cementizio armato, definendo l'esatta distribuzione delle armature in rapporto alle forze statiche che esse devono assorbire. Il brevetto prevede la disposizione di barre longitudinali per l'assorbimento di sforzi di trazione, staffe per rispondere a sforzi di taglio, disposizione di barre in mezzera nella parte inferiore della trave ed un incastro rafforzato dalle armature metalliche all'incrocio con il pilastro, configurando un sistema completamente innovativo che, da quel momento in avanti, diviene la base per tutte le costruzioni. In poco tempo nei principali paesi europei si diffonde l'uso del suo brevetto, attraverso le concessioni rilasciate a specifiche e circoscritte imprese.

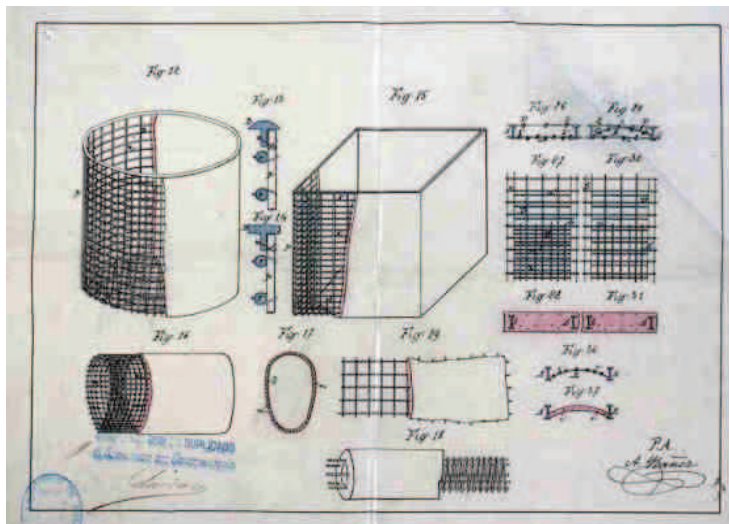


Fig. 7 - Joseph Monier, disegno del brevetto (nello specifico presentato in Spagna).

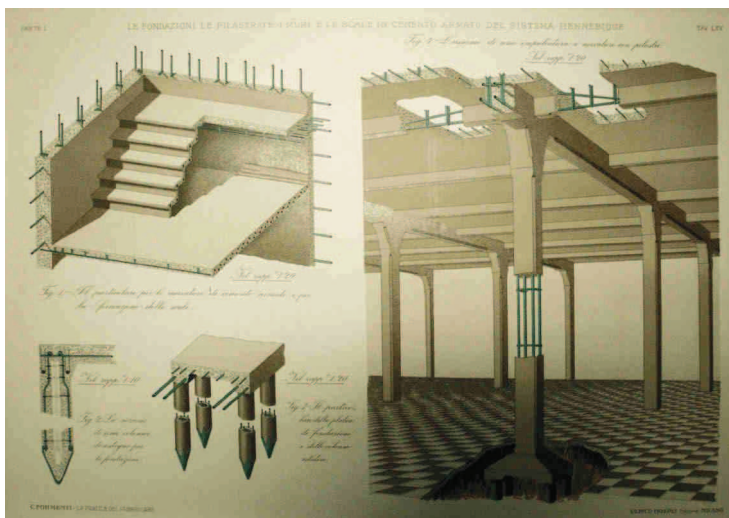


Fig. 8 - Sistema brevettato da Francois Hennebique presentato all'interno di: FORMENTI C., 1909, tav. LXV.

Nel 1899 Hennebique fonda la rivista tecnica "Le Bèton Armé", attraverso cui pubblica mensilmente resoconti approfonditi delle sue esperienze di cantiere e delle sue sperimentazioni, contribuendo a diffondere il sistema e ad espandere il suo successo nell'ambito delle costruzioni.

Questa rivista si impone da subito come strumento tecnico e scientifico di riferimento per l'apprendimento della nuova soluzione costruttiva; in questo modo Hennebique punta ad una vasta diffusione della sua invenzione, facendo del cantiere un luogo di dibattito, scambio e confronto sulle teorie del conglomerato cementizio.

Tab. 1 - Tabella che riporta le principali tappe dell'evoluzione tecnologica degli impasti cementizi moderni, dai primi brevetti europei fino agli anni '50. Sono messi in evidenza (tramite il colore) gli anni che interessano da vicino il ventennio preso in analisi con la presente ricerca.

EVOLUZIONE TECNOLOGICA DEGLI IMPASTI CEMENTIZI MODERNI FINO AGLI ANNI '50	
1756	Smeaton scopre la resistenza della malta sott'acqua grazie all'aggiunta di argilla nell'impasto.
1796	Parker brevetta il cemento romano
1824	Joseph Aspdin brevetta il Cemento Portland
1844	Johnson sperimenta la cottura fino a clinkerizzazione della miscela
1848	Realizzazione della barca di Joseph-Luis Lambot (presentata all'Esposizione di Parigi del 1865)
1850	primo uso documentato del cemento Portland nei nuovi Docks di Londra
1852	Realizzazione un solaio di copertura di una casa a Saint-Denis di François Coignet
1855	Lambot presenta il brevetto per conglomerato cementizio irrigidito da rete in ferro
1867	Brevetto presentato da Joseph Monier riguardo a malta di cemento rinforzata con maglia in tondini di acciaio (realizza pochi anni prima dei vasi da giardino impiegando tale metodo)
1884	Ransome inventa il forno rotante o rotativo
1885	Giacinto Guffanti impianta stabilimento di calce idrauliche e cementi ad Albino
1887	Pubblicazione del primo manuale di calcolo del cemento armato
1889	Paul Cottacin deposita il suo brevetto riguardante una piastra in ferro cementato (calcestruzzo con maglia)
1892	Hennebique brevetta il sistema strutturale costruttivo travi-pilastri-fondazioni in cemento armato
1894	Ing. Porcheddu introduce sistema Hennebique in Italia
1898	primo numero della rivista "Beton Armé"- Ambienti e mobili in stile Liberty sono presentati all'Esposizione di Torino
1899	l'ing. Porcheddu realizza a Genova i primi due edifici industriali in c.a.; Zamboni studia il metodo per misurare l'aumento di volume durante la fase di idratazione dei cementi idraulici.
1900	Esposizione Universale di Parigi; proposte per le prime travi prefabbricate fuori opera (Travi solaio béton di Corradini)
1901	Brevettato in Austria il fibrocemento (cemento+amianto); impiego del gesso in aggiunta al clinker per ritardare la presa del cemento (scoperto nel 1854)
1902	E. Ransome brevetta un sistema di unione di travi a T per realizzare un telaio tamponato da murature
1903	Vengono installati per la prima volta forni rotanti da 45m
1904	Fondata la rivista <i>Il Cemento</i>
1905	F. Ferrari sperimenta il cemento ferrico, resistente alle acque marine
1906	Primo impianto di produzione del cemento d'altoforno a Piombino; la ditta "Leoni & C." e "Pesenti" si fondono creando la "Società Riunita Italiana e fratelli Pesenti", che diverrà più tardi "Italcementi"; D. Donghi pubblica il <i>Manuale dell'architetto</i>
1907	Primo decreto del Ministero dei LL.PP. in Italia sul cemento armato (10.01.1907)

1908	Bougleux fabbrica il primo cemento pozzolanico in Italia
1909	t. Edison brevetta i forni rotanti
1910	R. Maillart brevetta i pilastri a fungo, impiegati in un edificio industriale a Zurigo
1911	M. Viscardini studia il legno cemento (legno come armatura), lo impiega per le travi nel 1919
1912	Inizia la produzione di cemento alluminoso
1913	Produzione del cemento a presa rapida
1914	la Società Eternit brevetta in Italia il cemento-amianto 1919 diffusione dei forni rotativi in Italia per la produzione di cemento
1915	Progettazione del Lingotto da Mattè Trucco, realizzato dalla Società Porcheddu
1916	Le cementerie di Casale e Bergamo si fondono producendo Portland naturale e artificiale e cementi di miscela
1917	Sperimentazione della tipologia costruttiva con muri perimetrali portanti e travi e pilastri in c.a.
1918	Abrams pubblica gli studi sulla composizione del calcestruzzo (decreta che la resistenza è legata al contenuto d'acqua)
1919	Brevettati i solai a nervatura semplice o incrociata alleggeriti con blocchi cavi di cartone bitumato
1920	Utilizzo del forno verticale automatico Candlot
1921	Brevettato il solaio Berra con laterizi forati triangolari e getto in c.a.
1922	A. Perret realizza la chiesa di Notre Dame de Consolation
1923	Introduzione del calcestruzzo armato centrifugato
1924	J. A. Eriksson brevetta il metodo di prefabbricazione del calcestruzzo cellulare autolavato
1925	Losier studia il problema del ritiro del calcestruzzo durante la presa
1926	Si brevettano i primi additivi all'impasto (sapone di potassa, materiali albuminoidi); L. Santarella pubblica a Milano <i>Il cemento armato nelle costruzioni civili e industriali</i>
1927	Prime tecniche di vibrazione dell'impasto
1928	Freyssinet adotta per primo il calcestruzzo armato precompresso
1929	Primo impianto con riscaldamento esterno detto forno Lepol
1930	Fondata la rivista <i>L'industria Italiana del Cemento</i>
1931	Prodotti i travetti prefabbricati per solai (es. travetto Varese)
1932	L. Santarella pubblica a Milano <i>La collaborazione del laterizio nei solai in cemento armato</i>
1935	Negli USA si commercializzano gli additivi plastificanti
1938	L'ASTM istituisce un comitato per studiare la normalizzazione dei cementi diversi dal Portland e a rapido indurimento iniziale
1940	Nuovo regolamento per l'esecuzione delle opere a carattere industriale, dei ponti, delle costruzioni marittime, ecc.
1943	P.L. Nervi brevetta il ferro-cemento
1946	CNR e USIS pubblicano a Roma il Manuale dell'Architetto (a cura di M. Ridolfi)
1950	Dunod pubblica <i>L'evoluzione e le incertezze della tecnica del calcestruzzo</i>

2.2 DIFFUSIONE IN AMBITO ITALIANO

La ricostruzione storica della ricerca si è basata sullo studio delle riviste dell'epoca, dei manuali e dei brevetti presentati durante il periodo preso in esame, a partire dal 1900 fino a giungere alla fine del secondo decennio del secolo, quest'ultimo considerato un momento di transizione cui fa seguito l'affermazione dell'architettura di regime durante il ventennio fascista. Lo studio di tali pubblicazioni può essere considerato un passaggio importante per la definizione delle caratteristiche degli impasti che contraddistinguono le architetture di questi decenni.

I progettisti, le imprese impegnate nelle costruzioni e i produttori di materiali per l'edilizia sono i principali artefici delle sperimentazioni del nuovo materiale, brevettando sistemi costruttivi e miscele innovative, per migliorare costantemente i risultati raggiunti attraverso l'impiego di impasti facilmente lavorabili e plasmabili che, una volta induriti, hanno la capacità di raggiungere resistenze strutturali elevatissime.

L'esempio più noto è certamente connesso all'introduzione in Italia del sistema costruttivo in conglomerato cementizio armato, brevettato da François Hennebique (1892)²⁵. La notorietà dell'attività di Hennebique è legata all'omonimo sistema basato su una razionale disposizione del ferro nel conglomerato, che rappresenta il primo tipo di trave moderna in conglomerato cementizio armato²⁶. I principali fautori della diffusione in Italia di tale sistema sono: la "Società G.A. Porcheddu, Agente e Concessionario Generale per il Nord Italia", negli anni compresi tra la fine dell'Ottocento ed i primi decenni del Novecento²⁷; Edoardo Zublin e Pietro Isidoro Martorelli, concessionari del brevetto per l'Italia Meridionale²⁸; Daniele Donghi, mediante un'intensa attività divulgativa tra Padova e Venezia e, soprattutto, Attilio Muggia, primo tecnico italiano a trattare del nuovo sistema in una conferenza nel 1899 a Firenze, oltre che ad applicare il conglomerato nelle costruzioni marittime, nei ponti ferroviari e nelle costruzioni civili²⁹.

Fig. 9 - pubblicità della società Porcheddu sulla rivista "Il cemento" del 1920.



Dalla consultazione degli Atti del Collegio degli Ingegneri e degli Architetti di Bologna, pubblicati nel 1901, è stato possibile desumere una interessante trattazione sul "siderocemento", noto anche «con il nome calcestruzzo armato o cemento armato,

²⁵ IORI T., 2001, pp. 11-36.

²⁶ NELVA R., *Il Sistema Hennebique, la sua diffusione nel mondo, la tecnica costruttiva ed i metodi di calcolo*, in NELVA R., SIGNORELLI B., 1990, pp. 11-19.

²⁷ NELVA R., SIGNORELLI B., 1990, p. 1.

²⁸ ZUCCONI G., *L'avènement du béton armé en Italie*, in BETTAZZI B., LIPPARINI P. (a cura di), 2010, pp.17-20.

²⁹ MUGGIA G., 1951, p. 2.

materiale eterogeneo formato da una massa di calcestruzzo o malta di cemento, nell'interno della quale è immersa un'ossatura metallica in ferro od in acciaio. [...] Una miscela consigliata da noti costruttori (Hennebique) è la seguente: cemento kg. 300, sabbia mc. 0,400, ghiaia mc. 0,850; espresse in volume queste proporzioni darebbero: cemento 1, sabbia 1,7 e ghiaia o breccia 3,7, che nel loro insieme danno luogo ad una produzione di mc. 1,00 di calcestruzzo. Se si esaminano le composizioni dei materiali usati dai principali costruttori si potrebbe stabilire che la composizione normale può essere riguardata quella, che risulta da cemento parti 1, sabbia parti 2 e ghiaia parti 4. Per quelle costruzioni che sono fatte in malta di cemento, notoriamente tutte quelle che constano di parti sottili che non ammettono l'incorporazione di grossi frammenti, ed anche non di rado volte di spessore importante, si potrebbe ritenere composizione normale la seguente: cemento parti 1 e sabbia parti 3. La sabbia deve essere grossa ad elementi ben determinati e vari di volume, lavata e perfettamente scevra da ogni materia terrosa od estranea alla sabbia stessa. La ghiaia consta di elementi di dimensioni variabili fra m. 0,01 e m. 0,03 circa, dipendentemente anche dalle dimensioni dei pezzi da costruire: non è opportuno uscire da questi limiti. Il cemento deve essere a lenta presa poiché così si hanno tutte le condizioni necessarie per la preparazione, messa in opera e costipazione della miscela per un'ottima presa. Nella pratica corrente non si usano i cementi a rapida presa che per riparazioni e lavori di dettaglio. La preparazione della miscela deve essere fatta con poc'acqua. Si giudica che il cemento sia sufficientemente imbevuto quando assume l'aspetto di buona terra scavata e rimescolata di fresco, conservante ancora l'apparenza scura, che ne è caratteristica: l'acqua in eccesso è dannosa, perché evaporandosi lascia la materia più porosa. L'incorporamento poi delle materie può essere fatto a mano oppure a macchina. Quest'ultimo processo è ritenuto migliore e più efficace dai tecnici, tanto che stimatissimi costruttori diminuiscono di circa il 10% la proporzione normale dei cementi quando usano le macchine manipolatrici»³⁰.

Accanto alle grandi sperimentazioni, condotte da professionisti e imprese costruttrici, si annoverano anche le innovazioni introdotte nel mercato del settore edile dalle aziende produttrici di cementi: al riguardo, non si può trascurare l'attività portata avanti dai Fratelli Pesenti, i quali hanno svolto un ruolo molto importante nell'ambito della progressiva diversificazione dei prodotti e dell'affinarsi delle cognizioni tecnico-scientifiche in materia di agglomeranti idraulici, con caratteri peculiari connessi alla produzione di cementi naturali, all'aggiornamento e alla curiosità sperimentale; aspetti, questi ultimi, resi possibili anche dalle differenti competenze dei numerosi fratelli (tra cui si ricordano Carlo, ingegnere, Cesare, laureato in ingegneria meccanica e Pietro, laureato in medicina ed in chimica, figli del capostipite Antonio³¹).

In Italia fino alla metà dell'Ottocento vengono prodotte calci idrauliche e cementi a presa rapida, per i quali sono sufficienti cotture raggiungibili con comuni forni da calce. Poco più tardi dagli studi d'Oltralpe iniziano a giungere notizie relative ad un prodotto più pregiato, il cemento Portland. Così a partire circa dagli anni Settanta dell'Ottocento, la *Società Italiana Cementi* (antecedente a quella che sarà la futura *Italcementi*) immette sul mercato numerosi prodotti tra cui il cemento a lenta e rapida presa e il cemento artificiale Portland che non ottiene subito il successo sperato, almeno fino agli inizi del secolo successivo³².

Le sperimentazioni italiane sui conglomerati cementizi e l'utilizzo di prodotti derivati specifici (talvolta originati dalla commistione della tradizione locale e artigianale con la produzione propriamente industriale), hanno originato una casistica vastissima di soluzioni adottate, oggi totalmente in disuso e scarsamente comprese e conosciute³³; rintracciarle è necessario per ricostruire un quadro preciso delle tecnologie

³⁰ CANEVAZZI S., *Siderocemento*, in AA. VV., 1901, pp. 9-11.

³¹ FUMAGALLI C., 1964, pp. 236-240.

³² *Ivi*, pp. 102-104.

³³ FABBRI R. et alii, *I materiali dell'architettura del Novecento. Studi e tecniche per la conservazione*, in PETRUCCI F. (a cura di), 2012, pp. 193-202.

e dei materiali dell'epoca, quale conoscenza necessaria per poter adeguatamente predisporre le scelte conservative durante le fasi di restauro.

L'illimitata potenzialità espressiva riguardante le composizioni delle miscele si può riscontrare nella letteratura e nei testi dei brevetti, che non perdono occasione di sottolineare come fosse possibile ottenere qualsiasi effetto attraverso l'uso di particolari e variegati aggregati e coloranti, dilungandosi in meticolose descrizioni degli impasti.

Al 1919 risale un brevetto³⁴ presentato da Vincenzo Carretta riguardante l'invenzione di "una casa in cemento armato montabile e smontabile a base d'agglomerato imitazione di marmo giallo chiaro, con pareti forate."

In tale documento si riscontra un'attenta descrizione dei differenti elementi che compongono l'edificio, a partire dalle fondazioni, fino a giungere alle tegole, passando per i pilastri, le pareti e le travi, e definendo per ciascuno la formula dell'impasto del conglomerato cementizio da impiegare.

Tale brevetto dimostra come le sperimentazioni dell'epoca siano tra le più disparate e si contempli già l'idea della prefabbricazione. Questo esempio dimostra anche come la conoscenza dell'impasto e delle qualità di ciascun elemento componente sia notevolmente definita, in quanto per ciascun elemento costruttivo si definiscono impasti e quantità differenti, in rapporto alle specifiche funzioni di ciascun elemento architettonico.

Dallo studio dei brevetti è possibile comprendere come il panorama delle sperimentazioni dei primi decenni del secolo sia decisamente vasto; tuttavia, grazie al censimento redatto con il lavoro, è stato possibile riscontrare che nella pratica si fa uso di ben pochi e sempre ripetuti impasti.

GLI IMPASTI CEMENTIZI NELL' ARCHITETTURA LIBERTY

Il nuovo materiale acquista un proprio ruolo espressivo proprio durante il periodo dell'architettura Liberty. Se, infatti, per prodotto Liberty si intendono materiali ed espressioni rappresentativi di una società audace e tecnologicamente avanzata, a ciò si possono far derivare l'uso e la nuova espressività dell'impasto cementizio³⁵. Le forme tipiche di questo linguaggio sono realizzabili proprio in funzione delle caratteristiche meccaniche e plastiche della malta cementizia con o senza armatura³⁶.

Il legame tra l'impiego delle miscele cementizie e la stagione Liberty è percepibile anche dall'interesse che la rivista «Il Cemento» dedica a questo materiale³⁷; mentre nelle pubblicazioni che vanno dal 1904 al 1916 si può notare un'ampia trattazione del tema del cemento applicato alla tecnologia, così come delle riflessioni sui problemi culturali derivanti dall'uso dei nuovi materiali³⁸; nelle ultime pubblicazioni si avverte un graduale disinteresse verso l'impiego della miscela cementizia nella decorazione architettonica, sintomo del tramonto della stagione Liberty, che di lì a poco lascerà il posto alle nuove concezioni artistiche degli anni seguenti.

2.2.1 La produzione in Italia

Gli impasti cementizi, che in altri paesi vedono il loro più ampio sviluppo a fine Ottocento, non trovano subito ampio consenso in Italia, come dimostrano alcune affermazioni presenti su riviste dell'epoca. Nel 1908 nella rivista «Il Cemento» si legge che *«l'introduzione della pietra artificiale cementizia nella costruzione incontrò molte difficoltà sul principio e oggigiorno -sebbene ammessa quasi universalmente per le sue proprietà resistenti- non è accolta con egual favore da molti per le*

³⁴ ACS Roma, MICA, UIBM, Serie Invenzioni, brevetto num. 173319.

³⁵ BOSSAGLIA R., *La decorazione in cemento: le facciate liberty*, in PIROVANO C. et alii, 1995, pp. 24-31.

³⁶ BIONDELLI D. et alii, *I materiali lapidei nell'architettura del Novecento a Milano*. in BISCONTIN G., DRIUSSI G. (a cura di), 2004, pp. 27-36.

³⁷ MELE, C., *Stucchi e cementi decorativi nelle architetture torinesi tra Ottocento e Novecento*, in BISCONTIN G., DRIUSSI G. (a cura di), 2001, pp. 81-86.

³⁸ Si vedano a titolo di esempio: *Il Cemento*, anno IV, n.1, 1907, pp.17-18 e *Il Cemento*, anno V, n. 2, 1908, pp. 29-31.

applicazioni estetiche e decorative»³⁹. Anche C. Lanvini, in un articolo⁴⁰ pubblicato su «L'Architettura Italiana», accusa di “insincerità” gli intonaci che vogliono illudere lo spettatore.

La resistenza alla diffusione in Italia di questo nuovo materiale, e di conseguenza la sua comparsa sul mercato, più tardi che nel resto d'Europa, è anche dovuta alla grande ricchezza di pietre naturali e argille con cui si producono in Italia ottimi laterizi.

I primi studi sui leganti idraulici cominciano intorno al 1846 nell'area di Casale Monferrato, ricca di giacimenti marnosi; nel 1847 Giuseppe Signorile rintraccia e classifica le migliori cave per la produzione di calce idrauliche, indicando gli strati locali di marna utilizzati e adottando la classificazione identificata da Louis-Joseph Vicat: debolmente idrauliche, mediamente idrauliche, idrauliche ed eminentemente idrauliche⁴¹.

Nel 1867 i produttori casalesi di calce idraulica costituiscono un'unione e nel 1870 nasce la *Società Anonima di Casale Monferrato per la cottura di calce idraulica*, costruendo una nuova fabbrica con fornaci Hoffmann⁴². Nel 1872 la *Società Italiana Cementi* di Bergamo inizia la produzione di cemento Portland artificiale, che si rivela subito molto più costosa di quella del cemento Portland naturale, ragione per cui l'impasto artificiale stenta a diffondersi in Italia. Nel 1873 la stessa società si amplia diventando *Società Anonima Calci e Cementi* e concentrando la produzione su un cemento Portland naturale di ottime caratteristiche, che gradualmente fa aumentare le vendite⁴³. Durante queste trasformazioni dei processi di produzione, si inizia ad adoperare, anche per i cementi, i forni verticali a tino o a botte generalmente impiegati per la cottura della calce.

Solo a fine secolo si raggiunge il picco di produzione dei cementi naturali che, già attorno al 1930, sono soggetti a un rapido declino in favore dei cementi artificiali⁴⁴. La produzione del Portland naturale, che inizialmente risulta più economica di quella dell'artificiale per la presenza di molti banchi di idonea composizione, inizia ad un certo punto ad avere costi proibitivi, quando occorre spostarsi in profondità, costruendo pozzi e gallerie per ricavare la materia prima. Da quel momento risulta più vantaggioso dedicarsi alla lavorazione artificiale. Inoltre, la possibilità di determinare la composizione, anziché estrarla così come è in natura, offre la possibilità di variarla e creare diverse tipologie di cementi, migliorando la qualità delle miscele prodotte.

Da qui in poi, insieme all'avanzamento delle conoscenze nel campo della chimica applicata, iniziano anche in Italia gli studi sulla composizione dei cementi.

Nel 1917 le fabbriche di Bergamo e Casale si fondono, iniziando a produrre non soltanto cemento Portland naturale e artificiale, ma anche cementi speciali e di miscela⁴⁵.

Agli inizi del Novecento gli impasti cementizi vengono impiegati principalmente per la realizzazione di apparati decorativi di facciata, permettendo di dare spazio alla fantasia dei progettisti e degli artigiani, che sfruttano le qualità di plasmabilità e facilità di lavorazione tipiche di questo nuovo materiale.

³⁹ *Il Cemento*, anno IV, n.1, 1908, p. 16-18.

⁴⁰ LANVINI C., in “L'Architettura Italiana”, anno XII, n.11, 1917, pp. 81-82.

⁴¹ GORIA C., *Evoluzione storica dei leganti e dei conglomerati dall'empirismo alla loro conoscenza razionale*, in GORIA C., CUSSINO L., BORASI V. (a cura di), 1976, p. 9-80.

⁴² Il *forno Hoffmann* è una tipologia di forno inventata dall'ingegnere Friedrich Hoffmann per la cottura di laterizi, a metà del XIX secolo, e rimasta in uso in Europa fino agli anni '70 del XX secolo. Questo forno, caratterizzato da una forma ellittica con ciminiera centrale, grazie alla rotazione della zona fuoco, consentiva una produzione continua per tutta la stagione da marzo a novembre.

⁴³ GORIA C., *Evoluzione storica dei leganti e dei conglomerati dall'empirismo alla loro conoscenza razionale*, in GORIA C., CUSSINO L., BORASI V. (a cura di), 1976, pp. 9-80.

⁴⁴ IORI T., 2001, pp. 22-26.

⁴⁵ GORIA C., *Evoluzione storica dei leganti e dei conglomerati dall'empirismo alla loro conoscenza razionale*, in GORIA C., CUSSINO L., BORASI V. (a cura di), 1976, pp. 9-80.

I primi approcci all'uso degli impasti cementizi perseguono l'intento di imitare la pietra naturale: in molti casi l'impasto, con specifiche peculiarità cromatiche (si pensi all'uso frequente del cemento bianco e colorato) viene colato nello stampo e successivamente subisce delle lavorazioni superficiali che permettono di definire una superficie simile a quella di una ricercata pietra naturale. Quando gli impasti cementizi cominciano ad affermarsi come materiali di uso comune, per la realizzazione di elementi costruttivi e decorativi nelle facciate, non vengono più visti come prodotti umili da celare, bensì come materiali da lasciare a vista.

Nella Villa Sarti a Lucca (1915-17, ing. Giovan Lelio Menesini), per esempio, si rinuncia a mascherare il materiale impiegato nella costruzione dell'edificio; ciò è dimostrato dal fatto che i blocchi di calcestruzzo usati per la muratura non sono mai stati intonacati, ma al contrario lasciati a vista, come se si volesse dare particolare risalto all'utilizzo del cemento⁴⁶. Molti degli elementi architettonici sono realizzati in cantiere attraverso l'uso di attrezzi per la formatura in opera; per gli elementi di piccole dimensioni, oppure riccamente decorati, si impiegano calchi e formelle in gesso, che danno la possibilità di produrre elementi decorativi ripetibili in serie mediante colaggio negli stampi⁴⁷. In questi casi gli elementi decorativi in cemento giungono in cantiere come pezzi prefabbricati; il più delle volte sono scomposti in blocchi già rifiniti da assemblare mediante diverse tecniche di ancoraggio, dopo aver terminato il rustico⁴⁸.

Fig. 10 - Pubblicità della società italiana e società anonima in una pubblicazione sulla rivista "Il cemento" nel 1920.



2.2.2 Brevetti, riviste di settore e manuali

Dalla consultazione delle riviste di settore, della manualistica dell'epoca e soprattutto dei brevetti, emergono alcuni richiami al cambiamento che inizia a manifestarsi nella pratica costruttiva italiana e soprattutto nell'attenzione verso i nuovi materiali e le tecniche costruttive. I brevetti⁴⁹, conservati presso l'Archivio Centrale dello Stato

⁴⁶ ILG U., 2002, pp.177-180.

⁴⁷ CAVALLINI C., CHIMENTI C., 1996, pp. 110-113. Le lavorazioni in opera sono trattate nello specifico nel paragrafo "2.5.1 Esecuzione fuori opera" del lavoro.

⁴⁸ CARRAIA F., 1999, p. 49.

⁴⁹ In particolare, sono stati studiati i brevetti relativi agli impasti cementizi registrati nei primi venti anni del XX secolo.

di Roma, dimostrano come ci sia una grande sperimentazione di leganti cementizi e conglomerati. Alcuni di questi documenti forniscono importanti informazioni riguardo a nuovi aggregati e additivi, menzionando le possibilità di impiego e le proporzioni ideali per ottenere validi conglomerati. Dalla consultazione di questi documenti, si evince come gli studi e le innovazioni riguardanti le miscele siano continui e costanti, con l'intento di migliorare le qualità dei prodotti finali.

Un esempio della continua evoluzione delle sperimentazioni, di seguito riportato, è dato da due brevetti, rintracciati presso l'Archivio Centrale dello Stato e risalenti entrambi al 1902. Dal primo si apprende che i professionisti sperimentano nuovi materiali (ma non ancora impasti cementizi) per ovviare alle problematiche riguardanti gli alti costi e le difficoltà di escavazione e lavorazione delle pietre naturali. Dal secondo brevetto, risalente alla fine dell'anno 1902, si desume che la soluzione brevettata, per ovviare alle stesse problematiche, è stata trovata negli impasti cementizi.

Nello specifico, ad aprile 1902 risale il brevetto⁵⁰, presentato a Torino dal Sig. Cesare Spazzi, relativo ad un "nuovo materiale per getti ed impressioni ad uso delle arti decorative". Dalla descrizione contenuta all'interno del brevetto si può evincere che il materiale impiegato in alternativa allo stucco, comunemente utilizzato fino a quel momento, è un composto costituito da fogli di carta bagnati con pasta d'amido, gomma o colla. Ciò dimostra come, fino a questo momento, continuano ad essere brevettate miscele alternative per ovviare ai problemi di pesantezza, fragilità e costi elevati dello stucco e della pietra naturale.

Nel dicembre dello stesso anno viene presentato un brevetto⁵¹ dalla Ditta Fratelli Micheli Piacenza, che descrive un "nuovo metodo di produzioni piane policrome ornamentali figurative in cemento", nel quale compare l'uso del cemento per la realizzazione di elementi decorativi e di cui viene data anche una accurata descrizione delle fasi di lavorazione (creazione dello stampo, formatura e stagionatura) per l'ottenimento dell'elemento architettonico desiderato.

Attraverso l'indagine attenta della manualistica d'inizio secolo, inoltre, è possibile determinare i materiali sperimentati e immessi sul mercato e le terminologie diffuse all'epoca.

Tra i più noti ed utilizzati all'epoca vi è il *Manuale dell'architetto* redatto dall'ing. Daniele Donghi⁵², nel 1906, che descrive, oltre ai materiali in uso all'epoca, anche le pratiche di cantiere per poterli mettere in opera.

Al 1913 risale il trattato di Gino Sylva⁵³, intitolato "I cementi: caratteri e proprietà applicazioni processi di fabbricazione", utile per verificare le conoscenze sull'argomento note fino a quell'anno; nel 1915 l'ingegnere Luigi Mazzocchi pubblica un manuale intitolato "Calce e Cementi. Norme pratiche ad uso di ingegneri, architetti, costruttori, capimastri ed assistenti di fabbrica"⁵⁴, in cui descrive alcune caratteristiche fisiche e chimiche delle calce, dei cementi e dei calcestruzzi, le loro componenti, i tipi di impasti e i relativi procedimenti produttivi e infine le diverse applicazioni in ambito costruttivo.

Sempre nel 1915 viene diffuso il ricettario industriale redatto da Italo Gheresi⁵⁵, che offre una panoramica dei prodotti in uso nel primo decennio del Novecento, con l'elenco di pregi e difetti di ciascuno di essi. Nel 1945 il suo manuale viene aggiornato da Valerio Leonida⁵⁶, che amplia il numero di prodotti trattati da Gheresi, alla luce delle ultime innovazioni, e dettaglia maggiormente quanto esposto in precedenza. Tra i motivi che favoriscono l'inizio di una più concreta diffusione dell'uso degli impasti cementizi, tra le maestranze e i tecnici, si possono annoverare la nascita di

⁵⁰ ACS Roma, MICA, UIBM, Serie Invenzioni, brevetto num. 63323.

⁵¹ ACS Roma, MICA, UIBM, Serie Invenzioni, brevetto num. 66348.

⁵² DONGHI D., 1906.

⁵³ SYLVA G., 1913.

⁵⁴ MAZZOCCHI L., 1915.

⁵⁵ GHERSI I., 1915.

⁵⁶ LEONIDA V., 1945.

numerose riviste di settore e l'organizzazione delle note Esposizioni Universali. In Italia nel 1890 vengono pubblicate per la prima volta *l'Arte Utile e l'Arte Italiana decorativa e industriale* (1890-1914), nel 1895 *l'Edilizia Moderna*, nel 1902 *l'Arte decorativa moderna*, nel 1905 *l'Architettura italiana*⁵⁷; a partire dal dicembre 1894 viene diffuso il giornale d'architettura *Il monitore tecnico* (che rimarrà in commercio fino al 1945; dopo una pausa di alcuni anni in concomitanza agli eventi bellici, verrà nuovamente pubblicato a partire dal 1948 con il titolo *Il monitore tecnico e della ricostruzione*; cambierà titolo in seguito alla fusione con *Metano e ricostruzione*), sulle cui pagine è possibile ritrovare le descrizioni relative a costruzioni che seguono il nuovo linguaggio e articoli sulle più innovative tecniche costruttive. La rivista *Il Cemento*, fondata nel 1904 (più tardi, nel 1924, verrà rinominata *Il cemento armato* e nel febbraio del 1936 diverrà *Il cemento armato - Le industrie del cemento*), rappresenta una fonte preziosa di informazioni sulla composizione e la produzione dei diversi tipi di impasti cementizi.

Le Esposizioni Universali, organizzate fin dalla metà del XIX secolo (la prima è l'Esposizione Universale di Londra, allestita nel 1851 al Crystal Palace in Hyde Park e nota anche come *Great Exhibition of the Works of Industry of all Nations*)⁵⁸ svolgono un ruolo significativo per la diffusione del nuovo linguaggio architettonico e figurativo. Per quanto riguarda l'affermazione dell'Art Nouveau in gran parte dei paesi dell'Europa occidentale, l'Esposizione Universale di Parigi, tenutasi nel 1900, rappresenta un momento fondamentale; tuttavia l'apporto dell'Italia risulta alquanto modesto, poiché la gran parte degli artigiani italiani presentano per lo più mobili e arredi in stile neoclassico, riscuotendo scarso successo rispetto alle innovazioni presentate dagli altri paesi europei⁵⁹. Solo nel 1902, con *l'Esposizione Internazionale d'Arte Decorativa Moderna* tenutasi a Torino, viene presentato da numerosi tecnici europei un importante numero di invenzioni e sperimentazioni legate all'uso degli impasti cementizi con funzione decorativa e strutturale; l'intento della manifestazione, diretta da Leonardo Bistolfi, è di spronare, attraverso il confronto con il resto dell'Europa, i tecnici e gli artisti italiani a far emergere un vero rinnovamento della forma dalle loro opere⁶⁰.

Grazie alle sperimentazioni presentate e divulgate con le esposizioni universali e le riviste specialistiche, inizia finalmente a diffondersi la curiosità, da parte di tecnici e professionisti, verso nuovi prodotti realizzati con impasti cementizi. Tali composti innovativi sembrano ovviare alle numerose problematiche che si presentano sul campo e che risultano legate principalmente ai costi e alla difficoltà di acquisto e lavorazione della pietra naturale. L'introduzione degli impasti cementizi, infatti, comporta un vero e proprio ribaltamento tecnologico, in quanto consente la semplificazione del processo di produzione e una importante riduzione dei costi. Inoltre, tale materiale permette di superare il concetto di decorazione per sovrapposizione alla struttura, e di trasformarla in elementi decorativi di fatto anche strutturali, come nel caso di architravi, cornicioni e colonne⁶¹. Inoltre l'impasto cementizio si rivela un composto più duro ed omogeneo in tutto lo spessore, rispetto agli impasti di sola calce: tale durezza significa possibilità di operare sulla superficie, di realizzare finiture incisive (come la sabbiatura o la martellinatura) senza provocare sfaldamenti eccessivi della massa cementizia. Inoltre, l'assenza di gelività del cemento rende più duratura e stabile la forma decorativa, rispetto, per esempio, ai materiali lapidei naturali (si pensi all'arenaria), rendendo preferibile un materiale artificiale ad uno naturale, già per il solo costo di manutenzione.

Questa sostituzione graduale dei materiali comporta, parallelamente, anche la progressiva sostituzione nelle operazioni di cantiere dello scalpellino in favore della

⁵⁷ MOCHI G., PREDARI G., 2012, pp. 14-41.

⁵⁸ AIMONE L., OLMO C., 1990, p. 45.

⁵⁹ BROSIO V., 1967, pp. 25-26.

⁶⁰ BROSIO V., 1967, p. 38.

⁶¹ ANGELUCCI G., *Contributi metodologici e critici per il catalogo dell'architettura liberty nelle Marche*, in BOSSAGLIA R., CRESTI C., SAVI V. (a cura di), 1976, pp. 193-204.

moderna figura del cementista. I mutati sistemi di costruzione, infatti, impongono un'estensione della produzione fuori opera ad un maggior numero di elementi architettonici: frontalini, scale, finestre, paraste, marcapiani vengono sottratti al lavoro artigianale dello scalpellino, per essere inglobati in un ciclo di produzione meccanica sempre più diffuso.

QUESTIONI TERMINOLOGICHE

Numerosi sono i termini adoperati per l'impiego di impasti cementizi in campo costruttivo; ne sono un esempio la *pietra artificiale* o *marmo artificiale*, le *decorazioni in cemento* e il *cemento artistico*. In effetti, un manufatto realizzato in materiale lapideo artificiale potrebbe essere definito come pietra artificiale, per distinguerlo dalla pietra naturale. Tuttavia tale termine viene adoperato principalmente perché l'obiettivo è perlopiù di imitare un lapideo naturale; l'uso dell'impasto, in questo caso, assume un significato mimetico.

Occorrerebbe, però, affiancare la valenza espressiva che il cemento acquisisce per le sue caratteristiche plastiche e la sua resistenza meccanica. Infatti, quando un manufatto a base di cemento Portland, lisciato e sagomato, realizzato in opera o fuori opera, concorra alla definizione dell'apparato decorativo e diviene rilevante la riproduzione di una forma a discapito dell'aspetto, in tal caso sarebbe più appropriato utilizzare i termini *decorazione in cemento* o *cemento artistico* o *cemento decorativo*.

2.3 ELEMENTI COSTITUTIVI DEGLI IMPASTI CEMENTIZI

Le proprietà dell'impasto sono strettamente connesse ai parametri della composizione. Oggi si fa riferimento a grafici e tabelle, per studiare la variazione delle proprietà in rapporto ai dosaggi e ai componenti dell'impasto. Si ricorre dunque al *mix-design*, o progetto della miscela, per calcolarne la composizione a partire dalle prestazioni richieste e dalle caratteristiche delle materie prime disponibili⁶².

La prima scelta da compiere è relativa alla dimensione dell'aggregato; scegliere una dimensione maggiore permette di migliorare le caratteristiche della miscela, tuttavia nel momento in cui sono molto grandi possono inficiare la lavorabilità del materiale. Successivamente si passa alla definizione del tipo di lavorabilità che si vuol conferire all'impasto, che dipende ovviamente dal tipo di costruzione e compattazione di cui si necessita, tenendo sempre presente che una miscela più lavorabile è anche più affidabile. Poi si passa al contenuto d'acqua d'impasto, da stabilire in base alla lavorabilità, al diametro massimo dell'aggregato, ma anche all'umidità degli inerti e all'eventuale aggiunta di additivi fluidificanti.

Molto importante per il *mix-design* è la definizione della resistenza a compressione, connessa alla resistenza media del legante e messa in relazione con il rapporto a/c ⁶³. Da quest'ultimo dipende un altro fattore, cioè la durabilità del materiale; in ultimo occorre valutare il volume. Questi valori, messi in relazione con la quantità d'acqua presente nell'impasto, aiutano a definire le corrette proporzioni tra i vari componenti, in modo da variarle al fine di ottenere l'impasto ottimale⁶⁴.

Agli inizi del Novecento, il concetto di *mix-design* non esiste e la miscela cementizia viene confezionata seguendo l'esperienza degli operai e dei muratori che lavorano nei cantieri. Tuttavia i concetti sopra esposti, ovvero l'importanza della dimensione dell'aggregato, il rapporto acqua/cemento, la lavorabilità della miscela e la sua resistenza e durabilità, sono alla base della determinazione dei componenti dell'impasto e, in rapporto agli usi a cui è destinato, tali componenti vengono modificati e dosati in idonee proporzioni.

In linea generale vengono impiegati cemento (legante idraulico), sabbia, ghiaia e pietrisco (aggregati), pigmenti e acqua.

La dimensione degli aggregati impiegati è condizionata da una maggiore o minore

⁶² COLLEPARDI M., COLLEPARDI S., TROLI R., 2008, pp. 1-2.

⁶³ *Ivi*, pp. 3-9.

⁶⁴ ALUNNO ROSSETTI V., 2007, pp. 279-290.

definizione del particolare della decorazione architettonica. Nella maggior parte dei casi si riscontra l'uso di miscele cementizie classificabili come malte, poiché prevedono l'uso di aggregati di media o piccola granulometria; soltanto in casi eccezionali l'elemento decorativo è realizzato con miscele di aggregati più grossi, che li caratterizzano come veri e propri conglomerati cementizi. Soprattutto nei casi di elementi decorativi ottenuti per mezzo di forme e stampi, che presentano spigoli vivi o forme molto articolate, si riscontra l'uso di miscele con aggregati fini, se non addirittura in polvere, per permettere una migliore adesione allo stampo⁶⁵. Le quantità di materiale da riempimento (solitamente graniglia di marmo o sabbia) mescolate al cemento ricorrono nei manuali, in rapporto di 1:2 o 1:3⁶⁶.

Non è raro trovare, all'interno delle riviste tecniche, il dosaggio dei singoli ingredienti per ottenere un buon impasto: «*si consiglia di mescolare una parte di cemento con quattro di sabbia, per avere un impasto magro, privo di screpolature in fase di indurimento*»⁶⁷. Molto presto si notano anche gli effetti nocivi dell'impiego di eccessive quantità di acqua nell'impasto e si invita quindi a non abusarne: «*È stato riconosciuto da qualche tempo che le screpolature aumentano coll'aumentare delle quantità di acqua e infatti, più grande è tale quantità e maggiore è la quantità di cemento che, per l'assorbimento atmosferico, verrà trasportata alla superficie*»⁶⁸.

Il rapporto acqua/cemento varia tra 0.5 e 1, come dimostra la tabella che riporta le quantità presenti nelle miscele, secondo i fratelli Pesenti.

Tab. 2 - Tabella estratta da "Il Cemento", n. 7, 1914, pp. 114-115.

CEMENTO (KG)	SABBIA (LT)	GHIAIA (LT)	ACQUA (LT)	TIPOLOGIA
400	370	740	210	impermeabile
350	390	780	200	impermeabile
300	410	820	195	impermeabile
250	430	870	185	impermeabile
200	450	900	180	permeabile
150	455	910	175	permeabile

Per quanto riguarda il legante della miscela, vale la pena riportare la seguente citazione tratta dalla rivista "Il Cemento", per cogliere l'importanza attribuita, all'epoca, alla durezza e alla apparente durabilità del cemento. Tali aspetti hanno favorito la fortuna del cemento in quegli anni.

«*La pietra artificiale a base di cemento presenta in confronto alle altre pietre grandi vantaggi nelle applicazioni costruttive e riesce sovente a sostituire in modo perfetto le stesse pietre naturali con grande economia della costruzione. Una delle cause principali cui è dovuta la convenienza delle pietre artificiali è quella della facilità di foggiarle e modellarle come si vuole con pochissima spesa. A questa va unito poi il fatto importantissimo che le pietre artificiali cementizie resistono molto bene all'azione atmosferica. È dunque naturale che si estendano le applicazioni delle pietre cementizie, tanto più che in molti casi si possono fabbricare sul cantiere stesso dove verranno poste in opera, con risparmio di tempo e di presa. [...] [Con il cemento] si riuscì non solamente ad imitare alcune pietre naturali in modo così perfetto da illudere l'occhio più esercitato, ma anche si ebbe la prova del fatto che questa somiglianza perfetta doveva mantenersi inalterata col tempo*»⁶⁹.

Agli inizi del secolo, il cemento utilizzato con maggiore frequenza è il cemento Portland con la sua tipica colorazione grigia; tuttavia esistono sul mercato diversi tipi di

⁶⁵ *Il Cemento*, anno IV, n. 1, 1907, pp. 291-295.

⁶⁶ *Il Cemento*, anno VII, n. 23, 1910, pp. 17-18.

⁶⁷ *Ibidem*.

⁶⁸ *Il Cemento*, anno IV, n. 1, 1907, pp. 16-17.

⁶⁹ *Il Cemento*, anno V, n. 1, 1908, pp. 17-18.

leganti, che si differenziano tra loro per caratteri morfologici, fisici e chimici. Un articolo pubblicato su "Il Cemento" del 1904 fornisce una classificazione dei materiali idraulici, così descritti: «alla categoria delle calci, dei cementi e dei portland naturali, devono appartenere tutti i prodotti che risultano dalla cottura più o meno spinta di calcari naturali argillosi o silicei; mentre a quella degli artificiali devono appartenere non solo tutti i prodotti che fanno riscontro ai naturali [...], ma anche i prodotti che risultano dalle opportune miscele intime che si effettuano anche dopo la cottura. Ne deriva che le scorie, le pozzolane, ecc., opportunamente trattate e mescolate, trovano nella categoria degli artificiali il loro giusto posto nella classe media dei cementi, alle quali fanno riscontro nei naturali i cementi di grappiers. I grappiers formano, per le loro proprietà, una specie di transizione tra le calci e i portland [...]»⁷⁰.

Di seguito si riporta la classificazione presente sulla rivista che fornisce un quadro generale dei leganti esistenti sul mercato nei primi anni del secolo.

Fig. 11 - Tabella estratta da: *Il Cemento*, anno I, n. 2, 1904, pp. 34-35.

CLASSIFICAZIONE		COLORE	RESIDUO SULLA TELA		PESO specifico	COMPOSIZIONE CHIMICA PERCENTUALE							
			900 fori per cmq.	4000 fori per cmq.		PESO, minimo di 1 litro	Perdita al fuoco	Silice	Allumina e Ferro	Calce	Magnesia	Acido solforico	
Prodotti naturali	Calci idraul.	Calci mediamente idraul.	giallognolo	in pezzi	in pezzi	da 2,70 a 2,80	—	2% circa	da 10 a 15	da 6 a 10	da 80 a 70	3 massimo	2 massimo
		" idr. propriam. ^{te} dette	id.	id.	id.	id.	—	id.	da 15 a 20	da 9 a 12	da 70 a 60	id.	id.
	Cementi argillosi	Calci mediamente idraul.	giallo chiaro con tendenza al grigio	da 5 a 15%	da 25 a 35%	da 2,5 a 2,6	da Cg. 0,600	da 15 a 10	da 10 a 15	da 1 a 3	da 70 a 65	id.	id.
		" idr. propriam. ^{te} dette	id.	id.	id.	da 2,6 a 2,7	a	da 12 a 10	da 15 a 20	da 2 a 4	da 65 a 60	id.	id.
	Cementi silicei	" eminentemente idr.	id.	id.	id.	da 2,7 a 2,8	Cg. 0,850	da 12 a 8	da 20 a 28	da 3 a 6	da 60 a 55	id.	id.
		Cementi a rapida presa	giallognolo	da 19 a 20%	id.	da 2,8 a 3	da Cg. 0,700	5% circa	da 20 a 26	da 12 a 15	da 50 a 60	id.	3 massimo
	Cementi argillosi	" a presa semi-rap.	giallo scuro	id.	id.	id.	a	3% "	id.	id.	id.	id.	id.
		" a presa lenta	rosse matite	id.	id.	da 2,7 a 2,9	Cg. 0,900	5% "	26 minimo	15 minimo	60 massimo	id.	id.
	Cementi silicei	Cementi bianchi grappiers	grigio chiaro	zero	da 5 a 15%	da 2,8 a 3	da Cg. 0,900	8% mass.	da 24 a 30	da 1 a 3	da 60 a 70	id.	2 massimo
		" grigi	grigio	id.	id.	id.	a Cg. 1	id.	id.	da 2 a 6	id.	id.	id.
Portland	Portland argillosi	grigio scuro	5% al mass.	da 20 a 30%	da 3 a 3,175	da Cg. 1 a 1,150	5% mass.	da 20 a 23	da 9 a 12	da 58 a 67	id.	id.	
	Portland silicei	grigio meno scuro	id.	id.	da 3 a 3,150	da Cg. 1 a 1,150	id.	da 23 a 27	da 6 a 9	id.	id.	id.	
Calci idrauliche (come le naturali).													
Prodotti artificiali	Cementi	Cementi a presa rapida											
		" " semi-rap.											
	Cementi argillosi	" misti											
		" di pozzolane	varia	zero	massim. 5%	da 2,5 a 2,70	da 0,70 a 0,85	da 6 a 15%	da 30 a 40	da 15 a 25	da 20 a 40	id.	4 massimo
	" di scorie	id.	id.	15%	da 2,60 a 2,80	da 0,80 a 0,90	da 5 a 10%	da 20 a 30	da 14 a 20	da 40 a 50	id.	id.	
Portland	Cementi silicei	Cementi misti											
	Portland argillosi	grigio scuro	5% massim.	da 20 a 30%	da 3 a 3,175	da 1 a 1,50	5% mass.	da 20 a 23	da 9 a 12	da 58 a 67	id.	2 massimo	
Portland silicei	grigio meno scuro	id.	id.	da 3 a 3,150	id.	id.	da 23 a 26	da 6 a 9	id.	id.	id.		

Nel 1909⁷¹ viene immesso sul mercato un Portland di colore bianco, meno costoso rispetto ai calcari silicei naturali, ma per impieghi limitati ai soli aspetti decorativi. La vivace sperimentazione per ottenere, con procedimenti pratici, il Portland bianco, accomuna molte degli esperimenti italiani, e più in generale europei, dell'epoca. Nel 1911 il dott. Schott definisce le materie prime da impiegare per ottenere del cemento bianco: «Le materie prime sono dei calcari senza ferro, contenenti oltre al carbonato di calcio, una sabbia calcarea bianca, dei cristalli di spato e un'argilla bianca [...]»⁷².

Tra le varie sperimentazioni, per ottenere cementi di gradevole aspetto estetico da

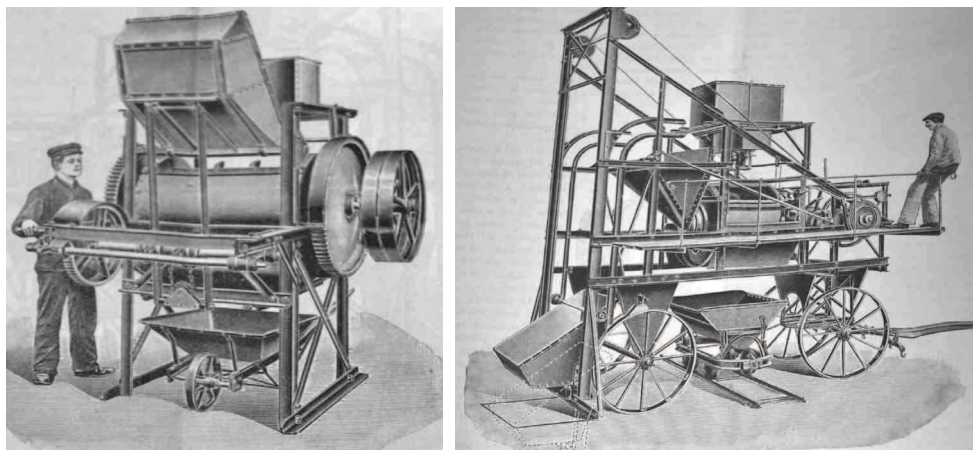
⁷⁰ *Il Cemento*, anno I, n. 2, 1904, pp. 33-34.
⁷¹ *Il Cemento*, anno VI, n. 13, 1909, pp. 202-203.
⁷² *Il Cemento*, anno VIII, n. 7, 1911, pp. 110-111.

impiegare nelle decorazioni, si diffonde l'uso del cemento di magnesia; questo legante è composto da magnesia calcinata [ossido di magnesio], fino al 90% della massa totale, mescolata con altre sostanze, come polvere di quarzo o polvere di ardesia, e una soluzione di cloruro di magnesio. La malta risultante indurisce rapidamente divenendo una pietra.⁷³ Il cemento di magnesia presenta ottime caratteristiche estetiche, ma ben presto manifesta la sua scarsissima durabilità all'azione del tempo⁷⁴.

Le modalità di esecuzione degli impasti di cemento comportano, rispetto agli impasti di calce adoperati fino a quel momento, una sostanziale modifica nella lavorazione ed applicazione: l'impasto, infatti, tende ad indurire nel momento in cui viene lasciato a riposo durante la fase di messa in opera sul manufatto; per questo motivo obbliga ad effettuare più fasi di impasto, limitate a brevi periodi di applicazione. Per assolvere a questa esigenza di cantiere, si fa strada la redazione di facciate secondo il disegno delle bugne, che permette continue interruzioni nell'esecuzione dell'opera senza pregiudicare il risultato finale.

Per ovviare al problema dell'indurimento dell'impasto, si rivelano utili le prime betoniere meccaniche che permettono di mescolare in maniera continua l'impasto, ottenendo un prodotto più omogeneo. In questo modo si può evitare di modificare la tempistica del lavoro, di aggiungere continuamente acqua (finendo con il ridurre la resistenza meccanica) o di rifare più volte l'impasto, con il rischio di non ottenerne uno uguale al precedente. In queste macchine «il recipiente in cui si opera il miscuglio ha forma di un tamburo aperto nella parte superiore e può essere girato attorno al suo asse per essere vuotato. [...] Lo scarico del materiale avviene per mezzo di una specie di botola che si apre e si chiude facilmente. [...] Le palette mescolatrici sono munite alle loro estremità da ferri chiodati che possono essere cambiate con poca spesa. [...] I piccoli modelli possono essere manovrati a braccia e servono alla fabbricazione del calcestruzzo impiegato nella confezione degli oggetti in cemento. Per la fabbricazione del calcestruzzo vi sono mescolatori prodotti dalla Germania, in cui le materie sono sollevate continuamente dal tamburo e ricadono altrettante volte per mescolarsi più intimamente»⁷⁵.

Figg. 12 e 13 - Immagini di betoniere meccaniche per piccoli e grandi getti, estratte da: *Il Cemento*, anno I, n. 2, 1904, pp.149-150.



Per quanto attiene i rivestimenti superficiali, i tipi di impasto che ricorrono più spesso sono costituiti da cemento, sabbia, calce e pigmenti di varie qualità⁷⁶; mentre, per quanto riguarda gli elementi decorativi, le riviste propongono l'impiego di una

⁷³ *Il Cemento*, anno VI, n. 14, 1909, p. 219; *Il Cemento*, anno VIII, n. 3, 1911, pp. 43-44.

⁷⁴ Il cemento di magnesia e il cemento bianco sono approfonditi nei paragrafi successivi.

⁷⁵ *Il Cemento*, anno I, n. 2, 1904, pp. 149-150.

⁷⁶ *Il Cemento*, anno VII, n. 24, 1910, p. 23: «La presenza di calce nell'impasto è utile soprattutto quando vi è un'alta percentuale di umidità; aggiungendo all'impasto circa il 5% di calce viva del perso del cemento, si ha una migliore resa della miscela senza diminuire la resistenza complessiva».

miscela formante lo strato superficiale costituito da 1 parte di cemento Portland e 1/2 parti di sabbia, e la parte interna da 1 parte di cemento e 4 parti di ghiaietta mista a sabbia⁷⁷. Quando l'impasto indurisce, la forma ottenuta viene lasciata circa otto giorni in ambiente umido, mentre gli impasti con cemento bianco vengono lavati con acido cloridrico diluito con acqua, nelle proporzioni di 1:4, e poi risciacquati⁷⁸. Tali procedure possono essere eseguite a mano, in cantiere, oppure a livello industriale attraverso i processi di rimescolamento e lavorazione meccanici.

La colorazione dell'impasto si può ottenere, oltre che con la varietà delle sabbie, anche per mezzo di pigmenti naturali in polvere: i componenti di origine vegetale non sono sufficientemente resistenti poichè influenzati chimicamente dalle materie componenti il cemento; perciò nei formulati, ricorrono i colori minerali⁷⁹. Le varietà di cromie sono ampiamente descritte nelle pubblicazioni dell'epoca: «*Il nerofumo è la materia principale per oscurire; in ragione della forte intensità e della finezza delle particelle produce un forte contrasto. Per chiarire alquanto il colore, il miglior materiale che si adopera è la calce. La serie di colori [...] è limitata al rosso, azzurro e nero. [...] Il rosso e il nero possono soltanto essere usati nelle tinte sbiadite poichè usandoli in una quantità superiore al 5% in peso, alterano fortemente la resistenza della massa. L'azzurro scuro si ottiene mescolando un poco di nerofumo e molti nero comune*»⁸⁰.

2.4 COMPOSIZIONI E LEGANTI BREVETTATI

2.4.1 Cemento Portland

Il cemento Portland, di origine inglese, noto oggi come una miscela di clinker⁸¹ e gesso bi-idrato, appare fin dall'inizio come il migliore dei cementi, un «*materiale essenzialmente moderno*»⁸². In Italia la maggior parte delle imprese produttrici di cemento, in special modo la ditta dei Fratelli Pesenti, si concentrano sulla ricerca di calcari marnosi selezionati e la messa a punto di macchinari e processi di cottura e lavorazione adeguati ad ottenere tale materiale come cemento naturale, ma anche prodotto artificialmente sul modello dei procedimenti esteri⁸³.

A partire dagli anni Ottanta dell'Ottocento la ditta Pesenti lavora sulla definizione del processo di preparazione del Portland⁸⁴, ma solo attorno alla metà degli anni Novanta ha inizio la vera e propria produzione del Portland, che Cesare Zamboni, chimico della ditta e fra i principali esperti del cemento dell'epoca, nel suo saggio del 1901 definisce come «*il prodotto della cottura spinta sino a cominciamento di vetrificazione, di una miscela intima, in proporzioni convenienti di carbonato di calce e d'argilla; la miscela deve essere fisicamente e chimicamente omogenea in tutte le sue parti. Sotto il nome d'argilla si suol intendere l'insieme della silice, allumina e sesquiossido di ferro*»⁸⁵.

La manualistica di primo Novecento traduce gli studi esteri in materia di impasti e ne permette la diffusione e la conoscenza nel nostro paese. Per avere una dettagliata descrizione delle prime formulazioni del Portland in Italia, è possibile fare riferimento ai manuali dell'epoca ed in particolare a quello pubblicato da Luigi Maz-

⁷⁷ *Il Cemento*, anno V, n. 1, 1908, p. 18-19.

⁷⁸ *Il Cemento*, anno VI, n.13, 1909, p. 202-203.

⁷⁹ *Il Cemento*, anno VII, n. 23, 1910, p. 18-19.

⁸⁰ *Il Cemento*, anno VII, n. 24, 1910, p. 24.-25.

⁸¹ Il clinker è ottenuto per cottura intorno a 1450°C di miscele di calcare e argilla, con l'eventuale aggiunta di altri componenti nel caso della produzione di cementi speciali.

⁸² MAZZOCCHI L., 1895, p. XII.

⁸³ GORIA C., *Evoluzione storica dei leganti e dei conglomerati dall'empirismo alla loro conoscenza razionale*, in GORIA C., CUSSINO L., BORASI V., 1976, pp. 11-80.

⁸⁴ FUMAGALLI C., 1964, pp. 13-32.

⁸⁵ ZAMBONI C., 1901, pp. 22-30.

zocchi nel 1895, intitolato “Calci e cementi”.

Egli distingue innanzitutto il cemento a rapida presa, in cui riconosce la formulazione del “roman cement”⁸⁶, dal cemento a lenta presa, che identifica con il cemento Portland. Quest’ultimo è ritenuto da Mazzocchi «*superiore al cemento a presa rapida, per la sua più facile e sicura applicazione e per le maggiori garanzie, essendo la sua fabbricazione soggetta a norme rigorose che assicurano la bontà del prodotto*»⁸⁷.

Mazzocchi riporta la composizione del Portland, facendo riferimento ai dosaggi stabiliti da Candlot⁸⁸, che ne definisce la composizione chimica. La validità di quanto riportato nel manuale è facilmente dimostrabile, confrontando una comune analisi⁸⁹ effettuata per definire la composizione del cemento Portland, con i valori stabiliti da Candlot.

Tab. 3 - In tabella sono confrontate le composizioni di un comune cemento Portland così come rilevate da Candlot alla fine dell'Ottocento, con le analisi ottenute con gli strumenti odierni (si riportano i risultati di comuni analisi presenti nel testo: ALUNNO ROSSETTI V., 2007, p. 6.

COMPOSIZIONE DI CANDLOT		COMPOSIZIONE OGGI NOTA	
Calce [CaO]	58.12/67.31	Calce [CaO]	62,74
Silice [SiO ₂]	20.30/26.10	Silice [SiO ₂]	21,27
Allumina [Al ₂ O ₃]	5.20/10.60	Allumina [Al ₂ O ₃]	6,01
Ossido di ferro [Fe ₂ O ₃]	2.10/5.30	Ossido di ferro [Fe ₂ O ₃]	2,73
Magnesia [MgO]	0.33/2.30	Magnesia [MgO]	1,84
Acido fosforico [H ₃ PO ₄]	0.26/1.78	Biossido di titanio [TiO ₂]	0,21
		CaO libera	0,46
		Ossido di azoto [Na ₂ O]	0,34
		Ossido di potassio [K ₂ O]	0,51
		Anidride solforica [SO ₃]	1,84

Mazzocchi dà una descrizione anche dell’aspetto del materiale, definendo per il Portland un colore “grigio scuro azzurrognolo”. «*La finezza di un cemento è condizione essenziale perchè dia buoni risultati; più la polvere è fine e maggiori risultano le particelle attive del cemento che entrano in funzione*»⁹⁰. Il manuale stabilisce anche i caratteri che un cemento dovrebbe avere per risultare un “buon Portland”: «*impastato con acqua esso non deve né scaldarsi, né gonfiarsi. Indurito deve presentare una massa compatta, omogenea, a tinta uniforme, di aspetto lapideo, non sensibile a sbalzi di temperatura, nè alterabile all’azione dei geli. Coll’aggiunta di sabbia il Portland ritarda la presa. Esso può impiegarsi senza danno anche d’inverno, non facendo il gelo che sospendere momentaneamente la presa. [...] Usato molto diluito per iniezioni nei vani nascosti di un masso murale, rigetta poi l’acqua in eccesso senza impoverimento della miscela; ciò che non avviene del cemento a rapida presa, il quale trattato con molta acqua si snerva*»⁹¹. Nei lavori marittimi il Portland è riconosciuto come il materiale più adatto, per le sue proprietà che hanno reso attuabili lavori fino a quel momento non realizzabili.

Mazzocchi riporta le caratteristiche essenziali dei tre tipi di Cementi Portland italiani prodotti presso il cementificio di Casale Monferrato e presenti sul mercato all’epoca

⁸⁶ Riferimento al paragrafo 2.1 “Le sperimentazioni tra XIX e XX secolo” del lavoro.

⁸⁷ MAZZOCCHI L., 1895, p. 76.

⁸⁸ Edouard Candlot, chimico dell’Ottocento, pubblica i suoi studi sui cementi nel volume: *Ciments et Chaux Hydrauliques: Fabrication, proprièts, emploi*, 1898.

⁸⁹ A titolo di esempio si veda analisi di cemento Portland ripresa da: ALUNNO ROSSETTI V., 2007, p. 6.

⁹⁰ MAZZOCCHI L., 1895, p. 78.

⁹¹ MAZZOCCHI L., 1895, p. 83.

della redazione del manuale.

QUALITÀ	COLORE	PESO APPARENTE DI 1 LITRO	RESISTENZA A TRAZIONE	
			CEMENTO PURO	MALTA 1:3
1	Bigio scuro	K.1.18 a 1.30	K. 40 a 50	K. 25 a 30
2	Bigio	K.1.15 a 1.25	K. 30 a 40	K. 20 a 25
3	Bigio chiaro	K.1.10 a 1.20	K. 18 a 25	K. 10 a 20

Tab. 4 - I tre tipi di cementi Portland prodotti nel cementificio di Casale Monferrato alla fine dell'Ottocento.

Il cemento Portland è impiegato nell'impasto, insieme a sabbia e acqua, per ottenere le malte di Portland impiegate per realizzare murature, intonaci ed elementi decorativi. I dosaggi che ricorrono nel manuale, per ottenere prodotti da impiegare su "muri ordinari all'aria", sono di 1 parte di cemento e 3 parti di sabbia, mentre per "muri all'umido o nell'acqua" si preferisce impiegare 1 parte di cemento e 2 di sabbia. In ultimo, il Portland trova larga applicazione nel confezionamento di calcestruzzi «per il suo basso prezzo, per la facilità di confezione e applicazione e per gli ottimi risultati di resistenza che presenta, trascorso qualche mese della messa in opera; i calcestruzzi di Portland hanno in taluni lavori, in cui occorra grande celerità e una forte resistenza iniziale, una importanza che deve essere segnalata ai costruttori affinché ne sappiano trarre profitto. Così nei lavori idraulici di grande impegno, nei lavori marittimi subacquei, nelle opere fortificative; il calcestruzzo Portland è veramente il materiale tipico»⁹².

QUALITÀ DEI LAVORI	MALTA		CEMENTO PER 1 MC DI CLS
	SABBIA	CEMENTO	
Lavori marittimi e di fortificazione	mc. 1	k. 1000	k. 416
Lavori idraulici in genere	mc. 1	k. 500	k. 245
Lavori usuali	mc. 1	k. 200	k. 110
Lavori economici	mc. 1	k. 150	k. 85

Tab. 5 - Impasti per le applicazioni più comuni estratti da: L. Mazzocchi, 1895, p. 103.

Fino agli anni quaranta del Novecento la produzione di cemento Portland artificiale avviene attraverso varie fasi⁹³: estrazione delle materie prime, raffinazione, preparazione della miscela cruda, cottura e macinazione. La fase principale, oltre la cottura, è la preparazione della miscela che può avvenire secondo due diversi processi per "via umida" e per "via secca", adoperati fin dalla seconda metà dell'Ottocento. A seconda che il trattamento delle materie prime segua il metodo per via umida o per via secca, le qualità della miscela devono essere molto diverse: per un procedimento secco, le materie prime devono essere molto pure e omogenee, il metodo umido invece permette l'impiego di calcari e argille contenenti anche materiali non convenienti, i quali vengono trattenuti nell'impianto di "spappolamento". Il processo per via umida⁹⁴ è il primo sperimentato, il più semplice e meno costoso, e consiste nel disperdere la miscela di materie prime in un 35-40% di acqua (i primi procedimenti prevedono anche dispersioni in 50-60%), all'interno di appositi spappolatori; la sospensione ottenuta viene selezionata attraverso il passaggio in una serie di vagli e successivamente spostata all'interno di un miscelatore, dove si lascia decantare e successivamente essiccare.

⁹² MAZZOCCHI L., 1895, p. 102.

⁹³ Oggi i processi sono essenzialmente quattro: processo a via secca; processo a via semi-secca; processo a via semi-umida; processo a via umida; tuttavia il 75% della produzione europea si basa su processi a via secca, per la disponibilità di materie prime a basso contenuto di umidità.

⁹⁴ CUSSINO L., *Evoluzione tecnologica dell'industria del cemento*, in GORIA C., CUSSINO L., BORASI V. (a cura di), 1976, p. 98; si veda anche COLLEPARDI M., 1992, p. 10-11.

Il processo per “via secca”⁹⁵, successivo cronologicamente all’altro, viene sviluppato in Germania per ovviare alle difficoltà di “spappolamento” delle materie prime; la sua applicazione fa progressivamente diminuire l’uso del metodo umido. In tale processo le materie prime vengono innanzitutto frantumate in appositi frantoi o mulini; si passa successivamente all’essiccazione, alla macinazione primaria, secondaria e fine, sino a giungere alla fase di miscelazione.

Le marne, ottenute per via secca o umida, vengono cotte ad una temperatura sufficiente da permettere la scorificazione della massa, senza tuttavia raggiungere la vetrificazione. Il clinker così ottenuto è costituito per l’80% da silicati e per il 20% da alluminati, i cosiddetti fondenti, che facilitano la reazione tra calce e silice. Il clinker viene poi raffreddato rapidamente, affinché non si formi calce libera, e messo a stagionare per poi essere macinato⁹⁶.

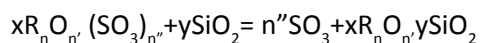
I FORNI PER LA COTTURA DEL CEMENTO PORTLAND

I primi forni impiegati agli inizi del Novecento per la cottura del cemento sono i forni a tino che richiedono poco consumo di combustibile. Il funzionamento meccanico (forno a tino automatico) garantisce una temperatura costante durante la cottura, ottenendo un prodotto omogeneo. Tuttavia, quasi subito, essi vengono sostituiti dal forno verticale. Quest’ultimo è una trasformazione del forno *Dietzch*, di tipo più antico (risale al 1884), ancora largamente in uso negli anni ’50. La spesa per questo impianto è modesta e il consumo di combustibile è molto basso, però ha scarsa potenzialità di produzione, richiede parecchia manodopera e non è in grado di dare clinker omogeneo, avendo una cottura poco uniforme e un lento raffreddamento del prodotto finale. I difetti di questo tipo di forno, col tempo, vengono superati grazie al forno verticale automatico, che garantisce temperature più uniformi e maggiore produzione.

Nel 1885 viene ideato il forno rotante, un impianto costoso che, tuttavia, richiede poca manodopera, ha forte potenzialità e produce cementi di qualità superiore rispetto a quelli prodotti con altre tecnologie. Il miglior rendimento si raggiunge se il forno è preceduto da un preriscaldatore, nel quale si realizza uno scambio termico tra i fumi e la miscela delle materie prime sotto forma di farina, di melme o di graniglie.

2.4.2 Cemento bianco

Un altro esempio di impasto, le cui vicende evolutive sono largamente trattate dalle riviste di settore, è il cemento bianco. Le pubblicazioni dell’epoca riportano, tra gli impasti più noti alla fine del XIX secolo, il “cemento Lafarge” di produzione francese, ottenuto dalla macinazione dei *grappiers* (granuli duri di idrossido di calcio ottenuti a seguito dello spegnimento della calce) di calci idrauliche, prevalentemente silicee, e povere di ferro. Numerose sono le sperimentazioni dell’epoca, che hanno come obiettivo la produzione di un vero e proprio cemento Portland di colore bianco, da sostituire alla calce francese. La “ditta Pesenti” nel 1894⁹⁷ avvia la produzione di cemento bianco, decidendo di dotare l’industria cementiera italiana di questo interessante prodotto, imitazione ben riuscita del celebre “Lafarge” francese⁹⁸. Tra i primi brevetti riguardanti l’impiego di cemento Portland bianco si annovera il brevetto presentato nel 1914 dal dottor Luigi Marino e dal dottor Fabio Ferrari, in cui viene descritto un nuovo processo per ottenere degli agglomeranti idraulici bianchi o variamente colorati. Essi partono dall’equazione generale



da loro individuata in precedenza, per definire la sintesi dei silicati delle terre rare e dei metalli trivalenti. Ferrari e Marino sostengono che tale equazione può valere anche per la formulazione di silicati alcalino-ferrosi. L’azione esercitata dalla silice

⁹⁵ *Ibidem*.

⁹⁶ GIOLA V., 2009, p. 80.

⁹⁷ IORI T., MARZO MAGNO A., 2011, pp. 22-176.

⁹⁸ CARLESSI, M., BUGINI, R., “Stucchi” neogotici col Portland bianco. L’oratorio Pesenti in Montecchio (Alzano Lombardo), in BISCONTIN, G., DRIUSSI G. (a cura di), 2004, pp. 469-482.

durante tale reazione chimica «*si esercita a temperatura inferiore a quella di dissociazione del solfato*»⁹⁹. I prodotti ottenuti da questa formulazione presentano tutte le peculiarità mineralogiche, fisiche e chimiche dei cementi naturali e artificiali.

Ciò che caratterizza questo impasto è la seguente definizione, che danno gli stessi autori all'interno del brevetto: «*L'idraulite essenziale dei cementi calcarei, la cui sintesi fino ad ora si è adoperata partendo dal carbonato o dall'ossido calcici e dall'anidride silicica, a circa 2000°, o, come industrialmente anche si fa, portando queste medesime sostanze in presenza di ossidi d'alluminio e di ferro, verso i 1900°, si prepara col nostro processo, senza l'ausilio di tali fondenti (che non darebbero vantaggio, poichè secondo nostre accurate esperienze, la formazione degli alluminati o dei ferriti per azione dei sesquiossidi suddetti sul solfato di calcio si inizia, per una reazione di spostamento identica a quella scritta, a temperatura più alta di quella di formazione del silicato), a circa 1100°. Gesso e quarzo soltanto, in natura abbondantissimi e pressochè esenti da ossidi d'alluminio e di ferro, possono dunque fornire un agglomerante integralmente costituito da principio attivo, incolore e d'uso affatto generale*»¹⁰⁰.

Ferrari e Marino specificano, però, che l'elevata quantità di alluminato presente nell'impasto preclude l'impiego di tale materiale, in prossimità del mare o di ambienti ricchi di solfati.

Aggiungendo a tale composto piccole quantità di ossidi coloranti, è possibile ottenere prodotti variamente pigmentati, indicati per la realizzazione di elementi decorativi. Nella parte finale del brevetto viene data una schematica spiegazione delle fasi necessarie alla preparazione dell'impasto «*Solfato di calcio e quarzo ridotti alla finezza normalmente consentita dai comuni apparecchi di macinazione, miscelati in ordine alla basicità del prodotto finale suggerita dallo scopo a cui il prodotto medesimo dovrà essere adibito, verranno sottoposti a conveniente cottura nei forni ordinari da cemento (fissi o rotativi). Il prodotto della calcinazione subirà le ordinarie manipolazioni praticate per tutti i cementi calcarei. I gas svolgentisi dalla reazione (SO₃, SO₂, ecc..), verranno recuperati secondo i metodi in uso*»¹⁰¹.

Nello stesso anno, il 1914, viene brevettato¹⁰² un altro "ritrovato" da impiegare a fini decorativi che viene chiamato "Bianchettina". Esso è definito come una pietra artificiale a base di sabbia di Agnano, denominata Bianchetto, di sabbia dell'isola d'Ischia e cemento. L'azione chimica, che si sviluppa fra i suddetti componenti, dà luogo ad una pietra artificiale considerata al pari di una pietra naturale calcarea. La preparazione prevede le seguenti proporzioni: 3/9 di sabbia di Bianchetto di Agnano, 1/9 di sabbia d'Ischia ed il restante quinto di cemento.

Lo scopo che si raggiunge è di produrre artificialmente tutti i pregi della pietra calcarea, ma non il difetto di avere un peso specifico elevato. I blocchi di "Bianchettina" si fabbricano con qualunque spessore, in tavolette rettangolari di qualsiasi dimensione e a forma di mattoni; nel caso di mattoni le proporzioni da impiegare sono pari a 2/4 di sabbia di Bianchetto, 1/4 di polvere d'Ischia e 1/2 di cemento.

Anche la rivista *Il cemento* nel 1906¹⁰³ illustra una serie di sperimentazioni atte a produrre il cemento Portland bianco, molte delle quali, però, necessitano di una temperatura di cottura estremamente elevata, in mancanza del fondente ferroso. Quest'ultimo, infatti, viene escluso dall'impasto del cemento bianco, poiché da esso dipende la colorazione grigiastra. Nella produzione artificiale, gli esperimenti condotti tentano nuove formulazioni, abbinando calcare puro e caolino con l'aggiunta di "materiali ad alto potere fondente" (fluoruri di calcio o di sodio, borace o acido borico, leucite).

Un esempio degli esperimenti sopracitati è il brevetto, della "Ditta Bombrini Parodi-Delfino", che descrive un nuovo metodo per ottenere agglomeranti Portland bian-

⁹⁹ ACS Roma, MICA, UIBM, Serie Invenzioni, Brevetto num. 142159.

¹⁰⁰ *Ibidem*.

¹⁰¹ *Ibidem*.

¹⁰² ACS Roma, MICA, UIBM, Serie Invenzioni, Brevetto num. 145917.

¹⁰³ *Il Cemento*, anno III, n. 8, 1906, pp. 203-205.

chi o variamente colorati. Il procedimento descritto prevede «l'utilizzazione della leucite ($K_2O \times Al_2O_3 \times 4SiO_2$). Noi formiamo una miscela di tale sostanza, che liberata dalla ganga risulta esente da ferro, e di un calcare pur libero da questo corpo, in proporzioni tali che i rapporti:

$$CaO/(SiO_2 + Al_2O_3) \quad e \quad SiO_2/Al_2O_3$$

si mantengano fra i limiti ordinari in cui stanno gli analoghi relativi ai comuni cementi a lenta presa. La cottura (al forno fisso o rotativo) di cui tale miscela, che porta naturalmente ad un cemento bianco del tipo "Portland" presenta il grande vantaggio e di verificarsi per una vera azione catalitica della potassa, alla temperatura normale di scorificazione del Portland [...]»¹⁰⁴. La temperatura di cottura di tale cemento bianco è pari a quella di un comune cemento Portland.

2.4.2.1 CEMENTO MAGNESIACO

Il ricettario industriale¹⁰⁵ redatto da Italo Ghersi nel 1915 offre una panoramica dei prodotti dell'epoca, con l'elenco di pregi e difetti di ciascuno di essi. Un esempio, fra gli innumerevoli materiali descritti nel manuale, è il "cemento di magnesia", rimasto sul mercato soltanto per i primi anni del secolo, per via della sua sensibilità nei confronti dell'umidità. La presenza di acqua o vapore acqueo nell'aria, infatti, determina una reazione chimica con il cloruro basico di magnesio, producendo idrossido di magnesio e acido cloridrico; in questo modo, gran parte del cloruro di magnesio, inizialmente presente nell'impasto, viene meno, producendo un rammollimento del composto. Ghersi dà una descrizione approfondita riguardo alla sua composizione: «si mescola della magnesia [si intende magnesite, minerale formato da carbonato di magnesio] con soluz. di cloruro di magnesio (25 a 30 B.); oppure si fa prima un miscuglio di magnesia e di cloruro di magnesio in polvere e si bagna poi per formare il cemento. Queste sono le materie principali; ad esse si possono aggiungere altre sostanze in polvere, come solfato di barite in peso uguale a quello della magnesia o solfato di calce: terre argillose, ossidi e la maggior parte delle sostanze insolubili nel cloruro di magnesio e facilmente polverizzabili. Coll'aggiunta di sostanze coloranti quale l'oltremare, il minio, il giallo e il verde di cromo, le ocre, si possono imitare i marmi. Il cloruro di magnesio può essere sostituito con altri cloruri, quelli di zinco, manganese, ferro, calcio servono assai bene. Con questo cemento si possono fare quadrelle per rivestimenti, mosaici, ecc. - Le proporzioni più convenienti sarebbero secondo Meyer: cloruro di magnesio anidro 1 - ossido di magnesio 3 a 4. (...)»¹⁰⁶. Sono poi descritti tutti i passaggi da effettuare per ottenere il composto omogeneo e anche per ottenere il prodotto in polvere pronto per l'uso. Sono altresì citati anche gli inconvenienti e i difetti di tale impasto, che iniziano già a manifestarsi poco tempo dopo la sua diffusione sul mercato: il difetto principale di questo cemento è dovuto in larga parte ai solfati e all'acido solforico, che reagiscono chimicamente con l'acido cloridrico e il cloruro di magnesio. Come prodotti delle reazioni chimiche si formano efflorescenze, che sono causa dello sgretolamento del composto indurito. Le informazioni dei manuali sono anche confrontabili con quelle estrapolate dalle riviste di settore, nell'intento di ricostruire un quadro completo dell'uso dei prodotti. Ancora con riguardo al cemento di magnesia, per esempio, si apprende che nei primi anni del secolo è uno dei quattro agglomeranti principali adoperati per ottenere le pietre artificiali (oltre a calce, cemento e gesso). Al momento dell'immissione sul mercato tale impasto è molto apprezzato per le grandi qualità estetiche, ma già nei primi anni del Novecento numerose sono le critiche che vengono espresse e che lo faranno, a poco a poco, uscire dal commercio. Una descrizione tratta da una rivista

¹⁰⁴ ACS Roma, MICA, UIBM, Serie Invenzioni, Brevetto num. 176274.

¹⁰⁵ GHERSI, I., 1915.

¹⁰⁶ GHERSI, I., 1915, pp. 171-173.

di settore del 1906 così si esprime: «*Il cemento di magnesia ottiene così un bel colore bianco puro e presenta una grande durezza accompagnata da lucentezza alla superficie. La massa dopo essersi rapidamente indurita prende un aspetto simile al marmo bianco [...]. Nessun cemento di magnesia resiste perfettamente al tempo e, come abbiamo già accennato, non si ha alcuna probabilità di ottenere in avvenire un simile materiale colle dovute qualità di resistenza al tempo. Eppure questa qualità è la prima e la più importante per un cemento qualsiasi*»¹⁰⁷. Tale descrizione conferma quanto riportato da Italo Ghersi nel suo ricettario: il cloruro di magnesio, a contatto con i solfati, genera efflorescenze e comporta lo sgretolamento del conglomerato nel quale viene impiegato.

Pur manifestando notevoli difetti, questo legante è stato impiegato per alcuni anni nella fabbricazione di marmi artificiali, per la realizzazione di lastre di vario spessore, rivestimenti di pareti e decorazioni a stampo da applicare sulle facciate, come indicano numerosi brevetti presentati nel primo decennio del Novecento¹⁰⁸. Nel 1908 viene brevettato un «*processo per ottenere il Cemento di magnesia e sua applicazione ai calcari dolomitici*»¹⁰⁹. Infatti, per ovviare alla presenza di tracce di carbonato di calcio non cotto che, reagendo con il cloruro, danneggiano l'impasto, si prevede di mescolare all'ossido di magnesio un solfato solubile, ottenendo un materiale con buone proprietà idrauliche e notevole resistenza a trazione e pressoflessione. Per eseguire tale processo, occorre cuocere il calcare dolomitico a basse temperature, per cui solo il carbonato di magnesio diventa ossido, mantenendo inalterato il carbonato di calcio che resta una componente inerte; al termine della cottura, si unisce una quantità specifica di solfato.

2.4.3 Cemento pozzolanico

Tra i cementi di miscela è oggi possibile annoverare il cemento pozzolanico, ottenuto macinando finemente clinker di Portland con pozzolana, in percentuale non superiore al 40%, e con il 5% di gesso crudo per regolarizzare la presa¹¹⁰. Lo scopo di questo tipo di cemento è quello di ottenere delle resistenze meccaniche più alte di quelle di un comune Portland, ma soprattutto di offrire una valida resistenza all'azione chimica distruttiva di sostanze e acque aggressive (marine, solfatiche, industriali).

Proprio questo problema spinge molti studiosi alla fine dell'Ottocento a ricercare una miscela con queste caratteristiche.

I primi a cercare di migliorare i cementi Portland con l'aggiunta di materiali pozzolanici sono il dott. W. Michaelis e l'ing. L. Tetmajer, per risolvere il problema della resistenza dei cementi all'acqua di mare¹¹¹. Tale fenomeno è determinato dall'esistenza di calce libera e di solfato di calce all'interno dell'impasto cementizio che reagiscono, in ambiente amrino, determinando uno sgretolamento del materiale. In Italia, a Pisa, nel 1905 l'ing. Eugenio Bougleux presenta il brevetto¹¹² di un impasto sperimentato per ovviare a questo inconveniente. L'ingegnere parte dalla descrizione del procedimento per ottenere del Cemento Portland (naturale o artificiale): bisogna polverizzare la pietra calcarea miscelata con argilla secca e cuocere l'impasto in un forno rotatorio; in alternativa realizzare dapprima delle mattonelle e successivamente cuocerle in un forno verticale Dietz. La soluzione proposta, per ovviare al problema della calce libera e del solfato di calce, prende in considerazione l'aggiun-

¹⁰⁷ *Il Cemento*, anno III, n. 8, 1906, pp. 205-206.

¹⁰⁸ A titolo di esempio si citano i seguenti brevetti: ACS Roma, MICA, UIBM, Serie Invenzioni, brevetto num. 93307; num. 141323.

¹⁰⁹ ACS Roma, MICA, UIBM, Serie Invenzioni, Brevetto num. 93307.

¹¹⁰ GORIA C., *Evoluzione storica dei leganti e dei conglomerati dall'empirismo alla loro conoscenza razionale*, in GORIA C., CUSSINO L., BORASI V., 1976, p. 70.

¹¹¹ *Ibidem*.

¹¹² ACS Roma, MICA, UIBM, Serie Invenzioni, Brevetto num. 75889.

ta, durante la prima macinazione, di una quantità di pozzolana buona, o di *trass*, nella stessa quantità della calce libera e del solfato di calce presenti nel cemento. Nei cementi artificiali si può eliminare l'argilla ed aggiungere al calcare macinato una quantità di pozzolana, macinarla insieme finemente, realizzare dei "panetti" e cuocerli nel forno (Dietz o simili). Secondo la descrizione nel documento, si può ottenere un analogo risultato, mescolando pozzolana buona, opportunamente trattata e macinata, con klinker, e incorporandola durante la sua polverizzazione.

Nel 1909 Luigi Morganti brevetta a Roma un processo per la fabbricazione di un cemento idraulico a lenta presa, utilizzando «*la marna che si trova nei terreni alluvionali quaternari, e la si mescola con argilla di vario genere sostituita anche in una certa misura con calce o con qualunque altro calcare. [...] La pozzolana può essere vantaggiosamente impiegata come uno dei componenti della mescolanza*»¹¹³.

Nel 1919 Guido Vianini brevetta una nuova miscela cementizia a base di pozzolane naturali, ottenuta a freddo. Il titolo del brevetto è «*Cementi, terne refrattarie e prodotti affini industriali risultanti da trattamento a freddo delle pozzolane naturali dosate con ossidati di calcio ed argille*». Egli descrive il suo lavoro come «*l'ottenimento a freddo di cementi che presentano caratteristiche industriali uguali a quelle dei migliori cementi naturali ed artificiali, offrendo su di essi il vantaggio che le resistenze ottenute con malta di solo cemento, non si riducono anche quando la malta venga formata con uno di cemento e tre di materie inerti*»¹¹⁴.

Vianini fornisce una dettagliata descrizione di tutte le fasi di lavorazione per ottenere tale miscela. Il primo punto riguarda il trattamento delle materie prime: le pozzolane naturali devono, in primo luogo, essere asciugate e successivamente macinate e passate al vaglio per ottenere una granulometria ben precisa (staccio avente 324 maglie per cmq). La calce viva deve essere distesa in strati, e continuamente bagnata con acqua, per conservare negli strati sottostanti la presenza del vapore d'acqua e dunque controllare la temperatura di estinzione della calce. Questo trattamento è di circa otto giorni e, successivamente, la calce viva, ridotta in polvere asciutta, dovrebbe essere costituita da ossidati di calcio. Questi ultimi devono essere aggiunti alla pozzolana nelle proporzioni di un volume di ossidati di calcio per dieci volumi di pozzolana. Riprendendo le parole del brevetto: «*La mescolanza utile di questi due elementi deve essere intima e non può quindi ottenersi che con mezzi meccanici (quali molasse o mulini a palle) l'azione dei quali deve essere protratta fino a tanto che, campionando il prodotto, esso risulti di colore uniforme*».

Il prodotto così ottenuto è un cemento a lenta presa che può essere immediatamente impiegato nella formazione di manufatti e di costruzioni, oppure essere conservato in silos o in sacchi, così come per i cementi naturali o artificiali ottenuti per cottura.

Le resistenze di questo tipo di cemento «*raggiungono e superano in un periodo di tre mesi kg. 40 per cmq. alla trazione e 450 a 500 alla compressione*».

Vianini sostiene che il suo cemento possa sostituire i comuni cementi ottenuti per cottura, specialmente in tutte quelle strutture ed in tutti quei manufatti per i quali è richiesta una alta resistenza a lungo termine e non nel breve periodo, nonchè esposti a forti sbalzi termici. Non contenendo magnesia e solfato di calcio, egli ritiene che possa arrivare a sostituire tutti i tipi di malte fino a quel momento adoperate per le costruzioni marittime.

Questo impasto ha il vantaggio, a differenza di quanto avviene con le malte di calce e pozzolana o di cemento e sabbia, di non subire fessurazioni se messo in opera come rivestimento o intonaco.

Nel 1920 anche Camillo Manuelli compie degli studi sull'impiego della pozzolana negli impasti cementizi, giungendo a brevettare dei "cementi pozzolanici"¹¹⁵. Col nome di cementi pozzolanici egli intende definire i cementi composti dalle miscele

¹¹³ ACS Roma, MICA, UIBM, Serie Invenzioni, Brevetto num. 100749.

¹¹⁴ ACS Roma, MICA, UIBM, Serie Invenzioni, Brevetto num. 180047.

¹¹⁵ ACS Roma, MICA, UIBM, Serie Invenzioni, Brevetto num. 186170.

di idrato di calcio con materiali vari naturali, o artificiali (trass, scorie, ecc.), in cui i componenti sono ridotti in polvere sottile e mescolati intimamente.

Manuelli, nel suo brevetto, pone la propria attenzione sull'uso della pozzolana, materiale abbondante nel Lazio e che offre numerosi vantaggi per la realizzazione di costruzioni a contatto con l'ambiente marino.

Egli sostiene che *«Si è discusso se la pozzolana si debba usare in polvere, o in grani allo stato naturale, e si hanno sostenitori dell'uno e dell'altro modo di operare. Le malte sono preparate generalmente con calci grasse e per una p. di calce spenta si adoperano 1: 1,5: 2 p. di pozzolana. La pozzolana aggiunta al cemento ne aumenta la resistenza specialmente per le costruzioni sottomarine. Tentativi di fabbricazione di cementi pozzolanici, con le pozzolane, non vennero fatti, o per lo meno non hanno dato buoni risultati, ed a tutt'oggi non esiste fabbrica alcuna di tali prodotti. La ragione di ciò va cercata nel fatto, che mescolando idrato di calcio e pozzolana finemente polverizzata si hanno materiali idraulici che fanno presa rapidamente, che raggiungono un'elevata resistenza e durezza ma che se non sono fatti in determinate proporzioni si fendono e si disgregano spontaneamente dopo un tempo più o meno breve.»*. Studia dunque un nuovo metodo di preparazione per l'ottenimento di cementi pozzolanici polverizzando finemente gli ordinari cementi Portland, ed omogeneizzando accuratamente miscele di pozzolane naturali con ossido (CaO) o con idrato di calcio (CaOH₂). Il rapporto di tali miscele è di 100 p. di pozzolana per 5 a 16 di ossido o di idrato di calcio. Con esse è possibile preparare conglomerati per pietre artificiali, per mattonelle, per tubi e strutture con armature metalliche interne al conglomerato.

Sempre nel 1919 la ditta Bombrini Parodi-Delfino, divenuta poi famosa con il nome di "Società Calce e Cementi" con sede a Segni (e nel 1973 assorbita dalla più grande Italcementi S.p.A.), presenta un altro brevetto¹¹⁶ con l'intento di rispondere alla necessità di creare un cemento resistente all'attacco delle acque marine e che, dunque, si possa sostituire al Portland, pur non impiegando materiali pozzolanici. La ditta brevetta una miscela cementizia a lenta presa, ottenuta per macinazione di cemento esente da «composti calcici binari di allumina o di ferro», che si ottiene per scorificazione di una miscela cementizia Portland, in cui però il rapporto tra Fe₂O₃ e Al₂O₃ deve essere compreso tra 1 e 1.563. Questa miscela viene destinata alle opere marittime o confinate in ambienti ricchi di solfati.

La stessa ditta, pochi anni più tardi, nel 1922 a Segni (RM), apre la prima fabbrica di cemento pozzolanico, la cui composizione viene definita grazie agli studi congiunti compiuti con Fabio Ferrari; tra il 1923 e il 1930 viene perfezionata la produzione grazie agli studi di C. Vittori¹¹⁷. Nel 1927 anche l'Italcementi intraprende la produzione di questo tipo di impasto¹¹⁸.

2.4.4 Cemento composito con aggiunte di origine vulcanica

Numerosi sono i tentativi effettuati, nel corso dei primi anni del Novecento, per alleggerire gli impasti cementizi senza diminuirne la resistenza. A tal proposito si possono ritrovare delle 'ricette' relative all'utilizzo di prodotti vulcanici per la produzione di cementi a rapida e lenta presa tali da risultare più leggeri dei comuni impasti. Emanuele Finocchiaro brevetta, nel 1909, il suo studio riguardante il lapillo vulcanico estratto dalle cave di pozzolana e utilizzato per formare una miscela cementizia, nella realizzazione di tramezzi, voltine, piastrelle per pavimenti, solai ed in genere dove è necessario un materiale leggero. Il lapillo, nonostante la sua leggerezza, se impastato con il cemento Portland, forma una malta estremamente compatta e re-

¹¹⁶ ACS Roma, MICA, UIBM, Serie Invenzioni, Brevetto num. 176275.

¹¹⁷ Gli studi di C. Vittori sono raccolti nel periodico: *Ricerche d'Ingegneria*, Sindacato nazionale fascista ingegneri della Confederazione professionisti e artisti, anno 1, n.1, 1933.

¹¹⁸ FUMAGALLI C., 1964, pp. 20-21.

sistente alla trazione e alla compressione.

«L'invenzione consiste nell'applicazione del lapillo, fin oggi trascurato, nelle costruzioni di blocchetti per tramezzi leggeri poggiati sopra solai, blocchetti per la costruzione di voltine tra ferri a doppio T, e volte in muratura di qualunque campata, piastrelle per pavimenti sopra solai, decorazioni leggere, (cornici, fregi, mensole, colonne etc), sottostrati nelle gittate in cemento sopra solai ed in genere ove richiedesi una costruzione leggera e resistente. [...]L'utilità pratica è considerevole: l'applicazione del lapillo vulcanico rende possibile la gittata in cemento sopra solai, perchè sostituisce la ghiaia molto pesante; usando dei blocchetti di cemento e lapillo nelle costruzioni dei solai con ferri a doppio I, si ottiene notevole economia potendosi ridurre la sezione dei detti ferri.», si possono costruire tramezzi anche sopra solai poco solidi usando dei massetti di cemento e lapillo; le decorazioni di lapillo e cemento essendo leggerissime sono più maneggevoli e si possono facilmente collocare ad altezze considerevoli senza difficoltà; il lapillo alleggerisce di molto le comuni piastrelle in cemento, oggi da molti scartate per il peso considerevole, specie trattandosi di pavimenti sopra solai non molto solidi»¹¹⁹.

Le sostanze contenute nei materiali di origine vulcanica sono oggetto di numerose sperimentazioni poichè, se associate a leganti cementizi, dimostrano di migliorare notevolmente le loro proprietà. È per questo motivo che molti chimici italiani dell'epoca producono un considerevole numero di brevetti sull'uso di queste sostanze all'interno dell'impasto cementizio.

Ne è un esempio il brevetto dell'ing. Giovanni Morbelli, grande studioso e autore di numerosissimi articoli pubblicati sulla rivista *Il Cemento*, riguardanti le scoperte scientifiche sull'uso degli impasti cementizi nella tecnica costruttiva. Il suo brevetto, intitolato "Procedimento per l'utilizzazione di prodotti vulcanici per la produzione di cementi a rapida e lenta presa e di agglomerati ad uso costruttivo", riguarda il recupero degli alcali contenuti nei gas di combustione, prodotti dalla cottura di cementi Portland miscelati con materiali di natura vulcanica. Egli vuole sfruttare l'abbondante quantità di alcali di potassio e sodio contenuta nei materiali eruttati dai vulcani.

«Nei forni rotativi, destinati alla cottura dei cementi Portland, la presenza di alcali non nuoce affatto al regolare funzionamento di tale sistema di forni. [...] Cosicchè, le basi alcaline e specialmente la "potassa", dopo aver funzionato da buon "fondente" e facilitato così le diverse reazioni chimiche tra gli elementi del cemento, sono trascinate fuori del forno dai gas della combustione. Questi alcali volatilizzati in forma d'idrossidi, di carbonati, ecc. si possono recuperare, o condensandoli mediante il semplice raffreddamento dei gas di combustione, utilizzando una gran parte del loro calore per l'essiccamento delle materie prime o per il riscaldamento dell'acqua d'alimentazione delle caldaje, oppure fissandoli con sostanze adatte, per es. con acqua acidulata, e coll'aiuto di opportuni dispositivi simili a quelli già in uso in altre industrie»¹²⁰.

Anche il napoletano Luigi Nocera brevettò, nel giugno del 1910, un nuovo impasto cementizio¹²¹ sperimentato nella sua azienda e costituito da 50% Pietra di calce idraulica, 5% di solfato di calce, 10% di allumina e in ultimo un 35% di minerale vulcanico e cenere del Vesuvio. Il tutto viene cotto nel forno, macinato e polverizzato sino ad ottenere il cemento che si usa anche per le costruzioni in acqua e per quelle in cemento armato.

2.4.5 Cemento ferrico

Per cemento ferrico si intende un cemento con un contenuto molto basso o nullo di alluminato tricalcico (*celite*, C_3A), in quanto tutta l'allumina e l'ossido ferrico sono

¹¹⁹ ACS Roma, MICA, UIBM, Serie Invenzioni, Brevetto num. 101790.

¹²⁰ ACS Roma, MICA, UIBM, Serie Invenzioni, Brevetto num. 79411.

¹²¹ ACS Roma, MICA, UIBM, Serie Invenzioni, Brevetto num. 110236.

contenuti nella fase ferrica (C_4AF). Il basso contenuto di alluminati lo rende molto resistente agli attacchi solfatici, oltre che garantire un basso calore di idratazione che lo rende adatto a getti di grande massa e nei climi caldi¹²².

Nel 1915, il ruolo degli alluminati era già noto. All'interno del manuale di Luigi Mazzocchi, infatti, è possibile leggere la composizione di una miscela cementizia a base di ossido di ferro che sostituisce il contenuto di allumina: «Sostituendo l'allumina con ossido di ferro nella preparazione del cemento, si ottiene un prodotto eminentemente resistente all'acqua di mare, anche più del comune Portland. Occorre che la proporzione dell'allumina non vi ecceda l'1.5%. Resiste bene all'acqua contenente sali a base d'acido solforico e specialmente solfato di calce. I materiali impiegati per preparare questi cementi sono il carbonato di calcio puro, la pietra siliceo-calcare finemente polverizzata e ossido di ferro polverizzato. Dopo aver mescolato pietra e ossido, si aggiunge il carbonato e si ottiene una pasta di consistenza fluida. Quando diventa secca, si cuoce in un forno rotativo e si polverizza, in quest'ultima fase si aggiunge del gesso»¹²³.

Negli stessi anni, Fabio Ferrari, chimico toscano, analizza le motivazioni per le quali il materiale si degrada a contatto con l'acqua marina; dai primi esperimenti esclude la silice, cioè i silicati, dalle cause del fenomeno, che quindi deve essere imputato all'allumina o all'ossido ferrico¹²⁴.

Nel 1919 pubblica i risultati dei suoi esperimenti¹²⁵, dimostrando che la resistenza chimica alle acque marine aumenta con l'abbassarsi del rapporto percentuale tra allumina e ossido ferrico. Più precisamente, la resistenza massima si raggiunge quando questo rapporto è pari a 0,64, poiché questo valore esclude la presenza di alluminato tricalcico libero. Quest'ultimo, se a contatto con i solfati, reagisce dando luogo alla formazione di solfo alluminato tricalcico idrato espansivo, che aggredisce dall'esterno verso l'interno il calcestruzzo, frantumandolo.

La mancanza dell'alluminato tricalcico nel cemento ferrico lo rende un materiale con alta resistenza a lungo termine ma senza un rapido indurimento iniziale.¹²⁶

Oggi i cementi ad altissima resistenza ai solfati, definiti nella norma UNI 9156, prevedono l'impiego di cementi ferrici, pozzolanici o d'altoforno con un tenore di C_3A molto limitato¹²⁷.

2.4.6 Cemento d'altoforno

Le miscele ottenute dalla macinazione di scorie o loppe d'altoforno con la calce, iniziano ad essere sperimentate nel 1862, quando Friedrich Wilhelm Luerman constatò che i prodotti di scarto della produzione industriale siderurgica (il cui smaltimento, fino a quel momento, è considerato un problema), se granulati, acquistano una *idraulicità latente*¹²⁸. Nel 1872 Eugen Langen prepara una miscela equivalente, sostituendo un legante idraulico alla calce.

A partire dall'ultimo ventennio dell'Ottocento, si inizia a parlare di cementi di scorie e nei paesi con grande produzione siderurgica si avviano le prime produzioni

¹²² COLLEPARDI M., 1991, p.208.

¹²³ GHERSI I., 1915, p.175.

¹²⁴ GORIA C., *Evoluzione storica dei leganti e dei conglomerati dall'empirismo alla loro conoscenza razionale*, in GORIA C., CUSSINO L., BORASI V., 1976, pp. 68-69.

¹²⁵ Fabio Ferrari pubblica i risultati dei suoi esperimenti in: *Giornale di Chimica Industriale e applicata*, 1921.

¹²⁶ GORIA C., *Evoluzione storica dei leganti e dei conglomerati dall'empirismo alla loro conoscenza razionale*, in GORIA C., CUSSINO L., BORASI V., 1976, pp. 68-69.

¹²⁷ ALUNNO ROSSETTI V., 2007, p.34.

¹²⁸ Per *idraulicità latente* si intende che, se le scorie vengono macinate e impastate con acqua, restano inerti in quanto non fanno presa, ma se vengono mescolate con la calce, l'idraulicità si manifesta e le scorie fanno presa ed induriscono.

industriali¹²⁹. In Italia i primi brevetti riguardanti leganti di questo tipo si riscontrano a partire dal 1904. Un esempio è il brevetto intitolato “Venanzetti Compost: materiale cementizio destinato a sostituire il Cemento ordinario e tutte le sabbie ed altre materie fin qui adoperate per i lavori in Cemento” presentato da Alberto Venanzetti. Egli sperimenta un preparato che dovrebbe risultare resistente all’azione di acqua e umidità e potrebbe sostituire il cemento comune, in quanto ha un minor peso (10 kg/mq in meno rispetto ad un comune cemento) e una resistenza 10 volte superiore: «Un settimo di cemento di qualsiasi qualità, intimamente mescolato ai sei settimi di residui, denominati scorie, provenienti dai fossili distillati nelle officine per la produzione del gas, ridotti in polvere granellosa, formano il nostro prodotto. Dette scorie si compongono di ferro, silice e zolfo e sino ad ora non furono mai utilizzate.[...]Dopo quindici giorni dall’applicazione acquista una durezza inattaccabile alla punta di un coltello»¹³⁰.

Anche nei manuali ricorre l’uso di questo composto; Valerio Leonida, che aggiorna il manuale di Italo Gherzi, pochi anni più tardi scrive «Le scorie d’altoforno hanno una composizione affine a quella del cemento Portland perciò si usano come succedaneo del Portland. Quando la composizione ha un rapporto tra calce e silice minore di 1 tra allumina e silice minore di 0,5 la si può usare polverizzata finemente in unione con Portland»¹³¹.

Oggi il cemento d’altoforno è ottenuto dalla macinazione del clinker di Portland con la loppa granulata e il gesso. La percentuale di loppa da inserire varia in base alle normative e all’utilizzo, dal 36 al 95%. È noto che questa miscela, piuttosto economica rispetto al comune Portland, ha resistenze meccaniche alle brevi stagionature più basse del Portland stesso, soprattutto in climi freddi, mentre si raggiungono risultati sostanzialmente identici alle lunghe stagionature¹³²; è una delle miscele con più basso calore di idratazione, fatto che la rende particolarmente adatta a costruzioni massicce; inoltre, rispetto ai comuni Portland, possiede una resistenza molto più elevata all’azione delle acque marine, solfatiche e alle soluzioni contenenti ione cloruro¹³³.

2.4.7 Altre Formulazioni

Cemento di Allumite

Al 1904 risale il brevetto¹³⁴ di un nuovo composto denominato “Cemento di Allumite”, presentato da Vincenzo Compagnone, caratterizzato da presa rapida, leggerezza e resistenza.

Esso si compone di calce spenta, allumite e acqua, quali componenti principali.

Per comporlo occorre prevedere una parte di calce spenta e due di allumite, da impastarle con acqua nelle quantità necessarie ad ottenere un composto lavorabile. Tale impasto può essere adoperato per la realizzazione di giunti, massetti ed elementi architettonici realizzati con stampi. Al cemento di allumite si può unire qualunque altra malta o “cemento” (gesso, cementi idraulici ecc..) e qualunque altro tipo di materiale calcareo, siliceo o vulcanico, sia sotto forma di pietre, sia sotto forma di sabbia o polveri, allo scopo di determinare una maggiore resistenza agli agenti atmosferici; l’aggiunta di additivi viene prevista anche con lo scopo di rendere più leggero l’impasto.

Il più noto “cemento alluminoso” risale invece al 1908 e associa il nome del suo

¹²⁹ GORIA C., *Evoluzione storica dei leganti e dei conglomerati dall’empirismo alla loro conoscenza razionale*, in GORIA C., CUSSINO L., BORASI V., 1976, pp. 72-73.

¹³⁰ ACS Roma, MICA, UIBM, Serie Invenzioni, Brevetto num. 74567.

¹³¹ LEONIDA V., 1945, p. 311.

¹³² COLLEPARDI M., 1991, pp. 221-223.

¹³³ ALUNNO ROSSETTI V., 2007, p. 38.

¹³⁴ ACS Roma, MICA, UIBM, Serie Invenzioni, Brevetto num. 74533.

inventore L. Bried alla società “Lafarge”, che lo fabbrica cuocendo una miscela di calcare e bauxite ricca di allumina¹³⁵. In realtà la miscela più vicina a quella oggi in commercio viene sperimentata pochi anni più tardi dallo studioso Otto Schott che, confrontando la resistenza meccanica dei prodotti di idratazione dei silicati di calcio con quella degli alluminati di calcio, evidenzia la convenienza della fabbricazione industriale di questi alluminati, meno basici rispetto a quelli contenuti nel cemento Portland. A partire dal 1912 viene avviata la fabbricazione industriale, prima in Francia e poi nel resto d’Europa, di questi prodotti ricchi di allumina (35-45%) e calce, con esigue quantità di silice e ossido ferrico¹³⁶.

Impasto di Coignet

François Coignet, noto industriale dell’Ottocento, può essere considerato uno dei pionieri delle strutture prefabbricate in cemento armato. Egli esegue numerose sperimentazioni sugli impasti cementizi e Luigi Mazzocchi, nel suo manuale, riporta una delle sue invenzioni, nota come “impasto di Coignet” *«Dal 1855 realizza pietre artificiali con un impasto idraulico di grande resistenza e molto economico. Il principio su cui si basa, è di ridurre al minimo possibile la parte attiva della miscela, aumentando la lavorazione dell’impasto per ottenere la massima omogeneità e compattezza di esso. Per ottenere questo il Coignet rende la mistura il più possibile intima col minimo d’acqua e la introduce in stampi e la sottopone a grande pressione. Inizialmente, in base alla tipologia di opera da realizzare le quantità dei componenti variano: per muri ordinari si impiegano: otto parti di sabbia di fiume, una parte di terra argillosa cotta e polverizzata, una parte di cenere di carbon fossile e una parte di calce idraulica; per le pavimentazioni si usano: cinque parti di cenere di carbon fossile, una parte di terra argillosa cotta e polverizzata, una parte di sabbia di cava e una parte di calce idraulica. Successivamente per avere una presa più rapida e una maggiore resistenza dell’impasto, esso viene semplificato come segue: 1mc di sabbia, 125-150 kg. di calce idraulica e 50-60 kg di cemento»*¹³⁷.

Diverse formulazioni di cemento idraulico a lenta presa

Nel maggio del 1907, Francesco Paparozzi descrive la formulazione di un cemento idraulico a lenta presa, utilizzando la marna bianca o leggermente giallastra presente nei terreni alluvionali quaternari. *«Questa marna, che si compone di carbonato di calce misto a poca argilla, contiene dei granellini di silice e ridotte quantità di ossido di ferro. Il processo consiste nel mescolare detta marna, precedentemente cotta o meno, con argilla, creta o caolino, in proporzioni che possono variare dal 45 al 90 per cento di marna, con il 55 al 10 di argilla»*¹³⁸. Nel brevetto viene citata anche la possibilità di sostituire una parte della marna con calce spenta o viva, o con qualunque altro calcare sia cotto che crudo.

L’impasto ricavato da tale mescolanza, cotto in forni appropriati e polverizzato, costituisce un ottimo ed economico cemento idraulico a lenta presa.

Nel 1910 Vasco Mario Missiroli presenta a Roma un brevetto¹³⁹ per un nuovo processo di fabbricazione per i cementi idraulici a lenta presa, che consiste nell’impiego di pozzolane e materiali vulcanici che vengono “dealluminati”, sottoponendoli a cottura con forti temperature e trattandoli con soluzioni di acido solforico o cloridrico. Da questo processo si ottiene della silice che viene ulteriormente “deacidata” mediante lisciviazione alcalina e lavaggio; poi si dissecca, si macina e infine si vaglia, mescolandola successivamente, in proporzioni che possono variare dal 30 al 75%,

¹³⁵ GORIA C., *Evoluzione storica dei leganti e dei conglomerati dall’empirismo alla loro conoscenza razionale*, in GORIA C., CUSSINO L., BORASI V., 1976, pp. 74-75.

¹³⁶ *Ibidem*.

¹³⁷ MAZZOCCHI L., 1915, pp. 105-106.

¹³⁸ ACS Roma, MICA, UIBM, Serie Invenzioni, Brevetto num. 89139.

¹³⁹ ACS Roma, MICA, UIBM, Serie Invenzioni, Brevetto num. 111324.

con un agglomerante calcareo (costituito da 60 parti di calce e 40 di argilla). Il cemento così ottenuto resiste all'azione del mare. Il solfato di allumina che si ricava dal processo di precipitazione della silice può essere purificato, cristallizzato e messo in commercio.

Impasto di calce e cemento

All'interno della manualistica e dei brevetti dell'epoca, è possibile rintracciare numerose formulazioni di altri impasti, molto diffusi nel primo ventennio del Novecento, composti da miscele di calce e cemento, spesso impiegati sia per la realizzazione di elementi decorativi, che per i calcestruzzi, come riporta Mazzocchi all'interno del suo ricettario *«Le malte miste e cioè formate con miscela di grappiers o cemento e di calce idraulica, vengono impiegate in special modo nella confezione dei calcestruzzi. Con queste miscele si ottengono, con spesa moderata, le cosiddette malte piene, ossia quelle malte costituite da parti 1-1,5 parti di calce in polvere con 1 parte di cemento. Diffusa nel Nord Italia per importanti lavori di presidio alla Galleria di Ronco (linea Novi-Genova), è la miscela di 1 parte di cemento Portland con 2 parti di calce di Palazzolo; le dosi possono variare anche: in 1 parte di cemento e 1 parte di calce, oppure 1 parte di cemento e 2 parti di calce»*¹⁴⁰.

Nel 1909 Duilio Torres e Ferruccio Coppola sperimentano un processo industriale per la fabbricazione degli agglomeranti idraulici, fondato sul principio di rendere idraulica (cioè solubile e combinabile) la silice inattiva, in qualunque stato di aggregazione si trovi. *«Per la fabbricazione del cemento Portland si impiegano dei calcari aventi un determinato rapporto fra calce e argilla. Senza le caratteristiche suddette e una corretta miscela intima tra calce, argilla o di buone marne calcari di indice differente, questi prodotti non possono essere impiegati dall'industria cementizia perché contengono rilevanti quantità di silicati insolubili. Questa insolubilità è dovuta allo stato d'aggregazione, per il quale l'argilla è presente in noduli o grani che sotto l'azione del calore per calcinazione si dissociano solo parzialmente, combinandosi perciò incompletamente alla calce e che ad un calore maggiore quale occorre per la cottura del Portland, fondono costituendo una scoria di assai poco valore. Il processo presentato nel brevetto, si basa sulla preventiva finissima polverizzazione del materiale e conseguente intima mescolanza. I noduli, meccanicamente disgregati e intimamente e uniformemente mescolati alla massa, vengono a costituire un composto omogeneo con il carbonato di calcio esistente. Con tal metodo e senza nessuna aggiunta, [...] si è potuto ottenere un cemento portland da un calcare di composizione elementare conveniente, ma che per le descritte modalità d'aggregazione non aveva dato fino a quel momento che della calce mediocrementemente Idraulica»*¹⁴¹.

Un altro esempio, risalente al 1914, è il brevetto presentato da Armando Ajala, riguardante i "cementi composti"¹⁴². Tali impasti, secondo l'autore, danno ottimi risultati in termini di rapporto tra resistenza e prezzo.

Altri esempi di impasti brevettati sono:

-*cemento bianco*, composto da cemento di marna naturale (circa 45%) e carbonato di calce naturale (circa 55%);

-*cemento a rapida presa*, composto da cemento di marna naturale (circa il 25%), gesso comune (circa il 25%) e calce idraulica di Marna naturale eminentemente pura circa il 50%;

-*cemento a lenta presa* in diverse qualità:

-*I qualità* cemento di marna naturale circa il 50% ed calce idraulica di marna naturale eminentemente pura circa il 50%;

-*II qualità* argilla impalpabile circa il 20%, cemento di marna naturale circa il 40% e calce idraulica naturale eminentemente pura 40%.

¹⁴⁰ MAZZOCCHI L., 1915, pp. 106-108.

¹⁴¹ ACS Roma, MICA, UIBM, Serie Invenzioni, Brevetto num. 100840.

¹⁴² ACS Roma, MICA, UIBM, Serie Invenzioni, Brevetto num. 146076.

-calce idraulica di I qualità con calce idraulica naturale pura circa 66% e detriti del Vesuvio resi impalpabili circa il 34% e di II qualità con calce idraulica naturale pura circa il 66% e argilla impalpabile circa 34%.

2.5 LE TECNICHE PRODUTTIVE ED ESECUTIVE

L'industrializzazione, dalla fine dell'Ottocento e fino agli inizi del secolo successivo, investe tutti i settori produttivi e anche il settore dell'edilizia; l'introduzione di macchinari industriali anche nella lavorazione degli impasti cementizi velocizza i cicli produttivi e quelli di applicazione. Compaiono quindi, all'interno di manuali e riviste di settore, mezzi meccanici in grado di supportare le fasi di lavorazione. Ciò che appare sulla manualistica riflette quanto accade sul mercato ed è di ausilio per la conoscenza delle innovazioni tecniche di questo cruciale periodo.

L'operazione dell'impasto, per esempio, viene meccanizzata con l'introduzione della impastatrice, che permette di risparmiare notevolmente sui costi di manodopera, producendo più rapidamente un risultato molto più omogeneo¹⁴³. Inoltre, i macchinari permettono di mantenere la miscela fluida e umida grazie alla presenza di un serbatoio, che immette regolarmente piccole quantità di acqua nell'impasto: ciò evita l'indurimento della miscela già preparata, durante la fase di applicazione in opera.

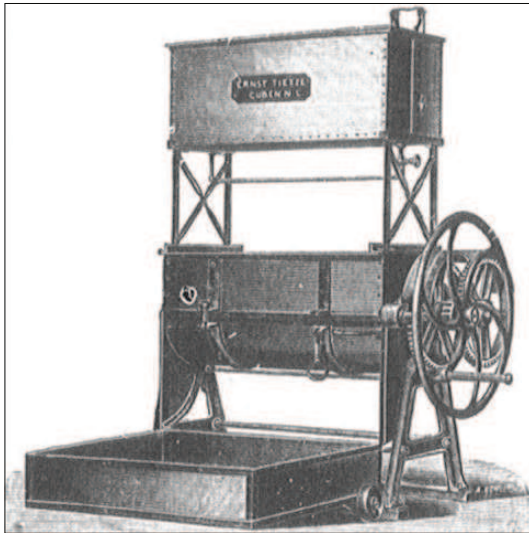


Fig. 14: Immagine di un'impastatrice, estratta dalla rivista: *Il Cemento*, anno V, n. 6, 1908, p. 151.

La fase propriamente esecutiva della decorazione architettonica può essere classificata secondo due differenti tecniche, legate principalmente alla dimensione e alla forma dell'oggetto da realizzare: l'esecuzione in opera e l'esecuzione fuori opera.

La prima è soprattutto legata alla realizzazione di modanature di cornici e marcapiani, bugnati e rivestimenti di facciata; la seconda, invece, riguarda l'applicazione di elementi architettonici prodotti fuori opera, come mensole, figure ornamentali, balaustre di scale e capitelli¹⁴⁴.

2.5.1 Esecuzione in opera

L'esecuzione di manufatti in opera, con impiego di miscele cementizie, viene dettagliatamente descritta all'interno delle pagine della rivista "Il Cemento", specificando i requisiti del supporto su cui l'impasto deve essere applicato, le condizioni climatiche e le modalità di esecuzione dell'intervento.

¹⁴³ MAROTTA R., 1979, pp. 22-31.

¹⁴⁴ TAGLIAVENTI G., 2000, pp. 145-158.

Ampiamente descritta è la specifica applicazione di bugnati per il rivestimento di facciate: «*Se essa [la muratura] non è consistente e rigida, e se è percorsa da screpolature, si è certi che l'intonacatura si screpolerà negli stessi punti della superficie sottoposta. La struttura deve essere più ruvida che è possibile con vuoti alla superficie per sostenere e assicurare il rivestimento che si applica*»¹⁴⁵.

Le raccomandazioni pubblicate precisano, poi, di fare particolare attenzione affinché le superfici siano assolutamente pulite da polvere e impurità, lavate e spesso inumidite; su quelle che assorbono «*troppo avidamente*»¹⁴⁶ l'acqua, infatti, si produrranno in seguito delle screpolature che danneggeranno l'aspetto del manufatto.

Una volta preparato il supporto, secondo i manuali, occorre procedere alla stesura di tre differenti strati per realizzare un adeguato bugnato: il primo, rinzaffo, deve essere composto da una parte di Portland, tre di sabbia e una metà di peli d'animale, intimamente mescolati con buona calce da stucco; la seconda mano costituita da una parte di Portland, due e mezzo di sabbia e il 5% di succo di calce e infine la terza, che consiste in una miscela di una parte di cemento Portland, due di sabbia e il 5% di mastice di calce, con aggiunta di silice per migliorare l'aspetto finale.

Ciascuno strato si applica dopo che il precedente ha fatto presa; infine si eseguono scanalature orizzontali e verticali, imitanti giunti, che conferiscono alla superficie realizzata l'aspetto del bugnato¹⁴⁷.

Il rivestimento superficiale ottenuto può, in ultimo, subire ulteriori trattamenti di finitura, come imbiancatura, dipintura o lucidatura.

Oltre al bugnato, si realizzano in opera anche altri elementi decorativi con aggetti finali superiori a 4 centimetri¹⁴⁸, impiegando, però, un supporto di sostegno in laterizio prima dell'applicazione del rivestimento. Tale rivestimento si realizza generalmente applicando il primo strato di rinzaffo nello spessore di circa 7 mm e un secondo strato di arriccio di spessore pari a circa 2 cm; quest'ultimo, un impasto di calce e cemento, viene lavorato con l'uso di strumenti come il mòdine, il marciamòdine e i regoli di scorrimento. Questi attrezzi sono realizzati in legno e sono fondamentali per la formatura in opera, poichè definiscono i profili delle decorazioni e modanature da realizzare¹⁴⁹; il semplice scorrimento di tale attrezzo è permesso dal marciamòdine, che viene fissato alla parete e che permette alla sagoma di modellare l'impasto conferendogli una particolare forma.

Se per la lavorazione dell'elemento è prevista anche l'applicazione di un sottile strato di cemento lavorato con martellinatura, subbiatura, ecc., lo spessore di quest'ultimo deve essere almeno di un centimetro e si consiglia l'uso di un contromòdine. In ultimo è possibile applicare anche uno strato di finitura che, se eseguita con del cemento, dovrebbe essere applicata prima che lo strato precedente si asciughi del tutto¹⁵⁰. A conclusione dell'opera di formatura e in attesa dell'applicazione della finitura, infatti, è opportuno mantenere bagnata la superficie durante la fase di indurimento, per evitare la formazione di fessure¹⁵¹. Con questo metodo non si realizzano unicamente bugnati e modanature, ma anche lesene, paraste, colonne e tutti gli elementi ornamentali di limitato aggetto rispetto al piano della parete.

¹⁴⁵ *Il Cemento*, anno VII, n. 24, 1910, pp. 21-22.

¹⁴⁶ *Il Cemento*, anno VII, n. 8, 1910, pp. 124-125.

¹⁴⁷ *Il Cemento*, anno IV, n. 1, 1907, pp. 15-16; *Il Cemento*, anno VII, n.24, 1910, pp. 21-22.

¹⁴⁸ CAVALLINI M., CHIMENTI C., p. 84.

¹⁴⁹ QUARNETI G. (a cura di), 1990, p. 24.

¹⁵⁰ TOMASINI A., 1944, pp. 20-22.

¹⁵¹ *Il Cemento*, anno VII, n. 23, 1910, pp. 18-19.

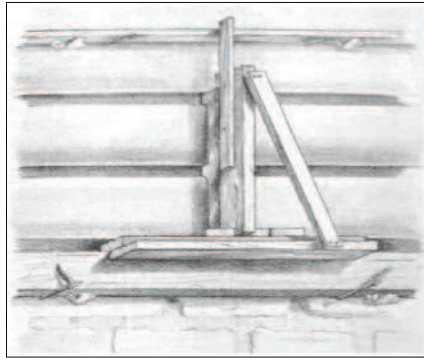


Fig. 15 - Immagine di un modine con marciamodine estratta da: CAVALLINI C., CHIMENTI C., 1996, p. 95.

2.5.2 Esecuzione fuori opera

Contemporaneamente alla realizzazione *in opera* di elementi di facciata e all'applicazione del cemento armato per usi strutturali, avviene anche l'integrazione di parti costruttive, considerabili indipendenti dalla struttura del fabbricato, come bow-windows, finestre, frontalini, ecc.. per mezzo di formature in serie, impiegando stampi per il colaggio e successivi sistemi di ancoraggio per la messa in opera.

Per questi elementi si sperimenta una nuova tecnica di realizzazione, in quanto presentano una maggiore articolazione delle forme, spesso accompagnata da un peso e da una dimensione superiori a quelli ottenibili nell'esecuzione *in opera*.

Tali elementi possono essere gettati nelle forme direttamente in cantiere, come può avvenire nel caso dei cornicioni, gettati insieme al solaio di copertura, lasciando a sbalzo una parte della soletta, a cui si ancoreranno le eventuali mensole. In alternativa, vengono realizzati in bottega dai mastri cementisti, abbassando notevolmente i costi di produzione, e successivamente montati *in opera*¹⁵² anche da maestranze meno specializzate.

L'esecuzione *fuori opera* consta di due fasi principali: la costruzione del modello e la creazione su di esso della forma per il getto.

Il modello deve avere delle caratteristiche particolari: «una conveniente preparazione del modello deve permettere da un lato che questo non succhi acqua dalla pasta che lo deve ricoprire e dall'altro, permetta il distacco integrale del materiale della forma»¹⁵³. La forma, in generale, è realizzata con l'impiego di materiali come il gesso, l'argilla o la cera; i modelli devono essere trattati in superficie in modo da non assorbire acqua in fase di formatura.

La forma in gesso può essere costituita «da un solo pezzo e aperta, oppure da diversi pezzi riunibili [in base alla complessità morfologica dell'elemento decorativo]»¹⁵⁴.

Anche per le forme in gesso, come per i modelli, è necessario applicare sulla superficie di contatto una soluzione acquosa di sapone, per evitare che la forma assorba umidità dalla massa gettata in essa. Inoltre, lo stampo «ogni qualvolta viene fatto un getto deve nuovamente essere preparato in modo da resistere agli attacchi dell'umidità»¹⁵⁵.

I manuali trattano anche l'uso di stampi (o forme) in legno e metallo, che non richiedono la realizzazione di un modello iniziale. Tuttavia gli stampi in metallo risultano troppo costosi e ben presto vengono abbandonati, mentre gli stampi in legno si impiegano perlopiù per le parti architettoniche lineari come lesene e decorazioni di finestre¹⁵⁶. Una volta realizzato lo stampo e applicati gli strati protettivi

¹⁵² *Il Cemento*, anno VII, n. 16, 1910, pp. 21-22.

¹⁵³ *Il Cemento*, anno IX, n. 3, 1912, pp. 39-40.

¹⁵⁴ *Il Cemento*, anno IX, n. 4, 1912, pp. 58-59.

¹⁵⁵ *Il Cemento*, anno VII, n. 24, 1910, pp. 23-24.

¹⁵⁶ *Il Cemento*, anno VII, n. 23, 1910, pp. 18-19.

sulla sua superficie, si effettua il getto dell'impasto cementizio¹⁵⁷.

Fig. 16 - Stampi in gesso adoperati per l'esecuzione delle mensole del Grand Hotel Milano di Brunate (Co).



La fase di indurimento deve essere sempre accompagnata da una continua bagnatura degli elementi, per evitare la formazione di fessurazioni. Una volta indurita, la forma ottenuta viene estratta dallo stampo e trattata superficialmente. L'ultima fase è quella del montaggio in cantiere, procedura agevolata se l'armatura, su cui deve essere montato l'elemento, è già in parte inglobata nella struttura costruttiva. Molto spesso all'interno dello stampo si inseriscono attacchi metallici come profilati e grappe, che diventano un unico elemento con l'impasto in fase di getto e vengono successivamente ancorati alla struttura del manufatto.

2.5.3 La finitura superficiale

La finitura superficiale delle parti decorative ottenute con l'impiego di impasti cementizi viene realizzata inizialmente con intenti imitativi della pietra naturale. Successivamente, con il riconoscimento di una certa autonomia di linguaggio architettonico, si tende lasciarlo a vista, cosicché la finitura perde i precedenti scopi imitativi e viene realizzata, invece, per conferire effetti innovativi o per mascherare imperfezioni e difetti di fabbricazione.

La finitura può avvenire su impasto cementizio ancora fresco oppure dopo l'indurimento.

La tecnica a fresco si esegue principalmente per l'ottenimento dei bugnati. Quando si devono realizzare "bugnati gentili", l'incisione si effettua con la punta della cazzuola o con un listello che viene fatto scorrere lungo la parete. Per avere, invece, "bugnati rustici", si possono impiegare diversi strumenti a seconda dell'effetto superficiale che si vuole ottenere. Un esempio è l'impiego di spatole dentate per graffiare la superficie, oppure l'uso di bugni o rulli dentati¹⁵⁸. Dopo tale operazione, la superficie viene lavata con acqua. Queste tecniche, che rimuovono parte della pasta cementizia in superficie, permettono di mettere in evidenza gli aggregati dell'impasto, conferendo vibrazioni e coloriture differenti a ciascuna bugna¹⁵⁹.

Peraltro, gli scritti dimostrano che queste tecniche sono molto apprezzate e caldamente consigliate, poiché durevoli e dall'aspetto estremamente gradevole: «L'operazione di fregamento delle superfici in calcestruzzo è in uso da soli tre anni e le opere eseguite hanno tutte conservato l'aspetto piacevole assunto subito dopo il trattamento. Inoltre in esse non s'è verificata nessuna screpolatura superficiale e ciò è senza dubbio dovuto al fatto che il trattamento seguito rimuove i materiali che sono causa di tali screpolature»¹⁶⁰.

¹⁵⁷ PINNA E., *Cementi artistici e finiture nelle facciate di inizio secolo*, in BISCONTIN G, VOLPIN S. (a cura di), 1990, pp. 561-570.

¹⁵⁸ *Il Cemento*, anno VII, n. 23, 1910, pp. 20-21.

¹⁵⁹ *Il Cemento*, anno IV, n. 1, 1907, pp. 14-15.

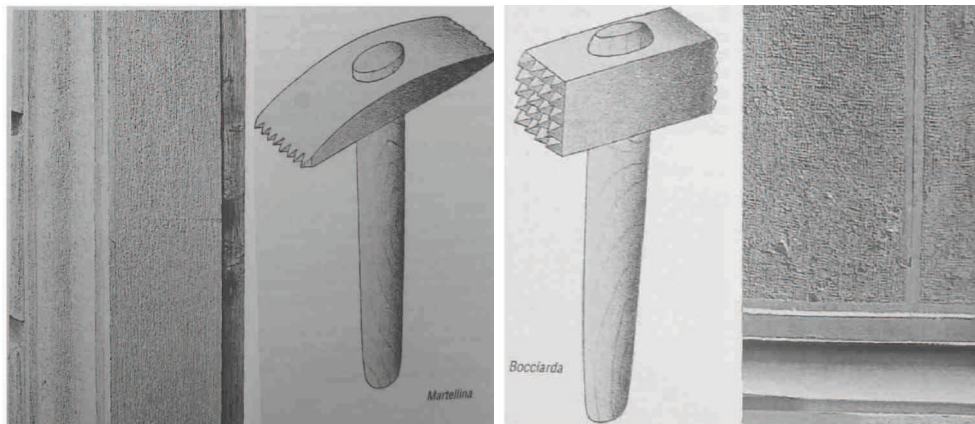
¹⁶⁰ *Il Cemento*, anno IV, n. 1, 1907, pp. 15-16.

Quando la malta presenta aggregati come pietra tenera o marmo, la superficie della malta viene sfregata con pezzi di pietra calcarea, acqua e sabbia, asportando lo strato più superficiale e mettendo in mostra la composizione degli aggregati¹⁶¹.

Per quanto riguarda invece le operazioni di finitura a secco, esse si effettuano nelle fasi finali di indurimento del cemento. Lo strato di cemento che si forma sulla superficie dell'elemento indurito viene eliminato con un'operazione di martellinatura¹⁶²; in questo modo si lascia apparire il naturale colore del cemento e si scoprono i grani di sabbia presenti. «Quando la superficie della malta è indurita, essa può essere lavorata come si lavora la pietra [...] si possono usare tutti gli strumenti degli scalpellini e ottenere un tale effetto che ad una breve distanza l'apparenza sia identica a quella della pietra naturale. Lavorando il materiale quando è fresco è impossibile avere degli angoli vivi»¹⁶³.

Altri strumenti che possono essere impiegati per la lavorazione a secco dell'impasto sono: la bocciarda, e in questo caso si parla di bocciardatura; la subbia, e in questo caso si ha la subbiatura; infine lo scalpello battuto con un mazzuolo, ottenendo una scalpellatura.

Per quanto attiene, infine, la tinteggiatura delle superfici in cemento è possibile impiegare pitture ad olio o speciali: «si può usare sul cemento la pittura a smalto, purché la parte posteriore non sia esposta all'umidità o al gelo, i quali ne produrrebbero lo scrostamento. Gli smalti che si ottengono per cottura non possono essere adoperati poiché il processo di cottura disidraterebbe il cemento, provocando la disgregazione della malta»¹⁶⁴.



Figg. 17 e 18 - Esempio di bocciarda e di martellina. Immagine estratta da: CAVALLINI C., CHIMENTI C., 1996, pp. 103-104.

2.6 ALTRI PRODOTTI

Oltre alle informazioni legate alla composizione degli impasti storici, i manuali del periodo forniscono un quadro generale anche dei prodotti a base cementizia presenti sul mercato: un interessante esempio è costituito dai sistemi costruttivi di pareti con l'uso di blocchi cavi di cemento¹⁶⁵, di cui si pubblicizzano forme, dimensioni e utilizzi, ma anche prodotti commerciali come il *Cemento Duralbo* e il *Cromo cemento*¹⁶⁶, ovvero cementi bianchi e colorati ad alta resistenza, da impiegare come intonaci, pubblicizzati per le ottime proprietà cromatiche, il rapido indurimento e le alte resistenze.

¹⁶¹ *Il Cemento*, anno VII, n. 23, 1910, pp. 19-20.

¹⁶² PINNA E., *Cementi artistici e finiture nelle facciate di inizio secolo*, in BISCONTIN G, VOLPIN S. (a cura di), 1990, pp. 561-570.

¹⁶³ *Il Cemento*, anno VII, n. 23, 1910, pp. 19-20.

¹⁶⁴ *Ivi*, pp. 22-23.

¹⁶⁵ GRIFFINI, E.A., 1948, pp. 82-84.

¹⁶⁶ *Ivi*, p. 434.

La diffusione dei blocchi in conglomerato cementizio è agevolata dall'invenzione di macchinari che producono in serie gli elementi, con la possibilità di modificare l'aspetto esteriore del blocco, grazie all'uso di stampi pre-inseriti nella macchina: in questo modo è possibile produrre le facciate con blocchi già decorati¹⁶⁷. Questi blocchi sono peraltro studiati per essere composti da strati differenti: la parte interna, che assolve a funzioni strutturali, presenta un impasto contenente cemento e ghiaia, mentre le facce esterne, con valenza decorativa, sono costituite da miscele di granulometrie più fini, con cemento e sabbie.

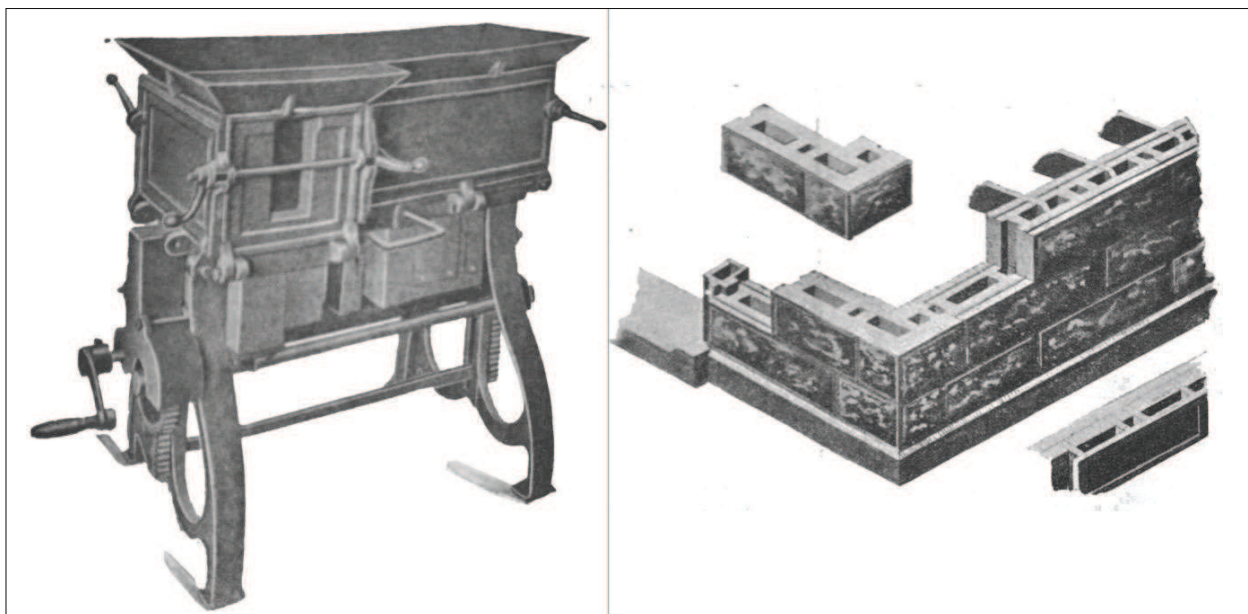


Fig. 19 - Macchina per la realizzazione di blocchi. Immagine estratta da *Il Cemento*, anno I, n. 2, 1904, pp. 138-139.

Un esempio di impasto formulato per essere impiegato nella produzione di blocchi per murature è descritto dal Cesare Palazzi in un brevetto presentato ad Avezzano nell'ottobre del 1908: «*La presente invenzione ha per oggetto un impasto cementizio atto alla produzione di blocchi armati o meno, di qualsiasi forma, forati o pieni composti di: Ceneracci di carbone fossile o di qualsiasi altro combustibile impastati con acqua e cemento servibili per costruzione edile e cioè:*

Muri in genere, loggie, mensole, parapetti, colonnine per verande, recinti, serre, ecc. L'impasto a seconda dell'uso può variare nei limiti seguenti:

4 a 6 parti di ceneracci

1 parte di cemento

3/4 a 4 parti di acqua

I blocchi armati vengono rinforzati con ferri i quali formano una sola massa coll'impasto che li avvolge.

Le proporzioni citate a modo di esempio, naturalmente potranno differire a seconda del lavoro che si deve fare»¹⁶⁸.

Provando a fare delle ipotesi in merito alla formulazione dell'impasto descritto nel brevetto, si può ipotizzare che le ceneri previste abbiano la funzione di alleggerire il peso dell'impasto, usato per la fabbricazione dell'elemento, affinché si potesse maneggiare e porre in opera con facilità e, soprattutto, con il fine di non appesantire le pareti di tamponamento in cui è posto in opera.

I blocchi da costruzione sono largamente diffusi nell'edilizia dell'epoca, sicché Enrico Griffini riporta un certo numero di tipologie di tali elementi costruttivi nel suo manuale¹⁶⁹, che raccoglie gran parte delle tecniche costruttive annoverate fino a

¹⁶⁷ *Il Cemento*, anno I, n. 2, 1904, pp. 138-139.

¹⁶⁸ ACS Roma, MICA, UIBM, Serie Invenzioni, Brevetto num. 98375.

¹⁶⁹ GRIFFINI E.A., 1948, pp. 78-88.

quel momento nell'ambito edilizio. Anche nel suo manuale, le lastre e i blocchi di conglomerato cementizio, descritti ed impiegati per la realizzazione di pareti di tamponamento, presentano nell'impasto la pomice: tale aggiunta conferma l'ipotesi avanzata per l'uso delle ceneri, quali additivi per alleggerire il peso dell'impasto. All'interno del manuale si possono trovare anche tutte le dimensioni e la varietà di forature presenti nei blocchi ed in uso all'epoca. Infine si rappresenta con immagini il montaggio dei blocchi nella parete di tamponamento, ponendo particolare attenzione al posizionamento delle armature e degli elementi portanti della struttura¹⁷⁰. Ai blocchi si affiancano i mattoni che, dapprima in Europa centrale (soprattutto in Germania), poi anche in Italia, trovano larga diffusione, sostituendo i più tradizionali laterizi. Tali mattoni di cemento possono subire ulteriori lavorazioni che permettono, attraverso l'uso di presse, di ottenere diversi motivi decorativi stampati su due delle facce: «*tipi di presse ve n'è parecchi, a poche si riducono però quelle indicate per le pietre silico calcari. Esse possono distinguersi in due specie, a seconda della faccia del mattone su cui esercitano la pressione; ad esempio trattandosi di mattoni normali 6x11x23, le une l'esercitano sulle faccie 11x23 le altre sulle faccie 6x23. Oppure le presse possono distinguersi in quelle ad urto e in quelle a leva; nelle prime la pressione è data dalla caduta di uno stampo sopra la miscela raccolta in una cassetta o forma inferiore, nel secondo caso è esercitata da un sistema di leve a ginocchio o con eccentrico*»¹⁷¹. Anche nel nostro paese si importano i macchinari e le tecniche esecutive: un esempio è riportato nella rivista *Il Cemento* del 1904, che riferisce nel dettaglio il procedimento per la realizzazione di questo prodotto e il funzionamento del macchinario adatto al suo confezionamento.

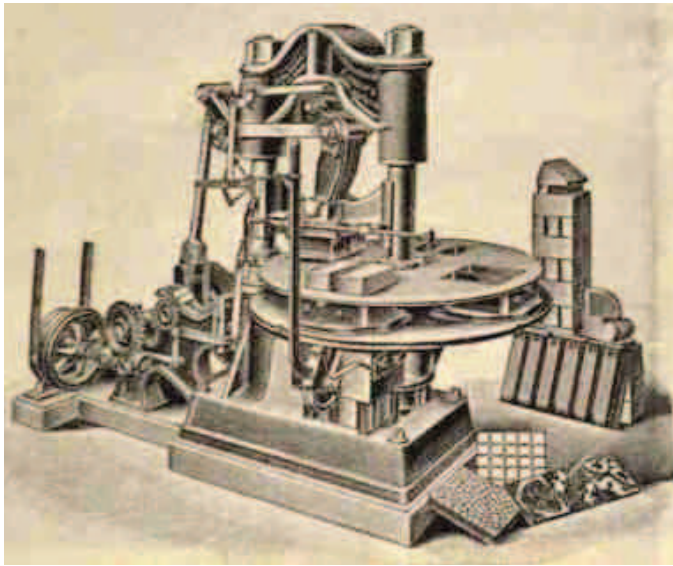


Fig. 20 - Pressa "Bernhardi & Sohn" per la realizzazione di mattoni. Immagine estratta da: *Il Cemento*, anno I, n. 2, 1904, p. 105.

Interessanti sono le soluzioni illustrate nei manuali per l'ancoraggio delle pesanti decorazioni in pietra artificiale, prodotte con impasti a base cementizia: tali elementi decorativi (che di solito sono cornici, marcapiani, lastre) sono agganciati a solette piene a sbalzo o a sistemi di travi in calcestruzzo armato¹⁷².

In merito ai differenti metodi di produzione degli elementi decorativi in cemento, interessanti risultano alcuni brevetti risalenti ai primi anni del XX secolo, che dimostrano come le imprese sperimentino le prime tecniche costruttive per la realizzazione di motivi decorativi da applicare alle facciate degli edifici. Un esempio è il brevetto presentato, nel dicembre del 1902, dai fratelli Micheli di Piacenza e avente il titolo «*Descrizione del nuovo metodo di produzioni piane policrome ornamentali*

¹⁷⁰ GRIFFINI E.A., 1948, p. 21.

¹⁷¹ *Il Cemento*, anno I, n. 2, 1904, pp. 104-105.

¹⁷² *Il Cemento*, anno VI, n. 8, 1909, pp. 113-115.

figurative in cemento».

Il brevetto illustra le fasi di lavoro da eseguire per creare un cemento decorativo a stampo: «*Sopra di un piano ben levigato (che può essere una Lastra di marmo, di vetro o di un metallo qualunque) si delinea il disegno che si ha in animo di produrre; e si noto che questo disegno deve essere fatto negativamente, cioè al rovescio. Eseguito il disegno vi si passa sopra con una velatina di olio di olivo o di grasso ben stemperato e liquido. Quindi si procede all'applicazione sul detto piano levigato, dei vari cementi policromi, la quale si ottiene per mezzo di apposito paletto (di ferro, di acciaio o di qualsiasi altro metallo o di legno durissimo), seguendo diligentemente il disegno e non tanto i contorni quanto le tinte, i loro toni e le loro degradazioni per ottenere fedelmente la riproduzione del disegno ornamentale o figurativo studiato preventivamente. E così coperto, coi cementi colorati, una parte del disegno questa deve essere tosto ingrossata e ridotta ad uno spessore tale che abbia consistenza e che permetta il distacco del piano su cui si è lavorato ed il trasporto dell'opera in qualsiasi altro posto. L'ingrossamento del lavoro si ottiene nel modo seguente: sullo strato sottile ottenuto coi cementi colorati spandiamo altro cemento asciutto misto anche ad arena grossa, qualora i lavori abbiano proporzioni rilevanti, ed otteniamo così un secondo strato che esibisce una superficie scabrosa, la quale per essere tale ci permette l'applicazione e la coesione finale di un terzo strato, con impasto liquido di cemento e ghiaia minuta, cui si può dare quello spessore che si desidera a seconda della destinazione dell'opera. Ottenuta la sovrapposizione dei tre strati e quindi il completamento dell'opera, questa per alcuni giorni deve giacere allo scopo di ottenere, come dicesi, la sua stagionatura che a seconda della stagione o del locale più o meno riscaldato, potrà raggiungere in un periodo di tempo non mai superiore agli otto giorni»¹⁷³.*

Da tale descrizione è possibile dedurre la tecnica costruttiva degli elementi decorativi a stampo molto diffusi nei primi anni del secolo; la conoscenza delle fasi di realizzazione permette di spiegare da un lato la dinamica delle manifestazioni di degrado (per esempio, l'esecuzione di tre strati distinti favorisce la loro sfogliatura, provocandone il distacco) e dall'altro facilitare il percorso di reintegrazione, suggerendo le modalità di esecuzione dell'intervento da eseguire.

¹⁷³ ACS Roma, MICA, UIBM, Serie Invenzioni, Brevetto num. 66348.



3 ANALISI DEI DEGRADI DEGLI IMPASTI CEMENTIZI

L'immagine presente nella pagina precedente ritrae un dettaglio del degrado degli elementi costruttivi (blocchi) e decorativi (cornici) realizzati, con l'uso di impasti cementizi, sulla facciata di Villa Sarti in viale Giosuè Carducci n.111 a Lucca.

3.1 SCELTA DEI CASI STUDIO

La fase di studio dei fenomeni di degrado è stata impostata sulla raccolta, la catalogazione e la valutazione di una serie di dati, riguardanti numerosi casi studio.

È stato preso in esame un campione significativo di fabbricati e per la raccolta dei dati sono state redatte schede, tabelle e database, tarati per combinare esaustività delle informazioni, confrontabilità dei dati e rapidità di analisi.

Tale schedatura è stata strutturata partendo dall'individuazione dei casi: sono stati selezionati esempi di architetture di pregio storico artistico, rientranti all'interno della categoria degli edifici residenziali e palaziali che presentano sui fronti esterni elementi architettonici plasmati con impasti cementizi, ottenendo un campione rappresentativo di un insieme più vasto di edifici realizzati agli inizi del XX secolo.

La scelta degli edifici analizzati ha il preciso intento di indagare delle architetture che rientrano in una specifica categoria tipologica: si è preferito scegliere le ville e i palazzi, categorie più diffuse nel periodo liberty e che abbracciano un patrimonio quantitativamente vasto (patrimonio dell'edilizia diffusa), caratterizzato dall'uso di impasti cementizi impiegati per coniugare funzione strutturale e decorativa in un unico elemento¹; peraltro, anche se oggi molti di questi fabbricati, hanno funzioni differenti, nascono secondo modalità simili e con analoghi schemi tipologici e decorativi.

Per quanto attiene l'ambito temporale, i casi studio selezionati spaziano dal 1900 al 1918. Tale fase è da considerarsi il momento di massima diffusione del periodo liberty nelle città italiane.

La stagione vede la sua massima espressione nell'Esposizione Universale di Torino del 1902 e si protrae fino agli ultimi anni del secondo decennio del secolo², quando comincia il suo declino fino a lasciare il posto ai nuovi movimenti emergenti: la "Prima Mostra di Nuove Tendenze", svoltasi a Milano nel 1914, con la partecipazione di Antonio Sant'Elia e Mario Chiattone, apre infatti la strada alla stagione futurista che vede nella "Prima Esposizione regionale lombarda di arti decorative", tenutasi a Milano nel 1919, la prima tappa ufficiale³.

Il periodo liberty si manifesta con alcuni anni di ritardo nelle aree più periferiche dell'Italia centrale, come dimostrano le date di costruzione degli edifici selezionati come casi studio e risalenti al 1916-1918, rintracciati nelle province costiere delle Marche.

Le architetture scelte costituiscono un insieme eterogeneo di casi realizzati da progettisti più o meno noti, con l'intento di poter indagare le diverse caratteristiche che le contraddistinguono.

La campagna di rilievo ha costituito un momento di verifica per la riconoscibilità del linguaggio liberty che, diversamente da quanto si possa credere, denota una grande varietà di realizzazioni che rendono ciascun caso un esempio a sè, diverso dagli altri per materiali, tecniche e fattura. Esistono dei caratteri di serialità, riscontrabili negli elementi decorativi più semplici, dove minore è il contributo creativo dell'artista-cementista. Ma esiste anche grande varietà espressiva, dettata dalla personalità del committente e dalla creatività e maestria del progettista ed esecutore.

I casi sono stati individuati all'interno del territorio italiano, in particolare nella regione Emilia Romagna. Tuttavia, al fine di determinare con maggiore obiettività le cause e le manifestazioni del degrado che caratterizzano gli edifici emiliani, si è deciso di mettere a confronto i dati raccolti all'interno di questa regione, con quelli relativi ad edifici presenti nelle regioni vicine. I risultati, estrapolati dall'analisi sulle architetture locali, sono stati confrontati con i risultati ottenuti dallo stesso tipo di analisi condotte su edifici presenti nelle regioni in cui l'architettura liberty ha avuto

¹ SANDROLINI F., FRANZONI E., *Recovery of Art Nouveau European architecture: materials, technologies, degradation and conservation strategies*, in AA.VV., 2006, pp. 379-384.

² Si veda il paragrafo "2.2 Diffusione in ambito italiano".

³ *Ibidem*.

analoga diffusione che in Emilia Romagna; in particolare sono stati analizzati esempi delle regioni Toscana, Lombardia, Veneto e Marche per fare un confronto partendo da condizioni climatiche analoghe. Nello specifico sono stati schedati circa venti edifici di linguaggio liberty in area emiliano - romagnola, realizzati tra il 1900 e il 1918, con funzione residenziale, che presentano diverse manifestazioni di degrado (la scelta è ricaduta su edifici con problematiche conservative). Essi sono stati confrontati con quarantatre edifici dislocati nelle regioni vicine. In totale, dunque, sono stati presi in esame sessantatre fabbricati.

La maggior parte degli edifici selezionati non è soggetta a vincolo storico-artistico: ciò implica che questi edifici, pur presentando dei fronti esterni pregevoli dal punto di vista storico e/o artistico, non sono ancora riconosciuti come beni culturali e per questo motivo, sono soggetti ad interventi dettati dalla sola sensibilità del progettista o del committente; questi ultimi, in molti casi, dinanzi al forte degrado e all'urgenza dell'intervento, operano sull'edificio senza avvalersi di un confronto con specialisti di restauro.

In seguito, si è proceduto alla raccolta dei dati attraverso indagini di archivio, per la ricostruzione storica, e con sopralluoghi, per condurre un rilievo fotografico speditivo delle principali manifestazioni di degrado. Per ciascun edificio sono state redatte tre tipologie di schede che raccolgono informazioni differenti.

La prima è la scheda di ricognizione fotografica, che raccoglie le immagini globali e di dettaglio dell'edificio, focalizzando l'attenzione sulle manifestazioni di degrado presenti sui fronti. La seconda è la scheda storica, relativa alle informazioni sulle fasi costruttive della fabbrica e alle descrizioni dell'intero stabile, corredata da fotografie e documenti d'archivio che riguardano i disegni di cantiere, le facciate e l'impianto planimetrico; la terza è la scheda inerente il materiale, che raccoglie le informazioni mineralogico-petrografiche dell'impasto con cui è stato costruito l'elemento analizzato: dimensione, colore e forma degli aggregati, tipo di legante, eventuali additivi, tecnica di lavorazione, tecnica di finitura e stato di conservazione. Le informazioni raccolte in queste ultime schede sono il risultato di una serie di campionamenti eseguiti in loco e successivamente analizzati in laboratorio attraverso indagini diagnostiche eseguite da esperti. Le campionature costituiscono un insieme variegato di esempi di impasti, che rispecchia l'effettiva complessità dell'esistente e che al contempo rende più evidenti alcune possibilità di confronto. Alla raccolta così strutturata, segue una valutazione dei dati che ha come prodotto la redazione di tabelle, grafici e valutazioni riguardo alle cause delle diverse alterazioni, alle manifestazioni più evidenti legate all'ambiente e al territorio, alle tecniche esecutive e al tipo di impasto adoperato.

I risultati di tale disamina critica convergono nelle schede del degrado, primo prodotto della ricerca, in cui sono riassunti i dati e le immagini dei degradi che interessano gli impasti cementizi.

Le schede e le valutazioni fin qui descritte sono illustrate nei successivi paragrafi.

Di seguito è riportata una tabella riassuntiva dei casi studio analizzati.

Tab. 1 - Tabella dei casi studio analizzati.

	EDIFICIO	CITTÀ	INDIRIZZO	ANNO
1	Villino Pennazzi	Borgo Panigale (BO)	via Sant'Agnese, 2	1900
2	Privata abitazione	Milano	Via Pisacane, 12	1902
3	Privata abitazione	Milano	Via Pisacane, 16	1902
4	Privata abitazione	Milano	Via Pisacane, 22-24	1902
5	Privata abitazione	Milano	via dei Mille, 68	1902
6	Privata abitazione	Milano	Via Gustavo Modena, ang. p.zza F.lli Bandiera	1902
7	Villa De Nardis-Palombaro	Grottammare	Viale della Repubblica, 38	1902

8	Casa Dugnani	Milano	Via Aurelio Saffi, 9	1902-03
9	Villa Ducloz	Lucca	via Matteo Civitali, 234	1903
10	Villino Melchiorri	Ferrara	viale Cavour, 184	1903-04
11	Casa Donzelli	Milano	Via Vincenzo Gioberti, 1	1903-04
12	Casa Galimberti	Milano	Via Marcello Malpighi, 3	1903-05
13	Palazzo Fortuna	Lucca	viale G. Giusti, ang. via Montegrappa	1904
14	Privata abitazione	Milano	via dei Mille, 70 ang. via Gaio	1904
15	Casa Guazzoni	Milano	Via Marcello Malpighi, 12	1904-06
16	Collegio Universitario	Padova	Via Donatello, ang. via Briosco	1904-06
17	Villa Pompili	Cesenatico (FC)	Viale Anita Garibaldi, 22	1905
18	Aedes Bormioli	Parma	Via dei Farnese	1905
19	Villino Mosti Trotti Estense	Bologna	Via Rodolfo Audinot, 8	1905
20	Privata abitazione	Bologna	Via Rodolfo Audinot, 17	1905-10
21	Privata abitazione	Bologna	Via Rodolfo Audinot, 25	1905-10
22	Privata abitazione	Bologna	Via Rodolfo Audinot, 29	1905-10
23	Privata abitazione	Bologna	Via Francesco Roncati, 16	1905-10
24	Villa Duò	S. Felice sul Panaro (MO)	viale Campi, 4	1905
25	Casa Laugier	Milano	Corso Magenta, 96	1905-06
26	Palazzina Crespi	Bologna	Via Giacomo Matteotti, 21	1905-07
27	Privata abitazione	Milano	via Domenico Scarlatti, 29	1905-08
28	Villa Ida Lampugnani	Parabiago (MI)	Via Giacomo Matteotti, 29	1907
29	Palazzina Franchini	Lucca	via Matteo Civitali, 369	1907
30	Pensione Florence	Riccione	via Trento e Trieste, 17	1907
31	Casa Apostolo	Milano	Via Torquato Tasso, 15	1907
32	Villino Masieri	Ferrara	viale Cavour, 114	1908
33	Villino Trento	Venezia	Via Enrico Dandolo 16	1908-09
34	Hotel Campo dei Fiori	Varese	Via Campo dei Fiori	1908-12
35	Villino Chelini/Campedelli	Lucca	viale Puccini, 1757	1909?
36	Palazzo Bertolli	Lucca	viale Cavour, 267-287	1910
37	Casa Ambrosi	Parma	Borgo della Cavallerizza 4/ p.za Ghiaia 19	1910
38	Villino Longhi	Parma	Viale Rustici, 2	1910
39	Privata abitazione	Empoli (FI)	Via Curtatone e Montanara 9	1910
40	Privata abitazione	San Benedetto del Tronto	Via Luigi Dari, 22	1910
41	Grand Hotel Milano	Brunate (CO)	largo della Funicolare	1910-11
42	Privata abitazione	Milano	Via Michele Barozzi, 2	1910-12
43	Privata abitazione	Milano	Via Michele Barozzi, 8	1910-12
44	Villino Bonazzi	Parma	viale rustici, 8	1911
45	Casa Berri-Meregalli	Milano	Via Cappuccini, 8	1911-14
46	Privata abitazione	Milano	Via Cappuccini, 6	1911-14
47	Privata abitazione	Milano	Via Cappuccini, 4	1911-14
48	Villino Del Magro	Lucca	viale Giuseppe Giusti, 331	1912

49	Casa Hahn	Milano	Via Luigi Settembrini, 38- 40	1912
50	Privata abitazione	Milano	Via Domenico Scarlatti, 27	1912
51	Casa Donzelli	Milano	Via Torquato Tasso, 8	1912
52	Casa Bonini	Parma	Via Trento 46	1912
53	Villino Battioni	Parma	Via Palestro 4	1912
54	Casa Galleria	Firenze	Borgo Ognissanti, 26	1912-13
55	Palazzo Silvestrini	Lucca	viale Giosuè Carducci, 79	1913
56	Palazzo Zanchi	Parma	Via Farini 69 ang. via Rondani	1913
57	Cà di Me	Venezia	Via Domenico Selvo 1	1913
58	Albergo del Corso	Padova	Corso del Popolo, ang. Via Trieste	1913
59	Privata abitazione	Padova	Corso del Popolo, 79/85	1914
60	Villa Sarti	Lucca	viale Giosuè Carducci, 111	1915-16
61	Palazzo Lusignani	Parma	Via Repubblica, 43	1916
62	Villa Severini	Fano (PU)	Via Roma, 69	1917-19
63	Villa Bozzoni	San Benedetto del Tronto	Viale Trieste, 2	1918

Per ciascun caso studio sono state redatte tre schede differenti:

-la scheda di ricognizione fotografica

-la scheda storica

-la scheda del materiale

Al fine di fornire una presentazione generale dei casi, nella sezione allegati sono state riportate le schede di ricognizione fotografica di tutti i sessantatre edifici, indicando la localizzazione, la facciata e i principali degradi che interessano gli impasti cementizi.

A seguire, per una maggiore sinteticità, sono state riportate, a titolo esemplificativo, soltanto le schede riguardanti tre casi tra i più significativi (pur avendo eseguito la schedatura di tutti i sessantatre i casi), scelti in quanto più completi e ricchi dal punto di vista storico e dei degradi riscontrati.

Essi sono il Villino Pennazzi a Borgo Panigale (BO), il Grand Hotel Milano a Brunate (Co) e Villa Sarti a Lucca.

3.1.1 Schede di ricognizione fotografica

RILIEVO FOTOGRAFICO

EDIFICIO: Villino Pennazzi, Borgo Panigale (Bologna), via Sant'Agnese, 2

PROGETTISTA: Attilio Muggia ANNO DI REALIZZAZIONE: 1900

Localizzazione



Visione generale del prospetto lungo via della Salute



Visione generale del prospetto principale con ingresso

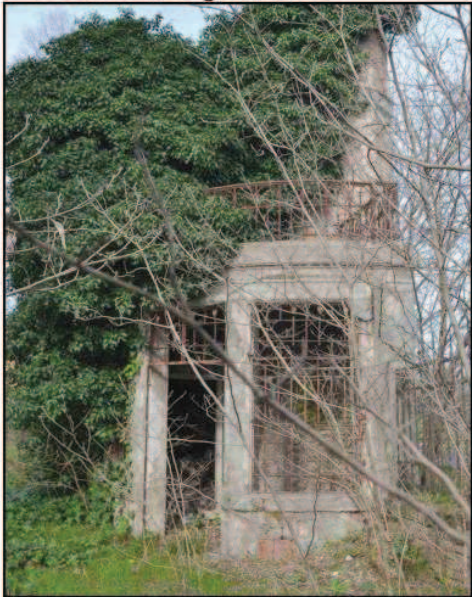


RILIEVO FOTOGRAFICO DELLE MANIFESTAZIONI DEL DEGRADO

EDIFICIO: Villino Pennazzi, Borgo Panigale (Bologna), via Sant'Agnese, 2

PROGETTISTA: Attilio Muggia ANNO DI REALIZZAZIONE: 1900

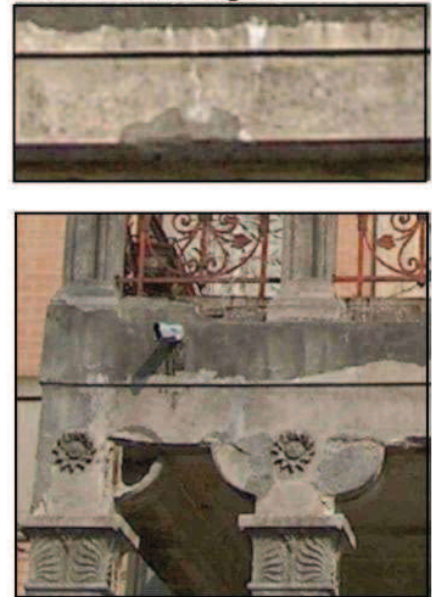
Presenza di vegetazione



Deposito superficiale



Intervento incongruo



Perdita della finitura superficiale



Presenza di vegetazione



Distacco



Biodeterioramento



RILIEVO FOTOGRAFICO

EDIFICIO: Grand Hotel Milano, Brunate (Co), largo della funicolare

PROGETTISTA: Achille Manfredini ANNO DI REALIZZAZIONE: 1910-11

Localizzazione



Visione generale dell'ingresso sul prospetto principale



Prospetto verso la funicolare



Visione generale verso il piazzale di ingresso



Visione generale del prospetto principale

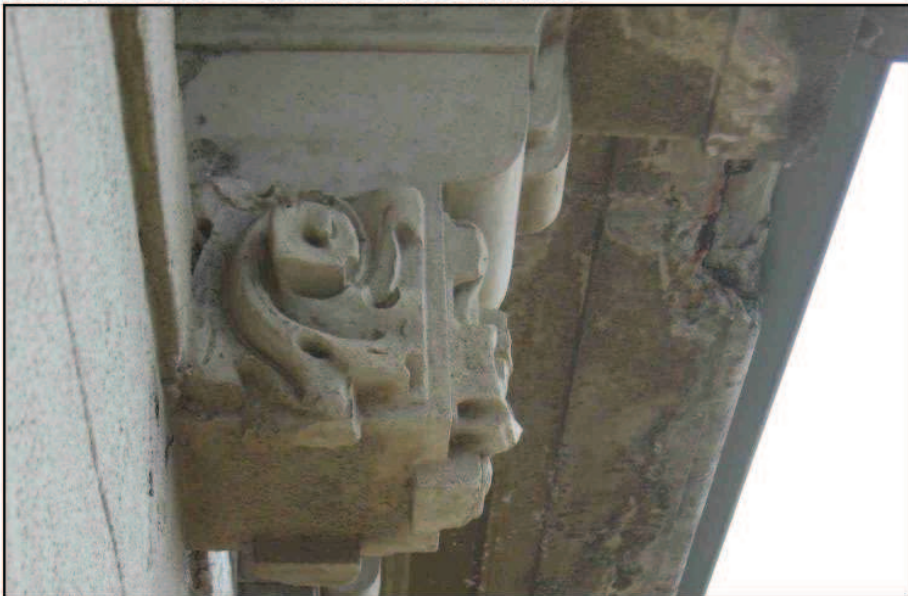


RILIEVO FOTOGRAFICO DELLE MANIFESTAZIONI DEL DEGRADO

EDIFICIO: Grand Hotel Milano, Brunate (Co), largo della funicolare

PROGETTISTA: Achille Manfredini ANNO DI REALIZZAZIONE: 1910-11

Carbonatazione e corrosione delle armature



Presenza di vegetazione



Erosione e perdita delle finiture superficiali



Erosione e distacchi



Distacco del coprifermo e corrosione delle armature



Biodeterioramento

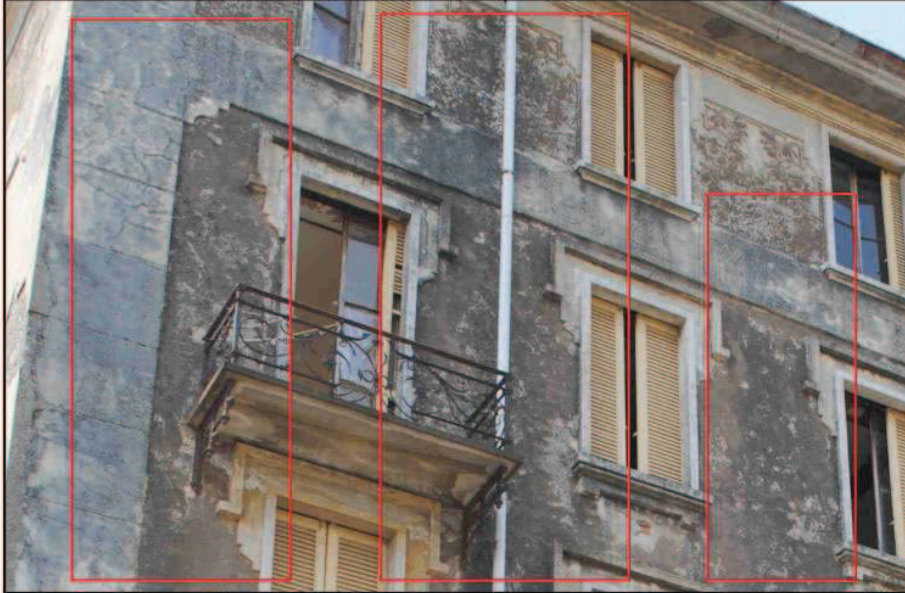


RILIEVO FOTOGRAFICO DELLE MANIFESTAZIONI DEL DEGRADO

EDIFICIO: Grand Hotel Milano, Brunate (Co), largo della funicolare

PROGETTISTA: Achille Manfredini ANNO DI REALIZZAZIONE: 1910-11

Biodeterioramento



Deposito superficiale e colature



Croste nere



Erosione e distacchi



Colature e deposito superficiale



RILIEVO FOTOGRAFICO

EDIFICIO: Villa Sarti, Lucca, viale Giosuè Carducci, 111

PROGETTISTA: Giovan Lelio Menesini ANNO DI REALIZZAZIONE: 1915-16

Localizzazione



Visione generale del prospetto lungo viale Carducci



Visione generale del prospetto verso il giardino



Visione del bow window



Visione generale



RILIEVO FOTOGRAFICO DELLE MANIFESTAZIONI DEL DEGRADO

EDIFICIO: Villa Sarti, Lucca, viale Giosuè Carducci, 111

PROGETTISTA: Giovan Lelio Menesini ANNO DI REALIZZAZIONE: 1915-16

Croste, biodeterioramento, fessure



Distacchi, lesioni



Carbonatazione, corrosione delle armature



Erosione



Colature



Biodeterioramento



RILIEVO FOTOGRAFICO DELLE MANIFESTAZIONI DEL DEGRADO

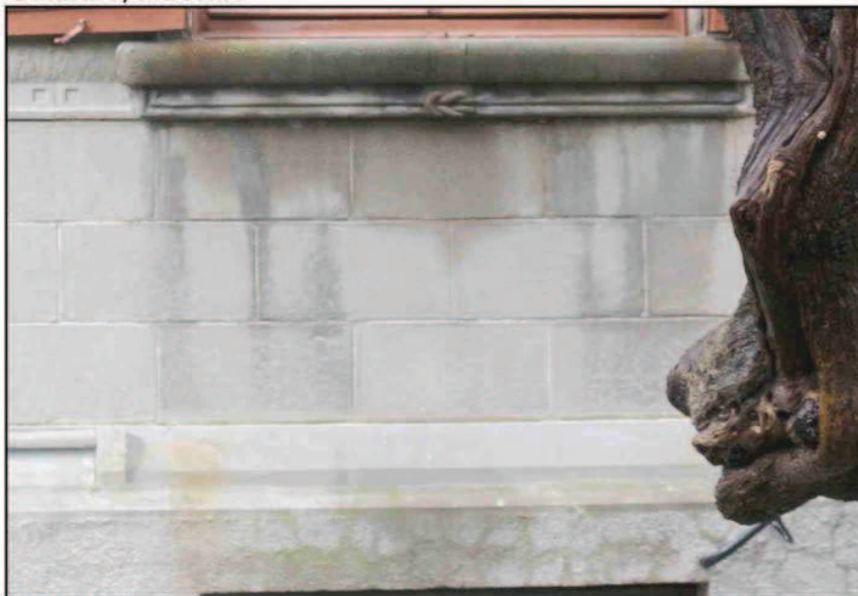
EDIFICIO: Villa Sarti, Lucca, viale Giosuè Carducci, 111

PROGETTISTA: Giovan Lelio Menesini ANNO DI REALIZZAZIONE: 1915-16

Carbonatazione, distacchi



Colature, macchie



Biodeterioramento



Croste, efflorescenza



Affioramento di aggregati



3.1.2 Schede storiche

INDAGINE STORICA DELL'EDIFICIO

EDIFICIO: Villino Pennazzi, Borgo Panigale (Bologna), via Sant'Agnese, 2

ALTRE DENOMINAZIONI: Villa Flora, Villa Gina

Il Villino Pennazzi è uno dei primi esempi di architettura liberty nell'area bolognese; situato in via Sant'Agnese, è stato costruito per essere la residenza del conte Pennazzi, ma dopo alterne vicende e numerosi cambi di proprietà, attualmente versa in uno stato di totale abbandono. Secondo alcune fonti¹, prima dell'arrivo di Napoleone, l'area comprende un piccolo fabbricato rustico di proprietà delle Monache del Monastero dei Santi Naborre e Felice di Bologna; con la soppressione degli ordini religiosi da parte dei francesi, questo possedimento monastico viene venduto a diversi privati e da questo momento si alternano una serie di proprietari fino al 1900, anno in cui Cosimo Pennazzi acquista l'area e ne diviene il proprietario.

Quest'ultimo è un nobile residente in Egitto che acquista quest'area per costruire un'abitazione per sé e per la moglie Virginia Lisi. Il progetto di realizzazione viene affidato all'ing. Attilio Muggia².

L'edificio è a pianta quadrata e si sviluppa su due piani, più un terzo in cui prosegue soltanto il vano centrale e l'ala del prospetto opposto a quello principale, formando all'ultimo piano un volume a T. I prospetti sono scanditi in tre campate da lesene in malta cementizia riccamente decorate che richiamano sui fronti la scansione della struttura portante in conglomerato cementizio armato. Le campate sono in laterizio, quasi certamente intonacato, poichè sono ancora visibili dei lacerti di intonaco. Anche le fasce di marcapiano presentano ancora delle pitture che riportavano disegni floreali e vegetali (fig. 1). Il progetto presenta dei dettagli strutturali che si rifanno al sistema Hennebique³, in quanto il progettista Attilio Muggia è concessionario del sistema costruttivo francese a partire dal 1896 per l'Italia centrale⁴. L'organizzazione degli ambienti è basata sulla realizzazione di un salone passante su cui si affacciano tutti gli ambienti⁵; all'esterno si riscontrano ornamenti di grande impatto visivo che si rifanno al tema floreale con richiami all'architettura egiziana, come nei disegni delle palme visibili dal vero e dai disegni riportati in archivio (fig. 2). Il salone corrisponde al corpo centrale che originariamente, come dimostrato dai disegni, doveva emergere rispetto alle terrazze circostanti, oggi tamponate con superfetazioni successive. Dal confronto con le immagini riportate sulle riviste dell'epoca⁶ e la situazione attuale (figg. 3 e 4), è possibile distinguere quali sono le superfetazioni non appartenenti al progetto iniziale e costruite in seguito ai cambi di destinazione d'uso. All'ultimo piano infatti, si ritrovano due volumi collocati dove inizialmente erano presenti le due terrazze che circondavano il salone centrale che svettava sul resto dell'edificio.



Fig.1



Fig.2



Fig.3



Fig.4

Note

¹ NALDI P., in "La Repubblica – sezione Bologna", 03/06/2009, p.11.

² MUGGIAA., *Progetto di Villa Gina, via S. Agnese*, in AM, fondo privato, sezione di architettura, Università "Alma Mater Studiorum" di Bologna.

³ Anonimo, in "Il Cemento", n.12, 1908, a. V, p.148.

⁴ BETTAZZI M.B. (a cura di), 2003, pp. 39-40.

⁵ MUGGIAA., in "L'edilizia moderna", a. XIV, fasc. XI, 1905, pp. 57-58.

⁶ *Ibidem*.

INDAGINE STORICA DELL'EDIFICIO

EDIFICIO: Villino Pennazzi, Borgo Panigale (Bologna), via Sant'Agnese, 2

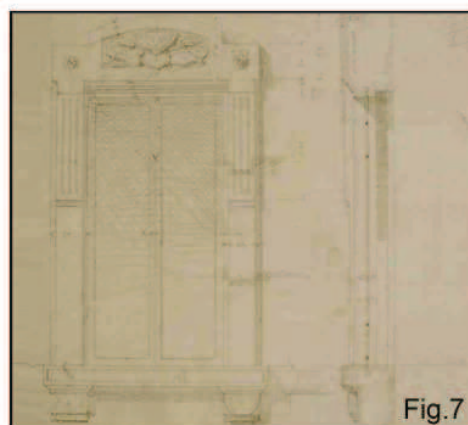
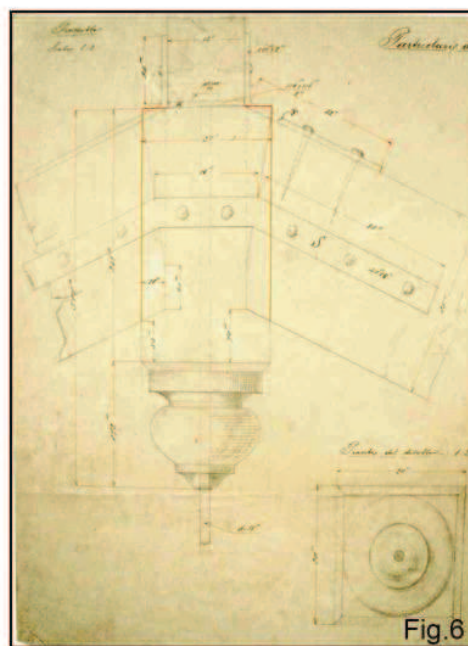
ALTRE DENOMINAZIONI: Villa Flora, Villa Gina

Anche il corpo retrostante addossato all'edificio originario e che si sviluppa su due piani è un'aggiunta successiva; probabilmente tale fabbricato (fig. 5) è identificabile con l'asilo infantile voluto dallo stesso Pennazzi e fatto erigere dopo la sua partenza da Bologna⁷. Dai documenti di archivio, conservati nell'Archivio Muggia con sede presso l'Ordine degli Architetti di Bologna, si può ricostruire l'immagine originale della villa così come progettata dall'Ing. Muggia. Per quanto riguarda l'edificio principale, sono riportati molti disegni inerenti i dettagli costruttivi delle travi, dei pilastri, delle finestre (figg. 6 e 7) e delle decorazioni in malta cementizia; è visibile un prospetto dell'ingresso porticato principale, e numerosi profili in scala reale della maggior parte delle modanature e delle decorazioni, da fornire al cementista perché venissero realizzate in cantiere.

Dal 1912 la villa diviene proprietà prima della moglie di Pennazzi e successivamente viene acquistata da altri proprietari fino a diventare proprietà della società "Casa di Salute Villa delle Rose", di Bologna, acquisendo la nuova denominazione di Villa Flora (1921). La nuova proprietà trasforma l'edificio in casa di cura e costruisce tre nuovi fabbricati. In seguito, attorno agli anni Quaranta del Novecento, la società fa realizzare un altro padiglione e una cappella.

Nel settembre 1942 la Società Villa Flora vende l'intero complesso all'Ente Nazionale di Lavoro per Ciechi con sede a Firenze⁸. Durante la Seconda Guerra Mondiale nella villa trovarono alloggio molti sfollati che danneggiano il complesso e dal giugno del 1945 i locali sono occupati dalla Regia Aeronautica Militare che insedia parte di un presidio regionale⁹. Dopo la soppressione dell'ENLC, tutto il complesso è divenuto proprietà del Ministero del Tesoro che recentemente ha ceduto la villa assieme ad altre proprietà provenienti da enti dismessi a una società privata¹⁰, denominata Ligestra 2 s.r.l., del gruppo Fintecna.

Attualmente le finestre presentano vetri e serramenti completamente rotti, gran parte delle modanature sono distaccate, le decorazioni pittoriche sono quasi del tutto scomparse le murature presentano uno stato di avanzato degrado e le piante e gli arbusti presenti nel giardino completamente abbandonato, hanno infestato parte della costruzione. E' in corso la definizione di un progetto di Quartiere che dovrebbe includere il restauro e la rifunzionalizzazione di questa architettura, ma tale percorso è bloccato da diversi anni a causa di problemi burocratici, più volte denunciati sulla stampa locale e nazionale¹¹.



Note

⁷NALDI P., in "La Repubblica - sezione Bologna", 03/06/2009, p. 11.

⁸*Ibidem*.

⁹*Ibidem*; cfr.: LOFFREDO R., *Villino Pennazzi*, in IODICE M. (a cura di), 2004, pp.74-78.

¹⁰*Ibidem*.

¹¹MERINI F., in "Corriere di Bologna", 25/10/2007, pag.17; cfr.: NALDI P., *op. cit.*

INDAGINE STORICA DELL'EDIFICIO

EDIFICIO: Grand Hotel Milano, Brunate (Como), piazzetta della funicolare

ALTRE DENOMINAZIONI: ---

Le finiture sono di qualità decisamente inferiore rispetto alle originali, i pavimenti, le porte e le finestre sono certamente di sostituzione, mentre resta di livello superiore la scala principale con ringhiera in ferro lavorato e le vetrate che la illuminano. La tinteggiatura bianca impiegata per la finitura esterna dell'ingresso, nella parte centrale del fabbricato è stata applicata in tempi relativamente recenti, sulla tinteggiatura precedente di colore giallo. Successivamente, negli anni Ottanta, ormai dismesso, il palazzo viene acquistato dal movimento di meditazione trascendentale (A.I.W.P.E.C) che lo compra per trasformarlo in un centro spirituale e che lo occupa fino agli anni 2000. Purtroppo già in questo periodo non si eseguono le opportune manutenzioni; per questa ragione le condizioni del motivo decorativo originale a graffito presente sulle facciate, peggiorano drasticamente e anche le decorazioni interne si degradano. Dopo l'abbandono dell'Associazione di meditazione, resta all'interno del palazzo, soltanto un custode che secondo alcune fonti, dà la possibilità al Corriere di Como di occupare alcuni ambienti nel 2005. Tuttavia, non essendo in grado di occuparsi da solo delle quasi 110 stanze dell'hotel, attorno al 2008, anch'egli abbandona l'edificio che viene occupato abusivamente da senzatetto e animali che distruggono in poco tempo tutti gli arredi interni e imbrattano le pareti interne ed esterne dell'edificio. Il primo settembre 2012 un incendio generatosi accidentalmente a causa di alcuni materassi bruciati dai senzatetto per scaldarsi, distrugge completamente ciò che resta degli arredi interni e gran parte delle decorazioni a stucco presenti sui soffitti. L'incendio si sviluppa nell'ala più a sud del palazzo ma coinvolge sia i piani superiori dell'ala, che gran parte del piano terra, rovinando completamente la parte più pregiata dell'edificio. I solai in legno e le tappezzerie ancora esistenti agevolano la propagazione delle fiamme¹ (foto di confronto tra lo stato degli ambienti precedente all'incendio figg. 1-2 e lo stato successivo all'incendio figg. 3-4).

Oggi l'intero fabbricato versa in uno stato di totale degrado; tutti gli elementi in ferro presenti, tra cui gli infissi, le pensiline esterne e gli impianti sono stati completamente distrutti dal rogo; gli elementi decorativi in stucco dei soffitti sono in parte crollati (fig. 5) e completamente oscurati dalle sostanze generate dalla combustione; i solai della parte di edificio coinvolta sono in gran parte crollati e in molti casi le strutture dei pilastri in mattoni sono venute alla luce. Del grande salone da ballo in cui è ancora visibile parte del palco su cui probabilmente prendeva posto l'orchestra, resta ben poco; nulla delle decorazioni e delle finiture è più recuperabile; ma nemmeno gli elementi strutturali sono più sicuri; i solai lignei con le travi in ferro sono completamente distrutti. Ciò che resta è soltanto la scansione del salone dettata dalla presenza di lesene che, insieme alle travi, incorniciavano lo spazio.

Note

¹ Anonimo, *Bruciano i materassi e danno fuoco all'Hotel Milano*, in "Il giorno - Como", 02/09/2012, http://www.ilgiorno.it/como/cronaca/2012/09/02/766561-Brunate_hotel-Milano_fuoco_materassi.shtml.



Fig. 1

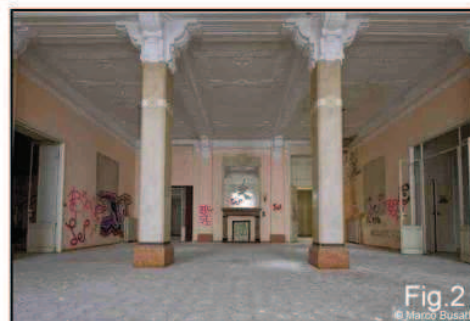


Fig. 2



Fig. 3



Fig. 4



Fig. 5

INDAGINE STORICA DELL'EDIFICIO

EDIFICIO: Grand Hotel Milano, Brunate (Como), piazzetta della funicolare

ALTRE DENOMINAZIONI: ---

Attualmente l'edificio è stato acquistato dal gruppo di gestione alberghiera Italiana Hotels & Resort che per l'estate del 2014 intende riaprire il palazzo trasformandolo in un grande hotel di lusso e riportandolo al suo antico splendore. L'edificio risale al primo decennio del Novecento e sorge accanto alla cabina di arrivo della funicolare che congiunge il Comune di Brunate con la città di Como. Nella stessa area ma alcuni anni prima e precisamente nel 1884, viene realizzato lo Chalet Spaini, successivamente sostituito da un ulteriore edificio che viene modificato tra il 1910 e il 1911, ampliandolo e costruendo il Grand Hotel Milano. In particolare l'edificio preesistente coincide con uno dei tre volumi che costituisce l'attuale fabbricato e che dunque risulta l'ala più antica dell'edificio². L'hotel risultava, all'epoca della sua apertura, uno tra i più rinomati e ben visti luoghi mondani e di villeggiatura del periodo, frequentato non solo dall'alta borghesia delle aree circostanti, ma da numerosi artisti dello spettacolo che soggiornavano nell'edificio nei periodi di riposo. Essendo dunque, un hotel di lusso, la qualità dei suoi ambienti doveva necessariamente risultare di alto livello.

Il palazzo è stato progettato dall'ing. Ferri e dall'ing. Achille Manfredini. Quest'ultimo, ben noto per aver fondato nel 1894 la rivista "Il Monitore Tecnico" (giornale d'architettura, d'ingegneria civile ed industriale, d'edilizia ed arti affini), è stato il progettista del famoso complesso Kursaal Diana, a Milano; tale opera risulta innovativa sotto il profilo strutturale avendo fatto ricorso alla duttilità delle strutture in cemento armato e al ferro. L'impiego del ferro si ritrova anche nel fabbricato oggetto del presente studio; in questo caso però viene associato al mattone. Anche nell'aspetto esterno Manfredini riprende il motivo dei parapetti dei balconi in ferro lavorato da alcune sue precedenti realizzazioni come villa Magnani (1891) e Malnati (1898) a Milano. Tale motivo viene impiegato per i balconi presenti nelle ali laterali, mentre nel corpo centrale si riscontra l'uso del calcestruzzo per costruire e decorare i balconi principali. L'edificio è suddiviso in tre parti; la pianta a C è sorretta da un sistema strutturale composto da grandi pilastri quadrati in mattoni collegati a travi in ferro che reggono solai in legno. Il sistema costruttivo è ben visibile nel salone al piano terra, presente nell'ala sud del palazzo. I volumi sono caratterizzati da un corpo centrale più basso e due corpi laterali più sporgenti e più alti scanditi dalla presenza di un ordine gigante in malta cementizia che incornicia delle specchiature decorate con motivi floreali e geometrici a graffito. Tale decorazione ingentilisce le facciate contrastando l'aspetto massiccio del fabbricato dettato dalla mole notevolmente imponente. Le tre parti sono poi sormontate da un sottotetto che nel prospetto rivolto verso est coincide con un intero piano che riporta alla stessa altezza tutte e tre le parti dell'edificio. Per quanto riguarda la sua evoluzione storica, la struttura è stata mantenuta in attività fino agli anni Settanta; le camere dei piani superiori, a differenza del piano terra, presentano arredi e sistemazioni non più originali ma databili attorno agli anni Sessanta³.

Note

² DE CARLI C., 2009, p.39.

³ Anonimo, *Bruciano i materassi e danno fuoco all'Hotel Milano*, op. cit.



Fig. 1



Fig. 2



Fig. 3



Fig. 4



Fig. 5

INDAGINE STORICA DELL'EDIFICIO

EDIFICIO: Villa Sarti, Lucca, viale Giosuè Carducci 111

ALTRE DENOMINAZIONI: Villa Gioiosa

La costruzione della villa ha inizio nel settembre del 1915 (figg.1-2-3)- quando l'architetto lucchese Giovan Lelio Menesini chiede al Comune di Lucca, per conto del proprietario Lorenzo Sarti, il permesso di costruire un fabbricato sul suo terreno prospiciente il viale di circoscrizione a San Concordio, unitamente alla richiesta di recinzione del terreno stesso per destinarlo a giardino. Del febbraio 1917¹, quando già la villa è in fase di costruzione, è la realizzazione, a ponente della villa, di un piccolo fabbricato destinato a garage, il cui volume, coronato da una terrazza chiusa da pilastri in getto, presenta caratteri formali analoghi a quelli della villa; le decorazioni delle facciate di entrambi i fabbricati risultano armoniche e sul lato del garage sono applicate decorazioni in aggetto simili a quelle usate per le finestre esistenti nel lato di ponente della villa.

Successivamente, dopo aver cambiato più volte proprietà, l'edificio viene adibito a istituto privato per l'insegnamento, utilizzo che mantiene ancora oggi. A seguito di questa nuova destinazione d'uso vengono apportate alcune modifiche con la demolizione di alcuni divisori, la realizzazione di un vano ascensore e soprattutto la chiusura, sia lateralmente che superiormente, dell'area compresa tra la villa e il garage, in modo da creare un ambiente abbastanza spazioso da destinare a sala di danza. Per realizzare questo ambiente viene demolito quasi totalmente il lato est del garage e realizzata una breve scala per scendere dal piano di calpestio della villa a quello della sala di danza.

La villa appare come un tradizionale volume cubico, chiuso all'esterno se non per il lato sinistro la cui sporgenza centrale dà adito a due terrazzi, il superiore aperto e quello a piano terra chiuso da superfici vetrate colorate e legate in ferro. Alla base la terrazza è racchiusa da una serie di colonnine rivestite in ceramica verde ornate con motivi di foglie alternati a pilastri in cemento decorati con forme geometriche e floreali, mentre l'architrave delle porte finestre è costituito da una fascia in cemento con quattro cervi, in leggero bassorilievo, posti sotto la ramificazione di un albero situato al centro.

L'edificio esemplifica anche quelle che furono le due vie di ricerca del Menesini: lo studio e l'applicazione della decorazione fitozoomorfa all'involucro edilizio e l'uso della muratura continua a faccia vista con blocchetti di calcestruzzo prefabbricati con le decorazioni degli architravi, degli stipiti, delle finestre e delle fasce marcapiano, realizzate con stampi in un unico pezzo di calcestruzzo vibrato. È da ricordare infatti che il Menesini era il concessionario per la Toscana della ditta di materiale cementizio "Cementi Isonzo s.a." e della "Ardesie e marmi artif Saloni". In questo caso l'iconografia della decorazione è legata alla triade degli elementi, aria, acqua e terra. Nelle cornici e negli architravi delle finestre del piano terra si trova la raffigurazione plastica di motivi geometrici e fitomorfi, mentre nelle fasce marcapiano sono raffigurati, in modo speculare, cervi e aironi che camminano o pascolano, realizzati in cemento ed eseguiti in un bassissimo rilievo con effetto stacciato.

Note

¹ ASCLu, PG a. 1917 n. 2942 cat. 5.1.1., Permesso di Costruire num. 231/1915.



Fig. 1

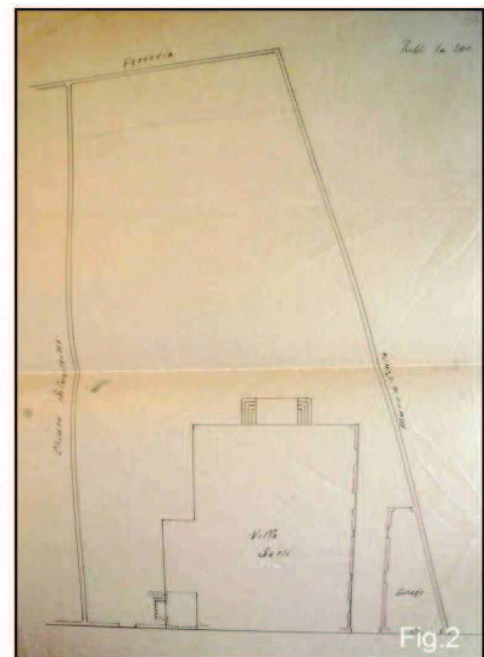


Fig. 2

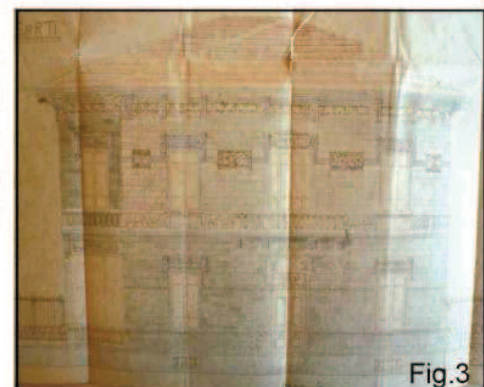


Fig. 3

INDAGINE STORICA DELL'EDIFICIO

EDIFICIO: Villa Sarti, Lucca, viale Giosuè Carducci 111

ALTRE DENOMINAZIONI: Villa Gioiosa

Le tre aperture del primo piano sono collegate superiormente da una leggera cornice a motivi geometrici interrotta da elementi rettangolari con inserti ceramici del primo piano, realizzati dalla manifattura di Galileo Chini² (fig.1), vivacizzano il colore grigio del paramento murario esterno. La serie di pannelli ceramici dai vivaci colori e incorniciati da borchie dorate si alternano alle finestre e raffigurano uccelli in volo o posati, rappresentati in una composizione speculare³.

Al piano terra, sul prospetto principale si aprono due finestre e, al centro, un portone d'ingresso in legno a grandi riquadri, decorato con motivi di foglie e l'iniziale S della famiglia Sarti⁴.

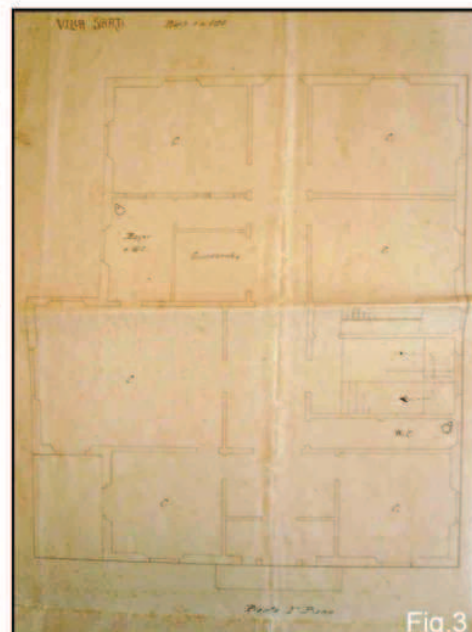
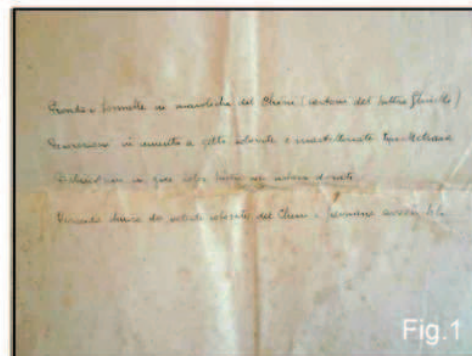
Sopra il portone d'ingresso aggetta un terrazzo sorretto da quattro mensole a motivi fitomorfi e cinto con una ringhiera costituita da colonnini rivestiti in ceramica verde. L'architrave della portafinestra del piano primo è ornata da elementi fitomorfi e geometrici, mentre gli stipiti recano motivi stilizzati. Le due finestre laterali hanno elementi decorativi analoghi a quelli delle corrispondenti del piano terra, fatta eccezione per un rettangolo liscio presente sotto il davanzale.

La fascia sottogronda è impreziosita da maioliche sui toni del rosa e del verde.

Nel prospetto ovest si apre una grande finestra che dà luce alle scale, sormontata da un architrave decorata a motivi floreali. Sugli angoli di questo prospetto si trovano formelle in maiolica raffiguranti uccelli neri e fiori rossi. Il prospetto est, oltre ad avere le stesse caratteristiche decorative degli altri sia per i bassorilievi in cemento (fig. 2) che per le maioliche, presenta una scala in pietra con ringhiera in ferro battuto che immette nella veranda.

Il prospetto posteriore, che si apre a sud sul giardino, presenta le stesse caratteristiche decorative (bassorilievi in cemento e formelle in maiolica) degli altri prospetti ed è caratterizzato da una scala in granglia a rampe contrapposte con pianerottolo d'ingresso, delimitata da pilastri in ceramica verde e pilastri più grandi in cemento, identici a quelli caratterizzanti le altre facciate. Sotto il pianerottolo della scala, alcuni gradini immettono nelle cantine⁵.

Lungo i tre lati dell'edificio corre, a circa metà dell'altezza della porta posteriore, una fascia in cemento raffigurante foglie stilizzate; l'architrave sopra la porta posteriore è in cemento decorato con un bassorilievo di ghirlande, mentre quelli delle due grandi aperture sulla strada sono in cemento caratterizzati da motivi fitomorfi. L'edificio si conclude con un giardino chiuso da due cancelli in ferro battuto a motivi geometrici. Per quanto riguarda l'interno (fig. 3), sulle pareti del corridoio e sui soffitti si trovano stucchi a motivi geometrici e floreali combinati in configurazioni diverse da un ambiente all'altro. La scala è a due rampe con gradini in marmo e ringhiera in ferro battuto a disegni geometrici.



Note

² ASCLu, PG a. 1917 n. 2942 cat. 5.1.1., Permesso di Costruire num. 231/1915.

³ ILG U., 2002, pp. 177-180.

⁴ BOSSAGLIA R., *Toscana*, in BOSSAGLIA R. (a cura di), 1987, pp. 204-240.

⁵ MANGONE F., *Il contributo toscano all'architettura del Liberty italiano*, in GODOLI E. (a cura di), 2001, pp.15-22.

3.1.3 Schede del materiale

Le analisi relative al Villino Pennazzi di Borgo Panigale (BO), sono state eseguite dal Dott. Giovanni Quarta e dal collaboratore Dott. Davide Melica, presso i laboratori dell'Istituto per i Beni Archeologici e Monumentali di Lecce (Ibam - CNR).

INDAGINI DIAGNOSTICHE DEL MATERIALE

EDIFICIO: Villino Pennazzi, Borgo Panigale (Bologna), via Sant'Agnese 2

ANNO: 1900

Descrizione dell'elemento campionato

Modanatura della cornice terminale del muro.

Funzione del materiale cementizio

Decorativa.

Definizione del tipo di impasto

Conglomerato cementizio non armato con finitura superficiale. Il frammento è costituito dai resti del supporto in laterizio su cui insiste uno strato di corpo, con spessore variabile da 5 a 20 mm circa; al di sopra si rinviene un sottile strato di finitura grigio-giallastro, avente spessore medio di 1,3 mm.

Definizione del legante

- cemento bianco
- cemento di altro tipo
- cemento Portland

La matrice legante risulta quasi del tutto otticamente estinta, per la presenza di composti (silicati e alluminati idrati di calcio) con un bassissimo grado di cristallinità; è presente un modesto contenuto di carbonato di calcio (calcite). Struttura omogenea e tessitura micritica (dimensioni dei cristalli <0.005 mm); al suo interno numerosi aggregati policristallini grossolani, di colore bruno e con struttura a celle, corrispondenti a grani di clinker non idratato.

Rapporto legante-aggregato

Circa 2/1.

Caratteristiche dell'aggregato

Sabbia polimineralica di origine alluvionale, con granulometria variabile da 80 a 1100 µm. Tale sabbia è composta da frammenti di rocce vulcaniche intrusive (rocce granitoidi) e di rocce metamorfiche (gneiss, scisti, quarziti), da frammenti di rocce sedimentarie (calcarei a tessitura micritica o sparitica, calcari arenacei, calcari debolmente marnosi, arenarie e siltiti a cemento calcitico) e da cristalli alterati di feldspati (plagioclasti e feldspati alcalini). I clasti ben classati a livello dimensionale, mostrano contorni angolosi-subangolosi ad un grado di sfericità medio-basso.

Granulometria dell'aggregato

- granulometria in prevalenza arenacea media (Φ 250-500 µm).
- inerti variabili fini e grossi (Φ 1-5mm e 30-50 mm)
- inerti ben assortiti (distribuiti uniformemente; ben classati).

Eventuali additivi riconoscibili

- pozzolana
- gesso
- grani di selce e qualche minerale opaco

Eventuale armatura

non presente.

Eventuali finiture superficiali

Sottile strato di natura cementizia contenente poco aggregato. La matrice legante è caratterizzata da una struttura omogenea e da una tessitura colloforme-micritica; i clasti appartengono ad una classe dimensionale arenacea fine.

Stato di conservazione

Dilavamento, perdita della finitura superficiale, presenza di ettringite e thaumasite. Lungo i bordi si notano cristalli di specie saline di neoformazione.

Restauri evidenti

non presenti.

Note

Fig. 1 - Elemento campionato.

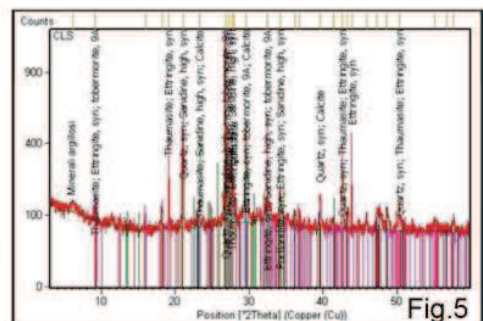
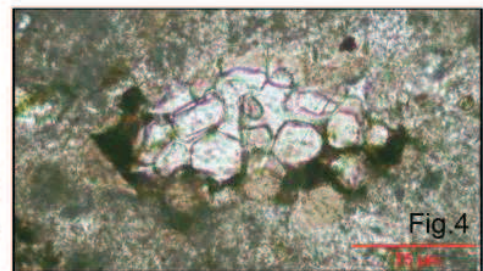
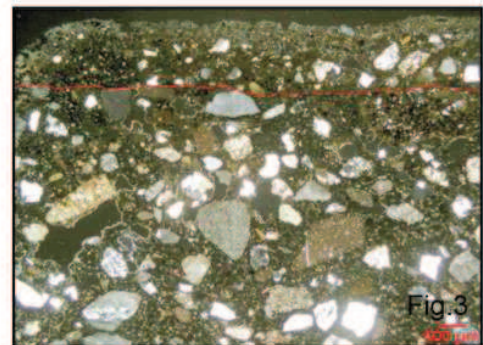
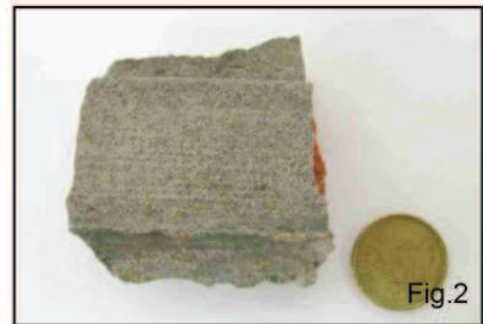
Fig. 2 - Campione prelevato.

Fig. 3 - Microfotografia della sezione sottile trasversale (luce trasmessa, N+).

Fig. 4 - Microfotografia di dettaglio del clinker non idratato (luce trasmessa, a sinistra N+, a destra N//).

Fig. 5 - Analisi mineralogica in diffrazione a raggi X del campione.

Le fasi mineralogiche sono state indicate sui relativi riflessi ad intensità massima.



Le analisi relative al Grand Hotel Milano di Brunate (CO), sono state eseguite dal Dott. Geol. Gian Carlo Grillini. Iscrizione all'Albo dei Geologi della Regione Emilia-Romagna n. 300, Geologo specialista in Geomateriali.

INDAGINI DIAGNOSTICHE DEL MATERIALE

EDIFICIO: Grand Hotel Milano, Brunate (Como), piazzetta della funicolare

ANNO: 1910-1911

Descrizione dell'elemento campionato

L'elemento analizzato è composto da una cornice di 5 cm che delimita la bucatura; nella parte alta è caratterizzata da una piattabanda che si prolunga brevemente sui lati verticali della cornice e termina seguendo un motivo decorativo; essa è delimitata verso l'esterno da una ulteriore cornice di 5 cm ad andamento regolare.

Funzione del materiale cementizio

Decorativa. Modanature e cornici delle porte finestre e delle finestre presenti in facciata nei volumi laterali.

Definizione del tipo di impasto

Le finestre dei due corpi all'estremità laterali presentano delle modanature in impasto cementizio che si affiancano ad una cornice lineare che scandisce la bucatura.

Definizione del legante

- cemento bianco
- cemento di altro tipo
- impasto di calce e cemento Portland

Rapporto legante-aggregato

Circa 1/3.

Caratteristiche dell'aggregato

Sabbia di tipo fluviale con discreto arrotondamento dei granuli, caratterizzato in prevalenza da: quarzo, calcite, feldspati e mica. Sono presenti frammenti litici di natura scistosa e cristallina.

Nello stipite è presente sabbia con clasti arrotondati di micascisti, gneiss, calcari biancastri, marne e frammenti ofiolitici.

Granulometria dell'aggregato

- aggregato con granulometria eterogenea media (Φ 0.500 - 0.250 mm).
- inerti variabili fini e grossi (Φ 1-5mm e 30-50 mm)
- inerti ben assortiti (Φ da 1mm a 50 mm)

L'aggregato sabbioso presenta una granulometria eterogenea, ma tendenzialmente media con classe modale di massima frequenza di 1/2 - 1/4 di mm (0.500 - 0.250 mm).

Eventuali additivi riconoscibili non presenti.

Eventuale armatura non presente.

Eventuali finiture superficiali tracce di coloritura gialla nelle parti collocate sotto aggetti.

Stato di conservazione

gesso in tracce nella decorazione e parziale disgregazione nella modanatura e nello stipite.

Restauri evidenti non presenti.

Note

Fig. 1 - Elemento campionato.

Fig. 2 - Punto del prelievo.

Fig. 3 - Campione prelevato.

Fig. 4 - Istogramma della distribuzione granulometrica della frazione arenacea 2-1/16 di mm.

Fig. 5 - Analisi mineralogica in diffrazione a raggi X del campione.

Le fasi mineralogiche sono state indicate sui relativi riflessi ad intensità massima:

C= Calcite, Q= Quarzo, M=Mica, Cl= Clorite, A= Afwillite, D= Dolomite, G= Gesso.



Fig.1



Fig.2

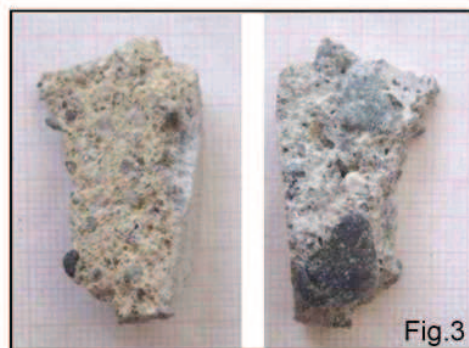


Fig.3

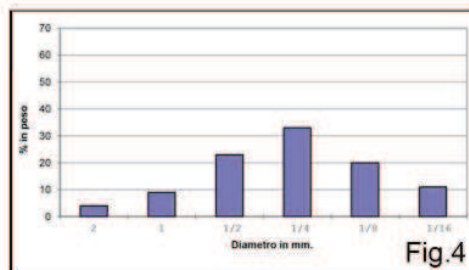


Fig.4

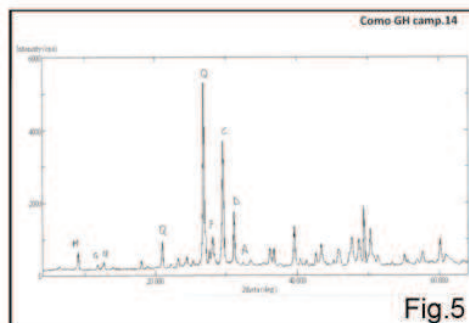


Fig.5

Le analisi relative al Grand Hotel Milano di Brunate (CO), sono state eseguite dal Dott. Geol. Gian Carlo Grillini. Iscrizione all'Albo dei Geologi della Regione Emilia-Romagna n. 300, Geologo specialista in Geomateriali.

INDAGINI DIAGNOSTICHE DEL MATERIALE

EDIFICIO: Grand Hotel Milano, Brunate (Como), piazzetta della funicolare

ANNO: 1910-1911

Descrizione dell'elemento campionato

L'elemento analizzato è uno dei quattro balconi presenti su ciascuno dei due corpi laterali del fabbricato; Le parti realizzate con impasto cementizio sono il bordo superiore del parapetto, la soletta, quattro pilastri che segnano gli angoli del parapetto e le due mensole di appoggio sottostanti la soletta.

Funzione del materiale cementizio

Balcone del volume centrale dell'edificio.

Definizione del tipo di impasto

Conglomerato cementizio armato.

Definizione del legante

- cemento bianco
- cemento di altro tipo
- impasto di calce e cemento Portland

Rapporto legante-aggregato

Circa 1/3

Caratteristiche dell'aggregato

Sabbia di tipo fluviale con discreto arrotondamento dei granuli, caratterizzato in prevalenza da: quarzo, calcite e feldspati. Sono presenti frammenti litici di natura scistosa e cristallina (magmatiti e metamorfiti); clasti nero-verdolini di natura sedimentaria e minerali femici verdolini (resti di ofioliti).

Granulometria dell'aggregato

- aggregato sabbioso con granulometria omogenea medio-fine (Φ 0.25-0.125 mm). Setacciatura in cantiere.
- inerti variabili fini e grossi (Φ 1-5mm e 30-50 mm)
- inerti ben assortiti (Φ da 1mm a 50 mm)

Eventuali additivi riconoscibili

non presenti

Eventuale armatura

doppia piastrina accostata all'interno delle mensole, probabile presenza di tondini come armatura della soletta.

Eventuali finiture superficiali

tracce di coloritura gialla.

Stato di conservazione

perdita della finitura, patina biologica, distacco del copriferro in corrispondenza delle mensole, efflorescenze.

Restauri evidenti

non presenti.

Note

Fig. 1 - Elemento campionato.

Fig. 2 - Punto del prelievo.

Fig. 3 - Campione prelevato.

Fig. 4 - Istogramma della distribuzione granulometrica della frazione arenacea 2-1/16 di mm.

Fig. 5 - Analisi mineralogica in diffrazione a raggi X del campione.

Le fasi mineralogiche sono state indicate sui relativi riflessi ad intensità massima:

C= Calcite, Q=Quarzo, F=Feldspati, M=Mica, Cl=Clorite, P=Portlandite, A=Afwillite.



Fig. 1



Fig. 2

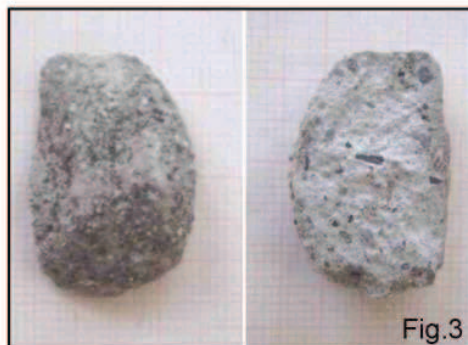


Fig. 3

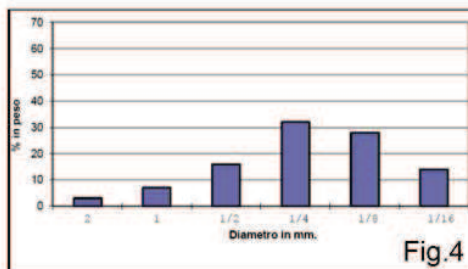


Fig. 4

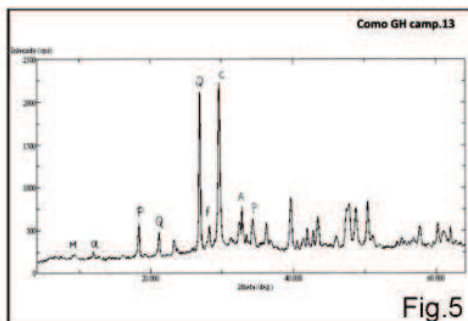


Fig. 5

Le analisi relative a Villa Sarti di Lucca, sono state eseguite dal Dott. Geol. Gian Carlo Grillini. Iscrizione all'Albo dei Geologi della Regione Emilia-Romagna n. 300, Geologo specialista in Geomateriali.

INDAGINI DIAGNOSTICHE DEL MATERIALE

EDIFICIO: Villa Sarti, Lucca, via Giosuè Carducci 111.

ANNO: 1915-1916

Descrizione dell'elemento campionato

Il parapetto del balcone è costituito da una soletta in laterocemento, una zoccolatura e una cornice superiore in conglomerato cementizio; i balastrini sono in ceramica invetriata decorati con forme geometriche e di animali stilizzati.

Funzione del materiale cementizio

Decorativa e strutturale.

Definizione del tipo di impasto

Conglomerato cementizio armato.

Definizione del legante

- cemento bianco
- cemento di altro tipo
- cemento Portland

Rapporto legante-aggregato

1/3

Caratteristiche dell'aggregato

Sabbia di tipo fluviale con discreto arrotondamento dei granuli, a composizione mineralogica: quarzo, calcite, feldspati e tracce di clorite e mica. Sono presenti piccoli frammenti litici di natura sedimentaria (peliti, arenarie e marne). Si rilevano minerali femici verdolini (serpentino e clorite) riferibili a resti di ofioliti.

Granulometria dell'aggregato

- aggregato in prevalenza di sabbia medio-fine (Φ 0,25-0,125 mm).
- inerti variabili fini e grossi (Φ 1-5mm e 30-50 mm)
- inerti ben assortiti (Φ da 1mm a 50 mm)

Unimodale, tendenzialmente omogenea.

Eventuali additivi riconoscibili

- ceneri
- cocciopesto (mescolato all'aggregato)
- gesso
- altro (es. frammenti di cuoio...)

Eventuale armatura

Ferri di armatura nella soletta.

Eventuali finiture superficiali

Rivestimento nel lato superiore del parapetto in graniglia colorata di cemento; la quasi totalità delle superfici è in cemento a vista.

Stato di conservazione

Distacco del copriferro, corrosione delle armature, efflorescenza, croste nere nei sottosquadri, patina biologica, numerose fratture. Presenza di weddellite riscontrata con analisi Raggi X. Presenza di Ossalati di Calcio.

Restauri evidenti

Applicazione recente di malta cementizia per risarcire alcuni distacchi nella zoccolatura alla base dei balastrini e per tamponare alcune fratture.

Note

Fig. 1 - Elemento campionato.

Fig. 2 - Punto del prelievo.

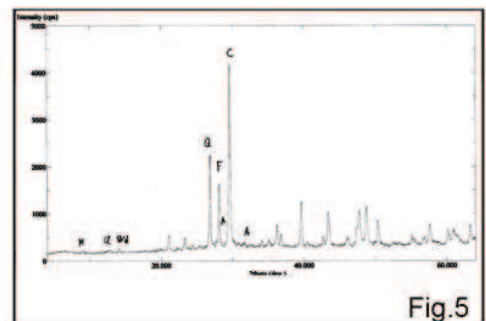
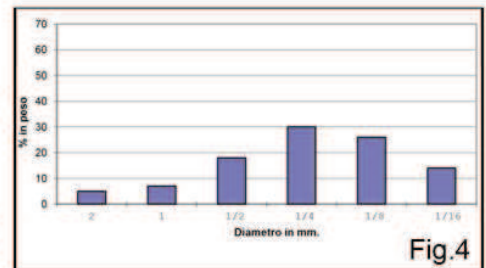
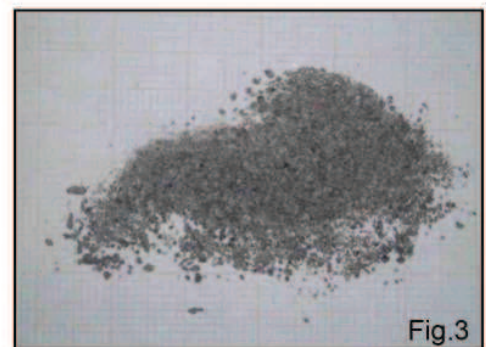
Fig. 3 - Macrofotografia dell'aggregato sabbioso separato dal legante.

Fig. 4 - Istogramma della distribuzione granulometrica della frazione arenacea 2-1/16 di mm

Fig. 5 - Analisi mineralogica in diffrazione a raggi X del campione.

Le fasi mineralogiche sono state indicate sui relativi riflessi ad intensità massima:

C= Calcite, Q= Quarzo, F= Feldspati, M= Mica, Cl= Clorite, Wd= Weddellite, A= Afwillite.



Le analisi relative a Villa Sarti di Lucca, sono state eseguite dal Dott. Geol. Gian Carlo Grillini. Iscrizione all'Albo dei Geologi della Regione Emilia-Romagna n. 300, Geologo specialista in Geomateriali.

INDAGINI DIAGNOSTICHE DEL MATERIALE

EDIFICIO: Villa Sarti, Lucca, viale Giosuè Carducci 111.

ANNO: 1915-1916

Descrizione dell'elemento campionato

Mensola che sorregge lo sporto del tetto. Il campione è stato prelevato da un frammento dell'elemento architettonico distaccato dalla sua collocazione originale.

Funzione del materiale cementizio

Decorativa. Le mensole sorreggono lo sporto del cornicione.

Definizione del tipo di impasto

Conglomerato cementizio armato.

Definizione del legante

- cemento bianco
- cemento di altro tipo
- cemento Portland (matrice discretamente porosa)

Rapporto legante-aggregato

1/2,5

Caratteristiche dell'aggregato

Sabbia di tipo fluviale con discreto arrotondamento dei granuli, a composizione mineralogica: quarzo, calcite, feldspati, mica e tracce di clorite.

Granulometria dell'aggregato

- aggregato in prevalenza di sabbia medio-fine (Φ 0,25-0,125 mm).
- inerti variabili fini e grossi (Φ 1-5mm e 30-50 mm)
- inerti ben assortiti (Φ da 1mm a 50 mm)

L'aggregato sabbioso presenta una granulometria tendenzialmente omogenea per la presenza di una fase medio-fine con classe modale di massima frequenza di 1/4-1/8 di mm (0,250-0,125 mm).

Eventuali additivi riconoscibili

- ceneri
- cocchiopesto
- gesso
- calcari microcristallini a spigolo vivo bianco-grigiastro e con dimensioni leggermente superiori rispetto all'aggregato.

Eventuale armatura

Tondini che connettono la mensola allo sporto.

Eventuali finiture superficiali

non presenti.

Stato di conservazione

Distacco del copriferro, corrosione delle armature, efflorescenza, croste nere nei sottosquadri, biodeterioramento.

Restauri evidenti

Applicazione recente di malta cementizia per risarcire alcuni distacchi e per tamponare alcune fratture.

Note

Fig. 1 - Elemento campionato.

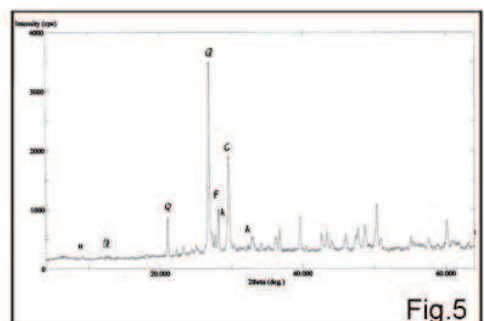
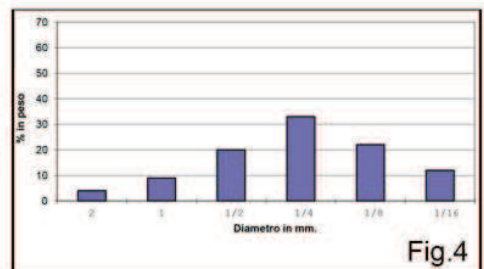
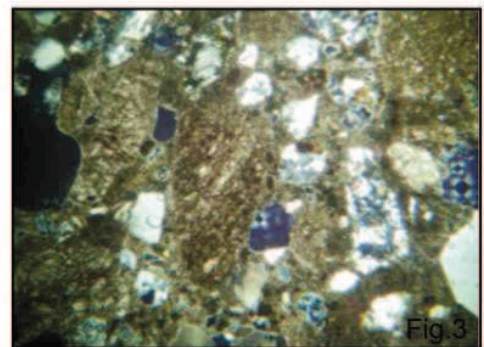
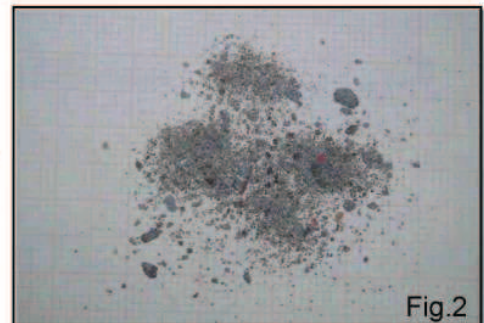
Fig. 2 - Macrofotografia dell'aggregato sabbioso separato dal legante.

Fig. 3 - Sezione sottile del campione della mensola Nicols X - Ingr. 20x.

Fig. 4 - Istogramma della distribuzione granulometrica della frazione arenacea 2-1/16 di mm.

Fig. 5 - Analisi mineralogica in diffrattometria a raggi X del campione.

Le fasi mineralogiche sono state indicate sui relativi riflessi ad intensità massima:
C= Calcite, Q= Quarzo, F= Feldspati, M=Mica, Cl= Clorite, A= Afillite.



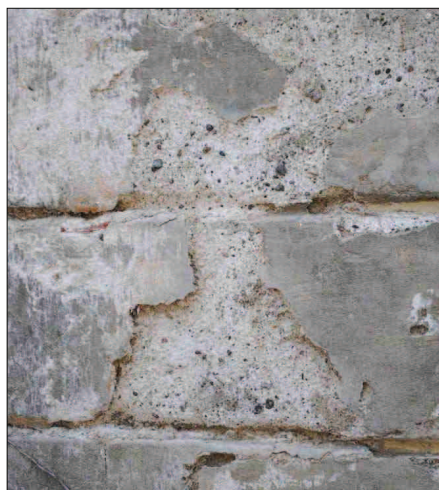
3.2 VALUTAZIONI ANALITICHE DEI DEGRADI

La valutazione dei dati raccolti durante la schedatura consta di un'analisi critica dei deterioramenti riscontrati. Tali considerazioni sono suddivise seguendo tre livelli di analisi differenti. In particolare, il primo riguarda un esame alla scala edificio-ambiente, in cui sono prese in esame le relazioni esistenti tra il degrado e il contesto nel quale il materiale è inserito: ad esempio, la frequenza di ciascun degrado, l'entità del danno causato, la correlazione tra degrado e collocazione geografica, e quella tra degrado e livello di inquinamento. Il secondo approfondimento riguarda gli elementi architettonici: si studia la possibile relazione tra forma di degrado e modalità di esecuzione e posa dell'elemento architettonico (ad esempio, alcuni elementi sono maggiormente danneggiati a causa della loro forma o dalle modalità di lavorazione superficiale, ecc...) oppure tra degrado, dimensione e posizionamento. In ultimo, l'analisi si concentra sulla scala del materiale, definendo se esiste una correlazione tra degrado e composizione dell'impasto, al fine di comprendere quali sono i componenti che maggiormente tendono a minare la durabilità dell'impasto cementizio. Ovviamente tali valutazioni sono compiute mettendo in relazione i dati raccolti sul campo, attraverso i casi studio, con dati specifici ottenuti dalla letteratura scientifica: per esempio, per quanto attiene la parte delle valutazioni alla scala edificio-ambiente, si prendono in considerazione i dati relativi alle condizioni climatiche, ambientali, di inquinamento. Mettendo a sistema i dati raccolti attraverso i casi studio, con i dati relativi alle modalità costruttive rintracciati negli archivi, è stato possibile effettuare valutazioni critiche alla scala dell'elemento architettonico. In ultimo, alla scala del materiale, sono stati messi in relazione i dati rintracciati attraverso lo studio della documentazione storica degli impasti, con i dati riscontrati sul campo e relativi alle alterazioni.

Nei paragrafi successivi sono illustrate le valutazioni compiute.



Fig. 1 - I tre livelli di approfondimento studiati: edificio-ambiente, elemento architettonico, materiale. L'immagine riporta l'esempio del Grand Hotel Milano a Brunate (CO).



3.2.1 Valutazioni alla scala dell'edificio

3.2.1.1 CORRELAZIONE TRA DEGRADO E COLLOCAZIONE GEOGRAFICA

Il primo livello di conoscenza dei casi studio riguarda il comportamento del materiale cementizio in rapporto al contesto ambientale dell'edificio a cui appartiene. Più precisamente, sono stati presi in esame i prospetti dei sessantatré edifici e sono state studiate le manifestazioni di degrado, raggruppando i casi studio a seconda della regione di appartenenza e, quindi, verificando i degradi in relazione alla collocazione geografica.

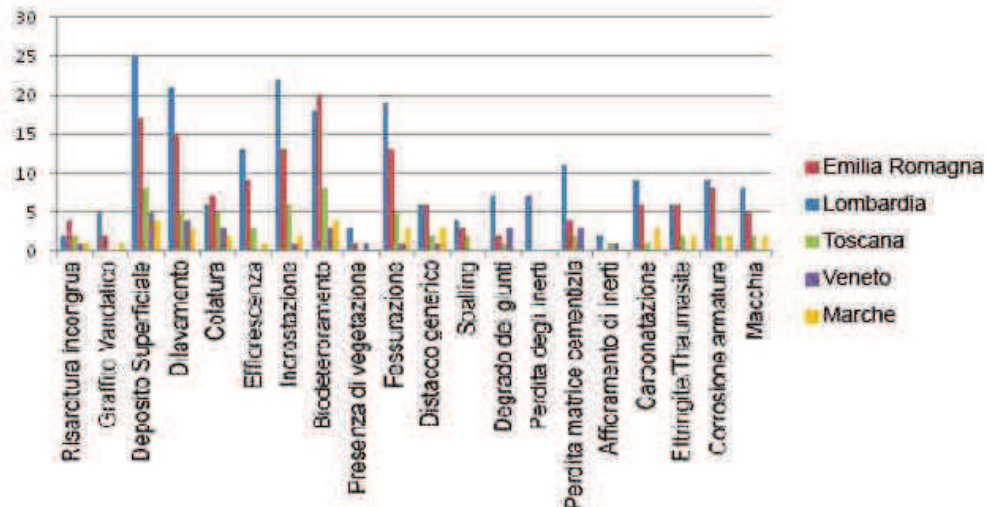
Mettere in relazione i degradi con la posizione, è indicativo per comprendere l'esistenza di un collegamento tra essi e le condizioni al contorno del fabbricato. Al contempo, se in ciascuna regione, per sfruttare le risorse locali, sono stati adoperati materiali differenti nella composizione delle miscele, questo potrebbe influenzare i fenomeni di degrado che si manifestano in ogni fabbricato.

Occorre ricordare che il numero di casi studio individuati in ciascuna regione è differente per le motivazioni esposte nel paragrafo precedente. Partendo da questa considerazione si precisa che le valutazioni eseguite sono state svolte sulla base di grafici diversi: il primo riporta le reali quantità di degradi effettivamente riscontrate nei casi studio (dati casi studio), mentre i grafici dal n. 2 al n. 6 presentano valori riportati in centesimi (dati in centesimi), determinandone la percentuale rispetto al numero totale di degradi riscontrato sugli edifici di ciascuna regione, per poter ottenere dei valori confrontabili quantitativamente.

Dal primo grafico riportato in basso, si può dedurre qualitativamente quali sono i degradi che si riscontrano con maggior frequenza: il *deposito superficiale* è il più diffuso, ma valori molto alti si riscontrano anche per la *perdita di finitura*, le *incrostazioni*, il *biodeterioramento* e la *fessurazione*.

Per quanto attiene i degradi che comportano danni più rilevanti (perdita del materiale), come il *distacco* e la *carbonatazione*, è possibile notare come i valori rilevati documentano una bassa diffusione di tali degradi. Ciò dimostra che complessivamente i deterioramenti delle miscele non sono a tutt'oggi così gravi da comportare situazioni a cui non è possibile porre rimedio. In sostanza lo stato di conservazione degli impasti cementizi, inerente il campione di edifici presi in esame, si può ritenere complessivamente soddisfacente. Tuttavia, per rallentare la diffusione anche degli altri fenomeni di degrado, occorre prevedere degli idonei interventi di conservazione.

Grafico 1 - Rapporto tra degrado e collocazione geografica; nello specifico differenziati per regione (DATI CASI STUDIO)



Analizzando i valori percentuali riportati alle singole regioni, così come riportato nei grafici seguenti, è possibile cogliere le differenze di frequenza di ciascun degrado. Più precisamente si può notare come ci siano degradi che si presentano quasi con la stessa frequenza in tutte le regioni e degradi più diffusi soltanto in alcune aree.

Il *deposito superficiale*, per esempio, non è condizionato dalla collocazione geografica e, dunque, si manifesta in tutte le regioni con percentuali comparabili (12-13%); larga diffusione trovano anche la *perdita di finitura* (9-11%), conseguenza del *dilavamento*, l'*incrostazione* (7-11%), il *biodeterioramento* (9-14%) e la *fessurazione* (3-9%).

Tra i degradi che si presentano con frequenza minore, è individuabile il *distacco* con percentuali attorno al 3-5%, valori raggiunti rispettivamente nelle regioni Lombardia ed Emilia Romagna, mentre in Veneto, Toscana e Marche le percentuali riscontrate si attestano attorno al 7% e 9%. Una più rilevante frequenza del degrado in queste ultime regioni è probabilmente attribuibile alla maggiore vicinanza al mare. Molte delle città prese in esame, infatti, sono collocate in prossimità del mare, fattore meno frequente nel caso della regione Emilia Romagna, oppure del tutto assente per la regione Lombardia.

Per quanto riguarda l'*erosione*, sono state considerate sia la *perdita di inerti* che la *perdita di matrice cementizia*; entrambe le problematiche appaiono molto diffuse soprattutto in Lombardia. In particolare la *perdita degli inerti* appare unicamente in questa regione, in quanto nelle altre aree non raggiunge valori tali da essere inserita all'interno dei grafici. La perdita di matrice cementizia in Lombardia, raggiunge il 5% della totalità dei degradi presenti sugli edifici. Poiché la *perdita degli inerti* è un degrado specifico di un'unica regione, probabilmente la sua presenza non è legata ad un fattore ambientale. Si può invece desumere che la causa di tale manifestazione sia da ricercare in una tecnica di esecuzione o, più realisticamente, nella tipologia di impasto adottata nello specifico territorio lombardo. Un'analisi più approfondita di queste cause è trattata nei paragrafi successivi.

La *carbonatazione* appare omogeneamente diffusa in tutte le regioni, con valori che variano tra il 3-4%, tranne nelle Marche dove raggiunge il 10%.

La percentuale superiore nel territorio marchigiano può essere interpretata da una maggiore prossimità all'ambiente marino degli edifici analizzati. L'azione dell'acqua di mare produce, infatti, un più consistente attacco dei copriferri i quali, se non sottoposti ad accurata manutenzione e controllo, possono inevitabilmente fessurarsi e favorire l'ingresso di aria e acqua all'interno del materiale, raggiungendo in breve tempo le armature interne. Ciò è supportato dal valore della *fessurazione* che, infatti, nel territorio marchigiano risulta alto (8%).

Tuttavia, non viene paragonato a quello di altre regioni, dove si attesta attorno al valore del 9%, in quanto è un degrado fortemente condizionato anche da altre cause e, dunque, un confronto per questo specifico caso non avrebbe rilevanza.

L'ingresso di anidride carbonica all'interno del materiale, innesca il processo di *carbonatazione* con conseguente modifica delle proprietà alcaline dell'impasto cementizio e abbassamento del suo pH.

La diminuzione di tale valore avviene inizialmente nelle aree corticali e solo successivamente in quelle più interne, a seconda della porosità dell'impasto e del grado di *fessurazione*. Quando questo fenomeno giunge ad interessare l'impasto che avvolge le armature provoca la perdita della protezione anticorrosiva (passività) delle armature, innescando altri fenomeni, come la *corrosione delle armature*, che possono diventare problematici anche per la statica dell'elemento (ad esempio si può verificare la riduzione della sezione resistente del ferro di armatura).

Come spiegato, i valori della *corrosione delle armature* sono associati ai dati legati alla *carbonatazione* e risultano infatti variabili tra il 3% e il 5%, tranne che nelle Marche dove raggiungono il 7%.

Complessivamente la regione con valori percentuali maggiori relativi a ciascun degrado è la Lombardia, mentre in Emilia Romagna si riscontrano i valori più bassi per quasi tutti i degradi, se comparati con quelli delle altre regioni.

Grafico 2 - Rapporto tra degrado e collocazione geografica; regione Emilia Romagna (DATI IN CENTESIMI)

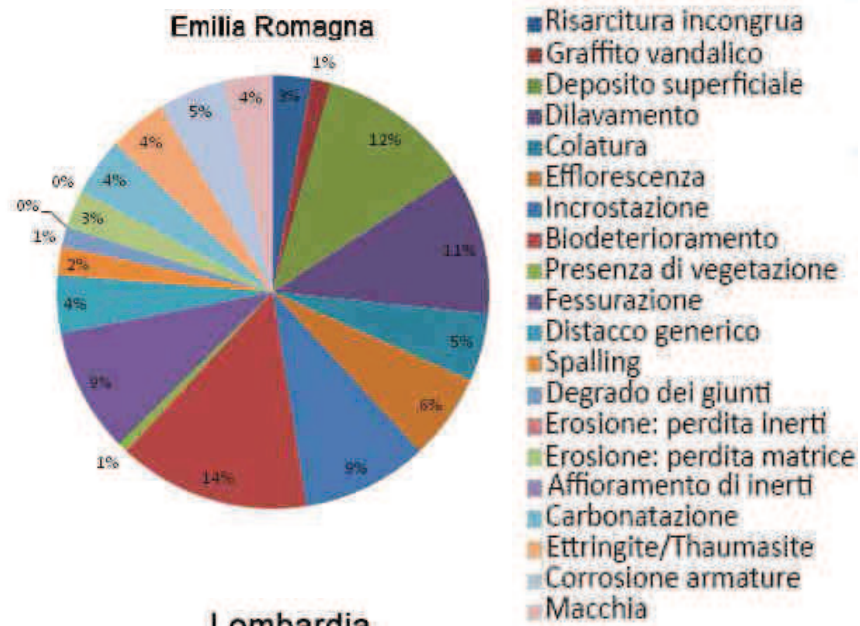


Grafico 3 - Rapporto tra degrado e collocazione geografica; regione Lombardia (DATI IN CENTESIMI)

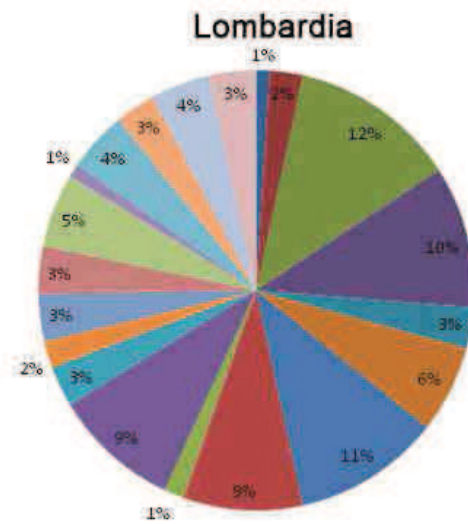
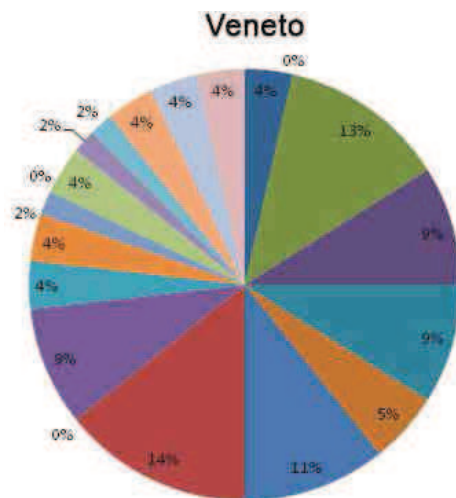


Grafico 4 - Rapporto tra degrado e collocazione geografica; regione Veneto (DATI IN CENTESIMI)



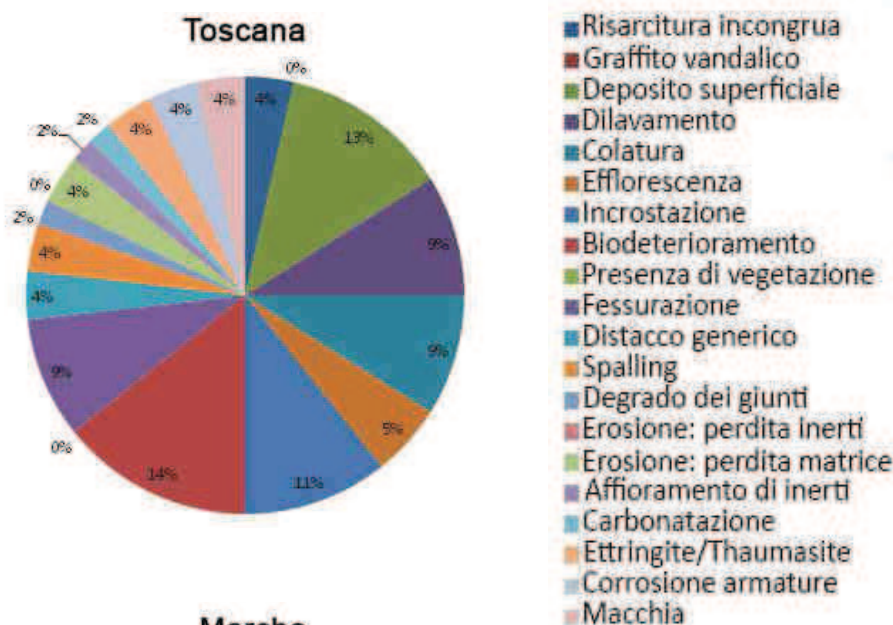


Grafico 5 - Rapporto tra degrado e collocazione geografica; regione: Toscana (DATI IN CENTESIMI)

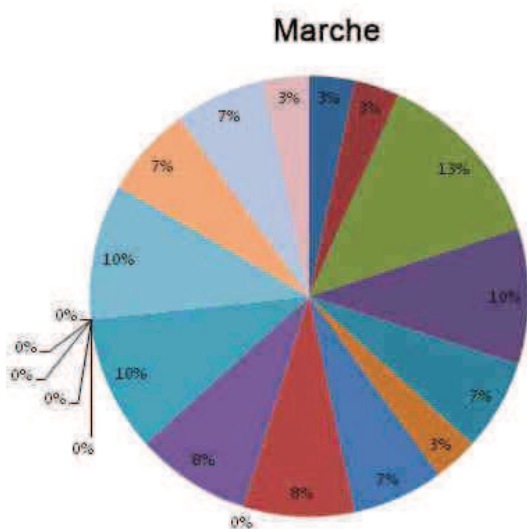


Grafico 6 - Rapporto tra degrado e collocazione geografica; regione: Marche (DATI IN CENTESIMI)

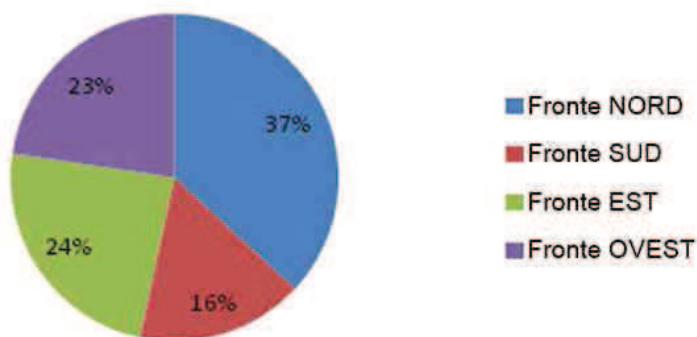
3.2.1.2 CORRELAZIONE TRA DEGRADO ED ESPOSIZIONE

Analizzando il rapporto dei singoli edifici con il proprio contesto, non si può prescindere dall'esame di ciascun fronte in rapporto all'orientamento. A questa considerazione fa riferimento una specifica analisi che ha indagato ciascun edificio in base all'orientamento prevalente. Puntando ad ottenere dei dati riassuntivi, per poter sintetizzare gli orientamenti di ciascun edificio, si è preferito considerare l'esposizione prevalente di ciascun prospetto, in modo da suddividere tutte le facciate secondo le classiche esposizioni: Nord, Sud, Est, Ovest.

Successivamente sono stati catalogati i degradi presenti su ciascun fronte. I valori ottenuti da questa analisi hanno dimostrato che complessivamente, le problematiche presenti sui fronti esposti verso Nord, come ci si poteva attendere, sono quantitativamente superiori a quelle presenti su tutti gli altri fronti, verso Est e Ovest i dati sono comparabili, mentre a Sud si riscontra il minor numero di degradi.

Grafico 7 - Percentuale dei degradi suddivisi secondo l'orientamento dei quattro fronti principali degli edifici (DATI CASI STUDIO)

Degradi suddivisi per lato di esposizione



Valutando i singoli degradi presenti su ciascun fronte è possibile fare delle considerazioni più specifiche; il fronte sud manifesta la minor frequenza di degradi; il valore del *dilavamento* con conseguente *perdita di finitura* presente sui fronti Nord è doppio rispetto al valore riscontrato sui fronti Sud, così come la *perdita di inerti e matrice cementizia*; ciò è probabilmente legato ai venti provenienti da Nord che, essendo più potenti, erodono più facilmente la superficie.

L'*efflorescenza* e il *biodeterioramento* hanno valori nettamente superiori sulle facciate a Nord rispetto agli altri fronti: la mancanza di raggi solari diretti per gran parte della giornata rispetto agli altri orientamenti non fa altro che favorire il ristagno d'acqua e incrementare le possibilità di formazione di microorganismi, muffe e licheni che si sviluppano in zone umide, scarsamente illuminate e tendenzialmente meno riscaldate.

La *fessurazione* e il *distacco* riportano invece valori comparabili tra loro, indice che l'esposizione non condiziona queste problematiche.

In ultimo i fronti Est e Sud sono raramente interessati da fenomeni di *carbonatazione* e degradi ad essa associati: il maggiore irraggiamento solare permette probabilmente un'asciugatura più rapida delle sostanze che si depositano sulla superficie (includendo anche l'acqua piovana) e riducendo il rischio di infiltrazioni all'interno delle fessure esistenti, che sarebbero la prima causa di innesco di processi di *carbonatazione*.

Degradi confrontati secondo i lati di esposizione

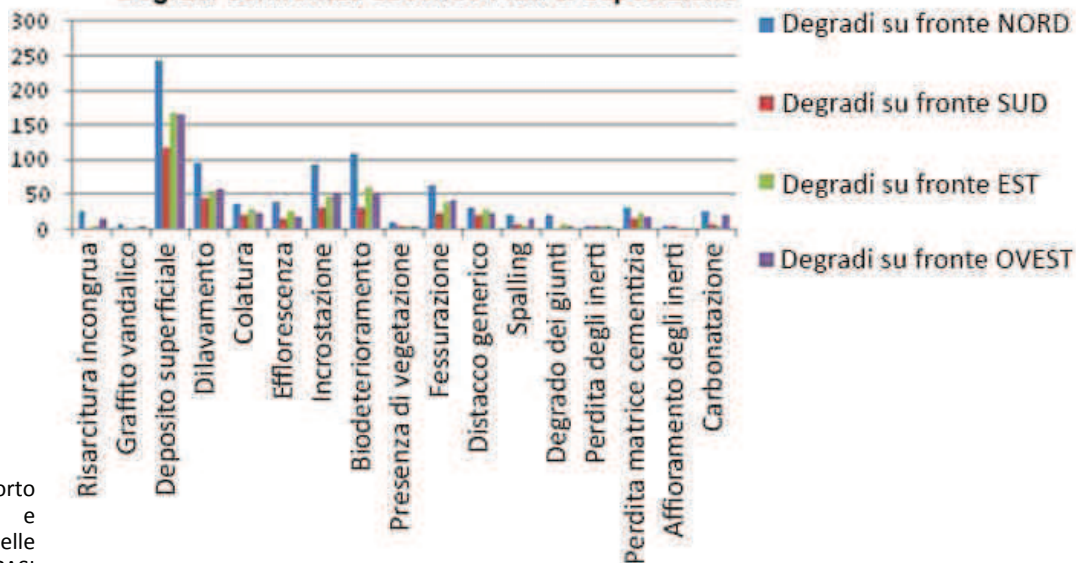


Grafico 8 - Rapporto tra degrado e orientamento delle facciate (DATI CASI STUDIO)

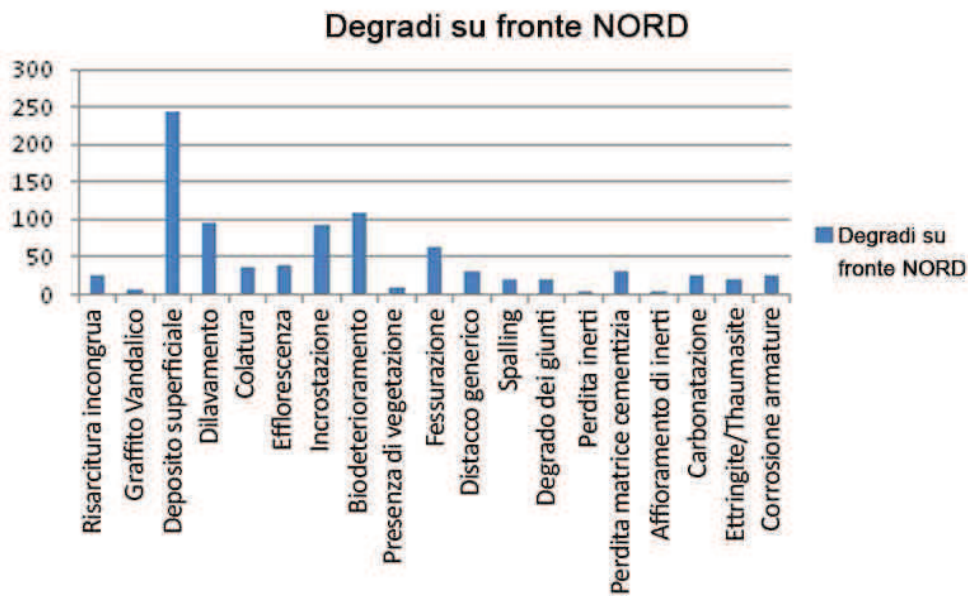


Grafico 9 - Degradi presenti sui fronti NORD dei casi studio (DATI CASI STUDIO)

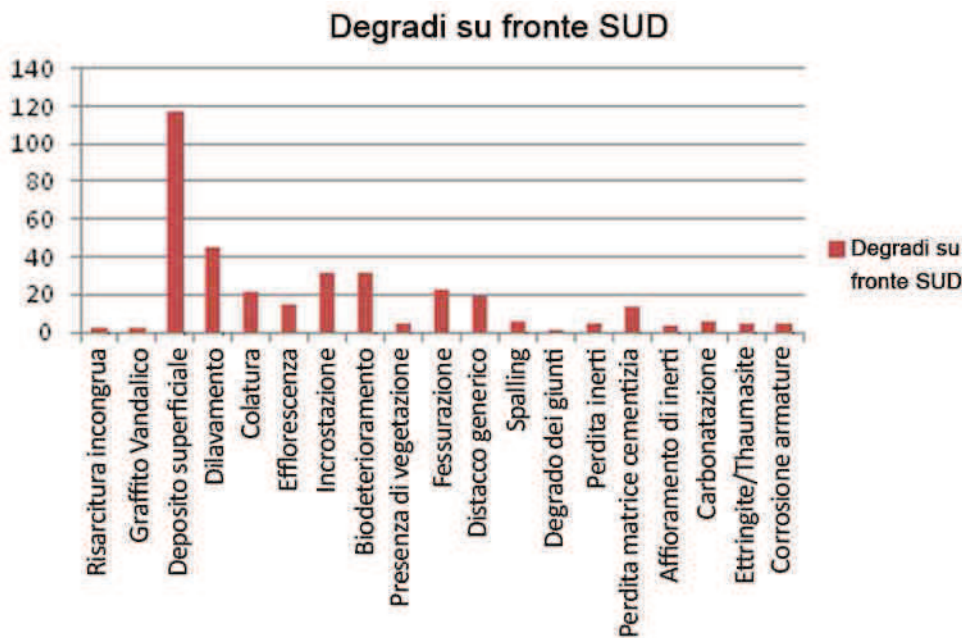


Grafico 10 - Degradi presenti sui fronti SUD dei casi studio (DATI CASI STUDIO)

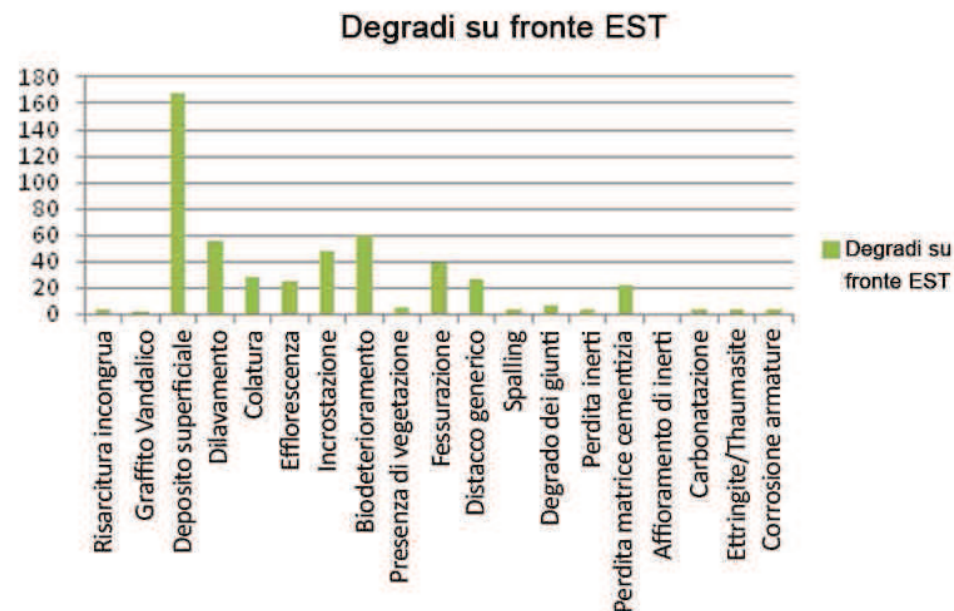
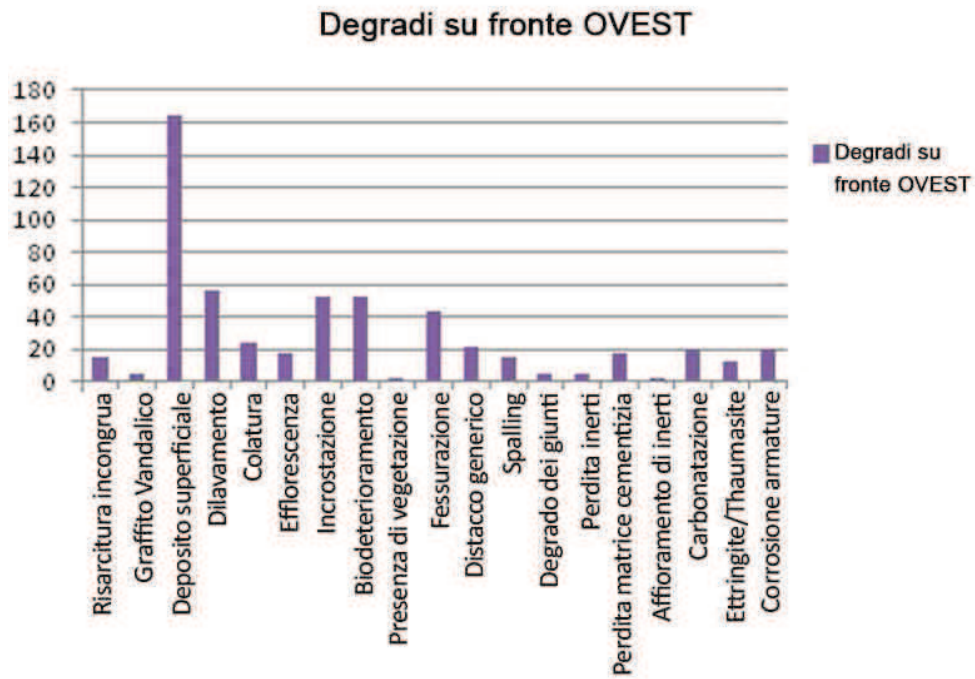
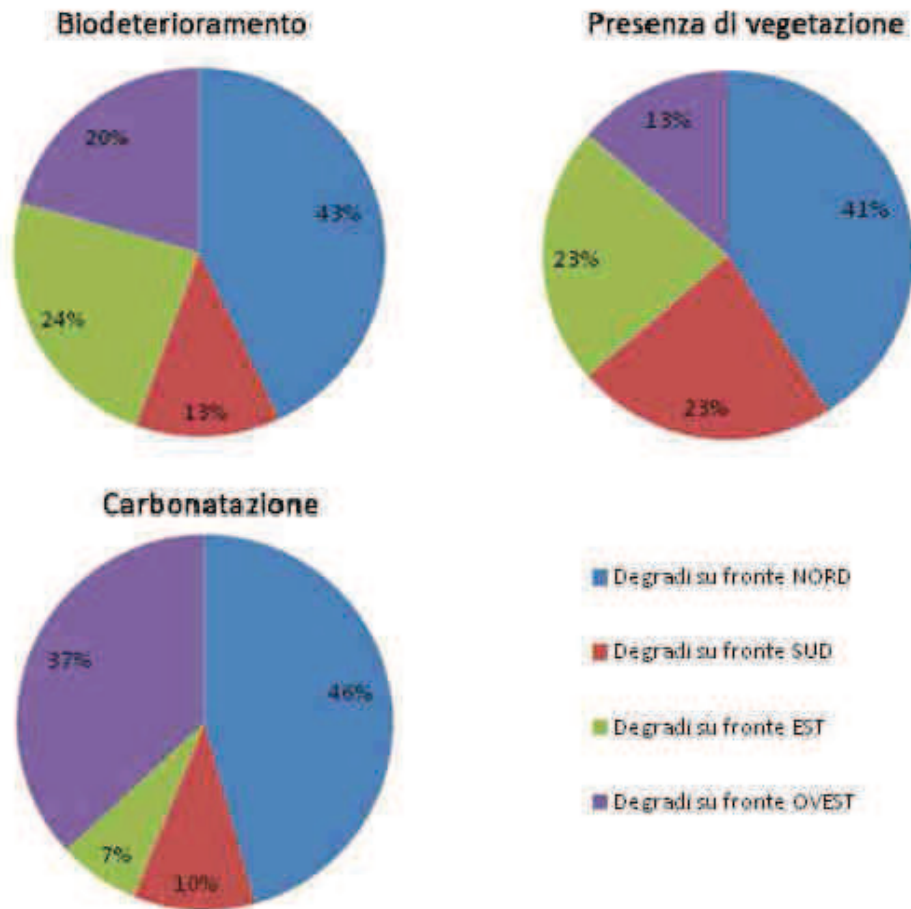


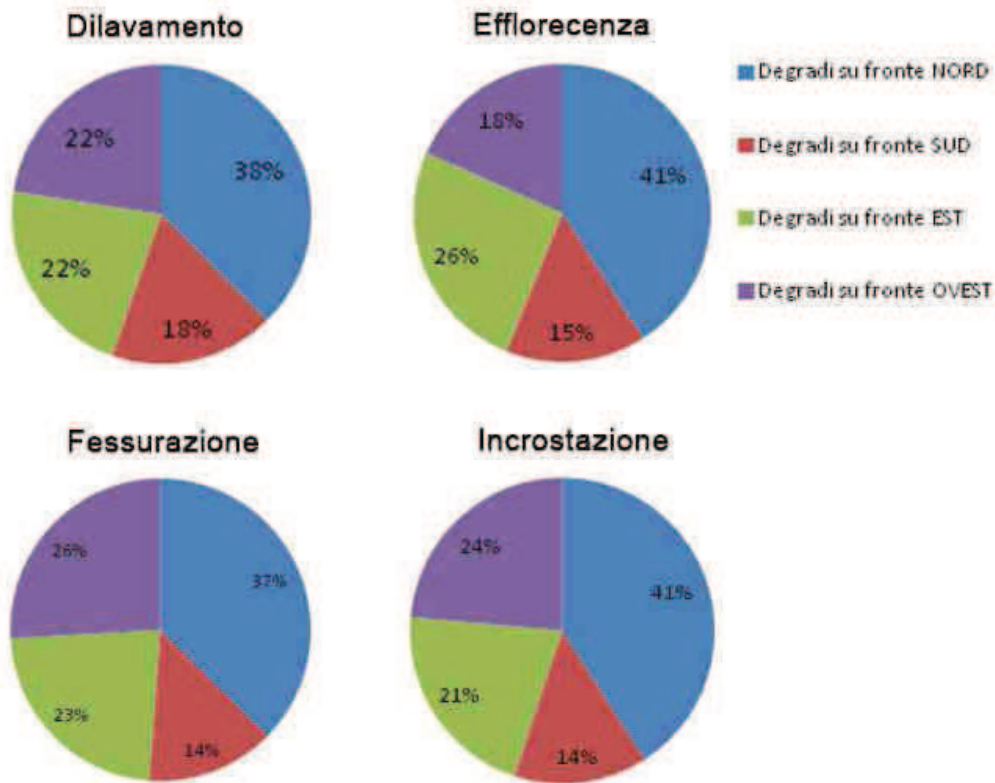
Grafico 11 - Degradi presenti sui fronti EST dei casi studio (DATI CASI STUDIO)

Grafico 12 - Degradi presenti sui fronti OVEST dei casi studio (DATI CASI STUDIO)



Grafici 13-14-15 - Dati relativi al biodeterioramento, alla presenza di vegetazione e alla carbonatazione, confrontati secondo i lati di esposizione degli edifici (DATI CASI STUDIO)





Grafici 16-17 - Dati relativi rispettivamente a: dilavamento ed efflorescenza confrontati secondo i lati di esposizione degli edifici (DATI CASI STUDIO)

Grafici 18-19 - Dati relativi rispettivamente a: fessurazione e incrostazione confrontati secondo i lati di esposizione degli edifici (DATI CASI STUDIO)

In un paese come l'Italia, caratterizzato dalla presenza del mare, esaminando i degradi dei materiali e mettendoli in relazione con il contesto ambientale, non si può trascurare un fattore molto importante per la conservazione della materia: l'aerosol marino. Il primo passaggio affrontato è stato dunque di selezionare, tra gli edifici studiati, quelli caratterizzati da una notevole vicinanza al mare⁴ (entro 3 km); il 12,7% dei casi è collocato entro queste distanze e dunque su questi edifici sono stati valutati i fenomeni di degrado. In questi casi è stato possibile riscontrare che fenomeni come il biodeterioramento, il distacco e la carbonatazione sono molto più sviluppati, segnale che l'azione corrosiva ed erosiva dell'aerosol marino incide non poco sulla durabilità delle miscele cementizie.

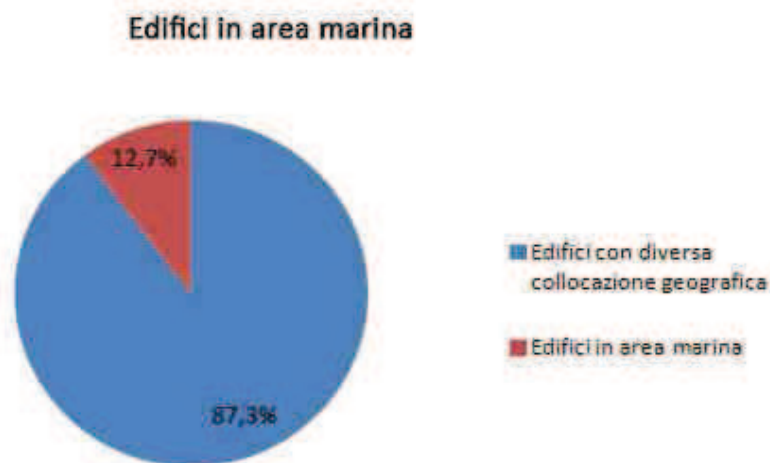
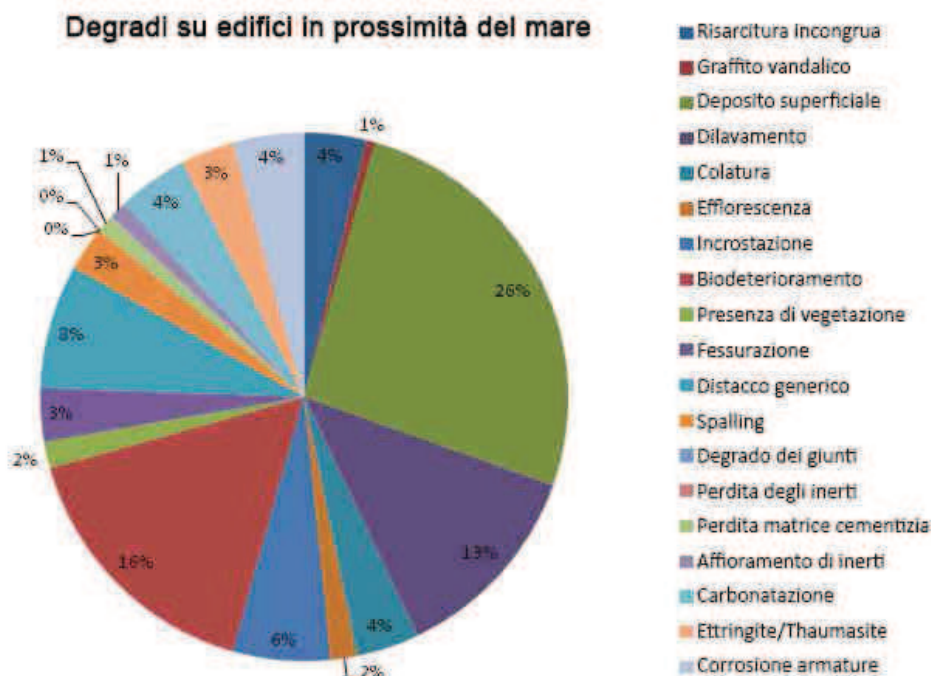


Grafico 20 - Degradi rilevati su edifici in prossimità del mare (DATI CASI STUDIO)

⁴ La distanza è dettata dalla classe di esposizione XS1 stabilita dalla normativa UNI 11104:2004. Tale norma tratta la durabilità dei calcestruzzi e le diverse classi di esposizione; per i calcestruzzi raggiunti dall'aerosol marino, prende in considerazione tutte le strutture site in prossimità delle coste e distanti fino a 2-3 km dal mare.

Grafico 21 - Percentuali dei degradi riscontrati su edifici in prossimità del mare.



3.2.1.3 CORRELAZIONE TRA DEGRADO E INQUINAMENTO

L'analisi, riguardante la relazione tra degradi e contesto dell'edificio, si conclude con lo studio dell'influenza del livello di inquinamento ambientale sulla formazione dei degradi. In primo luogo è stato necessario valutare la qualità del contesto, per permettere di stilare una graduatoria delle città interessate dalla ricerca, in base al loro livello di inquinamento. Si è deciso, quindi, di utilizzare il Dossier redatto da Legambiente nel 2013⁵ in cui sono riportati dati quantitativi inerenti l'inquinamento delle città italiane.

Le rilevazioni di Legambiente permettono di suddividere le città in tre diverse categorie, a seconda del livello di inquinamento registrato in ciascuna di esse.

Queste ultime prendono in esame la presenza di una serie di sostanze inquinanti nell'aria che possono provocare, se presenti in quantità eccessive e per tempi prolungati, effetti nocivi sulla salute dell'uomo, ma anche sull'ambiente e gli edifici. Per lo studio sono stati presi in considerazione i risultati relativi alle quantità presenti nell'aria di ossidi e polveri sottili (PM10). Tra gli ossidi si possono annoverare: l'ossido di azoto (NOx), che contribuisce all'acidificazione ed eutrofizzazione del suolo e dell'acqua, provocandone cambiamenti chimico-fisici e formando l'acido nitrico dannoso per le superfici degli edifici; l'ossido di zolfo (SOx), causa di danni materiali ai fabbricati e, infine, il monossido di carbonio (CO), che contribuisce alla formazione di gas ad effetto serra come l'anidride carbonica e l'ozono⁶.

La presenza di polveri sottili (PM10), invece, si può ritenere la causa principale di *deposito superficiale* e *incrostazioni* sulle facciate (per lo studio è stato preso a riferimento il superamento della soglia limite di polveri sottili in un anno).

Il dossier di Legambiente prende in considerazione i seguenti dati:

⁵ ZAMPETTI G., MINUTOLO A. (a cura di), *Dossier Mal'aria di città 2013. L'inquinamento atmosferico e acustico nelle città italiane*, Legambiente, 17 gennaio 2013, http://www.legambiente.it/sites/default/files/docs/malaria_di_citta_2013.pdf.

⁶ EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (a cura di), *Air Quality in Europe 2011*. in: "Dossier Mal'aria di città 2012. L'inquinamento atmosferico e acustico nelle città italiane", Legambiente, 20 gennaio 2012, http://www.legambiente.it/sites/default/files/docs/dossier_malaria_2012_finale_0.pdf.

PM10: classificazione dei capoluoghi di provincia che hanno superato la soglia limite di polveri sottili in un anno; (limite di legge: D.Lgs 155/2010 che prevede un numero massimo di 35 giorni/anno con concentrazioni superiori a 50 µg/m³).

NO₂: media dei valori annuali registrati dalle centraline presenti sul territorio comunale (limite di legge: Dlgs 155/2010: 40 µg/m³ come media annuale).

L'elaborazione dei dati ricavati dallo studio di Legambiente, ha permesso la definizione della seguente tabella, in cui è stato possibile definire la graduatoria delle città in cui sono situate le architetture analizzate, stabilendo quali risultano essere:

- città altamente inquinate
- città mediamente inquinate
- città scarsamente inquinate

INQUINAMENTO: PM10		INQUINAMENTO: NO _x	
ALTAMENTE INQUINATE		ALTAMENTE INQUINATE	
Parma	115 gg	Firenze	62,5 µg/m ³)
Milano	106 gg	Empoli	62,5 µg/m ³)
Parabiago	106 gg	Milano	60,9 µg/m ³)
Padova	91 gg	Parabiago	60,9 µg/m ³)
Riccione	88 gg	Brunate	58 µg/m ³
MEDIAMENTE INQUINATE		MEDIAMENTE INQUINATE	
S. Felice sul Panaro	85 gg	S. Felice sul Panaro	48,7 µg/m ³
Ferrara	77 gg	Padova	43,7 µg/m ³
Venezia	76 gg	Varese	42,5 µg/m ³
Bologna	73 gg	Pescara	42 µg/m ³
B. Panigale	73 gg	Parma	40 µg/m ³
Firenze	68 gg	Venezia	38,8 µg/m ³
Empoli	68 gg	Bologna	38 µg/m ³
		B. Panigale	38 µg/m ³
SCARSAMENTE INQUINATE		SCARSAMENTE INQUINATE	
Pescara	62 gg	Ferrara	35,3 µg/m ³
Brunate	58 gg	Lucca	35 µg/m ³
Lucca	54 gg	Cesenatico	34 µg/m ³
Cesenatico	52 gg	Riccione	31,7 µg/m ³
Varese	48 gg		

Tab. 2 - Dati relativi all'inquinamento da polveri sottili e da ossido di azoto presenti nell'aria nell'anno 2012, rilevati da Legambiente e pubblicati nel dossier 2013: ZAMPETTI G., MINUTOLO A. (a cura di), *Dossier Mal'aria di città 2013. L'inquinamento atmosferico e acustico nelle città italiane*, Legambiente, 17 gennaio 2013.

I degni riscontrati in ciascun caso sono stati messi a sistema con la suddivisione delle diverse città in base al livello di inquinamento; i risultati sono riportati nei grafici seguenti.

Grafico 22 - Rapporto tra degrado e inquinamento dell'ambiente circostante; nello specifico analisi delle polveri sottili (PM10) (DATI CASI STUDIO)

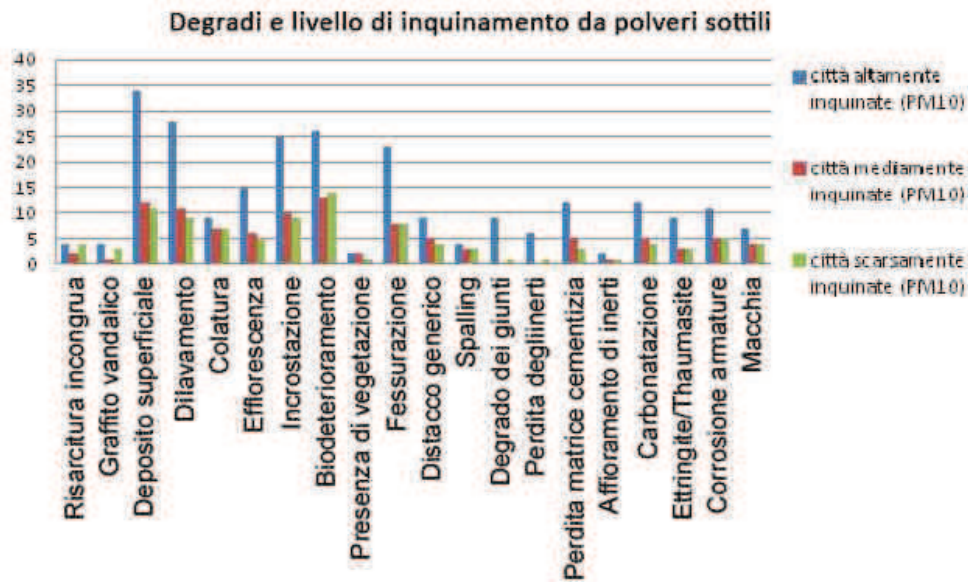
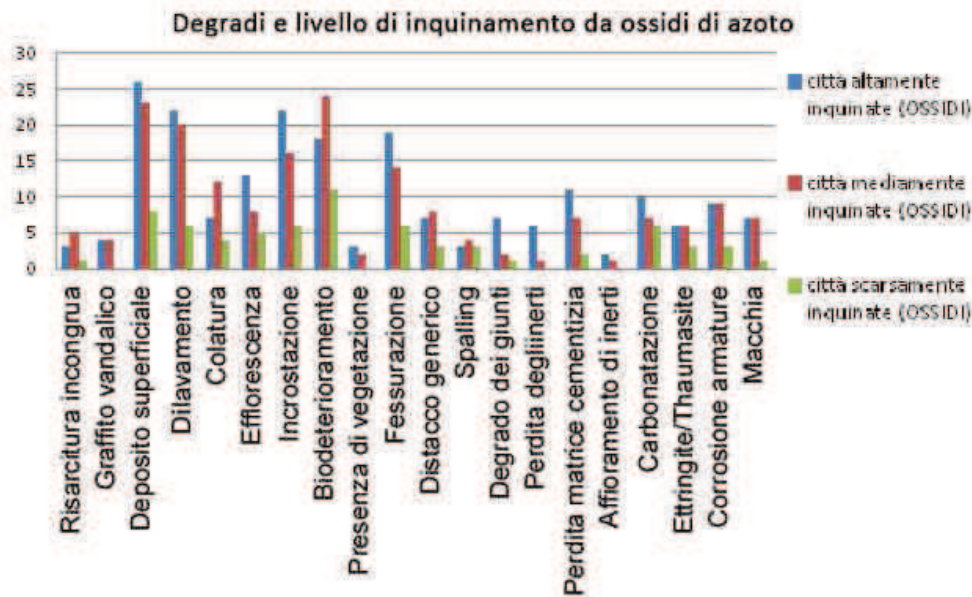


Grafico 23 - Rapporto tra degrado e inquinamento dell'ambiente circostante; nello specifico analisi della presenza di ossidi di azoto (NOx) (DATI CASI STUDIO)



Dai dati che emergono, è possibile avanzare delle considerazioni sul rapporto che potrebbe esistere tra fenomeno di degrado e inquinamento dell'ambiente in cui è inserito l'edificio.

Naturalmente non tutti i degradi sono legati all'inquinamento, è per questo che solo alcuni dei dati presenti nel grafico possono essere spiegati con una correlazione tra degrado e ambiente.

Appare evidente come le città altamente inquinate sono quelle maggiormente interessate da fenomeni di degrado.

Problematiche come *deposito superficiale*, *incrostazione*, *perdita della finitura* ed *erosione della matrice cementizia* hanno valori nettamente superiori nelle città ad alto tasso di inquinamento, dovuto sia alla presenza di polveri sottili che di biossido di azoto.

In queste città è notevole anche la frequenza di degradi come *fessurazione*, *carbonatazione* ed *ettringite/thaumasite*.

Il dato più preoccupante è relativo alla presenza di ossidi nell'aria. Nel grafico ad esso relativo si può notare che, nelle città classificate come mediamente inquinate, e dunque con valori minori o di poco superiori al limite di legge, la maggioranza dei degradi è presente in quantità equiparabili a quelle delle città ad alto grado di in-

quinamento. Questo porterebbe a ipotizzare che, nelle città mediamente inquinate, anche se i livelli di inquinamento sono classificati come minori, i danni provocati dalla presenza di queste sostanze nell'aria, equivalgono a quelli presenti nelle città più inquinate.

Infine le città scarsamente inquinate dimostrano di avere una frequenza minore di degradi; alcuni, come è possibile leggere dai grafici, non sono stati affatto riscontrati nei casi analizzati: è il caso della *presenza di vegetazione*, dell'*erosione* con conseguente *perdita di inerti* e del *degrado dei giunti*.

3.2.2 Valutazioni alla scala dell'elemento architettonico

3.2.2.1 CORRELAZIONE TRA DEGRADO E TIPO DI ELEMENTO

Il secondo livello di approfondimento dei casi studio, riguarda gli elementi architettonici presenti nelle facciate dei sessantatre edifici e realizzati con l'impiego di impasti cementizi.

Innanzitutto sono stati individuati gli elementi architettonici da studiare. Sono state confrontate le facciate di tutte le fabbriche prese in esame ed è stato possibile desumere che, gli elementi in materiale cementizio sono per la maggior parte dei casi analoghi e sono collocati molto spesso nelle stesse posizioni all'interno della geometria della facciata. Questo è giustificabile dal fatto che le tipologie degli elementi architettonici, caratterizzanti le facciate, permangono nel tempo, pur modificando la propria forma a seconda del linguaggio che contraddistingue le diverse epoche.

Si riscontra l'uso degli impasti cementizi per tre categorie principali di elementi architettonici: la prima è relativa agli elementi puramente decorativi, in cui rientrano le modanature delle aperture, le mensole, paraste e lesene, i marcapiani, i cornicioni e ogni forma di decorazione; la seconda include gli elementi che hanno una funzione decorativa, ma che a differenza del gruppo precedente, un ruolo strutturale; ne sono un esempio le colonne e le scale ma anche i balconi o le terrazze, che includono rispettivamente solette e solai; l'ultima categoria comprende gli elementi con funzione di protezione dell'edificio, a cui appartengono i basamenti e i rivestimenti. Il risultato di questa analisi è il raggruppamento degli elementi di facciata, secondo la seguente classificazione⁷:

-*Basamento*: categoria che comprende gli elementi di protezione generalmente di altezza non superiore a 1,50 m che, tuttavia, in taluni casi può raggiungere l'altezza del portone di ingresso dell'edificio, rivestendo quasi interamente il piano terra. È in molti casi caratterizzato da una lavorazione a bugnato semplice o ulteriormente rifinito con bocciardatura. In alcuni degli edifici analizzati, è stato realizzato in pietra naturale e dunque non è stato preso in considerazione.

-*Rivestimento*: presente negli edifici soltanto alcune volte, quasi sempre è caratterizzato da una malta che presenta delle fini lavorazioni superficiali, oppure delle incisioni ad imitazione del bugnato o della pietra naturale.

-*Cornicione*: elemento terminale della facciata generalmente sporgente, a cui è collegata la gronda. Può essere realizzato come una soletta piena in conglomerato cementizio armato, un solaio in latero-cemento o la semplice prosecuzione della copertura.

-*Balcone*: elemento sporgente che caratterizza la parte centrale o gli angoli delle facciate; può ripetersi su più piani; è caratterizzato generalmente da solette piene in conglomerato cementizio armato, ma è anche possibile riscontrare solai in latero-cemento. In entrambi i casi tale elemento sorregge parapetti realizzati in materiale cementizio o in ferro.

-*Modanature delle aperture*: elementi che circondano finestre e porte. La diversità

⁷ Le definizioni affiancate a ciascuna categoria sono una sintesi degli elementi riscontrati nei casi studio.

di tali elementi spazia dai casi lineari e semplici a quelli estremamente lavorati e di forma complessa.

-*Decorazioni*: elementi architettonici caratterizzati da forme e dimensioni varie, generalmente collocati in diversi punti della facciata, anche a sostegno o a coronamento di altri elementi; per esempio le mensole che sorreggono i cornicioni terminali.

-*Elementi verticali*: questa categoria racchiude pilastri, colonne, paraste e lesene.

-*Marcapiani* elementi architettonici che generalmente indicano in facciata la successione dei piani all'interno dell'edificio; spesso sono connessi ad altri elementi architettonici.

-*Scale*: elemento non ricorrente nella maggior parte dei casi realizzato da solette piene in conglomerato cementizio armato e con corrimano in ferro o materiale cementizio.

Numerosi sono gli aspetti che caratterizzano ciascun elemento studiato e che sono stati presi in considerazione in fase di analisi degli edifici.

La prima stima effettuata è relativa ai diversi degradi che caratterizzano ciascuna categoria architettonica presa in esame. Ciò che appare evidente, è che il *deposito superficiale* è la principale alterazione presente su tutti gli elementi studiati; è rilevabile, infatti, con maggior frequenza rispetto alle altre problematiche; tuttavia le percentuali che ne caratterizzano la presenza su ciascun elemento sono sensibilmente diverse; si riscontrano, infatti, valori più alti (>30%) in elementi decorati, modanature delle aperture e colonne o paraste, dunque elementi che, rispetto agli altri, hanno generalmente forme più complesse, inclini al deposito di sostanze esterne.

Un'altra problematica ricorrente è il *biodeterioramento*, presente in tutti gli elementi architettonici anche se non in percentuali molto elevate. Ricorre maggiormente in elementi che sono sporgenti rispetto al piano della facciata: i valori più alti si riscontrano nei casi di scale (20%), marcapiani (18%), balconi (17%) e modanature delle aperture (13%). Risulta dunque, essere una problematica legata alla forma dell'elemento e alla sua posizione nella facciata.

Dilavamento e colatura sono altre problematiche, legate alla posizione dell'elemento: lo dimostrano le percentuali piuttosto basse che caratterizzano, nella maggior parte dei casi, questi degradi. Per quanto riguarda il basamento e il rivestimento i valori riscontrati sono superiori alla media: tali elementi rappresentano concretamente le superfici delle facciate, rispetto a cui tutti gli altri elementi sporgono e dunque il gocciolamento di acqua o altre sostanze depositate, tende a creare su di essi *dilavamenti o colature*.

Le *risarciture incongrue* avvengono principalmente sulle scale, probabilmente in quanto è l'elemento, tra quelli analizzati, più soggetto ad usura (dovuta al continuo utilizzo) e che al contempo, per lo stesso motivo, non può restare a lungo danneggiato e richiede riparazioni immediate.

L'*efflorescenza* non è un fenomeno largamente diffuso e si riscontra in basse percentuali soltanto nei basamenti, nelle scale ed in alcuni casi anche nei balconi.

Un fenomeno ricorrente è l'*incrostazione*, che appare con notevole frequenza nel cornicione e nelle decorazioni (21%), segnale che la posizione sporgente e la forma complessa favoriscono le possibilità di formazione di tale degrado. Percentuali comunque rilevanti, seppur minori rispetto ai due citati elementi, sono riscontrabili in: balconi (12%), modanature delle aperture (11%), marcapiani (11%) e scale (6%). La *fessurazione* e il *distacco* sono degradi collegati tra loro, in quanto uno (*distacco*) è immediata conseguenza dell'altro (*fessurazione*); tuttavia le percentuali di *distacchi* sono nettamente inferiori rispetto a quelle relative alle *fessurazioni*. Questo implica che gli impasti sono risultati finora sufficientemente resistenti e di buona qualità. L'aggravamento della situazione può essere fermato soltanto attraverso interventi di manutenzione, che proprio in questi casi risultano indispensabili per evitare perdite di materiale e pericoli per i fruitori degli edifici. La *fessurazione* ricorre

maggiormente negli elementi verticali, nei basamenti e nei rivestimenti, tutti casi in cui si hanno più estese superfici che hanno probabilmente subito lavorazioni di lisciatura.

La *carbonatazione* e i fenomeni ad essa correlati, come la formazione di *ettringite/thaumasite* e la *corrosione delle armature*, si manifestano principalmente nei balconi, scale e cornicioni; questi sono infatti gli elementi dove maggiormente ricorre l'uso delle armature, in quanto appartenenti alla categoria di elementi con funzione strutturale prima che decorativa.

Infine, ci sono una serie di problematiche le cui percentuali sono nettamente inferiori rispetto alle sopracitate manifestazioni di degrado come il *degrado dei giunti* o le *macchie*. Esse ricorrono approssimativamente con la stessa frequenza in quasi tutti gli elementi; in questi casi, probabilmente non esiste una reale correlazione tra il tipo di elemento e il degrado, in quanto è un problema che si manifesta indistintamente e che dunque colpisce il materiale in sè, in maniera indipendente dalla collocazione, dalla forma o dal tipo di elemento.

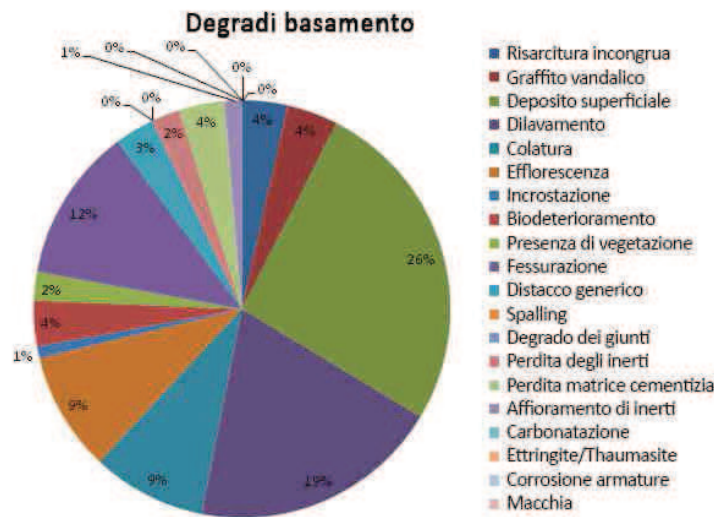
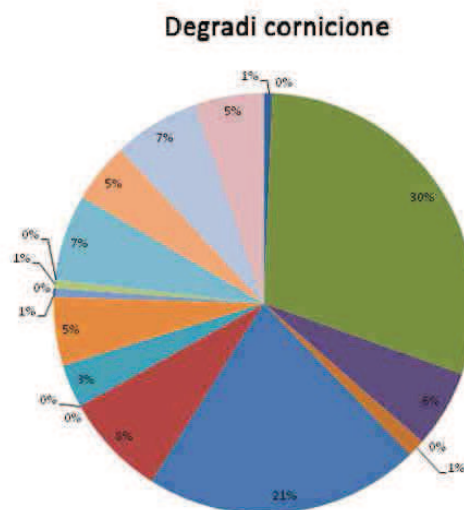
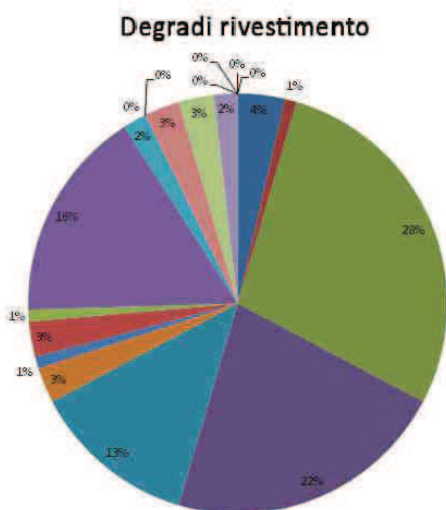
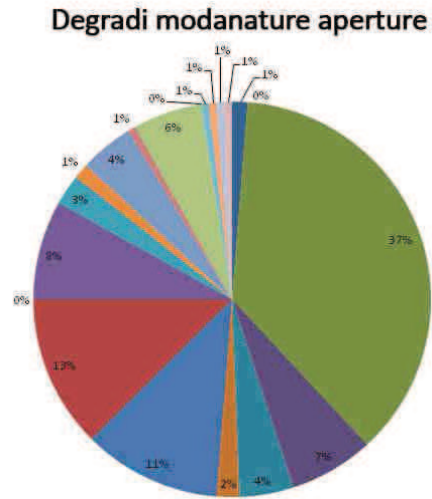
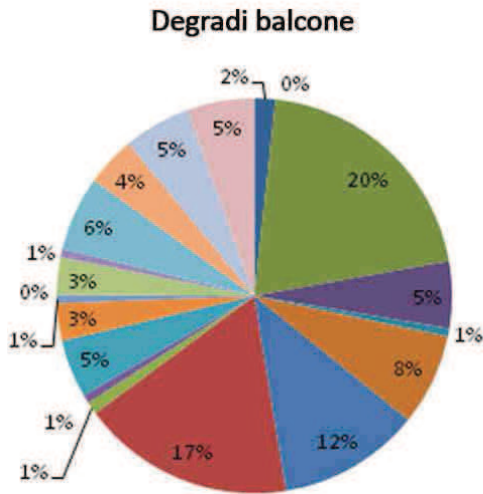


Grafico 24 - Frequenza dei degradi sull'elemento architettonico: basamento (DATI CASI STUDIO)

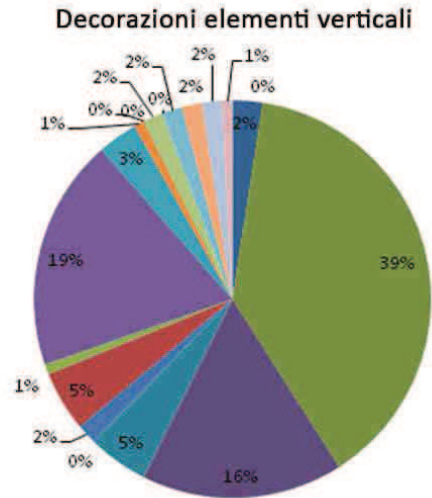
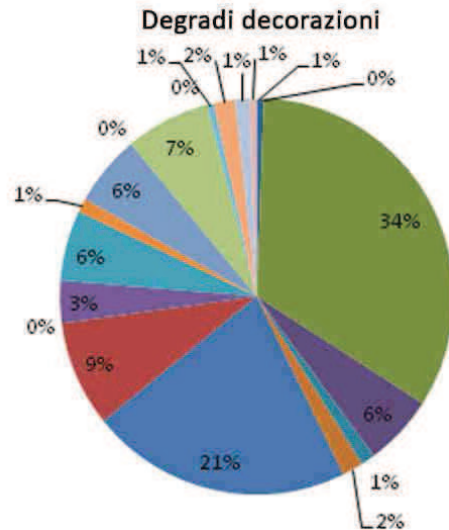


Grafici 25-26 - Frequenza dei degradi sugli elementi architettonici: rivestimento e cornicione (DATI CASI STUDIO)

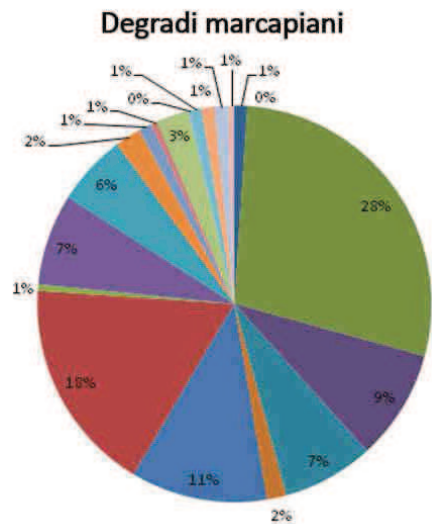
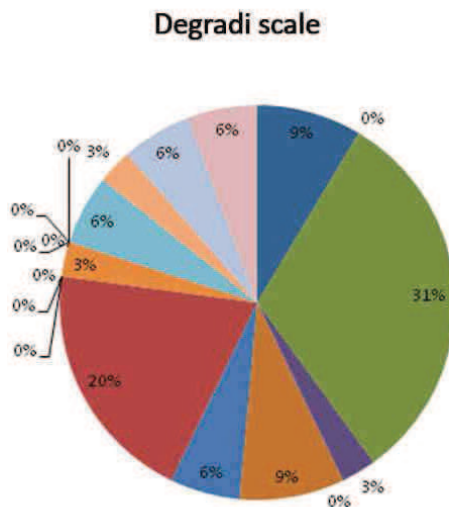
Grafici 27-28 - Frequenza dei degradi sugli elementi architettonici: balcone e modanature delle aperture (DATI CASI STUDIO)

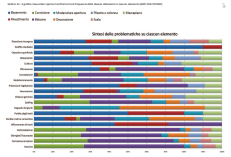


Grafici 29-30 - Frequenza dei degradi sugli elementi architettonici: decorazioni ed elementi verticali (DATI CASI STUDIO)



Grafici 31-32 - Frequenza dei degradi sugli elementi architettonici: scale e marcapiani (DATI CASI STUDIO)





3.2.2.2 CORRELAZIONE TRA DEGRADO E POSIZIONE DELL'ELEMENTO

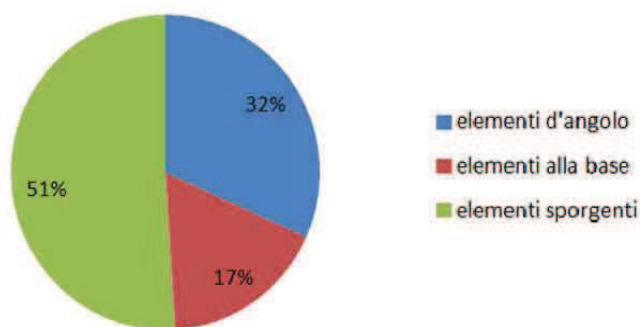
L'ultimo passaggio affrontato, per lo studio dei possibili legami tra degradi ed elementi architettonici, riguarda la posizione del singolo elemento all'interno della facciata. Confrontando i prospetti dei casi studio analizzati, è stato possibile individuare tre categorie nel quale racchiudere le collocazioni più frequenti degli elementi architettonici realizzati con l'impiego di materiale cementizio:

- elementi d'angolo
- elementi alla base
- elementi sporgenti

Non sono stati presi in esame gli elementi di coronamento della facciata, e cioè i cornicioni, in quanto questi elementi hanno subito un maggior numero di rifacimenti in seguito agli ammodernamenti delle coperture. Risulta dunque, una categoria poco comparabile in questo specifico confronto, perchè nella maggioranza dei casi è stato rimaneggiato e costituisce una categoria meno attendibile rispetto alle altre.

Grafico 34 - Ripartizione elementi architettonici in base alla collocazione in facciata (DATI CASI STUDIO)

Ripartizione elementi in base alla collocazione



In primo luogo è bene notare come gli elementi sporgenti risultino i più numerosi rispetto agli elementi appartenenti alle altre due categorie. Gli elementi alla base sono infatti, perlopiù, basamenti e scale, mentre ha maggiore varietà all'interno delle altre due categorie. Occorre precisare che, per questa valutazione, alcuni elementi presi in esame sono stati classificati in più categorie: per esempio le scale sono sia un elemento alla base che sporgente e per questo motivo viene inserito in entrambe le classi. Allo stesso modo si è proceduto per gli elementi sporgenti che possono in alcuni casi essere anche d'angolo, come i balconi.

Alla luce di queste precisazioni è possibile passare alla valutazione dei degradi.

Dal grafico riassuntivo riportato nella pagina seguente si può notare come gli elementi sporgenti siano i più soggetti all'attacco dei fenomeni di degrado: questo induce a pensare che la posizione evidentemente poco vantaggiosa espone questi elementi a problematiche maggiori rispetto ad altri casi.

Osservando nel particolare i singoli degradi, è possibile ipotizzare che alcune problematiche, come l'*efflorescenza* e la *fessurazione*, sono poco influenzate dalla posizione dell'elemento. Nel caso dell'*efflorescenza* infatti, sono i componenti dello stesso impasto cementizio ad essere legati all'insorgenza di sali in superficie e dunque la posizione dell'elemento non influisce tanto quanto la composizione stessa del materiale; per quanto concerne la *fessurazione*, si ha una lieve predominanza nel caso degli elementi d'angolo, probabilmente più soggetti a sollecitazioni esterne (per esempio il vento) e interne (statiche, in quanto l'elemento si sviluppa su due piani generalmente perpendicolari, anziché uno come negli altri casi).

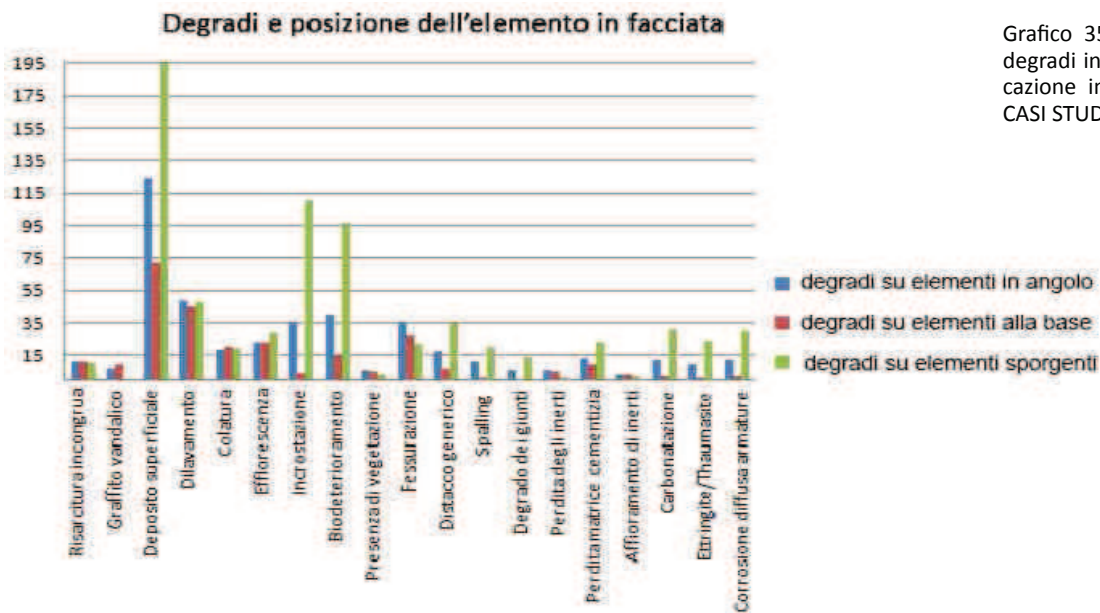
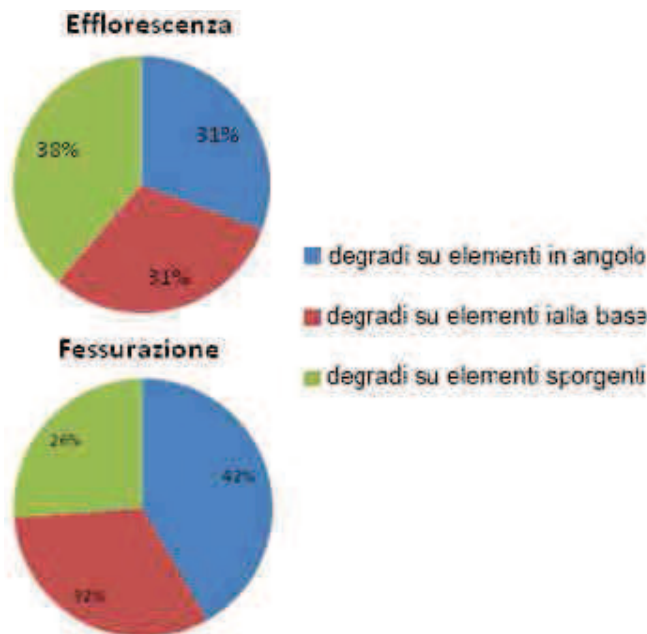


Grafico 35 - Ripartizione degrading in base alla collocazione in facciata (DATI CASI STUDIO)

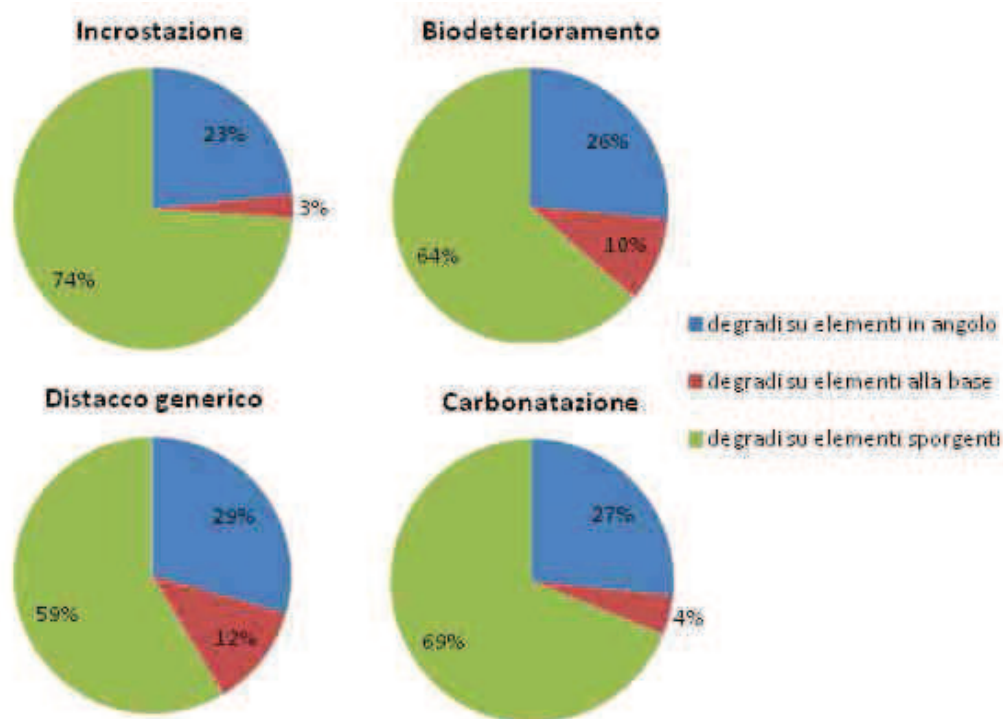


Grafici 36-37 - Dati inerenti le efflorescenze e le fessurazioni ripartiti in base alla collocazione degli elementi architettonici (DATI CASI STUDIO)

Gli altri degrading sono palesemente più sviluppati su elementi sporgenti, com'è dimostrato dai grafici riportati di seguito. In questa categoria rientrano balconi, modanature delle aperture particolarmente pronunciate, scale, mensole e decorazioni. Per tali elementi è indubbio pensare che la collocazione possa essere tra le cause principali di formazione di degrading come *incrostazioni*, *biodeterioramenti* e *distacchi*. Tuttavia incidono notevolmente anche altri fattori, come la forma e le lavorazioni, analizzate in precedenza.

Per quanto attiene la *carbonatazione*, invece, occorre evidenziare che gli elementi sporgenti richiedono necessariamente l'ausilio di strutture metalliche all'interno, che ne consentano l'estensione verso l'esterno della facciata, come avviene per i balconi, le decorazioni scultoree, le cornici aggettanti e le scale. Dunque, proprio la caratteristica sporgenza implica la presenza di materiali metallici che fungono da struttura portante dell'elemento e che sono direttamente interessati dai fenomeni di *corrosione delle armature* e *spalling* (perdita del copriferro), collegati alla *carbonatazione*.

Grafici 38-39-40-41 - Dati inerenti le incrostazioni, il biodeterioramento, i distacchi e la carbonatazione ripartiti in base alla collocazione degli elementi architettonici (DATI CASI STUDIO)



3.2.2.3 CORRELAZIONE TRA DEGRADO E TECNICHE DI ESECUZIONE

La successiva analisi riguarda le modalità di esecuzione degli elementi architettonici.

Prima di affrontare le considerazioni effettuate in merito a tale argomento, occorre precisare la differenza esistente tra le tecniche di realizzazione adottate all'epoca. In passato risultava conveniente realizzare *in opera* tutti gli aggetti che consentivano il "marciare" del modano⁸. Sono perciò da escludersi dalle realizzazioni *in opera*: cornici con arricchimenti decorativi, bassorilievi scultorei, decorazioni e membrature non parallele alla facciata, come mensole e balaustre.

Gli altri elementi costruiti *in opera* sono comunemente realizzati applicando l'impasto cementizio su una struttura sottostante. Tale impasto, ancora fresco veniva lavorato con un modano, una sagoma in lamiera o in legno che riproduceva il profilo complessivo dell'elemento e si realizzava ritagliando o costruendo il negativo del rilevato plastico da formare⁹.

I prodotti costruiti *in opera* comprendono cornici, modanature, frontoni, colonne, lesene, paraste, ma perlopiù basamenti e rivestimenti. Per la realizzazione di questi ultimi occorre di solito predisporre un'ossatura adeguata alle modanature da realizzare, costituita da elementi in laterizio, spesso appositamente formati. Le armature di sostegno vengono poi semplicemente rivestire e concluse con tre mani successive di malta: tre spessori diversi di intonaco partendo dal più grossolano, fino ad arrivare all'uso di una colletta per costituirne l'epidermide esterna¹⁰. In molti casi il rivestimento tende ad essere un'imitazione della pietra naturale, che spesso caratterizza il basamento. La pietra naturale ha infatti una maggiore resistenza meccanica agli urti e agli attriti in generale e dunque viene impiegata per l'attacco a terra dell'edificio. Normalmente, dunque, l'imitazione della pietra inizia da una certa altezza della facciata; superata tale altezza, si preferisce, soprattutto per ragioni di

⁸ CAVALLINI M., CHIMENTI C., 1996, p. 78.

⁹ *Ibidem*.

¹⁰ *Ivi*, p. 23.

costo, una buona imitazione che prosegua modanature e bozzati¹¹. Per quanto riguarda le cornici e le mensole, sono generalmente adoperate solide armature in ferro, composte da bandelle e sostenute da putrelle. Una volta realizzata la cassaforma e inserite le armature, si esegue un primo getto di cemento e sabbia grossolana; a presa avvenuta, si applicano dei pannelli formati fuori opera e muniti di zanche di fissaggio¹².

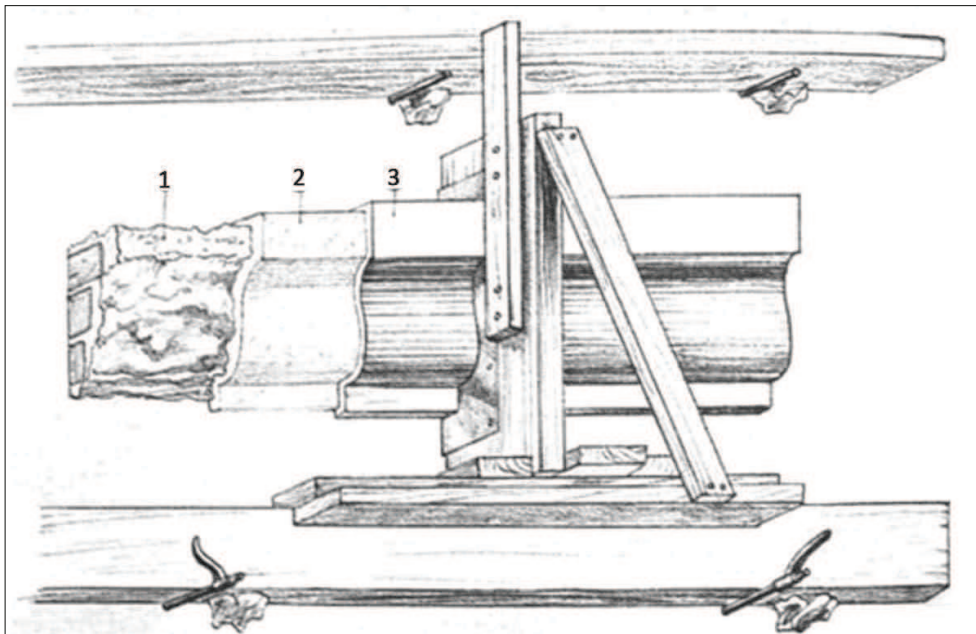


Fig. 2 - Esempio di realizzazione in opera di una modanatura. Immagine estratta da: CAVALLINI C., CHIMENTI C., 1996, p.90.

Per quanto riguarda, invece, le tecniche di realizzazione di elementi architettonici *fuori opera*, si fa riferimento all'uso degli stampi. Per realizzare cornici, bassorilievi scultorei, pezzi ornamentali, figure a tutto tondo, mensole e balaustre, occorre partire da un modello dal quale si ricava uno stampo¹³. Il materiale più usato per la formazione degli stampi è il gesso da stucco (proveniente da pietra molto pura, cotta e polverizzata finemente), rinforzato da materie fibrose per ovviare alla sua fragilità. Esso consente di essere formato in pezzi componibili che, assemblati tra loro, possono dar luogo a getti complessi¹⁴.

Per particolari ad intaglio, con spigoli vivi, si preferisce l'uso dello stampo a colla, che richiede però cura e capacità nella preparazione. La colla viene infatti mescolata ad una minima quantità di acqua, per poter essere sciolta a bassa temperatura e quindi colata nel modello di gesso, per uno spessore di circa 4 cm¹⁵. Prima di essere adoperato per creare nuove riproduzioni dell'elemento, lo stampo deve essere cosparso di sostanze che favoriscono il *distacco* dell'impasto versato al suo interno; successivamente si procede mescolando omogeneamente l'impasto e bagnandolo in modo tale da permettere a tutta la miscela di inumidirsi uniformemente¹⁶.

Quando l'impasto risulta facilmente lavorabile, si eliminano eventuali grumi passandolo al setaccio e infine si versa all'interno dello stampo, comprimendolo perché aderisca a tutte le scanalature della forma. Alla stesura di questo primo strato di impasto, generalmente segue la *colatura* di un impasto più grezzo, privo di eventuali pigmenti colorati. Esso funge da struttura portante per il precedente strato, che ha

¹¹ CAVALLINI M., CHIMENTI C., 1996, p. 23.

¹² CAJANO E., D'ASARO F., TALANI M., *Il restauro del villino Astengo in Roma*, in BISCONTIN G., DRIUSSI G. (a cura di), 2004, pp. 919-928.

¹³ PINNA E., *Cementi artistici e finiture nelle facciate di inizio secolo*, in BISCONTIN G., VOLPIN S. (a cura di), 1990, pp. 561-570.

¹⁴ *Ivi*, pp. 562-563.

¹⁵ *Ibidem*.

¹⁶ CAVALLINI M., CHIMENTI C., 1996, pp. 110-112.

invece, funzione di finitura. All'interno del secondo strato possono essere inserite anche eventuali armature metalliche¹⁷. Il prodotto finale della *colatura* deve stagionare e solo una volta indurito viene estratto dallo stampo e applicato al supporto, per mezzo di attacchi a coda di rondine, caviglie in ferro, zanche¹⁸.

Alla luce di quanto premesso, si è ritenuto opportuno procedere con una distinzione tra gli elementi realizzati *in opera* e *a stampo*, per valutare l'eventuale esistenza di una correlazione tra la tecnica esecutiva dell'elemento architettonico e i degradi manifestati.

Come dimostrato dal grafico riportato sotto, la maggioranza (60%) degli elementi (per elementi si intende cornici, marcapiani e modanature, basamenti e rivestimenti, elementi strutturali come colonne e paraste) presenti nelle facciate studiate è stato costruito *in opera*. Probabilmente ciò è dovuto al fatto che molti elementi di facciata possono essere realizzati con maggiore facilità e rapidità per mezzo di strumenti che ne garantiscono una costruzione *in opera*; soltanto elementi di maggior spessore, tridimensionali e ripetitivi, necessitano di esecuzioni *a stampo*. In quest'ultima categoria rientrano esclusivamente le decorazioni, gli elementi delle balauste di scale e balconi, i capitelli e le mensole.

Grafico 42 - Percentuale di elementi realizzati a stampo e in opera (DATI CASI STUDIO)



Grafico 43 - Degradi associati al metodo di realizzazione (a stampo e in opera) (DATI CASI STUDIO)

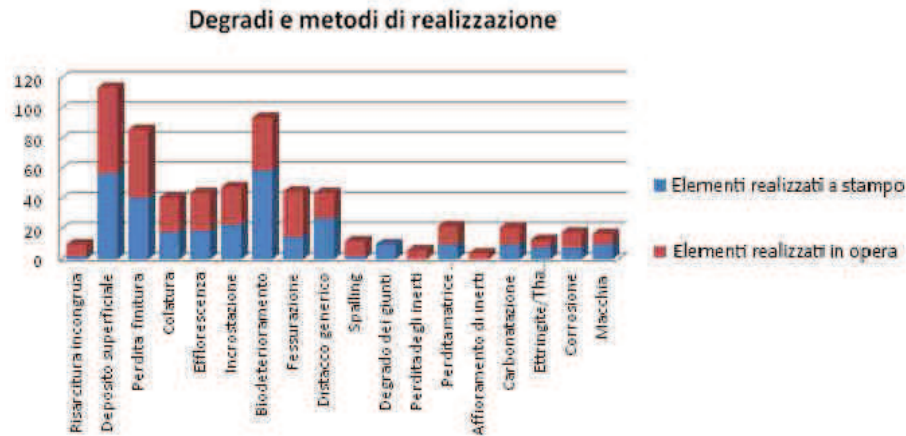
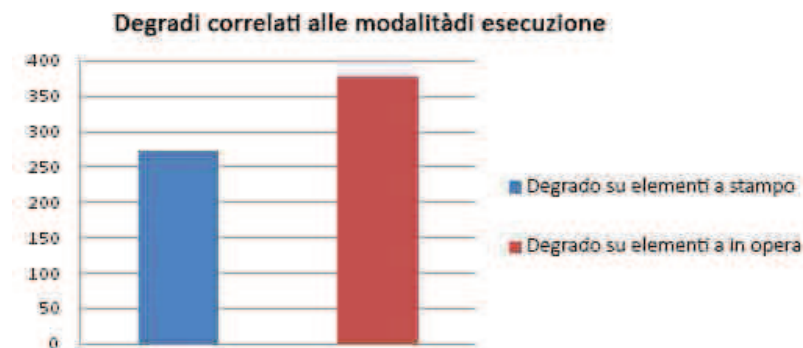


Grafico 44 - Totale dei degni associati al metodo di realizzazione (a stampo e in opera) (DATI CASI STUDIO)



¹⁷ CAVALLINI M., CHIMENTI C., 1996, pp. 110-112.

¹⁸ PINNA E., *Cementi artistici e finiture nelle facciate di inizio secolo*, in BISCONTIN G, VOLPIN S. (a cura di), 1990, pp. 561-570.

Dai precedenti grafici è possibile desumere che gli elementi realizzati *in opera* mostrano una maggiore quantità di fenomeni di degrado. Ciò potrebbe essere spiegato dal fatto che la preparazione degli impasti *fuori opera* è spesso più accurata, in quanto non risente della rapidità con cui devono essere svolte le operazioni che avvengono direttamente in cantiere.

Osservando nello specifico i singoli degradi, si può notare come, per esempio, la *perdita di finitura* è sensibilmente più alta nei casi delle realizzazioni *in opera*: in questo caso, infatti, le finiture sono realizzate al termine della lavorazione dell'impasto, successivamente al suo indurimento; nel caso delle costruzioni *fuori opera*, invece, la finitura superficiale è il primo strato ad essere colato nello stampo e dunque, indurendo, diventa un tutt'uno con gli strati successivi.

In merito al *biodeterioramento*, si può notare come sia notevolmente maggiore il valore relativo agli elementi costruiti *fuori opera*: il motivo è presumibilmente ascrivibile alle sostanze impiegate per favorire il *distacco* dallo stampo. Tali sostanze sono generalmente di origine animale o vegetale, poichè lo stampo viene spalmato di grasso od olio in modo da impedire l'assorbimento dell'acqua dell'impasto; l'assenza di tali sostanze tende a rendere difficile il *distacco* del getto, compromettendo il risultato finale¹⁹, tuttavia, esse agevolano la formazione e il deposito di microorganismi sulla superficie, innescando il fenomeno del *biodeterioramento*.

Gli elementi costruiti *in opera* mostrano una *fessurazione* più pronunciata rispetto a quelli realizzati *fuori opera*; come detto in precedenza, gli elementi realizzati *in opera* comprendono spesso le grandi superfici di bugnato e rivestimento che subiscono delle lavorazioni superficiali per ottenere dei gradevoli effetti di finitura: tali lavorazioni probabilmente generano delle sollecitazioni della superficie, che col tempo tende a fessurarsi.

Pur essendo generalmente connessi, il fenomeno della *fessurazione*, in questo caso, non appare non legato a quello del *distacco*, che ricorre con maggior frequenza negli elementi *a stampo*. Ciò è comprensibile, verosimilmente, per il fatto che gli elementi *a stampo* hanno perlopiù forme complesse e articolate, composte da numerosi dettagli; questi ultimi, soprattutto se di piccole dimensioni, sono soggetti frequentemente a *distacco* a causa della loro fragilità.

Come dimostrato dai valori riportati nel grafico 43, il *degrado dei giunti* è un fenomeno strettamente connesso alla tecnica esecutiva *a stampo*: l'apposizione di formelle atte a costruire decorazioni di dimensioni maggiori, implica la necessità di avere molti punti di giunzione tra di esse. I giunti rappresentano discontinuità fragili degli elementi e tendono ad essere i punti di maggior debolezza dell'intero apparato decorativo.

Per quanto riguarda il fenomeno della *carbonatazione* e i degradi ad essa associati, come *ettringite/thaumasite* e *corrosione delle armature*, i risultati riscontrati sul campo e riportati nel grafico sono sostanzialmente comparabili rispetto alle due tecniche di esecuzione, poichè in entrambi i casi è possibile riscontrare la presenza di elementi metallici: nel caso degli elementi *a stampo* vi è la presenza degli agganci metallici necessari al fissaggio dell'elemento al supporto, mentre per gli elementi strutturali realizzati *in opera*, quali balconi, scale e colonne, è necessaria un'armatura metallica interna.

3.2.2.4 CORRELAZIONE TRA DEGRADO E LIVELLO DI ELABORAZIONE

Nella fase di indagine relativa ad eventuali correlazioni tra fenomeni di degrado e caratteri degli elementi architettonici, rientra l'aspetto delle lavorazioni subite dall'elemento.

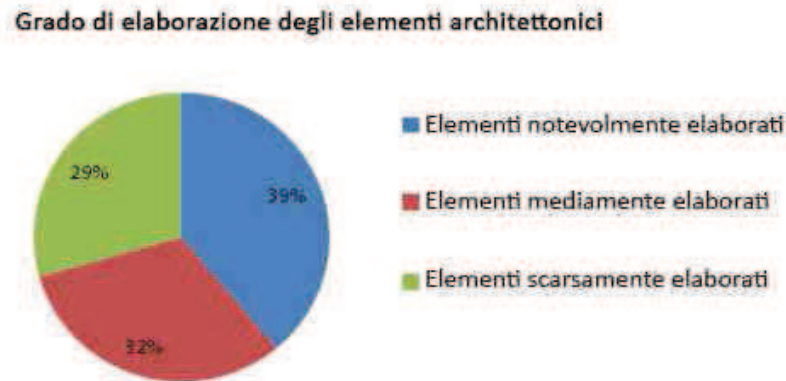
¹⁹ PINNA E., *Cementi artistici e finiture nelle facciate di inizio secolo*, in BISCONTIN G, VOLPIN S. (a cura di), 1990, pp. 561-570.

Il primo passaggio affrontato è stato quindi quello di catalogare gli elementi architettonici presenti nelle facciate degli edifici studiati, suddividendoli in: elementi molto elaborati, mediamente elaborati e scarsamente elaborati.

Dal grafico riportato in basso si può desumere come la maggioranza (39%) degli elementi subisce notevoli elaborazioni, come avviene per le figure a tutto tondo, i rilievi di facciata, gli elementi ornamentali e i veri e propri apparati scultorei.

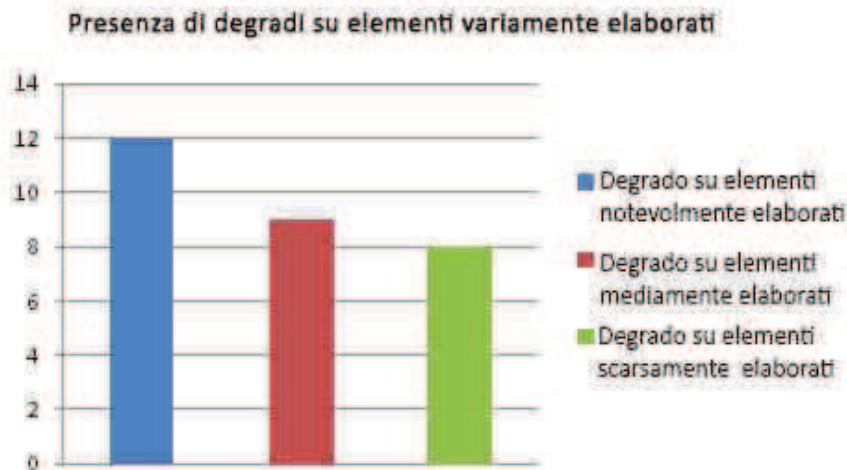
Risulta nella media anche il valore (32%) degli elementi mediamente elaborati, categoria che comprende mensole, balaustrate, modanature complesse delle aperture e quanto non risulta appartenente all'ultima categoria individuata. Quest'ultima infatti, include gli elementi scarsamente elaborati (29%), che sono caratterizzati per lo più da un andamento lineare: cornici, marcapiani, modanature semplici e superfici senza particolari lavorazioni.

Grafico 45 - Livello di elaborazione degli elementi architettonici (DATI CASI STUDIO)



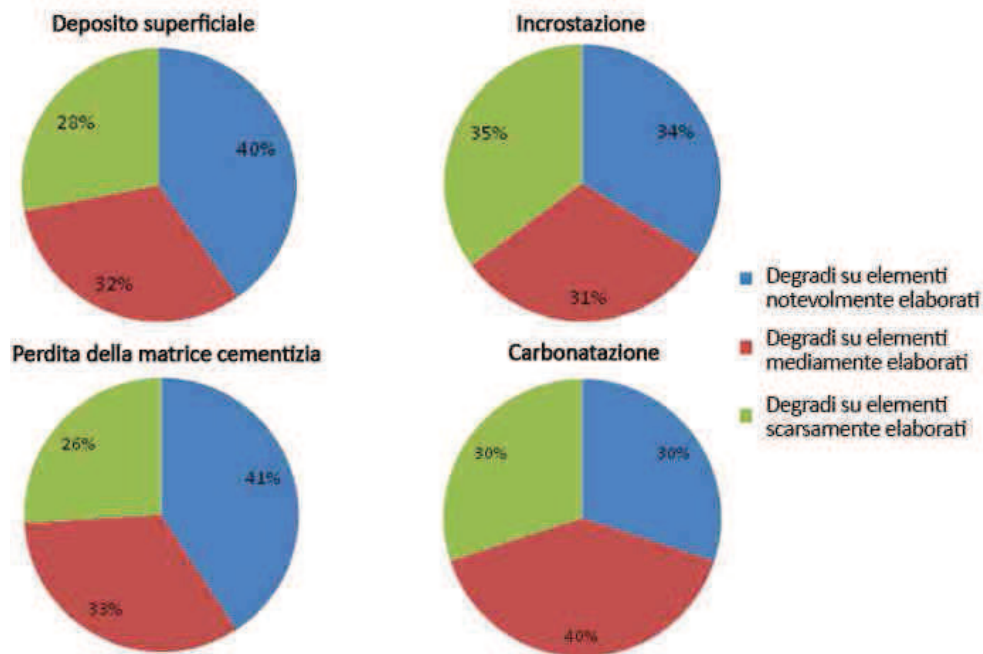
Il passaggio successivo è l'analisi dei fenomeni di degrado che si manifestano su queste tre categorie di elementi. Dal grafico precedente si può notare che le quantità appartenenti alle diverse classi sono grossomodo omogenee (39%-32%-29%). Tuttavia, da un primo grafico generale, si può dedurre che gli elementi molto elaborati sono più colpiti dal degrado rispetto ad elementi poco elaborati.

Grafico 46 - Correlazione tra degradi e livello di elaborazione degli elementi architettonici (DATI CASI STUDIO)



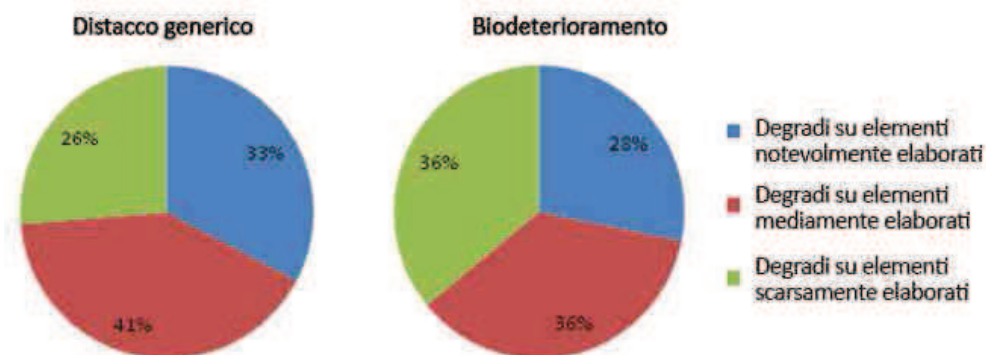
Guardando i singoli degradi, è possibile fare delle considerazioni più specifiche. Gli elementi molto elaborati sono più facilmente colpiti da *deposito superficiale* (40% contro il 32% dei mediamente elaborati e il 28% degli scarsamente elaborati) e *incrostazioni* (56% contro il 28% dei mediamente elaborati e il 16% degli scarsamente elaborati), *perdita della matrice cementizia* (59%, 23% e 18%) e *carbonatazione* (38%, 35% e 27%). Il *deposito superficiale* e le *incrostazioni* sono dovute al fatto che la forma complessa è più incline rispetto alla forma lineare al deposito di sostanze estranee e meno soggetta al *dilavamento*, provocando la formazione di *incrostazioni*.

La *perdita della matrice cementizia* potrebbe essere legata al rapporto acqua/cemento, il cui valore è presumibilmente tenuto alto in fase di esecuzione, per consentire una migliore lavorabilità dell'impasto. Questo facilita certamente la fase di esecuzione, data la complessità delle forme da elaborare, tuttavia rende la miscela molto più porosa e soggetta alla *perdita della matrice cementizia*, effettivamente riscontrata tra i degradi. In ultimo, la *carbonatazione* potrebbe essere connessa, oltre che al grado di porosità dell'impasto, anche alla presenza di elementi metallici, perni, spesso utilizzati per tenere insieme le forme complesse delle decorazioni.



Grafici 47-48-49-50 - Correlazione rispettivamente tra: degrado superficiale, incrostazione, perdita del legante, carbonatazione e livello di elaborazione degli elementi architettonici (DATI CASI STUDIO)

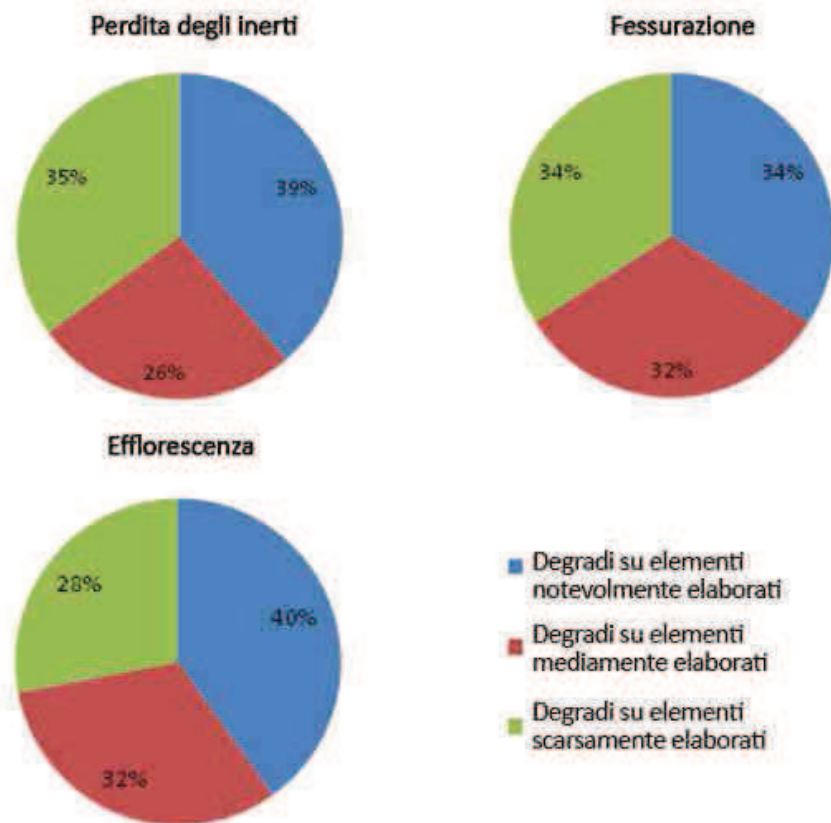
Il *distacco* (33%, 41% e 26%) e il *biodeterioramento* (28%, 36% e 36%) si manifestano con maggiore frequenza negli elementi mediamente elaborati. Probabilmente questi degradi non sono legati al tipo di lavorazione subita dall'elemento, quanto piuttosto al tipo di elemento e alla posizione in facciata. Nella categoria dei mediamente elaborati rientrano infatti mensole, balaustre e modanature, che compaiono generalmente a completamento di balconi, scale e aperture, parti di facciata soggette a usura e passaggio continuo di persone; ciò provoca inevitabilmente problemi di perdita di materiale e dunque *distacco*. Tali elementi sono accomunati anche dal fatto che sporgono più di altri rispetto al piano di facciata, agevolando il deposito di microrganismi sugli elementi che le compongono. Il loro grado di elaborazione non consente probabilmente un completo *dilavamento* delle sostanze esterne e ne favorisce l'accumulo.



Grafici 51- 52 - Correlazione rispettivamente tra: distacco, biodeterioramento e livello di elaborazione degli elementi architettonici (DATI CASI STUDIO)

Per quanto attiene le altre categorie di degradi, i dati rilevati sono approssimativamente omogenei in tutte e tre le classi, segnale che tali fenomeni non sono condizionati dall'elaborazione dell'elemento, quanto piuttosto dalle caratteristiche dell'impasto.

Grafici 53-54-55 - Correlazione rispettivamente tra: perdita degli inerti, fessurazione, efflorescenza e livello di elaborazione degli elementi architettonici (DATI CASI STUDIO)



Per approfondire l'aspetto dell'elaborazione degli elementi e studiare nello specifico le correlazioni che potrebbero esistere con le manifestazioni del degrado, sono stati valutati anche i fenomeni in rapporto alla presenza o meno di lavorazioni superficiali.

In primo luogo gli elementi di facciata sono stati classificati secondo due categorie: *elementi lisci*, privi cioè di interventi sulla superficie, ed elementi caratterizzati da *lavorazioni superficiali*.

Gli *elementi lisci* sono generalmente caratterizzati da una finitura epidermica ottenuta attraverso l'uso del modine, facilitata dalla stesura di velature di malte grasse, quasi sempre piallettate (lisciate) che di fatto non necessitano mai di ulteriori affinamenti, in quanto ne risulta una lisciatura di buon livello²⁰.

Per *lavorazioni superficiali*, invece, si intendono tutte le finiture che è possibile imprimere sulla superficie dell'elemento architettonico, con funzione decorativa. Le possibili finiture superficiali si possono dividere in tre diverse categorie: la prima è detta "a incisione" e prevede l'uso di strumenti dentati a guisa di pettine, atti a solcare le superfici con graffi paralleli, diritti oppure ondulati; la seconda, usata prevalentemente per imitare bozzati rustici, raggiunge la plasticità desiderata con una tecnica detta "a mettere". In questi casi si procede rinzaffando con malta, spesso grossolana, le superfici interessate e si applica alla fine una colletta grassa e fluida modellata con appositi pennelli; nella terza categoria, rientrano tutte quelle finiture definite "a timbro". Tale tecnica richiede l'uso di uno strumento di legno chiamato "bugno", costituito da un manico con sovrastante tavoletta chiodata. I chiodi posso-

²⁰ CAVALLINI M., CHIMENTI C., 1996, pp. 100-101.

no avere concentrazioni, dimensioni e forme diverse, secondo la connotazione da conferire alle superfici. I bugni possono essere sostituiti da rulli dentati, che lasciano la loro impronta scorrendo sulle superfici ancora fresche²¹.

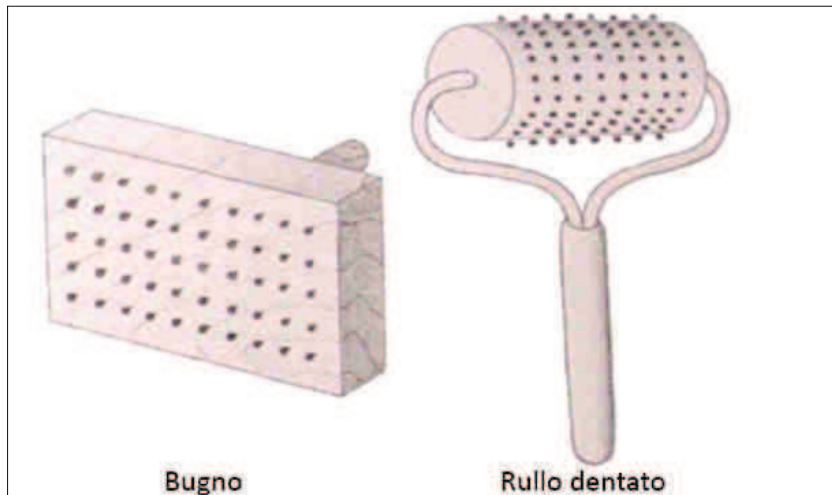


Fig. 3 - Immagine che riporta un bugno e un rullo dentato Immagine estratta da: CAVALLINI C., CHIMENTI C., 1996, p.101

In rapporto alle diverse lavorazioni superficiali si è svolta l'analisi dei singoli degradi, da cui è emerso che nel caso di elementi ruvidi, caratterizzati da lavorazioni in superficie, il *deposito superficiale* riporta valori notevolmente più alti, mentre *colature* e *dilavamenti* sono più diffusi su superfici lisce.

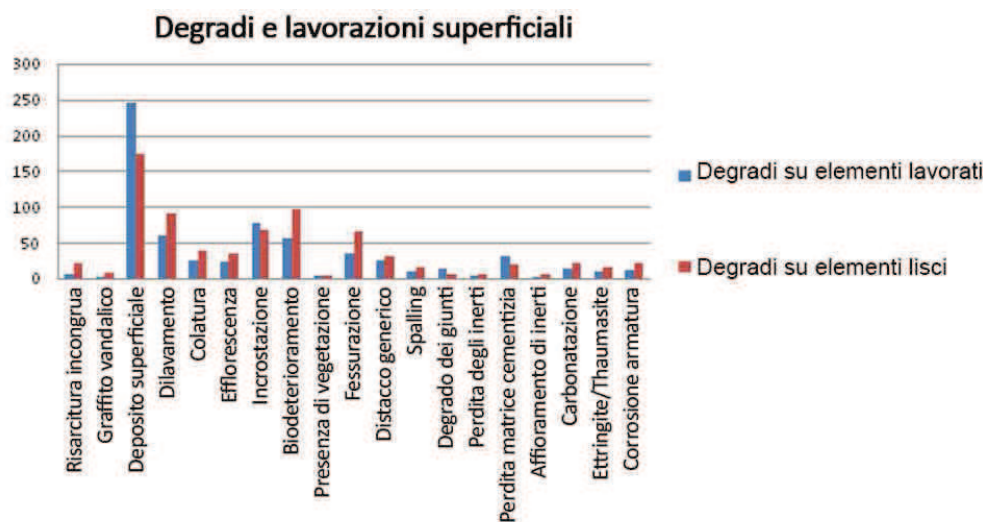


Grafico 56 - Dati inerenti i degradi su elementi privi di lavorazioni e caratterizzati da lavorazioni superficiali (DATI CASI STUDIO)

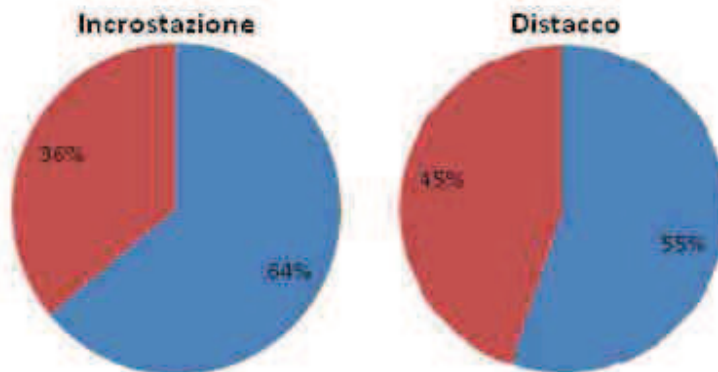


Grafico 57 - Dati inerenti il deposito superficiale su elementi che hanno subito o meno lavorazioni in superficie (DATI IN CENTESIMI)

²¹ CAVALLINI M., CHIMENTI C., 1996, pp. 100-101.

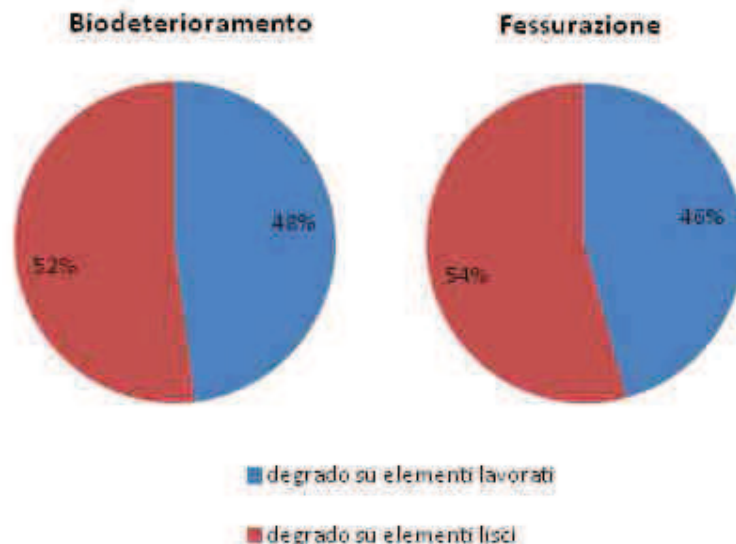
Valutando nello specifico i singoli degradi, si constata che le *incrostazioni* e i *distacchi* avvengono con più frequenza nei casi di elementi lavorati; le *incrostazioni* sono dovute al fatto che, probabilmente le superfici scabre sono più inclini a trattenere le sostanze esterne, mentre i *distacchi* avvengono in quanto le lavorazioni rendono più fragili le parti che compongono l'elemento, incidendo sulla *perdita della matrice cementizia* che, a sua volta, rende l'impasto meno coeso.

Grafici 58-59 - Dati inerenti l'incrostazione e il distacco su elementi che hanno subito o meno lavorazioni in superficie (DATI IN CENTESIMI)



Ci sono poi dati inerenti il *biodeterioramento* e la *fessurazione* che risultano equiparabili in entrambe le categorie, indicazione del fatto che probabilmente tali fenomeni non dipendono da questa specifica peculiarità dell'elemento. La *fessurazione* nello specifico, è lievemente più alta nei casi di superfici lisce; ciò potrebbe essere legato alla piallettatura (lisciatura), unica lavorazione a cui si sottopongono questi elementi. Per lisciare la superficie, infatti, si tende ad esercitare una maggiore pressione su tutta l'area, provocando la compressione dell'impasto e la conseguente espulsione di acqua. Una volta asciutto e indurito, l'elemento tende a fessurarsi, in seguito alle pressioni sopportate.

Grafici 60-61 - Dati inerenti il biodeterioramento e la fessurazione su elementi che hanno subito o meno lavorazioni in superficie (DATI IN CENTESIMI)



3.2.3 Valutazioni alla scala del materiale

3.2.3.1 ANALISI DI LABORATORIO: INDAGINI DIAGNOSTICHE

Il restauro delle opere architettoniche prese in esame non può prescindere da una conoscenza approfondita sia dei materiali costitutivi, che dei sottoprodotti dei diversi fenomeni di degrado.

La corretta impostazione di una campagna diagnostica rappresenta un passaggio fondamentale per l'intervento di restauro.

Lo scopo della diagnosi è quello di orientare le decisioni del progetto in merito a *che cosa* conservare e *perché*; essa assolve alla sua funzione quando è in grado di fornire elementi informativi atti a motivare le scelte relative a conservazione o trasformazione degli elementi del sistema considerato²².

L'individuazione della finalità analitica, la tipologia di indagine da realizzare, il punto di prelievo e le modalità di eventuali campionamenti rappresentano diverse fasi della campagna diagnostica: tali fasi devono essere accuratamente pianificate.

In termini generali, le indagini scientifiche possono comprendere prove *in situ* come, per esempio, indagini visive e prove non distruttive per le quali, nella maggioranza dei casi, non è richiesto il campionamento di materiale dall'opera, oppure prove in laboratorio, come analisi chimiche, mineralogico-petrografiche e biologiche che prevedono l'asportazione di uno o più prelievi significativi di materiale²³.

La diagnosi *in situ* è di fondamentale importanza per completare le prove di laboratorio, eseguite nei casi più complessi, allo scopo di stabilire le cause del degrado. La conoscenza di tali cause è necessaria per la scelta delle tecniche di restauro da eseguire²⁴.

La quantità di informazioni che si possono ottenere da una analisi chimica e mineralogico-petrografica è estremamente ampia e sicuramente più esaustiva rispetto ad un'indagine non invasiva, per la conoscenza dei materiali e dello stato di conservazione dell'edificio.

Per lo svolgimento del presente lavoro si è deciso di procedere, in prima istanza, con delle indagini visive che permettessero di fare delle considerazioni generali sugli impasti e il loro stato di conservazione, e successivamente effettuare delle analisi di laboratorio su campioni di materiali prelevati dai fabbricati.

I campioni sono stati prelevati da alcuni dei casi studio e sono stati sottoposti ad indagini diagnostiche di laboratorio, eseguite da tecnici specializzati appartenenti a strutture di ricerca italiane²⁵. Le tecniche analitiche adottate sono state scelte in base a diversi parametri, il primo dei quali è di determinare la caratterizzazione composizionale degli impasti. Il secondo e terzo parametro sono legati, invece, alla facilità di realizzazione dell'analisi e al contenimento dei costi. Non è da trascurare infatti l'intenzione finale dello studio condotto, rivolta alla definizione degli impasti storici presenti in cantiere per guidare gli interventi delle imprese e dei tecnici coinvolti nel restauro. Ciò implica l'individuazione di analisi di laboratorio che diano la possibilità agli operatori, in breve tempo e con un contenuto dispendio economico, di conoscere il materiale su cui è necessario intervenire, mettendo in atto idonee pratiche di conservazione.

Una valida sintesi delle relazioni esistenti tra il processo diagnostico e quello deci-

²² DI BATTISTA V., *Criteri di diagnosi*, in CATERINA G. (a cura di), 1989, pp. 133-139.

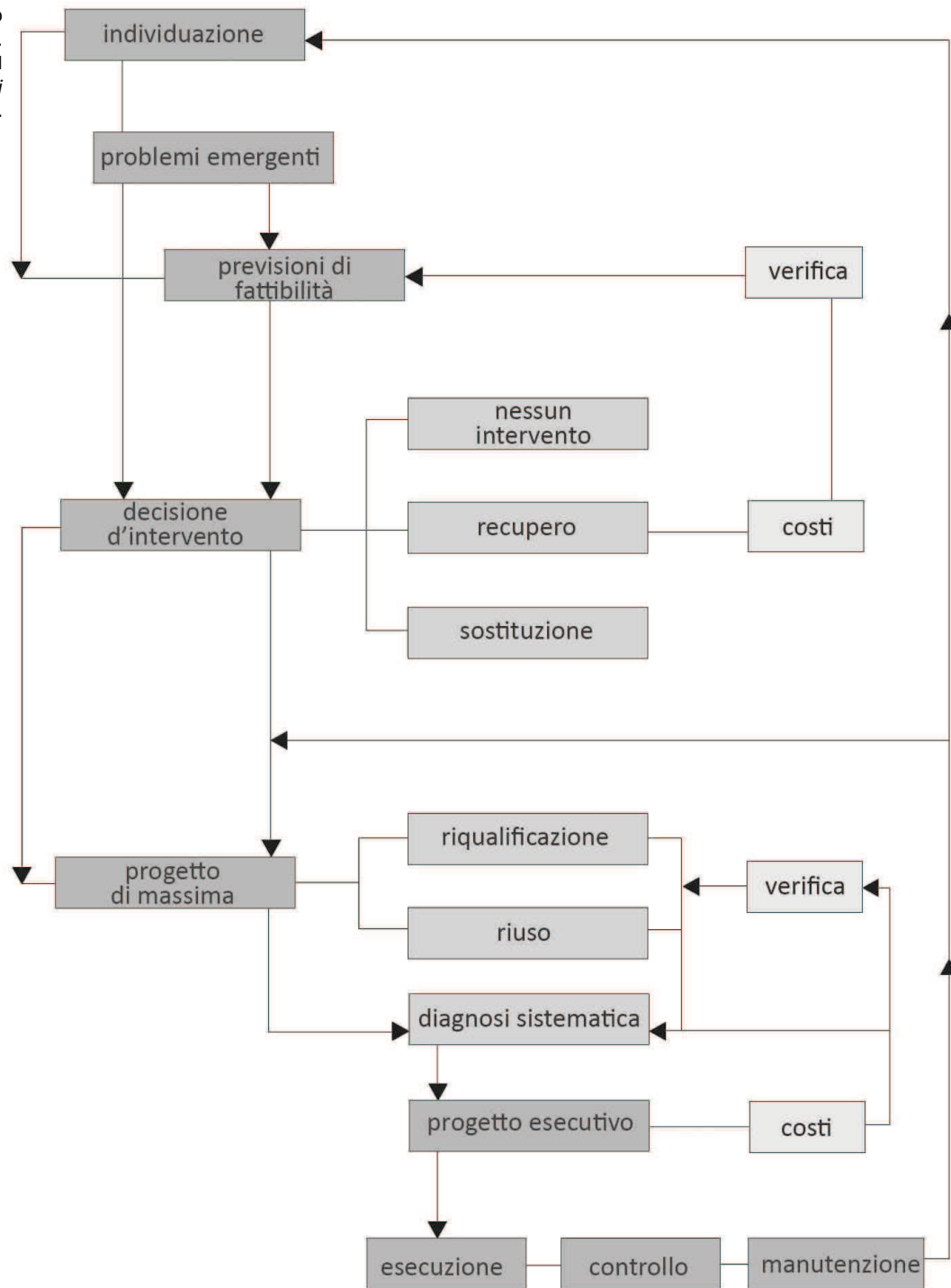
²³ MONOSI S., MORICONI G., PAURI M.G., CERULLI T., *Diagnosi del degrado delle opere in calcestruzzo*, in BISCONTIN G., MIETTO D. (a cura di), 1993, pp. 193-202.

²⁴ *Ibidem*.

²⁵ Per quanto riguarda i tre casi presentati nelle schede successive, le indagini diagnostiche sono state compiute: dal Dott. Geol. Gian Carlo Grillini (iscrizione all'Albo dei Geologi della Regione Emilia-Romagna n. 300), geologo specialista in Geomateriali, per gli edifici Villa Sarti a Lucca e il Grand Hotel Milano a Brunate (CO); dal Dott. Giovanni Quarta e dal collaboratore Dott. Davide Melica, presso i laboratori dell'Istituto per i Beni Archeologici e Monumentali di Lecce (Ibam - CNR), per quanto attiene i campioni prelevati dal Villino Pennazzi di Borgo Panigale (BO).

sionale è riportata nello schema in basso; essa mette in evidenza le problematiche da affrontare durante le fasi che precedono l'apertura del cantiere.

Fig. 4 - Relazioni possibili tra processo diagnostico e processo decisionale. Immagine tratta da: DI BATTISTA V., *Criteria di diagnosi*, in: CATERINA G. (a cura di), 1989, p. 136.



Per quanto riguarda l'identificazione delle principali fasi mineralogiche del legante, dell'aggregato e di eventuali additivi, è possibile procedere attraverso diversi tipi di analisi²⁶: la diffrazione a raggi X, le analisi termiche, la microscopia ottica su sezione sottile, la spettroscopia secondo la trasformata di Fourier e la microscopia elettronica SEM-EDS.

Nello specifico:

La *diffrazione a raggi X* è molto efficace dal punto di vista qualitativo per identificare i prodotti cristallini; essa fornisce tuttavia solo indicazioni approssimative dal punto di vista quantitativo. È comunque una tecnica fondamentale per l'identificazione dei prodotti del processo degradativo del materiale²⁷. Il campione "tal quale" (legante, aggregato e additivi) deve essere frantumato in mortaio d'agata, successivamente l'aggregato viene separato dal legante manualmente oppure tramite ultrasuoni, per poi passare alla setacciatura. La frazione fine ottenuta è considerata la frazione ricca in legante, mentre il trattenuto sarà la frazione ricca in aggregato. Le due frazioni devono essere infine macinate finemente. Dal momento che la diffrazione identifica solo fasi cristalline (come i grani anidri), sulla frazione legante non sarà possibile identificare fasi amorfe, come i C-S-H prodotti durante l'indurimento di una malta idraulica²⁸.

Tra le *analisi termiche* si possono distinguere tre tecniche: la *termogravimetria* (TG), l'*analisi termica differenziale* (Differential Thermal Analysis, DTA) e la *calorimetria differenziale a scansione* (Differential Scanning Calorimetry, DSC)²⁹.

La termogravimetria misura la perdita di peso in un campione durante il suo riscaldamento.

La DTA misura la differenza di temperatura tra il campione ed un inerte di tipo standard che viene riscaldato nello stesso tempo e modo.

La DSC misura l'energia necessaria per mantenere il campione ed il materiale di riferimento alla stessa temperatura³⁰.

Le analisi termiche danno informazioni sulle trasformazioni fisiche di un campione durante il riscaldamento in condizioni controllate, e possono identificare sia le fasi cristalline che quelle amorfe, come i C-S-H. L'identificazione di fasi minerali però può essere difficoltosa a causa di temperature di decomposizione simili tra loro (per esempio l'acqua persa dai C-S-H e l'argilla; la portlandite e la magnesite a 520°C)³¹. La difficoltà di determinazione di un risultato certo, se non svolto correttamente e da tecnici esperti, e l'alto costo di questo tipo di indagini, non rendono questi esami tra i più adeguati per questa ricerca.

La *microscopia ottica* viene eseguita su campioni in sezione sottile od in sezione lucida.

Per preparare le sezioni sottili³² è necessario ridurre lo spessore del campione per ottenere una superficie liscia e compatta. Il campione viene incapsulato in appositi cilindri in polietilene ed impregnato sotto vuoto con una resina epossidica. Quando la resina è indurita il campione può essere tagliato o lucidato con gli appositi dischi al carburo di silicio per rimuovere la resina al di sopra della superficie del campione.

²⁶ MIDDENDORF B., HUGHES J. J., CALLEBAUT K., BARONIO G., PAPAYIANNI I., in "Materials and Structure", n. 38, 2005, pp. 761-769.

²⁷ MONOSI S., MORICONI G., PAURI M.G., CERULLI T., *Diagnosi del degrado delle opere in calcestruzzo*, in BISCONTIN G., MIETTO D. (a cura di), 1993, pp. 193-202.

²⁸ Tratto dalla Relazione redatta dal Dott. Gian Carlo Grillini dal titolo: "Analisi mineralogico-petrografiche e granulometriche degli intonaci e delle modanature in malta cementizia del Grand Hotel Milano a Brunate - Como".

²⁹ MONOSI S., MORICONI G., PAURI M.G., CERULLI T., *Diagnosi del degrado delle opere in calcestruzzo*, in BISCONTIN G., MIETTO D. (a cura di), 1993, pp. 193-202.

³⁰ MIDDENDORF B., HUGHES J. J., CALLEBAUT K., BARONIO G., PAPAYIANNI I., in "Materials and Structure", n. 38, 2005, pp. 761-769.

³¹ MONOSI S., MORICONI G., PAURI M.G., CERULLI T., *Diagnosi del degrado delle opere in calcestruzzo*, in BISCONTIN G., MIETTO D. (a cura di), 1993, pp. 193-202.

³² La definizione dell'analisi in sezione sottile è tratta dalla Relazione redatta dal Dott. Gian Carlo Grillini dal titolo: "Analisi mineralogico-petrografiche e granulometriche degli intonaci e delle modanature in malta cementizia di Villa Sarti a Lucca".

Si continua l'assottigliamento con dischi sempre più fini per ottenere una superficie quasi impalpabile. L'assottigliamento è l'operazione più importante dal momento che influenza la qualità dell'immagine osservata al microscopio³³.

Usando il microscopio ottico è possibile studiare la composizione dell'impasto visibile attraverso la sezione.

La *spettroscopia* è un metodo di analisi legato all'interazione tra la radiazione all'infrarosso applicata e le molecole del composto. Quando la radiazione infrarossa incidente raggiunge la lunghezza d'onda critica, le vibrazioni tipiche di legame vengono eccitate ed un detector registra la riduzione di intensità dovuta all'assorbimento di lunghezza d'onda dai legami atomici, e questo può essere legato agli specifici tipi di legame atomico caratteristici di un particolare gruppo funzionale³⁴. L'analisi FT-IR (spettroscopia infrarossa in trasformata di Fourier) può identificare le principali fasi minerali di un legante ed additivi organici eventualmente aggiunti³⁵. Tuttavia non permette di avere dei risultati certi e dunque deve essere utilizzata sempre in accoppiata con altre tecniche di indagine come la diffrattometria o la microscopia. Ciò la rende meno compatibile con gli obiettivi dell'indagine da svolgere.

Il *microscopio elettronico a scansione* (SEM) è principalmente usato nello studio di opere pittoriche e si basa sull'uso di un fascio di elettroni, permettendo di osservare la superficie del campione ad elevati ingrandimenti e fornendo immagini tridimensionali molto realistiche. Le informazioni ricavabili sono di tipo morfologico-qualitativo, relative alla superficie esterna del campione³⁶. Associando una microsonda elettronica (EDS) e usando i raggi X emessi dalla superficie del campione, preparato in sezione lucida, colpita dagli elettroni, si possono eseguire analisi chimiche semi quantitative del campione, ottenendo informazioni dettagliate sulla natura chimica delle sostanze che lo compongono. In questo modo, sulle sezioni lucide si può eseguire la determinazione quantitativa dei grani anidri, inoltre si può studiare la distribuzione della dimensione dei grani e l'interfaccia matrice-aggregato³⁷. Tuttavia, l'uso di strumentazione più sofisticata come la microsonda elettronica e un microscopio a scansione, comporta costi più alti se paragonati a quelli relativi all'uso di un più comune microscopio ottico e di una diffrattometria a raggi X, pur avendo dei risultati approssimativamente comparabili.

Alla luce delle comparazioni tra i diversi metodi, si può dedurre che tutte le tecniche consentono una precisa caratterizzazione composizionale e strutturale degli impasti.

Le determinazioni analitiche di tipo mineralogico-petrografiche e granulometriche, eseguite al microscopio stereoscopico sul campione "tal quale" in seguito alla "disaggregazione" in acqua deionizzata e agli ultrasuoni, combinate con l'analisi diffrattometrica ai Raggi X, permettono una caratterizzazione scientifica sufficientemente esaustiva della malte cementizie e degli intonaci³⁸.

Confrontando le tecniche e la reperibilità delle sofisticate strumentazioni adoperate (non tutti i laboratori di analisi sono dotati degli strumenti necessari per compiere le indagini citate) e dei costi che il loro impiego comporta, la scelta delle tecniche di analisi è ricaduta su: la microscopia ottica su sezione sottile e la diffrazione ai raggi X su polveri.

Il primo tipo di indagine ha permesso di definire la caratterizzazione della struttura

³³ CAMPBELL D. H., 1999, pp. 81-82.

³⁴ CESTELLI GUIDI M., *Tecniche di diagnostica per i beni culturali: applicazioni della spettroscopia infrarossa allo studio delle sezioni stratigrafiche di un'opera d'arte*, in "INFN - Incontri di Fisica 2013", 2013, http://www.lnf.infn.it/edu/incontri/2013/presentazioni/gdl/gruppo_P.pdf.

³⁵ *Ibidem*.

³⁶ FRANZONI E., SANDROLINI F., *La caratterizzazione di malte e intonaci antichi ai fini del restauro architettonico*, in AA.VV., 2008, pp. 357-360.

³⁷ MIDDENDORF B., HUGHES J. J., CALLEBAUT K., BARONIO G., PAPAYIANNI I., in "Materials and Structure", n. 38, 2005, pp. 761-769.

³⁸ Tratto dalla Relazione redatta dal Dott. Gian Carlo Grillini dal titolo: "Analisi mineralogico-petrografiche e granulometriche degli intonaci e delle modanature in malta cementizia del Grand Hotel Milano a Brunate - Como", elaborato redatto in seguito alle analisi di laboratorio compiute per la ricerca.

e determinazione della natura dei componenti minerali, attraverso l'ingrandimento di un'immagine ottica in luce polarizzata trasmessa. Il campione in questo caso è stato preparato in sezione sottile con un'area di pochi cmq e spessore di circa 30 μm ³⁹.

La diffrattometria a raggi X, invece, ha permesso di determinare la natura dei componenti minerali (cristallini) nel materiale lapideo eseguendo il calcolo dei parametri caratteristici delle strutture cristalline, attraverso la diffrazione di raggi emessi da un anodo metallico colpito da un fascio di elettroni e provocata dai cristalli dei minerali colpiti⁴⁰. Per questo tipo di analisi i campioni sono stati finemente macinati. Tali tecniche permettono in breve tempo e costi contenuti di conoscere in modo opportuno l'impasto presente in cantiere e possono dunque, essere consigliati durante le fasi di conoscenza del fabbricato ad imprese e tecnici che operano nel capo del restauro.

3.2.3.2 GLI IMPASTI: TEORIA DEI BREVETTI E REALTÀ DI CANTIERE

L'ultimo livello di approfondimento affrontato durante le valutazioni dei casi studio, riguarda gli impasti presenti in alcuni degli edifici studiati. Per tali considerazioni si è reso necessario partire da una base di dati scientifici. Per questa ragione sono state eseguite le analisi di laboratorio descritte nel paragrafo precedente e precisamente⁴¹:

- esame al microscopio stereoscopico, per un'analisi qualitativa dell'aggregato e del legante, l'identificazione di componenti accessori ed il grado di cementazione;
- analisi microchimica per attacco acido, per caratterizzare qualitativamente il tipo di legante presente;
- analisi mineralogica per Diffrattometria ai raggi X su frammenti macinati del campione "tal quale";
- isolamento dell'aggregato per disaggregazione in acqua deionizzata ed agli ultrasuoni, per un'analisi granulometrica e mineralogica al microscopio stereoscopico e successiva setacciatura;
- analisi granulometrica mediante setacciatura del campione, precedentemente disaggregato, con opportuno numero di vagli posti su vibratore meccanico.
- analisi mineralogico-petrografica in sezione sottile al microscopio polarizzatore per lo studio delle caratteristiche composizionali, strutturali e tessiturali della materia. Sono stati così ottenuti dati certi in merito alla composizione chimica, mineralogico-petrografica e granulometrica di ciascun impasto.

Questa scelta ha comportato la necessità di lavorare su campioni prelevati dagli edifici identificati come casi studio. Per ragioni pratiche⁴² non è stato possibile effettuare campionamenti su tutti gli edifici. Per tale motivo, fra i complessivi sessantatre casi studio, si è proceduto con l'analisi di laboratorio di soli diciassette casi, quelli da cui è stato possibile prelevare un campione di materiale da analizzare.

La quantità di casi presi in esame è comunque pari a circa il 27% del totale. Tale valore, seppur contenuto, risulta adatto a raccogliere una congrua quantità di dati, utili per ricavare delle considerazioni critiche sugli impasti.

Per effettuare delle attente valutazioni sugli impasti riscontrati nei casi studio, il primo passaggio affrontato è stato di riconoscere gli impasti descritti nella documentazione storica⁴³ e provare a classificarli. In questo modo sono stati identificati gli

³⁹ Tratto dalla Relazione redatta dal Dott. Gian Carlo Grillini dal titolo: "Analisi mineralogico-petrografiche e granulometriche degli intonaci e delle modanature in malta cementizia di Villa Sarti a Lucca".

⁴⁰ *Ibidem*.

⁴¹ Le analisi elencate sono tratte dalla Relazione redatta dal Dott. Gian Carlo Grillini dal titolo: "Analisi mineralogico-petrografiche e granulometriche degli intonaci e delle modanature in malta cementizia del Grand Hotel Milano a Brunate - Como".

⁴² Non in tutti i casi è stato ricevuto il consenso ad effettuare il campionamento.

⁴³ Si veda il capitolo 2 dal titolo "Impasti cementizi nel primo Novecento".

elementi principali che caratterizzano ciascun impasto. Tale classificazione è risultata utile in un secondo momento, quando si è reso necessario il riconoscimento degli impasti dei casi studio (leggibili secondo elementi componenti grazie alle analisi di laboratorio) all'interno della classificazione delle ricette storiche.

Anche la normativa attuale classifica i cementi comuni adoperati nelle miscele di cemento Portland. Nell'ambito della Comunità europea la produzione dei cementi è basata sui requisiti compositivi, prestazionali e produttivi stabiliti dalla norma EN 197-1, recepita a livello nazionale dalla norma UNI EN 197-1. In accordo con questa normativa, i cementi possono essere prodotti utilizzando i seguenti costituenti principali:

- clinker di cemento Portland;
- gesso;
- pozzolane naturali e naturali calcinate;
- ceneri volanti di tipo silicico e calcico;
- loppe granulate d'altoforno;
- microsilici o fumo di silice;
- calcari;
- scisti calcinati.

A seconda dei costituenti impiegati e della relativa percentuale di utilizzo, i cementi comuni sono costituiti da cinque tipi principali suddivisi da I a V⁴⁴.

I "*cementi di tipo I*" sono i cementi Portland puri costituiti da una percentuale di clinker di cemento Portland almeno pari al 95%.

I "*cementi di tipo II*" vengono denominati cementi Portland compositi oppure Portland di miscela, in quanto il costituente presente in maggior percentuale (fino al 65%) è rappresentato dal clinker di cemento Portland in combinazione con una o più aggiunte minerali.

In base al tipo di aggiunta presente nell'impasto, tali cementi si possono classificare in:

- cemento Portland alla loppa;
- cemento Portland ai fumi di silice;
- cemento Portland alla pozzolana;
- cemento Portland alle ceneri volanti;
- cemento Portland allo scisto calcinato;
- cemento Portland al calcare;
- cemento Portland composito.

I "*cementi d'altoforno*" (*tipo III*) sono costituiti esclusivamente da clinker di cemento Portland e loppa granulata d'altoforno aggiunta in percentuali superiori al 35% (limite che differenzia questi cementi da quelli Portland alla loppa) e sono previsti in tre sottotipi, ognuno individuato dalla lettera A, B o C (subito dopo il numero romano) che individua la percentuale con cui la loppa è presente nel cemento compresa, rispettivamente, negli intervalli 36-65%, 66-80% o 81-95%.

Il "*cemento pozzolanico*" (*tipo IV*) è ottenuto per miscela del clinker di cemento Portland con microsilice, pozzolane naturali e calcinate e ceneri volanti.

Sono previsti due sottotipi che si differenziano per la percentuale di impiego delle aggiunte pozzolaniche, variabili negli intervalli 11-35% e 36-55%⁴⁵, individuate, rispettivamente, dalle lettere A o B (dopo il numero romano IV).

Il "*cemento composito*" (*tipo V*), da non confondere con quello Portland composito

⁴⁴ Le descrizioni che seguono, relative alla classificazione normativa dei cementi comuni, sono estratte da: COPPOLA L., SERVIZIO TECNOLOGICO DI BETONROSSI S.p.A. (a cura di), *I cementi comuni e la norma UNI-EN 197-1*, in "BBC Betonrossi Basic Concrete", 2010, <http://www.betonrossi.it/cont/brochures/dettaglio/1010/0402/546all1.pdf>.

⁴⁵ Relativamente al cemento tipo IV/B, si nota che la percentuale massima di impiego delle aggiunte a comportamento pozzolanico sia fissata al 55%. Oltre questo limite il quantitativo di calce proveniente dall'idratazione del clinker non sarebbe sufficiente a garantire la reazione pozzolanica, con il risultato che parte del materiale pozzolanico rimarrebbe nell'impasto in forma di materiale inerte incapace, quindi, di contribuire alle prestazioni meccaniche del calcestruzzo.

(tipo II/A-M o II/B-M), è costituito da una miscela di clinker di cemento Portland, loppa d'altoforno, e pozzolane (naturali o naturali calcinate) e/o cenere volante silicica. Sono previsti due sottotipi in cui la percentuale della loppa, da una parte, e quella delle pozzolane e della cenere, dall'altra, deve essere inclusa nell'intervallo 18-30% (tipo V/A) oppure 31-50% (tipo V/B).

Così come la normativa classifica le miscele in base al tipo di cemento presente all'interno dell'impasto, anche le valutazioni condotte nello studio, partono da una suddivisione degli impasti descritti nei brevetti a seconda del tipo di legante adoperato.

I principali e maggiormente rilevanti sono: cemento bianco, di scoria, di allumite, di magnesia e Portland; quest'ultimo è stato riscontrato con maggiore frequenza rispetto a tutti gli altri. Inoltre nel corso degli anni ha subito un maggior numero di sperimentazioni, producendo una grande varietà di impasti: si riscontrano, infatti, numerosi impasti di cemento Portland a lenta e rapida presa ed impasti con Portland addizionato con materiali a comportamento pozzolanico.

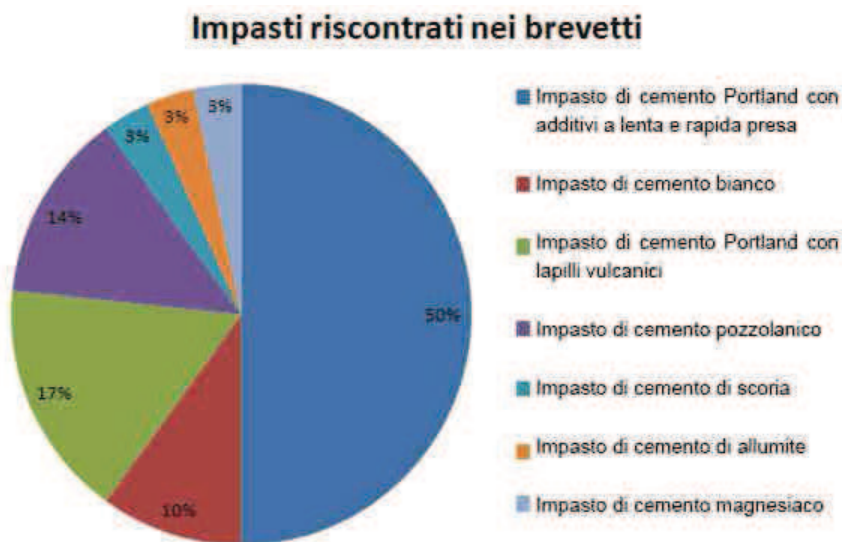


Grafico 62 - Impasti riscontrati nei brevetti (DATI CASI STUDIO)

Data la netta dominanza degli impasti che prevedono l'uso del cemento Portland, si è deciso di verificare in maniera più approfondita la composizione di questo nutrito gruppo di miscele brevettate, scomponendole nei costituenti principali, e giungendo a definire quattro macro categorie che ne permettono un raggruppamento secondo elementi comuni e ricorrenti.

Nello specifico le categorie si riferiscono all'accostamento di: cemento Portland con calce e altri componenti variabili; di Portland con materiali classificabili come silicati; di Portland e materiali a comportamento pozzolanico⁴⁶ e infine altri tipi di impasti non raggruppabili nelle precedenti categorie a causa della loro varietà.

Tale eterogeneità comprende un'alta percentuale di impasti e dimostra come il livello di sperimentazione nel ventennio studiato sia notevole, tanto da condurre al deposito di brevetti relativi ad impasti tra i più vari e articolati.

⁴⁶ Da non confondere con le malte pozzolaniche, tipiche dell'area laziale e campana che, senza l'aggiunta di additivi, sono già un ottimo legante idraulico.

Tab. 3 - Impasti contenenti cemento Portland.

COMPOSTO	CATEGORIA	QUANTITÀ
cemento + calce	cemento Portland + calce + altro	6
cemento + calce + gesso		
cemento + calce + argilla		
cemento + calce + pozzolana		
cemento + calce + carbone		
cemento + calce + magnesite + silicato + farina fossile		
cemento + silicati con maggiori quantità di potassa	cemento Portland + silicati	4
cemento + calce + silice insolubile + ghiaie e sabbie silicee		
agglomerante calcareo + silice		
cemento + materiali siliciferi ed alluminiferi		
klinker + pozzolana	cemento Portland + materiali a comportamento pozzolanico	4
cemento + lapilli vulcanici		
cemento + ceneracci di carbone + acqua		
cemento + lapilli o scorie laviche + pozzolana o lapillo vagliato + acqua		
cemento + argilla + sabbia e ghiaia	altri impasti	4
cemento + sabbia di Bianchetto + sabbia d'Ischia		
cemento + sabbia (1 sabbia e 2/3 lapillo) + pomice		
bèton Coignet + farina fossile + magnesite + silicato di potassa		

Come è possibile notare dalla tabella in alto, molti impasti contengono sostanze non appartenenti al mondo dell'edilizia⁴⁷, materiali poi non più rintracciati in altri brevetti legati agli impasti cementizi, segnale che il prodotto ottenuto non si è rivelato evidentemente adatto allo specifico impiego.

Ciò è possibile dimostrarlo anche leggendo le miscele riportate negli altri brevetti, non strettamente legati all'uso del cemento Portland, ma semplicemente alla composizione di impasti cementizi.

Tab. 4 - Miscele presenti in altri brevetti.

IMPASTO CEMENTIZIO	BREVETTO
segatura di legno + magnesite + solfato di calcio	Brevetto n. 67904 del 1903
calce spenta + allumite + acqua	Brevetto n. 74533 del 1904
argilla + schiume di defecazione della depurazione dei sughi zuccherini	Brevetto n. 85047 del 1906
calcare dolomitico + solfato solubile	Brevetto n. 93307 del 1908
calce idraulica + solfato di calce + allumina + cenere	Brevetto n. 110236 del 1910

La suddivisione in macro-categorie degli impasti riscontrati nella documentazione storica si è resa necessaria per poter inquadrare gli impasti rintracciati nei campioni

⁴⁷ Rif. a brevetto n. 146913/1915 (realizzazione dell'impasto attraverso l'impiego di farina fossile).

dei casi studio analizzati.

Non è stato infatti, possibile, associare univocamente alcun impasto degli edifici studiati ad uno specifico brevetto depositato in passato. Tuttavia è possibile riscontrare delle similitudini tra gli elementi componenti, risultato delle analisi di laboratorio, e gli elementi citati nei brevetti. Questo avviene perché nella pratica di cantiere dei primi anni del XX secolo, difficilmente nei documenti di cantiere si fa riferimento a formulazioni teorizzate e pubblicate nei brevetti; ciò che risulta è, invece, il fare propri gli elementi sperimentati nei brevetti mescolandoli con le pratiche di cantiere.

Inoltre, dalle analisi compiute non è possibile ricavare l'esatta distinzione tra componenti del legante e componenti delle aggiunte. In sostanza è possibile rintracciare alcuni elementi chimici che ci permettono di individuare la presenza di cemento Portland (la presenza di C_3S - alite - nella frazione ricca in legante può considerarsi un indicatore del fatto che il legante impiegato sia un cemento Portland)⁴⁸, ma ciò non è altrettanto possibile quando si parla di impasti con altri tipi di leganti; basti pensare al cemento pozzolanico confrontato ad un impasto cementizio contenente aggiunte di natura pozzolanica. Si riscontrano, quindi, formulazioni simili ai brevetti eppure mai identiche, poiché la tradizione e le conoscenze degli operatori di cantiere hanno sempre avuto un ruolo determinante nella fase realizzativa.

Suddividendo gli impasti dei brevetti in macro categorie dettate dai componenti principali (impasto di calce e cemento, impasto con cemento e aggiunte silicatiche ed impasto di cemento e materiale a comportamento pozzolanico), è stato possibile associare gli impasti dei casi reali a tali ambiti.

Nella tabella in basso si riporta l'elenco dei casi studio in cui è stato possibile effettuare il campionamento e procedere con le analisi di laboratorio.

N.	REGIONE	CITTÀ	ANNO	EDIFICIO
1	E. Romagna	B. Panigale (BO)	1900	Villino Pennazzi
21	E. Romagna	Bologna	1905-10	Privata abitazione
22	E. Romagna	Bologna	1905-10	Privata abitazione
29	Toscana	Lucca	1907	Palazzina Franchini
31	Lombardia	Milano	1907	Casa Apostolo
34	Lombardia	Varese	1908-12	Hotel Campo dei Fiori
36	Toscana	Lucca	1910	Palazzo Bertolli
37	E. Romagna	Parma	1910	Casa Ambrosi
41	Lombardia	Brunate (CO)	1910-11	Grand Hotel Milano
43	Lombardia	Milano	1910-12	Privata abitazione
47	Lombardia	Milano	1911-14	Privata abitazione
50	Lombardia	Milano	1912	Privata abitazione
51	Lombardia	Milano	1912	Casa Donzelli
53	E. Romagna	Parma	1912	Villino Battioni
59	Veneto	Padova	1914	Privata abitazione
60	Toscana	Lucca	1915-16	Villa Sarti
63	Marche	San Benedetto del Tronto	1918	Villa Bozzoni

Tab. 5 - Nella tabella sono riportati gli edifici da cui è stato possibile prelevare campioni di materiale su cui eseguire le analisi di laboratorio.

⁴⁸ Affermazione tratta dalla Relazione redatta dal Dott. Giovanni Quarta dal titolo: "Studio mineralogico-petrografico di uno stucco cementizio proveniente da Palazzo Pennazzi - Borgo Panigale (BO)".

Grafico 63 - Impasti riscontrati nei casi studio (DATI CASI STUDIO)

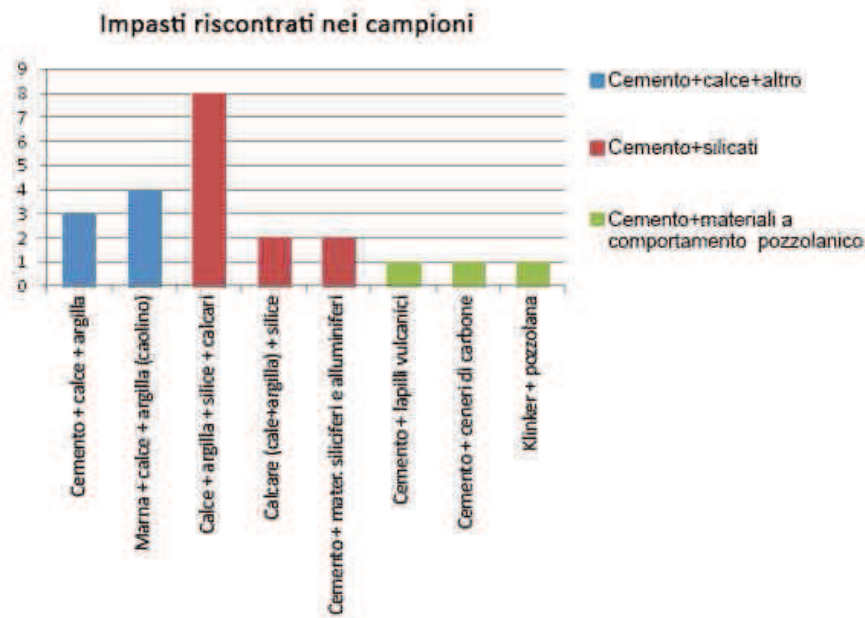
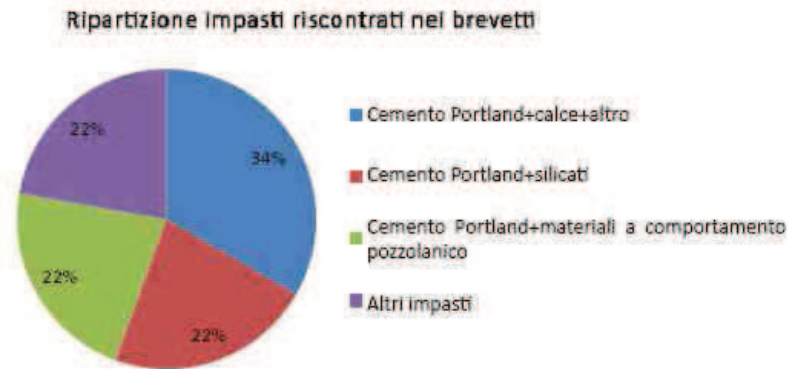


Grafico 64 - Impasti riscontrati nei brevetti e suddivisi per categorie.



3.2.3.3 CORRELAZIONI TRA DEGRADI E COMPOSIZIONE DEGLI IMPASTI

Dopo aver individuato i componenti che accomunano le miscele dei casi studio e gli impasti brevettati, è stato possibile avviare lo studio dei degradi presenti sui campioni. Questo passaggio permette di valutare l'esistenza di una possibile correlazione tra le manifestazioni del degrado rilevate e la composizione degli impasti, con il fine di determinare i componenti più deboli che agevolano l'invecchiamento del materiale, oppure quelli più resistenti che ne rallentano le trasformazioni.

Il primo passo compiuto ha riguardato lo studio dei singoli impasti, raggruppandoli secondo componenti principali e analizzando i degradi che si sono manifestati sui campioni appartenenti a tali categorie.

I raggruppamenti che sono stati rilevati sono:

- l'impasto i cui componenti principali sono cemento Portland, calce e argilla;
- l'impasto i cui componenti principali sono marna, calce e argilla (caolino);
- l'impasto i cui componenti principali sono calce, argilla e prodotti a comportamento pozzolanico;
- l'impasto i cui componenti principali sono calce, argilla e silice;
- l'impasto i cui componenti principali sono cemento Portland e materiali contenenti silice e allumina;
- l'impasto i cui componenti principali sono cemento Portland e argilla;

- l'impasto i cui componenti principali sono cemento Portland e lapilli vulcanici;
- l'impasto i cui componenti principali sono cemento Portland e ceneri di carbone;
- l'impasto i cui componenti principali sono klinker e pozzolana.

Occorre premettere che per questa valutazione sono stati raccolti i dati inerenti la totalità delle manifestazioni del degrado, tuttavia nei grafici sono stati presi in considerazione soltanto alcune patologie, quelle che maggiormente possono essere connesse con la tipologia di impasto. Non sono state riportate nei grafici quelle che, in maniera evidente, non sono dipendenti dalla composizione dell'impasto, come la *risarcitura incongrua*, il *graffito vandalico*, il *deposito superficiale* e la *colatura*. Dall'insieme dei risultati ottenuti, è possibile dedurre che il *biodeterioramento* è il degrado più diffuso e attacca indistintamente qualunque tipo di impasto: è presente in maggiori quantità laddove si ha l'assenza di cemento Portland, tuttavia anche se con minor frequenza, anche questo legante non è esente da tale manifestazione di degrado. A seguire i degradi più facilmente riscontrabili sono la *fessurazione* e il *distacco*, segnali indicatori del fatto che verosimilmente la coesione tra i componenti delle miscele non è sempre ottimale e, laddove i componenti sono più numerosi, anche i degradi aumentano; verosimilmente quando sono presenti più componenti di diversa natura, è più difficile creare un impasto omogeneo, e dunque ne risulta un prodotto molto più incline al degrado.

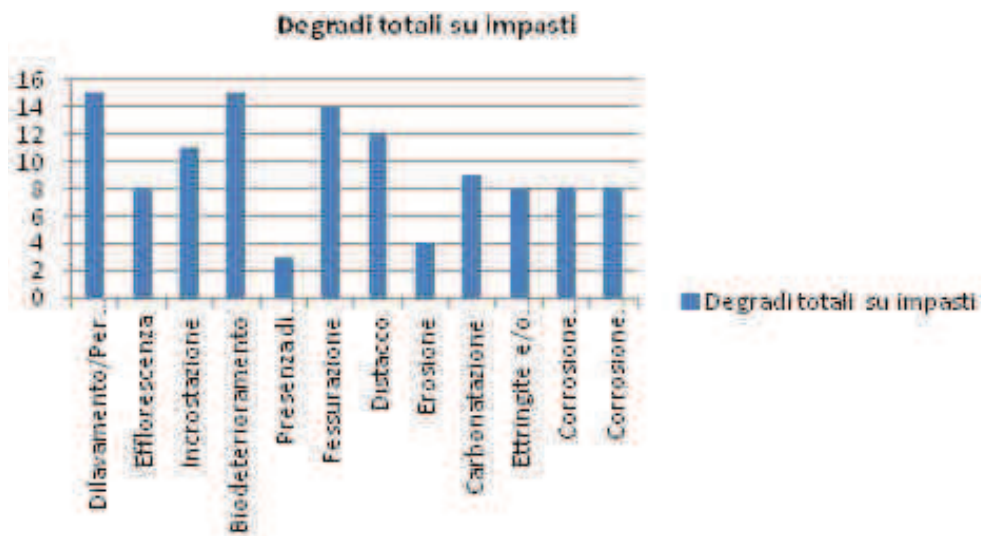


Grafico 65 - Degradi complessivi riscontrati nella totalità degli impasti (DATI CASI STUDIO)

Cemento Portland, calce, argilla

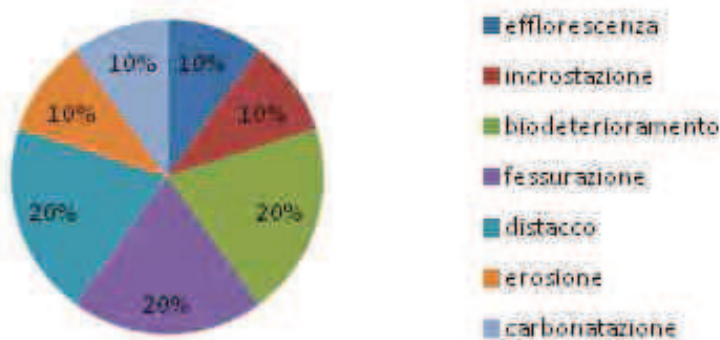


Grafico 66 - Degradi riscontrati nell'impasto di cemento Portland, calce e argilla (DATI CASI STUDIO)

Grafico 67 - Degradi riscontrati nell'impasto di marna, calce e argilla (caolino) (DATI CASI STUDIO)

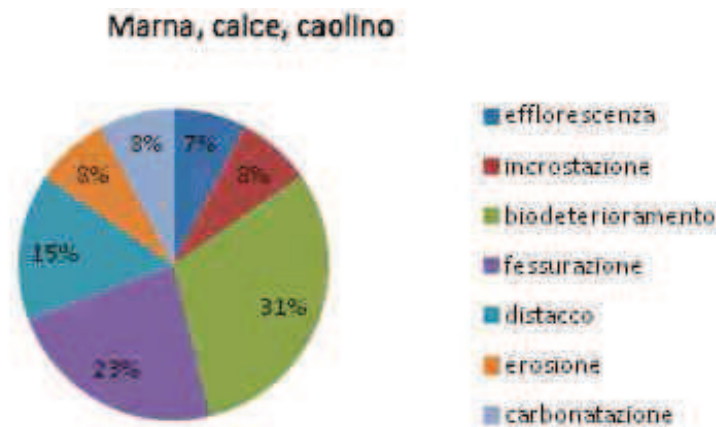


Grafico 68 - Degradi riscontrati nell'impasto di calce, argilla e silice (DATI CASI STUDIO)

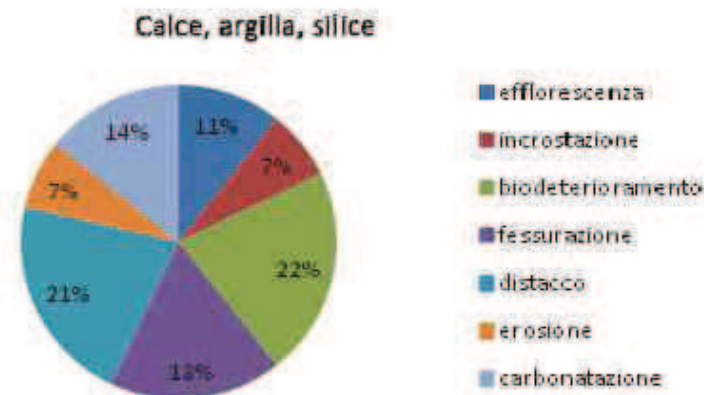
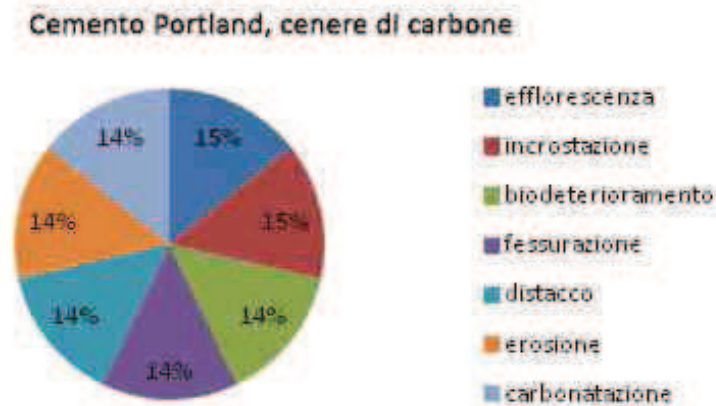


Grafico 69 - Degradi riscontrati nell'impasto di c. Portland e ceneri di carbone (DATI CASI STUDIO)



In merito alla relazione tra degradi ed eterogeneità dell'impasto, si può confrontare la quantità di degradi presenti su impasti formati perlopiù da cemento Portland e argilla con impasti contenenti oltre al legante Portland anche differenti componenti a carattere siliceo e alluminoso. Questo mette in luce l'ipotesi che l'uso di impasti più eterogenei comporta una maggiore frequenza della comparsa di degradi; aumentando il numero di componenti, aumenta anche la possibilità che essi leghino meno tra loro creando impasti più disomogenei; ma anche che le diverse sostanze interagiscano tra loro, innescando più facilmente processi di degrado.

Cemento Portland, silicati, alluminati

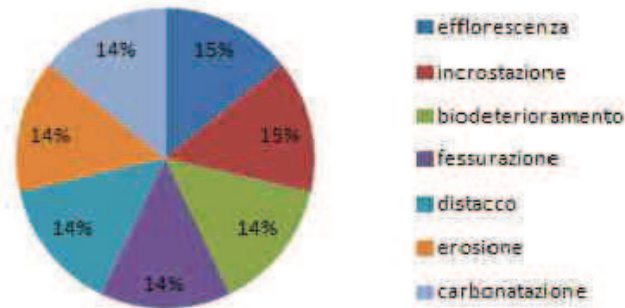


Grafico 70 - Degradi riscontrati nell'impasto di c. Portland, materiali con silice e allumina (DATI CASI STUDIO)

Cemento Portland, argilla

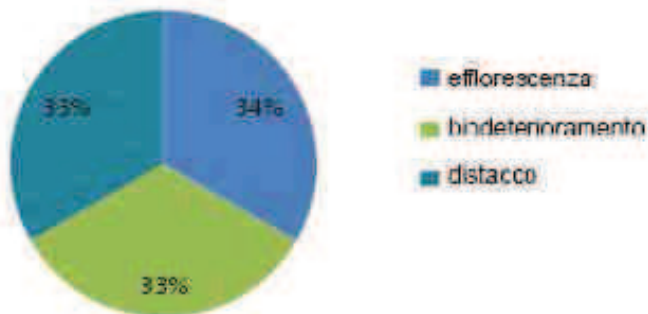


Grafico 71 - Degradi riscontrati nell'impasto di c. Portland e argilla (DATI CASI STUDIO)

I risultati ottenuti, e visibili nei grafici, mettono in evidenza che le miscele contenenti materiale a comportamento pozzolanico, che siano pozzolane o lapilli vulcanici, sono meno interessate da manifestazioni di degrado rispetto ad altri tipi di miscela. Ciò induce a supporre che tali componenti, anche se adoperati per miscele messe *in opera* in ambienti altamente inquinati (es. Milano), sono in grado di resistere agli attacchi dell'ambiente esterno, o perlomeno subiscono con maggiore lentezza l'azione del tempo.

Calce, argilla, materiali pozzolanici

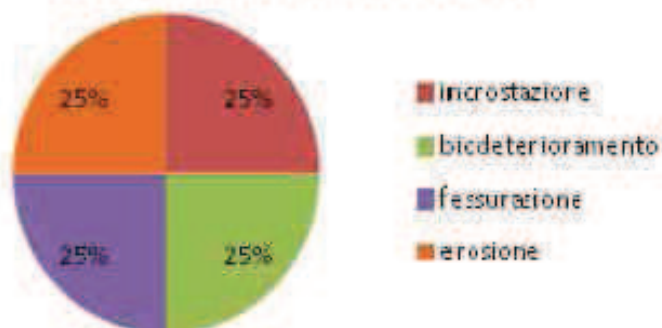


Grafico 72 - Degradi riscontrati nell'impasto di calce, argilla e prodotti a comportamento pozzolanico (compresi i prodotti vulcanici) (DATI CASI STUDIO)

Grafico 73 - Degradi riscontrati nell'impasto di c. Portland e lapilli vulcanici (DATI CASI STUDIO)

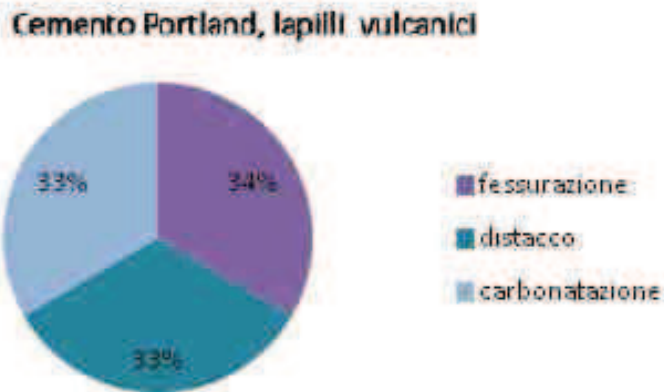
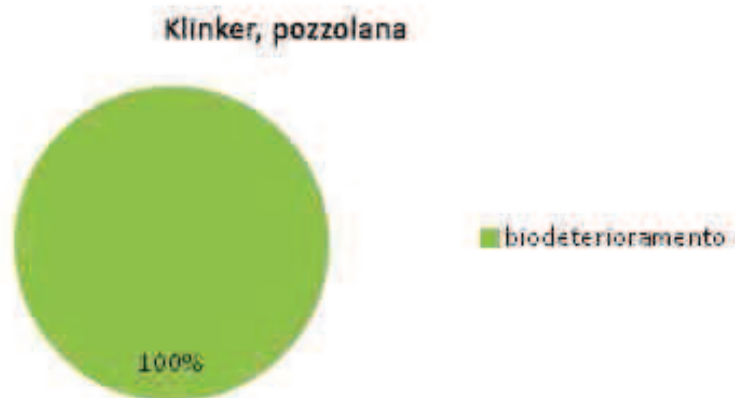


Grafico 74 - Degradi riscontrati nell'impasto di klinker e pozzolana (DATI CASI STUDIO)



Gli impasti dei casi studio sono stati successivamente raggruppati secondo le macrocategorie individuate tra gli impasti presentati nei brevetti. Sono stati dunque, studiati i degradi mettendoli in relazione a questa classificazione, che suddivide le miscele in:

- Impasto composto principalmente da cemento Portland e materiali silicatici;
- Impasto composto principalmente da cemento Portland e componenti argillose;
- Impasto composto principalmente da cemento Portland e materiali a comportamento pozzolanico.

Dai grafici si può notare una maggiore quantità di degradi negli impasti composti principalmente da cemento Portland e materiali silicatici o componenti argillose.

Il *biodeterioramento* è tra i degradi più diffusi anche se, negli impasti composti principalmente da cemento Portland e materiali a comportamento pozzolanico, il valore ad esso associato è notevolmente più basso. In questa categoria non sono presenti *risarciture incongrue*, indicatore del fatto che vi è meno necessità di riparare perdite di materiale; infatti la *fessurazione* ha un valore decisamente minore rispetto alle altre due categorie e il *distacco* è assente.

Problemi come *efflorescenza* ed *incrostazione* sono molto più frequenti nelle altre due categorie di impasti, mentre in quelli composti da materiali a comportamento pozzolanico sono molto ridotti se non addirittura assenti come nel caso dell'*efflorescenza*.

Il problema della matrice cementizia è dominante nel caso di impasti composti da cemento Portland e silicati. Ciò implica che l'aumento delle quantità di materiale siliceo non comporta necessariamente un miglioramento delle caratteristiche del composto che, piuttosto, manifesta più di altri impasti il problema dell'*erosione*

della matrice legante.

Infine, per quanto riguarda la *carbonatazione* e i degradi ad essa associati, i materiali con componenti a comportamento pozzolanico manifestano una maggiore resistenza, indicazione che esse sono meno inclini ad essere penetrati da sostanze esterne, in quanto più compatti e resistenti.

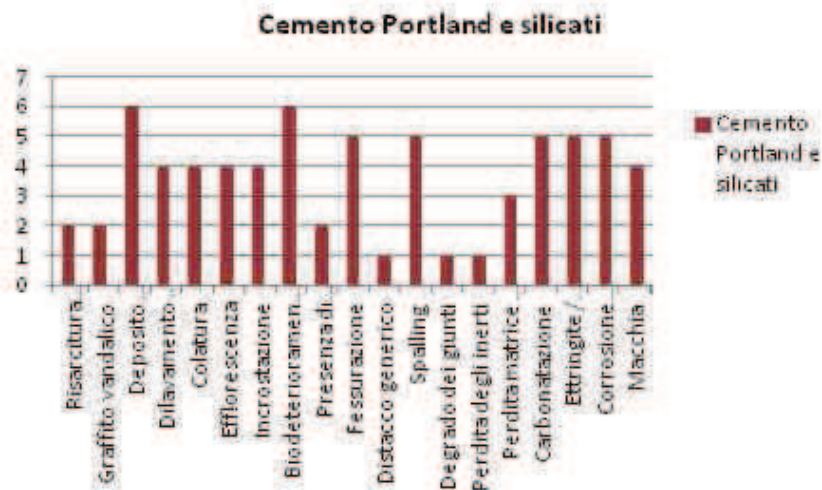


Grafico 75 - Degradi riscontrati negli impasti composti principalmente da cemento Portland e silicati (DATI CASI STUDIO)

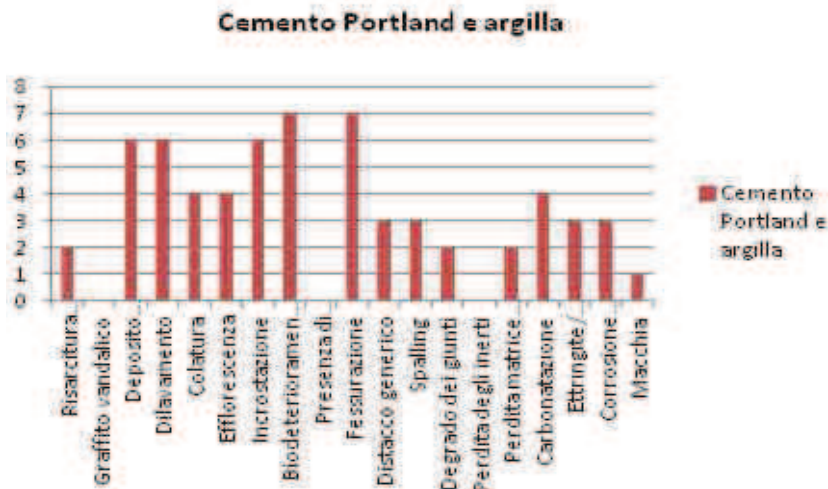


Grafico 76 - Degradi riscontrati negli impasti composti principalmente da cemento Portland e aggiunta di componenti argillose (argilla, caolino...) (DATI CASI STUDIO)

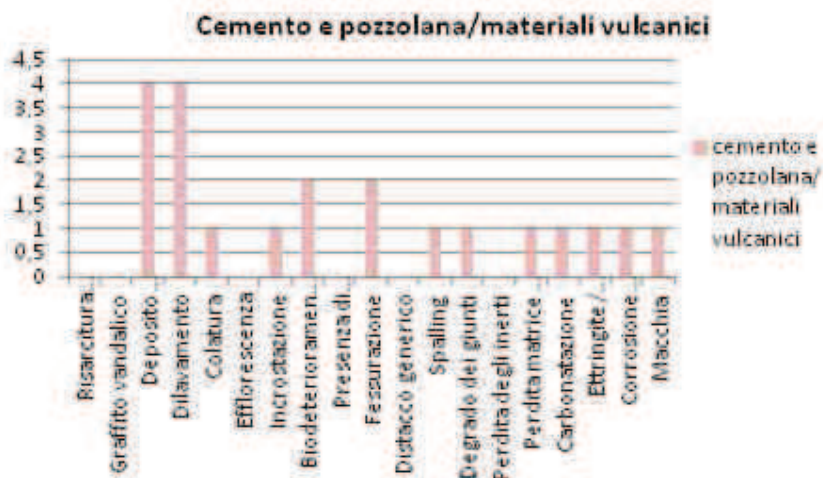
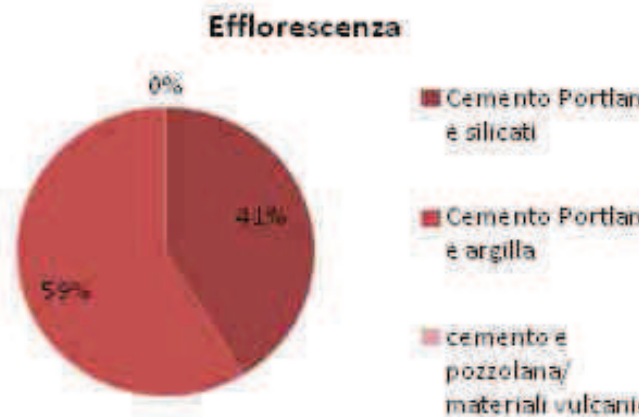
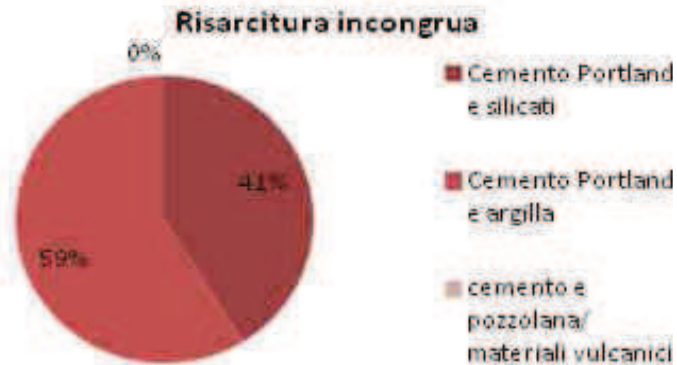


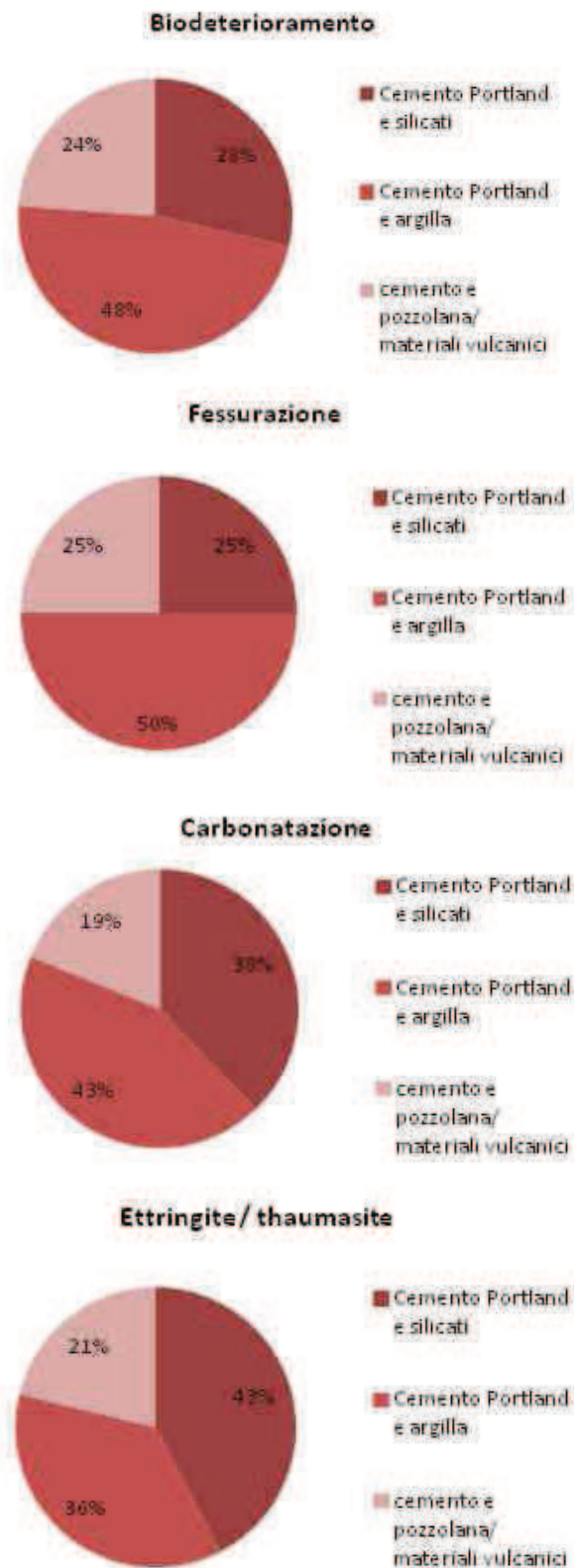
Grafico 77 - Degradi riscontrati negli impasti composti principalmente da cemento Portland e materiali pozzolanici o lapilli vulcanici (DATI CASI STUDIO)

Osservando nello specifico i singoli degradi e confrontandoli nell'insieme delle categorie di impasti, si può constatare con maggiore facilità la diversità di risposta delle tre miscele alle singole problematiche; abbiamo infatti casi in cui gli impasti a comportamento pozzolanico non presentano alcuna manifestazione di degrado.

Grafici 78-79-80 - In ciascun grafico rispettivamente: risarcitura incongrua, efflorescenza e distacco riscontrati nei diversi tipi di impasti (DATI IN CENTESIMI)



È possibile notare come i casi del *biodeterioramento* e della *fessurazione* siano problemi costanti per qualsiasi impasto, in modo particolare per quelli contenenti maggiori quantità di argilla. Le stesse considerazioni possono essere fatte per la *carbonatazione* e la presenza di *ettringite/thaumasite*, che risultano problematiche molto frequenti anche in impasti contenenti maggiori percentuali di materiale siliceo.



Grafici 81-82-83-84 - Rispettivamente: biodeterioramento, fessurazione, carbonatazione, ettringite/thaumasite riscontrati nei diversi tipi di impasti (DATI IN CENTESIMI)

Per quanto riguarda lo studio degli additivi, le analisi di laboratorio compiute sui campioni, hanno permesso di suddividere gli elementi componenti dell'impasto principalmente in matrice legante e aggregati. All'interno di quest'ultima categoria si è preferito includere tutti gli elementi "addizionati" all'impasto al fine di conferire

una serie di specifiche caratteristiche al prodotto finito. Inoltre nei campioni non sono state mai riscontrate sostanze o elementi differenti da pietre o polveri che non potessero essere riferite ad aggregati (per esempio, in nessun caso è stata riscontrata la presenza di paglia, elementi organici, sostanze fluidificanti o quanto altro possa essere associato ad elementi generalmente classificabili come additivi). La presenza di tracce di cocciopesto, materiali vulcanici o pozzolane è stata considerata come parte integrante degli aggregati addizionati al legante, in quanto attraverso le analisi di laboratorio non è possibile distinguere i frammenti lapidei presenti con funzione di aggregato da quelli con funzione di additivo. Per tali motivi si è deciso di non effettuare valutazioni critiche in merito alla presenza di additivi negli impasti studiati.

3.2.3.4 CORRELAZIONI TRA DEGRADI E LEGANTE DELL'IMPASTO

Tra le considerazioni effettuate in merito alle possibili connessioni esistenti tra degradi e miscele cementizie si è ritenuto opportuno valutare nello specifico il ruolo del legante, prima, e dell'aggregato, in seguito, per conoscere più a fondo il ruolo di ciascun componente della miscela, nel processo di trasformazione del materiale. I leganti rintracciati negli impasti studiati hanno perlopiù struttura *micritica*, cioè presentano una struttura con grana finissima, generalmente con cristalli di dimensione inferiore a 0,01 mm; l'aspetto risulta dunque molto compatto. A volte è possibile riscontrare anche tessiture *microspartite*, quando hanno struttura più grossolana, caratterizzata da granuli di diametro superiore a 0,01 mm, spesso più disomogenee della micritica. La diversità di struttura non vincola, tuttavia, la tenacità e la compattezza del materiale.

A questa prima analisi visiva delle caratteristiche del legante, ha fatto seguito l'analisi chimica, che ne ha permesso la caratterizzazione mineralogica, individuando le tipologie di minerali presenti all'interno della miscela. Per mezzo della diffrazione a raggi X, è stato possibile verificare che la maggior parte degli impasti contengono cemento, molto spesso identificato attraverso la presenza di specifici minerali come la tobermorite e la afwillite, silicati idrati di calcio e alluminio di nuova formazione, che si generano a seguito dell'idratazione del cemento. Più precisamente la presenza di grani anidri può permettere di distinguere il tipo di legante; infatti, i maggiori componenti di un clinker di cemento di tipo Portland sono: C_3S (alite, 50-70%), C_2S (belite, 15-30%), C_3A (alluminato tricalcico, 5-10%), C_4AF (brownmillerite, 5-15%). La presenza di alite nella frazione ricca in legante, può essere considerato un indicatore del fatto che il legante utilizzato sia un cemento Portland.

Nella figura seguente è riportato un esempio di diffattogramma di cemento Portland.

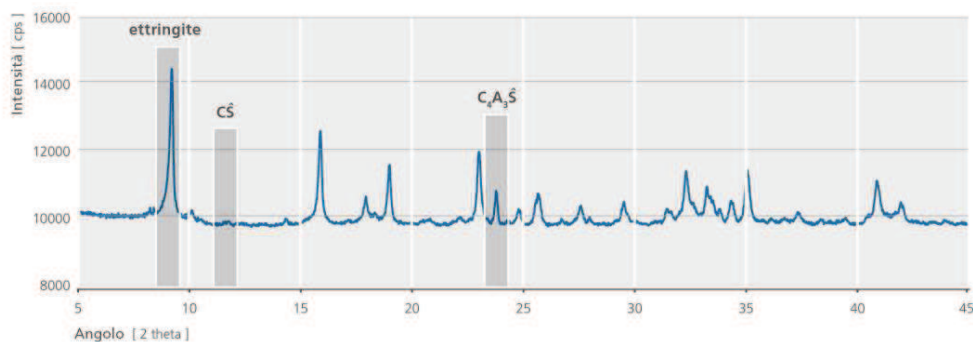


Fig. 4 - Diffattogramma di una pasta di cemento. L'analisi diffrattometrica a raggi X è una tecnica strumentale che consente di determinare la composizione mineralogica di un materiale cristallino; l'ascissa indica l'angolo di diffrazione, mentre l'ordinata è correlabile all'intensità di diffrazione di una specifica fase mineralogica. Ciascun picco del grafico rappresenta una di queste fasi; in un comune cemento Portland le fasi mineralogiche più frequenti possono essere di calcite, quarzo, portlandite o silicato di calcio. L'immagine è tratta da: Buzzi Unicem, *Manuale di utilizzo del legante idraulico a base di clinker solfoalluminato*, <http://www.buzziunicem.it/online/download.p?idDocument=2323&instance=1>.

L'analisi diffrattometrica ha permesso di individuare anche la presenza di calce nell'impasto; la presenza sia di calce che di cemento conferisce alla malta una buona robustezza e impermeabilità (data dal cemento), oltre che una buona lavorabili-

tà, adesione al supporto e moderato ritiro (qualità conferite dalla calce).
 Generalmente, in preparazione all'analisi diffrattometrica, il campione deve essere frantumato grossolanamente senza distruggere i granuli di aggregato; quest'ultimo viene successivamente separato dal legante manualmente, attraverso l'uso del microscopio ottico oppure tramite setacciatura. La frazione fine ottenuta passata al setaccio (con vuoto di maglia da 63 μm) è considerata la frazione ricca di legante, mentre il trattenuto sarà la frazione ricca in aggregato. In questo modo è possibile distinguere la calcite impiegata come aggregato (generalmente contenuta nei calcarì), da quella inserita come legante.

Alla luce di questa informazione, ottenuta grazie alle analisi di laboratorio, gli impasti sono stati suddivisi secondo la composizione del legante che appare con maggior frequenza nelle analisi:

- impasto con legante a prevalenza di cemento Portland;
- impasto con legante a prevalenza di cemento e calce.

Prima di fare delle considerazioni in merito alla relazione tra degradi e tipo di legante presente nell'impasto, occorre precisare che i casi in cui è stato riscontrato Portland sono molto più frequenti rispetto ai casi in cui è stato usato cemento (marna e argilla) non identificabile, mescolato a discrete quantità di calce.

I grafici sottostanti attestano che le quantità di degradi presenti nel primo gruppo sono quantitativamente confrontabili con quelle del secondo gruppo; questo vuol dire che nonostante i casi in cui si riscontra soltanto cemento Portland siano più numerosi, la quantità di degradi associati all'impasto di cemento e calce è molto rilevante, indicatore del fatto che tale miscela risulta più debole di quella che prevede il solo uso del Portland.

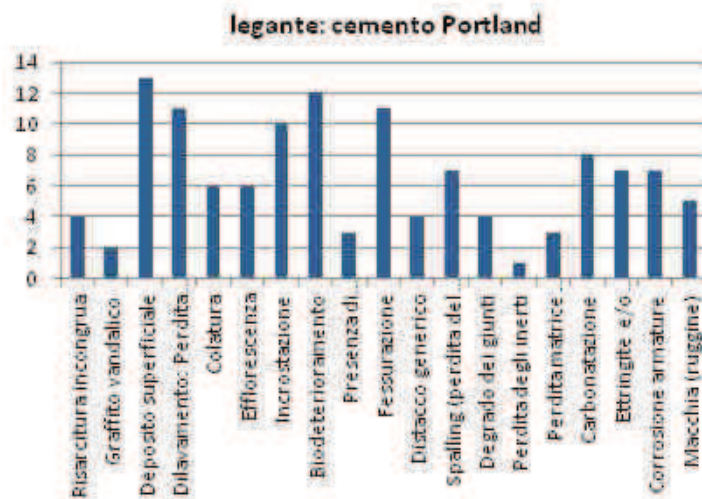


Grafico 85 - Degradi presenti su impasti con legante cemento Portland (DATI CASI STUDIO)

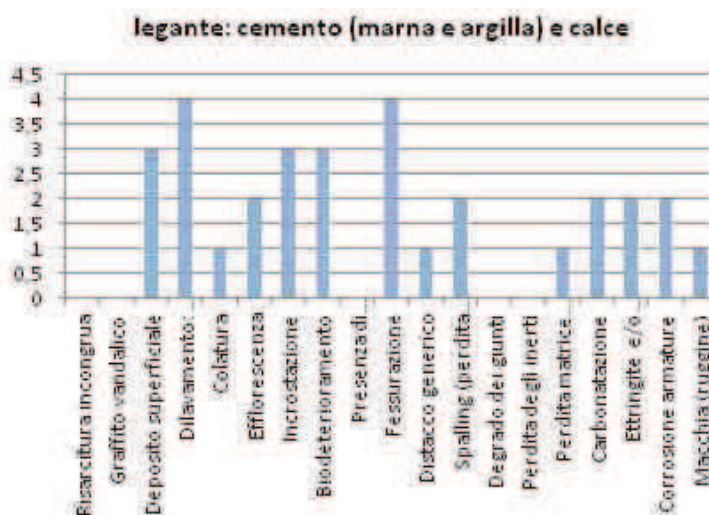
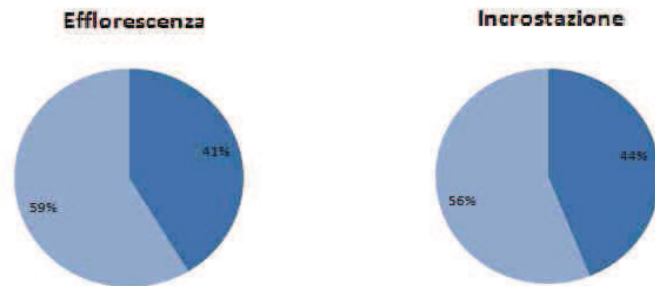


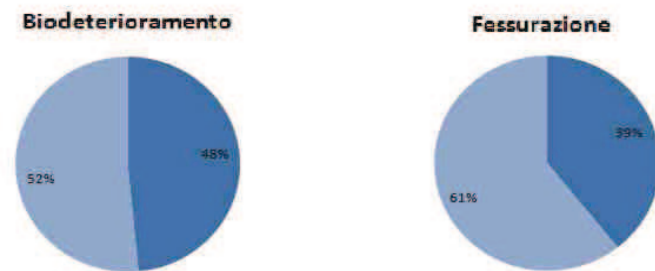
Grafico 86 - Degradi presenti su impasti con legante cemento (marna e argilla) e calce (DATI CASI STUDIO)

Analizzando nello specifico i singoli degradi, e dunque riportando le quantità in centesimi per far sì che i dati percentuali siano comparabili tra loro, è possibile notare come ciascun degrado sia presente in quantità nettamente superiori nei casi in cui il cemento è mescolato alla calce. Ciò porta a considerare la parte di calce presente nell'impasto come un elemento di debolezza dell'impasto stesso. Probabilmente nei casi in cui si impiega il cemento Portland come unica matrice legante è possibile riscontrare una maggiore compattezza della miscela, che difficilmente tende a fessurarsi o distaccarsi, mostrando una matrice più resistente e difficilmente attaccabile dall'ambiente esterno. Anche nei casi della *carbonatazione ed ettringite/thaumasite*, seppur con percentuali meno evidenti (52 e 48% per *carbonatazione* e 55 e 45% per *ettringite/thaumasite*), l'impasto con solo cemento Portland risulta essere più resistente. I dati riscontrati da questa analisi, inducono ad avanzare delle ipotesi in merito alla presenza o meno della calce nel legante: la maggiore facilità di formazione dei degradi in impasti realizzati con legante misto di calce e cemento, è probabilmente dovuta al fatto che la calce viene aggredita più facilmente, rispetto al cemento, dall'anidride carbonica presente nell'aria. Subisce, infatti, un processo di trasformazione che la porta a dissolversi, lasciando una maggiore quantità di vuoti (*perdita della matrice cementizia*) che, a loro volta, agevolano l'ingresso di sostanze nocive all'interno dell'impasto.

Grafici 87-88 - Efflorescenza ed incrostazione riscontrati nei diversi tipi di impasti (DATI IN CENTESIMI)



Grafici 89-90 - Biodeterioramento e fessurazione riscontrati nei diversi tipi di impasti (DATI IN CENTESIMI)



Grafici 91-92 - Distacco e carbonatazione riscontrati nei diversi tipi di impasti (DATI IN CENTESIMI)

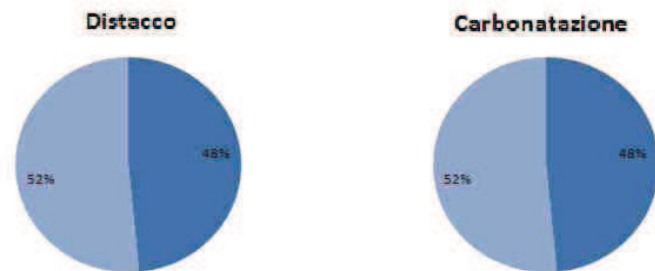
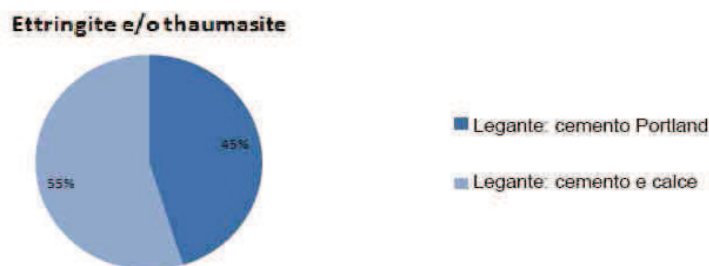


Grafico 93 - Ettringite/Thaumasite riscontrata nei diversi tipi di impasti (DATI IN CENTESIMI)



3.2.3.5 CORRELAZIONI TRA DEGRADI E COMPOSIZIONE DEGLI AGGREGATI

Gli aggregati in prevalenza individuati nei campioni presi in esame, possono essere suddivisi in tre categorie:

- aggregati a prevalenza silicatica;
- aggregati a comportamento pozzolanico;
- aggregati a prevalenza carbonatica.

Nello specifico, gli aggregati presenti nei campioni sono composti prevalentemente da sabbie silicee caratterizzate dalla presenza di quarzo e feldspati; ma tali aggregati comprendono spesso anche una notevole quantità di calcite. Ciò è dovuto alla composizione mista delle sabbie fluviali prelevate da gran parte dei corsi d'acqua del Nord Italia. Negli aggregati a prevalenza carbonatica (presenza di aggregati provenienti perlopiù da calcari erosi), è stata riscontrata una maggiore prevalenza di calcite rispetto alla quantità di sabbie silicee e dunque alla presenza di quarzo e feldspati. Nello specifico, si riscontra tra gli aggregati una preponderante componente carbonatica soltanto nei casi studio numero 51 e 38.

Negli impasti a comportamento pozzolanico, non sono state riscontrate malte pozzolaniche (presenti prevalentemente in area campana e laziale e dunque difficilmente riscontrabili negli impasti adoperati in altre aree geografiche), bensì malte addizionate con elementi a comportamento pozzolanico, e nella fattispecie materiali vulcanici. Tale tipo di impasto si riscontra solo in pochi casi; nello specifico unicamente nei casi studio numero 48, 30, 37 e 63, dove risulta l'esistenza di materiali a comportamento pozzolanico; la collocazione geografica di tali edifici, in prevalenza distribuiti in Toscana e nelle Marche, induce a pensare che la vicinanza alle zone dell'Italia centrale, dove si prediligono i materiali pozzolanici, influisca non poco sulla scelta delle caratteristiche dell'impasto da impiegare.

Nei grafici riportati in basso sono messi in evidenza i degradi associati alle tre diverse categorie di aggregato sopra esposte. La categoria inerente gli aggregati a prevalenza silicatica è stata ulteriormente suddivisa in:

- aggregati composti prevalentemente da quarzo, feldspati, mica;
- aggregati composti in prevalenza da quarzo e calcite.

La divisione è stata riportata soltanto per coerenza con i materiali risultati dalle analisi, ma di fatto, entrambe le categorie fanno riferimento alla classe di aggregati a prevalenza silicatica.

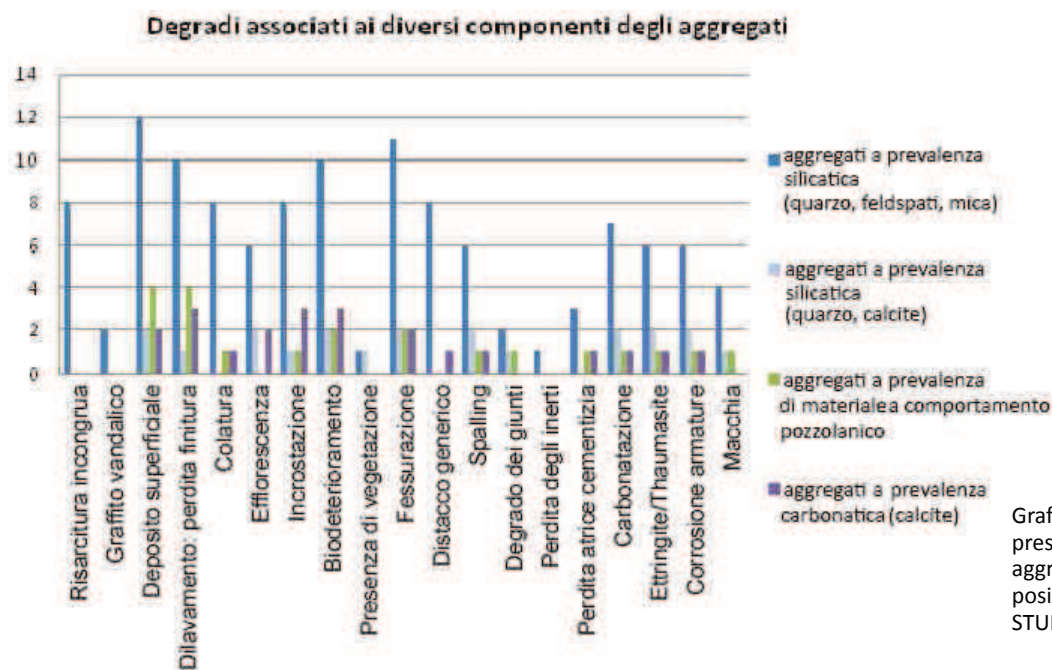
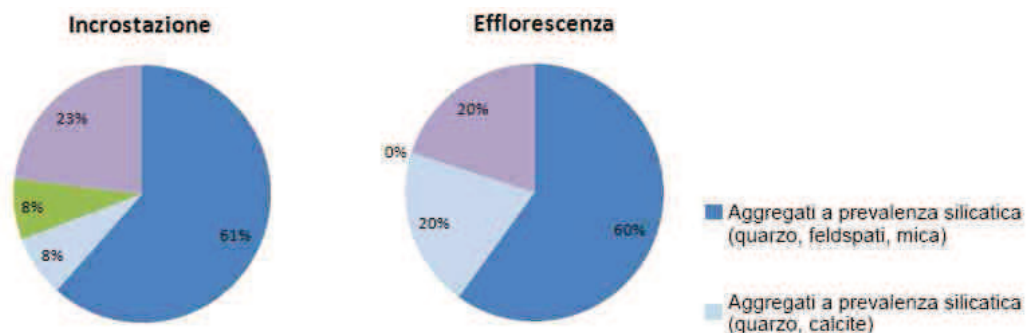


Grafico 94 - Degradi presenti su impasti con aggregati di diversa composizione (DATI CASI STUDIO)

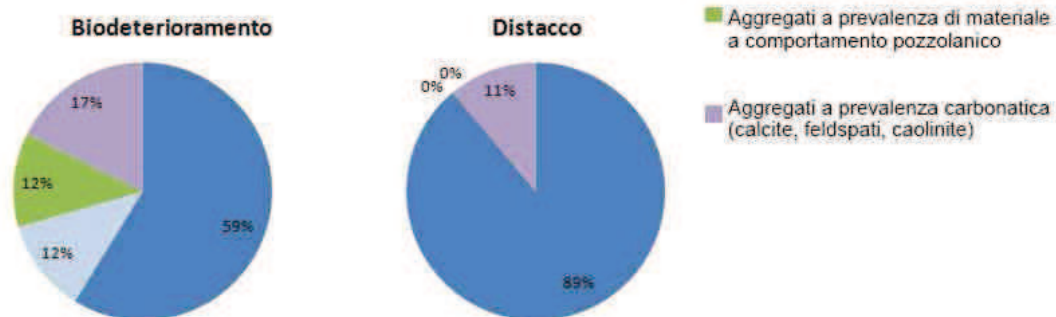
Per quanto concerne i degradi rapportati a ciascuna classe di aggregato, si può notare come la categoria di impasti caratterizzati dalla presenza di aggregati a prevalenza di materiale a comportamento pozzolanico risenta meno delle manifestazioni di degrado. Compiono con percentuali molto basse, soltanto, manifestazioni come incrostazione e biodeterioramento, diffuse nella quasi totalità degli impasti studiati. Gli impasti che denotano i più gravi problemi di degrado sono quelli caratterizzati dalla presenza di aggregati a prevalenza silicatica. Essi sono numericamente superiori alle altre tipologie, come dimostra il grafico riassuntivo che riporta i dati reali, ma anche a livello percentuale, nelle valutazioni dei singoli degradi, dimostrano di essere gli impasti più fragili, facilmente attaccabili da perdite di materiale ed efflorescenza.

Per quanto riguarda la categoria degli aggregati a prevalenza carbonatica, anch'essi non risultano tra i più resistenti, tuttavia negli impasti analizzati, non è una categoria molto diffusa, perchè la matrice prevalentemente carbonatica degli aggregati è più facilmente riscontrabile in altre aree geografiche.

Grafici 95-96 - Efflorescenza e incrostazione riscontrate negli impasti con diversi aggregati (DATI IN CENTESIMI)



Grafici 97-98 - Biodeterioramento e distacco riscontrati negli impasti con diversi aggregati (DATI IN CENTESIMI)



Per quanto attiene le classi modali riscontrate, occorre fare un breve cenno alla definizione di tale parametro di valutazione delle malte.

La *classe modale* rappresenta il diametro della particella più frequente nel campione analizzato. Attraverso lo studio di diagrammi relativi alle dimensioni dei diversi aggregati presenti nell'impasto è possibile disegnare delle curve di frequenza che consentono di definire la classe modale, ossia il diametro della particella più frequente: se la curva presenta un solo massimo la distribuzione si dice *unimodale*, se ne ha due si dice *bimodale*, infine, una distribuzione *polimodale* indica che il campione risulta dal mescolamento di più materiali a granulometria diversa.

Una granulometria unimodale generalmente è ben setacciata e molto fine, in quanto è impiegata soprattutto per intonaci e malte per elementi decorativi; la granulometria bimodale comprende elementi sia con diametro superiore al centimetro, che dell'ordine del millimetro ed è tendenzialmente impiegata per la realizzazione di conglomerati in quanto tale granulometria permette di coprire maggiormente gli eventuali vuoti residui dell'impasto e dunque garantire maggiore compattezza e resistenza al prodotto finale.

Nella fattispecie, nel caso dei conglomerati, è più frequente la presenza di granulometrie bimodali.

Un altro parametro di valutazione inerente gli aggregati presenti all'interno di un impasto cementizio è la *distribuzione*. Generalmente è possibile valutare tale parametro, osservando al microscopio ottico una sezione sottile del campione e valutando la distribuzione dell'aggregato all'interno del legante. Quando tale distribuzione appare complessivamente uniforme, gli aggregati sono ben mescolati al legante e dunque è possibile comprendere che hanno subito una buona lavorazione in fase di preparazione dell'impasto.

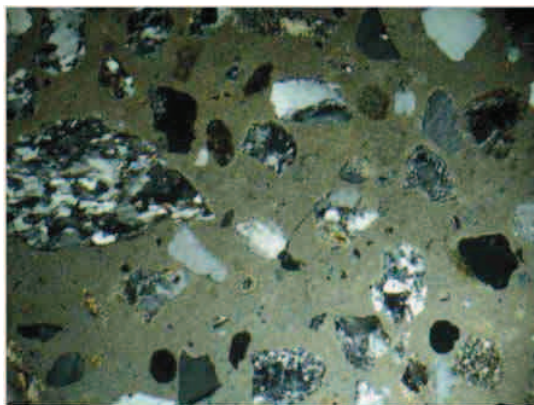


Fig. 6 - Esempio di distribuzione uniforme dell'aggregato nell'impasto. Immagine tratta da: FRATINI F., *La diagnostica mineralogico petrografia nello studio delle malte antiche*, http://www.igiic.org/UserFiles/File/Fabio%20Fratini_PPT.pdf.

Quando gli aggregati sono concentrati soltanto in alcune parti dell'impasto, risultano mal distribuiti, in quanto ci saranno altrettanti parti di impasto caratterizzate da una netta dominanza di legante privo di aggregati. Una distribuzione così disomogenea comporta inevitabilmente dei problemi di degrado legati alla *perdita degli inerti* o della stessa matrice cementizia, troppo deboli poichè non ben amalgamati tra loro a formare un impasto più resistente.

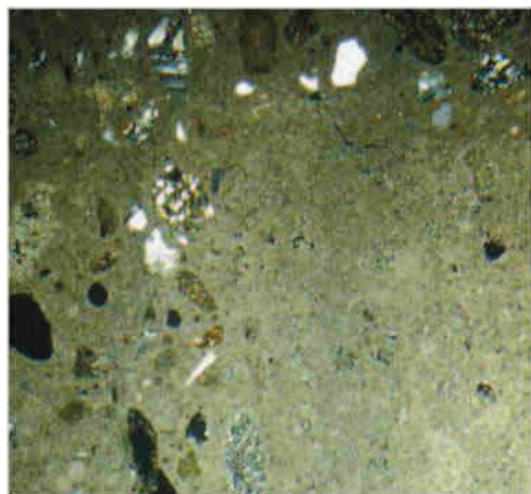


Fig. 7 - Distribuzione disomogenea dell'aggregato nell'impasto. Immagine tratta da: FRATINI F., *La diagnostica mineralogico petrografia nello studio delle malte antiche*, http://www.igiic.org/UserFiles/File/Fabio%20Fratini_PPT.pdf.

Nel caso dei campioni analizzati, gli aggregati risultano, in quasi tutti i casi, ben distribuiti, quasi certamente grazie ad un mescolamento accurato tra i componenti dell'impasto.

Soltanto in rari casi gli spigoli degli aggregati sono angolosi, mentre si riscontrano perlopiù aggregati con spigoli arrotondati e smussati che facilitano la coesione tra gli elementi dell'impasto.

In merito all'analisi degli aggregati, si è deciso di prendere in considerazione le differenze di granulometria adoperate e verificare l'eventuale esistenza di una correlazione tra distribuzione granulometrica degli aggregati e degradi.

Nello specifico si è preferito partire dalla classificazione ormai consolidata delle granulometrie, verificando in quali classi poter inserire i casi analizzati.

La classificazione granulometrica (scala di Udden-Wentworth), individuata come

punto di partenza per la definizione delle granulometrie presenti nei casi studio, è la seguente:

- granulometria conglomeratica (> 2 mm):
- arenacea (2 -1/16 mm)
- siltosa (< 1/16 mm)

nello specifico la granulometria conglomeratica può ulteriormente essere suddivisa in:

- granulometria microconglomeratica (2-5 mm)
- granulometria medio conglomeratica (5-10 mm)
- conglomeratica (> 10 mm)



Partendo da questa classificazione e dai risultati delle analisi di laboratorio, è stato possibile ripartire i campioni analizzati all'interno di tre delle cinque categorie sopra individuate:

- granulometria medio conglomeratica - con elementi fini, medi e grossi
- granulometria micro conglomeratica - con elementi di dimensioni variabili fini e grossi (si è deciso di associare a questa categoria gli impasti mal vagliati classificabili come granulometria bimodale)
- granulometria arenacea - con elementi medio -fini

Tab. 6 - Campioni analizzati suddivisi secondo la scala di Udden-Wentworth (DATI CASI STUDIO)

Le categorie conglomeratica e siltosa risultano assenti in quanto sono adoperate rispettivamente per conglomerati con funzione strutturale e intonaci.

N.	REGIONE	CITTA'	ANNO	EDIFICIO	Gran. medio conglomeratica	Gran. micro conglomeratica	Gran. arenacea
1	E.Romagna	B.Panigale(BO)	1900	Villino Pennazzi			1
21	E.Romagna	Bologna	1905-10	Privata abitazione	1		
22	E.Romagna	Bologna	1905-10	Privata abitazione	1		
29	Toscana	Lucca	1907	Palazzina Franchini			1
31	Lombardia	Milano	1907	Casa Apostolo		1	
34	Lombardia	Varese	1908-12	Hotel Campo dei Fiori	1		
36	Toscana	Lucca	1910	Palazzo Bertolli			1
37	E.Romagna	Parma	1910	Casa Ambrosi			1
41	Lombardia	Brunate (CO)	1910-11	Grand Hotel Milano	1		2
43	Lombardia	Milano	1910-12	Privata abitazione			1
47	Lombardia	Milano	1911-14	Privata abitazione		1	
50	Lombardia	Milano	1912	Privata abitazione	1		
51	Lombardia	Milano	1912	Casa Donzelli		1	
53	E. Romagna	Parma	1912	Villino Battioni			1
59	Veneto	Padova	1914	Privata abitazione	1		
60	Toscana	Lucca	1915-16	Villa Sarti	1		2
63	Marche	San Benedetto del Tronto	1918	Villa Bozzoni		1	

Tale suddivisione è stata effettuata inserendo ciascun campione all'interno della categoria che maggiormente si avvicina alla classe dimensionale riscontrata. In questo modo è stato possibile interpolare i dati relativi ai degradi di ciascun campione, con le differenti classi granulometriche. È bene premettere che la maggior parte (48%) delle granulometrie rilevate risultano appartenere alla classe arenacea (medio-fine); questo è probabilmente attribuibile al fatto che gli elementi presenti in facciata sono perlopiù elementi decorativi realizzati con aggregati molto fini, che ne permettano una più facile lavorazione e migliore resa estetica.

Granulometria degli aggregati

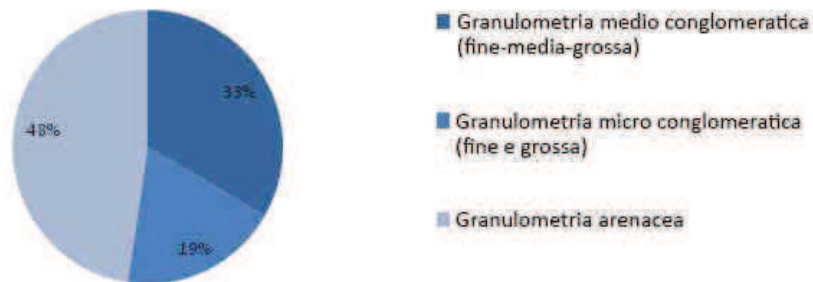


Grafico 99 - Classi granulometriche rilevate nei campioni (DATI CASI STUDIO)

Per quanto riguarda i dati generali relativi a tutti i degradi rilevati, si nota come la classe maggiormente caratterizzata dalla presenza dei degradi, sia quella degli impasti conglomeratici, rispetto agli impasti composti principalmente da aggregati a grana fine.

Degradi riscontrati in impasti con aggregati di diversa granulometria

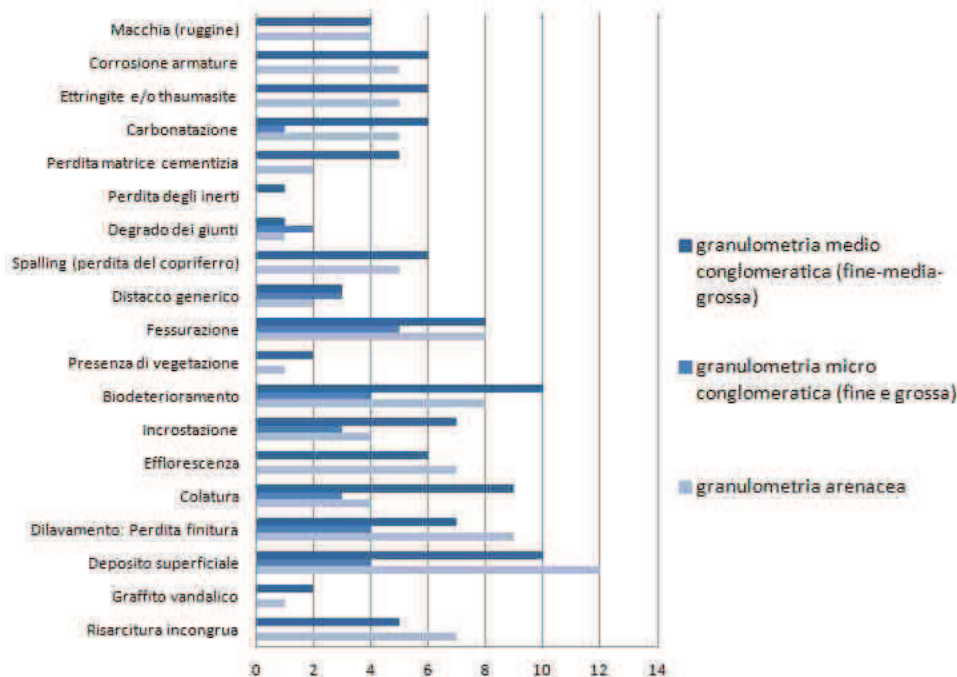


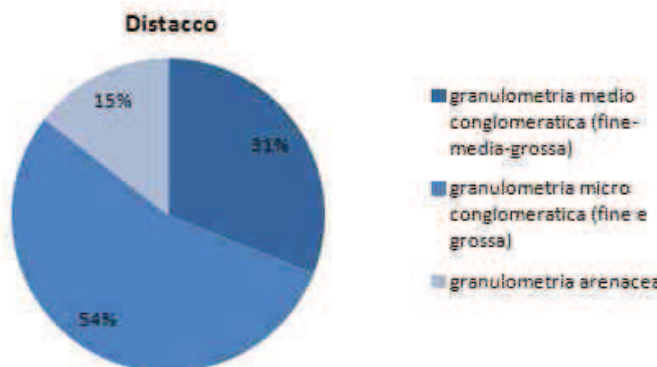
Grafico 100 - Degradi riscontrati suddivisi in base alle classi granulometriche dei campioni (DATI CASI STUDIO)

Per quanto attiene l'analisi dei singoli degradi, ciò che appare evidente è: La *fessurazione* è presente in tutte le categorie con percentuali confrontabili, tuttavia si presenta con maggior prevalenza nei casi della granulometria bimodale; la stessa situazione è riscontrabile nell'analisi della presenza di *distacchi*, presente anch'essa in prevalenza nei casi in cui la granulometria è bimodale. Probabilmente la scarsa attenzione ad una corretta vagliatura degli aggregati può comportare un maggiore rischio di *fessurazione*, prima, e successivamente di distacco di parte dell'elemento; questo è con molta probabilità, attribuibile alla mancanza di aggregato medio, che provoca una più alta presenza di vuoti tra gli altri aggregati.

Grafico 101 - Fessurazione riscontrata nei diversi tipi di impasti suddivisi in base alle granulometrie (DATI IN CENTESIMI)

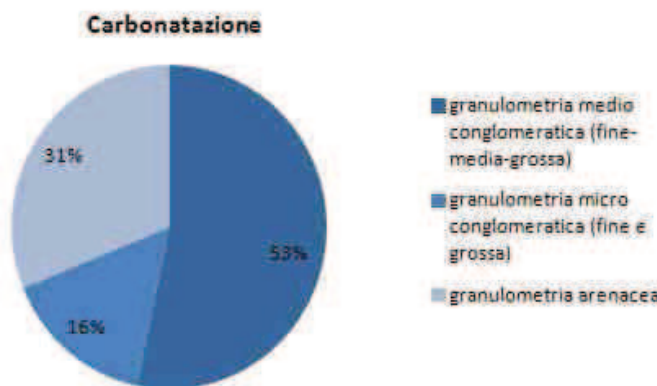


Grafico 102 - Distacco riscontrato nei diversi tipi di impasti suddivisi in base alle granulometrie (DATI IN CENTESIMI)



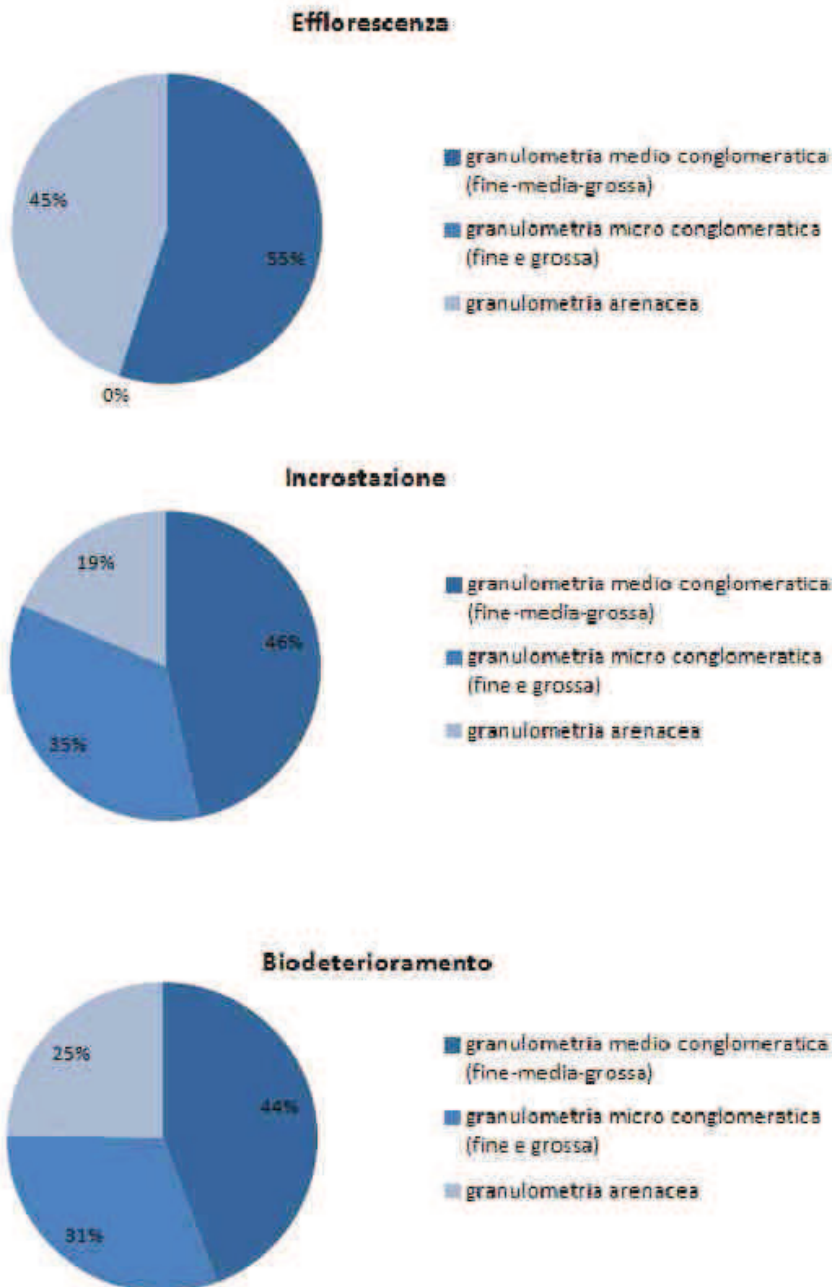
In merito alla presenza di *carbonatazione*, è rilevabile la presenza di tale degrado nel 53% dei casi che risultano caratterizzati da una granulometria medio conglomeratica. Questo è con molta probabilità associabile al fatto che gli impasti conglomeratici, composti dunque, da elementi fini, medi e grossi, sono spesso associati all'uso di elementi metallici con funzione di armatura. Gli impasti conglomeratici sono in genere riscontrabili in elementi architettonici con funzione non unicamente decorativa. Si pensi ad esempio al balcone, che oltre ad essere un elemento decorativo delle facciate, è innanzitutto una soletta delimitata da parapetti; esso assolve quindi anche a funzioni strutturali che necessitano di impasti in conglomerato cementizio armato.

Grafico 103 - Carbonatazione riscontrata nei diversi tipi di impasti suddivisi in base alle granulometrie (DATI IN CENTESIMI)



Per quanto riguarda le manifestazioni di degrado associate alle sostanze presenti sulla superficie degli elementi, sono stati valutati i degradi relativi ad *efflorescenza*, *incrostazione* e *biodeterioramento*. In tutti e tre i casi vi è una netta dominanza di tali manifestazioni su impasti con granulometria medio conglomeratica, mentre laddove compaiono aggregati a prevalenza fine l'accumulo di sostanze estranee (come nel caso dell'*incrostazione* e del *biodeterioramento*) è minore. Ciò può essere facilmente spiegato con il fatto che la presenza di aggregati di maggiori dimensioni

rende le superfici più scabrose e adatte ad accogliere il deposito di sostanze esterne e microorganismi; inoltre l'uso di aggregati grossi è spesso associato ad impasti che non subiscono specifiche lavorazioni superficiali e dunque mantengono una superficie più grezza, predisposta ad accogliere sostanze esterne.



Grafici 104-105-106 - Efflorescenza, incrostazione e biodeterioramento riscontrati nei diversi tipi di impasti suddivisi in base alle granulometrie (DATI IN CENTESIMI)

3.2.3.6 CORRELAZIONI TRA DEGRADI E RAPPORTO LEGANTE/AGGREGATO

Un importante parametro di valutazione della correlazione tra degradi e caratteristiche dell'impasto cementizio è il rapporto legante/aggregato. Generalmente tale parametro si ricava da un'analisi in sezione sottile del campione o attraverso una lucidatura dello stesso (campione levigato). In questo modo è possibile studiare attraverso microscopio ottico il rapporto tra le quantità di

legante e di aggregati dell'impasto. Per quanto riguarda i degradi messi in relazione al rapporto legante/aggregato, sono stati presi in considerazione sette campioni (riferiti agli edifici Villa Sarti, Grand Hotel Milano e Villino Pennazzi) su cui sono state compiute oltre alla diffrattometria a raggi X, anche delle sezioni sottili. Le immagini di queste analisi, esaminate al microscopio ottico, hanno permesso di desumere in maniera qualitativa i rapporti legante/aggregato presenti nei campioni. Si è potuto, dunque, verificare che laddove è riscontrabile la presenza di una maggiore quantità di legante (1:1) - malta grassa - si denota una più facile *perdita della matrice cementizia*, ma anche fenomeni di *fessurazione* e *distacco*; nel caso di un rapporto in cui vi è una maggiore presenza di aggregato (1:3,5) - malta magra -, si riscontra una migliore resistenza dell'impasto, segno che la struttura portante è effettivamente più efficace; tuttavia risulta meno efficace dinanzi agli attacchi da parte di sostanze esterne, come si può notare dai dati relativi a *efflorescenza*, *incrostazione* e *biodeterioramento*. In merito alla *carbonatazione* e ai dati dei degradi ad essa associati si legge una modesta prevalenza di degrado su impasti con maggiori quantità di legante; ciò probabilmente è legato al fatto che i componenti della matrice cementizia, sono il principale veicolo di aggressione da parte della *carbonatazione*, ed essendo prevalenti rispetto agli aggregati, i valori di *carbonatazione* risultano più alti.

Tab. 7 - Degradi classificati in base al rapporto legante/aggregato suddiviso in due categorie: rapporto compreso tra 1/1 e 1/2,5 e compreso tra 1/3 e 1/3,5. (DATI IN CENTESIMI)

CASO NUM.	1	41	41	41	60	60	60
CITTA'	Borgo Panigale (RO)	Brunate (CO)	Brunate (CO)	Brunate (CO)	Lucca	Lucca	Lucca
ANNO	1900	1910-11	1910-11	1910-11	1915-16	1915-16	1915-16
EDIFICIO	Villino Pennazzi	Grand Hotel Milano	Grand Hotel Milano	Grand Hotel Milano	Villa Sarti	Villa Sarti	Villa Sarti
campione	1 (modanatura parete)	1 (modanatura porta-finestra)	2 (balcone)	3 (modanatura finestra)	1 (mensola cornicione)	2 (balcone)	3 (modanatura basamento)
L/A: 1/1	1						
L/A: 1/2,5					1		
L/A: 1/3		1	1	1		1	
L/A: 1/3,5							1
Risarcitura incongrua	1	1	1				
Deposito superficiale	1	1	1	1	1	1	1
Dilavamento	1	1	1	1			
Efflorescenza	1		1			1	1
Incrostazione	1	1	1			1	
Biodeterioramento	1		1			1	1
Presenza di vegetazione	1						
Fessurazione	1	1	1	1	1	1	
Distacco generico	1		1	1	1		
Spalling			1		1	1	
Degrado dei giunti							
Perdita degli inerti			1			1	
Perdita matrice cementizia			1		1		
Carbonatazione			1		1	1	
Ettringite/Thaumasite			1		1	1	
Corrosione armature			1		1	1	
Macchia			1		1	1	

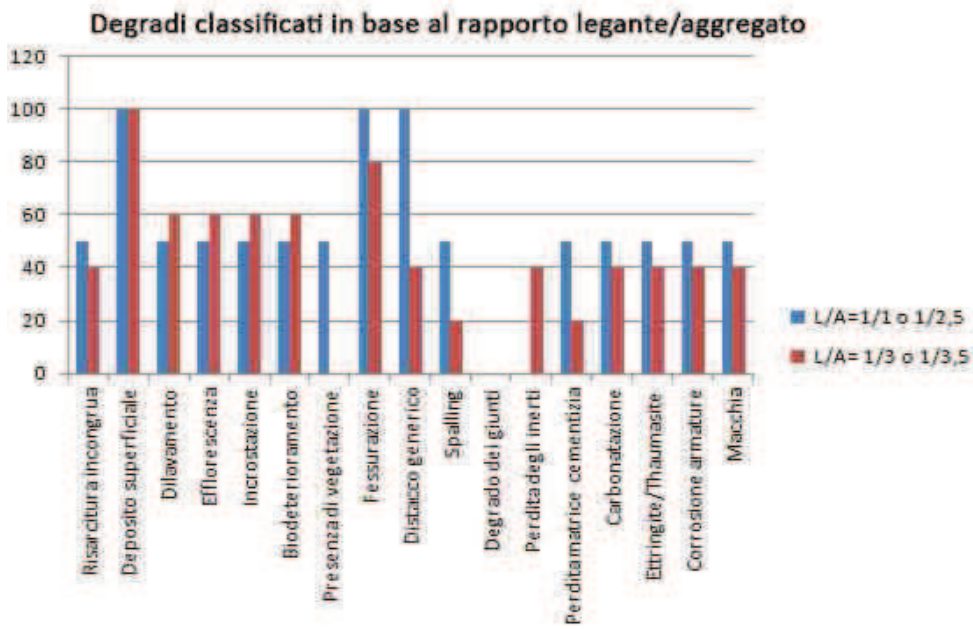
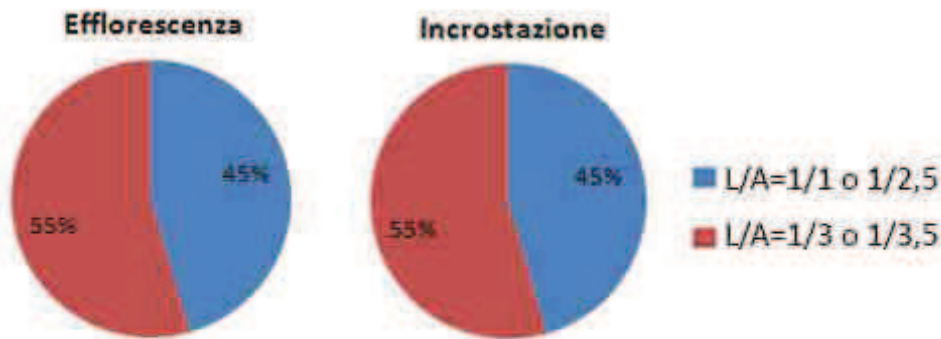
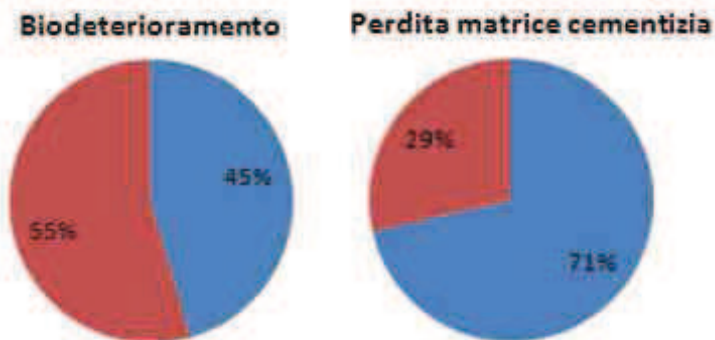


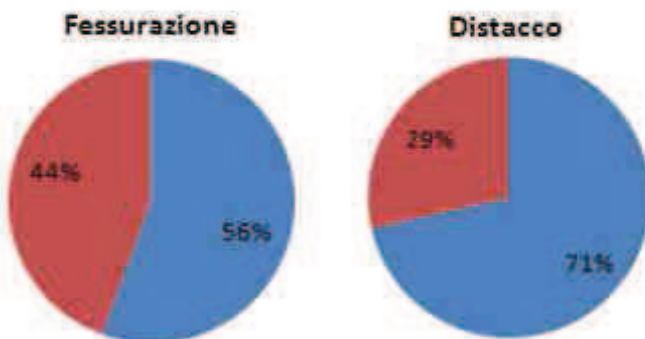
Grafico 107 - Degradi classificati in base al rapporto legante/aggregato suddiviso in due categorie: rapporto compreso tra 1/1 e 1/2,5 e compreso tra 1/3 e 1/3,5. (DATI IN CENTESIMI)



Grafici 108-109 - Efflorescenza e incrostazione classificate in base al rapporto legante/aggregato suddiviso in due categorie (DATI IN CENTESIMI)



Grafici 110-111- Biodeterioramento e fessurazione classificate in base al rapporto legante/aggregato suddiviso in due categorie (DATI IN CENTESIMI)



Grafici 112-113 - Perdita della matrice cementizia e distacco classificate in base al rapporto legante/aggregato suddiviso in due categorie (DATI IN CENTESIMI)

Attraverso l'analisi della sezione sottile è anche possibile esaminare il parametro della *porosità* dell'impasto, ottenendo dei risultati di tipo qualitativo. Negli impasti è possibile individuare due tipi di cavità che contribuiscono alla permeabilità del materiale: i "pori capillari" (diametro variabile tra 0.01 e 10 mm) situati nella pasta di cemento che avvolge gli aggregati e le macrocavità di dimensione maggiore (0.1-10 mm) dovute ad una imperfetta compattazione dell'impasto fresco, situate tra la pasta del legante e gli aggregati. Il volume di questi pori dipende dal rapporto acqua/cemento dell'impasto e dalla frazione di cemento che ha reagito con l'acqua. Minore è il rapporto acqua/cemento, minore è la distanza tra i granuli di cemento e più densa, cioè meno porosa, è la microstruttura derivante dall'idratazione del cemento. Il rapporto ottimale acqua/cemento è di 0,42; superato tale valore, l'impasto perde resistenza e durabilità, tuttavia il contenuto di acqua determina la consistenza della miscela e conseguentemente la sua lavorabilità; aumentando l'acqua si ha dunque, una maggiore lavorabilità a discapito del rapporto acqua/cemento, il cui valore aumenta, facendo diminuire la resistenza.

Per un'analisi quantitativa e l'individuazione dei pori capillari, occorrerebbe effettuare delle prove di laboratorio con porosimetro al mercurio o elio; tuttavia per il tipo di risultati richiesti dalla ricerca condotta, una stima qualitativa della porosità dei campioni, effettuata osservando le sezioni sottili con il microscopio ottico, risulterebbe sufficiente a verificare l'esistenza di macrocavità e dunque di eventuali correlazioni tra degrado e il parametro studiato. La definizione qualitativa del livello di porosità, distinguendo in alta, discreta e bassa, è stato il primo passo compiuto per suddividere gli impasti secondo macrocategorie di studio.

L'analisi delle cavità presenti in un impasto, permette di dedurre il numero e la dimensione. Se esse sono collegate tra loro, si parla di "porosità continua", una caratteristica che rende l'impasto molto permeabile e quindi degradabile, soprattutto se inserito in ambiente aggressivo. Il problema di rendere un calcestruzzo impermeabile, consiste quindi nel realizzare una "porosità discontinua" che ne permetta comunque la lavorazione ma non consenta agli agenti esterni di permeare il materiale.

Dalle valutazioni effettuate è stato possibile dedurre che il livello di porosità rilevato nella maggioranza dei casi (48%) è discreto, segnale che l'impasto è di buona qualità, realizzato con idonee proporzioni di acqua, legante e aggregati. Tale proprietà ha permesso agli elementi architettonici realizzati con queste miscele, di conservarsi nel tempo in condizioni apprezzabili; esta comunque presente una consistente quantità di pori che non permette agli impasti di essere inseriti nella categoria della "bassa porosità". Ciò può essere attribuibile ai tempi di stagionatura adottati durante la realizzazione; probabilmente prolungando questa fase di lavorazione, sarebbe aumentato il grado di idratazione del cemento e la microstruttura del legante sarebbe risultata meno porosa.

Il 28% degli impasti è caratterizzato da alta porosità; sono dunque, impasti più fragili che hanno un maggior numero di cavità, in cui spesso si annidano sostanze esterne che tendono a generare altre forme di degrado. Tale fenomeno è strettamente connesso alla permeabilità del materiale all'acqua; se un materiale risulta impermeabile, gli agenti aggressivi in essa disciolti non possono penetrare nel materiale e quindi di fatto l'impasto è durevole. La permeabilità e quindi la durabilità del calcestruzzo dipendono dalla presenza di cavità nella miscela. È possibile ipotizzare che questo problema sia dovuto in larga parte all'alto valore del rapporto acqua/cemento degli impasti, aumentato probabilmente per facilitare la lavorabilità dell'impasto.

Il 24% degli impasti presenta un basso livello di porosità; ciò evidenzia che 1/4 della totalità degli impasti risulta realizzato a regola d'arte e con materiali appropriati, almeno per quanto riguarda il grado di compattezza.

Il primo grafico mostra le percentuali riportate in precedenza, mentre nel secondo le categorie di porosità sono state analizzate suddividendo al loro interno i tipi di

impasti, per valutare l'eventuale correlazione esistente tra i componenti e la porosità. È possibile constatare che laddove è stata riscontrata la presenza di solo cemento Portland anziché "malte bastarde" (miscele di più leganti), il grado di porosità tende a diminuire, ma soprattutto che gli impasti con miglior livello di compattezza sono quelli che presentano elementi a carattere pozzolanico, a differenza di quelli in cui è presente la calce e abbondanti quantità di argilla, in cui la densità della miscela risulta minore.



Grafico 114 - Livello di porosità rilevato qualitativamente attraverso l'osservazione al microscopio ottico delle sezioni sottili dei campioni (DATI CASI STUDIO)

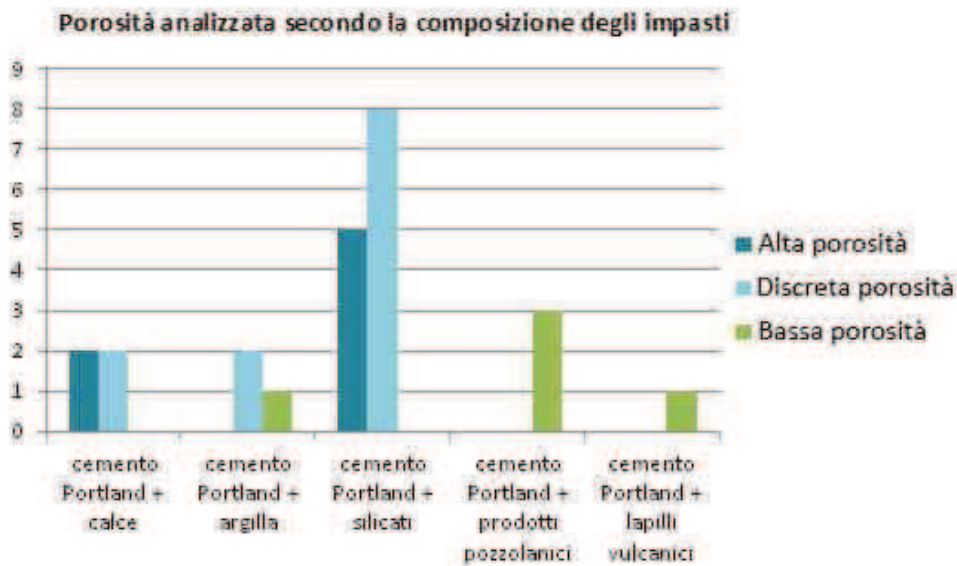


Grafico 115 - Livelli di porosità suddivisi secondo le tipologie di impasto nel quale sono stati riscontrati (DATI CASI STUDIO)

3.2.4 Considerazioni conclusive

Le analisi dei degradi fin qui illustrate, sono state compiute su un congruo campione di fabbricati, circoscritto ad alcune regioni del Nord Italia; esso è indicativo del livello di degrado che accomuna gli impasti cementizi del primo Novecento. Occorre precisare che il campione preso in esame è stato scelto a mero titolo esemplificativo, per poter confrontare delle architetture con caratteristiche comuni, realizzate con materiali sperimentali, risalenti ai primi anni del secolo, ma che non sempre sono riconosciute come architettura storica di pregio. Il mancato riconoscimento avviene spesso, in quanto le architetture esaminate sono perlopiù edifici residenziali di proprietà privata, molti dei quali poco noti, alcuni convertiti recentemente in edifici con funzione ricettiva, in cui spesso gli adattamenti funzionali non concordano con le prescrizioni determinate dall'imposizione di un vincolo storico-artistico.

La campagna di rilevamento condotta con la presente ricerca, ha l'obiettivo di identificare e catalogare i fenomeni di degrado che interessano tali edifici e fornire una base per l'individuazione di linee guida per la loro conservazione.

Dai risultati ottenuti è possibile stilare delle considerazioni riassuntive dei dati riscontrati sul campo.

La campagna di rilevamento dei degradi condotta ha fornito interessanti risultati. Innanzitutto i fenomeni di degrado riscontrati si concentrano principalmente sulla presenza di *depositi superficiali* e *biodeterioramento*; meno diffusi sono i casi di *erosione*, *disgregazione* e *distacco*.

Per quanto riguarda l'entità del degrado (aggiungi percentuali di buona conservazione, media e cattiva conservazione). Le miscele cementizie impiegate per la realizzazione di elementi decorativi sono discretamente resistenti anche in ambiente aggressivo come quello urbano.

I degradi riscontrati sono influenzati perlopiù dal livello di inquinamento presente nell'ambiente circostante, principale causa dei fenomeni più nocivi che si manifestano, come i *distacchi*, le *erosioni* e le *carbonatazioni*. Essi possono ritenersi i più dannosi in quanto comportano la perdita definitiva del materiale.

È possibile correlare il degrado riscontrato anche alla particolare conformazione e posizione degli elementi decorativi; trattandosi, infatti, di modellati ornamentali, la formazione di *depositi* e *incrostazioni* è favorita dalla forma e dalla complessità della forma che presenta parti protette dal vento e dall'azione dell'acqua.

Per quanto attiene le tecniche di esecuzione, la volontà di realizzare elementi fortemente aggettanti oppure alorilievi di notevoli profondità, in molti casi costringe all'inserimento di armature metalliche, la cui presenza, unitamente alle infiltrazioni d'acqua dovute alle fessure esistenti, innesca il processo di *carbonatazione* delle parti cementizie. La presenza o meno di ferri di armatura può diventare, dunque, un elemento fondamentale ai fini della formazione dei degradi.

La forma spesso complessa dei modellati, incrementa la possibilità di riscontrare la formazione di *incrostazioni* e *depositi superficiali*.

Per quanto riguarda le modalità di realizzazione, gli elementi costruiti *in opera* presentano una maggiore presenza di fenomeni di degrado. Ciò potrebbe essere spiegato dal fatto che i manufatti realizzati *in opera*, pur non distinguendosi dagli elementi realizzati *a stampo* per particolari caratteristiche, presentano una minore cura produttiva nella fase di preparazione miscela impiegando una minore classazione degli aggregati. Ciò potrebbe essere imputabile al fatto che la realizzazione *in opera*, essendo eseguita direttamente sul momento in cantiere, dà maggiori difficoltà nella selezione delle materie prime impiegate, diversamente da quanto possa accadere con le realizzazioni *a stampo*, in cui l'esecuzione in officina, con possibilità di un maggior controllo delle quantità e dalla qualità degli ingredienti dell'impasto, permette di ottenere un prodotto finale di maggior qualità. Occorre precisare anche che la presenza di ossalati di calcio, riscontrata in alcuni casi, è legata alla decomposizione delle sostanze grasse che venivano spalmate sugli stampi prima del getto per facilitarne il *distacco* all'atto della sformatura, per

permetterne il riutilizzo ed evitare al contempo che lo stampo assorbisse l'acqua presente nella miscela. Questo dimostra come anche le realizzazioni *a stampo* comportano la formazione di determinati fenomeni di degrado. In ultimo anche la collocazione in facciata degli elementi architettonici, incide sulla formazione di determinate problematiche, come nel caso del *biodeterioramento* e le *incrostazioni* che si manifestano con maggiore frequenza su elementi aggettanti.

Per quanto riguarda la natura dei leganti presenti all'interno degli impasti, si rileva un'alta percentuale di malta composta da calce e cemento, quest'ultimo conferisce alla malta una buona tenacità ed idraulicità. Gli impasti realizzati con l'aggiunta di materiale a comportamento pozzolanico, sono risultati i più resistenti alle azioni di deterioramento, rivelandosi i migliori impasti *in opera*.

La natura degli aggregati riscontrata nella quasi totalità dei campioni prelevati è riferibile a sabbie di tipo fluviale composte mineralogicamente da grandi quantità di calcite, quarzo e feldspati con tracce di clorite, mica e dolomite.

I risultati delle sezioni sottili mostrano che le malte hanno dei colori variabili tra il grigio chiaro e il grigio più scuro con una struttura composta da uno scheletro sabbioso in cui, nella maggior parte dei campioni, si riscontrano perlopiù minerali come feldspato, abbondanti quantità di quarzo, plagioclasio e miche (muscovite e biotite). Per quanto riguarda la matrice carbonatica ciò che si ripete nei diversi campioni è la presenza di clasti conglomeratici petrograficamente riferibili a calcari micritici e biomicritici e a rocce metamorfiche (micascisti). Ciascun campione contiene altri elementi che, non essendo stati riscontrati anche negli altri casi, non vengono riportati in questa sintesi. Le matrici risultano, nella maggioranza dei casi, discretamente porose, caratterizzate da vacuoli di forma e dimensioni variabili, alcuni dei quali con le pareti tappezzate da microcristalli di calcite di ricristallizzazione.

Per quanto riguarda l'accuratezza nella scelta degli aggregati, si rilevano casi in cui l'impasto è scrupolosamente vagliato e situazioni in cui la miscela di aggregati risulta più grossolana. Alla prima categoria si può riferire l'impasto di Villa Sarti, a Lucca, dove lo scheletro sabbioso, studiato con la sezione sottile, presenta una morfologia sia a spigolo vivo che a spigolo arrotondato ed una granulometria eterogenea per la presenza di frammenti e clasti con dimensione superiore all'aggregato sabbioso, tendenzialmente a granulometria medio-fine (0,250-0,125 mm). Ciò dimostra come la scelta dell'aggregato durante la realizzazione dell'impasto sia più accurata rispetto, per esempio, a quella condotta per confezionare l'impasto impiegato nel Grand Hotel Milano di Brunate, dove invece i clasti sono di grandi dimensioni (4-10 mm) e con una fase arenacea a granulometria media (0,500-0,25, mm).

3.3 LE MANIFESTAZIONI DI DEGRADO

Per concludere l'analisi condotta sui casi studio e relativa alle manifestazioni del degrado, si propone una classificazione dei fenomeni maggiormente riscontrati, associati alle probabili cause.

Questa classificazione si esplica nella redazione di apposite schede riassuntive che descrivono i degradi che si possono riscontrare sugli impasti cementizi degli edifici analizzati.

Tali schede raccolgono, infatti, una catalogazione dei deterioramenti riscontrati, permettendo di definire una sorta di guida, nella quale sono raccolte le indicazioni utili al riconoscimento del degrado degli impasti cementizi. Tali schede contengono una prima parte descrittiva, associata alle immagini necessarie a fornire delle informazioni visive per il riconoscimento del degrado; una definizione redatta a partire dalle raccomandazioni UNI NorMaL 1/88 e UNI 11182/2006. Le definizioni codificate dalle normative sono state poi ampliate e modificate per renderle congrue ai degradi riscontrati. Alla definizione segue una descrizione delle possibili localizzazioni del degrado, ipotizzate sulla base delle analisi condotte sul degrado associato agli elementi architettonici e al contesto ambientale. Il terzo punto

elenca le possibili condizioni ambientali che possono contribuire alla formazione del degrado; si passa poi alle cause che ne determinano la formazione e che maggiormente ricorrono nei casi studio indagati; le manifestazioni del degrado associate a quello analizzato, poichè nella maggior parte dei casi tali fenomeni si presentano insieme ad una concomitanza di altre manifestazioni. In ultimo è inserita nella parte terminale della scheda, una breve bibliografia utile ad approfondire gli argomenti attinenti alla tipologia di degrado riscontrata. Le schede elaborate sono il primo prodotto del lavoro di ricerca condotto. Tale materiale potrebbe risultare utile per tecnici e imprese che, in fase di progetto e di cantiere, approcciano alla conservazione dell'impasto cementizio presente in un edificio storico. Avrebbero a disposizione, infatti, delle schede di rapida e facile consultazione per la definizione della manifestazione di degrado su cui dovranno intervenire.

3.3.1 Le schede delle manifestazioni di degrado

ANALISI DELLE MANIFESTAZIONI DEL DEGRADO

BIODETERIORAMENTO

Descrizione del degrado

Fenomeno di alterazione dell'impasto innescato da organismi viventi, i biodeteriogeni (alghe, funghi, licheni, muschi), che possono utilizzare il substrato come sorgente nutrizionale oppure come semplice supporto¹. Se lo strato risulta sottile, morbido, omogeneo, aderente al substrato e generalmente di colore verde, si può definire patina biologica.

Localizzazione del degrado

I biodeteriogeni² si sviluppano prevalentemente dove la disponibilità di radiazione solare e acqua è alta, la temperatura è compresa tra i 20° e 30°C. Generalmente le patine biologiche tendono a svilupparsi su superfici orizzontali, mentre le piante lungo quelle verticali. Le muffe, molto frequenti sugli impasti cementizi, sono perlopiù riscontrabili in prossimità di impianti di smaltimento dell'acqua piovana. La presenza di minerali deteriorabili, come feldspati, minerali argillosi e ferruginosi, rende gli impasti cementizi fonte di sali minerali per i microrganismi; l'esistenza di leganti e pigmenti influenza la vulnerabilità dell'impasto. La porosità e la rugosità superficiale influenzano sull'attecchimento e la crescita degli organismi: quanto più una superficie è scabra, tanto più vi si depositano acqua e sostanze organiche, che favoriscono l'instaurarsi di organismi, pertanto anche la lavorazione (lisciatura, levigatura, bugnato, bocciardatura...) determina situazioni più o meno soggette ad attacco biologico³.

Condizioni ambientali

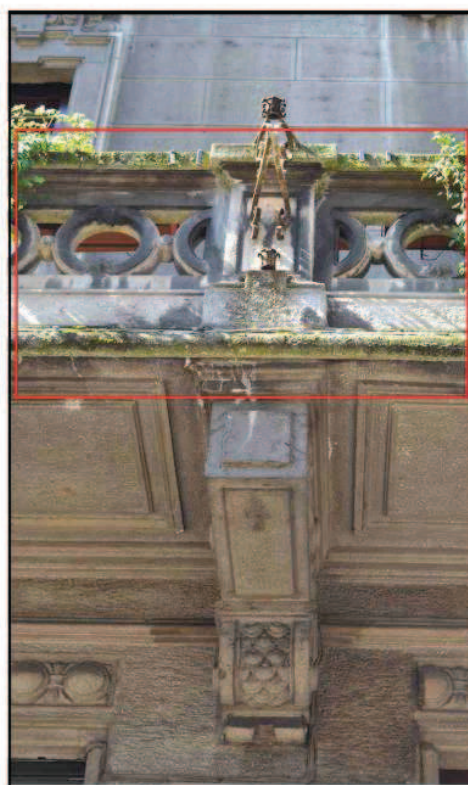
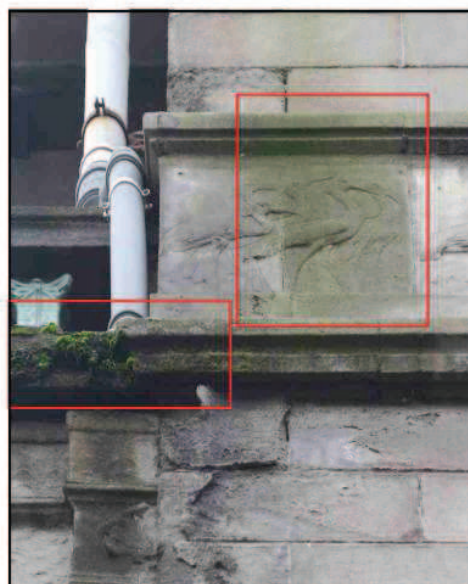
I biodeteriogeni possono dividersi in due categorie: autotrofi ed eterotrofi. Gli organismi *autotrofi* come le alghe, i licheni e le piante sono in grado di sintetizzare sostanze organiche partendo da sostanze inorganiche (fotosintesi clorofilliana); necessitano dunque di una costante esposizione al sole (i luoghi in cui la radiazione luminosa è abbondante sono tra i più colpiti dal fenomeno). Gli organismi *eterotrofi*, invece, sono incapaci di compiere questo processo e si sviluppano principalmente in zone umide (valori superiori al 70%), mal areate, dove il substrato ha valori di pH attorno a 3.5, dunque molto acido (il valore del pH del substrato è un fattore fondamentale per i processi di colonizzazione, perchè favorisce la reazione enzimatica biologica) e dove le temperature raggiungono spesso valori compresi tra 30 e 40°C; tra questi rientrano i batteri, i funghi e le muffe. Le alghe verdi e i cianobatteri sono organismi pionieri nella colonizzazione della pietra, in quanto necessitano solo di luce, acqua, pochi composti inorganici e preferiscono un substrato con pH compreso tra 7 e 8.

Note

¹ Raccomandazioni NORMAL - 1/88 Alterazioni macroscopiche dei materiali lapidei: lessico; Norma UNI 11182/2006 Beni culturali. Materiali lapidei naturali ed artificiali. Descrizione della forma di alterazione - Termini e definizioni.

² FERNANDEZ F., 2008, pp. 152-168.

³ TIANO P., ACCOLLA P., TOMASELLI L., in "Microbial Ecology", n. 29, 1995, pp. 299-309.



ANALISI DELLE MANIFESTAZIONI DEL DEGRADO

BIODETERIORAMENTO

Il biodeterioramento è influenzato da fattori come le caratteristiche petrografiche e fisico-chimiche dei materiali lapidei, dei depositi e della sostanza organica presenti sulle loro superfici, i livelli di inquinamento dell'aria, la disponibilità di radiazione fotosinteticamente attiva, la temperatura e il contenuto d'acqua nel substrato. Alcuni di questi fattori variano con l'esposizione, l'inclinazione e altri parametri topografici, mentre altri sono strettamente legati alle condizioni climatiche. La presenza di inquinanti e la loro deposizione sui manufatti favoriscono l'acidificazione dei substrati, facilitando la diffusione di organismi acidofili e l'attivazione di processi degradativi superficiali, con effetti retroattivi positivi sulla biorecettività dei materiali stessi. Infine, tra i fattori meteo-climatici, il clima nel suo complesso, definito come la combinazione di diversi fattori quali temperatura, piovosità, nuvolosità, insolazione, ventosità, è in grado di modulare l'intensità dei processi di micro-colonizzazione. I venti, in particolare, possono stimolare lo sviluppo di biodeteriogeni, influenzando le temperature delle superfici dei manufatti, veicolando spore, semi, inquinanti o altro particolato biologico, oltre ad influenzare la direzione di caduta della pioggia e, quindi, indirettamente, la disponibilità idrica⁴.

Cause del degrado

I due processi prevalenti attraverso cui il biodeterioramento si manifesta sono: processi di tipo *fisico o meccanico*, che determinano una decoesione, rottura e disgregazione del substrato, o di tipo *chimico*, che inducono, invece, una trasformazione attiva del substrato per degradazione e/o decomposizione⁵.

Il degrado *fisico* del materiale è dovuto alla pressione esercitata dagli apparati di ancoraggio al substrato (rizine, rizoidi o radici).

I processi di alterazione *chimica*, invece, sono indotti dai processi di assimilazione messi in atto dai biodeteriogeni, che utilizzano il materiale come fonte nutrizionale; ma anche dagli effetti riconducibili ai prodotti metabolici intermedi o di rifiuto che gli organismi biodeteriogeni stessi sono in grado di rilasciare sui materiali colonizzati. Nel primo caso si possono originare fenomeni di scambio ionico che possono trasformare la composizione chimica del minerale trasformandolo in un altro composto. I meccanismi di escrezione, invece, possono attivare dei processi di disgregazione che facilitano, ad esempio, la penetrazione nei substrati di altri organismi. L'entità del degrado operato dai licheni, per esempio, varia in relazione alla composizione mineralogica e alla quantità di aggregati presenti nell'impasto. Le malte con un più alto contenuto di calcite sono maggiormente interessate dal fenomeno di disgregazione, poichè alterate chimicamente e penetrate in profondità dalle *ife*⁶.

Manifestazioni del degrado associate al fenomeno

Deposito superficiale, incrostazione, fessurazione, erosione: perdita della matrice cementizia, distacco, macchia.

Note

⁴ CANEVA G., CESCHIN S., *I fattori ecologici e le loro connessioni con il biodeterioramento. Fattori climatici*, in CANEVA G., NUGARI M.P., SALVADORI O. (a cura di), 2007, pp. 49-53.

⁵ FERNANDEZ F., 2008, pp. 152-168.

⁶ NUGARI M.P., PINNA D., SALVADORI O., *Il biodeterioramento dei materiali lapidei artificiali*, in CANEVA G., NUGARI M.P., SALVADORI O. (a cura di), 2007, pp. 145-148.



ANALISI DELLE MANIFESTAZIONI DEL DEGRADO

CARBONATAZIONE

Descrizione del degrado

Reazione che l'anidride carbonica, presente in atmosfera, innesca quando entra in contatto con l'idrossido di calcio della matrice cementizia indurita, provocando la riduzione del valore di pH e la conseguente perdita dell'ossido ferroso che protegge le barre d'armatura¹.

Localizzazione del degrado

La reazione di carbonatazione può avvenire solo in presenza d'acqua, nello specifico si ha un preciso intervallo di pericolosità che è compreso fra 50 e 80%². Tale fenomeno si incrementa se si è in presenza di ambienti umidi e in condizioni di elevata porosità e permeabilità dell'impasto. In elementi in cui il copriferro è distaccato dall'armatura, a causa della stessa carbonatazione, il deterioramento dei ferri diventa sempre più veloce, in quanto si creano vie di accesso più facili per ossigeno e umidità.

Condizioni ambientali

La presenza di anidride carbonica e l'alto livello di umidità o la presenza anche discontinua di acqua sono tra i fattori principali per la formazione di carbonatazione; tuttavia la saturazione con acqua dei pori dell'impasto la rallenta; nel caso dunque di elementi sommersi non vi sono molte probabilità di riscontrare il fenomeno.

Cause del degrado

La reazione tra CO_2 e idrossido di calcio produce carbonato di calcio e riduce il pH da 13 ad un livello di neutralità ($\text{pH}=7$). Raggiunto tale valore, le condizioni di passività dei ferri di armatura, garantite dallo strato protettivo di ossido ferroso presente (passivazione), vengono meno, innescando il processo di corrosione³. I prodotti di corrosione tra armatura e impasto cementizio tendono ad espandersi, fessurarsi e infine distaccarsi. Tale fenomeno può comportare una progressiva distruzione del copriferro e dell'ossidazione delle armature.

Il trasporto della CO_2 procede dall'esterno verso l'interno del calcestruzzo e la velocità con cui penetra è fortemente influenzata dal tenore di umidità. Il trasporto dell'anidride carbonica è molto veloce in fase gassosa e cioè all'interno dei pori pieni di aria mentre è molto più lento nei pori dove c'è umidità, di conseguenza nei pori saturi di acqua la velocità di penetrazione sarà pressoché nulla. Tuttavia, perché la carbonatazione avvenga, la presenza di umidità è assolutamente necessaria⁴.

Manifestazioni del degrado associate al fenomeno

Spalling, corrosione delle armature, ettringite/thaumasite, distacco.

Note

¹THE CONCRETE SOCIETY, *Concrete Society Technical Report n. 54. Diagnosis of deterioration in concrete structures (CS TR 54)*, in AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI) (a cura di), 2008, pp. 139-206.

²MASSIDDA L., *Le cause di degrado del calcestruzzo e delle opere in calcestruzzo armato*, in "enco journal", anno XVI, n. 53, 2011, pp. 16-19, <http://www.enco-journal.com/journal/n.53.pdf>.

³DI BATTISTA V., *Il degrado delle materie*, in CATERINA G. (a cura di), 1989, pp. 271-339.

⁴MASSIDDA L., *op. cit.*



ANALISI DELLE MANIFESTAZIONI DEL DEGRADO

COLATURA

Descrizione del degrado

Fenomeno dovuto al ruscellamento delle acque meteoriche le quali, in presenza di un rallentamento della velocità di discesa, ridepositano le polveri lungo la colatura stessa¹. Tale deposito mantiene l'umidità più a lungo, favorendo l'accrescimento delle sostanze, che aumentano nel tempo.

Localizzazione del degrado

La presenza di colature è generalmente localizzata al di sotto di modanature architettoniche sporgenti come balconi, cornicioni, davanzali e mensole dove il dilavamento agisce indirettamente e i depositi di sostanze estranee non hanno la possibilità di essere rimossi dalle acque meteoriche.

Condizioni ambientali

Generalmente le colature hanno andamento verticale. La dimensione e la localizzazione dipendono dall'orientamento della facciata, dalla quantità di depositi superficiali presenti e dalla porosità del materiale². Le sostanze diluite e trasportate dall'acqua (sali, depositi atmosferici, polveri, ecc...), percolano lungo la facciata, determinando dilavamenti oppure colature a seconda della parte in cui si verifica il fenomeno. Nelle aree più protette e meno sporgenti avviene un dilavamento parziale e dove si concentreranno le sostanze dilavate dalle altre superfici che, se acide, possono innescare processi di erosione più profonda degli strati meno compatti³.

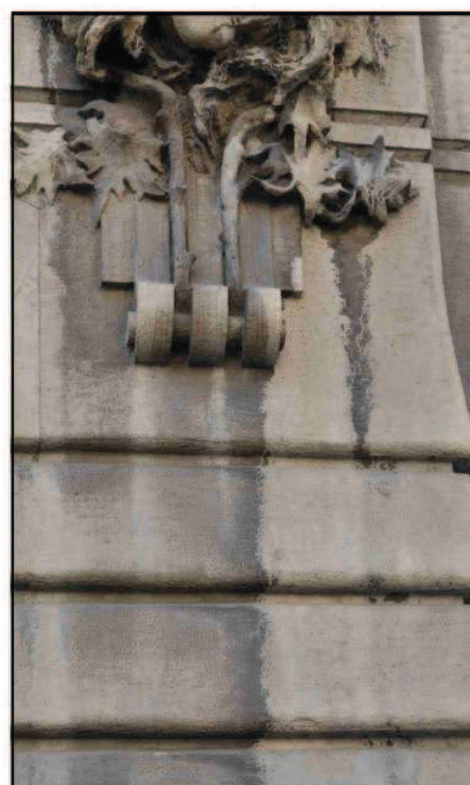
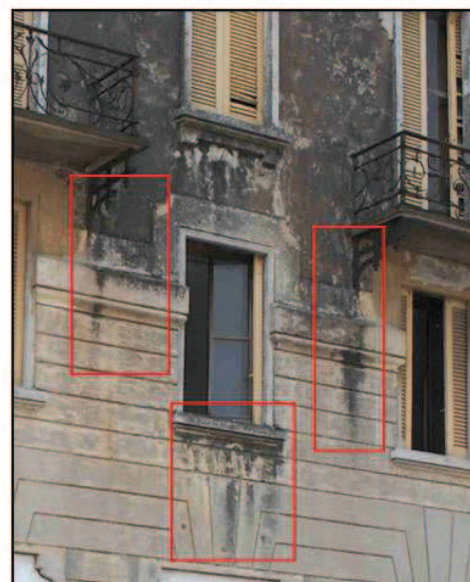
Cause del degrado

Le sostanze presenti nell'atmosfera, unite a terriccio, guano, ecc... si depositano sugli elementi più sporgenti delle facciate. Quando tali depositi sono bagnati dalle piogge, le superfici su cui insistono vengono dilavate e le sostanze colano verso il basso sulle superfici meno sporgenti, macchiandole con tracce ad andamento verticale⁴.

Le sostanze contenute nelle colature possono reagire a contatto con i componenti del substrato su cui si depositano, innescando la formazione di altri degradi.

Manifestazioni del degrado associate al fenomeno

Deposito superficiale, erosione, incrostazione.



Note

¹ Norma UNI 11182/2006 Beni culturali. Materiali lapidei naturali ed artificiali. Descrizione della forma di alterazione - Termini e definizioni.

² FRANCESCHI S., GERMANI L., 2007, p. 75.

³ BURLAMACCHI L., 1994, p. 191.

⁴ *Ibidem*.

ANALISI DELLE MANIFESTAZIONI DEL DEGRADO

CORROSIONE DELLE ARMATURE

Descrizione del degrado

Processo elettrochimico dovuto alla presenza continua di acqua e ossigeno. I prodotti della corrosione tendono ad espandersi e occupare volumi maggiori rispetto al materiale non corrosivo, provocando sforzi tensionali che determinano distacchi e perdite di copriferro¹.

Localizzazione del degrado

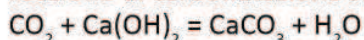
Tale fenomeno è tipico degli impasti che presentano una struttura portante metallica al loro interno. Ricorre dunque, nei casi di balconi, cornicioni, decorazioni di notevole dimensione e complessità. La corrosione tende a comparire in casi di vicinanza all'ambiente marino, di forte umidità e in presenza di acqua; è molto probabile rilevarla dove sono già presenti fessure e/o distacchi della materia.

Condizioni ambientali

La presenza di anidride carbonica e di umidità agevola la formazione di degradi come la carbonatazione che è tra le principali cause del presente degrado. Tra i principali fattori di innesco di tale degrado, si può annoverare la presenza di sostanze chimiche nocive come i cloruri; ne è un esempio la comparsa di tale fenomeno in ambiente marino, ricco di cloruro di sodio.

Cause del degrado

La corrosione delle armature può essere indotta dalla carbonatazione del calcestruzzo o dalla penetrazione di cloruri. Essa è provocata dall'anidride carbonica che reagisce con i composti alcalini presenti nella soluzione dei pori del calcestruzzo, e nella matrice cementizia sotto forma di Ca(OH)_2 (portlandite) e di silico-alluminati idrati. La reazione di carbonatazione si può riassumere in²:



La carbonatazione porta il pH della soluzione dei pori a valori pari circa alla neutralità. L'acciaio nel calcestruzzo carbonatato non è più protetto dal film di passività. La carbonatazione parte dalla superficie del materiale e penetra nel copriferro. La corrosione si innesca quando il fronte di carbonatazione raggiunge la superficie dell'armatura. Nel tempo i prodotti di corrosione possono causare la fessurazione e il distacco del copriferro. La fase di innesco della corrosione è determinata dalla velocità di penetrazione della carbonatazione e dallo spessore del copriferro. La corrosione delle armature si può manifestare anche per la presenza di cloruri, attraverso la rimozione dello strato di ossido ferrico che in loro presenza diviene incoerente e consente l'ulteriore ossidazione del ferro³.

Manifestazioni del degrado associate al fenomeno

Carbonatazione, macchie, spalling, distacchi.

Note

¹ THE CONCRETE SOCIETY, *Concrete Society Technical Report n. 54. Diagnosis of deterioration in concrete structures (CS TR 54)*, in AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI) (a cura di), 2008, pp. 139-206.

² MASSIDDA L., *Le cause di degrado del calcestruzzo e delle opere in calcestruzzo armato*, in "enco journal", anno XVI, n. 53, 2011, pp. 16-19, <http://www.enco-journal.com/journal/n.53.pdf>.

³ PEDEFERRI P., *Corrosione e restauro di strutture in calcestruzzo armato*, in BORTOLOTTO S., GIAMBRUNO M., 2008, pp. 55-72.



ANALISI DELLE MANIFESTAZIONI DEL DEGRADO

DEGRADO DEI GIUNTI

Descrizione del degrado

Perdita/disgregazione dei punti di connessione di due o più elementi indipendenti, realizzati con lo stesso materiale.

Localizzazione del degrado

Le fessure, i distacchi e l'erosione si manifestano in corrispondenza dei punti di giunzione di due o più elementi tra loro connessi.

Condizioni ambientali

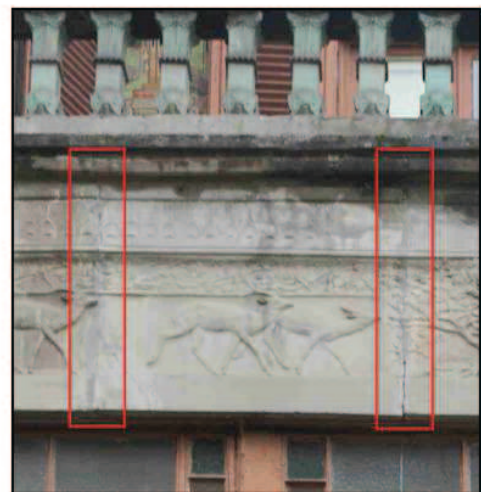
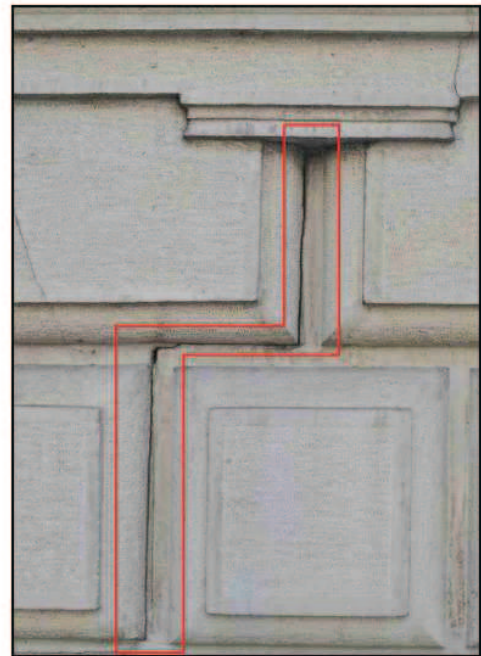
Gli stress termici e i continui cicli di asciugatura e bagnatura sono le cause prevalenti delle dilatazioni e delle tensioni interne agli elementi connessi.

Cause del degrado

La causa principale delle manifestazioni di degrado è rappresentata dal fatto di essere un punto di discontinuità nel materiale e dunque la parte più debole dell'elemento. Quando sono presenti elementi accostati tra loro per mezzo di giunti di dilatazione e questi ultimi risultano molto rigidi, gli sbalzi termici tra la zona riscaldata e quella non soggetta agli effetti della radiazione, causano l'insorgere di notevoli tensioni interne che sottopongono il materiale a profonde sollecitazioni¹. Se ciò accade ciclicamente nel tempo, i giunti si indeboliscono fino a provocare delle microfessurazioni, influenzando la resistenza del materiale all'ambiente², non solo perchè aprono la via alla penetrazione di acqua e sali solubili, ma anche perchè costituiscono un punto di concentrazione delle tensioni meccaniche³.

Manifestazioni del degrado associate al fenomeno

Erosione, fessurazione, distacco.



Note

¹ BURLAMACCHI L., 1994, pp. 186-190.

² THE CONCRETE SOCIETY, *Concrete Society Technical Report n. 54. Diagnosis of deterioration in concrete structures (CS TR 54)*, in AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI), 2008, pp. 139-206.

³ FRANCESCHI S., GERMANI L., 2007, pp. 38-39.

ANALISI DELLE MANIFESTAZIONI DEL DEGRADO

DEPOSITO SUPERFICIALE

Descrizione del degrado

Accumulo di materiali estranei quali, ad esempio, polvere terriccio, guano, ecc¹. Ha spessore variabile e, generalmente, scarsa coerenza e aderenza al materiale sottostante. Nella maggioranza dei casi si presenta in modo uniforme sulla superficie dell'elemento.

Localizzazione del degrado

Il deposito si manifesta principalmente sulle superfici più esposte come i balconi, gli aggetti e tutti gli elementi sporgenti che caratterizzano la facciata. Laddove non si verifica un costante ruscellamento dell'acqua piovana è più facile riscontrare tale fenomeno. La forma complessa dell'elemento e la presenza di numerosi sottosquadri, agevola le deposizioni. Inoltre le asperità presenti su aree che hanno subito lavorazioni superficiali trattengono con più facilità le sostanze di deposito. La porosità della matrice cementizia può, se associata all'accumulo di sostanze potenzialmente aggressive presenti nel deposito, favorire la penetrazione di tali sostanze, attraverso i pori della matrice cementizia, innescando altri degradi.

Condizioni ambientali

Il deposito è dovuto alla presenza di sostanze pulviscolari nell'atmosfera che si muovono a causa dei moti convettivi esistenti nell'aria. Avviene perlopiù in ambienti poco esposti agli agenti atmosferici; in zone sottosquadro e non facilmente soggette ai dilavamenti dell'acqua piovana, in zone in ombra e poco ventilate.

Cause del degrado

Le sostanze gassose, pulviscolari e microbiche presenti nell'atmosfera, si depositano sui materiali esposti attraverso le piogge, la condensa o deposizioni secche. Gli inquinanti atmosferici possono agire sul materiale attraverso due percorsi: via diretta (*deposizioni secche*) o via indiretta (*deposizioni umide*)²; entrambe sono deposizioni acide poichè le sostanze presenti reagiscono con le componenti dell'aria dando origine ad acidi. La deposizione secca è quel processo attraverso cui i gas e le particelle presenti nell'aria si depositano direttamente sulla superficie e avviene in funzione delle caratteristiche climatiche della zona, dalla turbolenza dell'atmosfera e dalle caratteristiche chimico-fisiche del materiale ricevente. La presenza di elementi aggettanti, forme complesse e decorazioni elaborate, infatti, può agevolare l'accumulo di sostanze estranee oppure può ostacolarne il dilavamento e dunque l'eliminazione.

Note

¹ Raccomandazioni NORMAL - 1/88 Alterazioni macroscopiche dei materiali lapidei: lessico; Norma UNI 11182/2006 Beni culturali. Materiali lapidei naturali ed artificiali. Descrizione della forma di alterazione - Termini e definizioni.

² BURLAMACCHI L., 1994, p. 191.



ANALISI DELLE MANIFESTAZIONI DEL DEGRADO

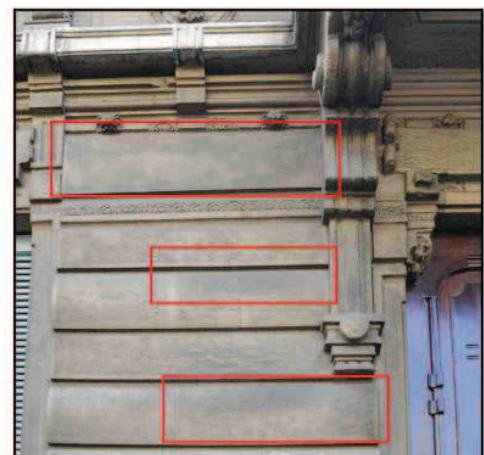
DEPOSITO SUPERFICIALE

Quando tali sostanze sono disciolte nelle piogge (deposizione umida), depositandosi sulla superficie dei materiali possono innescare reazioni chimiche con i componenti dei materiali, scatenando o accelerando fenomeni di deterioramento, a seconda delle caratteristiche chimico-fisiche dei singoli prodotti e dei mezzi di trasferimento disponibili³. Un elemento che agevola il deposito è la lavorazione superficiale: superfici scabre sono maggiormente interessate dal fenomeno rispetto a quelle che hanno subito semplici lisciate. Infine l'applicazione di sostanze sulla superficie dell'impasto, come quelle stese sulle forme per agevolare il distacco dallo stampo, a causa dei loro componenti, attirano e intrappolano le polveri presenti nell'aria facilitandone il deposito sulla superficie dell'elemento architettonico.

Il deposito, se non rimosso periodicamente può con il tempo tendere ad un aumento di spessore e ad un indurimento progressivo, divenendo sempre più compatto e meno poroso, trasformandosi in incrostazione.

Manifestazioni del degrado associate al fenomeno

Biodeterioramento, incrostazione, fessurazione.



Note

³ ROMEO C. R., *Considerazioni finali sul tema della conservazione dei materiali nell'edilizia storica*, in ROMEO C.R. (a cura di), 2013, pp. 254-258.

ANALISI DELLE MANIFESTAZIONI DEL DEGRADO

DILAVAMENTO: PERDITA DELLA FINITURA

Descrizione del degrado

Perdita dello strato più superficiale dell'impasto come risposta chimico-fisica all'azione dilavante dell'acqua, per cui la pasta cementizia può essere privata dei prodotti solubili.

Localizzazione del degrado

Il fenomeno può manifestarsi nei casi di costante esposizione alla luce solare, di continuo ruscellamento delle acque meteoriche o per l'azione di agenti chimici provenienti dal terreno, dalle precipitazioni o da sostanze esterne applicate sulla superficie. Può dunque presentarsi nella parte inferiore dei balconi e delle sporgenze, in corrispondenza dei loro elementi perimetrali e angolari, nelle parti basamentali e nelle grandi superfici di rivestimento.

Condizioni ambientali

Il degrado può manifestarsi in prevalenza nelle aree che presentano finiture superficiali soggette a continuo ruscellamento delle acque meteoriche.

Cause del degrado

Le sostanze diluite e trasportate dall'acqua (sali, depositi atmosferici, polveri, ecc...), percolando lungo la facciata, si depositano lungo i bordi delle aree di ruscellamento dove è minore la velocità di scorrimento dell'acqua: qui si verificherà maggiore sedimentazione e deposito di inquinanti e particolato.

Il fenomeno può avere effetti molto diversi¹: vi saranno aree completamente dilavate, corrispondenti in genere alle parti dell'edificio particolarmente esposte, dove le piogge asportano sali e sporco, ma causano anche erosioni e decoesioni; aree più protette, invece, dove si avrà dilavamento parziale e dove si concentreranno le sostanze dilavate dalle altre superfici che, se acide, possono innescare processi di erosione più profonda degli strati meno compatti.

L'azione dilavante può risultare, infatti, maggiormente dannosa se le finiture superficiali sono soggette all'azione prolungata di acqua contenente sostanze acide di qualsiasi natura². Per esempio, tutti gli acidi inorganici forti come HCl, HNO₃ e H₂SO₄ distruggono rapidamente i manufatti cementizi in quanto agiscono attaccando la fase idrosilicatica C-S-H. In presenza di acqua di mare, i sali di magnesio in essa contenuti possono agire sostituendosi allo ione calcio dell'idrossido di calcio [Ca(OH)₂], ma anche degli idrosilicati formando composti incoerenti e privi di proprietà leganti³.

Manifestazioni del degrado associate al fenomeno

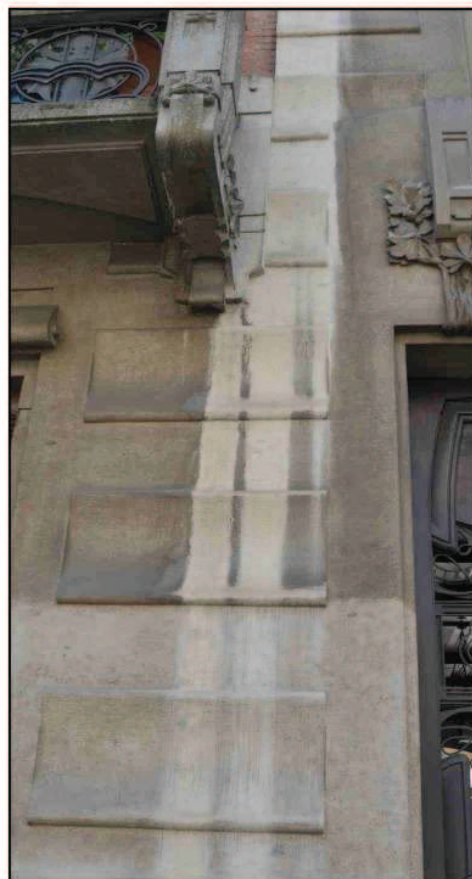
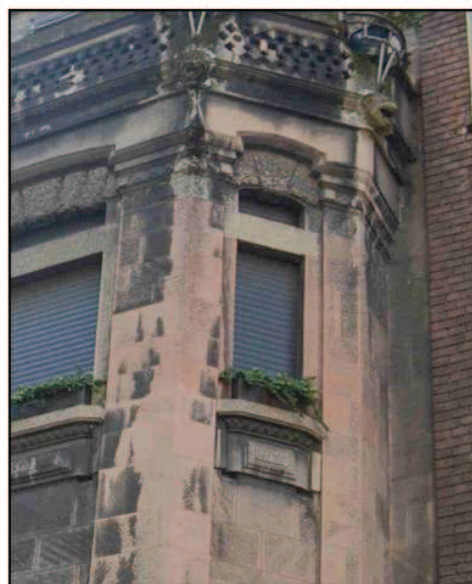
Affioramento di inerti, erosione.

Note

¹ GASPAROLI P., 2002, pp. 71-72.

² MASSIDDA L., *Analisi delle cause di degrado del calcestruzzo e delle opere in calcestruzzo armato*, in "Enco Journal", n.53, 2011, pp. 16-19, <http://www.enco-journal.com/journal/n.53.pdf>.

³ BERTOLINI L., PEDEFERRI P., 2000, pp. 135-136.



ANALISI DELLE MANIFESTAZIONI DEL DEGRADO

DISTACCO

Descrizione del degrado

Soluzione di continuità¹, che precede la perdita, tra le parti (a volte strati) di uno stesso elemento. Esso può avvenire tra strato superficiale e substrato del materiale oppure tra componenti dello stesso impasto.

Localizzazione del degrado

I distacchi avvengono perlopiù in aree soggette al continuo passaggio di persone o cose, come paraste e decorazioni d'angolo, oppure in prossimità di aperture, come porte e finestre e di parti basamentali; tuttavia, laddove sono presenti elementi metallici interni all'elemento, è molto probabile riscontrare distacchi della materia a seguito dell'ossidazione delle armature o di effetti espansivi dovuti alla formazione di altri degradi; è possibile riscontrare con notevole frequenza distacchi in prossimità degli impianti di smaltimento delle acque meteoriche non integri, che agevolano il ristagno di acqua sulla superficie e provocano la formazione del fenomeno. In ultimo è possibile riscontrare tale fenomeno su dettagli decorativi finemente lavorati che sono, quindi, soggetti a tensioni interne notevoli dovute alla forma e alla lavorazione.

Condizioni ambientali

Numerosi possono essere i fattori che influenzano la frattura del materiale comportando il distacco di alcune parti; tra i più frequenti ricorrono frequenti stress termici che favoriscono la dilatazione del materiale e dunque continui cambi di volume, fino alla creazione di fessure e successivi distacchi della materia². Significativa è la presenza continua di acqua o di umidità, che comporta la formazione di ulteriori degradi come la carbonatazione e il biodeterioramento e che causano il distacco di parti dell'elemento; ma anche la presenza di sostanze nocive come i solfati, che reagiscono con la miscela, e danno luogo alla formazione di ettringite e i conseguenti effetti espansivi. In ultimo laddove si riscontra la presenza di organismi vegetali oppure l'applicazione di risarciture con materiale incongruo, si verifica con maggior frequenza il distacco di parti dell'elemento.

Cause del degrado

Il distacco è sempre preceduto da una diminuzione della coesione e adesione tra i componenti della struttura, con aumento della porosità e lieve peggioramento delle caratteristiche meccaniche³. La prima fase è sempre la creazione di tasche e rigonfiamenti prima della definitiva perdita del materiale; questo momento interessa soprattutto gli strati di finitura superficiali, laddove esistenti.



Note

¹ Raccomandazioni NORMAL - 1/88 Alterazioni macroscopiche dei materiali lapidei: lessico.

² COLLEPARDI M., COPPOLA L., 1996, p. 99.

³ FRANCESCHI S., GERMANI L., 2007, p. 80.

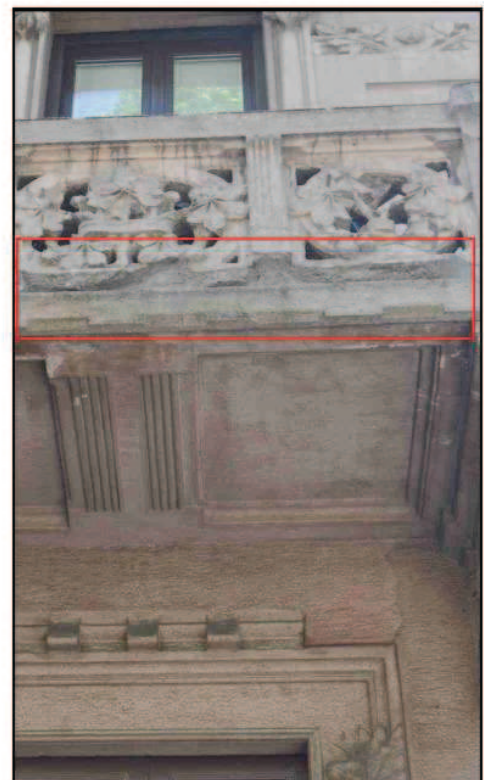
ANALISI DELLE MANIFESTAZIONI DEL DEGRADO

DISTACCO

Le cause di questo fenomeno possono essere molteplici; normalmente i fattori principali sono legati all'esistenza di umidità, la consistente presenza di formazioni saline, la perdita puntuale degli impianti di smaltimento o convogliamento delle acque meteoriche, le soluzioni di continuità conseguenti alla presenza di fessurazioni o lesioni strutturali⁴. Le variazioni di temperatura, dovute a sbalzi termici stagionali ma anche giornalieri, sono tra le più comuni cause di distacco della materia. Tali stress termici possono agire soprattutto in prossimità dell'innesto di elementi metallici. Anche l'uso di aggregati o impasti poco compatibili (risarciture incongrue) con il substrato⁵. L'assorbimento di solfati provoca la formazione di ettringite che ha come primo effetto il distacco di parti della matrice cementizia.

Manifestazioni del degrado associate al fenomeno

Fessurazione, incrostazione, biodeterioramento, erosione, carbonatazione, corrosione delle armature.



Note

⁴ BERTOLINI L., 2012, pp. 156-157.

⁵ FRANCESCHI S., GERMANI L., 2007, p. 84.

ANALISI DELLE MANIFESTAZIONI DEL DEGRADO

EFFLORESCENZA

Descrizione del degrado

Formazione di sostanze saline, generalmente di colore biancastro e di aspetto cristallino o pulverulento o filamentoso, sulla superficie del manufatto¹.

Localizzazione del degrado

Quando gli impasti presentano una porosità molto alta, si ha una maggiore possibilità di favorire la cristallizzazione dei sali. La presenza costante di acqua piovana o di irrigazione di vegetazione nei pressi dell'elemento architettonico incrementa la possibilità di comparsa del fenomeno. L'alterazione delle concentrazioni saline si manifesta, infatti, con l'incremento di acqua all'interno dell'impasto. I processi di idratazione/disidratazione, incrementati da continue variazioni di temperatura, possono provocare considerevoli variazioni di volume dei sali e di pressione interna al materiale.

Condizioni ambientali

La presenza di acqua e le condizioni climatiche, unitamente alle caratteristiche fisiche (porosità) dell'impasto, sono i principali parametri che influenzano il fenomeno. Le origini delle soluzioni saline, che sono alla base di questo fenomeno, possono provenire dal terreno (soprattutto nitrati e cloruri), dalla deposizione sulle superfici degli aerosol marini presenti sia nell'aria pura che in quella inquinata (cloruri e solfati), dal materiale utilizzato nell'impasto (es. negli aggregati calcarei possono essere presenti solfati di calcio e magnesio), oppure dai materiali adoperati per compiere risarciture durante i precedenti restauri².

Cause del degrado

La causa della formazione superficiale di questo tipo di fenomeno risiede nella porosità dell'impasto. Le efflorescenze sono provocate da una migrazione di acqua carica di sali dall'interno del substrato verso le superfici esterne; qui l'acqua evapora ed il sale si deposita e cristallizza sotto forma di sale idrato. Con l'abbassamento dell'umidità relativa dell'aria, dovuta all'innalzamento della temperatura (es. stagione primaverile), compaiono le efflorescenze che si manifestano con uno sfarinamento della "fioritura" cristallina³. I sali possono causare danni considerevoli quando cristallizzano nei pori e nei capillari. In questo caso si tratta di subefflorescenze e la dinamica del degrado cambia notevolmente. I sali cristallizzando, aumentano di volume. Le variazioni di temperatura e di umidità relativa dell'aria possono provocare cicli di espansione e contrazione dei cristalli di sale, generando stati tensionali all'interno dei pori del materiale provocando anche microfessurazioni e distacchi.

Note

¹ Raccomandazioni NORMAL - 1/88 Alterazioni macroscopiche dei materiali lapidei: lessico; Norma UNI 11182/2006 Beni Culturali. Materiali lapidei naturali ed artificiali. Descrizione della forma di alterazione - Termini e definizioni.

² FRANCESCHI S., GERMANI L., 2007, p. 85.

³ GASPAROLI P., 2002, p. 72.



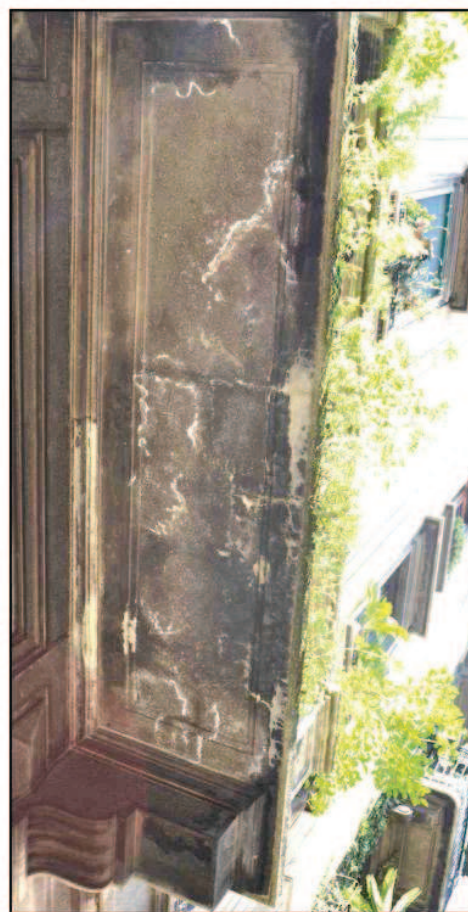
ANALISI DELLE MANIFESTAZIONI DEL DEGRADO

EFFLORESCENZA

L'azione del vento può attivare fenomeni di degrado correlati alla cristallizzazione dei sali: è il caso della presenza di acqua nei pori dell'impasto, dovuta all'umidità o alla pioggia; in questa circostanza, il vento accelera l'evaporazione superficiale dell'acqua contenuta dando luogo ad efflorescenze che innescano a loro volta fenomeni di distacchi di frammenti o parti a dimensioni variabili. In ultimo fenomeni di efflorescenza possono essere causati anche dalla presenza di protettivi che alterano la porosità del materiale e ne riducono la permeabilità e la velocità di evaporazione rispetto alla velocità di flusso dell'umidità⁴.

Manifestazioni del degrado associate al fenomeno

Fessurazione, distacco.



Note

⁴ GASPAROLI P, 2002, p. 75.

ANALISI DELLE MANIFESTAZIONI DEL DEGRADO

EROSIONE: PERDITA DEGLI INERTI

Descrizione del degrado

Asportazione di parte degli aggregati dalla superficie dell'impasto, dovuta a processi di natura diversa¹.

Localizzazione del degrado

Il fenomeno si presenta generalmente nelle zone umide, angolari e basamentali e dunque, maggiormente esposte agli agenti atmosferici e su materiali soggetti a prolungata insolazione, in zone a forte escursione termica giornaliera².

Condizioni ambientali

Quando il legante si disperde, gli aggregati minerali e le particelle iniziano a distaccarsi dalla tessitura strutturale integralmente o tramite una più lenta polverizzazione. Questo può avvenire in base all'esposizione o meno ad agenti atmosferici che consumano l'aggregato, come il ruscellamento continuo di acque meteoriche, la presenza di particelle solide nel vento che erodono le superfici, ma anche la presenza di microrganismi che con i propri prodotti metabolici possono accelerare il processo di consumazione dell'aggregato.

Cause del degrado

Il progressivo distacco dei granuli viene favorito dall'allargamento dei vuoti intergranulari per successiva dissoluzione del cemento³. Il fenomeno può essere dunque definito come una conseguenza dell'erosione della matrice cementizia.

Il logoramento della superficie si manifesta soprattutto per azioni di attrito e di fenomeni di corrosione per dissoluzione superficiale della calcite presente nell'impasto, operata dalle acque meteoriche che, nelle atmosfere inquinate, è tanto più rapida quanto più è alto il grado di acidità delle acque⁴. L'azione del vento è spesso causa di danni alle superfici, in particolare quando il vento, trasportando in sospensione minute particelle (sabbie, polveri, ecc...) produce erosione per abrasione degli strati corticali⁵. Infine occorre considerare anche l'eventualità di un'errata progettazione della miscela oppure di una messa in opera sbagliata; ciò può avvenire quando non si usano aggregati fini e si ha una percentuale superiore di elementi di grande diametro, oppure quando l'impasto non viene mescolato correttamente lasciando parti prive dello scheletro sabbioso.

Manifestazioni del degrado associate al fenomeno

Fessurazione, distacco, biodeterioramento.

Note

¹ Raccomandazioni NORMAL - 1/88 Alterazioni macroscopiche dei materiali lapidei: lessico.

² FRANCESCHI S., GERMANI L., 2007, p. 83.

³ *Ibidem*.

⁴ *Ivi*, pp. 76-77.

⁵ GASPAROLI P., 2002, p. 72.



ANALISI DELLE MANIFESTAZIONI DEL DEGRADO

EROSIONE: PERDITA DELLA MATRICE CEMENTIZIA

Descrizione del degrado

Dissoluzione della matrice cementizia portando alla luce la struttura degli aggregati. La perdita della matrice è caratterizzata da una decoesione tra le componenti. Si può verificare anche una segregazione dei componenti con presenza di cavità irregolari, superficie disgregata e inerti di maggior diametro in evidenza.

Localizzazione del degrado

Il degrado colpisce maggiormente le superfici esposte e particolarmente interessate dal passaggio continuo di persone e cose che determinano l'usura del materiale. Sono quindi colpiti in prevalenza i piani terreni degli edifici, i basamenti e le aperture come porte e finestre. Il fenomeno si verifica con la perdita di matrice legante e progressiva liberazione dei clasti dello scheletro (nidi di ghiaia¹). E' per questo motivo che è molto probabile riscontrare i nidi di ghiaia contemporaneamente all'erosione della matrice cementizia. La dissoluzione della matrice cementizia si riscontra anche nei casi in cui si è attivato un attacco solfatico e dunque in presenza di ioni solfati.

Condizioni ambientali

Il degrado si manifesta con maggiore intensità sulle superfici particolarmente esposte all'azione del vento, al ruscellamento dell'acqua piovana e alla presenza di sostanze acide che possono provenire dal terreno o dalle precipitazioni meteoriche². Infine, anche l'applicazione di impasti per risarcire delle mancanze, se realizzati con un composizione errata, può provocare dapprima l'erosione del legante a causa di reazioni chimiche tra gli impasti e successivamente un vero e proprio distacco della materia.

Cause del degrado

Il fenomeno inizialmente si manifesta con un aumento della rugosità superficiale, trasformandosi successivamente in una perdita di materia. E' legato agli agenti atmosferici (in prevalenza vento acqua) e all'azione antropica (passaggio continuo di persone, urti). In particolare, se associabile all'azione meccanica delle particelle trasportate dal vento, può essere denominata *erosione per corrasione*, se invece è legata al passaggio di persone o cose e all'usura, si può definire *erosione per abrasione*³. Quando la causa è legata a sostanze chimiche oppure microorganismi presenti sulla superficie dell'impasto e che rilasciano particolari enzimi o sostanze acide, si può definire *erosione per corrosione*⁴. Tale degrado si manifesta sulla superficie della maggior parte degli edifici, attraverso una progressiva eliminazione della matrice cementizia superficiale e facendo emergere lo scheletro degli aggregati.

Note

¹ FRANCESCHI S., GERMANI L., 2007, p. 95: << [...] I nidi di ghiaia possono verificarsi anche per segregazione dei componenti in fase di getto, caratterizzata da cavità irregolari e inerti di maggior diametro in evidenza. Di norma sono legati ad una insufficienza di aggregati fini, da una non corretta stesura dell'impasto nelle casseforme o da un eccesso di acqua nell'impasto con conseguente segregazione>>.

² DI BATTISTA V., *Il degrado delle materie*, in CATERINA G. (a cura di), 1989, pp. 271-339.

³ COLLEPARDI M., COPPOLA L., 1996, pp. 64-66.

⁴ FRANCESCHI S., GERMANI L., 2007, p. 86.



ANALISI DELLE MANIFESTAZIONI DEL DEGRADO

EROSIONE: PERDITA DELLA MATRICE CEMENTIZIA

Conseguentemente l'aspetto originale dettato dalle lavorazioni e dalle finiture dei blocchi in calcestruzzo che imitano la pietra naturale, viene progressivamente perduto.

In ultimo occorre considerare anche l'eventualità di un'errata progettazione della miscela oppure di una messa in opera sbagliata; in entrambi i casi potrebbe non esserci un'adeguata coesione tra il legante e gli aggregati, provocando il distacco tra i due componenti. Ciò può avvenire per esempio, quando l'impasto non viene mescolato correttamente e alcune parti dell'elemento risultano ricche di legante e povere di aggregati, depositati invece, in altre porzioni di impasto.

Manifestazioni del degrado associate al fenomeno

Fessurazione, distacco, biodeterioramento, nidi di ghiaia.



ANALISI DELLE MANIFESTAZIONI DEL DEGRADO

ETTRINGITE/THAUMASITE

Descrizione del degrado

Prodotti di degrado che modificano la superficie e il volume dell'impasto indurito; la loro formazione è dovuta all'azione dei sali solfatici sui materiali cementizi¹.

La reazione fra lo ione solfato SO_4^{2-} e gli alluminati, la calce libera e gli idrosilicati presenti nella matrice cementizia indurita, provoca la formazione di ettringite distruttiva. La thaumasite², invece, si forma a seguito della reazione tra solfato di calcio e i silicati idrati di calcio, che si generano durante l'idratazione del cemento³.

Localizzazione del degrado

Gli ioni solfato possono penetrare nel calcestruzzo quando è in contatto con acque o terreni nei quali sono disciolti questi ioni. Quando i solfati reagiscono con i costituenti della matrice cementizia danno luogo a prodotti espansivi. Possono così verificarsi rigonfiamenti che, partendo dagli spigoli e dagli angoli dell'elemento, generano fessure e disgregazione della materia⁴.

In presenza di particolari condizioni climatiche (bassa temperatura $<15^{\circ}C$ ed elevata umidità relativa $>95\%$), unitamente alla presenza di solfati, si verifica la trasformazione della matrice cementizia in thaumasite, ma gli effetti più critici si notano con temperature $<5^{\circ}C$ ⁵.

Condizioni ambientali

L'aggressività dell'ambiente aumenta al crescere del contenuto di solfati e se essi sono disciolti in acqua, sono più dannosi. Un impasto molto permeabile facilita l'ingresso dei solfati e dunque lo sviluppo del degrado⁶. Nei casi in cui è presente materiale a comportamento pozzolanico si nota uno sviluppo del fenomeno molto più lento e meno nocivo.

Ciò avviene perchè la reazione pozzolanica consuma l'idrossido di calcio ottenuta dall'idratazione del clinker, riducendo le conseguenze dell'attacco; inoltre porta un affinamento della microstruttura della pasta cementizia, rallentando la penetrazione dei solfati⁷. Per quanto riguarda la thaumasite, la reazione è complessa e, oltre alla presenza di solfati, richiede la presenza di calce libera e di anidride carbonica, quest'ultima derivante o dall'ambiente esterno o dagli aggregati calcarei stessi presenti nell'impasto.

Cause del degrado

L'attacco solfatico avviene generalmente secondo tre stadi: la penetrazione degli ioni solfato nella matrice cementizia; la loro reazione con l'idrossido di calcio per formare gesso ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$); la reazione del gesso con gli alluminati per dare composti espansivi come l'ettringite.

Note

¹ PAURI M., COLLEPARDI M., in "Il cemento", 1989, n.3, p. 177.

² $Ca_3(SO_4)_2[Si(OH)_6](CO_3) \cdot 12(H_2O)$

³ COLLEPARDI M., *E come Ettringite. Dott. Jekyll e Mr. Hyde*, in "enco journal/Archivio: Il meglio di enco journal/L'ABC del calcestruzzo", n. 5, <http://www.enco-journal.com/abc.html>.

⁴ BERTOLINI L., 2012, p. 160.

⁵ *Ivi*, p. 162.

⁶ *Ivi*, p. 161.

⁷ *Ivi*, pp. 161-162.



ANALISI DELLE MANIFESTAZIONI DEL DEGRADO

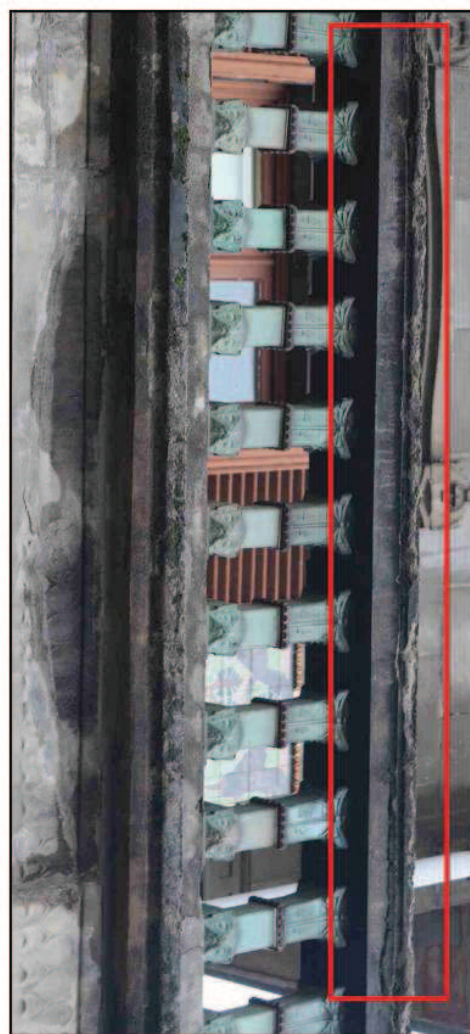
ETTRINGITE/THAUMASITE

L'ettringite, rispetto alla thaumasite, comporta maggiori effetti espansivi, dovuti sia all'accrescimento dei cristalli che al rigonfiamento dovuto all'assorbimento di acqua da parte di ettringite poco cristallina⁸. Essa può essere di due tipi⁹: distruttiva e non distruttiva. Risulta non distruttiva nel caso in cui si formi durante la preparazione della miscela, in quanto deriva dalla reazione tra idrossido di calcio e gesso, quest'ultimo aggiunto in fase di macinazione del clinker come regolatore della presa degli alluminati; in queste condizioni la formazione dell'ettringite è immediata (EEF Early Ettringite Formation) e avviene nella fase in cui l'impasto è ancora plastico e quindi in grado di deformarsi liberamente. L'ettringite è distruttiva (DEF Delayed Ettringite Formation) quando lo ione solfato proviene dall'esterno, venendo veicolato dall'acqua all'interno dei pori capillari della matrice cementizia. In questo caso reagisce con l'impasto già indurito, provocando un forte aumento di volume e le tensioni generate distruggono la superficie dell'elemento¹⁰.

Una reazione ancora più dannosa è la formazione di thaumasite, prodotto dell'attacco dei solfati verso i silicati di calcio (C-S-H). La matrice cementizia si trasforma così in un materiale incoerente e instabile. Questa reazione è ancora più pericolosa di quella che dà luogo alla formazione dell'ettringite, in quanto l'attacco avviene nei confronti degli idrosilicati da cui essenzialmente dipendono le caratteristiche meccaniche e di adesione delle paste cementizie¹¹.

Manifestazioni del degrado associate al fenomeno

Carbonatazione, corrosione delle armature, distacco.



Note

⁸ BERTOLINI L., 2012, p. 161.

⁹ TRAETTINO E., *Il degrado del cemento armato. Dinamiche, recupero e prevenzione*, Tesi di Dottorato in Ingegneria delle Costruzioni, 2006, p. 44.

¹⁰ MASSIDDA L., Le cause di degrado del calcestruzzo e delle opere in calcestruzzo armato, in "enco journal", anno XVI, n. 53, 2011, pp. 16-19, <http://www.enco-journal.com/journal/n.53.pdf>.

¹¹ COLLEPARDI M., in "Cement and Concrete Composition", n. 25, 2003, pp. 401-407.

ANALISI DELLE MANIFESTAZIONI DEL DEGRADO

FESSURAZIONE

Descrizione del degrado

Soluzione di continuità nel materiale che implica lo spostamento reciproco delle parti¹.

Le soluzioni di continuità possono essere²:

-un reticolo di fessure ad andamento irregolare, di diversa ampiezza e profondità, associati a crateri da popout irregolarmente diffusi.

-fessura da ritiro plastico, ad andamento lineare. Possono essere orizzontali o verticali e interessano spesso oltre la finitura anche il substrato.

-fessure da corrosione che interessano tutta la lunghezza dell'elemento e si sviluppano lungo la direzione delle barre di armatura a causa della loro corrosione. I bordi della fessura sono generalmente frastagliati e non complanari³.

Localizzazione del degrado

Le fessure possono essere rilevate: in prossimità di elementi metallici, in quanto essi hanno una diversa dilatazione termica rispetto all'impasto; in prossimità di infiltrazioni d'acqua; quando il livello di umidità è superiore all'80%; su elementi caratterizzati da un costante passaggio di persone o cose che aumentano la possibilità di erosione della superficie; laddove si sono radicati organismi vegetali, le cui radici provocano dapprima fessurazioni e successivamente fratture nell'elemento; sui copriferrì di spessore molto ridotto che tendono facilmente a fratturarsi provocando prima delle fessurazioni nella materia, poi dei distacchi; su elementi con forme complesse e presenza di incrostazioni; infine in corrispondenza di risarciture o aggiunte di materiale.

Condizioni ambientali

Tra le condizioni che favoriscono l'insorgere di fessurazioni sono da annoverare gli sbalzi termici che provocano dilatazioni nel materiale; le sostanze acide presenti nell'ambiente quali cloruri, solfati e alcali che vengono assorbite provocando effetti espansivi (azione solfatica); i ripetuti cicli di gelo-disgelo che provocano continui aumenti e riduzioni del volume dell'acqua all'interno dei pori dell'impasto. In ultimo, anche le condizioni ambientali presenti al momento della stagionatura che segue la messa in opera dell'impasto, possono provocare fessurazioni. Essa, infatti, se avvenuta in condizioni di elevate temperature, ha provocato un asciugamento repentino dell'acqua presente sulla superficie dell'impasto, generando fessure da ritiro.

Cause del degrado

La fessurazione si sviluppa in seguito a particolari metodi di lavorazione che agiscono sulla superficie in modo non uniforme oppure per la presenza di zanche o perni come fenomeno preliminare al distacco del materiale in seguito all'ossidazione del metallo. Nella pietra artificiale si manifesta come un reticolo di fessure ad andamento irregolare in seguito a fenomeni di carbonatazione e ritiro; le più ricorrenti cause di degrado riscontrate sono suddivisibili in quattro categorie: chimiche, biologiche, fisiche e meccaniche. Alcune di esse possono essere attribuite a problemi



ANALISI DELLE MANIFESTAZIONI DEL DEGRADO

FESSURAZIONE

tecnologici riferibili ad un impasto di qualità scadente, all'attacco chimico da parte di sostanze presenti nell'ambiente, allo spessore inadeguato di copriferro oppure a materiali di base non idonei. In molti dei casi, un fattore molto importante che può incentivare la manifestazione dei degradi, è lo scarso controllo della miscela posta in opera e la labile conoscenza riguardo le tecniche costruttive relative ad un materiale sperimentale.

Tra le cause chimiche possiamo annoverare l'attacco di solfati, cloruri, alcali, anidride carbonica e decalcificazione.

Quando sulle superfici compaiono microfessurazioni da cui emergono prodotti in forma gelatinosa biancastra, associate a pop-out (sollevamenti di piccoli conici di impasto), è possibile che si sia verificata una reazione alcali-aggregato, nota come attacco ASR (Alcali-Silica-Reaction). Tale fenomeno si manifesta quando sussistono contemporaneamente tre condizioni: i pori capillari della pasta cementizia si riempiono di acqua con alto contenuto di sodio e potassio; vi è una notevole presenza di aggregati silicei ed infine valori di umidità relativa pari o superiori all'80%.

Tra le cause biologiche si riscontra l'attacco di muschi, funghi e alghe.

Le cause fisiche includono le lesioni da ritiro, l'azione del gelo-disgelo e gli urti. Le fessure da ritiro possono essere di tipo plastico oppure igrometrico; entrambe sono associate alla variazione dimensionale del manufatto associata alla perdita d'acqua per evaporazione⁴. Il ritiro plastico si manifesta principalmente a poche ore dal getto e, soprattutto, in strutture dove il rapporto superficie/volume è alto e dove maggiore sarà la probabilità di evaporazione dell'acqua. Il ritiro plastico è, quindi, causato da una eccessiva perdita superficiale di acqua⁵.

Il ritiro igrometrico si manifesta lentamente nel tempo nel manufatto indurito ed è causato da una lenta perdita di acqua nel calcestruzzo. Perché questo fenomeno si verifichi è sufficiente che l'umidità relativa dell'ambiente scenda al di sotto del 95%.

Infine all'interno delle cause meccaniche è possibile collocare l'erosione e l'abrasione.

Manifestazioni del degrado associate al fenomeno

Macchie, colature, erosione, popout, biodeterioramento, carbonatazione, spalling, distacco.

Note

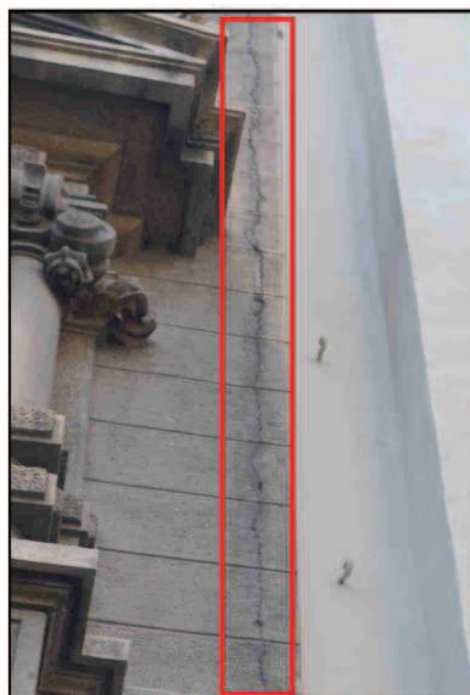
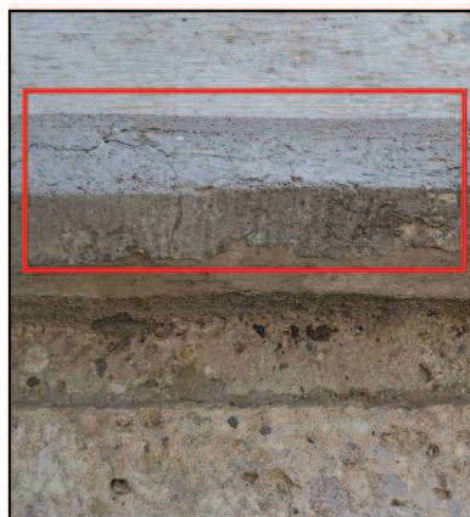
¹ Raccomandazioni NORMAL - 1/88 Alterazioni macroscopiche dei materiali lapidei: lessico; Norma UNI 11182/2006 Beni culturali. Materiali lapidei naturali ed artificiali. Descrizione della forma di alterazione - Termini e definizioni; CS TR 54 - Diagnosis of deterioration in concrete structures.

² DI BIASE C., ALBANI F., *Una questione di lessico*, in Di Biase C. (a cura di), 2009, pp. 333-343.

³ *Ivi*, p. 349.

⁴ MASSIDDA L., *Le cause di degrado del calcestruzzo e delle opere in calcestruzzo armato*, in "enco journal", anno XVI, n. 53, 2011, pp. 16-19, <http://www.enco-journal.com/journal/n.53.pdf>.

⁵ *Ibidem*.



ANALISI DELLE MANIFESTAZIONI DEL DEGRADO

GRAFFITO VANDALICO

Descrizione del degrado

Apposizione indesiderata sulla superficie di vernici colorate o sostanze estranee e potenzialmente dannose per il materiale su cui sono applicate¹.

Localizzazione del degrado

I graffiti sono generalmente collocati nella parte basamentale degli edifici, tuttavia essendo legati all'azione antropica non è possibile definire una esatta localizzazione.

Condizioni ambientali

Assenti in quanto il degrado è dovuto ad una errata azione antropica.

Cause del degrado

Azione volutamente nociva per l'edificio da parte dell'uomo.

Manifestazioni del degrado associate al fenomeno

Deposito superficiale, erosione: perdita della matrice cementizia.



Note

¹ Norma UNI 11182/2006 Beni culturali. Materiali lapidei naturali ed artificiali. Descrizione della forma di alterazione - Termini e definizioni.

ANALISI DELLE MANIFESTAZIONI DEL DEGRADO

INCROSTAZIONE

Descrizione del degrado

Deposito stratiforme, compatto e generalmente aderente al substrato, composto da sostanze inorganiche o da strutture di natura biologica¹.

Localizzazione del degrado

Le incrostazioni compaiono generalmente in aree non soggette a dilavamento diretto, dunque più protette. Solitamente compaiono sulle parti inferiori degli elementi aggettanti, all'interno di decorazioni dalla forma più complessa dove difficilmente si verifica un ruscellamento continuo dell'acqua e dove le sostanze estranee possono depositarsi più facilmente. La loro presenza può essere rilevata su impasti contenenti carbonato di calcio che viene trasformato in gesso dagli agenti inquinanti.

Condizioni ambientali

Le incrostazioni si manifestano in prevalenza in aree particolarmente umide, dove le radiazioni solari giungono con difficoltà e dove si depositano le sostanze inquinanti (per esempio il biossido di zolfo) e pulviscolari dell'atmosfera.

Cause del degrado

Deposito di sostanze inorganiche di tipo calcareo o solfatico. La formazione di uno strato superficiale di alterazione, duro, fragile, di morfologia diversa dal materiale originario e di colore diverso. Si verifica per la deposizione di carbonato di calcio da parte di acque circolanti, interessando solo porzioni limitate della superficie². Talvolta l'incrostazione può essere interessata anche dalla presenza di patina biologica, poiché la zona di umido e sporco che si viene a formare è terreno fertile per la formazione di microrganismi. Le incrostazioni sono legate ai cicli di bagnatura e asciugatura.

La crosta può anche essere costituita da materiale riconducibile a gesso ed in questo caso si manifesta come una superficie planare, molto scura e di un certo spessore su parti al riparo dal dilavamento diretto. Negli impasti a base di cemento Portland è causata dalla trasformazione del carbonato di calcio in solfato di calcio biidrato (gesso), operata dall'acido solforico originatosi dal biossido di zolfo presente negli ambienti urbani inquinati.

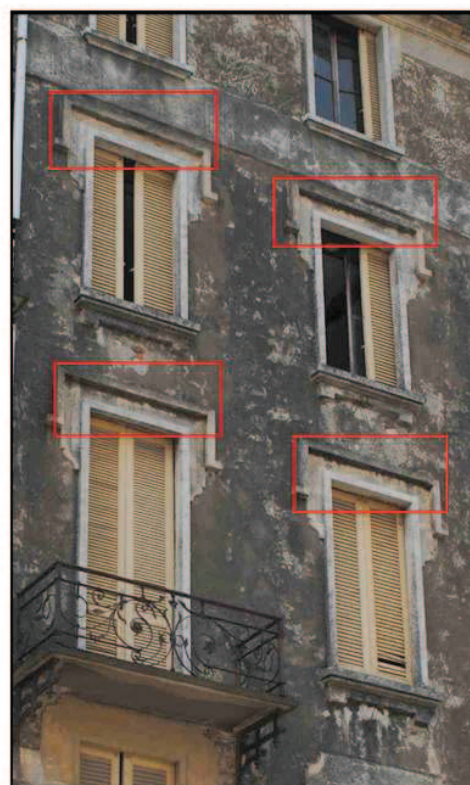
Manifestazioni del degrado associate al fenomeno

Deposito superficiale, biodeterioramento, distacco.

Note

¹ Raccomandazioni NORMAL - 1/88 Alterazioni macroscopiche dei materiali lapidei: lessico; Norma UNI 11182/2006 Beni culturali. Materiali lapidei naturali ed artificiali. Descrizione della forma di alterazione - Termini e definizioni.

² FRANCESCHI S., GERMANI L., 2007, pp. 78-80.



ANALISI DELLE MANIFESTAZIONI DEL DEGRADO

MACCHIA

Descrizione del degrado

Variazione cromatica localizzata sulla superficie correlata alla presenza di determinate sostanze estranee sulla superficie dell'elemento (acqua, prodotti di ossidazione dei materiali metallici, vernici, microrganismi)¹.

Localizzazione del degrado

Il fenomeno può manifestarsi in presenza di umidità e l'effetto aumenta in rapporto alla porosità e ai costituenti dell'impasto. Anche la presenza di ferri di armatura può comportare la formazione di ruggine e dunque di macchie sulla superficie². Le macchie di muffa compaiono negli angoli delle pareti, oppure in corrispondenza di assorbimento capillare elevato, o perdita di impianti di smaltimento delle acque meteoriche. Le superfici esposte costantemente all'azione delle acque meteoriche o su cui sono stati applicati protettivi che impediscono all'acqua di fuoriuscire, sono le principali localizzazioni delle macchie di umidità.

Condizioni ambientali

Le macchie possono essere differenti in rapporto alla causa che le ha generate: possono essere macchie di muffa se correlate all'esistenza di microrganismi vegetali estranei al substrato, e si manifestano in condizioni di umidità compresa tra 30 e 80%, scarsa ventilazione e temperatura compresa tra 0 e 40°C. Le macchie di ruggine sono connesse all'azione degli agenti atmosferici che ossidano e corrodono gli elementi metallici; i prodotti di tale corrosione vengono depositati sulla superficie esterna dall'acqua meteorica³. Infine le macchie di umidità si manifestano per l'elevato contenuto di acqua nell'elemento, dovuto all'assorbimento dall'esterno, per esposizione diretta alle precipitazioni meteoriche.

Cause del degrado

Le cause sono legate alla natura del materiale, alla messa in opera oppure ad interventi manutentivi. In molti casi gli elementi decorativi sono fissati con zanche o perni metallici che a contatto con l'aria possono ossidarsi e macchiare il materiale circostante di ruggine. Infine tra cause della presenza di macchie è l'uso di materiali, come le resine organiche, per sigillare i giunti tra le formelle realizzate a stampo. Esse infatti, possono macchiare i bordi degli elementi in cemento.

Manifestazioni del degrado associate al fenomeno

Deposito superficiale, biodeterioramento, fessurazione, distacco.

Note

¹ Raccomandazioni NORMAL - 1/88 Alterazioni macroscopiche dei materiali lapidei: lessico; Norma UNI 11182/2006 Beni culturali. Materiali lapidei naturali ed artificiali. Descrizione della forma di alterazione - Termini e definizioni.

² FRANCESCHI S., GERMANI L., 2007, p. 94.

³ *Ibidem*.



ANALISI DELLE MANIFESTAZIONI DEL DEGRADO

PRESENZA DI VEGETAZIONE

Descrizione del degrado

Presenza di individui erbacei, arbustivi o arborei¹.

Localizzazione del degrado

La presenza di vegetazione si manifesta con maggiore frequenza nelle aree in prossimità del terreno e degli impianti di smaltimento delle acque meteoriche. Gli impasti cementizi sono ricchi di sostanze nutritive che permettono la crescita di organismi vegetali; ciò accade, però, se vi è l'idonea esposizione solare e la presenza anche discontinua di acqua.

Condizioni ambientali

I parametri ambientali che maggiormente influenzano lo sviluppo e la crescita dei vari organismi vegetali sono: la luce, l'ossigeno, l'anidride carbonica e l'acqua. Le facciate interessate dall'umidità e da scarso irraggiamento solare sono una condizione ottimale per la proliferazione di tali organismi.

Cause del degrado

La porosità del substrato, l'umidità, la composizione mineralogica, l'apporto di sostanze organiche sono le prime condizioni che influenzano la possibilità di instaurarsi e svilupparsi di qualsiasi organismo vegetale. Tuttavia non meno importanti sono i fattori connessi all'esposizione e all'inclinazione delle superfici. Lo sviluppo dell'organismo vegetale, può innescare azioni di natura meccanica all'interno del substrato dovute allo sviluppo delle strutture di aggancio al substrato stesso, e di natura chimica dovute al rilascio di prodotti acidi ottenuti dal metabolismo della pianta. L'entità del danno dipende dalla diversa tipologia vegetale, in particolar modo riguardo alla struttura organica dell'apparato radicale². Spesso gli effetti dei degradi provocati dalle piante possono anche essere di tipo indiretto, per esempio quando la mancata insolazione di parti dell'edificio, per effetto delle zone d'ombra procurate dall'apparato fogliare, amplia il fenomeno latente di umidità, o favorisce la formazione di muschi e licheni³.

Manifestazioni del degrado associate al fenomeno

Biodeterioramento, fessurazione, erosione, distacco.



Note

¹Raccomandazioni NORMAL - 1/88 Alterazioni macroscopiche dei materiali lapidei: lessico; Norma UNI 11182/2006 Beni culturali. Materiali lapidei naturali ed artificiali. Descrizione della forma di alterazione - Termini e definizioni.

²GASPAROLI P., 2002, pp. 71-72.

³Ivi, p. 85.

ANALISI DELLE MANIFESTAZIONI DEL DEGRADO

RISARCITURA INCONGRUA

Descrizione del degrado

Applicazione di materiale riconoscibile per colore o texture differente dall'impasto in opera, che può presentare irregolarità nella superficie tra miscela originale e di nuova applicazione¹.

Localizzazione del degrado

Le risarciture incongrue dovute ad incompatibilità chimica possono essere per esempio, l'uso di gesso (prodotto acido) con prodotti basici (alluminato tricalcico), la cui reazione genera delle formazioni saline con conseguente sviluppo di ettringite. Anche la reazione alcali-aggregati può essere un effetto nocivo dovuto ad una risarcitura in cui gli aggregati non vengono adeguatamente controllati e selezionati; oppure quando si utilizzano malte con additivi fluidificanti contenenti cloruri.

Le risarciture risultano incongrue quando per esempio, si applicano impasti con valori di elasticità e porosità diversi da quelli del substrato (lo strato superiore deve avere valori uguali o superiori rispetto ai precedenti). Problemi possono manifestarsi anche nel caso di ricostruzioni volumetriche in cui il materiale di riparazione non ha aderito perfettamente al supporto, provocando fessurazioni nel punto di connessione, in seguito al ritiro; ma anche quando il materiale impiegato non è perfettamente impermeabile e dunque non impedisce la corrosione dei ferri di armatura².

Condizioni ambientali

Assenti poichè il degrado è dovuto ad una errata azione antropica.

Cause del degrado

In seguito alla formazione di fessure, distacchi oppure urti o danneggiamenti esterni, spesso ricorrono le risarciture. Tali rappezzi spesso non rispettano l'originale, in quanto le malte da reintegro sono costituite da un impasto che ha problemi di compatibilità con il supporto. Tali problemi sorgono in quanto l'impasto non ha somiglianza con l'originale. In molti casi gli interventi inadeguati vengono eseguiti con la volontà di ridare all'edificio una presunta immagine originale. I materiali utilizzati in fase di intervento, risultano incongrui quando si verifica una incompatibilità di tipo chimico e fisico-meccanico.

L'incompatibilità chimica si manifesta quando il materiale esistente reagisce con il nuovo materiale, attivando prodotti di neoformazione incontrollati che possono provocare degrado precoce. Le incompatibilità fisico-meccaniche riguardano le sovrapposizioni tra materiali che hanno comportamenti meccanici diversi e generano distacchi e fenomeni fessurativi³.

Manifestazioni del degrado associate al fenomeno

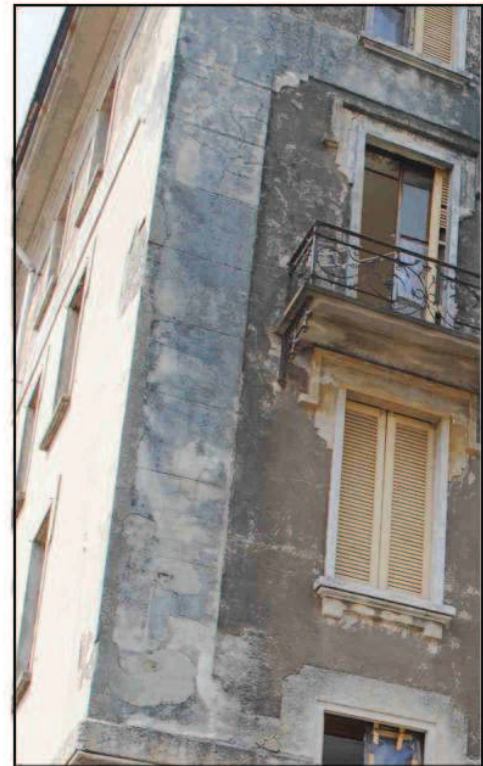
Fessurazione, distacco.

Note

¹ THE CONCRETE SOCIETY, *Concrete Society Technical Report n. 54. Diagnosis of deterioration in concrete structures (CS TR 54)*, in AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI) (a cura di), 2008, pp. 139-206.

² GASPAROLI P., 2002, pp. 91-92.

³ *Ivi*, p. 90.



ANALISI DELLE MANIFESTAZIONI DEL DEGRADO

SPALLING

Descrizione del degrado

Espulsione di elementi tridimensionali che si distaccano dalla massa dell'impasto a causa della corrosione delle barre di armatura, lasciando queste ultime scoperte¹.

Localizzazione del degrado

La perdita del copriferro è legata principalmente al suo spessore molto ridotto; per questo molto spesso si verificano perdite negli spigoli, negli angoli e alle estremità del materiale che presenta un'armatura metallica interna. Tali perdite possono verificarsi anche in prossimità di aree soggette al continuo passaggio di persone o cose, come le aperture e il basamento.

Condizioni ambientali

La perdita del copriferro può avvenire a causa della presenza di sostanze acide come i solfati e i cloruri che innescano altri fenomeni di degrado quali la formazione di ettringite e thaumasite; più semplicemente la presenza di anidride carbonica può innescare processi di carbonatazione che determinano molto presto la perdita dei copriferri; la presenza di acqua è tra le cause più frequenti di spalling; basti pensare alla vicinanza al mare e all'azione dell'aerosol marino, alle infiltrazioni dovute a fessure o distacchi e al ristagno d'acqua nell'impasto.

Cause del degrado

Una forma particolare di distacco è il distacco del copriferro; questo fenomeno comporta la disgregazione di parti di impasto con conseguente messa a nudo e corrosione dei ferri di armatura; il posizionamento dei ferri in punti critici (per esempio in prossimità dei gocciolatoi) e il ristagno di acqua favoriscono il distacco e la caduta del materiale. Lo spalling può però essere causato anche dalla carbonatazione dell'impasto, dall'ossidazione dei ferri di armatura, da uno spessore troppo ridotto di copriferro, quest'ultimo causa più frequente del fenomeno, o dall'esposizione della parte ad ambiente aggressivo (inquinamento atmosferico, aerosol marino, ecc....)².

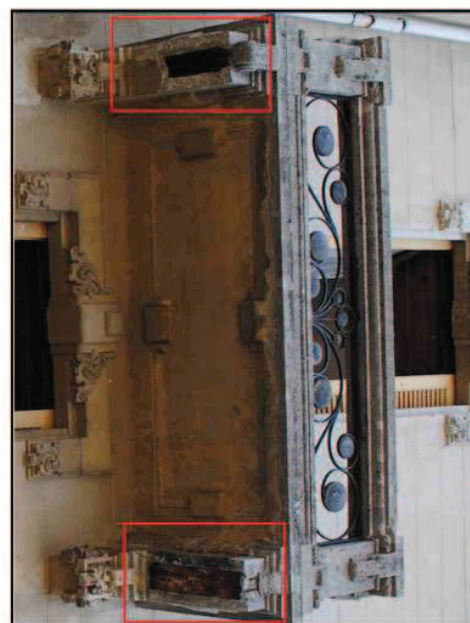
Manifestazioni del degrado associate al fenomeno

Macchie, fessurazione, distacco, corrosione delle armature.

Note

¹ DI BIASE C., ALBANI F., *Una proposta di lessico*, in DI BIASE C. (a cura di), 2009, scheda "Danni da corrosione delle barre d'armatura", p. 349.

² FRANCESCHI S., GERMANI L., 2007, p. 84.





4 LA CONSERVAZIONE DEGLI IMPASTI CEMENTIZI

«La conservazione delle caratteristiche dell'immagine architettonica rappresenta ancora la principale difficoltà: il problema ha sia risvolti tecnologici, legati all'individuazione dei materiali più idonei da utilizzare nella riparazione, sia teorici, a causa delle difficoltà legate alla valutazione dell'efficacia dell'intervento di ripristino»¹.

¹ GIORDANO L., MANCINI G., in "Concreto", n. 74, 2007, p. 52.

L'immagine alla pagina precedente ritrae un dettaglio decorativo appartenente all'edificio *Casa de la Madrina*, nel quartiere *El Grao*, a Valencia. A sinistra l'elemento degradato così come è stato ritrovato al momento dell'inizio dei lavori; a destra i lavori durante l'intervento di restauro. (Per gentile concessione dello studio *Mileto & Vegas Arquitectos*).

4.1 LA DEPERIBILITÀ DELLE ARCHITETTURE DEL PRIMO NOVECENTO

Alla fine del XIX e l'inizio del XX secolo, l'architettura europea è interessata dalla diffusione del linguaggio denominato Art Nouveau. Sviluppatisi in diversi paesi attraverso forme e materiali differenti, l'architettura di primo Novecento mantiene in ciascuna realtà un carattere di rinnovamento artistico e stilistico, che si manifesta attraverso un ricco apparato decorativo, che la distingue dai decenni successivi, aprendo all'uso di tecniche di costruzione innovative per l'epoca, realizzate con sistemi di prefabbricazione leggera in sito, tecnologie industriali di nuova concezione e con l'uso di materiali moderni (acciaio, cemento armato, ecc.)¹.

Tale periodo potrebbe essere considerato quasi un 'ponte' tra l'artigianato legato alle tecniche esecutive tradizionali e la produzione seriale legata all'innovazione industriale. I nuovi materiali sono impiegati per elementi strutturali e decorazioni di facciata; per la loro realizzazione vengono messe a punto diverse tecnologie di fabbricazione quali la creazione di stampi (stampi in gesso e legno per colare l'impasto cementizio), strumenti e tecniche per realizzare particolari texture di superficie (ad esempio il sale grosso viene sparso sulle casseforme adoperate per il getto del calcestruzzo, per ottenere l'aspetto finale del travertino) e naturalmente componenti innovative della miscela per il miglioramento degli impasti (ne sono un esempio i pigmenti e gli aggregati colorati aggiunti alle malte cementizie per ottenere una grande varietà di effetti cromatici).

Gli impasti cementizi non sono usati soltanto a livello strutturale o per il trattamento di superfici continue e piane o curve, ma in questo periodo essi sostituiscono in molte città l'uso della pietra naturale, in quanto abbatta i costi e lascia spazio alla creatività di cantiere. Gli elementi ripetuti sono frutto della prefabbricazione di cantiere e a questi si accostano a vere opere d'arte che caratterizzano l'aspetto del manufatto².

Tuttavia, proprio la sperimentazione di nuove tecniche costruttive e di materiali innovativi ha comportato, nel tempo, il sopraggiungere di problematiche relative alla conservazione di tali architetture. Ciò è dovuto a due motivazioni sostanziali: in parte alla mancata manutenzione delle architetture di primo Novecento, in taluni casi non ritenute bisognose di cura e salvaguardia, poiché "recenti"; in parte alla materia stessa che caratterizza questi edifici. Infatti, i materiali mai adoperati prima sono privi di un passato che ha permesso il consolidamento delle tecniche più idonee alla loro realizzazione e al loro mantenimento in uso. La sperimentazione è dunque causa stessa del rapido deterioramento di queste architetture.

A ciò si aggiungono diverse problematiche ricorrenti, legate in primo luogo all'ambiente urbano inquinato e in seconda istanza ad interventi di manutenzione che trascurano l'importanza rivestita dalla compatibilità dei materiali adoperati con quelli originali.

Alla luce di queste problematiche, occorre identificare idonee strategie di intervento, adatte a mettere in opera una corretta salvaguardia delle architetture novecentesche. Tali strategie dovrebbero basarsi su una conoscenza dettagliata dei materiali utilizzati nel periodo considerato, delle tecnologie di produzione e di esecuzione adottate, dei meccanismi di alterazione di tali materiali in ambiente inquinato, al fine di progettare e impostare materiali e tecniche di intervento adeguate.

Il percorso di conoscenza, sviluppato nei capitoli precedenti, ha permesso di individuare le principali 'esigenze' che si manifestano nel momento in cui si approccia all'edificio, con l'intento della sua salvaguardia. Tali esigenze possono essere meglio identificate come passaggi di uno studio utile a comprendere l'edificio e la sua storia; essi devono essere individuati e approfonditi, per fornire un background cono-

¹ ROMEO C. R. (a cura di), 2013, p. 9.

² *Ivi*, p. 10.

scitivo basilare per un intervento di conservazione coerente.

Le principali esigenze individuate possono essere così schematizzate:

- individuazione e catalogazione preliminare di edifici meritevoli di tutela attraverso l'analisi delle loro caratteristiche storico-architettoniche;
- indagini bibliografiche e di archivio dei materiali e delle tecnologie costruttive impiegate localmente alla fine del XIX e l'inizio del XX secolo;
- rilievo architettonico dello stato di fatto dell'edificio;
- indagini diagnostiche in situ e in laboratorio sui materiali e le strutture;
- indagine sulle interazioni rilevanti tra gli edifici e l'ambiente urbano;
- analisi del degrado dei materiali e individuazione delle cause che lo hanno generato.

In seguito alla sopracitata fase di studio, che permette di approfondire l'immobile oggetto di intervento, occorre intraprendere dei provvedimenti che permettano di intervenire sull'edificio in maniera coerente alla sua condizione e alla sua storia, per far sì che le conoscenze ottenute durante la fase di studio possano essere utili a garantire un restauro rispettoso della costruzione.

Allo stato attuale gli interventi eseguiti su architetture del Novecento sono vari e diversificati, in quanto non esistono delle prassi operative consolidate che inducano ad adottare delle strategie definite. Esistono dunque differenti modi operandi che in varia maniera agiscono sulle architetture.

Alla luce di quanto sopra esposto, è stata compiuta una ricerca, tra i restauri effettuati negli ultimi anni, sia in Italia che in Europa, su edifici risalenti ai primi anni del secolo scorso e sono state studiate due fasi principali per ciascun caso: la fase preliminare di studio e la fase operativa di intervento, con lo scopo di conoscere quali sono le prassi operative maggiormente diffuse. Di seguito si riporta una breve descrizione di ciascun intervento, comprendente una sintesi della storia dell'edificio e le modalità operative adottate in fase di restauro.

Ogni intervento opera in forma differente per la conservazione dell'edificio storico novecentesco.

Ciascun caso analizzato, infatti, mette in pratica diversi metodi operativi per la risoluzione delle problematiche presenti, pur partendo da fasi di analisi molto simili tra loro; l'analisi di questi casi, e nello specifico delle opere di restauro compiute, permetterà di portare alla luce quali sono i temi più problematici che riguardano il restauro delle architetture del XX secolo e quali sono le soluzioni finora adottate per risolverli. Tale analisi guiderà verso l'individuazione delle più corrette prassi operative da mettere in atto in fase di restauro, come coerente conclusione del processo di conoscenza seguito fino ad ora.

4.2 ALCUNI ESEMPI DI INTERVENTI DI RESTAURO

CASO 1: LA PALAZZINA LIBERTY

COLLOCAZIONE: PIAZZA DANTE, TRENTO

ANNO DI REALIZZAZIONE: 1920-21; modifiche sostanziali nel 1936

PROGETTISTA: MARCO MARTINUZZI

INTERVENTO DI RESTAURO: 2009-2014, PROGETTISTA: Arch. Giancarlo Conci del servizio Edilizia Pubblica, per la parte architettonica Studio S.A.B. di Perugia, per la parte relativa a strutture, impianti e sicurezza.

Il progetto è realizzato dall'architetto Marco Martinuzzi a partire dal 1920 e presenta una pianta quadrata con due piani e un ammezzato con loggia e due locali di servizio³.

³ Le informazioni storiche dell'edificio sono tratte da: TESSARIN D., *La Palazzina Liberty di Trento*, in ROMEO C. R. (a cura di), 2013, pp. 101-112.

Il prospetto lungo la via principale è caratterizzato da un apparato decorativo in pietra artificiale su progetto di Remo Stringari con fregi, stemmi, festoni e puttini in tipico linguaggio liberty; in corso d'opera vengono effettuate alcune modifiche rispetto al progetto originale, soprattutto in merito a queste decorazioni e alle aperture. I lavori terminano nel giugno del 1921. Nel 1936 si effettuano alcune modifiche nella distribuzione planimetrica; nel 1943 la palazzina viene danneggiata dai bombardamenti bellici, così nel 1946 il nuovo proprietario A. Armani presenta un progetto per la costruzione dell'attico con l'intento di creare delle stanze ad uso del personale. Nel 1950 la palazzina viene sottoposta a vincolo di tutela indiretta, per il vincolo preesistente sul giardino; nel 1962 alcune foto d'epoca mostrano uno stato di generale abbandono: intonaci scrostati, infissi danneggiati, vegetazione cresciuta sulle pareti, furto di quasi tutti gli arredi. Nel 1963 gli spazi interni subiscono una nuova ristrutturazione e negli anni '80 vengono eseguiti ulteriori lavori di adattamento degli impianti e degli arredi. Nel 1992 vengono eseguiti dei lavori per risolvere problemi di infiltrazioni d'acqua, realizzando su tre lati un'intercapedine aerata; in ultimo nel 2003 ulteriori lavori per la posa di guaine impermeabilizzanti sopra l'esistente. Successivamente anche gli uffici della SIT vengono spostati e l'edificio resta in stato di abbandono diventando dimora di senzatetto. Nel 2005 il Comune lo acquista e la Soprintendenza appone un vincolo diretto.

Il restauro⁴ si inserisce nel progetto di recupero del 2007 deciso dal Comune per realizzare la nuova biblioteca giovanile. Lo stato di fatto al momento dell'inizio dei lavori consta in un cedimento del corpo aggiunto nel 1936 per l'inadeguatezza delle fondazioni. I piani superiori sono in mattoni pieni con malta cementizia e calce idraulica. Tutta la struttura interna, caratterizzata da telai di travi e pilastri in cemento armato che sorreggono solai in latero-cemento, a causa di una scarsa conoscenza della tecnologia innovativa impiegata, presentano elementi debolmente armati e calcestruzzo poco coerente. Per i prospetti, tutte le aperture, ad eccezione di quelle lungo via Alfieri, risultano allargate ben oltre la lunghezza dell'architrave. Gli intonaci in facciata sono di malta di calce idraulica, cemento e sabbia silicatica fluvio-alluvionale; la tinteggiatura è stata realizzata in scialbo a tempera color ocra con supporto in stucco gessoso; essa si alterna alle parti in rilievo di colore grigio. I serramenti sono in legno per la maggior parte non più originali. L'apparato decorativo è costituito da parti in pietra calcarea locale come lo zoccolo e le colonne, mentre tutti i festoni, capitelli, cornicioni, fregi e stemmi sono in cemento lavorati con finitura "gradinata". Il cornicione, composto da una serie di moduli prefabbricati montati in opera, risulta particolarmente degradato a causa della scarsa manutenzione. L'edificio ha subito un intervento di restauro che ha dovuto confrontarsi con numerose problematiche, in parte risolte efficacemente. Per quanto attiene le parti in pietra artificiale, in primo luogo è stato compiuto uno studio mineralogico-petrografico della composizione degli impasti. Dopo le iniziali precisazioni inerenti i punti di prelievo, le finalità delle indagini e il tipo di analisi effettuate, sono stati studiati matrice e aggregato dell'impasto definendone rispettivamente: aspetto, colore e coesione per la prima e granulometria, morfologia superficiale, orientamento, distribuzione e addensamento per il secondo. Ciò ha permesso di comprendere che la maggior parte delle malte presenti sono costituite da una matrice in cemento con sabbia fluvio-alluvionale di granulometria da grossolana a fine e una composizione solo silicatica. L'impasto, con bassa porosità ed un rapporto legante/aggregato tra 1/3,5 e 1/4, è ben conservato poichè tenace e poco poroso.

Tali analisi hanno condotto verso una riproposizione degli impasti compatibili con l'originale, ma con cariche additive che si differenziano per colore, con l'intento di risultare distinguibili dall'esistente. Sono stati eseguiti, nello specifico, sia interventi di manutenzione volti a ripristinare gli elementi ammalorati e distaccati, che interventi di consolidamento attraverso iniezioni di malta compatibile.

⁴ Le informazioni legate all'intervento di restauro sono tratte da: CONCI G., *Il progetto di restauro e recupero*, in ROMEO C. R. (a cura di), 2013, pp. 113-123.

Per quanto riguarda invece gli elementi strutturali, è stato necessario intervenire sull'adeguamento statico degli orizzontamenti tramite demolizione e ricostruzione, in quanto si è ritenuto impossibile adeguare le strutture esistenti agli attuali livelli di sicurezza richiesti. I nuovi solai sono stati staccati dalle murature perimetrali per preservare queste ultime dal nuovo intervento; ciò è stato possibile reggendo i solai con quattro pilastri centrali; tuttavia l'assenza dell'attacco tra muro e orizzontamento ha dato la possibilità di intervenire ugualmente sulle pareti, posizionando delle contropareti interne, atte a migliorare le prestazioni termoacustiche dell'involucro edilizio e la collocazione delle dotazioni impiantistiche⁵.

Fig. 1 - Palazzina liberty di Trento: vista generale del prospetto principale durante l'intervento di restauro. Accanto è riportato un dettaglio di un cemento decorativo appena pulito, che mostra segni di erosione.

Il progetto prevede la realizzazione di una nuova scalinata esterna con accesso verso il parco, il mantenimento dell'ingresso principale su via Alfieri, la demolizione dei volumi successivi all'originale e adeguamenti impiantistici (es. nuovo ascensore). I lavori comprendono anche la riqualificazione del volume ad ovest, armonizzandolo con il contesto originale e proseguendo le modanature e i cornicioni (riprendendo il progetto presentato nel 1935); si esegue inoltre il restauro dei serramenti. Le opere sono a tutt'oggi in corso di ultimazione.



CASO 2: IL VILLINO MATRICARDI

COLLOCAZIONE: VIA CRISTOFORO COLOMBO, 80, GROTTAMMARE (AP)

ANNO DI REALIZZAZIONE: 1913⁶

PROGETTISTA: ING. CESARE BAZZANI

INTERVENTO DI RESTAURO: 2009, PROGETTISTA: SCONOSCIUTO

Il villino Matricardi, costruito a Grottammare per volere dell'ing. Matricardi, sorge all'interno di una fascia di costa contenuta tra la ferrovia e il mare, suddivisa in numerosi lotti, all'epoca liberi. Durante la costruzione del villino, realizzato su progetto dell'ing. Cesare Bazzani, Matricardi è proprietario di un'azienda di maioliche con la quale collabora Adolfo De Carolis, che produce le maioliche presenti nel villino⁷. La costruzione principale a due piani è a pianta quadrata. Verso il mare la planimetria è resa più articolata dall'ampio balcone poggiate su pilastri a base quadrata, con ampie finestre e una grande porta, fiancheggiata da due vetrate all'interno di un arco ribassato, mentre verso ovest è decorata dalla presenza della torretta. Sul lato meridionale è annesso un volume ad un solo piano che termina con una terrazza. Sul lato ovest, e precisamente sul basamento dell'altana, è scolpita una scritta che permette di risalire alla data di costruzione e al proprietario: «GMM/XX-VIII/

⁵ Le informazioni legate all'intervento di restauro sono tratte da: CONCI G., *Il progetto di restauro e recupero*, in ROMEO C. R. (a cura di), 2013, p. 118.

⁶ Alcune informazioni storiche dell'edificio sono tratte dal sito: <http://www.beniculturali.marche.it/Ricerca.aspx?ids=70550>.

⁷ Le informazioni legate all'intervento di restauro sono tratte da: MUNAFÒ P., TASSI C., PALOMBARINI E., *Conservazione e restauro di un edificio liberty nelle Marche: il villino Matricardi a Grottammare*, in GRECO A., QUAGLIARINI E. (a cura di), 2007, pp. 697-706.

MCMXIII», che indica «Giuseppe Maria Matricardi – 20 agosto 1913».

I quattro lati dell'edificio presentano un cornicione poggiante su mensole aggettanti, che creano un suggestivo effetto plastico. Al di sotto del cornicione sono collocate delle formelle in maiolica dipinta con festoni floreali e vegetali, realizzati dai decoratori Polci e Castelli, che lavoravano per la manifattura di maioliche del Matricardi. La torretta è uno degli elementi caratterizzanti il villino con i pilastri angolari che si espandono in maniera curvilinea per sorreggere l'ampia tettoia a padiglione con la decorazione ad affresco floreale e il parapetto in calcestruzzo ornamentale. Ad esse si aggiungono le decorazioni in stile hortiano⁸ che interessano le cornici delle finestre e delle porte, il marcapiano, il bugnato alla base della torretta, le maioliche dipinte e i festoni sotto il cornicione a metope e il basamento in pietra.

La struttura è caratterizzata da una maglia muraria portante in mattoni pieni; l'orizzontamento del primo e terzo solaio è in putrelle a doppio T, e voltine di mattoni pieni in foglio. Il secondo solaio è in laterocemento dello spessore di 14 cm con travetti in calcestruzzo armato dello spessore di 8 cm posti ad interasse di 25 cm. La copertura del torrino è in travi lignee ricoperte da pannelle in laterizio. Gli infissi esterni originali erano in legno ma sono andati perduti e sono stati sostituiti con altri di qualità scadente. Quelli interni invece sono ancora originali in legno e presentano un buono stato di conservazione. Gran parte della pavimentazione è di sostituzione e di qualità bassa..

Le condizioni di degrado, materico e strutturale, seppur non gravi, dell'edificio (sottoposto a vincolo dalla Soprintendenza per i Beni Architettonici e per il Paesaggio delle Marche) e il riuso di tipo residenziale previsto dal P.R.G. rendono necessario un intervento di restauro.

L'analisi e il rilievo si sono articolate partendo dall'indagine storica attraverso ricerche bibliografiche e d'archivio. È stato eseguito un rilievo geometrico volto a ricostruire la situazione attuale dello stabile, in quanto non congruente con lo stato di progetto riportato nei documenti d'archivio. In questa fase è stato redatto un rilievo specifico degli elementi appartenenti all'apparato decorativo; infine è stato svolto un rilievo tecnologico, tramite sondaggi, che ha permesso di raccogliere all'interno di appositi abachi i dati inerenti solai, pareti e infissi. In ultimo è stato compiuto un rilievo del degrado, tramite un'apposita analisi visiva diretta e indagini diagnostiche di laboratorio⁹.

La struttura non presenta particolari dissesti, sono invece rilevanti i degradi riscontrati sull'involucro esterno e le finiture. Visibile è lo stato di degrado del parapetto del terrazzo, realizzato in muratura intonacata, con rivestimento superiore in conglomerato cementizio e il parapetto della torretta in cemento. Degrado è visibile anche sui giunti di malta della muratura e croste nere caratterizzano il degrado degli elementi lapidei. Gli intonaci e gli affreschi sono contrassegnati da umidità e dilavamento diffusi.

L'analisi del degrado compiuta visivamente è stata integrata con un'indagine diffrattometrica a raggi X su mattoni, malte, intonaco, bugnato e cemento. I materiali sono stati prelevati dai punti di maggior degrado al fine di individuarne la causa. Dalle analisi è stato possibile dedurre che la principale causa di decadimento dei materiali è l'aggressione per agenti esterni; in modo particolare umidità e salsedine. I Sali trasportati per via capillare dall'acqua hanno causato nelle zone intonacate (finiture esterne e fregi) la formazione di efflorescenze e biodeterioramento. Il parapetto in calcestruzzo è degradato per corrosione delle armature e successiva espulsione del copriferro: l'analisi a raggi X ha evidenziato la presenza di ettringite prodotta dall'attacco di solfati.

Per quanto riguarda le parti strutturali, mentre le murature sono in buone condi-

⁸ Victor Horta (1861-1947), architetto belga, tra i padri dell'architettura europea in stile *Art Nouveau*.

⁹ Le analisi compiute hanno riguardato 11 campioni tra intonaci, malte e conglomerato cementizio. I prelievi sono stati autorizzati dalla Soprintendenza per i Beni architettonici e per il Paesaggio delle Marche. Le prove sono state eseguite presso il Dipartimento di Fisica e Ingegneria dei Materiali e del Territorio dell'Università Politecnica delle Marche.

zioni, i solai in ferro manifestano problemi maggiori di ossidazione; il solaio in laterocemento, invece, non risulta lesionato. Esso ha svolto la propria funzione grazie all'utilizzo di un impasto con valore di resistenza a compressione superiore al valore previsto dalla normativa dell'epoca, indicativo del fatto che è stato adoperato un conglomerato di buona qualità. Alla luce delle conoscenze acquisite con la fase di studio, sono stati individuati i punti di debolezza dell'edificio ed è stato redatto il progetto di restauro.

L'analisi del degrado, compiuta sugli elementi di finitura, permette di definire degli interventi volti alla protezione degli stessi dagli agenti atmosferici, individuati come causa principale del degrado. Solo nei casi in cui si è verificata una perdita di porzioni di materiale è stata effettuata, oltre alla pulitura, la reintegrazione con materiale della stessa composizione nel rispetto del dato materico e delle tecniche originarie. La scelta dei materiali per le reintegrazioni è ricaduta su prodotti reversibili, che non presentano incompatibilità chimico-fisica e che permettono il ripetersi di futuri trattamenti previsti nel piano di manutenzione periodica.

Per gli elementi di finitura, quali cornici, marcapiani e finto bugnato, si propone un trattamento protettivo successivo alla pulitura e reintegrazione delle parti mancanti tramite materiale simile all'originale per composizione e colore.

Per il calcestruzzo del parapetto dell'altana, degradato dalla corrosione delle armature, viene eseguita una pulitura delle parti interessate soprattutto da ettringite, la rimozione delle parti distaccate e la loro reintegrazione tramite l'uso di malta pozzolanica o calce idraulica con l'aggiunta di filler pozzolanici (in modo da non creare distacchi nel contatto con le parti originali); infine applicazione di trattamento protettivo.

Per il coronamento del parapetto del terrazzo di copertura, costituito da inerti e legante idraulico, si effettua una rimozione del materiale ammalorato, una reintegrazione delle parti mancanti con materiale simile e l'applicazione di un trattamento idrofobizzante.

A livello strutturale, l'intervento prevede la conservazione di tutte le partizioni orizzontali e verticali presenti attraverso l'adeguamento normativo. Per il solaio in laterocemento in buono stato di conservazione, ma necessitante di un rinforzo nell'ottica di un riuso residenziale, viene realizzata una soletta armata all'estradosso, collegata al solaio esistente tramite connettori metallici a piolo. Le barre di armatura, inserite nel nuovo getto, sono ancorate alle murature portanti e collegate ai connettori, disposti lungo le nervature del solaio.

Fig. 2 - Villino Matricardi prima e dopo l'intervento.



CASO 3: PROGETTI ESEGUITI CON IL PROGETTO EUROPEO ROCARE

Il progetto europeo intitolato ROCARE (Roman Cements for architectural restoration to new high standards) è un progetto finanziato nell'ambito del 7° Programma Qua-

dro della Commissione Europea (Codice identificativo dell'invito FP7-ENV-2008-1, numero di progetto 226.898) che si occupa del restauro delle facciate dei palazzi di fine Ottocento e inizio Novecento in cui è presente il "roman cement", impasto cementizio definito come "romano".

I Cementi romani rappresentano un gruppo quasi dimenticato di leganti idraulici impiegati per la decorazione delle facciate del patrimonio architettonico di un gran numero di città europee costruito tra il XIX e XX secolo¹⁰.

Il progetto svolto tra il 2009 e il 2012 ha visto la partecipazione di 14 partners provenienti da 7 differenti paesi europei e ha coinvolto università, piccole e medie imprese e istituti di ricerca pubblici e privati, con l'obiettivo di recuperare la tecnologia del cosiddetto cemento romano¹¹.

Il processo di studio è stato strutturato in modo tale da includere diverse tematiche; partendo dall'analisi della produzione del cemento romano, si è passati alle analisi scientifiche e i consigli per il processo di produzione; il passo successivo ha riguardato la progettazione delle malte, le prove di laboratorio e le applicazioni pratiche, per concludersi con l'ingresso nel mercato dei prodotti sperimentati, le dimostrazioni e infine le pubblicazioni¹². L'output di questo progetto di ricerca è stata la realizzazione di malte compatibili per l'applicazione nel campo del restauro degli edifici storici e la produzione di cementi speciali e specifici, capaci di soddisfare la domanda dei mercati regionali del restauro.

L'obiettivo è quello di combinare la conoscenza di questo legante storico con aspetti moderni della sua fabbricazione, l'uso e la commercializzazione. Tale interesse è maturato in seguito al censimento dell'enorme stock di edifici diffusi in gran parte dell'Europa centrale e provenienti dal linguaggio Art Nouveau e modernista che presenta le facciate caratterizzate da un larghissimo uso del cemento romano.

Il cemento romano è un legante idraulico naturale, derivato da marne e calcari contenenti argilla. Questa combinazione naturale di materia calcarea e argillosa viene sottoposta a calcinazione, con temperature di sinterizzazione comprese tra gli 800 e i 1200 ° C e a macinazione delle pietre cotte per produrre un legante di notevole resistenza e durata¹³.

Questo materiale ha tempi di presa molto rapidi (anche 7 minuti), dopo l'aggiunta di acqua, manifestando un ritiro minimo. Lo sviluppo della resistenza nel cemento romano è particolare: dopo la presa, l'aumento della resistenza è relativamente lento, ma, dopo diversi mesi, i valori di resistenza a compressione registrati sono simili, o addirittura superiori, a quelli dei cementi Portland¹⁴.

Di seguito sono riportati alcuni tra i casi selezionati e presi in considerazione dal progetto europeo; tali edifici sono alcune tra le principali costruzioni presenti in numerose città europee e realizzate tra la fine dell'Ottocento e l'inizio del Novecento ed in cui il principale materiale adoperato nelle facciate è il cemento romano. I finanziamenti pubblici e privati del progetto di ricerca hanno dato la possibilità di effettuare un progetto di restauro delle facciate di queste costruzioni, sperimentando modalità esecutive, materiali compatibili e strategie di intervento, con l'intento

¹⁰ WEBER J., *Roman cement - forgotten historic binder of Europe's built heritage. EU research projects ROCEM and ROCARE*, in "RENOVA Info-Day Warszawa", 25-05-2012, <http://www.rocare.eu/page/imgt/file/Weber.pdf>.

¹¹ INSTITUTE OF ART AND TECHNOLOGY CONSERVATION SCIENCES (IATCS), University of Applied Arts Vienna, *About Roman cement and the ROCARE-project*, <http://www.rocare.eu/page/seite/about-us.html>.

¹² Nello specifico il prof. W. Schwarz si è occupato della produzione del cemento, il prof. M. Koller si è occupato del patrimonio storico e artistico europeo, il prof. C. Gosselin della composizione e idratazione dei cementi, il prof. B. Lubelli delle malte resistenti alle acque marine, il prof. K. Bayer della microstruttura del legante, il prof. D. Hughes della formulazione della malta e della standardizzazione del prodotto e infine i proff. G. Hilbert e C. Gurtner, dell'applicazione nel restauro.

¹³ Le notizie riportate e riguardanti il cemento romano, sono tratte dalle pagine web ufficiali del progetto di ricerca europeo ROCARE: <http://www.rocare.eu/page/seite/roman-cement.html>.

¹⁴ BAYER K., WEBER J., *Hydratation und Bindemittelgefüge von Romanzementmörteln/Matrixmikrostruktur*, <http://www.rocare.eu/page/seite/download-of-conference-presentations.html>.

di effettuare restauri compatibili e rispettosi del testo originale¹⁵. Si è scelto di riportare l'esempio di quattro restauri effettuati, selezionati in base all'epoca di costruzione di ciascun edificio, alla presenza e all'uso dell'impasto cementizio in facciata.

CASO 3A: EDIFICIO SCOLASTICO COMUNALE

COLLOCAZIONE: WAŚKA 3-5, CRACOVIA, POLONIA

ANNO DI REALIZZAZIONE: 1908-1910

PROGETTISTA: JAN ZAWIEJSKI

INTERVENTO DI RESTAURO: 2009-2010

PROGETTISTA: MARCIN BŁASZCZYK

L'edificio oggetto dell'intervento¹⁶ è un monumentale edificio scolastico comunale in mattoni combinato con modanature in cemento romano e intonaco. Nonostante il progetto e le forme moderne, sono evidenti delle reminiscenze di architettura neogotica come archi a sesto acuto. Uno stemma della città, in pietra policroma, è il principale elemento decorativo della facciata laterale. Il piano terra è interamente rivestito da intonaco e decorazioni caratterizzate da bugne, modanature semplici e cornici attorno porte e finestre realizzate con cemento romano. Il rivestimento ad intonaco è steso su pareti in muratura portante in spessori di poco più di 1 cm e costituito da un primo strato in intonaco a grana grossa e da una seconda mano a grana fine che rappresenta la finitura finale. Tale rivestimento risulta danneggiato in molti punti.

Dalle sezioni sottili si ricava che tale intonaco è rivestito da una pellicola di vernice applicata molti anni più tardi, ma che nel tempo ha subito delaminazioni e alterazioni, rivelando il colore originale del substrato in cemento romano.

L'edificio presenta anche un degrado antropico dovuto alla presenza di graffiti vandalici.

Tale edificio è una delle 12 scuole comunali costruite a Cracovia tra 1879-1914 con facciate decorate con stucchi di cemento romano.

L'intervento, iniziato nel 2009, ha riguardato il restauro della facciata ed è stato realizzato grazie ad una sovvenzione da parte del Comitato Cittadino delle Ristrutturazioni dei Monumenti di Cracovia, SKOZK.

L'obiettivo del restauro è l'utilizzo di materiali compatibili con il cemento romano e gli stucchi originali.

I lavori di restauro sono stati preceduti da indagini tecniche diagnostiche su malte e decorazioni per determinare la stratigrafia originale e colore. Sono state preparate, successivamente, un certo numero di malte di riparazione prodotte dalla ditta tedesca Remmers Baustofftechnik GmbH. Dopo tali tentativi è stata individuata una miscela che produce un risultato estetico finale ottimale.

Per quanto riguarda le fasi dell'intervento, dopo la pulizia abrasiva utilizzando miscela di aria, acqua e sabbia di quarzo, lo stucco in cemento romano è stato protetto con uno strato di rivestimento sottile (2-3 mm). Il materiale da adoperare è stato individuato in cantiere, miscelando malte di riparazione prodotte dalla sopracitata ditta tedesca, mettendo insieme cemento romano con aggiunta di sabbia di quarzo, pigmenti minerali e un filler ritardante.

Il restauro è stato completato nel 2010. L'intervento di conservazione ha ripristinato l'aspetto originale della facciata, in particolare il colore e consistenza dello stucco in cemento romano.

Per garantire l'idratazione del legante contenuto nell'impasto non sono stati adoperati impregnanti contenenti agenti idrorepellenti. Le aree biancastre, manifestatesi

¹⁵ KOZŁOWSKI R., WEBER J., HUGHES D.C. (a cura di), *Roman cement - key materials of the built heritage of the nineteenth century*, in BOTENARU DAN M., PØIKRYL R., TÖRÖK Á. (a cura di), 2010, pp. 259-278.

¹⁶ Le informazioni relative alla storia e il restauro dell'edificio sono tratte da: <http://www.rocare.eu/page/seite,conservation-projects-using-roman-cement-technology.html>.

in seguito all'asciugatura della superficie, sono dovute alla migrazione di calce verso l'esterno e sono state accettate come l'aspetto naturale della malta cementizia restaurata.



Fig. 3 - Dettaglio del portale di ingresso dell'edificio scolastico comunale prima e dopo l'intervento.

CASO 3B: SUSKI APARTMENT HOUSE

COLLOCAZIONE: GRODZKA 26, CRACOVIA, POLONIA

ANNO DI REALIZZAZIONE: 1906-1910

PROGETTISTA: WŁADYSŁAW EKIELSKI

INTERVENTO DI RESTAURO: 2009-2010

PROGETTISTA: POLSKIE PRACOWNIE KONSERWACJI ZABYTKÓW S.A., THE KRAKOW BRANCH, POLAND

L'edificio oggetto dell'intervento¹⁷ occupa una posizione d'angolo nel centro della città di Cracovia. La facciata è stata progettata seguendo l'abitudine diffusa a Cracovia all'epoca della costruzione e cioè una modernizzazione del linguaggio delle epoche precedenti. Gli intonaci e le decorazioni in cemento romano si accostano ai dettagli architettonici decorativi in pietra.

Il restauro della facciata è stato effettuato tra il 2009 e il 2010 e anch'esso è stato finanziato attraverso una sovvenzione da parte del Comitato Cittadino delle Ristrutturazioni dei Monumenti di Cracovia, SKOZK.

I lavori di restauro comprendono il ripristino delle parti mancanti e ammalorate in cemento romano e il recupero degli elementi in pietra naturale. Il cemento romano è stato preservato in molti punti della facciata dalla presenza di uno strato di tinteggiatura applicato successivamente alla realizzazione e che ha permesso di risalire al colore originale della facciata.

Gli impasti in cemento romano sono stati integrati attraverso un sottile strato di malta cementizia romana rivestito con una pittura idrorepellente al silicone; entrambi questi prodotti sono stati formulati dall'"Istituto della Ceramica e materiali da costruzione", Filiale di "Vetro e Materiali da costruzione" a Cracovia, Polonia.

¹⁷ Le informazioni relative alla storia e il restauro dell'edificio sono tratte da: <http://www.rocare.eu/page/seite,conservation-projects-using-roman-cement-technology.html>.

Fig. 4 - Dettaglio delle modanature del Suski apartment prima e dopo l'intervento.



CASO 3C: MUNICIPALITY OF THE CITY OF KRAKOW

COLLOCAZIONE: POSELSKA 12–14, KRAKOW, POLAND

ANNO DI REALIZZAZIONE: 1908–1913

PROGETTISTA: JAN RZYMKOWSKI

INTERVENTO DI RESTAURO: 2008

PROGETTISTA: BUDMET SPÓŁDZIELNI RZEMIEŚLNICZA, KRAKOW, POLAND.

Dal 1860, la sede principale delle autorità municipali è il palazzo Wielopolski costruito nel XVI secolo e adattato alla necessità del Comune.

L'edificio si rivela presto troppo piccolo per soddisfare le esigenze del Consiglio Comunale e gli uffici comunali. Nel 1903, viene dunque organizzato un concorso di architettura per la progettazione di una nuova sede di rappresentanza del Municipio ma alla fine si decide di costruire solo una nuova ala legata all'edificio esistente. Le facciate sono caratterizzate dall'uso di impasto in cemento romano, adoperato sia per gli intonaci che per gli elementi decorativi, molti dei quali sono anche realizzati in pietra naturale. Un fregio dipinto mostra gli stemmi della città e di alcuni comuni fusi nel 1910 per formare la Grande Cracovia.

Il restauro¹⁸ della facciata è stato effettuato nel 2008, con una sovvenzione da parte del Comitato Cittadino delle Ristrutturazioni dei Monumenti di Cracovia, SKOZK.

I lavori di restauro riguardano il rifacimento delle facciate dell'edificio, recuperando l'aspetto originale degli elementi realizzati con impasti di cemento romano e degli elementi in pietra naturale e il fregio.

Lo stucco in cemento romano è stato coperto da un successivo strato di cemento comune, la cui eliminazione ha in parte permesso di riscoprire la superficie originale. Dopo la rimozione del secondo strato di cemento, sono venute alla luce le alterazioni dell'aspetto originale dell'impasto: macchie dovute alla presenza di sali, umidità e depositi superficiali accompagnate da un fitto reticolo di fessure.

Con l'intervento di restauro sono stati reintegrati i distacchi e le mancanze, attraverso l'applicazione di un sottile strato di malta di cemento romano rivestito con una pittura idrorepellente; entrambi i prodotti sono formulati dall'Istituto della Ce-

¹⁸ Le informazioni relative alla storia e il restauro dell'edificio sono tratte da: <http://www.rocare.eu/page/seite,conservation-projects-using-roman-cement-technology.html>.

ramica e materiali da costruzione", Filiale di "Vetro e costruzione dei Materiali" a Cracovia, Polonia.



Fig. 5 - Dettaglio delle modanature delle aperture del municipio prima e dopo l'intervento.

CASO 3D: TRADE ACADEMY

COLLOCAZIONE: KAPUCYŃSKA 2-4, KRAKOW, POLAND.

ANNO DI REALIZZAZIONE: 1904-1906

PROGETTISTA: JAN ZAWIEJSKI

INTERVENTO DI RESTAURO: 2005-2007

PROGETTISTA: AC KONSERWACJA ZABYTKÓW, PIOTROWSKI, KOSAKOWSKI SPÓŁKA JAWNA, KRAKOW, POLAND.

L'oggetto dell'intervento¹⁹ è un edificio scolastico che occupa una posizione d'angolo di primo piano nel centro della città, in una zona urbana densamente edificata. Progettato in stile tra storicismo, Art Nouveau e Modernismo viennese, il progettista ha impiegato una grande varietà di materiali decorativi. Il materiale dominante della facciata è l'impasto di cemento romano, combinato con pietra, ornamenti in metallo e archi in mattoni. Un restauro su vasta scala delle facciate dell'edificio è stato effettuato tra gli anni 2005-2007 utilizzando i finanziamenti del Comitato Cittadino delle Ristrutturazioni dei Monumenti di Cracovia, SKOZK.

I materiali e le tecniche utilizzate in questo progetto di restauro sono stati sviluppati basandosi sui risultati di due progetti di ricerca: il Progetto ROCEM del 5° programma quadro della Commissione europea (2003-2005) e il progetto 'Implementation of the Roman cement technology into the practical conservation of the monuments' supportato da una sovvenzione tra il Ministero della scienza e dell'istruzione superiore polacco all'interno del Programma Operativo Settoriale Improvement of the Competitiveness of Enterprises'(2005-2008).

I lavori di restauro sui cementi romani sono stati portati a compimento attraverso la pulitura delle superfici, eseguita con l'uso di acqua vaporizzata. Questa fase ha rivelato la superficie originale del cornicione. Nelle aree caratterizzate da mancanze e distacchi è stato posato in opera un sottile strato di finitura di cemento romano (2-3 mm) per reintegrare le superfici dell'impasto. Il ripristino è stato effettuato ricostruendo le forme semplificate degli elementi mancanti utilizzando materiale fotografico d'archivio e disegni architettonici originali.

I ripristini sono stati eseguiti sulle parti delle torrette decorative, presenti sulla parte superiore dell'edificio, in cui si sono verificate notevoli perdite del materiale originale.

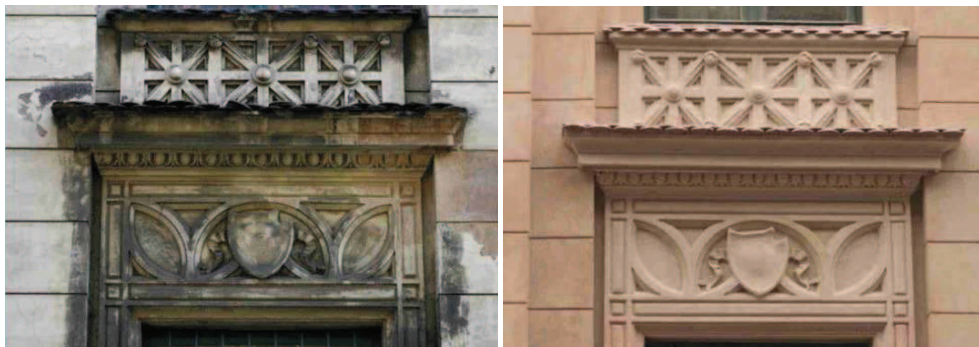
¹⁹ Le informazioni relative alla storia e il restauro dell'edificio sono tratte da: <http://www.rocare.eu/page/seite,conservation-projects-using-roman-cement-technology.html>.

La parte mancante della cornice viene ricostruita applicando in situ della malta e modellandola con un profilo in legno lavorato riprendendo la forma originale, ma semplificata.

L'intervento di conservazione ha recuperato il concetto estetico originale della facciata, in particolare il colore e la texture dell'impasto in cemento romano. Il colore applicato sulla parte restaurata della facciata corrisponde al colore originale visibile nei punti della facciata ancora non restaurata (visibile a sinistra nella foto), dove la pittura originale non è andata perduta.

Per ottenere un aspetto uniforme della facciata ed evitare macchie più scure nelle zone bagnate dalla pioggia, si è scelto di utilizzare degli impregnanti idrorepellenti stesi come protettivi finali sulla facciata.

Fig. 6 - Dettaglio delle decorazioni sopra le aperture prima e dopo l'intervento.



CASO 4: IL VILLINO ASTENGO

COLLOCAZIONE: LUNGOTEVERE DE' CENCI, ANGOLO VIA DEL TEMPIO, ROMA

ANNO DI REALIZZAZIONE: 1914

PROGETTISTA: EZIO GARRONI (DECORAZIONI DI GIUSEPPE ZINA)

INTERVENTO DI RESTAURO: 2000-2002

PROGETTISTA: ARCH. FRANCESCO D'ASARO

L'edificio è una dei più felici esempi del Liberty romano. La costruzione è inserita nel progetto di risanamento del Ghetto del 1885²⁰. Viene realizzata dall'arch. E. Garroni, per i fratelli Astengo, a partire dal 1914, ma negli anni cambia più volte proprietario, fino ad essere acquistata da due società private nel 1969²¹. L'edificio si compone di tre piani, seminterrato compreso, e ha una volumetria ed un'ornamentazione molto sobria e i prospetti rivelano la ripartizione e le funzioni degli ambienti interni. Il complesso ha quindi un taglio moderno e funzionale. La decorazione si avvale di una elegante stilizzazione d'elementi barocchi. Le quattro figure femminili allegoriche, poste sotto il tetto aggettante, tra cui La Giustizia e La Scienza, alludono all'attività dei proprietari, fratelli Astengo.

Uno strato uniforme di tinteggiatura risalente agli anni '40, unitamente al precario stato di conservazione, impedisce di leggere la ricchezza delle decorazioni ispirate all'Art Nouveau, a motivi geometrici e al linguaggio secessionista viennese e gli affreschi posti in sommità alle paraste.

Tra il 1969 e il 1970 viene eseguito un intervento che prevede delle lavorazioni rivelatesi improprie e che hanno alterato l'integrità dell'immagine originale. Solo successivamente, nel 1976²², il palazzo viene sottoposto a vincolo di tutela ai sensi della

²⁰ RACHELI A. M., *La demolizione e ricostruzione del quartiere del Ghetto (1885-1911)*, in AA.VV., 1984, pp. 436-441.

²¹ Le informazioni relative alla storia e il restauro dell'edificio sono tratte da: CAJANO E., D'ASARO F., TALANI M., *Il restauro del villino Astengo in Roma*, in BISCONTIN G., DRIUSSI G. (a cura di), 2004, pp. 929-930.

²² 1976. Decreto di vincolo n. 159366 del Ministero per i Beni Culturali e Ambientali.

Legge 1089/1939.

L'intervento di restauro, il cui direttore dei lavori è l'arch. Francesco D'Asaro, è finalizzato al risanamento conservativo delle facciate e della copertura. La prassi operativa seguita ha previsto un'accurata fase iniziale di analisi che ha permesso il ritrovamento degli elaborati originali²³ dell'architetto. Successivamente è stata affrontata la fase del rilievo, integrandolo con il materiale bibliografico reperito. La facciata dell'edificio è caratterizzata da una partitura architettonica di ispirazione tardo-manierista con un ordine gigante costituito da trabeazione-paraste-basamento e tre tipologie di cornici sulle finestre decorate con festoni floreali e accompagnate da dentelli, listelli e gole.

I frontoni e i coronamenti delle paraste si articolano in sistemi di aggetti, mensole e gruppi scultorei. Le pareti sono decorate, inoltre, da due varianti di bugnato: "gentile" nei fondi e "a fasce" nel basamento.

Sono stati compiuti studi di manuali dell'epoca, per determinare la tecnica esecutiva adoperata nella realizzazione degli elementi sopra descritti, deducendo che le cornici con spessori modesti sono realizzate fuori opera e montate a settori; quelle con dimensioni maggiori si realizzano fuori opera e poi si fissano al resto tramite zanche metalliche. Tutti gli elementi sono poi raccordati manualmente dallo stuccatore. La maggior parte di questi piccoli elementi è stata realizzata fuori opera. Per quanto riguarda le lesene che scandiscono i prospetti: le basi e i capitelli sono formati a stampo e la parasta è in muratura e rifinita a modine. L'ordine superiore è caratterizzato dalle figure femminili delle Virtù, rappresentate in quattro pannelli dipinti a tempera. Il bugnato del basamento è realizzato con modine e marciamodine d'appoggio, mentre il bugnato "gentile" è realizzato con incisioni lineari con la punta della cazzuola sull'intonaco fresco. Gli elementi scultorei (composizioni floreali, figure, capitelli, pannelli dei parapetti ecc..) sono invece realizzati con stampi adeguati. L'impasto preparato è costituito da cemento in polvere e sabbia asciutta con bagnatura successiva e poi versato nello stampo con spessore di circa 3cm. La forma ottenuta viene poi riempita all'interno con una malta fluida con inerti grossolani e infine completata con l'inserimento delle armature metalliche.

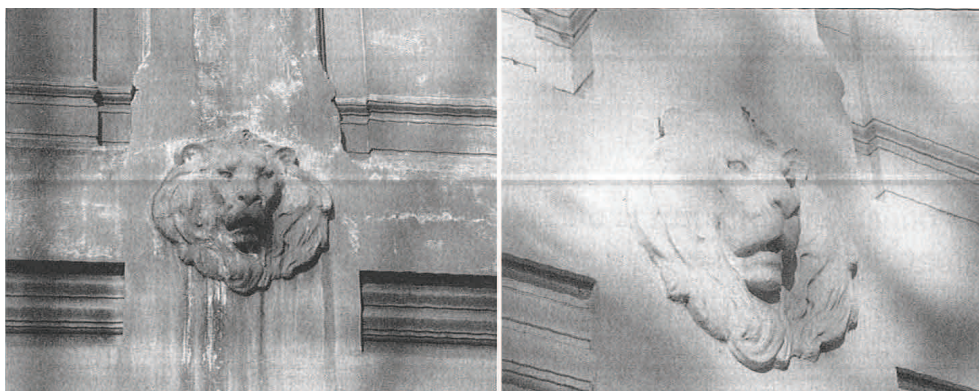
Per quanto riguarda l'intervento di conservazione delle superfici, sono state asportate le tinte improprie e i depositi superficiali attraverso impacchi di carbonato di ammonio; dopo il risciacquo sono state stuccate le lesioni e reintegrate le mancanze. Queste sono state eseguite utilizzando pozzolana setacciata, polvere di marmo e calce Lafarge, nel caso di risarciture profonde; nel caso di stuccature più superficiali la pozzolana viene sostituita con carbonato di calcio.

Le reintegrazioni sono state eseguite scegliendo i materiali e le tecniche esecutive nel rispetto dell'esistente; in base alla tipologia di mancanza e alla sua localizzazione si adottano differenti tipi di impasto mentre per quanto riguarda la tecnica esecutiva si impiegano modini formati sulle sezioni originali e calchi in gomma siliconica per le sculture. L'impasto adottato per la reintegrazione è costituito da calce, polvere di marmo e cemento a basso contenuto di sali. Laddove l'apparato decorativo ha mostrato dei problemi strutturali, sono stati applicati perni in vetroresina fissati con resine epossidiche; la superficie viene richiusa con rinzaffo, arriccio e un impasto di calce e polvere di marmo.

Le forme da riprodurre vengono eseguite ricostruendo gli strumenti originali (modine) e riproponendo le stesse lavorazioni. Questo permette di conoscere la tecnica del passato, di istruire le maestranze alla sua riproposizione e di ottenere un prodotto che, per quanto riguarda l'esecuzione, risulta compatibile con l'originale.

²³ ACRm, Ispettorato Edilizio, prot. 4162 anno 1909.

Fig. 7 - Dettaglio delle decorazioni prima e dopo l'intervento.



CASO 5: IL CIVICO ACQUARIO

COLLOCAZIONE: TRA VIA LEGNANO E VIALE GADIO (PARCO SEMPIONE), MILANO

ANNO DI REALIZZAZIONE: 1906-1908

PROGETTISTA: ARCH. SEBASTIANO LOCATI

INTERVENTO DI RESTAURO: 2003-2006

PROGETTISTA: ARCH. PIERO DE AMICIS, ARCH. LUIGI MARIA GUFFANTI

L'edificio viene realizzato in occasione dell'Esposizione internazionale di Milano del 1906 come acquario ma, essendo la sola costruzione stabile e dunque permanente dell'Esposizione, è destinato ad essere adeguato alla nuova funzione di Istituto di Idrobiologia²⁴.

La costruzione viene realizzata tra il 1906 e il 1908 dalla ditta Bistoletti e Mora, con molti riferimenti all'architettura liberty; per esempio, il rivestimento dell'intero paramento murario esterno in cemento martellinato e il basamento sempre in impasto cementizio ad imitazione del ceppo gentile.

L'edificio a due piani ha una pianta rettangolare su cui si impostano due emicicli, uno dei quali è arricchito da un portico. Accanto al corpo semicircolare, innestati nella parte rettangolare, ci sono altri due volumi sporgenti adibiti a corpi scala.

Al piano terra è presente il vestibolo di ingresso e un ambiente di forma ellittica, su cui si affacciano le vasche che, nel progetto del Locati, rappresentano la zona espositiva che riproduce una grotta marina scavata in finta roccia.

L'esterno è l'elemento saliente dell'edificio, poiché rappresenta un buon esempio di decorazione liberty milanese, anche se applicato soltanto alle superfici e all'apparato decorativo e non include la struttura.

Gli elementi decorativi delle facciate, sia per quanto riguarda l'apparato scultoreo che l'apparato decorativo ad alto e bassorilievo, sono realizzati dall'ing. Giovanni Chini interamente con impasto cementizio²⁵.

L'acquario si conserva fino al 1943 quando un incendio, dovuto ai bombardamenti bellici, distrugge l'edificio salvando soltanto le strutture portanti. Negli anni successivi si realizzano alcuni interventi d'urgenza, ma soltanto nel 1960²⁶ viene presentato dall'ing. Umberto Bolzano (ispettore dell'Ufficio Tecnico del Comune), insieme alla dott.ssa Paola Manfredi e il prof. Romano Rui, un progetto organico per la conservazione dell'edificio.

Il progetto riguarda gli interni (vengono eliminate le finte rocce che caratterizzano

²⁴ Le informazioni relative alla storia e il restauro dell'edificio sono tratte da: BRAGGIO R., FRIGO G., DE ADAMICH M., *Conservazione e riqualificazione funzionale di un'architettura liberty milanese: il civico acquario*, in BISCONTIN G., DRIUSSI G. (a cura di), 2004, pp. 999-1000.

²⁵ *Ivi*, pp. 1003-1004.

²⁶ Le informazioni, relative all'attuale distribuzione e funzionamento dell'immobile, sono state reperite nel sito ufficiale del Civico Acquario, di seguito riportato: http://www.acquariocivicomilano.eu/cms/index.php?option=com_content&task=view&id=62&Itemid=218.

la struttura a galleria lungo l'area espositiva) e l'adeguamento degli impianti di illuminazione e di circolazione, filtrazione e aerazione dell'acqua. L'esterno si conserva quasi inalterato e laddove sono andate perdute alcune parti delle maioliche, si preferisce integrare con finitura ad intonaco monocromo.

Il successivo progetto di ristrutturazione, iniziato nel 2003 e terminato dopo circa 3 anni, ha previsto la realizzazione di un Acquario tecnologicamente avanzato, in linea con gli Istituti internazionali, in grado di offrire al pubblico un ambiente espositivo ed educativo attuale e funzionale, accessibile anche agli utenti disabili²⁷.

I rinforzi strutturali realizzati in conglomerato cementizio armato, durante i lavori risalenti all'intervento postbellico, non sono stati alterati per garantire l'equilibrio raggiunto dall'organismo architettonico.

È stato poi accertato che i pilastri in conglomerato cementizio armato, realizzati all'interno delle vasche, sono solamente appoggiati alla sottostante muratura in laterizio; si è reso dunque necessario realizzare dei collegamenti per vincolare le strutture e creare maggiore stabilità alle parti portanti.

Parte delle strutture vengono rinforzate mediante l'uso di fibre di carbonio, per evitare di aumentare gli spessori, mentre laddove i ferri di armatura corrosi avevano diminuito le capacità portanti dei pilastri, si è proceduto ad una nuova struttura in conglomerato cementizio armato.

Le alterazioni rilevate sulle superfici esterne (caratterizzate principalmente da cementi decorativi, ceramiche ed elementi metallici) sono state ricondotte a cause di diversa natura, quali agenti inquinanti fortemente aggressivi, agenti meteorici e climatici, agevolati spesso dalle particolari lavorazioni superficiali dell'apparato decorativo.

Tra le principali alterazioni riscontrate si riporta: il deposito superficiale di origine carboniosa, che si presenta come una velatura scura sugli elementi in cemento, è presente principalmente sui basamenti e le parti poco esposte (sottogronda).

Per intervenire sui cementi decorativi, si prelevano dei campioni di materiale originale e si compiono delle analisi allo scopo di indagarne la composizione mineralogica, la struttura e la porosità degli impasti e le alterazioni presenti. Si svolgono delle analisi della morfologia, diffrattometria a raggi X, una termogravimetria, spettrografia al plasma, prove di assorbimento d'acqua, da cui risulta che i cementi decorativi impiegati sono composti perlopiù da carbonato di calcio, quarzo, feldspato di potassio e biotite. Si riscontra, inoltre, una forte presenza di sostanze inquinanti fino a 2 mm di profondità.

Nelle zone sottosquadro, protette da fenomeni di ruscellamento, sono presenti croste nere pulverulente composte da un doppio strato: uno più superficiale, incoerente e facilmente eliminabile dal supporto, e uno più interno, di limitato spessore, fortemente ancorato alle superfici che risulta essere un residuo di una crosta precedente. Queste alterazioni richiedono un intervento di microsabbatura per la loro eliminazione.

Le fessurazioni presenti negli elementi di forte aggetto sono imputabili all'ossidazione degli elementi metallici posti all'interno come armatura. Sono presenti, inoltre, numerose macchie di ruggine e sali di rame, dovute al percolamento dei composti ferrosi presenti nelle armature e nei manufatti in rame (scossaline, pluviali), poco aggettanti rispetto alla facciata.

Le macchie sono state eliminate grazie ad impacchi di carbonato di ammonio e polpa di carta; nel caso delle macchie di ruggine è stata aggiunto anche EDTA.

Un altro fenomeno di degrado, riscontrato sui cementi decorativi, è la perdita di granuli di materia, imputabile all'erosione legata alla dissoluzione degli elementi carbonatici della matrice cementizia, da parte delle acque meteoriche inquinate ricche di anidride carbonica. Gli agenti aggressivi, infatti, attaccano e asportano i composti solubili, favorendo il distacco dei granuli dalla superficie.

²⁷ Le informazioni sono state reperite nel sito ufficiale del Civico Acquario, di seguito riportato: http://www.acquariocivicomilano.eu/cms/index.php?option=com_content&task=view&id=62&Itemid=218.

La maggior parte degli elementi che costituiscono le decorazioni della vasca sulla facciata principale sono interessati da colonizzazione biologica; i biodeteriogeni presenti sono soprattutto alghe e muschi, la cui presenza è stata favorita dalla porosità superficiale dei cementi decorativi e dalla lavorazione e conformazione di alcuni elementi. Tale attacco biologico è stato trattato con apposito biocida, steso anche sulle superfici esposte a nord, dopo la rimozione meccanica dello spesso strato di muschi.

Le mancanze sono state risarcite con malta a base di calce aerea e aggregato quarzoso con granulometria finissima, pigmentata con silicati a base di potassio.

Le stucature delle superfici esterne realizzate durante i precedenti lavori di restauro degli anni '80., eseguite con resina epossidica, risultano saldamente ancorate alla materia sottostante e per questo motivo non sono state rimosse, per garantire una maggiore integrità e conservazione del supporto originale.

Infine le fessure negli elementi scultorei, imputabili all'ossidazione delle armature interne, sono state colmate con una malta a base di calce aerea, che arresta il processo di corrosione, con aggiunta di aggregati quarzosi e pigmenti²⁸.

Fig. 8 - Dettaglio delle decorazioni prima e dopo l'intervento di pulitura.



CASO 6: CASA DE LA MADRINA

COLLOCAZIONE: VALENCIA

ANNO DI REALIZZAZIONE: 1907 - 1909

PROGETTISTA: SCONOSCIUTO

INTERVENTO DI RESTAURO: 2002-2003

PROGETTISTA: F. VEGAS, C. MILETO

La casa conosciuta come La Casa de la Madrina è situata nel quartiere Grao di Valencia, vicino al porto della città. Nel XX secolo, precisamente tra il 1905 e il 1915, quest'area subisce un'enorme espansione, includendo la realizzazione di un'ampia zona residenziale in stile modernista grazie all'aumento del traffico marittimo per le grandi esportazioni.

²⁸ Gli interventi di restauro effettuati sull'immobile sono stati ricavati da: BRAGGIO R., FRIGO G., DE ADAMICH M., *Conservazione e riqualificazione funzionale di un'architettura liberty milanese: il civico acquario*, in BISCONTIN G., DRIUSSI G. (a cura di), 2004, pp. 999-1010.

Nei primi anni 2000 viene avviato un progetto di restauro²⁹ preceduto da uno studio preliminare rigoroso che ha ricostruito approfonditamente la storia del palazzo, la sua configurazione e i degradi.

L'edificio sorge sull'angolo opposto al mercato Grao, tra il 1907 e il 1909, e si eleva per tre piani, compreso il piano terra, più mansarda. La scala è illuminata da un lucernario e fornisce l'accesso al tetto.

Il piano terra è stato originariamente destinato a locali commerciali, funzione che conserva tuttora.

Ai piani superiori sono collocate due abitazioni articolate in diverse sale che si affacciano sulla strada e verso il cortile interno, con pavimentazioni decorate con i tipici motivi modernisti in graniglia. Sulla copertura è presente una struttura caratteristica dei quartieri del porto, nota come *Miramar*, una torre di avvistamento angolare, che permette di avvistare le navi che entrano nel porto.

La facciata è caratterizzata da una raffinata decorazione modernista. Al piano terra, è presente una fascia di bugnato in finta pietra interrotto dalle finestre ornate con ringhiere finemente decorate con arabeschi.

La mansarda presenta delle aperture tonde decorate con ghirlande che proseguono per tutto il perimetro dell'edificio. Le pareti perimetrali della casa sono in muratura portante di mattoni pieni, rivestite con intonaco di malta di calce. All'interno la struttura portante è rappresentata dal corpo scala e da pilastri. I soffitti hanno struttura portante lignea e voltine in mattoni rivestite da malta di gesso.

Il cornicione della copertura a falde è decorato con pennacoli in malta cementizia; essi sono realizzati a stampo fuori opera e fissati alla struttura con perni metallici e mostrano un'evidente carbonatazione, legata all'ossidazione dei ferri e al distacco delle parti di malta.

La torretta di avvistamento *Miramar* è in muratura con copertura lignea, ma rivestita da una decorazione a motivi geometrici e floreali in malta cementizia debolmente armata con sottili fili di ferro collocati nello stampo al momento del getto. Le forme ottenute fuori opera sono fissate alla muratura con perni e stucature dello stesso tipo di malta.

La struttura presenta in primo luogo problemi strutturali evidenti nella rotazione che hanno subito le pareti perimetrali, a causa di un cedimento delle fondazioni. Infestazioni di insetti xilofagi hanno attaccato le strutture lignee, soprattutto dove sono presenti forte umidità e infiltrazioni d'acqua. Anche gli elementi in pietra artificiale, perlopiù eseguiti fuori opera e fissati con perni metallici al substrato, hanno subito un forte deterioramento a causa dell'azione del mare, molto prossimo all'edificio. L'acqua di mare ha eroso la matrice, avviando un processo di infiltrazione d'acqua che ha provocato l'ossidazione dei ferri di armatura. I prodotti di reazione, aumentando di volume, hanno fatto distaccare gran parte della materia cementizia. Anche le barre delle armature dei pilastri in conglomerato cementizio armato e i perni di sostegno degli elementi scultorei presentano tutti un avanzato stato di ossidazione, che ha causato il distacco di quasi tutti i copriferri.

L'esterno dell'edificio è vincolato e per tale motivo sono state rigorosamente conservate ringhiere, balconi, lavorazioni in legno, pavimenti in cotto sul tetto, ecc. Per quanto riguarda gli elementi in malta cementizia, si è proceduto allo smontaggio di tutti gli elementi scultorei, all'eliminazione delle porzioni carbonatate ed in ogni caso non più recuperabili, alla pulitura e alla passivazione dei ferri di armatura ancora funzionanti e alla sostituzione delle parti non più rispondenti alle esigenze statiche con esili barre in fibra di vetro del diametro di pochi mm, a seconda della necessità strutturale. In seguito sono state reintegrate con malta compatibile le parti di pietra artificiale mancanti, impiegando un impasto di cemento, calce e inerti

²⁹ Le informazioni relative alla storia e il restauro dell'edificio sono tratte dal contributo presente online: F. VEGAS, C. MILETO (a cura di), *New old restoration techniques for modern buildings: refurbishment of La Casa de la Madrina, Valencia (Spain)* in AA.VV., "International Seminar on the Management of the Shared Mediterranean Heritage", <http://personales.upv.es/cami2/investigaci%C3%B3n/articulos%20en%20pdf/MILETO%20Y%20VEGAS%20-%20ISMARMED.pdf>.

della stessa granulometria e colore degli originali. Una volta ripristinata la forma è stata applicata una finitura di pittura ai silicati per uniformare il tono finale. Per quanto riguarda gli orizzontamenti, la struttura è stata consolidata ed in parte sostituita, adottando una soluzione a secco che permettesse la ventilazione all'interno del solaio.

Fig. 9 - Torretta presente sulla copertura dell'edificio prima e dopo l'intervento.



CASO 7: PALAZZO DARIO BIANDRÀ

COLLOCAZIONE: VIA CIRCO 7-9, MILANO

ANNO DI REALIZZAZIONE: EDIFICIO ESISTENTE MODIFICATO NEL 1902

PROGETTISTA: ING. LUIGI REPOSSI

INTERVENTO DI RESTAURO: 2004

PROGETTISTA: C. SIRONI, L. FORMICA, A. GENOVESI, P. SOMMARIVA

Il restauro di questo edificio Liberty ha un interessante approccio preliminare all'intervento di conservazione, facendo uso di numerose stratigrafie per individuare le decorazioni originali, presenti sotto i rifacimenti dei successivi restauri.

L'edificio è frutto di continue modifiche di un edificio nato in epoca medievale e giunto ad una configurazione simile a quella attuale soltanto nel 1855, come rivelano le mappe catastali. Nel 1870 viene presentato un progetto dall'ing. Carlo Ambrosini Spinella per la costruzione del terzo piano con una scansione delle finestre che riprende quella dei piani sottostanti. L'immobile presenta uno stile neoclassico, con bugnato a fasce orizzontali racchiuse da cornici.

Nel 1902 la nuova proprietaria presenta ulteriori modifiche al fabbricato, richiedendo la sostituzione delle cornici in pietra, dei fregi e la modifica dei capitelli, paraste, cornici delle finestre e mensole dei balconi con materiale cementizio; il tutto ad opera dell'ing. Luigi Repossi. Soltanto le decorazioni al piano terra restano in arenaria³⁰.

Si può notare come il nuovo gusto nell'uso degli impasti cementizi, che si diffonde come materiale nuovo, consente di ottenere rapidamente e ad un costo contenuto elementi architettonici e decorativi che caratterizzano le facciate degli edifici. Gli interni sono invece decorati e costruiti secondo metodi ottocenteschi e hanno

³⁰ Gli interventi di restauro effettuati sull'immobile sono descritti in: FORMICA L., GENOVESI A., SIRONI C., SOMMARIVA P., *Il Palazzo Dario Biandrà di via Circo 7-9 a Milano*, in BISCONTIN G., DRIUSSI G. (a cura di), 2004, pp. 1049-1057.

subìto una frammentazione dei locali più ampi e la creazione di nuovi servizi. Nel 1920 l'ing. Repossi presenta il progetto di un fabbricato da costruire in adiacenza al precedente e a cui si connette per mezzo di un corridoio vetrato sorretto da mensole in pietra artificiale. Il degrado, che ha colpito il nuovo edificio ed il passaggio, ha messo in evidenza l'uso di struttura portante rispettivamente in ferro rivestita in stucco e solaio in ferro e laterizio.

La facciata del nuovo edificio è rivestita da un intonaco a bugnato eseguito con grassello di calce e sabbia e scialbati a calce. Anche la facciata verso il giardino mostra cornici in cemento, mentre i balastrini del terrazzo sono in terracotta.

In epoca più recente l'edificio è divenuto un condominio che per molti decenni non ha avuto alcuna manutenzione e ha subito prolungate infiltrazioni d'acqua che hanno degradato i solai interni.

Prima dell'intervento, l'intonaco esterno, caratterizzato dalla sovrapposizione di più strati di tinta, presenta vaste lacune, subefflorescenze e caduta di grandi porzioni degli strati più superficiali. Le indagini stratigrafiche hanno mostrato l'uso di malte a base di calce e sabbia. Dopo aver inumidito la muratura con soluzioni di acqua, alcool ed emulsione acrilica, sono state fatte iniezioni di malta di grassello di calce, cocchiopesto fine ed emulsione acrilica, per far riaderire le parti distaccate. Le lacune sono state poi integrate con un arriccio a base di grassello di calce e sabbia su cui è stato applicato un intonaco di granulometria e tessitura affine all'originale. Infine è stata fatta una scialbatura con latte di calce e pigmenti con ocre per uniformare il colore con l'originale.

Le cornici e gli elementi decorativi in cemento hanno mantenuto un buono stato di conservazione: il dilavamento ha disgregato lo strato più superficiale, mostrando l'inerte dell'impasto; le superfici più protette sono invece caratterizzate da depositi di particellato.

Un evidente degrado è presente invece sulle superfici in conglomerato cementizio armato, colpito da infiltrazioni di acqua che hanno ossidato le armature e hanno provocato l'espulsione di gran parte del copriferro. L'intervento di conservazione ha previsto: un'accurata sabbiatura degli elementi in ferro per eliminare gli ossidi; è stato applicato un passivante in soluzione alcolica di acido fosforico e tannico ed è stato ricostruito il copriferro impiegando del cemento fibrorinforzato³¹, le cui fibre, inglobate nella matrice, evitano le fessure da ritiro che consentirebbero l'ingresso dell'umidità.

Il degrado dell'armatura delle architravi delle finestre non ha raggiunto l'espulsione dei copriferri, ma ha provocato numerose fessurazioni; per questo motivo si è reso necessario isolare il ferro, con iniezioni di resina epossidica, che non subisce ritiri. La fessura è poi sigillata con silicone modellabile e sono stati inseriti degli ugelli per lo sfiato ad iniezione (a pressione ambiente) della resina.

Dopo la presa, il silicone è stato rimosso ed è stato sostituito con malta a base di cemento che, contrariamente all'eossidica, evita il viraggio cromatico; la resina epossidica garantisce la coesione dell'elemento e la protezione dell'armatura.

La pulitura ad impacco ha eliminato i depositi di particellato ed infine è stata fatta una scialbatura per uniformare la superficie.

³¹ SIVIERO E., FORIN M., *Evoluzione storica e attualità dell'impiego delle fibre sintetiche nel calcestruzzo*, in BISCONTIN G., MIETTO D. (a cura di), 1993, Padova, pp. 112-122.

Fig. 10 - Prospetto del palazzo Biandrà prima e dopo l'intervento.



CASO 8: VILLA SARDI

COLLOCAZIONE: MOGLIANO VENENTO, TV

ANNO DI REALIZZAZIONE: 1908-1910

PROGETTISTA: ARCH. GIOVANNI SARDI

INTERVENTO DI RESTAURO: 2008-2009

PROGETTISTA: DR.SSA FRANCESCA CAPPELLI, DR. DEVIS ZANARDO

L'intervento ha riguardato il restauro e ripristino dell'apparato decorativo esterno di Villa Sardi.

La villa è stata la dimora dello stesso progettista Giovanni Sardi, negli ultimi anni della sua vita.

La villa, a pianta rettangolare, presenta un prospetto principale scandito in tre parti; quella centrale risulta più alta in quanto arricchita da un cornicione riccamente decorato e realizzato con impasto cementizio. È strutturata su due piani fuori terra e le aperture sono caratterizzate da archi a sesto acuto, anch'essi in cemento decorativo. Sul portone d'ingresso è presente un mascherone e sul fronte laterale un'edicola votiva; entrambe le decorazioni sono in graniglia cementizia. Particolare attenzione meritano gli elementi scultorei disseminati nel giardino e che decorano il pozzo, risalenti ad una fase settecentesca della villa.

Per quanto attiene l'intervento di restauro, gli architetti Cappelli e Zanardo hanno compiuto un rilievo dei singoli elementi, allo scopo di identificare la tecnica esecutiva utilizzata e i materiali costituenti le decorazioni. Successivamente sono stati condotti sondaggi stratigrafici, analisi chimico-stratigrafiche e mineralogico-petrografiche su numerosi campioni prelevati dagli impasti originali. L'analisi dei fenomeni di alterazione, necessaria alla comprensione dei meccanismi di degrado, ha dimostrato³² che le patologie endemiche che affliggono i cementi decorativi sono analoghe a quelle delle pietre naturali.

Per ciascun degrado è stata effettuata una valutazione delle relative cause, a cui ha fatto seguito la compilazione di apposite schede, facendo infine convergere i risultati dell'analisi in elaborati grafici.

Sono stati eseguiti preventivamente alcuni saggi di pulitura, orientandosi verso l'uso di impacchi, con un calibrato intervento biocida; per la fase di stuccatura sono stati

³² Gli interventi di restauro effettuati sull'immobile sono descritti in: CAPPELLI F., ZANARDO D., *Il restauro della liberty "Villa Sardi"*, in "Atti del VI Congresso Nazionale IGIC. Lo Stato dell'Arte 8", Venezia 16-18 settembre 2010, pp.101-108, http://www.chiavedivolta.ve.it/articoli/congresso_igiic.pdf.

utilizzati prodotti che dessero garanzia di stabilità e presentassero caratteristiche chimico-fisiche compatibili con il materiale dell'opera architettonica.

Per quanto riguarda le parti mancanti, si è proceduto individuando un impasto simile all'originale per granulometria e composizione (dettate dall'analisi chimica condotta) e sono state reintegrate le lacune presenti nel bugnato e nell'intonaco di facciata, sia a livello materico, che pittorico.

Sono state individuate le tipologie di sabbie originali, setacciate con varie dimensioni dei granelli, e sono state unite alle terre naturali, setacciate anch'esse, per creare delle gradazioni cromatiche diverse, in fase di preparazione della malta da applicare. La maggior parte degli elementi realizzati con l'impiego di impasti cementizi è caratterizzata da una forte presenza di attacco biologico, sia nelle parti di intonaco che nelle parti ornamentali.

Le indagini diagnostiche hanno dimostrato che l'intonaco è costituito da una miscela bastarda, a matrice di cemento e calce aerea, sabbia a granulometria medio-fine a natura mineralogica quarzoso silicatica.

Gli interventi eseguiti su gran parte delle superfici hanno riguardato una prima pulitura meccanica, con l'uso di spazzole morbide e acqua distillata per l'eliminazione del deposito superficiale di particolato atmosferico, seguita da un trattamento con biocida a varie concentrazioni. Dopo un accurato risciacquo con acqua deionizzata e l'asciugatura delle superfici, è stato applicato un protettivo.

Il consolidamento degli intonaci e dell'apparato decorativo è stato realizzato con modalità differenti a seconda della causa del degrado riscontrato: nelle zone in cui è presente una sfogliatura, si è operato con microemulsione acrilica, imbevendo le scaglie distaccate, e pressandole per farle riaderire al supporto. Nelle zone compromesse invece da evidenti rigonfiamenti si è fatto uso della stessa emulsione, ma applicata tramite micro iniezioni a rifiuto di malta.

Per la fase di stuccatura si è reso necessario utilizzare prodotti che dessero garanzie di stabilità e presentassero caratteristiche chimico-fisiche compatibili con il materiale dell'opera.

Un'equilibrata integrazione a selezione cromatica con pigmenti terre naturali stemperati in emulsione acrilica, rispettando i criteri di compatibilità, riconoscibilità e ritrattabilità ha permesso infine una lettura più completa ed immediata della tessitura architettonica policroma.

È stato predisposto un piano di monitoraggio e manutenzione al fine di garantire minimi interventi futuri che, effettuati costantemente, possano garantire una corretta conservazione dell'opera architettonica.



Fig. 11 - Prospetto di Villa Sardi prima e dopo l'intervento.

CASO 9: VILLA ROSA

COLLOCAZIONE: PIAZZA DEL CONSOLATO, ALTARE (SV)

ANNO DI REALIZZAZIONE: 1905-1906

PROGETTISTA: NICOLO' CAMPORA

INTERVENTO DI RESTAURO: 1993-2005

PROGETTISTA: arch. Maria Di Dio, arch. Rossella Scunza, collaboratori: sig. Marco Di Domenico, sig.ra Paola Parodi

La villa è costruita su progetto di Nicolò Campora tra il 1906 e il 1909, per volere del monsignor Bertolotti come abitazione per la sorella Rosalia³³. Negli anni la villa non subisce nè trasformazioni d'uso nè di proprietà, quindi, pur essendo soggetta ad alcuni interventi di consolidamento e miglioramento, conserva ancora le caratteristiche decorative originali³⁴. La villa è disabitata fin dagli anni '70³⁵, fino a quando nel 1992 viene acquisita dal Demanio dello Stato e viene data in consegna alla Soprintendenza per i Beni Architettonici e per il Paesaggio della Liguria, che ne cura il restauro e recupero funzionale finalizzandolo alla realizzazione di un Museo dell'Arte Vetraria. L'anno successivo iniziano i lavori di restauro che riguardano il rifacimento delle coperture, il ripristino della recinzione, studi e indagini propedeutiche sul degrado dei vari materiali componenti le decorazioni (pietra, intonaci, stucchi, ferro, legno, vetro, graniglie...), progetto e realizzazione degli impianti e infine il progetto di allestimento³⁶.

Campora realizza nella villa un'operazione progettuale che coniuga un impianto distributivo chiuso con una impaginazione dei prospetti complessa e articolata, ricca di asimmetrie e di invenzioni tematiche. I tre piani in cui si sviluppa l'edificio sono caratterizzati da una distribuzione dei vani attorno ad un nucleo centrale occupato dalla scala, a sua volta a lato del cannocchiale ottico costituito al piano terra dal portico, atrio, vestibolo, galleria posteriore. La tripartizione della facciata viene risolta con successive traslazioni dei piani verticali, a degradare da sinistra verso destra; ma la sequenza dei piani è a sua volta scompaginata dalla sovrapposizione, alla facciata, di una serie di terrazzini, logge aperte e chiuse, esterne ed interne, aggetti e rientranze, che richiamano tutto il vasto repertorio decorativo del liberty italiano. Il traforo della facciata è caratterizzato da diverse arcate dalla forma più varia, dal profilo a tutto sesto o moresco, architravate o a sesto acuto, mescolando più stili di matrice eclettica³⁷. Il bovindo cilindrico si innesta nella porzione di destra della facciata; la torre assume la connotazione di campanile, che risulta compatto e massiccio³⁸.

Al momento dell'inizio dell'intervento, l'edificio versa in uno stato di totale abbandono; si inizia, dunque, intervenendo sulla copertura, per bloccare le infiltrazioni che avevano provocato crolli parziali dei controsoffitti interni, proseguendo con le facciate decorate con un ricco apparato di stucchi a rilievo e con elementi in pietra; queste, all'inizio dell'intervento, appaiono fortemente degradate, a causa delle piogge battenti, il ristagno della neve e le temperature rigide; il tutto accompagnato dall'assenza di manutenzione.

Il metodo di lavoro adottato dalla Soprintendenza si basa su diverse basi di seguito riassunte:

- raccolta di dati storici riguardanti la realizzazione e le trasformazioni subite dall'edificio mediante un'analisi bibliografica e della documentazione, conservata presso gli archivi disponibili;
- indagini necessarie per individuare le caratteristiche dei materiali e delle tecniche operative impiegate, accertare lo stato di conservazione e le cause di degrado;
- acquisite le conoscenze necessarie a definire le caratteristiche storiche dell'edificio si passa alla fase esecutiva che consiste in:
 - scelta delle tecniche e dei materiali di consolidamento e restauro più adatti alle

³³ Gli interventi di restauro effettuati sull'immobile sono citati in: RICCHEBONO M., *Villa Rosa: un'architettura tra modernismo e tradizione*, in SCUNZA R. (a cura di), 2007, p. 28.

³⁴ *Ivi*, p. 47.

³⁵ *Ivi*, p. 11.

³⁶ RICCHEBONO M., *Villa Rosa: un'architettura tra modernismo e tradizione*, in SCUNZA R. (a cura di), 2007, p. 11.

³⁷ *Ivi*, p. 29.

³⁸ OLCESE SPINGARDI C., *La decorazione pittorica degli interni*, in SBORGHINI F. (a cura di), 2003, p. 133.

caratteristiche del manufatto;

-realizzazione degli interventi per campioni, di cui viene verificato l'esito finale: il tipo di lavorazione maggiormente efficace viene effettuata su tutte le superfici con analoghe caratteristiche³⁹.

L'epoca di costruzione, relativamente recente, ha permesso di rintracciare i disegni di progetto, le fotografie e le immagini d'epoca dalla realizzazione in poi; non sono state invece reperite informazioni sull'impresa o le maestranze, in quanto il progettista non ha seguito i lavori in fase di esecuzione e dunque non ha conservato la documentazione relativa alle fasi di cantiere⁴⁰. Tutte le informazioni sulle tecniche utilizzate sono state pertanto acquisite esclusivamente dalla conoscenza diretta del manufatto tramite indagini sul posto e analisi di laboratorio.

Prima delle fasi di intervento sono state redatte delle schede relative al tipo di materiale analizzato e contenenti la classificazione del tipo di decorazione, informazioni sulla tecnica esecutiva e lo stato di conservazione e fotografie.

Le strutture portanti sono in muratura e pietra con solai aventi struttura lignea, compreso il tetto. In alcune parti sono state ritrovate catene e travi in ferro per rinforzare le murature⁴¹.

Gli intonaci sono costituiti da una parte di cemento e una di calce, gli stucchi più sporgenti sono realizzati in opera con struttura in mattoni ancorati con grappe o chiodi di ferro, mentre quelli di dimensioni più ridotte risultano essere prefabbricati, come le formelle sottogronda.

Il giardino è suddiviso in grandi aiuole da elementi prefabbricati in cemento e decorato da un elemento scultoreo in impasto cementizio armato.

Le indagini diagnostiche chimico-fisiche hanno permesso di determinare la composizione, le cause del degrado e le cromie originali dei singoli materiali. È stato inoltre individuato un intervento di consolidamento pregresso che ha interessato la torretta e che ha modificato i prospetti.

Per il recupero degli intonaci si è proceduto con delle microchiodature; nella parte alta e negli spigoli della facciata, nei punti in cui il degrado ha consumato completamente la materia, si è provveduto ad una reintegrazione con malta la cui composizione ricalca quella originale.

Parte fondamentale dell'intervento è stato il lavoro di ripresa delle modanature realizzate in opera, molto più degradate rispetto a quelle prefabbricate: il metodo di consolidamento impiegato è stato anche in questo caso quello delle microchiodature, provvedendo poi a ricostruire le porzioni di decorazione perduta grazie alle tracce residue e ai rilievi in scala 1:1 effettuati.

Tre delle colonnine del bow-window hanno subito precedenti restauri effettuati attraverso un'incamiciatura in cemento; la rimozione dello strato cementizio ha messo in evidenza un avanzato strato di degrado che ha consumato quasi del tutto la sezione delle colonne, alterandone irrimediabilmente la stabilità strutturale; è stato deciso dunque di eliminare queste incamiciature, sostituendo le colonne con elementi in cemento armato, la cui superficie è stata poi intonacata con impasto addizionato con polvere di pietra per simulare il materiale originale⁴².

L'ornato assolve completamente la funzione di qualificazione degli ambienti interni e dell'esterno; per far ciò sono stati utilizzati diversi ed eterogenei manufatti artistici e artigianali; spesso ottenuti in maniera seriale, scelti in base ad un ampio catalogo, realizzati in fabbrica e assemblati in loco⁴³.

³⁹ SCUNZA R., *Illustrazione generale dell'intervento di restauro di Villa Rosa*, in SCUNZA R. (a cura di), 2007, p. 48.

⁴⁰ Gli interventi di restauro effettuati sull'immobile sono citati in: SCUNZA R., *Villa Rosa di Altare (SV) - Il restauro di una villa Liberty*, in BISCONTIN G., DRIUSSI G. (a cura di), 2004, pp. 1133-1142.

⁴¹ SCUNZA R., *Illustrazione generale dell'intervento di restauro di Villa Rosa*, in SCUNZA R. (a cura di), 2007, p. 49.

⁴² *Ivi*, p. 51.

⁴³ Gli interventi di restauro effettuati sull'immobile sono citati in: PARODI P., VASSALO S., *Gli interventi di restauro sui manufatti di villa Rosa ad Altare*, in SCUNZA R. (a cura di), 2007, p. 59.

I parapetti in finto marmo al secondo e terzo piano ripropongono il disegno ornamentale del parapetto a pianterreno, l'unica differenza è nella tecnica esecutiva: al piano terra si usa marmo, ai piani superiori impasti cementizi. I parapetti realizzati con impasto cementizio, mostrano un discreto stato di conservazione; non hanno dunque subito erosioni o distacchi di materia.

I restauri dei prospetti sono stati intrapresi nel 1997 e si sono conclusi con i più recenti lavori sulle recinzioni e sul portale di accesso con doppia scalinata.

Gli interventi sui lapidei hanno previsto la rimozione delle polveri con spazzole di saggina e spazzolini di nylon, mentre il guano e i muschi sono stati rimossi meccanicamente con il bisturi. I residui dei licheni e gli attacchi microbiologici sono stati trattati con una soluzione biocida ad ampio spettro, applicata a pennello e lasciata in posa per circa venti giorni e poi spazzolata via, risciacquando con acqua deionizzata. Successivamente è stato avviato un preconsolidamento, in modo da poter eliminare tutte le stuccature incoerenti, impiegando silicato d'etile applicato a pennello. Le scaglie di materiale distaccato sono state incollate con resina epossidica bicomponente. La pulitura è stata effettuata con soluzione acquosa al 10% di ammonio carbonato con impacchi di polpa di cellulosa. Il consolidamento è eseguito con silicato d'etile, mentre le stuccature sono state eseguite con malta di colore e granulometria simile all'originale; l'inerte usato è la pietra di Langa mentre il legante è calce idraulica naturale "Lafarge"; la malta è stata talvolta addizionata con una modesta percentuale di resina acrilica per migliorarne l'adesione, in alcuni punti sono stati aggiunti all'impasto dei pigmenti a base di ocre per avvicinarsi alla cromia originale. Infine è stato effettuato il trattamento protettivo e consolidante con silicato d'etile⁴⁴. La fontana in conglomerato cementizio era stata smontata ed in parte conservata nei fondi della villa. Le fasi di pulitura sono state le stesse di quelle effettuate sui lapidei ma questa volta la soluzione biocida è stata applicata ad impacco. La scultura è stata, successivamente, fissata sul basamento della fontana esterna con un perno d'acciaio incollato con resina epossidica, previa eliminazione delle vecchie stuccature cementizie, debordanti. Il consolidamento è avvenuto con silicato d'etile steso a pennello. Con barre d'acciaio inox e resina epossidica bicomponente è stata messa in sicurezza la testa. L'intervento è proseguito con la stuccatura e la ricostruzione di parti mancanti, effettuata con malta composta da sabbia finissima, cemento bianco, miscelata con ossidi naturali per ottenere la cromia desiderata. Infine è stato applicato un sottile strato protettivo di silicato d'etile.

La malta adoperata per le sigillature è calce bianca Lafarge, calce idraulica bianca naturale con bassa percentuale di sali solubili, particolarmente indicata per la realizzazione di intonaci e malte per stuccature, integrazioni e iniezioni su materiali lapidei antichi. Gli inerti per stuccature adoperati per gli impasti sono invece sabbie di fiume lavate e setacciate fino al raggiungimento della granulometria originale.

Fig. 12 - Dettaglio della mensola prima e dopo l'intervento.



⁴⁴ Gli interventi di restauro effettuati sull'immobile sono citati in: PARODI P., VASSALO S., *Gli interventi di restauro sui manufatti di villa Rosa ad Altare*, in SCUNZA R. (a cura di), 2007, pp. 60-61.

CASO 10: CASA CAMPANINI

COLLOCAZIONE: VIA BELLINI N.11, MILANO

ANNO DI REALIZZAZIONE: 1904-1906

PROGETTISTA: ARCH. ALFREDO CAMPANINI

INTERVENTO DI RESTAURO: 2007-2008

PROGETTISTA: GIANCARLO PIZZI, LUCIANO FORMICA

L'edificio viene costruito tra il 1904 e il 1906 all'interno dell'area interessata dal nuovo piano regolatore del 1884 ad opera di Alfredo Campanini ed è un volume semplice e regolare, decorato da intonaco ed elementi scultorei in pietra⁴⁵.

Per quanto riguarda i materiali, il basamento e il rivestimento sono in ceppo rustico, le statue di ingresso sono in ceppo mezzano, mentre tutte le decorazioni di facciata e le modanature delle aperture sono in pietra artificiale⁴⁶.

Gli elementi decorativi in pietra artificiale sono caratterizzati da un impasto di cemento addizionato a graniglia e inerti vari, ad imitazione del ceppo. Nello specifico, si riscontrano due tipologie di impasti: uno con inerte fine per la superficie esterna a vista e un altro con inerti più grossolani per il nucleo interno⁴⁷.

Le parti in opera sono riconoscibili dai segni delle casseforme e inoltre sono quelle di modeste dimensioni, mentre le parti formate a terra sono state posate in opera con perni in ferro e sono gli elementi decorativi più complessi e pesanti⁴⁸. La superficie è caratterizzata da lavorazioni tipiche della pietra naturale (martellinatura). Gli intonaci sono stati eseguiti con malta bastarda di cemento e calce e tinteggiati con un colore verde chiaro, come ha messo in evidenza l'analisi mineralogica⁴⁹.

Il degrado è dovuto principalmente al deposito di particolato atmosferico e al dilavamento superficiale.

Prima dell'intervento le superfici protette dagli sporti presentavano croste nere dello spessore di quasi mezzo centimetro cementate dal gesso di neoformazione.

Le zone dilavate, invece, erano caratterizzate da un aumento della porosità per dissoluzione del legante che ha provocato perdite di materiale e portato in superficie gli inerti, sia nella pietra naturale che artificiale. Molti inerti si sono distaccati, lasciando dei fori in cui si è innescato il fenomeno di alveolizzazione, a causa della penetrazione di acqua per condensa e percolamento.

I composti solforati dell'atmosfera inquinata hanno reagito chimicamente con gli alluminati di calcio presenti nel cemento, formando ettringite che, aumentando notevolmente di volume, ha provocato distacchi e scagliature.

La penetrazione di acqua ha degradato i perni in ferro degli elementi realizzati con impasti cementizi; la conseguente ossidazione ha generato distacchi e perdite di aderenza alla superficie cui erano fissati.

L'intonaco è quasi completamente ricoperto da deposito superficiale ed è in parte decoeso e poroso. La penetrazione dell'acqua ha dilavato il legante calcitico e i sali

⁴⁵ FARINA P., *Casa Campanini*, in RICCI G. (a cura di), 1990, scheda n.133.

⁴⁶ BUGINI R., FOLLI L. (a cura di), *Le pietre impiegate nell'architettura milanese e lombarda*, in "Lezioni di petrografia applicata", CNR - Istituto per la Conservazione e la Valorizzazione dei Beni Culturali, Edizione 2008, <http://www.icvbc.cnr.it/didattica/petrografia/9.htm>. All'interno della lezione è riportata la seguente spiegazione: «Le cave sono distribuite nell'area di Trezzo e Brembate, presso la confluenza delle gole dell'Adda e del Brembo; si estraevano blocchi fino a 5 metri cubi. Commercialmente se ne distinguono tre varietà: Ceppo rustico (conglomerato, usato per conci, rocchi di colonne, basamenti e architravi); Ceppo mezzano (arenaria con ciottoli isolati); Ceppo gentile (arenaria, usato per decorazioni e sculture irregolari). In cava queste varietà si susseguono irregolarmente e il passaggio da una all'altra può essere molto netto».

⁴⁷ COLOMBO C., *La stagione del cemento artistico a Milano: 1900-1915*, in SELVAFOLTA O. (a cura di), 1985, pp. 61-76.

⁴⁸ Gli interventi di restauro effettuati sull'immobile sono citati in: PIZZI G., FORMICA L., in "TeMA", n. 3, 1994, pp. 15-22.

⁴⁹ Le analisi, eseguite dalla Ditta Keimfarben, hanno dimostrato che l'intonaco è costituito da calce e cemento.

contenuti nel cemento hanno formato spessi strati ricristallizzati in superficie e i cicli di dissoluzione e ricristallizzazione hanno provocato il distacco di vaste parti di intonaco. Anche le fasce dipinte sono ricoperte da depositi di particellato e strati di sali cementati in superficie.

L'intervento ha avuto come obiettivo quello di eliminare i depositi facendo attenzione a non eliminare la patina naturale del tempo formatasi sull'edificio.

I rifacimenti hanno riguardato, invece, le parti interessate da un degrado irreversibile.

Gli interventi sulla pietra naturale e artificiale sono avvenuti parallelamente in quanto richiedevano lo stesso tipo di azione: dapprima si sono compiute le operazioni di pulitura che si sono effettuate con criteri diversi in base al livello di degrado.

Le superfici coperte da deposito di particellato atmosferico sono state pulite con acqua nebulizzata sotto stretto controllo del flusso e della pressione impiegata. Nelle zone non dilavate, in cui sono presenti delle croste, sono stati applicati impacchi di argilla con EDTA e carbonato di ammonio.

Per le croste più spesse è stata impiegata la microsabbatura a bassa pressione e ossido di alluminio.

Sulle superfici lavorate sono state riprese le finiture superficiali originali.

Gli elementi in cemento pericolanti sono stati smontati, puliti e rimontati eseguendo sigillature e integrazioni con una malta di grassello di calce e polvere di pietra. Non è stato usato cemento, infatti, la nuova malta cementizia, molto ricca di sali, si sarebbe trovata a contatto col cemento originale molto poroso a causa del degrado subito. I sali sarebbero stati subito assorbiti dal materiale originale, provocando la formazione di efflorescenze. La malta adoperata è a base di grassello con un valore di rilascio di sali solubili molto basso; l'aggiunta di inerte ha dato tessitura e porosità simili all'originale. Sulle parti dilavate molto decoese è stato effettuato un intervento di consolidamento, sia sulla pietra artificiale che naturale, con resina a base di silicato di etile. Il consolidamento è stato fatto per percolamento fino a rifiuto, per ridurre la porosità del materiale. Infine è stato applicato uno spray idrorepellente a base silconica su tutte le superfici.

L'intervento sull'intonaco ha riguardato prima di tutto la pulitura con acqua nebulizzata; successivamente si è proceduto ad individuare i distacchi trattati mediante iniezioni di acqua e alcool per inumidire la muratura, seguiti da iniezioni di emulsione acrilica con funzione tixotropica colloidale; in ultimo è stata iniettata una malta a base di grassello, cocchiopesto e la stessa emulsione acrilica, con aggiunta di gluconato di sodio per facilitarne l'iniettabilità e completare la riadesione dell'intonaco⁵⁰. La tinteggiatura è stata eseguita riprendendo la tonalità originale, rilevata da un campione di intonaco dopo la pulitura. È stata eseguita per successive velature senza lo strato bianco di preparazione. La pulitura delle mensole in cemento, che sorreggono la gronda, ha evidenziato decorazioni prima non visibili.

Fig. 13 - Dettaglio delle modanature del marcapiano prima e dopo l'intervento.



⁵⁰ Metodo messo a punto dall'ICCROM di Roma per utilizzare materiali compatibili con gli originali; in: FERRAGNI D., FORTI M., MALLETT J., TEUTONICO I.M., TORRACA G., *Injection grouting of mural paintings and mosaics*, in "Adhesives and consolidants: contributions to the 1984 IIC Congress", 01/1984, pp.81-86, <https://www.iiconservation.org/node/1289>.

CASO 11: VILLA GARRONE

COLLOCAZIONE: SPOTORNO (SV)

ANNO DI REALIZZAZIONE: 1902

PROGETTISTA: ING. ANTONIO VANDONE DI CORTEMIGLIA

INTERVENTO DI RESTAURO: 2001-2004

PROGETTISTA: P. G. BARDELLI, collaborazione: A. GUAGNINI

L'intervento qui presentato è uno dei restauri condotti dal Politecnico di Torino, Dipartimento ISET, all'interno di una ricerca più vasta approfondita nel quinquennio tra il 1995 e il 2000⁵¹ e poi proseguita negli anni successivi, attraverso lo sviluppo di altri progetti che hanno declinato il tema secondo problematiche differenti. In tale ambito, il dipartimento ha sviluppato un programma di ricerca sulla manutenzione delle murature a vista con particolare attenzione allo studio delle malte adatte a vari scopi (iniezioni consolidanti, rappezzature di intonaci e reintegrazioni). Una delle ricerche portate avanti dal dipartimento ha focalizzato l'attenzione sugli elementi di finitura delle facciate e i fenomeni di degrado a loro connessi, sui quali è necessario intervenire per mettere in sicurezza o assicurare la conservazione dell'edificio. Il gruppo di ricerca ha analizzato e sperimentato le soluzioni individuate tramite due cantieri studio (villa Garrone di Spotorno, progettata da Antonio Vandone di Cortemiglia nel 1902 e la casa ad alloggi tra via Palmieri e via Duchessa Jolanda a Torino, opera di Gottardo Gussoni, del 1912). In questa sede si è deciso di trattare il caso di Villa Garrone, poiché il problema trattato con maggiore attenzione è quello del risarcimento delle lacune del paramento esterno.

Il restauro del fabbricato ha inizio con la ricostruzione delle vicende storiche dell'edificio attraverso lo studio di manuali dell'epoca, riviste e documenti d'archivio; successivamente si affronta la fase di indagine dei materiali e delle loro alterazioni. L'edificio necessita di due interventi principali⁵²: pulitura superficiale e rappezzatura e risarcimento delle lacune. Il primo riguarda i depositi superficiali di polvere e sporco; croste nere consistenti; strisce di colature dovute alla percolazione delle acque meteoriche e infine macchie di ruggine imputabili alle lampade esterne originali. La soluzione adottata per questi problemi è l'adozione di sistemi di pulitura quali acqua nebulizzata per le croste nere, impacchi di carbonato d'ammonio per quelle meno consistenti e lavaggio superficiale con spazzolatura per lo sporco incoerente. L'operazione è stata agevolata dalla compattezza e durezza dei supporti. Per altri manufatti in opera sono stati effettuati interventi di risarcimento e stuccatura. Tali elementi sono:

-la graniglia dello zoccolo dell'edificio, realizzata in opera con l'uso di ghiaia di piccole dimensioni variamente assortita. La matrice connettiva è costituita da legante cementizio e pigmentata con ossidi artificiali;

-il cemento decorativo utilizzato per le fasce orizzontali a finte bugne, realizzato in opera con l'uso della pietra di Finale di soli due colori e anfiboliti frantumate (aggregati a spigoli vivi). Anche in questo caso la matrice connettiva cementizia è stata pigmentata in modo simile alla graniglia dello zoccolo;

-l'intonaco cementizio rigato (tipico dell'area genovese) caratterizzato dalla presenza di aggregati di pietra di Finale frantumati in piccole dimensioni, dal colore di fondo grigiastro conferito dalla matrice cementizia e dalla lavorazione superficiale ottenuta mediante rigatura verticale allo stato semindurito ottenuta con modina. Tale lavorazione termina con un lavaggio superficiale, che asporta la pasta legante

⁵¹ NELVA R., SIGNORELLI B., in "Atti e rassegna tecnica-Società degli ingegneri e architetti in Torino", a. LIII, n. 2, 1999, pp. 54-64; NELVA R., in "Recupero e conservazione", a. I, n. 3, 1995, pp. 29-40. Il Dipartimento ISET si occupa del problema dal 1982: BARDELLI P. G., in "Recuperare", anno III, luglio-agosto 1984, pp. 339-343.

⁵² I dati relativi alle problematiche dell'edificio e all'intervento condotto sono tratti da: ZERBINATI M., *Manutenzione, pulitura e restauro delle finiture e dei paramenti murari tradizionali*, in BERTOZZI P., GHINI A., GUARDIGLI L. (a cura di), 2005, pp. 291-314.

in superficie, per mettere in evidenza i grani dell'aggregato.

Tra gli elementi in cemento decorativo, realizzati fuori opera e poi fissati al supporto, si possono annoverare le balaustre della scala esterna, dei balconi e le mensole terminali delle travi portanti. Questi elementi sono realizzati con le stesse miscele di quelli precedentemente citati ma presentano degli aggregati di colorazione e provenienza differente. Questi studi hanno permesso di definire le basi formulative su cui sono state effettuate delle prove preliminari di laboratorio, per stabilire i sistemi di pulitura più appropriati; i sistemi sono stati ulteriormente affinati attraverso l'esecuzione di campionature in cantiere. Per quanto riguarda la rappezzatura dello zoccolo in graniglia, è stato stabilito l'assortimento della ghiaia dell'impasto e l'applicazione è stata effettuata manualmente, facendo grande attenzione alla distribuzione per colore e dimensione. Le fasce a "bugna" e gli elementi ripetuti in serie hanno analoghe caratteristiche composizionali, ma differiscono per tessitura superficiale e grana.

Per risolvere il problema della reintegrazione delle malte sono state analizzate in laboratorio e successivamente sono stati creati differenti provini con leganti e aggiunte diverse, al fine di individuare quelle più significative da sperimentare in cantiere⁵³: la distribuzione degli aggregati è stata ottenuta per successive approssimazioni, usando diversi rapporti di miscela tra la matrice connettiva e assortimenti variabili di aggregati di grandi dimensioni. Per quanto riguarda l'intonaco rigato, la soluzione adottata per la risarcitura prevede l'uso di una sabbia silicea selezionata, l'impiego di una miscela legante con cemento bianco e calce idrata (rapporto in volume 1:1) e l'aggiunta di tre ossidi artificiali per la pigmentazione, per replicare il colore di fondo. Per l'aspetto applicativo, sono state condotte diverse prove *in situ* per individuare la corretta lavorazione con modine e i tempi giusti per l'esecuzione del lavaggio superficiale finalizzato alla messa in evidenza della grana⁵⁴. Gli additivi aggiunti alle miscele sono stati impiegati in polvere perché consentono maggiore precisione dei dosaggi dei principi attivi rispetto alle soluzioni. Sono stati usati un additivo aerante (etere di cellulosa modificato con un etere di amido) per facilitare la lavorazione, fibre sintetiche ad elevata bagnabilità (poliacrilonitrile) per aumentare la resistenza e una resina acrilica facilmente disperdibile per migliorare l'aderenza al supporto.

Fig. 14 - Dettagli inerenti il risarcimento delle lacune su villa Garrone.



⁵³ I dati relativi alle problematiche dell'edificio e all'intervento condotto sono tratti da: ZERBINATI M., *Manutenzione, pulitura e restauro delle finiture e dei paramenti murari tradizionali*, in BERTOZZI P., GHINI A., GUARDIGLI L. (a cura di), 2005, pp. 312-313.

⁵⁴ SCARZELLA P., *Rappezzatura di intonaci: requisiti, modelli di comportamento, principi costitutivi e realizzativi*, in AA. VV., 2000, doc. 2.1.1.

4.2.1 Analisi degli interventi

Ciascun caso è stato selezionato in quanto affronta lo studio dell'edificio, riprendendo la quasi totalità delle fasi principali riportate all'interno della ricerca. Di seguito è riportata una tabella che schematizza i passaggi presi in considerazione e ne identifica la presenza all'interno di ciascun caso.

Tab. 1 - Analisi delle fasi di studio dell'edificio condotte nei casi individuati.

FASE DI DIAGNOSI		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
REPERIMENTO MATERIALE ARCHIVISTICO E BIBLIOGRAFICO	studio della storia dell'edificio	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	studio dei materiali	•		•		•	•			•	•	•
	studio delle tecniche costruttive	•	•	•	•	•	•			•	•	•
INDAGINI DIAGNOSTICHE DI LABORATORIO E <i>IN SITU</i>	analisi granulometrica	•		•	•	•	•		•	•	•	•
	prova ultrasonica								•			
	sezione sottile	•		•					•	•		•
	stratigrafia			•				•	•			•
	spettrografia					•						
	termogravimetria					•						
	diffrattometria a raggi X		•		•	•			•		•	•
	sclerometro		•									
RILIEVO ARCHITETTONICO DEGLI ELEMENTI			•		•				•			
ANALISI DEL DEGRADO		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
INDIVIDUAZIONE DELLE CAUSE DEL DEGRADO		•	•			•	•		•		•	•

Nella seconda fase di analisi sono state individuate le fasi operative adottate durante ciascun intervento per comprendere al meglio l'approccio tenuto nelle diverse situazioni.

Tab. 2 - Fasi operative condotte nei casi individuati.

FASE DI ESECUZIONE		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
PRECONSOLIDAMENTO						• ¹		• ²	• ³	• ⁴		
PULITURE	acqua nebulizzata deionizzata			••		•					•	•
	Spazzolatura e lavaggio con acqua distillata	•				•	•		•	•		•
	microsabbatura		•	••		•		•				
	Impacchi (carbonato di ammonio, EDTA, soluzioni detergenti)	•			•	•		•		•	•	•
	biocida	•	•			•			•	•	•	
CONSOLIDAMENTO	•		•	•	•	•			•	•		
REINTEGRAZIONI	sigillatura fessurazioni				•	•			•	•	•	
	reintegrazione finitura superficiale				•	•	•	•				•
	reintegrazione volumetrica	•	•	••••	•	•	•	•	•	•	•	•
PROTEZIONE		•	•	••••					•	•	•	

¹ prodotti poliuretanic.

² malta di grassello di calce, cocchiopesto, emulsione acrilica.

³ emulsione di malta cementizia.

⁴ silicato di etile.

Per quanto riguarda le prassi operative adottate in fase di restauro, prima di analizzare nello specifico le diverse azioni di reintegrazione, è possibile comprendere quali siano le fasi più ricorrenti; negli interventi analizzati è possibile suddividere le diverse operazioni compiute in cinque diverse categorie:

- il preconsolidamento
- la pulitura
- il consolidamento
- la reintegrazione
- la protezione

Nella maggioranza dei casi viene specificato che ciascun intervento viene effettuato soltanto dopo aver eseguito saggi preliminari per verificare il grado di azione dei prodotti scelti. Il preconsolidamento ricorre soprattutto laddove ci siano finiture superficiali in avanzato stato di degrado, interessate da fenomeni di distacco ed erosione e che quindi se sottoposti ad azioni di pulitura potrebbero danneggiarsi irreversibilmente. I prodotti impiegati sono tra i più vari e comprendono malte cementizie, prodotti polimerici e silicato di etile.

Le tecniche di pulitura possono essere molto varie, tuttavia, per quanto attiene gli elementi realizzati con impasti cementizi, ricorre l'uso di puliture meccaniche come spazzolature o asportazioni con bisturi e successive puliture con acqua. Proprio l'acqua, impiegata con minore frequenza rispetto ai metodi a secco, è utilizzata per ammorbidire i depositi superficiali prima dell'uso di altre azioni di pulitura.

Abbastanza frequenti sono anche la aeroabrasione a secco e la microsabbatura, impiegate dove le superfici sono più ampie e lineari, dove le incrostazioni sono più resistenti oppure dove sono presenti delle pitture o delle vernici che devono essere eliminate.

In ultimo, sono adoperati anche gli impacchi, preferibilmente per l'applicazione di carbonato di ammonio, ma ricorrono anche EDTA (acido etilendiamminotetraacetico) e soluzioni detergenti. Essi trovano largo impiego nei casi in cui la superficie decorata da trattare è molto articolata; in questo caso l'uso di argille che si adattano alla forma della decorazione, inserendosi anche nei sottosquadri, è preferito ad altri tipi di trattamento; è una soluzione più delicata che agisce in maniera più controllata rispetto ad altri trattamenti. Resta però la soluzione meno economica tra i diversi trattamenti delle superfici cementizie.

In ultimo, molto frequenti sono i trattamenti di pulitura ad azione biocida, poichè tra i degradi maggiormente riscontrati vi è il biodeterioramento. In questi casi si applicano soluzioni testate a varie concentrazioni in modo da non influire sul supporto sottostante; il biocida prescelto viene periodicamente rinnovato con un'azione di più cicli fino a completa eliminazione dei biodeteriogeni presenti. Dopo un accurato risciacquo con acqua deionizzata e l'asciugatura delle superfici, si effettuano gli interventi di eventuale consolidamento; in molti casi si eseguono iniezioni di malta compatibile con il supporto, tuttavia una buona percentuale di casi presenta consolidamenti eseguiti con l'aiuto di sostanze polimeriche o silicato di etile applicato a pennello fino a rifiuto. La parte più importante dell'azione conservativa è la reintegrazione, che avviene perlopiù per sigillare fessurazioni, ripristinare le finiture superficiali e soprattutto effettuare reintegrazioni volumetriche. Questa fase viene trattata in maniera più accurata nella parte successiva del paragrafo. L'ultima operazione che viene compiuta è l'applicazione, generalmente a pennello o a spruzzo, di prodotti idrorepellenti che proteggano le superfici. Si può notare che i trattamenti non sono quasi mai coincidenti con l'applicazione di strati di finitura. Ciò è spiegabile in quanto lo strato di malta cementizia, steso come finitura superficiale, svolge oltre che una funzione decorativa anche una funzione protettiva per il supporto sottostante e risulta certamente più compatibile di qualsiasi altro prodotto idrorepellente.

Nelle tabelle precedenti, sono analizzate nello specifico le azioni riguardanti le reintegrazioni cementizie.

NOTE DELLA TABELLA NELLA PAGINA PRECEDENTE

9 Cemento e sabbia silicatica.

10 Calce idraulica, filler pozzolanici inerti.

11 Cemento romano, impregnanti idrorepellenti, sabbia di quarzo, pigmenti naturali, filler ritardanti.

12 L'impasto originale è costituito da: cemento in polvere e sabbia e rivestito da malta più fluida con inerti grossolani; le stuccature profonde: pozzolana setacciata, polvere di marmo, calce Lafarge; stuccature superficiali: carbonato di calcio, polvere di marmo, calce Lafarge. Per le sculture è stato usato un impasto di calce, polvere di marmo e cemento a basso contenuto di sali. Per problemi strutturali sono stati inseriti perni in vetroresina fissati con resine epossidiche; la superficie viene richiusa con rinzaffo, arriccio e un impasto di calce e polvere di marmo.

13 L'impasto originale è composto perlopiù da carbonato di calcio, quarzo, feldspato di potassio e biotite; la reintegrazione è eseguita con malta a base di calce aerea e aggregato quarzoso con granulometria finissima, pigmentata con silicati a base di potassio.

14 Malta di cemento, calce e inerti.

15 Copriferrì: cemento fibrorinforzato; intonaci: grassello di calce, cocchiopesto, emulsione acrilica, sabbia.

16 Composizione originale di cemento, calce aerea, sabbia quarzosa-silicatica e terre con cromia distinguibile da originale.

17 Malta di calce, polvere di pietra.

18 Malta di restauro composta da grassello di calce con un valore di rilascio di sali solubili molto basso e polvere di pietra con tessitura e porosità simili all'originale. Non è stato usato volontariamente cemento per evitare l'assorbimento di sali da parte dell'impasto originale.

19 All'impasto originale costituito da cemento bianco, calce idrata, ossidi e pietra di Finale (come aggregato), sono stati aggiunti un additivo aerante (etere di cellulosa modificato con un etere di amido) per facilitare la lavorazione, delle fibre sintetiche ad elevata bagnabilità (poliacrilonitrile) per aumentare la resistenza e una resina acrilica facilmente disperdibile per migliorare l'aderenza al supporto.

20 Elementi strutturali: realizzazione collegamenti in conglomerato cementizio per vincolare le strutture semplicemente appoggiate; rinforzo getti originali con l'uso di fibre di carbonio, per evitare di aumentare gli spessori; laddove i ferri di armatura corrosi avevano diminuito le capacità portanti dei pilastri, si è proceduto ad una nuova struttura in conglomerato cementizio armato.

21 Copriferrì: sabbiatura degli elementi in ferro per eliminare gli ossidi, applicazione di passivante in soluzione alcolica di acido fosforico e tannico e ricostruzione del copriferro impiegando del cemento fibrorinforzato. Fessurazioni: isolamento del ferro con iniezioni di resina epossidica; sigillatura temporanea con silicone modellabile e, dopo la presa, rimozione del silicone e sostituzione con malta a base di cemento.

22 Consolidamento attraverso microchiodature; ricostruzione attraverso tracce residue e rilievi in scala 1:1.

23 Smontaggio, pulitura, rimontaggio, reintegrazione.

24 Applicazione con modine, lavorazione superficiale con lavaggio a spugna per ottenere la stessa grana e rigatura verticale ad impasto semindurito.

FASE DI GESTIONE		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
OPERE POST INTERVENTO	Monitoraggio	●							●			
	Manutenzione ordinaria e straordinaria	●					●					●
	Manutenzione programmata (restauro preventivo)		●						●	●		●
	Nessuna programmazione			●	●	●		●			●	

Gli undici casi studio presentati sono stati selezionati poiché rappresentano degli interventi di restauro compiuti su edifici presenti sul territorio europeo e risalenti ai primi due decenni del secolo scorso. In ciascun dei casi analizzati è stato eseguito, dai tecnici coinvolti, uno studio preliminare che comprende alcuni degli aspetti affrontati nel percorso di conoscenza esposto nella presente ricerca. Si potrebbe ipotizzare, dunque, che la fase iniziale di tali interventi sia comune alla presente ricerca. L'approfondimento di questi interventi permette, quindi, di individuare quali strategie e soprattutto modalità operative sono state adottate nelle fasi successive ai momenti di studio, per intervenire sulla conservazione della fabbrica. In questo modo è possibile raccogliere una casistica delle possibili prassi operative da adottare; tali operazioni saranno confrontate, analizzate e selezionate e fungeranno da base, insieme al percorso finora svolto, per la definizione delle linee guida da adottare in fase di restauro.

Innanzitutto occorre precisare, come è possibile constatare dalle tabelle riportate sopra, che le fasi di ciascun intervento sono state suddivise in tre momenti distinti: fase di diagnosi, di progettazione e di esecuzione.

La prima fase è stata ulteriormente ripartita in: reperimento del materiale archivistico e bibliografico, indagini diagnostiche in situ e di laboratorio, rilievo architettonico, analisi del degrado, individuazione delle cause del degrado. Ciascun intervento non ha affrontato sistematicamente tutti i passaggi esposti e dunque non può essere ritenuto una perfetta esemplificazione del percorso costruito con il presente lavoro; possono tuttavia essere presi in esame poiché vicini ai concetti esposti.

La seconda fase riguarda le prassi operative messe in campo da ciascun intervento per risolvere le alterazioni presenti sugli impasti cementizi messi in opera.

Nella prima tabella sono state riportate le modalità operative legate alla risoluzione dei degradi più ricorrenti, suddividendo tali azioni in cinque categorie: preconsolidamento, pulitura, consolidamento, reintegrazione e protezione. Nelle successive è stato condotto uno studio più mirato sui degradi legati alla perdita di materia, ovvero distacchi, perdite di matrice o aggregati, fessurazioni e mancanze. Questo perché il problema della reintegrazione del materiale ha un ruolo notevole nel panorama delle tematiche inerenti il restauro degli impasti cementizi del XX secolo. È stato dunque affrontato studiando i diversi aspetti in cui è stato declinato in ciascun caso.

La fase di progettazione è stata declinata in diverse prassi di intervento e precisamente:

- la demolizione e ricostruzione della struttura portante con soluzioni tecnologiche attuali, generalmente adottata quando la situazione statica è compromessa ed eventuali altre operazioni non garantirebbero la sicurezza dei fruitori dell'immobile;
- la riproposizione dell'elemento mancante/ammalorato con materiale e forma uguale all'originale;
- la riproposizione dell'elemento mancante/ammalorato con tecnica esecutiva e forma uguale all'originale ma materiale distinguibile; in questi casi la composizione dell'impasto viene studiata con il fine di replicarla in fase di reintegrazione ma al contempo renderla riconoscibile;
- la riproposizione dell'elemento mancante/ammalorato con tecnica esecutiva e materiale diversi dall'originale ma mantenendo la forma uguale;
- la riproposizione dell'elemento mancante/ammalorato con tecnica esecutiva e materiale uguali all'originale ma forma semplificata;
- la riproposizione dell'elemento mancante/ammalorato con tecnica esecutiva, forma e materiale diversi dall'originale, rendendo l'intervento di reintegrazione assolutamente distinguibile e riconoscibile come fase contemporanea.

La fase di esecuzione è stata ripartita secondo la scelta delle operazioni riguardanti il tipo di impasto, le eventuali modifiche ad esso apportate, la tecnica esecutiva adottata e la preparazione delle maestranze coinvolte. In questo modo è possibile capire operativamente come vengono messe in pratica le premesse presentate in ciascun intervento. In ultimo viene presa in considerazione anche la fase di gestione

dell'immobile, dopo la conclusione dei lavori di restauro; alcuni infatti, prendono in considerazione anche la fase successiva all'intervento di loro competenza, ponendosi il problema della conservazione nel tempo dell'immobile e del mantenimento dell'intervento. Sono state così prese in considerazione le soluzioni più comunemente previste ovvero le fasi di monitoraggio, manutenzione ordinaria e straordinaria, e la manutenzione programmata oppure anche la mancanza di attenzione verso questo aspetto.

Dai dati raccolti è possibile evincere che, per quanto attiene la prima fase di diagnosi, grande attenzione viene dedicata allo studio teorico del fabbricato, attraverso la ricostruzione delle fasi storiche dell'edificio, il reperimento dei documenti di archivio e, laddove possibile, anche di cantiere, con il fine di conoscere la composizione dei materiali impiegati e le tecniche costruttive messe in pratica.

Per quanto attiene, invece, le indagini diagnostiche, i tipi di analisi scelti per conoscere la composizione mineralogica degli impasti sono differenti; questa varietà è dovuta in primo luogo al tipo di dato-output di cui si necessita, in secondo luogo alla spesa economica che per ciascun intervento è indirizzata alle indagini; in ultimo l'esperienza dei tecnici coinvolti nell'operazione che li guida verso l'uno o l'altro tipo di analisi. Certamente la più ricorrente è l'analisi granulometrica e mineralogica al microscopio stereoscopico e successiva setacciatura, che consta dell'isolamento dell'aggregato per disaggregazione in acqua deionizzata ed agli ultrasuoni. Tale analisi permette di avere dei risultati immediati, impiegando poche risorse e poco tempo e si può eseguire a costi contenuti. A seguire, tra le più utilizzate, sono presenti l'analisi mineralogico-petrografica in sezione sottile e l'analisi mineralogica per diffrazione a raggi X. Questi metodi diagnostici permettono di ottenere le caratteristiche composizionali, strutturali e tessiturali dell'impasto e dunque tutte le informazioni necessarie per ricostruire una malta compatibile con l'originale, pur richiedendo un costo minore rispetto al valore delle attrezzature impiegate con gli altri tipi di analisi.

Ricorre con meno frequenza (riscontrato solo in tre casi su dieci), invece, il rilievo architettonico degli elementi che necessitano di intervento. Questo passaggio risulta essere di fondamentale importanza, in quanto nella maggioranza dei casi la documentazione di archivio e i progetti originali non corrispondono alle opere realmente eseguite; l'approfondita ricerca storica diventa importante solo se accompagnata da un rilievo che confermi o corregga quanto individuato; diventano dunque dei passaggi complementari tra loro al fine di conoscere completamente la fabbrica. Anche perchè in molti casi, il cambiamento in corso d'opera del progetto è legato proprio alla sperimentazione di tecniche e materiali innovativi per l'epoca che spesso, proprio perchè scarsamente conosciuti, devono essere modificati in fase di realizzazione per essere impiegati correttamente. Per quanto riguarda l'analisi del degrado, tale fase è presente in tutti gli interventi, ma non sempre risulta accompagnata da un'indagine approfondita delle cause che hanno provocato le alterazioni. In questi casi l'intervento sarà probabilmente indirizzato ad attuare delle procedure per la risoluzione del danno fine a se stesso, non prestando attenzione alla necessità di eliminare la causa della sua formazione.

Per quanto riguarda la fase di progettazione dell'intervento, gli approcci adottati sono differenti: soltanto in un episodio si verifica una completa demolizione e ricostruzione delle strutture in conglomerato cementizio armato, impiegando nuove soluzioni tecnologiche, nello specifico nuovi solai in laterocemento supportati non più dalla struttura muraria esistente (da cui risultano fisicamente separati), ma da pilastri costruiti ex novo.

Il tema della riproposizione delle parti mancanti o delle parti, talmente ammalorate da richiedere una sostituzione, viene affrontato in modi differenti, pur avendo compiuto percorsi di studio dell'edificio similari. In tre casi si sceglie di adottare la soluzione della ricostruzione della porzione mancante, indipendentemente se piccola o più vasta, con materiale e forma originali; in questo modo la reintegrazione è probabilmente compatibile con il substrato, tuttavia una volta compiuto il

completamento non è possibile riconoscere l'originale dall'aggiunta. In questi casi le analisi mineralogico-petrografiche vengono sfruttate esplicitamente per formulare l'esatta composizione della malta da restauro, con l'intento di riprodurla pedissequamente.

Il metodo più diffuso è la riproposizione dell'elemento mancante con tecnica esecutiva e forma uguale all'originale, ma impiegando un materiale compatibile e allo stesso tempo distinguibile. In questi casi le analisi di laboratorio hanno permesso di conoscere l'esatta composizione dell'impasto, per identificare i componenti che ne determinano la cromia finale e poter così impiegare altri pigmenti per ottenere delle gradazioni di colore simili ma non uguali. In questi casi, è stato precisato che sono stati prodotti numerosi campioni con il fine di individuare la gradazione cromatica più opportuna che permettesse di creare una reintegrazione simile ma al contempo distinguibile, ad una distanza ravvicinata, rispetto al substrato. Sono stati dunque impiegati leganti e aggregati della stessa natura degli originali, pigmentandoli con terre naturali o silicati che determinassero delle cromie affini.

Un'altra scelta progettuale piuttosto comune è la riproposizione dell'elemento con tecnica esecutiva e materiali completamente diversi da quelli impiegati in origine ma mantenendo le forme. In questi casi, soprattutto laddove si presentino problemi strutturali, si fa ricorso a soluzioni tecnologiche adottate nelle nuove costruzioni, come ad esempio l'impiego di fibre di carbonio, oppure l'integrazione o il rifacimento di conglomerato cementizio armato ad alta resistenza, tralasciando i requisiti di compatibilità, reversibilità o riconoscibilità per adoperare materiali che abbiano i requisiti statici richiesti.

Soltanto nel caso degli interventi eseguiti nell'Europa centrale, laddove gli elementi non sono più recuperabili, si procede a ricostruire con forme semplificate. Tuttavia la prassi adoperata per quanto attiene il materiale da impiegare è quella di replicare esattamente la composizione originale, impiegando la stessa tecnica esecutiva; vi è infatti un importante studio sugli strumenti e gli stampi impiegati in origine, con lo scopo di replicarli e usarli per ricreare elementi identici al substrato. Le forme ancora presenti vengono replicate con stampi in silicone su cui poi si cola del gesso per ottenere lo stampo finale. Sono stati, inoltre, compiuti degli studi per produrre dei campioni di prova, con l'intento di ricreare esattamente la malta originale, che presentasse dunque la cromia adottata in fase di costruzione. L'elemento aggiunto, quindi, si distingue dal supporto originale poiché non presenta le naturali modifiche e viraggi cromatici generatisi con il trascorrere del tempo, ma anzi si ripresenta esattamente uguale allo momento della costruzione.

In ultimo, ma non trascurabile quanto ad importanza, non ricorrono esempi di reintegrazioni eseguite con tecniche, materiali e forme completamente nuove, perfettamente riconoscibili rispetto al substrato. L'inserimento di un elemento contemporaneo su una preesistenza, perlomeno nell'ambito della reintegrazione dei materiali non è una tecnica che ricorre, nel momento in cui si affronta uno studio preliminare come quello presentato. L'inserimento del cosiddetto "nuovo" sulla preesistenza⁵⁵, dunque, non viene preso in considerazione.

È stata analizzata poi la fase di esecuzione per comprendere nello specifico verso quali direzioni si sono indirizzate le scelte progettuali inerenti il tipo di impasto e la tecnica esecutiva, accompagnate dalla scelta del tipo di maestranze coinvolte. L'individuazione di manodopera con specifiche conoscenze, infatti, permette di capire quale possa essere il grado di accuratezza dell'intervento eseguito.

Nella maggior parte dei casi (casi n. 1-3-5-6 e 9), le analisi mineralogiche condotte hanno permesso di riprodurre esattamente l'impasto originale, solo in alcuni casi a tale impasto sono state apportate delle piccole variazioni cromatiche per

⁵⁵ Per il tema dell'inserimento del nuovo in fase di progettazione di un restauro si riporta: DALLA NEGRA R., *Il restauro consapevole: la traduzione dei principi conservativi e il difficile rapporto con le preesistenze*, in BALZANI M. (a cura di), 2011, pp. 15-19; MARINO A., *L'Addizione del progetto di restauro*, in PALAZZOTTO E. (a cura di), 2011, pp. 77-82.

rendere la reintegrazione distinguibile (caso n. 8). Negli altri casi l'impasto è stato studiato attraverso indagini diagnostiche, con il fine di apportare delle modifiche migliorative. Nella maggioranza dei casi, il nuovo impasto contiene delle aggiunte pozzolaniche per poter saturare le mancanze o le stuccature molto profonde; si adoperano infatti filler pozzolanici (caso n. 2), pozzolana setacciata (caso n. 4) oppure una miscela di cocchiopesto ed emulsione acrilica (caso n. 7). In un caso, l'impasto contiene un cemento migliorato a basso contenuto di sali (caso n. 4); in un altro si adopera un cemento fibrorinforzato (caso n. 7), mentre nel caso n.10 si rispetta l'impasto originale, ma il cemento viene sostituito con grassello di calce per evitare l'assorbimento di sali da parte dell'originale. Nel caso n. 11 le indagini diagnostiche sono state impiegate non a rifare le parti mancanti esattamente come erano state fatte in origine, bensì per rintracciare le formulazioni dei materiali e processi originali, capendo in che modo, attraverso i mezzi odierni, sia possibile conseguire un risultato riconoscibile ma integrato, per quanto possibile simile nell'aspetto, nella costituzione e nel comportamento in opera, ma per alcune caratteristiche migliorativo (aderenza al supporto, resistenza e lavorabilità).

Per quanto attiene la tecnica esecutiva, lo studio molto attento delle tecniche originali ha permesso nella maggioranza dei casi (casi n. 1-2-3-4-6-8-9 e 11) di ricostruire degli stampi in silicone e i moduli per ripristinare le modanature della decorazione originale. Nel caso n. 5 si è proceduto ad una attenta pulitura del ferro attraverso una sabbiatura e la successiva stesura di un passivante a base di soluzione alcolica di acido fosforico e tannico. L'armatura è stata poi isolata con della resina epossidica ed è stato ricostruito il copriferro con cemento fibrorinforzato. Le stuccature sono state dapprima temporaneamente sigillate con silicone modellabile e alla fine dei lavori quest'ultimo è stato sostituito con cemento. Nell'ultimo caso (caso n. 10) si è invece preferito effettuare uno smontaggio degli elementi in impasto cementizio da restaurare, per poi procedere con la pulitura e la reintegrazione delle parti mancanti con successivo e finale rimontaggio.

Per quanto attiene le maestranze impiegate durante l'esecuzione dei lavori, è stato possibile constatare che nella maggior parte dei casi i lavori sono stati effettuati da maestranze comuni, senza una specifica preparazione per l'ambito del restauro e soprattutto delle tecniche di restauro degli impasti cementizi storici. Soltanto in due casi (casi n. 6 e 7) i lavori sono stati eseguiti da maestranze specializzate, mentre nei casi n. 2, 3 e 4, le maestranze sono state istruite riguardo alle tecniche e alle modalità di esecuzione, in questo modo, sono stati impiegati operai con preparazione ordinaria, a cui però sono state insegnate nuove conoscenze inerenti l'ambito del restauro dell'architettura moderna.

In ultimo sono state raccolte delle informazioni inerenti le procedure da prevedere successivamente alla conclusione dell'intervento di restauro: purtroppo nella maggioranza dei casi non viene programmata alcuna manutenzione oppure opera di salvaguardia per l'architettura restaurata; soltanto nei casi 2, 8 e 9 si parla chiaramente di manutenzione programmata, mentre altri due casi (casi n. 2 e 6), prevedono degli interventi di manutenzione ordinaria in cui sono inseriti interventi di eventuale stuccatura e pulitura degli elementi e superfici restaurate. Nei casi n. 1 e 8 sono previsti veri e propri monitoraggi della struttura con il fine di intervenire repentinamente, qualora si dovessero manifestare problematiche conservative.

L'ultimo passaggio, riportato nei prossimi paragrafi, verifica la validità dell'intervento dal punto di vista teorico; gli interventi vengono infatti catalogati ripercorrendo i principi del restauro critico conservativo.

4.3 APPORTO TEORICO E METODOLOGICO DELLA DISCIPLINA DEL RESTAURO

Da circa vent'anni il tema del "restauro del moderno" è diventato di grande attualità, dapprima ponendo l'attenzione sulle opere degli architetti del Movimento Moderno; successivamente rivalutando le architetture del Novecento appartenenti alle correnti liberty ed espressionista, oppure legate ai regimi autoritari. Tutta l'architettura del XX secolo è, dunque, oggi al centro dei dibattiti legati a concreti problemi di selezione, tutela, conservazione e recupero. Il restauro del quartiere sperimentale *Weissenhof* di Stoccarda⁵⁶ ha costituito un vero punto di svolta nell'attenzione della cultura internazionale per questo nuovo tema del restauro, attenzione gradualmente sviluppatasi a partire dalla fase di denuncia delle distruzioni, fino a giungere all'organizzazione di congressi internazionali, l'applicazione di vincoli di tutela e la redazione di progetti di restauro e di recupero a nuovi usi.

Ciò nonostante, riguardo al restauro delle architetture contemporanee, riaffiora il dibattito tra "restaurare o conservare"⁵⁷, legato alle modalità e ai principi che guidano l'intervento⁵⁸; ciò pare avvenire ogni volta che una nuova categoria di opere assume la dignità di bene culturale; tale dilemma, infatti, è stato già affrontato e risolto dalla cultura del settore, almeno dal punto di vista teorico, da ben più di un secolo, perlomeno per quanto riguarda il restauro dei monumenti antichi.

Il restauro delle architetture del XX secolo è caratterizzato da alcuni aspetti che potrebbero renderlo differente dal restauro dei monumenti antichi, perlomeno agli occhi di chi si trova a doversi confrontare con un intervento di questo tipo. In primo luogo non si può sottovalutare l'importanza del processo di sostituzione dei materiali tradizionali con nuovi materiali che hanno segnato l'innovazione della produzione edilizia: il cemento armato, come l'acciaio, il vetro o le materie plastiche, unitamente all'abbattimento dei costi di trasporto e realizzazione, hanno gradualmente sostituito i materiali tradizionali (in genere più costosi da ottenere e più difficili da mettere in opera). L'impiego di materiali innovativi pone, rispetto all'uso di quelli tradizionali, nuove questioni dal punto di vista della loro conservazione: molti materiali non hanno dato prova di resistere nel tempo (si pensi al degrado del cemento armato o dei pannelli prefabbricati), altri sono stati sostituiti da prodotti migliori (si pensi al vetro-cemento), altri sono stati abbandonati in favore di materiali semplicemente più economici o che rispettano le nuove normative (si pensi ai materiali impastati con l'amianto, oggi proibiti).

Nell'ottica di un restauro, la situazione è alquanto complessa; da un lato sembra apparire priva di senso la riproposizione di tecniche costruttive o materiali che in passato hanno dato dimostrazione di non resistere all'azione del tempo, o che sono usciti dal mercato produttivo per inadeguatezza, o addirittura perché riconosciuti pericolosi. D'altro canto, dal punto di vista della storia della tecnologia costruttiva, alcune soluzioni presentano oggi un interesse documentario che non può essere tralasciato. La novità, dunque, che si presenta in fase di restauro di un edificio del XX secolo, consiste nei problemi di manutenzione e conservazione di edifici le cui modalità costruttive sono state influenzate significativamente dagli effetti della rivoluzione industriale.

⁵⁶ CARBONARA G., *Il restauro del nuovo: problemi generali e il caso del Weissenhof*, in CARBONARA G., 1997, p. 589. Il saggio riprende le riflessioni già svolte in un articolo precedente: CARBONARA G., *Il restauro del nuovo e il caso del Weissenhof di Stoccarda*, in AA.VV., 1992, pp. 49-60.

⁵⁷ BORIANI M., in "Costruire in laterizio", n. 60, 1997, pp. 392-397.

⁵⁸ La Carta del Restauro del 1972 affianca al termine «restauro», quello di conservazione, affermando che essi, insieme, «costituiscono una disciplina che si avvale di tutte le scienze e di tutte le tecniche che possono contribuire allo studio e alla salvaguardia del patrimonio monumentale»; più precisamente «la conservazione impone una manutenzione sistematica, favorita dalla loro utilizzazione in funzioni utili alla società [...]», mentre il «restauro è un processo che deve mantenere un carattere eccezionale. Il suo scopo è di conservare e di rivelare i valori formali e storici del monumento e si fonda sul rispetto della sostanza antica e delle documentazioni autentiche». Ciò è riportato in: MUSSO S. F., *Le Carte del Restauro*, in BELLINI A. et alii, 2005, p. 121.

In secondo luogo non è possibile tralasciare la sperimentazione di un'ampia gamma di tipi edilizi ben più numerosi rispetto ai secoli precedenti, e dovuta al moltiplicarsi delle attività sociali e produttive del XX secolo. Mentre gli edifici antichi offrono un grado di flessibilità d'uso abbastanza elevato, che garantisce loro una permanenza del valore d'uso nel tempo, le architetture del Novecento sono dimensionate e strutturate per specifiche funzioni e, dunque, al variare dei bisogni nel tempo da parte dell'utenza, si manifesta con maggiore evidenza l'inadeguatezza di queste costruzioni. Per alcune, in particolare (si pensi ai vecchi cementifici dei primi anni del Novecento, alle colonie e alle case del fascio realizzate con il regime fascista, oppure alle prime sale cinematografiche, ecc...), questa obsolescenza funzionale determina l'impossibilità di utilizzo oltre il momento della loro costruzione. L'inserimento di una nuova funzione, in questi casi, comporterebbe inevitabilmente uno stravolgimento dell'assetto distributivo dell'edificio, anche per soddisfare le nuove esigenze normative.

Una terza motivazione che potrebbe rendere più complesso un discorso sul restauro di un edificio del XX secolo, rispetto a quello da attuare su un monumento più antico, è legata alla quantità delle costruzioni appartenenti a quest'epoca. Gli edifici realizzati nel XX secolo, infatti, sono molto più numerosi degli edifici più antichi⁵⁹, in quanto sono stati realizzati per soddisfare le esigenze di una popolazione numericamente superiore e, soprattutto, perchè non sono ancora state distrutte dal trascorrere del tempo. Occorre, dunque, in fase di restauro, porsi un problema di dimensione degli interventi di manutenzione necessari e la possibilità di effettuare una selezione finalizzata alla conservazione.

Alla luce dei problemi fin qui sollevati, si può arrivare a sostenere che anche l'architettura del XX secolo gode di una sua unicità e irripetibilità che, alla stregua dell'architettura più antica, varrebbe la pena di conservare, non solo per i suoi caratteri formali, ma anche per quelli funzionali, tecnici e materici, seppur obsoleti o non più riproponibili.

Non sembra che esistano, dunque, motivi per trattare diversamente il restauro del nuovo da quello più tradizionale, nè da un punto di vista artistico, nè da punto di vista storico e neanche per motivi tecnici, considerata la diversità dei materiali moderni rispetto a quelli antichi. Diversità che può richiedere una diversa manualità e nuove competenze negli operatori del restauro, ma non motivare difformità di natura concettuale e di metodo.

L'abbondante presenza di illustrazioni d'epoca, disegni di progetto ed esecutivi potrebbe rappresentare una giustificazione per una facile replicabilità dell'oggetto architettonico moderno. Tuttavia, per formulare un intervento che risulti rispettoso dell'architettura su cui si opera e per evitare di incappare in facili tentazioni come potrebbe essere quella di un ripristino, bisogna ripercorrere il significato del termine "restauro", per poter riportare alla mente quale sia l'obiettivo da perseguire e cioè «non riprodurre o imitare, ma conservare e lasciare il testo in condizioni ottimali di godibilità estetica e di leggibilità storica; la copia, infatti, riproporrebbe solo quanto noi abbiamo capito del manufatto, ma non aggiungerebbe nulla; se essa è eseguita sui resti stessi del manufatto, potrebbe addirittura produrre danni irreversibili»⁶⁰. Si può, quindi, ipotizzare che tutti i criteri e principi⁶¹ invocati nel restauro generalmente inteso (la riconoscibilità, la reversibilità, il minimo intervento, la compatibilità chimico-fisica delle aggiunte, il preventivo riconoscimento della

⁵⁹ Per la sola Italia e per i soli edifici residenziali nel 1991, 5,4 milioni di abitazioni risultavano realizzate anteriormente al 1946, mentre 14,3 erano di epoca successiva. Dei 5,4 milioni solo 3,4 milioni risultano costruite prima del 1919. Dati presenti in: BORIANI M., in "Costruire in laterizio", n. 60, 1997, pp. 392-397.

⁶⁰ CARBONARA G., in "Parametro", n. 266, 2006, p. 24.

⁶¹ I principi a cui si fa riferimento sono quelli sanciti dalla *Carta del Restauro Italiana* del 1972, che trova il proprio fondamento nel libro *Teoria del restauro* di Cesare Brandi (1963), la cui pubblicazione ha segnato un evento cardine del dibattito sui problemi della conservazione e del restauro del patrimonio artistico.

duplice istanza, estetica e storica, dell'opera e dunque il rispetto dell'autenticità) potrebbero valere sia per il tradizionale 'restauro dei monumenti antichi' che per il 'restauro del nuovo'⁶².

Il primo tra i principi da rispettare, durante il restauro di un manufatto architettonico, è la conservazione dell'*autenticità*⁶³ dell'opera; dovrebbe infatti essere prioritario salvaguardare ciò che di un'opera può essere considerato 'documento storico', sia della sua fase di costruzione, che delle sue stratificazioni.

Non è possibile, attraverso un'azione di restauro, tentare di ristabilire l'unità di un'opera distruggendo la sua autenticità e imponendo così una nuova realtà, storicamente falsa.

Nel caso delle architetture di primo Novecento, la salvaguardia dell'autenticità degli elementi costituenti l'opera rappresenta la tutela dei materiali e di quelle tecnologie costruttive che non hanno eguali nella storia dell'architettura, in quanto sono testimonianza di sperimentazioni di un periodo culturale che ha superato rapidamente quelle soluzioni costruttive, per lasciare il posto a nuovi prodotti. Infatti, a differenza delle tecniche costruttive tradizionali, che hanno avuto modo di consolidarsi nel tempo, molto spesso materiali e tecniche riscontrate in un'opera dei primi del Novecento sono state velocemente soppiantate da miglioramenti esecutivi o soluzioni più opportune, diventando un *unicum* nella storia della tecnica edilizia (si pensi all'uso dell'impasto realizzato con cementi di magnesite). Il rispetto dell'autenticità di quell'elemento diventa, dunque, uno dei principi fondamentali perché l'azione di restauro sia innanzitutto «volta alla conservazione e alla trasmissione al futuro, facilitandone la lettura e senza cancellarne le tracce del passato nel tempo; essa si fonda sul rispetto della sostanza antica e della documentazione autentica costituita dall'opera, proponendosi come atto d'interpretazione critica non verbale ma espressa nel concreto operare. Più precisamente come ipotesi critica e proposizione sempre modificabile, senza che per essa si alteri irreversibilmente l'originale»⁶⁴. Le parole di Giovanni Carbonara riportano alla mente altri due principi fondamentali a cui si rifà un coerente e rispettoso intervento di restauro e cioè la compatibilità e la reversibilità.

La *compatibilità meccanica e chimico-fisica* con la preesistenza è una tematica di grande importanza nella progettazione degli interventi; il materiale impiegato dovrebbe presentare analoghe caratteristiche con l'originale, per assicurare all'insieme omogeneità di comportamento nel tempo ed evitare dilatazioni termiche e conseguenti distacchi, scorrimento di materiali, stati di coazione, disomogeneità meccaniche o anche accelerazione dei fenomeni di degrado al margine delle zone rinnovate⁶⁵.

Poiché alla base di un'azione di restauro deve esserci la trasmissibilità al futuro dell'opera, ogni intervento deve essere compatibile e possibilmente anche reversibile. Esso deve svolgersi facendo ricorso a materiali di sperimentata compatibilità con quelli sui quali si interviene e devono essere inseriti nell'opera con una progettazione che ne preveda anche la possibile futura rimozione, in modo che rimangano sempre separati, anche in vista di interventi futuri.

Trattando il restauro degli impasti cementizi, il principio della *reversibilità* viene difficilmente rispettato, poiché, la natura della materia stessa richiede un legame fisico tra l'originale e l'aggiunta, affinché si verifichi la riparazione. Senza tralasciare il fatto che, in molte occasioni, l'impasto non ha solo funzione decorativa, ma anche strutturale e dunque l'aggiunta deve essere solidale con l'esistente per poter svolgere appieno la propria funzione. E proprio perché la reversibilità in questo specifico caso non può essere rispettata, allora diventa dominante il ruolo di un altro principio alla base dell'intervento: la *riconoscibilità*. Le nuove aggiunte dovrebbero, in linea di massima, essere riconoscibili a vista e distinte dall'originale, quanto basta

⁶² CARBONARA G., in "Parametro", n. 266, 2006, p. 25.

⁶³ Per il concetto di autenticità di rimanda al testo: MARINO B. G., 2006.

⁶⁴ CARBONARA G., *Definizione*, in A. Bellini *et alii*, 2005, p. 143.

⁶⁵ CARBONARA G., 1997, p. 450.

per non sacrificare l'unità figurativa dell'opera. Questo aspetto può interessare sia gli interventi di consolidamento che prevedono sostituzioni o aggiunte di elementi strutturali, sia interventi di reintegrazione di parti decorative. Tale tema offre diverse soluzioni come ad esempio una differente pigmentazione delle malte per il restauro, oppure una semplificazione delle forme dell'elemento trattato; ma anche l'inserimento di componenti chimiche che rendano distinguibile l'aggiunta attraverso un'indagine chimica di laboratorio, la demarcazione dei contorni dell'aggiunta oppure una semplice documentazione riguardante l'azione di restauro. Lasciare traccia dell'intervento attraverso opportuni elaborati che evidenzino le sostituzioni, le integrazioni e le lavorazioni svolte potrebbe essere un'idonea soluzione per trasmettere alle generazioni future la reale situazione dell'intervento, integrando anche le motivazioni delle scelte progettuali, la descrizione dello stato dell'arte e le indicazioni per l'esecuzione dell'intervento (unitamente ai materiali adottati). Ciò agevolerebbe le attività future e favorirebbe la leggibilità di eventuali nuove alterazioni.

In ultimo, il fondamentale criterio del *minimo intervento* s'inserisce all'interno delle opere di restauro, quale insieme di operazioni compiute con cura sul monumento, con competenza, responsabilità, attenzione, rigore ed equilibrio. Per aver cura di un monumento bisogna in primo luogo conoscere la sua forma e la sua sostanza, le sue tecniche costruttive, annotare in modo scientifico le problematiche che richiedono un intervento ed intervenire con cura⁶⁶. Ciò vale ancor di più per un intervento su un'opera del XX secolo, dove la minore conoscenza dell'oggetto su cui si interviene (a causa della mancanza di una consolidata esperienza pregressa), accostata alla convinzione di conoscerlo molto meglio di un edificio più antico (perché temporalmente più vicino a chi interviene), potrebbe favorire operazioni non volte ad intervenire criticamente sul monumento architettonico e, dunque, senza moderare e controllare quantitativamente e qualitativamente le attività di restauro (la pulitura, il consolidamento, la protezione delle superfici lapidee; oppure le scelte più propriamente tecniche, progettuali e architettoniche, che investono il progetto di restauro nel suo insieme). Potrebbe invece condurre verso un'operazione di *ripristino*, ricostruendo con forma e tecnica costruttiva identica all'originale, il monumento o una sua parte⁶⁷. In questo caso non si potrebbe parlare propriamente di *restauro*, poiché la materia originale non viene rispettata nei suoi valori storici come nei suoi aspetti materiali.

Questo induce a considerare il restauro come qualcosa in più rispetto ad altre attività (riuso, valorizzazione, manutenzione, ecc.); si potrebbe, infatti, svolgere un'azione di reinterpretazione dell'opera, rifiutando un atteggiamento retrospettivo, imitativo di forme e tecniche del passato e mirando invece ad un'armonia tra conservazione e innovazione.

Facendo riferimento al termine restauro, bisogna però ricordare che se 'restauro' è «intervento attuato a fini di conservazione d'un oggetto cui si riconosca un valore storico, artistico, di cultura o, in altre parole, di "testimonianza materiale avente valore di civiltà"»⁶⁸, allora non tutti gli interventi sulle 'preesistenze' sono restauro e non tutto il costruito è di per sé bene culturale, ma solo quello che sia riconosciuto tale attraverso un giudizio storico - critico.

Quindi, si può parlare di restauro⁶⁹ dell'architettura contemporanea nel momento in cui si riconosce una valenza storico-testimoniale o artistica al manufatto, pur se

⁶⁶ PECORARO I., *Restauro dei monumenti architettonici: cenni sul significato dei termini*, Comunicazione svolta in occasione della settimana della cultura, il 14 maggio 2007, presso la sede arcivescovile di Brindisi, piazza Duomo, n. 12 – Brindisi.

⁶⁷ Per quanto riguarda il concetto di *ripristino* nel restauro, si potrebbe fare riferimento all'intervento di ricostruzione del Campanile di San Marco a Venezia, 1902-1912, ad opera di Gaetano Moretti, esemplificazione del motto "dov'era, com'era".

⁶⁸ CARBONARA G., in "Parametro", n. 266, 2006, p. 21.

⁶⁹ Tralasciando gli interventi di 'riqualificazione', 'riuso', 'ristrutturazione' e 'rifunzionalizzazione' definite dalla Legge 457/78.

prodotto in tempi a noi relativamente vicini, vale a dire nel corso del Novecento⁷⁰. Un edificio di qualità potrebbe infatti essere considerato meritevole di tutela per il suo solo pregio artistico, indipendentemente dal momento storico in cui è stato costruito.

In questa sede non verrà approfondito l'ambito relativo al riconoscimento del valore di un organismo architettonico, dando per assodato che le architetture trattate nel presente lavoro rientrano ormai a pieno titolo nell'ambito della tutela⁷¹.

4.3.1 Analisi degli interventi

Alla luce delle problematiche che interessano il restauro delle architetture novecentesche e dopo aver appurato quali siano le tematiche che dovrebbero guidare un coerente e rispettoso intervento, è possibile classificare i dieci casi selezionati sulla base del rispetto dei principi finora esposti.

Tab. 4 - Schema dei casi studio e dei principi presi in esame.

Casi	Città	Autenticità	Compatibilità	Reversibilità	Riconoscibilità	Minimo intervento
Palazzina Liberty - decorazione	Trento	✓	✓	✓	✓	✓
Palazzina Liberty - strutture	Trento	✗	✗	✗	✓	✗
Villino Matricardi - decorazione	Grottammare	✓	✓	✗	✓1	✓
Villino Matricardi - strutture	Grottammare	✓	✓	✓2	✓	✗
Interventi ROCARE	Cracovia	✗	✓	✗	✗1	✗
Villino Astengo	Roma	✓	✓	✗	✓	✓
Civico Acquario - decorazione	Milano	✓	✓	✗	✗	✓
Civico Acquario - strutture	Milano	✗	✓	✓	✓	✗
Casa de la Madrina	Valencia	✗2	✓	✗	✓3	✗
Palazzo Dario Biandrà	Milano	✓	✓	✗	✓	✓
Villa Sardi	Mogliano Veneto	✓	✓	✗	✓	✓
Villa Rosa	Altare	✓	✓	✗	✓	✓
Casa Campanini	Milano	✓	✗3	✓4	✓	✓
Villa Garrone	Savona	✓	✓	✗	✓	✓

LEGENDA

- ✓ Principio rispettato
- ✓ Soluzione compatibile ma ottenuta con materiali diversi tendenzialmente migliorativi
- ✗ Principio non tenuto in considerazione
- ✓1 Strato profondo con impasto diverso migliorato, strato superficiale uguale all'originale
- ✓2 Nuova struttura connessa alla precedente con elementi metallici
- ✓3 Impasto uguale all'originale, armatura in fibra di vetro, finitura ai silicati diversa da originaria
- ✓4 Non è stato usato impasto cementizio ma grassello di calce a basso contenuto di sali
- ✗1 Impasto uguale all'originale ma riconoscibile in quanto riportato al colore originario
- ✗2 Impasto uguale all'originale, armatura in fibra di vetro, finitura ai silicati diversa da originaria
- ✗3 Non è stato usato impasto cementizio ma grassello di calce a basso contenuto di sali

Dalla tabella riportata in alto si può dedurre che non tutti i tecnici che hanno realizzato questi restauri hanno attribuito la stessa importanza ai principi sopra citati, tant'è vero che la risposta a ciascuno di essi è stata differente.

La compatibilità e la riconoscibilità sono aspetti del restauro tenuti in massima

⁷⁰ CARBONARA G., in "Parametro", n. 266, 2006, p. 22.

⁷¹ D. Lgs. n. 42 del 22/01/2004, *Codice dei beni culturali e del paesaggio*; D.L. "Sviluppo" n. 70 del 13/05/2011.

considerazione; tutti gli interventi prevedono infatti delle indagini diagnostiche per determinare la composizione degli impasti con il fine di adoperare, per la loro reintegrazione, soluzioni compatibili. È l'ambito, peraltro, dove le sperimentazioni sono più frequenti; si cerca infatti di risolvere il problema attraverso strade diverse, impiegando additivi che rendano riconoscibile l'impasto ma allo stesso tempo ne migliorino le prestazioni; adoperando gli impasti originali ma modificandone grana, colore e texture, oppure migliorando le prestazioni dell'impasto interno, ma mantenendo l'impasto originale per la finitura esterna. A volte la riconoscibilità viene ottenuta sostituendo le armature interne ormai troppo deteriorate con nuovi materiali (fibre di vetro), pur mantenendo l'impasto uguale all'originale. In un unico caso si impiega volutamente un grassello di calce anziché il cemento nell'impasto, perché si ritiene che un cemento moderno, per quanto compatibile, possa peggiorare lo stato dell'originario, il quale assorbirebbe i sali solubili della materia aggiunta. L'autenticità è un valore molto complesso e con cui è difficile misurarsi. Ciò è visibile nel progetto europeo che tanto ha fatto per il recupero delle tecniche costruttive riguardanti l'impasto di cemento romano impiegato tra l'ultimo decennio dell'Ottocento e il primo del Novecento in Europa centrale. Sono stati compiuti, infatti, studi approfonditi sull'argomento per capire in che modo intervenire per il restauro degli edifici di inizio secolo; la possibilità di conoscere le composizioni degli impasti originali ha condotto verso una reintegrazione che si attiene pedissequamente ad essi, addirittura recuperando le cromie originali e ripristinandole così come si presentavano al momento della messa in opera. Pur essendo stato uno studio encomiabile, potrebbe risultare comunque difettoso per quanto attiene proprio l'autenticità dell'opera: quest'ultima perde, infatti, il significato di 'documento storico', lasciando il posto ad una realtà storicamente falsata da un ripristino non necessario. Per quanto attiene l'intervento eseguito a Valencia, invece, il principio di autenticità si rispecchia nella scelta di intervenire replicando l'impasto originale ma applicato su un'armatura sostituita da un materiale innovativo quale può essere la fibra di vetro; tuttavia si decide di ripristinare una finitura superficiale che riprende in buona parte le cromie originali, ma che da un punto di vista della buona riuscita estetica dell'intervento probabilmente non è così vicino al risultato sperato, in quanto si adoperano delle pitture ai silicati molto coprenti che alterano il colore originale.

Il minimo intervento è una scelta che ben si addice alle parti decorative dove l'azione di restauro è perlopiù sempre puntuale, mirata e quasi mai invasiva. Tuttavia in alcune delle opere presentate non si riscontra questa peculiarità; ciò è dovuto al fatto che in questi casi non si procede al restauro di un elemento ornamentale, bensì di parti strutturali (pilastri, colonne, solette, ecc...). Ciò accade poiché la sicurezza dell'utenza, il rispetto delle normative e la necessità di impiegare materiali ad alte prestazioni sono i principali aspetti da tutelare in questo tipo di interventi. Non vi è ancora una sufficiente sperimentazione per far sì che impasti cementizi con funzione strutturale non vengano sostituiti, ma reintegrati con impasti aventi caratteristiche simili agli originali.

L'ultimo aspetto di un restauro 'metodologicamente corretto', che però poco si addice ad un materiale come l'impasto cementizio, è la reversibilità, ottenuta in pochi casi impiegando materiali completamente differenti dall'originale o inserendo strutture che, aggiungendosi alle precedenti, sostituiscono la loro funzione statica. La distanza che emerge tra un assunto teorico ineccepibile, quello della reversibilità, ed una pratica, nel campo del restauro, che non sempre è in grado di conformarsi a tale criterio (almeno nella stessa misura in cui essa si adegua ai criteri di autenticità, compatibilità, riconoscibilità e minimo intervento), ci rende consapevoli che la reversibilità è perlopiù un 'concetto-limite' verso il quale è solo possibile tendere e che, nella pratica degli interventi realizzati, non sempre può essere soddisfatto pienamente e totalmente.

In conclusione, così come avviene per le opere più antiche, anche sulle architetture del XX secolo non esiste un ricettario a cui fare riferimento. È possibile però

formulare dei criteri, a partire dai principi che guidano l'ambito del restauro dei monumenti storici, per poter indirizzare l'intervento nella direzione più opportuna affinché risulti coerente e rispettoso della costruzione su cui si opera.



5 SUGGERIMENTI OPERATIVI PER LA CONSERVAZIONE

«[...] L'obiettivo da perseguire deve essere quello di massimizzare le istanze conservative, cogliendo l'architettura in tutta la ricchezza degli apporti che ne caratterizzano lo stato attuale; istanze che in ogni caso devono confrontarsi con le molteplici esigenze vitali, economiche e di sicurezza della società contemporanea. [...] Quella conservativa costituisce una scelta, intesa come limite verso cui tendere al fine di mantenere tutte le espressioni che caratterizzano lo stato attuale di ogni architettura interessata, senza per questo assumere atteggiamenti passivi o rinunciare a soddisfare le necessarie esigenze di riuso, operando però in questo caso aggiungendo piuttosto che sottraendo materia e quindi segni, significati e valori all'opera su cui si interviene»¹.

¹ PRATALI MAFFEI S., *Il restauro dell'architettura contemporanea*, in AA.VV., 2005, p. 60.

L'immagine presente nella pagina precedente ritrae dei campioni di prova di malte da restauro realizzati per il progetto europeo ROCARE.
Fonte dell'immagine: Atelier Gurtner di Vienna, <http://www.ateliergurtner.at/leistungen/romanzenment.html>.

5.1 QUALE APPROCCIO PER IL RESTAURO DEL NOVECENTO?

«S'intende per "restauro" qualsiasi intervento volto a conservare e a trasmettere al futuro, facilitandone la lettura e senza cancellarne le tracce del passaggio nel tempo, le opere d'interesse storico, artistico e ambientale; esso si fonda sul rispetto della sostanza antica e delle documentazioni autentiche costituite da tali opere, proponendosi, inoltre, come atto d'interpretazione critica non verbale ma espressa nel concreto operare. Più precisamente come ipotesi critica e proposizione sempre modificabile, senza che per essa si alteri irreversibilmente l'originale»¹. L'obiettivo finale del restauro, come emerge dalle parole di Giovanni Carbonara, è quello della trasmissione della testimonianza storica, che si ottiene attraverso azioni di salvaguardia, di conservazione ed anche di contenuta modifica, consentendo con ciò anche la possibilità di lettura dei significati insiti nell'opera.

Una delle questioni relative al restauro degli edifici del Novecento, su cui focalizza l'attenzione il lavoro, è legata ai materiali del secolo scorso; questi ultimi comprendono intonaci, malte, pavimenti, finiture, prodotti industriali sperimentali, sistemi di prefabbricazione, adottati per abbattere i costi, ma allo stesso tempo come manifesto del nuovo e più semplice modo di costruire. Tali prodotti meritano di essere conservati oppure possono essere sostituiti, e in quest'ultimo caso, con quali criteri e in quale misura? Sarebbe concepibile, trattandosi di restauro, correggere tecnologie rivelatesi difettose oppure anch'esse sono documenti storici di una fase, ancora non del tutto consolidata, almeno per quanto attiene la pratica delle nuove tecniche costruttive, ma ad ogni modo interessante, che dimostra di aver superato la tradizione plurisecolare?

Riguardo la questione del ripristino sarebbe necessario chiedersi se si voglia o meno conservare l'autenticità dei monumenti moderni e la loro integrità materiale, oppure se si dovrebbe tendere verso il mantenimento della sola forma visibile. Questo problema si rifà alla questione dei *valori*² e dunque al *perché* e a *che cosa* conservare prima di capire *come* farlo³.

All'interno di un suo saggio⁴, riguardante il restauro dell'architettura contemporanea, Giovanni Carbonara cita il caso del Grattacielo Pirelli a Milano (2003-2004), che costituisce «una vera applicazione sperimentale di restauro 'scientifico' del moderno, in quanto condotto nel rispetto dei criteri di metodo disciplinari e non verso la strada del ripristino. Qui il ruolo di una apposita commissione tecnico-scientifica, affiancata ai progettisti e all'impresa, ha permesso di proporre le linee metodologiche di tale restauro, orientando l'intervento in senso conservativo e non distruttivo. Ha invece proposto un consapevole approccio critico, guidato da una logica analoga a quella applicata verso quella antica e capace di procedere mediante riparazioni, reintegrazioni e aggiunte, sottilmente distinguibili dall'esistente, da compiersi solo dove lo stato di degrado dell'edificio lo richiede»⁵. Questo approccio è stato possibile tradurlo in operazioni e scelte concrete tali da condurre a soluzioni tecniche in grado di conservare il manufatto pur rispettandone le esigenze di funzionalità, sicurezza e di vivibilità. Il tema della risarcitura della grande lacuna, prodotta dall'impatto di un aeroplano, è stato risolto attraverso una cancellazione del danno provocato all'esterno e per la conservazione di una «zona della memoria» all'interno. L'effettivo intervento di restauro sulle facciate è partito dalla conoscenza puntuale di ciascun elemento, per capire i possibili margini di intervento⁶, anche perché si è rivelata non esserci una effettiva corrispondenza tra le opere eseguite e i disegni progettuali; questo poichè Giò Ponti modifica e adatta in fase esecutiva i pannelli da inserire. Si è

¹ CARBONARA G., definizione di "restauro", in BELLINI A. et alii, 2005, p. 143.

² Il rapporto tra 'valori' e restauro è trattato da A. Riegl. È possibile approfondire il tema facendo riferimento a: SCARROCCIA S. (a cura di), 1990.

³ CARBONARA G., 1997.

⁴ CARBONARA G., 2011, pp. 125-126.

⁵ *Ibidem*.

⁶ SALVO S., in "L'architetto italiano", n. 14, 2006, pp. 92-97.

poi arrivati a riprodurre con metodi semiartigianali le parti danneggiate, adottando la tecnologia originale⁷.

Fig. 1 - Milano, Grattacielo Pirelli, veduta dopo l'impatto aereo e dopo il restauro.



Il riconoscimento dell'importanza, che il patrimonio del XX secolo riveste, dovrebbe stimolare azioni volte alla sua salvaguardia e valorizzazione e nello stesso tempo favorire un fruttuoso dibattito circa i principi che potrebbero regolare queste operazioni di tutela.

Non diversamente da quanto avviene per le architetture più antiche, anche per le opere novecentesche è necessario prevedere interventi di tutela, conservazione e restauro, focalizzando preliminarmente l'attenzione sugli aspetti culturali che sottendono all'intervento stesso.

5.2 LA TUTELA DEL PATRIMONIO CULTURALE DEL NOVECEN- TO: ENTI E NORMATIVE

5.2.1 La situazione europea

L'intervento su edifici del secolo scorso è un tema complesso per diversi fattori, tra cui gli strumenti a disposizione del legislatore e degli attori coinvolti nei processi, i requisiti di sicurezza richiesti dalle normative e la loro compatibilità con l'esistente, i materiali impiegati e le condizioni ambientali, nel quale questi sono inseriti.

A livello internazionale, una delle più grandi organizzazioni che si occupa della tutela del patrimonio del XX secolo è "Docomomo International", avviata nel 1988 da Hubert-Jan Henket, architetto e professore, e Wessel de Jonge, architetto e ricercatore, presso la Scuola di Architettura presso l'Università Tecnica di Eindhoven, nei Paesi Bassi. I compiti svolti da questa organizzazione sono diversi: in primo luogo il riconoscimento e la catalogazione delle architetture realizzate in epoca moderna e ancora non tutelate; lo scambio di idee relativo alle tecnologie da adottare in fase di conservazione di tali architetture; ma soprattutto la diffusione di un interesse verso l'eredità architettonica di recente costruzione.

Dalla sua creazione, "Docomomo International" ha sperimentato una rapida crescita, affermandosi come uno dei principali protagonisti, non solo nel campo della conservazione, ma anche nel campo più ampio della cultura architettonica. Grazie infatti alla sua natura interdisciplinare, ha avuto la capacità di riunire storici, architetti, urbanisti, paesaggisti, ambientalisti, insegnanti, studenti e funzionari pubblici, per mettere insieme saperi diversi al servizio della tutela dei monumenti moderni. All'interno di Docomomo International si colloca: "International Specialist Committee on Technology (ISC/T)", la cui missione è quella di promuovere la documentazione e la conservazione del patrimonio del XX e XXI secolo, attraverso studi riguardanti la tecnologia e la qualità dei materiali dell'architettura moderna. Il comitato organizza seminari, workshop e incontri legati a queste tematiche.

⁷CARBONARA G., 2011, p. 127.

Il lavoro di ISC/T si fonda sulla convinzione che la tecnologia architettonica è una fonte irrinunciabile di ispirazione e conoscenza, fondamentale per la preparazione sia dei professionisti che dovranno operare sul campo, che dei teorici, i quali possono trarre preziosi insegnamenti dalla conoscenza della pratica edilizia del passato. Fin dal 1996, l'ISC/T organizza convegni riguardanti le tecnologie e i materiali del moderno; nel 1997 si è svolta una giornata di studi sulla conservazione e il ripristino del cemento a vista⁸. Gli atti del convegno si compongono di tre sezioni: la prima inerente la storia e lo sviluppo del materiale nell'architettura del Movimento Moderno in Europa e in America; la seconda sezione tratta le indagini diagnostiche e le tecniche di riparazione del calcestruzzo; in ultimo sono presentati alcuni casi studio riguardanti alcune tra le maggiori architetture realizzate con la tecnologia del calcestruzzo tra gli anni '20 e '70 del Novecento.

Anche la Francia ha approfondito queste tematiche attraverso numerose ricerche e studi che hanno portato alla creazione della rete di attori "Patrimoine 21"⁹. Questa associazione ha organizzato il primo seminario a Villeurbanne (4-5 dicembre 2012). L'incontro ha riunito circa 250 partecipanti: comunità, proprietari pubblici, imprenditori, architetti, cooperative edilizie, accademici, ricercatori e studenti. Da allora ogni anno questa associazione organizza delle giornate di studio durante le quali si affrontano le tematiche inerenti il recupero, il restauro e la riqualificazione del patrimonio architettonico realizzato durante il XX secolo.

Per quanto riguarda la normativa inerente la tutela del patrimonio culturale all'interno del panorama internazionale sono da citare: *Concrete Repair Guide (ACI 546R)*¹⁰, pubblicato dall'American Concrete Institute nel 1996 e riguardante le tecniche di riparazione del materiale cementizio, soprattutto ad uso strutturale, e impiegando soprattutto sostanze polimeriche oltre ad altri composti cementizi; *Principles for the analysis, conservation and structural restoration of architectural heritage*¹¹, redatto dall'organizzazione internazionale non governativa ICOMOS (Consiglio internazionale dei monumenti e dei siti), che opera per la conservazione dei monumenti e dei siti nel mondo. Quest'ultimo documento contiene due sezioni: la prima affronta i concetti alla base delle pratiche di conservazione, mentre la seconda riguarda le linee guida da seguire per un'azione di restauro metodologicamente corretta. Questo documento però, non riguarda esplicitamente le architetture del XX secolo, ma rappresenta piuttosto una guida per qualsiasi azione di restauro da eseguire in maniera metodologicamente corretta; l'organizzazione ICOMOS invece si occupa della salvaguardia di qualsiasi bene che possa essere riconosciuto come patrimonio culturale e dunque ha più volte affrontato la tematica della tutela delle architetture del Novecento, pur non avendo redatto documentazioni specifiche a tale riguardo.

5.2.1.1 LA NORMA EUROPEA UNI EN 1504

L'Italia ha recepito una normativa europea che definisce le procedure e le caratteristiche dei prodotti da usare per riparazioni, manutenzioni e protezione delle strutture in conglomerato cementizio. Tale norma è la UNI EN 1504 e, pur non trattando l'argomento da un punto di vista conservativo, è fondamentale per il presente lavoro.

Il principale scopo della Norma è quello di fornire dei validi strumenti al fine di poter ottimizzare l'intervento di ripristino; escludere un approccio semplicistico, basato solo ed unicamente sul fatto che, eliminando il materiale degradato e sostituendolo con una qualsiasi malta da ripristino, il problema sia risolto.

La norma si compone di 10 parti:

⁸ DE JONGE W., DOOLAAR A. (a cura di), 1998.

⁹ Il sito ufficiale dell'associazione è consultabile su: <http://patrimoine21.blogspot.it/>.

¹⁰ AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (a cura di), (3° ed.) 2008.

¹¹ ICOMOS (a cura di), 2003.

- UNI EN 1504-1:2005: Definizioni
- UNI EN 1504-2:2005: Sistemi di protezione della superficie di calcestruzzo
- UNI EN 1504-3:2006: Riparazione strutturale e non strutturale
- UNI EN 1504-4:2005: Incollaggio strutturale
- UNI EN 1504-5:2005: Iniezione del calcestruzzo
- UNI EN 1504-6:2007: Ancoraggio dell'armatura di acciaio
- UNI EN 1504-7:2007: Protezione contro la corrosione delle armature
- UNI EN 1504-8:2005: Controllo delle qualità e valutazione delle conformità
- UNI EN 1504-9:2008: Principi generali per l'uso dei prodotti e dei sistemi
- UNI EN 1504-10:2005: Applicazione in opera di prodotti, sistemi e controllo di qualità dei lavori.

In ciascuna di queste parti sono contenuti prodotti e sistemi che, se applicati, possono aumentare la durabilità delle strutture in conglomerato cementizio, possono essere impiegati per ripristinare l'aspetto geometrico ed estetico della struttura, ripristinarne l'integrità strutturale oppure garantire un legame duraturo con altri materiali applicati.

La parte 1 fornisce una definizione di tutti i termini significativi menzionati nel testo della norma. La parte 2 prende in considerazione i prodotti per la protezione della superficie del calcestruzzo, che devono rispondere a cinque principi fondamentali: la protezione contro l'ingresso di altre sostanze, il controllo dell'umidità, l'aumento della resistenza fisica, la resistenza ai prodotti chimici e l'aumento della resistività. La parte 3 prende in esame gli interventi di ripristino del calcestruzzo, il rinforzo strutturale e il ripristino della passività dei ferri. Sono anche riportati i requisiti prestazionali richiesti ai prodotti usati per il ripristino, i cui valori variano in base alle classi di resistenza di cui fanno parte. Sono presi in considerazione una serie di parametri di seguito riportati in tabella:

Tab. 1 - Requisiti prestazionali richiesti ai prodotti usati per il ripristino non strutturale e riportati all'interno della norma UNI EN 1504-3:2006: "Riparazione strutturale e non strutturale".

La parte 4 specifica le prestazioni e i requisiti per l'identificazione e per la sicurezza

Caratteristiche prestazionali	Metodo di prova	Requisiti prestazionali per prodotti non strutturali	
		CLASSE R2	CLASSE R1
Resistenza a compressione	EN 12190	≥ 15 MPa	≥ 10 MPa
Contenuto di ioni cloruro	EN 1015-17	≤ 0.05%	
Aderenza	EN 154	≥ 0,8 MPa (carico di rottura min = 0,5 MPa se c'è difetto di coesione)	
Ritiro / Espansione impediti	EN 12617-4	Larghezza media max di una incrinatura ≤ 0.05mm (senza incrinature ≥ 0,1mm) Assenza delaminazione Forza di legame: nessun valore singolo < 75% del requisito minimo	Nessun requisito
Resistenza alla carbonatazione	EN 13295	Nessun requisito (non idoneo per la protezione contro la carbonatazione)	
Modulo elastico	EN 13412	Nessun requisito	
Compatibilità termica: Gelo-disgelo	EN 13687-1	Larghezza media max di una incrinatura ≤ 0.05mm (senza incrinature ≥ 0,1mm) Assenza delaminazione Forza di legame dopo 50 cicli: nessun valore singolo < 75% del requisito minimo ≥ 0,8 MPa	-Ispezione visiva dopo 50 cicli -Larghezza media max di una incrinatura ≤ 0.05mm (senza incrinature ≥ 0,1mm)
Compatibilità termica: Temporal	EN 13687-2	Larghezza media max di una incrinatura ≤ 0.05mm (senza incrinature ≥ 0,1mm) Assenza delaminazione Forza di legame dopo 30 cicli: nessun valore singolo < 75% del requisito minimo ≥ 0,8 MPa	-Ispezione visiva dopo 30 cicli - Larghezza media max di una incrinatura ≤ 0.05mm (senza incrinature ≥ 0,1mm)
Compatibilità termica: Cicli a secco	EN 13687-4	Larghezza media max di una incrinatura ≤ 0.05mm (senza incrinature ≥ 0,1mm) Assenza delaminazione Forza di legame dopo 30 cicli: nessun valore singolo < 75% del requisito minimo ≥ 0,8 MPa	- Ispezione visiva dopo 30 cicli - Larghezza media max di una incrinatura ≤ 0.05mm (senza incrinature ≥ 0,1mm)
Resistenza allo slittamento (solo per aree trafficate)	EN 13036-4	Classe I: > 40 unità con prova a umido Classe II: > 40 unità con prova a secco Classe III: > 55 unità con prova a umido	
Coefficiente di espansione termica	EN 1770	valore dichiarato	

di prodotti e sistemi da impiegare per l'incollaggio strutturale di materiali di rinforzo ad una struttura in conglomerato cementizio esistente tra cui: le piastre di acciaio esterne o in composti rinforzati con fibre, oppure l'incollaggio di calcestruzzo indurito (utilizzo di unità prefabbricate) o fresco su calcestruzzo indurito. La parte 5 riguarda i prodotti per iniezione, riparazione e protezione delle strutture in calcestruzzo, impiegati per:

- riempimento delle fessure, dei vuoti e degli interstizi nel calcestruzzo per trasmettere gli sforzi;
- riempimento duttile di fessure, vuoti e interstizi nel calcestruzzo con prodotti flessibili in grado di sopportare movimenti successivi;
- riempimento espansivo di fessure, vuoti e interstizi nel calcestruzzo con prodotti in grado di espandersi ripetutamente per l'assorbimento di acqua.

La parte 6 riguarda il consolidamento strutturale e prende in considerazione i prodotti a base di leganti idraulici o resine sintetiche o un mix di entrambi, con consistenza fluida o pastosa, per ancorare i ferri di armatura nelle strutture in calcestruzzo.

È presente una sezione (la parte 7) in cui sono riportati i principi e i metodi correlati alla soluzione dei problemi di corrosione dell'armatura. Si distinguono:

- i rivestimenti attivi (rivestimenti che contengono pigmenti elettrochimicamente attivi che possono funzionare da inibitori e che possono fornire protezione catodica localizzata¹²).
- i rivestimenti a barriera (rivestimenti che isolano le armature dall'acqua di risalita capillare nella matrice cementizia che la ricopre).

Tra le proprietà, che un prodotto di rivestimento deve avere, ricorrono: la densità delle sostanze volatili o non volatili contenute; la viscosità; la consistenza, la tixotropia e la durezza del prodotto.

La parte 8 specifica i procedimenti per il controllo della qualità e la valutazione della conformità, compresa la marcatura ed etichettatura dei prodotti, ed è dunque rivolta principalmente a produttori ed enti certificatori.

La parte 9 della norma è fondamentale, in quanto fornisce una guida alla scelta dei prodotti e sistemi appropriati per l'uso previsto.

In essa sono identificati gli obiettivi della protezione e riparazione; i requisiti minimi e le indicazioni per la scelta dei prodotti.

Tale parte definisce alcuni accorgimenti da tenere in considerazione durante l'intervento:

- eseguire delle indagini per valutare le condizioni della struttura e identificare le cause del deterioramento;
- pianificare e valutare le opzioni, i principi e i metodi dell'intervento;
- determinare le azioni necessarie per correggere eventuali difetti, i requisiti che deve possedere il metodo da adottare e infine i requisiti che devono soddisfare i materiali da impiegare.

I principi, stabiliti dalla UNI EN 1504, a cui deve rispondere un prodotto utilizzato per la riparazione, ripristino o sostituzione di un materiale cementizio, sono i seguenti:

1	Protezione contro l'ingresso di agenti aggressivi (acqua, vapore, gas, agenti chimici o biologici)	6	Resistenza ai prodotti chimici
		7	Conservazione e il ripristino della passività
2	Controllo dell'umidità	8	Aumento della resistività
3	Ripristino del calcestruzzo	9	Controllo catodico
4	Rafforzamento strutturale	10	Protezione catodica
5	Resistenza fisica	11	Controllo delle aree anodiche

¹² Il cemento stesso è considerato un pigmento attivo grazie alla sua alcalinità.

In merito al ripristino del calcestruzzo¹³ valuta diversi metodi di intervento tra cui: l'applicazione della malta a mano, il nuovo getto di calcestruzzo, spruzzo di calcestruzzo o malta oppure sostituzione dell'elemento.

Per quanto riguarda, invece, il rafforzamento strutturale, la norma propone: l'aggiunta o sostituzione delle barre di armatura di acciaio; l'installazione di barre anegate in fori preformati o realizzati nel conglomerato; il collegamento mediante piastre; l'aggiunta di malta o calcestruzzo; l'iniezione o il riempimento nelle fessure o nei vuoti; la precompressione.

Infine la parte 10 infine fornisce i requisiti per:

- definire le condizioni del substrato prima e durante l'applicazione, compresi la stabilità strutturale,
- lo stoccaggio dei prodotti
- la preparazione dei prodotti
- l'applicazione dei prodotti e dei sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo, compresi il controllo di qualità, la manutenzione, la salute e la sicurezza e l'ambiente.

La norma fin qui riportata è un utile strumento di indirizzo per l'individuazione dei prodotti da utilizzare e dei principi da seguire in fase di intervento su un elemento realizzato con l'uso di impasti cementizi.

Tratta, nello specifico, i conglomerati cementizi e specifica i comportamenti da seguire se vi è la presenza di armature.

Tuttavia, per quanto la norma possa essere dettagliata ed estremamente utile per la scelta dei prodotti da impiegare, trascura l'aspetto conservativo di un materiale che può avere funzione di 'documento storico' e, dunque, merita un trattamento di tutela più specifico. Pur trattando interventi di riparazione e reintegrazione, trascurando la compatibilità tra i due materiali (originale e di nuova applicazione), intesa nel rispetto dell'autenticità di quello già in opera.

5.2.2 La situazione italiana

In Italia non esiste una normativa specificatamente concepita per il patrimonio del XX secolo. Analoga è la situazione anche per i protocolli, la documentazione o le linee guida d'intervento che dovrebbero costituire una base indicativa dalla quale ricavare delle norme declinate, caso per caso, a seconda dell'effettivo stato di fatto e delle peculiarità di ogni progetto, per aiutare gli addetti ai lavori nelle loro attività. Nel 1990 nasce DOCOMOMO Italia, uno dei primi gruppi nazionali di DOCOMOMO International e che si costituisce formalmente come associazione culturale nell'ottobre 1995.

Essa ha come obiettivo la documentazione e la conservazione degli edifici e dei complessi urbani moderni e opera per la valorizzazione dell'architettura moderna¹⁴. Tra le finalità principali si annoverano: la conoscenza e la documentazione del patrimonio architettonico moderno, la promozione della sua salvaguardia e lo studio di metodologie e criteri di intervento appropriati e rispondenti al suo valore testimoniale. In questa azione Docomomo ha come interlocutori studiosi, istituzioni preposte alla tutela (Ministero per i Beni e le Attività Culturali e Soprintendenze), centri di studio, dipartimenti universitari ed enti locali nonché imprese impegnate nel campo del restauro.

DOCOMOMO Italia, inoltre, porta avanti una campagna di sensibilizzazione della popolazione, attraverso seminari aperti al pubblico, i cui obiettivi sono il

¹³ La norma UNI EN 1504 definisce ripristino: intervento sul calcestruzzo originale di un elemento della struttura volto a ricondurre alla forma e alla funzione specificate originariamente. Ripristino può avvenire anche mediante sostituzione di una parte.

¹⁴ Le finalità e la descrizione dell'associazione Docomomo sono estratte dal sito ufficiale della stessa associazione: <http://www.docomomoitalia.it/drupal/profilo>

coinvolgimento verso tematiche ancora poco esplorate e la volontà di fornire risposte ai molteplici problemi connessi alla conoscenza e alla salvaguardia di questo ampio patrimonio.

A queste associazioni di tutela, che agiscono sulla conservazione ad ampio raggio del patrimonio culturale del XX secolo si affiancano, poi, una serie di organizzazioni minori, che hanno come obiettivo la catalogazione e il riconoscimento del pregio del patrimonio architettonico del XX secolo; tra queste si riportano alcuni nomi di quelle inerenti la salvaguardia del patrimonio liberty italiano:

- "A.n.d.e.l. Associazione Nazionale Difesa Edifici Liberty"¹⁵, nata nel 2009, che si occupa di architettura, arti e artigianato, il cui obiettivo principale è la promozione dell'architettura, la cultura e le tradizioni e, in generale, la protezione e la valorizzazione degli edifici otto e novecenteschi, in particolare della provincia di La Spezia;

- "Romagna Liberty"¹⁶ è un progetto culturale sviluppato con lo scopo di sensibilizzare la popolazione verso la conoscenza e la salvaguardia delle architetture liberty dell'area dell'Emilia Romagna;

- "Arte liberty in Italia"¹⁷, sito web suddiviso in diverse sezioni (architettura, pittura, scultura, arti applicate e storia) che porta avanti il censimento dei prodotti italiani di gusto liberty.

Non solo la stagione liberty ma tutto il patrimonio del secolo scorso ha richiamato l'attenzione di enti e associazioni; per quanto attiene gli enti statali, il MIBAC, Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo, a partire dal 2002, ha avviato un "Censimento nazionale delle architetture italiane del secondo Novecento per la valorizzazione e la promozione della conoscenza delle opere di architettura contemporanea", finalizzata alla valutazione ed al rilascio delle dichiarazioni di importante carattere artistico, e all'attività di salvaguardia e tutela previste per le opere di architettura contemporanea. È stato preso come punto di partenza l'anno 1945, fine del Secondo Conflitto Mondiale e inizio del periodo segnato dalla ricostruzione e, dunque, dal riavvio della produzione edilizia e dell'innovazione tecnologica. Per la fase della "selezione" e dell'identificazione della valenza storico-artistica è stata elaborata una griglia di valutazione, basata su criteri bibliografici e storico-critici; In particolare le verifiche bibliografiche hanno tenuto conto della "fortuna critica" di un'opera architettonica, delle citazioni in pubblicazioni specifiche e di riconosciuta importanza nazionale ed internazionale, mentre i criteri storico-critici hanno preso in esame elementi legati alle vicende storiche e architettoniche, all'evoluzione del dibattito culturale e disciplinare, al ruolo significativo svolto dall'opera nel contesto, alla notorietà e rilevanza del suo autore.

Per quanto riguarda il degrado delle architetture, la Commissione NORMAL (Normativa Manufatti Lapidei), che opera sotto il patrocinio dei centri CNR e dell'Istituto Centrale per il Restauro, ha il compito di definire dei metodi unificati per lo studio delle alterazioni dei materiali architettonici lapidei. Tra i documenti di maggiore importanza redatti dalla Commissione vi sono le Raccomandazioni NORMAL 1/88, successivamente aggiornate e sostituite con la Norma UNI 11182/2006 dal titolo "Beni Culturali. Materiali lapidei naturali ed artificiali. Descrizione della forma di alterazione - Termini e definizioni" (approvata dalla Commissione Tecnica UNI Beni Culturali - NORMAL). Tali norme identificano la scelta e la definizione dei termini utili per indicare le differenti forme di alterazione visibili macroscopicamente sul materiale. Quest'ultima norma, rispetto alla precedente, aggiorna l'ambito studiato estendendo le alterazioni anche ad alcuni materiali lapidei artificiali come stucchi e ceramiche, sottolineando come anch'essi possono subire delle alterazioni alla stregua dei

¹⁵ <http://www.libertyandel.it/>

¹⁶ <http://www.romagnaliberty.it/>; tale progetto è connesso all'organizzazione "Italia Liberty" presieduta da un comitato di studio e che ha l'obiettivo di riconoscere e catalogare le architetture liberty in Italia; per farlo organizza concorsi fotografici, mostre e incontri aperti al pubblico: <http://www.italia-liberty.it/>.

¹⁷ <http://www.arteliberty.it/architettura.html>.

materiali storici (laterizi, pietre naturali e malte) finora trattati.

Sotto il profilo normativo del riconoscimento della valenza testimoniale di questa categoria di edifici, si riscontrano ancora delle lacune; in tal senso occorre citare uno dei principali riferimenti normativi, che pone l'attenzione nei confronti dei beni culturali, e cioè il Decreto Legislativo n.42 del 2004, noto anche come "Codice dei beni culturali e del paesaggio", modificato in alcuni suoi aspetti dall'articolo 4 comma 16 del Decreto Legge "Sviluppo" n.70 del 13 maggio 2011. Quest'ultimo ha elevato da 50 anni a 70 anni la soglia d'età oltre la quale sono sottoposti a un regime speciale i beni immobili di proprietà pubblica e delle persone giuridiche private senza scopo di lucro, compresi gli enti ecclesiastici. Il Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio ha aggiornato le precedenti normative in materia di salvaguardia del patrimonio culturale: la Legge n. 1089/1939 "Tutela delle cose di interesse storico e artistico" e il D. Lgs. n.490/1999 "Testo Unico delle disposizioni legislative in materia di beni culturali e ambientali"; tuttavia, il Codice non comprende ancora specifiche regolamentazioni riguardanti l'ambito delle costruzioni storiche più recenti.

La normativa fornisce degli indirizzi generici validi alla salvaguardia degli edifici di interesse storico-artistico, siano essi appartenenti all'epoca moderna o più antica. Ecco perché i principi e i criteri della disciplina del restauro costituiscono un utile fondamento teorico-metodologico dal quale avviare riflessioni che potrebbero essere garanzia di interventi più consapevoli.

Tuttavia, per quanto la normativa possa fornire degli indirizzi procedurali, occorre precisare che ogni volta che ci si pone dinnanzi ad un intervento di restauro, è importante studiare la soluzione più opportuna e più confacente a quel singolo contesto. Ciascuna azione prevede sempre la necessità di sviluppare ricerche, di apprezzare il valore di una situazione, di studiare la soluzione più opportuna, anche al di fuori delle conoscenze consolidate¹⁸.

5.2.2.1 LA NORMATIVA TECNICA

Quando ci si pone dinanzi ad una malta storica da reintegrare, sono tante le domande a cui dover dare risposta; occorre capire, innanzitutto, cosa è importante conoscere e dunque quali informazioni cercare per poter trovare una soluzione al problema; che tipo di indagine condurre e quale tipo di informazioni è possibile ottenere e, infine, capire se esiste una normativa nazionale adeguata a dare degli indirizzi per una corretta risoluzione del problema.

Se da un punto di vista metodologico la normativa italiana non affronta con attenzione il tema del restauro degli edifici novecenteschi e del reintegro delle lacune, è invece molto più dettagliata sotto il profilo tecnico legato alle caratteristiche composizionali, di sicurezza e resistenza degli impasti cementizi. Parte di tali norme sono il frutto di disposizioni emesse a livello europeo e successivamente recepite dalla legislazione italiana, altre invece sono state formulate dagli enti di normazione nazionali.

Molte di queste normative sono rivolte al corretto confezionamento del calcestruzzo o del legante cementizio, focalizzando l'attenzione sulla determinazione di malte e conglomerati da impiegare in ambito strutturale, senza porre particolare attenzione al problema del reintegro di impasti cementizi che possono avere valenza storico-artistica: si pensi ad esempio alla normativa UNI EN 1504-10:2005 "Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Definizioni, requisiti, controllo di qualità e valutazione della conformità" oppure alla UNI EN 206-1:2006 "Calcestruzzo - Parte 1: Specificazione, prestazione, produzione e conformità"; pur trattando la reintegrazione del materiale cementizio danneggiato e la produzione di impasti, tali norme non affrontano l'aspetto di tutela del materiale quale 'documento storico' meritevole di salvaguardia.

¹⁸ CECCHI R., saggio senza titolo in BELLINI A. *et alii*, 2005, p. 34.

Per il presente lavoro è stata condotta una ricerca per identificare lo stato dell'arte a livello normativo inerente gli impasti cementizi legati all'ambito dei beni culturali¹⁹; sono volontariamente tralasciate le norme inerenti l'ambito del conglomerato cementizio con funzione strutturale, in quanto tale trattazione presupporrebbe la necessità di includere tutte le norme di: tutela antisismica, calcestruzzo strutturale, conglomerato cementizio armato e precompresso, nessuno dei quali è oggetto del presente lavoro.

Di seguito si riporta un breve excursus relativo alle principali normative rintracciate, suddividendole nelle quattro principali tematiche trattate:

Tab. 2 - Elenco delle principali normative che regolano l'uso degli impasti cementizi.

Descrizione, composizione mineralogico-petrografica e caratteristiche chimico-fisico-meccaniche	
Indagini diagnostiche	
Alterazione e degrado	
Prodotti e tecniche per gli interventi su impasti cementizi con funzione non strutturale	
UNI 10813:1999	Beni Culturali. Materiali lapidei naturali ed artificiali - Verifica della presenza di microrganismi fotosintetici su materiali lapidei mediante determinazione spettrofotometrica UV/Vis delle clorofille e, b e c
UNI 10859:2000	Beni Culturali. Materiali lapidei naturali ed artificiali - Determinazione dell'assorbimento dell'acqua per capillarità Sostituisce Normal 11/85
UNI 10921:2001	Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Prodotti idrorepellenti - Applicazione su provini e determinazione in laboratorio delle loro caratteristiche
UNI 10922:2001	Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Allestimento di sezioni sottili e sezioni lucide di materiali lapidei colonizzati da biodeteriogeni
UNI 10923:2001	Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Allestimento di preparati biologici per l'osservazione al microscopio ottico Sostituisce Normal 19/85
UNI 10924:2001	Beni culturali - Malte per elementi costruttivi e decorativi - Classificazione e terminologia Sostituisce Normal 23/86 e Normal 23/87
UNI 10925:2001	Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Metodologia per l'irraggiamento con luce solare artificiale
UNI EN 1008:2003	Acqua d'impasto per il calcestruzzo - Specifiche di campionamento, di prova e di valutazione dell'idoneità dell'acqua, incluse le acque di recupero dei processi dell'industria del calcestruzzo, come acqua d'impasto del calcestruzzo
UNI 11060:2003	Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali. Determinazione della massa volumica e della percentuale dei vuoti
UNI 11088:2003	Beni culturali - Malte storiche e da restauro - Caratterizzazione chimica di una malta - Determinazione del contenuto di aggregato siliceo e di alcune specie solubili
UNI 11089:2003	Beni culturali - Malte storiche e da restauro - Stima della composizione di alcune tipologie di malte
UNI 11121:2004	Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Determinazione in campo del contenuto di acqua con il metodo al carburo di calcio.
UNI 11139:2004	Beni culturali - Malte storiche - Determinazione del contenuto di calce libera e di magnesia libera
UNI 11140:2004	Beni culturali - Malte storiche - Determinazione del contenuto di anidride carbonica
UNI EN 13396:2004	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Misurazione della penetrazione degli ioni cloruro

¹⁹ Il 19/06/1996 è stata firmata una convenzione tra il Ministero per i Beni e le Attività Culturali e l'UNI, particolarmente sensibile ai problemi di normazione nel settore dei beni culturali. Scopo della convenzione (come cita l'art.1) è quello di attivare una collaborazione finalizzata alla elaborazione comune di norme tecniche, valide a livello nazionale ed idonee ad essere proposte a livello europeo per la creazione di un ente unico che si occupi del campo del restauro e del recupero.

UNI EN 196	Metodi di prova dei cementi
UNI EN 197	Cemento
UNI EN 1504	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Definizioni, requisiti, controllo di qualità e valutazione della conformità
UNI EN 14216:2005	Cemento - Composizione, specificazioni e criteri di conformità per cementi speciali a calore di idratazione molto basso
UNI EN 206-1:2006	Calcestruzzo - Parte 1: Specificazione, prestazione, produzione e conformità
UNI 11176:2006	Beni Culturali - descrizione petrografica di una malta
UNI 8520	Aggregati per confezione di calcestruzzi
UNI EN 450	Ceneri volanti per calcestruzzo
UNI EN 13263	Fumi di silice per calcestruzzo
UNI EN 934	Additivi per calcestruzzo, malta e malta per iniezione
UNI EN 480	Additivi per calcestruzzo, malta e malta per iniezione - Metodi di prova
UNI 11177:2006	Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Istruzioni complementari per l'applicazione della EN ISO 12571 - Prestazione igrotermica dei materiali e dei prodotti per l'edilizia - Determinazione delle proprietà di assorbimento igroscopico
UNI 11182:2006	Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Descrizione della forma di alterazione - Termini e definizioni Sostituisce Normal 1/88
UNI 11187:2006	Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Pulitura con tecnologia laser
UNI 11189:2006	Beni culturali - Malte storiche e da restauro - Metodi di prova per la caratterizzazione chimica di una malta - Analisi chimica
UNI EN 14647:2006	Cemento alluminoso - Composizione, specificazioni e criteri di conformità
UNI EN 12620:2008	Aggregati per calcestruzzo
UNI 11186:2008	Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Metodologia per l'esposizione a cicli di gelo e disgelo
UNI CEN/TR 15697:2008	Cemento - Prove prestazionali di resistenza ai solfati - Rapporto sullo stato dell'arte
UNI 11305:2009	Beni culturali - Malte storiche - Linee guida per la caratterizzazione mineralogico-petrografica, fisica e chimica delle malte
UNI EN 15743:2010	Cemento sovrasolfatato - Composizione, specifiche e criteri di conformità
UNI 11432:2011	Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Misura della capacità di assorbimento di acqua mediante spugna di contatto
UNI EN 1744-1:2013	Prove per determinare le proprietà chimiche degli aggregati - Parte 1: Analisi chimica
UNI 11526:2014	Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Cianobatteri ed alghe verdi: tecniche colturali

Dalla raccolta di norme riportata sopra, si può evincere, di fatto, la mancanza di una specifica normativa sul restauro degli impasti cementizi sia a livello nazionale, sia a livello europeo. Le norme inerenti la materia dei beni culturali esaminano l'argomento dei "Materiali lapidei naturali ed artificiali", dove il termine materiale lapideo naturale indica marmi, pietre, graniti, nonché qualsiasi altra "roccia" impiegata in architettura, mentre il termine materiale lapideo artificiale indica

i materiali artificiali, quali stucchi, malte, intonaci, prodotti ceramici, impiegati in architettura, che derivano dalla lavorazione e trasformazione di materie prime di origine naturale²⁰ e dunque gli impasti cementizi sono inclusi in questa seconda categoria. Le altre norme riportate sopra, invece, trattano diversi approfondimenti inerenti la composizione mineralogica, l'analisi diagnostica e il confezionamento di conglomerati e leganti cementizi di nuova produzione.

Esiste anche un'altra norma, "NORMAL 26/87: Caratterizzazione delle Malte da Restauro"; il documento si occupa dei requisiti delle malte da impiegare nelle operazioni di restauro con l'obiettivo che tali malte siano il più possibile compatibili con il materiale lapideo antico. Indica i dati necessari per la caratterizzazione chimica, mineralogica, petrografica, fisico, meccanica delle malte da restauro e le relative metodologie di misura.

Da alcuni anni sono in corso degli studi presso il CNR²¹, per aggiornare questa norma ormai datata e ampliarla, includendo uno studio riguardante: la funzione cui la malta deve assolvere (stuccatura, iniezione, allettamento, ecc.), le condizioni ambientali del manufatto interno, esterno, elevato tasso di inquinamento atmosferico, ecc.; la compatibilità con i materiali costituenti il manufatto e infine la conoscenza della composizione e delle proprietà chimico-fisico-meccaniche delle malte allo stato indurito. Questa norma, tuttavia, tratta le malte storiche a partire dal XV secolo fino al XIX secolo.

Alla luce del quadro normativo ricostruito nei paragrafi precedenti, è evidente come sia stato dato spazio ad architetture pregevoli appartenenti al XX secolo, soprattutto nell'ambito del restauro e della conservazione nel territorio italiano. Da un punto di vista normativo, grandi passi avanti sono stati compiuti dalla legislazione europea, riguardo i prodotti e i metodi da impiegare in fase di riparazione di prodotti a base cementizia; ciò nonostante manca ancora l'anello di congiunzione tra questi ambiti, ovvero un prodotto che metta insieme da un lato le innovazioni e le regole adottate dalla comunità europea e recepite dai singoli paesi, per gestire la pratica di cantiere e dall'altro i principi teorici che possono guidare verso un restauro metodologicamente corretto delle architetture del XX secolo, così come avviene per i monumenti più antichi.

5.3 SUGGERIMENTI OPERATIVI

Alla luce del quadro normativo ricostruito nei paragrafi precedenti, è evidente come, negli ultimi anni, sia stata rivolta una crescente attenzione verso il significato di alcune architetture appartenenti al XX secolo, soprattutto da parte della cultura architettonica del restauro e della conservazione all'interno del territorio italiano. Da un punto di vista normativo, grandi passi avanti sono stati compiuti dalla legislazione europea, riguardo i prodotti e i metodi da impiegare in fase di riparazione di prodotti a base cementizia; ciò nonostante manca ancora l'anello di congiunzione tra questi ambiti, ovvero un prodotto che metta insieme da un lato le innovazioni e le regole adottate dalla legislazione, per gestire la pratica di cantiere, e dall'altro i principi teorici che possono guidare verso un restauro metodologicamente corretto delle architetture del XX secolo, così come avviene per i monumenti più antichi, preservando i caratteri dell'architettura novecentesca, senza impedirne le necessarie

²⁰ Definizioni estratte da: ALESSANDRINI G., PASETTI A. (a cura di), *Elenco ragionato delle Raccomandazioni Normal*, <http://www.tine.it/normal/normal.htm>.

²¹ Durante la "Giornata di aggiornamento sulla normativa tecnica per la Conservazione dei Beni Culturali", svoltasi a L'Aquila il 23 settembre 2010, Andrea Rattazzi (Referente Scientifico "Gruppo Specialistico Malte" - GL 2 Commissione Tecnica UNI "Beni culturali - NorMaL"), durante il suo intervento dal titolo: "Linee Guida per la caratterizzazione di una malta storica e per la malta da intervento", ha citato lo studio condotto dal ricercatore CNR ISTECH Michele Macchiarola, riguardante le *Linee Guida per la classificazione, composizione e caratterizzazione delle malte da restauro*.

modificazioni, integrazioni e miglioramenti che l'uso attuale richiede ed esige. Le particolarità e le finalità delle tecniche esecutive oggi non sono sempre comprese e conosciute nei dettagli, perchè non si affronta un intervento su materiale cementizio nell'ottica della conservazione; e questo porta a compiere gravi interventi di restauro sia nelle operazioni apparentemente più banali, come tinteggiature o puliture attraverso sabbiature, che in interventi più complessi che prevedono reintegrazioni di lacune, spesso eseguite con leganti e aggregati inadeguati, visivamente o matericamente in netto contrasto con le caratteristiche dell'impasto preesistente.

Fig. 2 - Cracovia: esempio di tinteggiatura incongrua eseguita su un edificio residenziale risalente all'inizio del XX secolo e decorato con elementi architettonici eseguiti con cemento romano.



Fig. 3 - Lucca: esempio di applicazioni incongrue di materiale cementizio.



Nel caso dell'architettura del Novecento, si pongono nuovi interrogativi metodologici e operativi nei confronti delle tecniche costruttive e dei materiali, prodotti a livello industriale²², estranei alla tradizione costruttiva storica, tra cui gli impasti cementizi. I materiali presenti in queste architetture si distinguono per la varietà di soluzioni tecniche, formali e strutturali proposte, molto spesso frutto della commistione tra produzione industriale e sapienza artigianale²³; queste caratteristiche impongono un'attenta riflessione nel momento in cui si intraprende e si definisce un intervento, non solo di restauro, ma anche di semplice manutenzione, da concepirsi come azione puntuale e specifica, da valutare attentamente per ogni singolo caso²⁴. Alla luce di queste considerazioni, appare oggi indispensabile un recupero

²² GALLIANI P., *Restauro del moderno: obiettivi e ragioni del progetto per il recupero di architetture del XX secolo*, in PALAZZOTTO E. (a cura di), 2011, pp. 57-66.

²³ GRIGNOLO R. (a cura di), 2014, pp. 11-25.

²⁴ DE TOMMASI G., *Approccio metodologico*, in DE TOMMASI G., FATIGUSO F., 2008, pp. 137-140.

culturale del sapere tecnico della produzione degli impasti cementizi. La necessaria conoscenza delle tecniche di realizzazione e posa in opera è basilare per intraprendere un'adeguata conservazione che segua delle prassi operative specifiche per questo ambito.

Le prassi operative qui presentate si propongono, dunque, come valido ausilio per la definizione e la scelta di corrette azioni di restauro, ma allo stesso tempo anche come uno strumento di sensibilizzazione e attenzione verso i materiali del primo Novecento, che possa affiancare le norme già presenti a livello nazionale, conferendo loro maggiore specificità sul tema.

Lo schema riportato in basso mostra l'articolazione delle prassi operative, prodotto finale della presente ricerca.

F	analisi storica (parag. 3.2.2)
A	documentazione bibliografica
S	documentazione d'archivio
E	riviste dell'epoca
C	disegni progettista
O	documenti di cantiere
N	materiale fotografico
S	analisi del contesto ambientale (parag. 3.3.1)
C	raccolta dati meteorologici
I	raccolta dati esposizione
T	presenza d'acqua o vegetazione
I	presenza elementi inquinanti
V	rilievo architettonico
A	rilievo geometrico generale dell'edificio
F	rilievo geometrico dei singoli elementi
A	rilievo materico (parag. 3.2.3)
S	finitura superficiale
E	materiale principale
D	eventuali armature
I	tecniche esecutive
A	prelievi e provini (parag. 3.3.3.1)
G	caratterizzazione macroscopica dell'impasto
N	esame al microscopio stereoscopico
O	caratterizzazione esterna/superficiale
S	caratterizzazione produttiva
T	analisi microchimica per attacco acido
I	caratterizzazione composizionale
C	caratterizzazione microscopica dell'impasto
A	analisi granulometrica mediante setacciatura
A	analisi mineralogica diffrattometria a raggi X
N	analisi mineralogico-petrografica sezione sottile
O	Schedatura di sintesi di ogni elemento
S	
T	
I	
C	
A	
F	analisi dei degradi (cap. 3)
A	indagine in situ
S	indagine di laboratorio
E	diffrazione a raggi X
A	sezione sottile
N	graficizzazione dei degradi
A	individuazione delle cause del degrado (parag. 3.4)
L	cause estrinseche
I	cause intrinseche
T	
I	
C	
A	progetto di restauro architettonico (parag. 5.3)
F	definizione degli interventi
A	preconsolidamento
S	pulitura
E	applicazione di prodotti biocidi
A	pulitura delle superfici
P	asportazione di materiale incongruo
P	consolidamento
L	reintegrazione
I	selezione e requisiti del materiale
C	preparazione supporto e armature
A	reintegrazione finitura
T	sigillatura fessurazioni
I	reintegrazione volumetrica
V	protezione
A	graficizzazione
A	programmazione di gestione
	definizione degli interventi di manutenzione
	definizione delle tempistiche e dei prodotti

Tab. 3 - Sintesi schematica delle prassi operative da seguire durante un intervento di restauro.

Le prassi operative sono la sintesi del lavoro svolto finora e completato nella parte finale attraverso la definizione della fase applicativa, che comprende tutti gli aspetti del progetto di restauro di un edificio che presenta elementi decorativi di facciata realizzati con l'uso di impasti cementizi.

5.3.1 Fase applicativa: definizione degli interventi

Come è possibile evincere dall'ultima fase delle prassi operative riportate nel paragrafo precedente, ovvero la fase applicativa, il progetto di restauro da eseguire su un'architettura dei primi anni del Novecento ricalca, in linea generale, le azioni previste per un restauro dei monumenti antichi; il cambiamento consiste nella definizione di suggerimenti operativi legati ai prodotti e alle modalità di applicazione su materiali nuovi, quali possono essere gli impasti cementizi del primo Novecento. Le operazioni inerenti un intervento di restauro di manufatti realizzati con l'uso di impasti cementizi sono principalmente cinque:

- preconsolidamento
- pulitura
- consolidamento
- reintegrazione
- protezione

Nella maggioranza dei casi, esse sono tutte necessarie (ad eccezione del preconsolidamento) e possono (ma non obbligatoriamente) essere applicate nell'ordine indicato.

Per ciascuna di esse si suggeriscono le caratteristiche che il materiale dovrebbe possedere per rispondere ad una determinata situazione e si associano specifici metodi di applicazione.

Le modalità di reintegrazione sono state suddivise a seconda del loro specifico utilizzo (finitura superficiale, sigillatura delle fessure, reintegrazione volumetrica) e all'interno di ciascuna descrizione si specifica l'ambito nel quale vengono adoperate. Occorre precisare che ciascun degrado non può avere una sola soluzione: per una stessa alterazione è possibile avvalersi di più pratiche di intervento e viceversa, una stessa tecnica operativa può essere una valida soluzione a problematiche differenti. La scelta delle prassi più idonee da seguire resta, quindi, sempre un atto progettuale che deve essere declinato in soluzioni diverse a seconda dello specifico caso e del contesto nel quale si agisce. Per questo motivo si è scelto di definire le procedure, successivamente illustrate, come "suggerimenti operativi" per una corretta azione progettuale.

È bene far notare come la scelta delle azioni deve essere commisurata al tipo di intervento da compiere: un'operazione di restauro presuppone una più completa fase conoscitiva e diagnostica rispetto ad un'operazione di manutenzione e, conseguentemente, richiederà una fase applicativa maggiormente articolata²⁵.

²⁵ FATIGUSO F., *Procedure per interventi di manutenzione e recupero*, in DE TOMMASI G., FATIGUSO F., 2008, pp. 141-178.

5.3.1.1 PRECONSOLIDAMENTO

PRECONSOLIDAMENTO
DESCRIZIONE
Intervento che mira a dare stabilità provvisoria a superfici decoese sulle quali sono previsti interventi che potrebbero essere incompatibili con la fragilità della superficie stessa, determinando distacchi irreversibili.
CASI DI APPLICAZIONE
<p>Il preconsolidamento si applica soprattutto su superfici con finiture superficiali o di spessore molto ridotto. Nella maggioranza dei casi, difficilmente un impasto cementizio necessita anche di un consolidamento preventivo.</p> <p>Laddove occorra, applicare questo trattamento in presenza di fenomeni di erosione, disgregazione, aggressione da solfatazione. È consigliabile effettuare il preconsolidamento per la riadesione di frammenti di materiale distaccato.</p>
SUGGERIMENTI OPERATIVI
<p>-Eseguire test preliminari per verificare l'idoneità del materiale da mettere in opera, su porzioni di materiale già prelevato per le indagini diagnostiche, oppure su elementi in secondo piano, collocati in parti nascoste.</p> <p>Qualsiasi sia il prodotto consolidante da impiegare, esso dovrebbe avere un coefficiente di dilatazione pari a quello del supporto sul quale si agisce e al contempo non dovrebbe rendere la zona trattata troppo rigida, per permettere l'assorbimento di eventuali sforzi di tensione; dovrebbe essere assorbito in maniera uniforme evitando di formare croste superficiali; sarebbe necessario che non modifichi il colore della superficie e che non occluda completamente i pori, lasciando il materiale sufficientemente permeabile al vapor d'acqua.</p> <p>Nel caso di consolidamenti superficiali il prodotto può essere applicato a pennello o a spruzzo. L'applicazione a pennello è preferibile rispetto a quella a spruzzo, in quanto evita di sottoporre la superficie, già precaria, a getti d'aria e liquido in pressione, che possono determinare il distacco della materia. Per questo tipo di intervento si adoperano consolidanti chimici organici, come consolidanti a base di silicato di etile (consolidante inorganico veicolato in un solvente organico), la cui idrorepellenza è soltanto momentanea e si annulla con il completamento dei processi di idrolisi e condensazione.</p> <p>-La prima operazione da eseguire è una fasciatura della superficie con carta giapponese o tessuto di cotone, fatti aderire con collanti reversibili; questa operazione permette di proteggere la superficie dall'azione diretta del pennello e dalle polveri presenti nell'aria che potrebbero aderire alla superficie.</p> <p>-Successivamente può essere applicato il preconsolidante a pennello fino a rifiuto; il silicato di etile offre la possibilità di eliminare lo sporco anche dopo la realizzazione dell'operazione.</p>

5.3.1.2 PULITURA

PULITURA
DESCRIZIONE
Operazione volta a rimuovere i depositi, gli strati e le pellicole dalle superfici dell'elemento architettonico, formati per effetto di lenti processi di sedimentazione, per accumuli rapidi dovuti a fattori inquinanti o per errata azione antropica.
CASI DI APPLICAZIONE
Tutti i casi in cui le superfici sono interessate da depositi di smog, polveri e particolato atmosferico, croste nere e graffiti vandalici. I metodi di pulitura possono essere impiegati anche per l'asportazione di strati incongrui presenti sulla superficie esterna dell'elemento. In questo caso, i mezzi consigliati sono gli strumenti meccanici e la sabbiatura.
SUGGERIMENTI OPERATIVI
<ul style="list-style-type: none"> - Eseguire test preliminari per verificare l'idoneità del materiale da mettere in opera, su porzioni di materiale già prelevato per le indagini diagnostiche, oppure su elementi in secondo piano, collocati in parti nascoste. - Verificare la presenza di eventuali parti incoerenti o decoese. Se presenti, provvedere ad opportuni preconsolidamenti (→ vedi scheda preconsolidamento). <p>Gli elementi realizzati con l'uso di impasti cementizi sono generalmente supporti notevolmente tenaci, che non hanno problemi di resistenza alle diverse tecniche di pulitura. Tuttavia, è bene prediligere, in prima istanza, l'uso di sistemi a secco, in quanto, nella maggioranza dei casi, le superfici cementizie degradate manifestano problemi di biodeterioramento, incentivato dall'accumulo di acqua sulla superficie. Tra i sistemi di pulitura sono consigliabili:</p> <ul style="list-style-type: none"> - puliture meccaniche - aeroabrasione preferibilmente a secco - impacco <p>Come metodo integrativo ad altri sistemi di pulitura, o eventualmente preliminare per ammorbidire i depositi presenti, si può far ricorso anche all'acqua nebulizzata.</p> <p><i>Pulitura meccanica</i></p> <p>La pulitura meccanica con spazzole e spugne si basa sull'azione abrasiva esercitata dalle setole di questi strumenti; essa permette di rimuovere le sostanze presenti sul supporto. Prima di procedere, occorre valutare la fragilità della superficie del manufatto, in quanto l'azione meccanica potrebbe asportare anche parti non coese della superficie; in questo caso sarebbe opportuno procedere al preconsolidamento. Questi strumenti possono essere impiegati a secco o a umido, con percolamento di soluzione detergente composta da acqua deionizzata e detergente neutro non ionico. Il grado di pulitura dipende oltre che dal tipo di strumento, anche dalla forza impressa dall'operatore e dalla consistenza del supporto sul quale si agisce.</p> <p>È necessario procedere per piccole aree successive dall'alto verso il basso e risciacquare frequentemente gli strumenti, per evitare di trasportare le sostanze da rimuovere. Laddove la superficie sia interessata da prodotti di ossidazione e corrosione, è preferibile usare spazzole di fili di ottone.</p> <p>Nella maggioranza dei casi per non danneggiare le superfici, soprattutto se sono interessate da lavorazioni superficiali, è preferibile impiegare le spugne <i>wishab</i>. L'azione meccanica può essere utilizzata anche per integrare altri tipi di pulitura, soprattutto quando sono presenti depositi coerenti; per esempio le incrostazioni possono essere ammorbidite tramite impacchi e poi eliminate tramite una blanda spazzolatura.</p>

Micro Aeroabrasione a secco

Questo sistema è un trattamento di microsabbatura, utilizzato a secco o in umido, che sfrutta l'azione di un vortice d'aria elicoidale a bassa pressione e impiega inerti finissimi di diversa granulometria e durezza. È preferibile il sistema a secco, se la superficie dell'elemento è abbastanza porosa e assorbente; il getto di aria refrigerata e deumidificata è regolabile (generalmente attorno ai 0,2 bar) e come inerti sarebbe consigliabile usare granato almandino¹, oppure ossidi di alluminio di dimensioni variabili tra 0,2 e 0,6 mm per ampie superfici in impasto cementizio, mentre, per elementi con piccoli particolari decorativi, sarebbe consigliabile usare inerti con diametro compreso tra 0,125 e 0,25 mm. È importante individuare il tipo di inerte adatto per non produrre materiali di risulta dannosi per il substrato. Prima di impiegare questo trattamento, occorre eseguire delle prove per stabilire la pressione, la granulometria esatta dell'aggregato, la dimensione degli ugelli, la distanza da supporto e l'angolo di incidenza.

Impacco

- Altro sistema di pulitura particolarmente efficace è l'impacco. Esso può essere impiegato per diversi usi: primo fra tutti l'estrazione di sali solubili. In questo caso si utilizzano speciali argille adsorbenti come sepiolite, attapulgitte o bentonite. L'elevata capacità assorbente delle argille agevola il richiamo verso l'esterno degli ioni dei sali solubili presenti all'interno dell'impasto cementizio, favorisce l'estrazione di sostanze grasse e consente interventi su materiali anneriti da depositi carboniosi, per i quali si ritiene necessario limitare l'uso dell'acqua e permette di ridurre i tempi di nebulizzazione.

Con l'aggiunta all'argilla di un agente complessante appropriato, si possono eliminare o ridurre le macchie dovute all'ossidazione del ferro; questo sistema può essere adoperato su materiali poco porosi o comunque con una certa compattezza superficiale.

Si può ricorrere a questo sistema quando è necessario evitare l'azione abrasiva di spugne o altri sistemi di pulitura su superfici particolarmente sensibili.

Per la preparazione dell'impacco è preferibile usare acqua deionizzata, per aumentare il potere solvente. L'applicazione dell'impacco può essere preceduta da una irrorazione a spruzzo di acqua distillata sulla superficie del supporto e dall'applicazione di velina di carta per facilitare il distacco successivo dell'impacco. Dopo si può procedere alla stesura dell'argilla diluita con acqua e resa molto fluida; essa può avvenire a pennello o a spatola e dovrebbe essere applicata in spessori variabili tra uno e tre centimetri.

Al termine della stesura del fango, occorre coprire gli impacchi con teli di garza o di cotone, per facilitare la permanenza del trattamento. La durata dell'applicazione (minimo 48 ore ma anche più giorni) si stabilisce attraverso test preliminari e durante questa fase è necessario mantenere umido l'impasto, bagnandolo costantemente per evitare che secchi troppo in fretta. L'impacco può essere rimosso solo quando è completamente secco, in quanto questo vuol dire che è cessato il processo di scambio ionico tra l'argilla e le sostanze in superficie. La rimozione dell'impacco avviene quando l'argilla si secca ma, per eliminare i residui di fango, dei sali e dei prodotti di corrosione solubilizzati, occorre effettuare un lavaggio con acqua deionizzata, nebulizzata sotto leggera pressione con l'aiuto di spazzole e pennelli morbidi. Qualora sia necessaria la rimozione di croste dure contenenti materiali poco solubili, si possono aggiungere all'impacco prodotti detergenti; è preferibile usare altri tipi di materiali assorbenti quando si ricorre a soluzioni chimiche detergenti, per evitare di modificare il pH del sistema; in questi casi si fa ricorso non alle argille ma alla polpa di carta. Per rimuovere prodotti proteici impiegati come vernici o fissativi, ma anche croste nere, si possono applicare gli impacchi di carbonato di ammonio $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, un solvente in soluzione acquosa con un'efficace azione desolfatante e consolidante.

¹ I cristalli di Granato ascrivibili al gruppo dell'Almandino e impiegati per la microaeroabrasione, hanno una composizione chimica compatibile con quella della maggior parte degli impasti cementizi: 36%SiO₂, 20%Al₂O₃, 30%FeO, 12%MgO, 2%CaO.

La sua azione consiste nell'ammorbidire e rigonfiare la sostanza da rimuovere in modo da staccarla dal substrato senza dover ricorrere a tecniche meccaniche più invasive. Il carbonato degrada naturalmente trasformandosi in prodotti gassosi che non vengono trattenuti dal substrato (ammoniaca, anidride carbonica e acqua). L'applicazione è uguale a quella di altri tipi di impacchi: si prepara una miscela di pasta di cellulosa, imbevuta di acqua distillata, e carbonato di ammonio (circa 1/3 del peso totale) fino ad ottenere un impasto idoneo all'uso. Si prepara il supporto con la stesura di carta giapponese (che funge da filtro tra il supporto e l'impasto) e si applica l'impasto stendendolo con le mani, partendo dall'alto verso il basso, senza lasciare vuoti d'aria che comporterebbero una pulitura disomogenea. L'impacco è protetto da fogli di polietilene fino alla sua rimozione.

Pulitura con acqua nebulizzata

In ultimo, qualora non sussistano gravi condizioni di biodeterioramento dovuto alla presenza di acqua, per ammorbidire i depositi di materiale poco aderenti e le croste il cui legante è idrosolubile, è possibile effettuare puliture con acqua nebulizzata. Questo trattamento può rappresentare un valido sistema preliminare, da integrare successivamente con metodi di pulitura più specifici e puntuali e comunque in concomitanza con puliture mediante spazzole e spugne. Data la tenacità della superficie di un manufatto in impasto cementizio, infatti, è difficile prevedere l'uso di acqua nebulizzata come unico trattamento di pulitura.

È consigliabile impiegare questo metodo con temperature esterne superiori a 15°C per evitare gli effetti del gelo e della bassa evaporazione dell'acqua.

Questa tecnica sfrutta essenzialmente la capacità solvente ed emolliente dell'acqua, dunque il suo effetto chimico, cui associa un blando effetto meccanico dovuto alle gocce e al loro ruscellamento sulla superficie.

L'acqua nebulizzata può essere impiegata per la pulitura di grandi superfici compatte e poco porose, ma può rivelarsi non sufficientemente efficace ai fini del raggiungimento del grado di pulitura desiderato, soprattutto nei sottosquadri. Prima di intervenire occorre stuccare e preconsolidare eventuali discontinuità, per garantire la tenuta del paramento alla penetrazione dell'acqua. Occorre prevedere inoltre dei sistemi di scolo e drenaggio delle acque. La nebulizzazione dell'acqua avviene tramite l'uso di ugelli regolabili e orientabili, deve avvenire dall'alto verso il basso, per fasce orizzontali, in modo da consentire il ruscellamento; il numero, la dislocazione e la distanza degli ugelli dipendono dall'estensione e dalle caratteristiche della superficie da trattare.

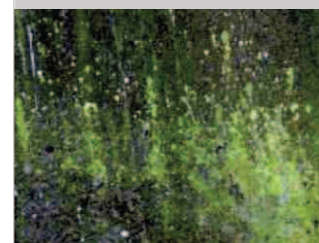
PULITURA: ELIMINAZIONE DEL BIODETERIORAMENTO
DESCRIZIONE
Applicazione di un trattamento a base di sostanze chimiche teso ad eliminare gli organismi biologici (vegetali e animali) dannosi, senza interferire chimicamente o meccanicamente con la superficie e il materiale del manufatto.
CASI DI APPLICAZIONE
Applicare questo trattamento su manufatti su cui si sono insediate piante, patine biologiche costituite da funghi, licheni, muffe o alghe.
SUGGERIMENTI OPERATIVI
<p>Per evitare lo sviluppo di organismi biologici è necessario evitare innanzitutto l'accumulo di umidità sulle superfici, limitando condensa ed assorbimento dell'acqua da parte dei materiali.</p> <p>-Eseguire test preliminari per verificare l'idoneità del materiale da mettere in opera, su porzioni di materiale già prelevato per le indagini diagnostiche, oppure su elementi in secondo piano, collocati in parti nascoste.</p> <p>Questa fase di studio dovrebbe includere anche l'analisi per l'identificazione del biodeteriogeno da eliminare, al fine di impiegare il prodotto più efficace e i tempi di applicazione migliori.</p> <p>-Effettuare l'intervento di pulitura della superficie (→ vedi scheda <i>pulitura</i>) tramite rimozione meccanica degli strati più spessi di vegetazione/patina biologica attraverso l'uso di spazzole, raschietti o scalpelli. Se la superficie risulta particolarmente decoesa provvedere, prima della pulitura, ad opportuni preconsolidamenti (→ vedi scheda <i>preconsolidamento</i>).</p> <p>Il prodotto non dovrebbe interferire con i materiali costitutivi ed essere neutro, incolore e non dare luogo a reazioni collaterali.</p> <p>Per gli impasti cementizi sono consigliabili: i biocidi cationici, costituiti da sali di ammonio quaternario, efficaci contro cianobatteri, microalghe verdi, funghi e licheni; i fluosilicati, costituiti solitamente da sali di zinco e magnesio, che liberano silice eliminando funghi e batteri. Occorre evitare l'applicazione di: fenoli, soprattutto su impasti contenenti sostanze ferrose, con cui tendono a reagire, formando macchie rossastre sulle superfici; e sostanze ossidanti (es. acqua ossigenata) che, essendo catalizzatori della trasformazione di anidride solforosa in acido solforico, convertono il carbonato di calcio (eventualmente presente nell'impasto) in solfato di calcio (gesso).</p> <p>-Applicazione, mediante nebulizzazione a bassa pressione, oppure a pennello, della specifica soluzione biocida. Il trattamento a spruzzo (il biocida va diluito in acqua allo 0,1-1%) è da preferirsi per ampie superfici ma deve essere eseguito con cautela in quanto può facilmente diffondere le spore fungine nell'ambiente, determinando nuove colonizzazioni o danni alla salute.</p> <p>L'applicazione a pennello (il biocida va diluito in acqua allo 0,1-1%) ha il vantaggio di consentire una migliore penetrazione dei biocidi nel substrato.</p> <p>Quando l'elemento architettonico da trattare ha una forma particolarmente articolata, oppure si ha necessità di far agire il prodotto per un tempo prolungato, si consiglia l'uso di impacchi a base di polpa di carta o argilla, a cui si aggiunge la soluzione biocida.</p> <p>-Lasciare in posa il prodotto per il tempo consigliato dal produttore (se si adopererà un impacco è bene coprirlo con fogli di polietilene per evitare l'evaporazione dell'acqua troppo rapidamente).</p> <p>-Pulire meccanicamente la superficie, ossia mediante spazzole e poi risciacquare la superficie con acqua distillata.</p> <p>-Procedere con i trattamenti successivi (→ vedi scheda <i>consolidamento</i>).</p>



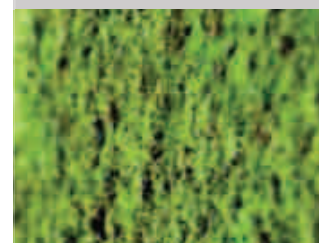
Muffe: colonie di organismi fungini sprovvisti di clorofilla, che si evidenziano e si sviluppano con colori specifici. Le muffe vivono su sostanze organiche dalle quali traggono nutrimento.



Licheni: insieme di colonie composte da muffe ed alghe. Questa simbiosi aumenta la resistenza e ne permette la sopravvivenza in condizioni difficili.



Alghe: organismi vegetali provvisti di clorofilla che proliferano quasi esclusivamente all'esterno ed anticipano la formazione di muschio e licheni.



Muschio: organismo vegetale molto resistente simile al lichene. Le sostanze comunemente utilizzate contro muffe e alghe solitamente sono inefficaci. Per combattere questo organismo sono necessarie specifiche sostanze portatrici di particolari principi attivi.

¹ Tra le caratteristiche richieste al consolidante, generalmente non è annoverata la reversibilità poiché, una volta penetrato nella struttura del manufatto, non potrà essere rimosso in modo completo. Sarà auspicabile invece che il trattamento eseguito possa essere ripetuto anche dopo alcuni anni e con diversi prodotti, pertanto il requisito di reversibilità può essere sostituito con la ritrattabilità. Tratto da: DI SIMONE I., 2011/2012, p.72.

5.3.1.3 CONSOLIDAMENTO

CONSOLIDAMENTO
DESCRIZIONE
Intervento volto a ristabilire le condizioni fisico-meccaniche del materiale, ripristinando la continuità della materia degradata e ancorandola a quella ancora sana e ristabilendo la coesione sia superficialmente che in profondità.
CASI DI APPLICAZIONE
Applicare questo trattamento in presenza di fenomeni di erosione e disgregazione, o in ogni caso, quando l'elemento architettonico manifesta problemi di coesione tra i costituenti. Potrebbe essere necessario effettuarlo anche sulla materia da reintegrare, per migliorare la resistenza meccanica del supporto.
SUGGERIMENTI OPERATIVI
<p>-Eseguire test preliminari per verificare l'idoneità del materiale da mettere in opera, su porzioni di materiale già prelevato per le indagini diagnostiche, oppure su elementi in secondo piano, collocati in parti nascoste.</p> <p>-Effettuare l'intervento di pulitura della superficie (→ vedi scheda <i>pulitura</i>). Se la superficie risulta particolarmente decoesa provvedere, prima della pulitura, ad opportuni preconsolidamenti (→ vedi scheda <i>preconsolidamento</i>).</p> <p>La penetrazione profonda nei pori dell'impasto rende il processo di consolidamento, nella maggioranza dei casi, irreversibile. È pertanto consigliabile l'uso di iniezioni di boiaccia cementizia compatibile con l'impasto preesistente e, se possibile, non eccedere con l'impiego di consolidanti chimici. Qualsiasi sia il prodotto consolidante da impiegare, esso dovrebbe avere un coefficiente di dilatazione pari a quello del supporto sul quale si agisce e al contempo non dovrebbe rendere la zona trattata troppo rigida, per permettere l'assorbimento di eventuali sforzi di tensione; dovrebbe essere assorbito in maniera uniforme evitando di formare croste superficiali; sarebbe necessario che non modifichi il colore della superficie e che non occluda completamente i pori, lasciando il materiale sufficientemente permeabile al vapor d'acqua.</p> <p>-Per quanto riguarda l'uso di boiacche cementizie, esse possono essere applicate tramite iniezione.</p> <p>Prima di iniziare l'intervento, è buona norma saturare con acqua tutta la struttura interna da consolidare utilizzando gli stessi fori attraverso i quali verrà eseguita l'iniezione della boiaccia.</p> <p>-La bagnatura dovrebbe essere eseguita il giorno precedente l'intervento di consolidamento vero e proprio, per consentire lo smaltimento di eventuale acqua libera presente all'interno.</p> <p>-Le perforazioni dovrebbero essere disposte simmetricamente, preferibilmente ai vertici di un reticolo a maglie quadrate con lato da 50 a 100 cm, con diametro variabile in base al tipo di elemento e alla superficie da consolidare.</p> <p>-Il consolidamento inizia tramite iniezione attraverso un foro alla quota più bassa, procedendo poi simmetricamente per non creare squilibri nella struttura. Nel caso di consolidamenti superficiali il prodotto può essere applicato a pennello o a spruzzo. Per questo tipo di intervento si adoperano consolidanti chimici organici o resine sintetiche. Queste ultime (es. resine epossidiche) però sono sconsigliate, poiché idrorepellenti e dunque vincolanti rispetto a successivi interventi di pulitura o risarcitura e totalmente incompatibili con il supporto. Per garantire la ritrattabilità¹ della superficie, sarebbe più opportuno adoperare consolidanti a base di silicato di etile (consolidante inorganico veicolato in un solvente organico), la cui idrorepellenza è soltanto momentanea e si annulla con il completamento dei processi di idrolisi e condensazione.</p>

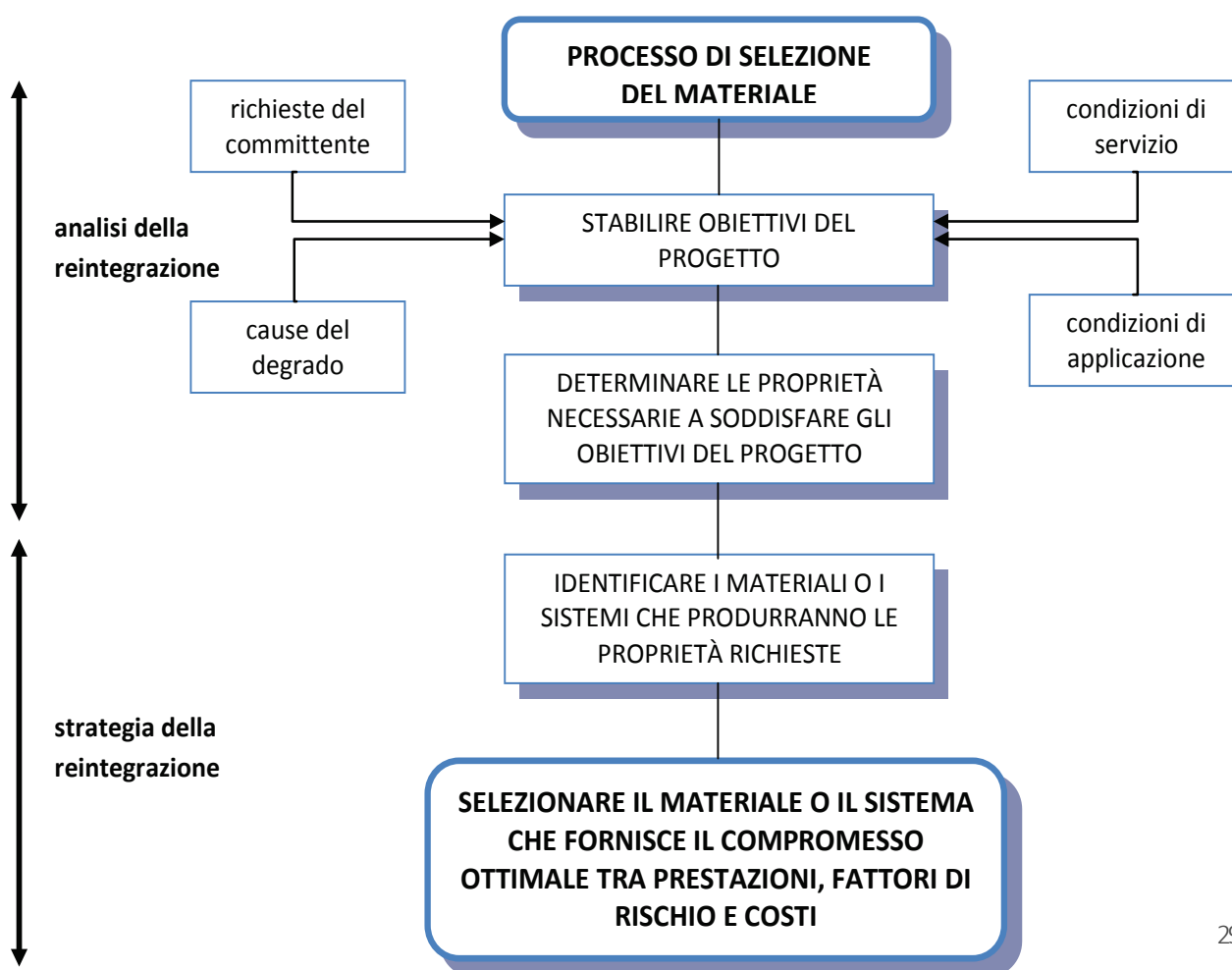
5.3.1.4 REINTEGRAZIONE

Processo di selezione del materiale

I materiali da impiegare per la riparazione degli impasti cementizi possono essere tra i più vari e possono fornire un'ampia gamma di proprietà. Queste ultime influiscono notevolmente sulle prestazioni del materiale e, quindi, la scelta di tale prodotto richiede uno studio attento.

I suggerimenti operativi riportati nelle schede successive sono concepiti come uno strumento per aiutare il progettista e l'impresa esecutrice dei lavori a prendere le migliori decisioni possibili in fase di selezione del materiale. Tale fase è un processo complesso; il prodotto, infatti, non solo deve rispettare i requisiti richiesti dal progettista, ma deve anche soddisfare le esigenze che sorgono in fase di cantiere (es. facilità di lavorazione), i costi, le prestazioni ed eventuali rischi in fase di utilizzo. A ciò si aggiunge l'aspetto più importante legato alla scelta dei materiali, ovvero le considerazioni emerse nella diagnosi del degrado del manufatto. Il primo passo nel processo di individuazione del prodotto, infatti, è determinare la causa e la portata del deterioramento esistente. Il passo successivo è quello di prendere in considerazione i requisiti richiesti da progettista, committente e imprese; questi dati sono i criteri alla base della scelta delle proprietà dei materiali. Successivamente occorre esaminare le proprietà del materiale e classificarle attribuendo loro delle priorità per lo specifico progetto, valutando le probabili conseguenze di ciascuna scelta compiuta. Quest'ultimo passaggio è fondamentale, in quanto nessun prodotto potrà mai soddisfare tutti i requisiti richiesti; dare delle priorità contribuisce, dunque, a garantire il miglior risultato tra tutti gli scenari possibili. Di seguito viene riportato uno schema esemplificativo delle fasi del processo di selezione del materiale.

Fig. 4 - Lo schema riporta le fasi del processo di selezione del materiale.



La riparazione degli impasti cementizi comporta la progettazione di un sistema composito che deve raggiungere un suo equilibrio fisico, chimico, elettrochimico e dimensionale. Esso è costituito da: un substrato originale; un'interfaccia tra i due materiali e il nuovo materiale di riparazione.

La massima priorità dovrebbe essere data alla compatibilità dell'intero sistema; il comportamento dimensionale, per esempio, interessa tutti e tre gli elementi del sistema e, se le variazioni di volume sono differenti tra loro, ciò causerà tensioni interne che si concretizzeranno in fratture e distacchi che contribuiscono al nuovo deterioramento del materiale.

Prima che il processo di selezione del materiale abbia inizio occorre, come già detto, individuare alcuni dati del problema:

- la causa del deterioramento. Determinare le cause fisico-chimiche e meccaniche del degrado esistente.

- le richieste del committente. La "vision" del progetto deve essere chiaramente definita all'inizio dell'operazione. Previsione della vita utile del manufatto, aspetto, utilizzo della struttura, possibilità di manutenzione e interventi di monitoraggio, disponibilità economiche, sono tutte questioni che devono essere affrontate in via preliminare.

- condizioni di servizio. Tutti gli elementi che concorrono durante le fasi di lavoro, compresi condizioni chimiche del contesto, carichi accidentali, operabilità nel luogo (es. accessibilità) e tempistica devono essere valutati per identificare le condizioni ottimali in fase di intervento.

- condizioni di applicazione. Le modalità di applicazione dei prodotti e la scelta tra sistemi differenti legata a cause esterne, può influenzare criticamente la scelta dei materiali da adoperare.

Di seguito si elencano i principali aspetti legati a ciascuna delle categorie sopra citate che, alla luce delle analisi condotte durante il presente lavoro, sono risultate essere fattori fondamentali da valutare in fase preliminare di intervento. Ovviamente ciascun caso può richiedere l'aggiunta o la sottrazione di voci all'elenco, poichè legate alla specificità della situazione.

- Per quanto riguarda le *cause del degrado* si può fare riferimento al capitolo 3 della presente ricerca.

- Per quanto riguarda le *richieste del committente* sarebbe opportuno valutare:

- interferenza dell'intervento con l'utilizzo della struttura

- tempistica dell'intervento

- budget dell'intervento

- intervallo di manutenzione

- tolleranza per la riuscita dell'intervento

- considerazione sull'aspetto estetico dell'intervento

- Per quanto riguarda le *condizioni di servizio* sarebbe opportuno valutare:

- accessibilità

- tempistica

- presenza di carichi permanenti sull'elemento

- presenza di carichi accidentali in fase di esecuzione

- condizioni di esposizione (tipo di sostanza, concentrazione, durata, frequenza)

- Per quanto riguarda le *condizioni di applicazione* sarebbe opportuno valutare:

- velocità del vento

- temperatura dell'ambiente

- umidità dell'ambiente

- configurazione geometrica delle riparazioni

- superficie esposta

- orientamento della superficie

- spessore di riparazione

- presenza, dimensione e interasse di armature

- dimensioni copriferro

Un volta stabiliti gli obiettivi del progetto, è necessario affrontare la fase di definizione delle proprietà del materiale, necessarie a soddisfare tali obiettivi.

Comprendere la risposta del materiale ad ogni requisito di prestazione, aiuta l'utente a stabilire le proprietà richieste ai materiali, per produrre una riparazione durevole. Nel prossimo paragrafo vengono trattati con maggiore specificità i requisiti richiesti ad un impasto per essere considerato idoneo per una reintegrazione.

Una volta che i criteri per una riparazione compatibile sono stati determinati, insieme all'individuazione delle proprietà del materiale necessarie a soddisfarli, occorre comprendere attraverso uno studio attento quale prodotto è idoneo ad essere impiegato in quella particolare situazione, scegliendolo tra la vasta gamma di prodotti presenti sul mercato.

I prodotti da impiegare possono avere diverse formulazioni; quelli più ricorrenti per le reintegrazioni di impasti cementizi sono malte a base polimerica e malte a base cementizia. La specificità dei requisiti e la necessità di soddisfare gruppi di condizioni diverse caso per caso conduce verso la scelta di non impiegare sostanze premiscelate o confezionate, ma di analizzare le proprietà dei singoli componenti dell'impasto e scegliere come abbinarli per ottenere una miscela ottimale per la risoluzione delle problematiche legate all'intervento.

Nel paragrafo successivo sono illustrate le caratteristiche che devono contraddistinguere un materiale, perché sia adatto alla reintegrazione di un impasto cementizio.

I requisiti degli impasti da reintegro










Come accennato nel precedente paragrafo, la scelta del materiale deve innanzitutto basarsi sulla selezione di una serie di requisiti prestazionali, a cui l'impasto deve rispondere per essere considerato idoneo ad una riparazione.

Di seguito si riporta un elenco di queste caratteristiche, individuando gli aspetti principali che dovrebbero essere rispettati nella maggioranza dei casi di reintegrazione di impasti cementizi (siano essi strutturali o non strutturali); tali requisiti prestazionali sono stati identificati attraverso lo studio delle principali cause di degrado e problematiche di intervento, che si sono manifestate nei casi analizzati nei capitoli 3 e 4.

- adesione al supporto
- resistenza ai carichi
- stabilità volumetrica
- ridotto ritiro igrometrico
- contenuta reazione a condizioni atmosferiche e contatto chimico
- idoneo comportamento alle condizioni di umidità
- idoneo comportamento ai cicli di gelo-disgelo
- idoneo comportamento all'azione corrosiva delle particelle trasportate dal vento
- buona lavorabilità
- integrità dell'aspetto finale

Ovviamente non esiste un materiale che possa riuscire a soddisfare contemporaneamente tutti i requisiti sopra citati; così come non è immediatamente individuabile il materiale adatto per uno specifico intervento, poichè la risposta potrebbe essere influenzata da altri parametri legati al caso particolare; tuttavia è possibile associare a ciascun requisito le risposte indesiderate che un impasto da reintegrazione potrebbe manifestare; ciò può essere valutato in fase di test preliminare con il fine di escludere i materiali che non soddisfano i requisiti individuati, alla luce dei comportamenti che manifestano, e selezionare quello che minimizza i difetti che si possono presentare in fase di restauro.

Fig. 5 - Schema dei requisiti prestazionali richiesti ad un impasto cementizio impiegato per la reintegrazione. Parallelamente sono riportati i comportamenti del materiale che non soddisfano il requisito.

REQUISITI PRESTAZIONALI	EFFETTI NEGATIVI SUL MATERIALE PER MANCANZA DEI REQUISITI
Adesione al supporto	Perdita, delaminazione, distacco 
Resistenza ai carichi	Risposta insufficiente alla sollecitazione dei carichi 
Stabilità volumetrica	Fessurazione per contrazione, espulsione per espansione 
Contenuta reazione a condizioni atmosferiche e contatto chimico	Corrosione delle armature 
Idoneo permeabilità all'acqua	Fessurazione per contrazione/ per espansione 
Idoneo comportamento ai cicli di gelo-disgelo	Dibroggazione della matrice cementizia 
Idoneo comportamento all'azione corrosiva delle particelle trasportate dal vento	Erosione per abrasione 
Buona lavorabilità	Rigidità e difficoltà di applicazione 
Aspetto finale integro	Fessurazioni e nidi di ghiaia 

Adesione al supporto

L'interfaccia tra materiale esistente e di reintegro è un aspetto importantissimo da tenere in considerazione in fase di intervento. Per questo motivo è fondamentale non trascurare la preparazione del supporto. In fase di test preliminare per verificare le proprietà del campione è possibile eseguire delle prove di trazione diretta per misurare l'aderenza tra i due materiali. La norma internazionale ACI 503.5R-92²⁶, fornisce una buona descrizione delle procedure e delle attrezzature da eseguire in fase di prova.

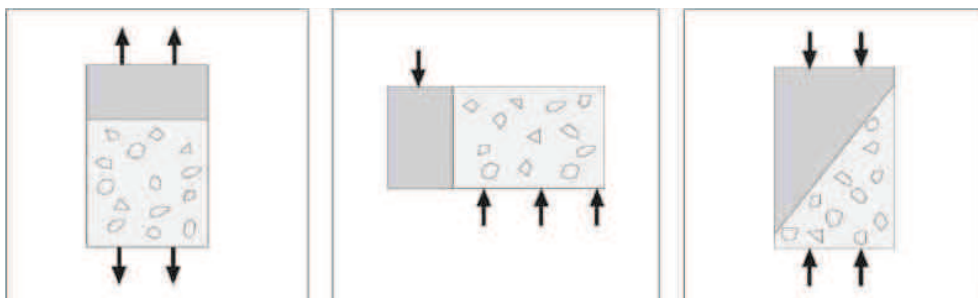


Fig. 6 - Prove a trazione diretta: il materiale di reintegro viene applicato su un campione di substrato e dopo l'indurimento il sistema viene sottoposto a sollecitazioni di trazione, per verificare la tenacità dell'aderenza tra i due supporti.

Il metodo di prova fornisce una efficace valutazione dei materiali, mettendo in evidenza qualsiasi difetto o carenza del materiale e della sua applicazione.

Resistenza ai carichi

Questa caratteristica riguarda, in particolar modo, gli impasti cementizi messi in opera con funzione strutturale. Generalmente è opportuno valutare la resistenza a compressione e flessione del materiale attraverso opportune prove di carico regolamentate dal capitolo 9.2 del D. M. 14/01/2008.²⁷

Stabilità volumetrica

La stabilità volumetrica si riferisce al mantenimento del volume iniziale e alle possibili variazioni a lungo termine che possono verificarsi (per esempio a causa del ritiro igrometrico). Tale proprietà influisce sulla compatibilità del materiale ed è influenzata dai cambiamenti climatici stagionali, le variazioni termiche e la presenza di umidità. Per essere controllata sarebbe necessario prevedere dei giunti di controllo in fase di indurimento, evitare angoli a spigolo vivo interni tra la reintegrazione e l'originale ed evitare la realizzazione di risarciture molto strette e lunghe; sarebbe preferibile frammentare la risarcitura.

Contenuta reazione a condizioni atmosferiche e contatto chimico

L'attacco solfatico provoca la decomposizione chimica della matrice cementizia. La vicinanza ad acque reflue o particolari tipi di terreni che hanno ricevuto trattamenti chimici, tutti contenenti grandi quantità di solfati, può provocare l'assorbimento di queste sostanze, danneggiando l'elemento realizzato in materiale cementizio. La prova che è possibile eseguire è regolamentata dalla ASTM C 1012²⁸ e tale test viene generalmente effettuato su tutte le malte con cemento Portland, malte contenenti

²⁶ ACI 503.5R-92, *Guide for the Selection of Polymer Adhesives with Concrete*, 2003.

²⁷ D.M. 14/01/2008, *Nuove norme tecniche per le costruzioni*, capitolo 9.2 "prove di carico", 2008.

²⁸ ASTM C1012 / C1012M - 13, *Standard Test Method for Length Change of Hydraulic-Cement Mortars Exposed to a Sulfate Solution*, 2013.

materiali ad attività pozzolanica e malte polimeriche.

Anche la reazione alcali-aggregati è una reazione chimica che può avvenire tra alcali (sodio e potassio) e alcuni componenti degli aggregati (silice e carbonato). I prodotti di reazione possono causare rapidamente l'espansione della malta e successive fratture. Questa particolare reazione chimica può avvenire proprio in seguito a reintegrazioni di impasti cementizi. Ciò avviene in quanto, molto spesso, soprattutto per i ripristini dei copriferri, per raggiungere gli spessori consigliati (superiori a 3 cm), i produttori consigliano l'aggiunta di aggregati di grosse dimensioni, tralasciando un aspetto fondamentale legato alla selezione del tipo di aggregato e proprio la mancanza di accuratezza, in questa fase di scelta, può comportare la formazione di tale degrado.

I criteri di valutazione del potenziale di reattività alcali-aggregati sono stabiliti dalla guida americana ACI 201.2R²⁹.

Idonea permeabilità all'acqua

La velocità di trasmissione del vapore d'acqua è definita come il flusso di vapore acqueo che si verifica in un'unità di tempo attraverso un'unità di superficie di un corpo, a determinate condizioni di temperatura e umidità³⁰. I criteri della sua valutazione e i relativi metodi di prova sono normati da ASTM E 96³¹.

Se il materiale adoperato per il reintegro è impermeabile, il vapore acqueo assorbito dal materiale originale può restare intrappolato nell'interfaccia tra la riparazione e il substrato. Quest'acqua può provocare molti danni se il materiale è soggetto a cicli di congelamento, si determinerebbero infatti fenomeni di distacchi e delaminazione.

Idoneo comportamento ai cicli di gelo-disgelo

Le cause del degrado da gelo e disgelo non sono unicamente legate alla pressione espansiva generata dall'acqua congelata. Tuttavia i valori ottenuti da test preliminari, basati su cicli ripetuti di congelamento e scongelamento, permettono di definire con sufficiente certezza la resistenza a questa situazione, da parte della malta da reintegro. Gli standards internazionali che regolano questo test sono raccolti nella ASTM C 666³² e permette di sottoporre i provini che hanno raggiunto un livello intermedio di maturazione a circa 300 cicli di trattamento, fino a quando il modulo dinamico³³ del materiale raggiunge il 60% del valore originale.

Idoneo comportamento all'azione corrosiva delle particelle trasportate dal vento

La resistenza all'abrasione è definita come la capacità di una superficie di resistere allo sfregamento. I fattori che influenzano la resistenza all'abrasione di un materiale di riparazione includono la quantità e la qualità dell'aggregato, la resistenza alla compressione, le proporzioni degli elementi componenti la miscela, la finitura su-

²⁹ ACI 201.2R, *Guide to Durable Concrete*, 1997, paragrafo 2.4.4 "Evidence of alkali-aggregate or other reaction".

³⁰ Definizione tratta dal glossario di ASTM International (American Society for Testing and Materials International - organismo di normazione statunitense).

³¹ ASTM E96 / E96M - 13, *Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials*, 2013.

³² ASTM C666 / C666M - 03(2008), *Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing*, 2008.

³³ Il modulo dinamico permette di determinare la velocità di propagazione delle onde elastiche all'interno di un dato materiale. Il valore del modulo dinamico del calcestruzzo può essere determinato mediante una prova ultrasonica in laboratorio.

perficiale e i trattamenti di superficie.

Esistono diversi metodi di prova per determinare tale resistenza, come per esempio la valutazione della resistenza all'abrasione in fase di sabbiatura (regolamentata dalla norma ASTM C 418³⁴), che produce un'azione di taglio che asporta i componenti meno resistenti della miscela, oppure la valutazione alla resistenza tramite metodo rotativo di taglio (regolamentato da ASTM C 944³⁵), eseguibile sui carotaggi, laddove non si possa eseguire la prova su superfici maggiori di materiale.

Buona lavorabilità

Una delle proprietà da tenere in considerazione in fase di selezione del materiale è la fluidità dell'impasto; essa influenza innanzitutto la scelta del metodo di applicazione (colaggio, spatola, ecc...); in secondo luogo formulare un impasto, che in fase di cantiere risulta difficilmente lavorabile, potrebbe portare le maestranze ad eccedere nel quantitativo d'acqua da aggiungere alla miscela, per facilitare le operazioni di esecuzione dell'opera. Ciò comporterebbe una modifica del rapporto acqua/cemento, abbassando la resistenza meccanica dell'impasto.

Integrità dell'aspetto finale

L'aspetto finale della reintegrazione, oltre che rispondere alle caratteristiche legate ai principi di riconoscibilità, compatibilità e minimo intervento, è influenzato anche dalle condizioni al contorno del manufatto su cui viene effettuata la reintegrazione. In fase di reintegro, infatti, occorre tener presente particolari condizioni (per es. climatiche come vento, o vicinanza al mare) che possono modificare la malta da reintegro, in primo luogo proprio nell'aspetto estetico, ripercuotendosi successivamente anche sulla formazione di veri e propri degradi.

Conoscere le condizioni al contorno, del luogo in cui il materiale verrà messo in opera, permette di valutare anticipatamente la risposta del prodotto a quelle specifiche sollecitazioni, indirizzando la scelta in fase di selezione del materiale.

Analisi dei prodotti presenti sul mercato

I materiali da impiegare devono in primo luogo resistere a quelle sollecitazioni di carattere chimico fisico e meccanico alle quali l'impasto originario non è stato in grado di resistere. Una prima distinzione netta tra i materiali da impiegare per le reintegrazioni può essere fatta tra malta cementizia e malta polimerica³⁶. Attualmente, sul mercato sono disponibili una serie di materiali da ripristino in grado di rispondere alle esigenze relative a molteplici ambienti e tipi di interventi³⁷. Spesso, però, questi materiali vengono impiegati senza un'attenta valutazione della compatibilità con il substrato e in assenza di una progettazione mirata dell'intervento, che tenga conto delle peculiarità della struttura originaria; ciò può rappresentare un'ulteriore causa di deterioramento.

La resistenza d'interfaccia³⁸ tra un substrato in impasto cementizio e un nuovo stra-

³⁴ ASTM C418 - 12, *Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete by Sandblasting*, 2012.

³⁵ ASTM C944 / C944M - 12, *Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete or Mortar Surfaces by the Rotating-Cutter Method*, 2012.

³⁶ COLLEPARDI M. *et alii*, *Materiali e tecnologie per il restauro delle opere in calcestruzzo*, in BISCONTIN G., MIETTO D. (a cura di), 1993, pp. 211-220.

³⁷ TORRACA G., *Problemi di conservazione delle superfici esterne*, in BISCONTIN G., VOLPIN S. (a cura di), 1990, pp.13-26.

³⁸ Per resistenza d'interfaccia si intende la capacità di opporsi allo scorrimento lungo l'area di contatto tra i due materiali. In FEODOSEV V.I., 2011.

to di ripristino, è un parametro che può fornire utili informazioni per la scelta del prodotto da impiegare in fase di intervento.

A tale riguardo sono stati presi in esame i risultati raggiunti da uno studio condotto da N.K. Emberson, G.C. Mays³⁹, per valutare le caratteristiche di interfaccia calcestruzzo-malta da ripristino e a livello più generale per indagare l'efficacia di interventi di ripristino con vari materiali (materiali resinosi, materiali cementizi polimero-modificati e materiali cementizi). Gli studiosi sopracitati hanno selezionato i requisiti generali⁴⁰ dei materiali da ripristino per la compatibilità strutturale⁴¹ e hanno verificato che: la resistenza a compressione è pressoché comparabile tra tutti i tipi di impasti da ripristino; la resistenza a trazione è superiore per impasti contenenti resine; i materiali a base cementizia hanno un migliore modulo elastico e un aumento di volume minore se sottoposti ad espansione termica; la misura di adesione è superiore per i sistemi resinosi, ma questo può comportare più facilmente una rottura del substrato; le minori variazioni volumetriche, a seguito di ritiro, sono state riscontrate nei materiali resinosi.

A seguito di tali risultati si può ritenere che, per le reintegrazioni da eseguire su copriferrì o elementi architettonici con funzione decorativa, le malte cementizie sono perfettamente impiegabili, in quanto hanno un migliore comportamento elastico, minori variazioni di volume e migliore adesione al substrato (in quanto possono arrecare minori danni rispetto ai materiali resinosi) rispetto ai prodotti a base polimerica.

Tab. 3 - Principali polimeri per il recupero di opere in materiale cementizio armato. Dati estratti da: M. Collepari *et alii* (a cura di), *Materiali e tecnologie per il restauro delle opere in calcestruzzo*, in: BISCONTIN G., DRIUSSI G. (a cura di) 1993, pp. 211-220.

Materiali a base polimerica

L'impasto a base polimerica non è una miscela tradizionale, in quanto la funzione del legante viene svolta non dal cemento ma da resine sintetiche termoindurenti. Esso varia notevolmente la sua funzione in base al tipo di resina impiegata; le resine principalmente adoperate sono le poliesteri e le epossidiche⁴². Esistono vari tipi di polimeri e molti di essi sono impiegati nel settore delle costruzioni. Uno schema riassuntivo dei principali polimeri impiegati nel restauro di strutture con impasti cementizi è riportato nella tabella sottostante.

POLIMERO	TIPO	APPLICAZIONE
Resine epossidiche	bicomponente	rivestimento superficiale, riempimento cavità, sigillatura fessure, giunzione tra strutture
Resine poliuretatiche	bicomponente	rivestimento superficiale, riempimento cavità, sigillatura fessure, giunzione tra strutture
Resine alchiliche	monocomponente	rivestimento superficiale
Resine viniliche	monocomponente	rivestimento superficiale
Poliacrilati	monocomponente	rivestimento superficiale
Silani	monocomponente	riempimento parziale

³⁹ EMBERSON N.K., MAYS G.C., 1990, pp. 161-170.

⁴⁰ *Ibidem*; Gli studiosi hanno selezionato i seguenti requisiti generali: resistenza a compressione, trazione e flessione; modulo a compressione, trazione e flessione, coefficiente di Poisson, coefficiente di espansione termica; aderenza a trazione e taglio; curing e ritiro a lungo termine; capacità di deformazione; creep; comportamento a fatica.

⁴¹ Anche se il presente lavoro non analizza il problema strutturale nell'ambito della reintegrazione degli impasti cementizi, si può ritenere in ogni caso utile il riferimento ai risultati ottenuti dalla ricerca sopracitata. Quest'ultima ha come obiettivo la determinazione dei materiali che hanno maggiore compatibilità strutturale con il substrato cementizio; analizza quindi casi in cui il fattore di rischio è superiore rispetto a quello dei casi presi in considerazione nel presente lavoro, che si occupa invece di elementi architettonici ornamentali e solo raramente di elementi con funzione anche strutturale.

⁴² COLLEPARDI M. *et alii* (a cura di), *Materiali e tecnologie per il restauro delle opere in calcestruzzo*, in BISCONTIN G., DRIUSSI G. (a cura di) 1993, pp. 211-220.

Gli impasti a base polimerica richiedono speciali condizioni di temperatura e umidità per la lavorazione⁴³; il cemento viene sostituito da fillers (inerti molto fini) e la resina viene dosata in quantità tale da riempire tutti i vuoti; in questo tipo di impasto non si ricorre all'acqua. Questo tipo di materiale presenta alcune problematiche tecnologiche⁴⁴ da non sottovalutare, nel momento in cui si effettua la scelta della pasta da reintegro: nel periodo estivo o per reintegrazioni di notevoli dimensioni, possono essere interessate da fenomeni di ritiro piuttosto pronunciati; hanno una resistenza al fuoco molto bassa; l'assenza di alcalinità nell'impasto (garantita invece da malte cementizie) richiede l'uso di una ulteriore sostanza da applicare come finitura superficiale (es. vernice protettiva), per evitare la carbonatazione dell'impasto e l'ossidazione di eventuali armature interne; infine, data la differenza composizionale con il substrato, è necessario impiegare un primer epossidico per favorire l'incollaggio con il supporto esistente. La tecnica di iniezione di prodotti polimerici, come resine epossidiche, è impiegata principalmente per il recupero di elementi in materiale cementizio con un grado di degrado non elevato, come per esempio in presenza di fessure di ridotta ampiezza⁴⁵, al fine di ripristinare la continuità e la durabilità.

Le resine possono essere impiegate anche per impregnazioni ed incollaggi; nel primo caso le resine vengono applicate con rulli o cazzuole, per strati successivi, e quando si hanno grandi superfici si può ricorrere a spruzzatrici ad alta pressione; nel caso degli incollaggi è necessaria un'accurata pulizia e complanarità delle superfici del substrato per garantire una stesura dello strato uniforme e di spessore contenuto. Spesso si impiegano anche sistemi misti con legante cementizio e aggiunte polimeriche per la protezione delle armature di conglomerati cementizi armati. Tali sistemi sono impiegati anche per rivestimenti e finiture in fase di ripristino; nello specifico è possibile adottare malte con polimeri organici; prodotti con polimeri organici caricati con filler cementizio, oppure malte cementizie modificate con dispersioni polimeriche (prodotti a base cementizia).

I prodotti polimerici sono impiegati anche per la protezione dei materiali cementizi e mirano a ridurre la porosità superficiale e a migliorare la resistenza a trazione superficiale dell'impasto cementizio: tra i prodotti in commercio è possibile trovare soprattutto impregnazioni idrofobiche costituite da silani e silossani.

Materiali a base cementizia

I materiali a base cementizia, a differenza delle malte polimeriche, presentano un problema di notevole importanza quale può essere il fenomeno di ritiro. Per evitare tale problema, in commercio è possibile trovare dei materiali a base cementizia a ritiro compensato, che permettono di limitare la riduzione del materiale aggiunto rispetto all'impasto sottostante in fase di essiccaamento. I prodotti a ritiro compensato sono materiali premiscelati, pronti all'uso, e composti da cementi, aggregati, agenti espansivi e additivi. L'aggiunta dell'acqua al prodotto, al momento dell'impasto, provoca una reazione dell'agente espansivo che si traduce nell'espansione del materiale di ripristino. L'aumento di volume, in questa fase, provoca una compressione nel conglomerato, che è in grado di ridurre notevolmente il successivo ritiro. In tal modo, durante l'essiccazione, il ritiro, anziché produrre sforzi di trazione, causa principale di fenomeni di distacco e rottura del ripristino, riduce o annulla le tensioni di compressione accumulate dal conglomerato in fase espansiva.

Oltre al problema del ritiro, l'uso di malte composite permette anche di risolvere il problema della lavorabilità, attraverso l'uso di additivi superfluidificanti (la cui pre-

⁴³ La reazione non si attiva a temperature inferiori a 10°C ed è fortemente esotermica. Tratto da: MAURO F., *Materiali speciali per il restauro strutturale*, in AVRAMIDOU N., 1990, pp.193-208.

⁴⁴ MAURO F., *Materiali speciali per il restauro strutturale*, in AVRAMIDOU N., 1990, pp.193-208.

⁴⁵ KAMADA T., LI V.C., in "Cement & Concrete Composites", Elsevier, n. 6, 2000, pp. 423-431.

senza permette di evitare un abbassamento del rapporto a/c), e il problema della resistenza agli attacchi chimici, risolto grazie all'impiego di microsilice. In aggiunta a questi componenti è possibile adottare delle composizioni ulteriori per far fronte a particolari esigenze.

Attualmente, nel campo del restauro sono presenti diversi prodotti composti a base cementizia, tra cui i più comuni sono⁴⁶:

- malte preparate in cantiere;
- malte confezionate con l'aggiunta di materiali pozzolanici, come la microsilice (per aumentare la durabilità del materiale di ripristino);
- malte a ritiro compensato ottenute aggiungendo agenti espansivi e additivi superfluidificanti;
- malte modificate con polimeri ottenute sostituendo parte dell'acqua e del cemento di miscela con particolari polimeri (si ottengono prodotti finali con il doppio del rapporto resistenza a trazione/resistenza a compressione, una forte riduzione del ritiro e un aumento di resistenza ad alcuni tipi di attacco chimico); queste tipologie di malte sono attualmente sul mercato come:
 - *malte cementizie bicomponenti* (1 liquido + 1 polvere), costituite da due componenti predosati, di cui uno in polvere a base di cementi e aggregati fini selezionati, l'altro consistente in un liquido contenente polimeri inibitori di corrosione in dispersione acquosa. Questi due componenti si miscelano in sito.
 - *malte cementizie monocomponenti o bicomponenti* con aggiunte di inibitori di corrosione in polvere. In questo caso è necessario miscelare con acqua nel rapporto in peso acqua/prodotto come indicato dal produttore.
 - *malte fibrinforzate* costituite da un rinforzo e da una matrice. Il rinforzo è caratterizzato da alte prestazioni meccaniche ed è rappresentato da fibre in materiali inorganici come il carbonio, il vetro oppure in materiali polimerici come l'aramide (l'aggiunta di fibre migliora la resistenza alla fessurazione, la duttilità e la resistenza agli urti).

L'impiego dunque di materiali a base cementizia potrebbe risultare preferibile rispetto all'uso delle sostanze a base polimerica, non tralasciando la validità che contraddistingue i prodotti premiscelati. Questi, infatti, così come riportato nelle descrizioni precedenti, contengono delle piccole percentuali di sostanze polimeriche impiegate come additivo ad un prodotto di natura prevalentemente cementizia.

In interventi di restauro di supporti realizzati con l'ausilio di impasti cementizi, l'uso di prodotti in prevalenza cementizi permetterebbe di avere maggiore compatibilità tra il materiale aggiunto ed il substrato, che si traduce, oltre che nel rispetto di un principio fondamentale alla base degli interventi di restauro, anche in una efficace soluzione a problemi di tipo fisico-chimico quali: la traspirabilità e la permeabilità al vapore di entrambi i materiali, un'adesione non nociva per il substrato e una maggiore facilità nell'applicazione in fase esecutiva, grazie ad una migliore lavorabilità e il minore rischio di assorbimento di sostanze tossiche da parte degli addetti ai lavori. Per i seguenti suggerimenti procedurali da applicare in fase di restauro, vengono presi in considerazione unicamente materiali a base cementizia.

Le schede sono state suddivise in base alla tipologia di reintegrazione che è possibile eseguire; nello specifico vengono presentati possibili materiali e tecniche di applicazione inerenti:

- il rifacimento della finitura superficiale
- la sigillatura di fessurazioni
- l'iniezione per distacco
- la reintegrazione volumetrica di mancanze.

In ciascuna scheda, così come riportato nelle schede precedenti, si fornisce una breve descrizione della tipologia di intervento, i casi e le possibilità di applicazione e infine i suggerimenti procedurali.

⁴⁶ SIVIERO E., CANTONI R., FORIN M., 1995, pp. 193-200.

Materiali da reintegro

LA SCELTA DELL'IMPASTO
SUGGERIMENTI OPERATIVI
<p>La scelta del tipo di intervento, dei materiali e delle procedure da attuare in fase di reintegrazione, dipende in primo luogo dallo stato di conservazione e dal tipo di impasto presente nel manufatto.</p> <p>Occorre compiere una valutazione preventiva dell'efficacia della reintegrazione proposta, attraverso test preliminari sui prodotti, al fine di determinare il dosaggio e i tipi di componenti dell'impasto da reintegro più adatti alle caratteristiche del substrato. Tale prerogativa porterebbe ad escludere l'impiego di prodotti premiscelati per compiere una reintegrazione metodologicamente¹ corretta. Si consiglia, dunque, di determinare la composizione dell'impasto e di fare un'attenta valutazione dei parametri necessari al rispetto della compatibilità con il substrato. In primo luogo, l'impasto cementizio da impiegare dovrebbe avere <u>proprietà affini</u> a quelle del materiale da risarcire; nello specifico si dovrebbe testare:</p> <ul style="list-style-type: none"> -la porosità, -la resistenza meccanica, -la stabilità dimensionale, -la permeabilità al vapore. <p>Inoltre, per poter essere ritenuto idoneo, l'impasto da reintegro dovrebbe essere testato attraverso prove su campioni del substrato, per determinarne:</p> <ul style="list-style-type: none"> -l'aderenza al substrato, -la variazione volumetrica in fase di ritiro, -il contenuto di sali (per evitarne il rilascio). <p>Dovrebbe infine garantire una buona lavorabilità allo stato fresco al fine di ripristinare le complesse geometrie delle decorazioni in opera.</p> <p>A questo punto, la soluzione migliore sarebbe riuscire a replicare l'impasto originale; tuttavia, ciò non renderebbe riconoscibile l'intervento dal substrato. Più precisamente, i componenti della miscela non dovrebbero essere tutti contemporaneamente uguali a quelli presenti nell'impasto originale.</p> <p>Si dovrebbe, in primo luogo, compiere una scelta della miscela, che preveda la distinguibilità dell'intervento da effettuarsi, rilasciando opportuna documentazione in merito alle scelte fatte e alle motivazioni che le hanno accompagnate, sincerandosi, attraverso prove preliminari, che la modifica non comporti problematiche di alcun tipo.</p> <p><i>Il legante</i></p> <p>Sarebbe opportuno riuscire a mantenere inalterata la composizione del legante, per far sì che si riducano i rischi di incompatibilità materica e diverse dilatazioni termiche, provocando distacchi, lesioni o rigetti del materiale. In generale l'aumento del contenuto di cemento, per un dato <i>rapporto a/c</i>, consente l'impiego di una maggiore quantità di acqua nell'impasto e quindi una maggiore lavorabilità; tuttavia, un aumento del dosaggio di cemento può favorire la fessurazione dovuta al calore di idratazione o al ritiro igrometrico oppure alla reazione alcali-aggregati. Laddove la composizione del legante abbia dimostrato di essere inadeguata all'azione del tempo, si potrebbero modificare i dosaggi dei singoli componenti; in alternativa si potrebbe procedere alla sostituzione del componente difettoso (es. ossido di magnesio all'interno del cemento magnesiaco).</p> <p>Dalle analisi condotte sui campioni dei casi studio e dal grado di durabilità che ciascun impasto ha dimostrato, è possibile trarre alcune interessanti considerazioni, utili per la scelta del legante:</p> <ul style="list-style-type: none"> - le malte contenenti calce idrauliche sono risultate le meno resistenti all'azione del tempo, poco adatte agli interventi di reintegrazione per i loro alti valori di ritiro e porosità;

¹ Per il significato di restauro metodologicamente corretto, si rimanda alle spiegazioni fornite nel paragrafo 4.3 dal titolo "Apporto teorico e metodologico della disciplina *del restauro*".

² Si definiscono pozzolanici i materiali (naturali o artificiali), silicei o silico-alluminosi che possiedono scarse o nulle proprietà leganti ma che, finemente macinati e in presenza di umidità, reagiscono a temperatura ordinaria, con l'idrossido di calcio Ca(OH)_2 . Pertanto, aggiunti alla miscela, questi reagiscono con la calce, prodotta dall'idratazione del silicato di calcio, del clinker Portland. Questa definizione è tratta da: BERTOLINI L., CARSA NA M., *Materiali cementizi e ambiente*, in BERTOLINI L., 2012, p. 455.

³ ALUNNO ROSSETTI V., 1999, pp. 37-38.

⁴ BERTOLINI L., CARSA NA M., *Materiali cementizi e ambiente*, in BERTOLINI L., 2012, p. 455.

⁵ Per limitare i fenomeni di fessurazione dovuti all'essiccamento dell'impasto in fase di ritiro, è possibile fare ricorso ad additivi SRA (Shrinkage Reducing Admixtures) oppure espansivi. I primi riducono la tensione superficiale dell'acqua, che si trova nei pori dell'impasto fino ad un valore pari al 50% di quello iniziale. Gli agenti espansivi sono invece sostanze che durante l'idratazione del cemento reagiscono producendo fenomeni di espansione di varia natura. Si differenziano tra loro in base alla velocità di reazione: i più controllabili e che al contempo raggiungono migliori risultati sono gli agenti basati sull'idratazione di ossido di calcio e di magnesio.

- le malte contenenti come legante unicamente cemento Portland sono le malte più fluide, ma con una consistenza non sufficientemente plastica. Ciò è dimostrato dal fatto che sono state impiegate prevalentemente in casi di colaggio, ed essendo poco modellabili, risultano poco adatte a risarcire le lacune di decorazioni complesse;

- le malte a legante cementizio che presentano alte percentuali di aggregato (attorno al 50-60%), sono le più difficili da lavorare e con risultati estetici più bassi, in quanto sono quelle che presentano più grumi nell'impasto;

- le malte miste cemento e calce, con basso contenuto di cemento Portland, sono le più usate per le decorazioni complesse: ciò potrebbe essere dovuto ad una maggiore modellabilità, dovuta presumibilmente alla presenza di idrossido di calcio; risultano tuttavia avere maggiore inclinazione alle fessurazioni da ritiro.

- le malte a legante cementizio pozzolanico², hanno dimostrato la migliore resistenza all'azione di agenti aggressivi e di attacchi solfatici; ciò è dovuto alla scomparsa dell'idrossido di calcio dall'impasto indurito (l'idrossido di calcio, che si forma a seguito dell'idratazione dei composti del Portland, reagisce con la fase reattiva delle pozzolane, trasformando il Ca(OH)_2 in CSH)³. I composti insolubili prodotti dalla reazione pozzolanica sono più fini di quelli ottenuti per idratazione del cemento Portland e favoriscono l'affinamento della microstruttura del calcestruzzo, per effetto del quale si ha la diminuzione della porosità capillare. A ciò corrisponde anche una diminuzione della permeabilità dell'impasto, che diventa più resistente all'ingresso delle sostanze aggressive⁴.

Come si evince dall'analisi dei restauri, l'impasto a contenuto pozzolanico è quello che dimostra prestazioni migliori per le reintegrazioni in profondità. Ciò è dovuto alla caratteristica dei materiali pozzolanici di reagire con la calce trasformandola in alluminati di calcio idrati e in silicati di calcio idrati capaci di produrre una maggiore resistenza meccanica e di indurire anche in assenza di aria.

Occorre precisare che, laddove si ha una maggiore quantità di cemento Portland, si rilevano valori più alti di resistenza meccanica e minore porosità dell'impasto, riscontrabili in una minore predisposizione al degrado.

Tuttavia l'uso di cementi Portland (come dimostrato dall'analisi degli interventi di restauro) è meno adatto alle stuccature, in quanto la sua eccessiva fluidità, rispetto alle malte bastarde, provoca difficoltà nell'applicazione; inoltre gli impasti da reintegro con legante Portland avranno minore compatibilità con i supporti da restaurare (ovviamente con differente composizione), a causa del diverso valore di modulo elastico presente nei cementi Portland oggi prodotti (avendo diverse rigidità, le sollecitazioni non sono uniformi e infatti nei casi di restauro sono riscontrabili più facilmente fessurazioni e distacchi).

Per questi motivi, per garantire una migliore posa del prodotto e diminuire le possibilità di distacco, è consigliabile l'uso di malte miste calce e cemento con l'aggiunta di additivi antiritiro⁵, per bilanciare il loro difetto.

Le malte a legante cementizio non Portland risultano compatibili ai supporti, ma per migliorarne la fluidità e il ritiro se ne consiglia l'uso con aggiunta di additivi antiritiro e plasticizzanti (per facilitarne l'applicazione).

La scelta finale tra le diverse formulazioni è determinata dai risultati delle campionate in sito, al fine di verificare la buona adesione al supporto.

Gli aggregati

Gli aggregati dovrebbero essere scelti a seguito di indagini diagnostiche eseguite sul substrato, per determinare la composizione mineralogica e granulometrica. Sarebbe opportuno, in fase di scelta dell'aggregato, rispettare la granulometria e la composizione mineralogica dell'impasto originale. La riconoscibilità del materiale può essere garantita modificando uno dei due parametri riportati.

I pigmenti

I pigmenti da impiegare dovrebbero essere prevalentemente minerali e dovrebbero avere una comprovata stabilità.

È possibile variarne la cromia per garantire il principio di riconoscibilità della reintegrazione, senza però creare forti distacchi cromatici dall'originale, ma mantenendo una cromia affine al colore di fondo.

Gli additivi

Gli additivi sono sostanze che, se aggiunte all'impasto in quantità e modalità opportune, ne dovrebbero migliorare le prestazioni. Esistono differenti tipi di additivi, legati al risultato che si vuol raggiungere; per esempio gli additivi acceleranti, fluidificanti e ritardanti. Alcuni di questi prodotti, tuttavia, possono presentare vantaggi e svantaggi: alcuni acceleranti, per esempio, contengono il cloruro di calcio, elemento che tende a diminuire l'alcalinità dell'impasto, aumentando il rischio di innesco del fenomeno di corrosione; i fluidificanti, per esempio, pur migliorando la lavorabilità dell'impasto, senza dover aumentare la quantità d'acqua, se adoperati in elevate quantità, possono ridurre la resistenza meccanica nel breve periodo. Per quanto riguarda i ritardanti, invece, aumentando i tempi di presa e indurimento, si ha la necessità di umidificare il getto per tutto il tempo di presa, per evitare l'essiccamento.

Per quanto riguarda l'impiego di additivi da aggiungere all'impasto, se ne consiglia l'uso unicamente nei casi in cui sia necessario aggiungere delle proprietà fondamentali (es. miglioramento della resistenza meccanica) che altrimenti l'impasto non avrebbe, oppure per migliorare la risposta dell'impasto a degradi che in precedenza hanno interessato il manufatto.

Nel primo caso occorre far presente che, prima di passare all'aggiunta di additivi, è possibile modificare le proprietà dell'impasto semplicemente provando a modulare il tipo e il quantitativo dei suoi componenti (si vedano i diversi comportamenti delle malte in relazione ai tipi di legante, riportati in alto).

Per quanto riguarda invece la risposta dell'impasto ai degradi esistenti, si propone:

- per i casi in cui si siano manifestati fenomeni di corrosione o attacco di cloruri, l'impiego di additivi pozzolanici come ceneri volanti, fumo di silice, oppure laddove sia possibile, pozzolane naturali (tufi pozzolanici) e calcinate (caolino calcinato); l'uso di questi materiali è spiegato più avanti.

- per aumentare l'adesione al substrato e migliorare la resistenza del getto, attribuendo caratteristiche passivanti, l'impiego di fibre di carbonio, di vetro e di aramide;

- per controllare il ritiro plastico, e quindi la fessurazione, sono utili le malte a cui aggiungere additivi con caratteristiche *tixotropiche*⁶; occorre però effettuare una corretta stagionatura dell'impasto. L'espansione, infatti, deve avvenire dopo che il cemento ha iniziato il suo processo di indurimento, dando luogo a tensioni di compressione che compensano il fenomeno di ritiro.

Gli additivi espansivi sono generalmente costituiti da solfoalluminato tetracalcico o da ossido di calcio⁷.

- per aumentare la resistenza meccanica, ridurre la porosità e limitare l'effetto espansivo nel caso di una reazione alcali-aggregati, si potrebbe prendere in considerazione l'aggiunta all'impasto di nanoparticelle di silice.

Tale accostamento trova la sua efficacia, grazie alla struttura composita dell'impasto cementizio. Infatti il legante cementizio, ottenuto attraverso una reazione chimica tra cemento e acqua, è caratterizzato da una microstruttura con una scala che spazia dai millimetri ai nanometri, all'interno della quale è possibile inserire, oltre che materiali di rinforzo a scala nanometrica, come nanofibre e nanotubi di carbonio, anche aggiunte minerali, come nel caso della nanosilice.

Dispersioni acquose o fanghi di particelle nanometriche di silice amorfa vengono aggiunte poiché permettono la realizzazione di impasti cementizi con elevata resistenza alla compressione e alla flessione, nonché una riduzione della porosità dopo l'indurimento, caratteristica importantissima per la diminuzione dei fenomeni di carbonatazione dei cementi con una maggiore durata dei ferri posizionati all'interno.

⁶ La *tixotropia* è la proprietà di un materiale che consente di abbassare il proprio livello di viscosità quando viene agitato meccanicamente e successivamente in fase di riposo è di nuovo in grado di irrigidirsi; un materiale avente questa proprietà è definito tixotropico e può essere applicato su superfici verticali o orizzontali, senza avere cedimenti durante il processo di indurimento. Definizione tratta da: AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (a cura di), *Concrete Repair Terminology*, 2008, p. 65.

⁷ MAURO F., *Materiali speciali per il restauro strutturale*, in AVRAMIDOU N., 1990, pp. 193-208.

⁸ BERRA M., *L'uso della nanosilice per prevenire la reazione espansiva alcali-silice nel calcestruzzo*, Cesi Ricerca, Febbraio 2008, http://www.rse-web.it/documenti.page?RSE_anipulatePath=yes&RSE_originalURI=/documenti/documento/659&country=ita.

⁹ Il cemento Portland si ottiene con la cottura di calcare, argilla e altri materiali secondari che subiscono delle trasformazioni chimico-fisiche che portano alla formazione di clinker, a cui si aggiunge circa il 5% di gesso. Tale miscela viene macinata al fine di ottenere cemento Portland da distribuire in sacchi. Tale breve descrizione è tratta da: BERTOLINI L., CARSANA M., *Materiali cementizi e ambiente*, in BERTOLINI L., 2012, pp. 451-452.

¹⁰ ALUNNO ROSSETTI V., 1999, p. 62.

¹¹ Per i valori limite si veda la norma UNI EN 1008:2003.

Inoltre, aggiunta al cemento Portland, la nanosilice può essere utilizzata per prevenire la reazione espansiva alcali-silice (ASR) nei calcestruzzi con aggregati potenzialmente reattivi⁸. Per prevenire questa reazione vengono di solito utilizzate aggiunte minerali quali il fumo di silice condensato o la pozzolana naturale, ma la nanosilice, essendo costituita da particelle ultra-fini di silice amorfa, appare potenzialmente ancora più efficace.

Per quanto riguarda il miglioramento della resistenza alla corrosione e agli agenti inquinanti e soprattutto una maggiore garanzia delle prestazioni richieste (resistenza, durabilità, ecc...) è fondamentale una corretta progettazione delle miscele cementizie, impiegando i cementi più adatti nelle quantità minime necessarie, oppure modificandone la composizione e riducendo la quantità di legante, in favore di aggiunte minerali con caratteristiche pozzolaniche o idrauliche.

L'uso di aggiunte pozzolaniche naturali può consentire la sostituzione di parte del clinker⁹ presente nella miscela, riducendo le emissioni dovute alla cottura delle materie prime impiegate, migliorando il comportamento in esercizio dell'impasto, in relazione ai diversi fenomeni di degrado (dopo adeguata stagionatura), grazie ai benefici delle loro reazioni di idratazione. Tuttavia gli impasti che presentano l'uso di queste aggiunte potrebbero manifestare alcuni problemi legati ad una maggiore richiesta d'acqua o ad una minore resistenza iniziale. Per ovviare a queste situazioni si possono impiegare aggiunte minerali ottenute da residui di altri processi produttivi.

Le ceneri volanti, per esempio, sono un'aggiunta pozzolanica al legante e permettono di ottenere cementi di miscela, da preparare anche in cantiere e che, se aggiunti al calcestruzzo, reagiscono con la calce prodotta dall'idratazione dei silicati di calcio.

L'acqua

Le caratteristiche dell'acqua devono essere valutate in relazione alla loro interferenza con i meccanismi di presa e di indurimento e ai fenomeni di corrosione delle armature.

Le acque naturali contengono numerose sostanze come carbonato, cloruro, silicato, magnesio, potassio e sodio, che possono accelerare o ritardare la presa (es. i cloruri accelerano la presa e l'indurimento e favoriscono la corrosione¹⁰). Per valutare se l'acqua di impasto scelta è idonea, occorre confrontare i valori legati al campione di acqua, con le concentrazioni limite¹¹ oltre le quali la resistenza meccanica può essere influenzata. Possono risultare inadeguate anche acque di rifiuto industriale o urbano perché possono contenere sostanze solide in sospensione o in soluzione di natura organica che possono alterare i tempi di presa. Sarebbe dunque preferibile impiegare acqua distillata, ma la normativa ammette anche l'utilizzo di acqua di riciclo da impianti per la produzione di calcestruzzo (acqua usata per il lavaggio delle autobetoniere).

La tecnica esecutiva

L'opera dovrebbe essere eseguita riprendendo, dove possibile, e nel rispetto della riconoscibilità dell'azione di restauro, le tecniche di formatura e di posa, ricorrendo alle modalità di esecuzione e agli strumenti propri della tradizione artigiana.

Il capitolo 2 del presente lavoro offre una vasta panoramica degli strumenti e degli impasti adoperati nei primi decenni del Novecento; si aggiungano le rilevazioni fatte sui casi studio analizzati nel capitolo 3, che permettono di individuare le prassi di intervento, consolidate sul campo; tutto ciò può essere una valida base di partenza, per identificare le tecniche adoperate in altri edifici coevi e su cui è necessario intervenire.

Nei casi in cui l'elemento da reintegrare presenti forme complesse (di cui non si ha certezza) e dunque non sia possibile procedere ad una reintegrazione completa, senza "ipotizzarne" i dettagli, si propone di eseguire una reintegrazione con forme semplificate, riprendendo solo i tratti e le linee che appaiono indiscutibili.

Preparazione del supporto

¹ KAMADA T, LI V.C., in "Cement & Concrete Composites", Elsevier, V. 22, n. 6, 2000, pp. 423-431.

PREPARAZIONE DEL SUPPORTO
DESCRIZIONE
Preparazione e pulitura del sottofondo su cui verrà applicato il materiale da reintegro, affinché risulti consistente, coeso e irruvidito.
CASI DI APPLICAZIONE
Tutti i casi in cui sia necessario effettuare una reintegrazione, di qualsiasi natura.
SUGGERIMENTI OPERATIVI
<p>La fase di pulitura del sottofondo è fondamentale in quanto, l'interfaccia tra il materiale da reintegro e il substrato, rappresenta l'unica superficie di contatto tra i due materiali entro cui si verificano contemporaneamente le variazioni fisico-meccaniche di entrambi (variazioni volumetriche da ritiro, termiche, ecc.); di conseguenza, l'errata preparazione del supporto può pregiudicare la durabilità e stabilità dell'intero intervento. L'operazione di preparazione dovrebbe avvenire a temperature comprese tra 5°C e 35°C.</p> <ul style="list-style-type: none"> - La pulizia dell'impasto cementizio dovrebbe prevedere la rimozione, mediante lavaggio ad alta pressione delle parti di materiale ammalorato, incoerente o eventuali residui di precedenti interventi. Tale passaggio può essere effettuato anche mediante l'uso di mezzi meccanici (spazzole o scalpelli), purchè venga rimosso tutto il materiale carbonatato e si raggiunga l'impasto resistente. - È necessario irruvidire adeguatamente la superficie con asperità di circa 5 mm, per consentire un adeguato ancoraggio della malta da reintegro. Verificare che la superficie non risulti nè troppo liscia, nè troppo ruvida, in quanto nel primo caso impedisce l'adesione della nuova malta, nel secondo caso invece, può provocare la formazione di fessure di grosse dimensioni che impediscono una buona distribuzione dei carichi, abbassano la resistenza complessiva portando verso il collasso dell'elemento e favoriscono la penetrazione di anidride carbonica e acqua¹. <p>Se sono presenti ferri di armatura, occorre prevedere un'adeguata pulitura anche di essi (→ vedi scheda <i>passivazione dei ferri</i>).</p> <ul style="list-style-type: none"> - L'ultimo passaggio da compiere è la saturazione del supporto con acqua per mezzo di lavaggio a pressione. Tale operazione risulta necessaria per evitare che il substrato sottragga acqua alla malta da reintegro. È importante che il materiale sia saturo d'acqua ma asciutto in superficie al momento dell'applicazione della nuova malta. E dunque, l'acqua presente a livello superficiale dovrebbe essere rimossa tramite spugne o getto d'aria compressa. Non dovrebbe restare acqua interstiziale tra i due materiali, poichè provocherebbe un abbassamento dell'aderenza e la proliferazione di degradi sull'interfaccia.

¹ La circolazione di corrente tra l'anodo e le armature produce una riduzione o blocco della velocità di corrosione, aumenta il pH e rimuove i cloruri presenti, facilitando la ripassivazione delle armature. Per approfondire le tecniche elettrochimiche si rimanda a: PEDEFERRI P., 2006, pp. 120-124.

² BERTOLINI L., *Le proprietà dei calcestruzzi cementizi*, in DI BIASE C., 2009, pp. 123-137.

³ BERTOLINI L., CARSA NA M., REDAELLI E., in "Journal of Cultural Heritage", vol. 9, n. 4, 2008, pp. 376-385.

Passivazione delle armature

PASSIVAZIONE DEI FERRI DI ARMATURA

DESCRIZIONE

Creazione delle condizioni chimiche in cui la superficie delle armature è mantenuta o riportata in condizioni di passività.

CASI DI APPLICAZIONE

Reintegrazione di lacune nel rivestimento (es. finti bugnati); stuccatura di giunti (es. tra elementi accostati, prodotti a stampo); rifacimento di strati superficiali di elementi decorativi. L'intervento può essere applicato nei casi di erosione, disgregazione, distacco e mancanza.

Se la reintegrazione prevede grandi superfici occorre procedere con tecnica a spruzzo; se riguarda piccoli interventi si può optare per l'uso della spatola.

SUGGERIMENTI OPERATIVI

Prima di avviare le operazioni di reintegro è bene accertare l'eventuale presenza di ferri di armatura all'interno dell'elemento. La loro corrosione può essere infatti una delle principali cause di ammaloramento dell'impasto circostante.

Nei casi in cui la carbonatazione dell'impasto sia circoscritta e non particolarmente profonda (valutazione caso per caso), si potrebbe evitare la rimozione del materiale cementizio e procedere con la ripassivazione delle armature attraverso tecniche elettrochimiche¹: protezione catodica, rialcalinizzazione elettrochimica e rimozione elettrochimica dei cloruri. Questi metodi si basano sull'applicazione di una corrente continua tra un anodo (rete di titanio posta sulla superficie del copriferro) e le armature (che fungono da catodo). L'anodo viene collegato al polo positivo di un generatore di corrente, mentre le armature al polo negativo.

La protezione catodica è una tecnica permanente che prevede l'applicazione di un anodo sulla superficie del manufatto, attraverso il quale viene erogata alle armature la corrente continua catodica. Un sistema anodico può essere una rete metallica annegata in un getto di malta, oppure una pittura conduttiva. Per erogare corrente è necessario un generatore di tensione continua. Questa tecnica permette di arrestare la corrosione delle armature, evitando la rimozione dell'impasto circostante; tuttavia necessita di un controllo periodico e richiede l'applicazione permanente di un anodo sulla superficie del manufatto².

Per rimediare a questo problema sono stati sviluppati dei trattamenti elettrochimici temporanei. Si applica una corrente continua per alcune settimane e il sistema anodico consiste in una rete metallica immersa in polpa di carta impregnata di un'apposita soluzione. Al termine del trattamento, il sistema anodico viene rimosso ma l'impasto cementizio conserva la sua superficie originale (ovviamente se il materiale risulta carbonatato o distaccato occorre comunque procedere alle riparazioni locali). La tecnica della rialcalinizzazione elettrochimica si applica alle strutture carbonatate e sfrutta la produzione di alcalinità nel copriferro grazie alla reazione catodica che avviene sull'armatura e alla penetrazione della soluzione alcalina in cui è immerso³.

La rimozione dei cloruri si applica alle strutture contaminate da cloruri e sfrutta la migrazione elettrica dei cloruri verso l'anodo; al termine del trattamento, rimuovendo l'anodo, si rimuovono anche la maggioranza dei cloruri presenti nel copriferro. La durabilità del trattamento dipende dal tempo necessario affinché i cloruri possano di nuovo penetrare nel copriferro.

Laddove l'elemento su cui intervenire dovesse avere una funzione strutturale, e inoltre, dovesse essere interessata da corrosione dovuta alla penetrazione dei cloruri, occorrerebbe applicare una procedura di ispezione per valutare la corrosione delle armature.

Questo è importante per evitare che l'intervento di restauro risulti inefficace, richiedendo un'altra operazione dopo poco tempo, a causa della propagazione dei cloruri in zone apparentemente ancora non colpite. Tale procedura consta di quattro fasi:

- l'ispezione visiva per individuare le zone di probabile corrosione (su impasto) e di evidente corrosione (su armature);
- una mappatura delle zone di potenziale corrosione (non visibili dall'analisi della superficie del l'impasto);
- valutazione della velocità di corrosione nelle zone dove si manifesta, attraverso la resistenza di polarizzazione⁴;
- analisi chimica dell'impasto cementizio per valutare eventuale presenza di carbonatazione e penetrazione di cloruri.

Una volta terminata la fase di analisi, si può procedere con la fase di pulitura:

- i ferri preesistenti dovrebbero in primo luogo essere puliti: tale rimozione di polvere, incrostazioni di ruggine incoerente, oli o vernici precedentemente applicate, dovrebbe essere eseguita per mezzo di spazzolatura con spazzole metalliche o sabbatura a secco.
- nel caso di reintegrazioni volumetriche che richiedono spessori di malta >20mm, potrebbe essere necessario applicare un'armatura metallica di supporto, per contrastare il fenomeno di ritiro. Tale armatura può essere costituita da fili di acciaio, chiodi o tasselli possibilmente di materiale inossidabile, per garantirne una maggiore durabilità e protezione e la riconoscibilità dell'aggiunta.
- nel caso di elementi con funzione strutturale, oltre che decorativa (per esempio solette di balconi, pilastri, ecc..), occorre revisionare le sezioni delle armature esistenti; qualora si sia verificata una diminuzione di tali sezioni, è necessario integrare il ferro danneggiato, ristabilendo la continuità delle armature con materiali che possano assolvere alla funzione richiesta (metallici, fibre di carbonio, vetro, ecc..).
- una volta terminate le operazioni sopra definite, si dovrebbe procedere alla protezione dei ferri, realizzando rivestimenti di barriera mirati a bloccare o rallentare il fenomeno corrosivo.

È opportuno applicare prodotti in grado di ricostituire la pellicola protettiva che preserva le armature. Sarebbe consigliabile non discostarsi dalle tecniche originali presenti in opera; per questo, in linea generale, si consiglia l'uso di sostanze prevalentemente a base cementizia alcalina (eventualmente modificate con aggiunta di polimeri ed inibitori di corrosione anodici). Impiegando specifici prodotti per il rivestimento protettivo a base cementizia, si potrebbe evitare l'uso di un ulteriore prodotto per favorire l'adesione della malta da ripristino; sarebbe infatti consigliabile evitare l'applicazione di tale prodotto, per consentire una semplificazione esecutiva e una riduzione del rischio di problemi dovuti ad una non perfetta esecuzione dell'intervento. Se si impiegano malte cementizie modificate con polimeri, è bene scegliere quelle caratterizzate da un basso modulo elastico e una bassa permeabilità.

⁴ La resistenza di polarizzazione è detta anche metodo di Stern-Geary ed è il metodo elettrochimico di determinazione della velocità di corrosione. Definizione tratta da: MONTESPERELLI G. et alii, *Valutazione della resistenza alla corrosione di acciai ad alto tenore di azoto sensibilizzati ad alta temperatura*, in "Atti delle IX Giornate Nazionali sulla Corrosione e Protezione", Monte Porzio Catone, 6-8 Luglio 2011, pp. 113-122.

Reintegrazione della finitura superficiale

REINTEGRAZIONE DELLA FINITURA SUPERFICIALE
DESCRIZIONE
Reintegrazione di parti o elementi superficiali mancanti, volta a rimettere in efficienza l'opera architettonica e a limitare eventuali alterazioni subentrate a seguito del distacco graduale o immediato che si è verificato.
CASI DI APPLICAZIONE
Reintegrazione di lacune nel rivestimento (es. finti bugnati); stuccatura di giunti (es. tra elementi accostati, prodotti a stampo); rifacimento di strati superficiali di elementi decorativi. L'intervento può essere applicato nei casi di erosione, disgregazione, distacco e mancanza. Se la reintegrazione prevede grandi superfici occorre procedere con tecnica a spruzzo; se riguarda piccoli interventi si può optare per l'uso della spatola.
SUGGERIMENTI OPERATIVI
<ul style="list-style-type: none"> - Eseguire test preliminari per verificare l'idoneità del materiale da mettere in opera, su porzioni di materiale già prelevato per le indagini diagnostiche, oppure su elementi in secondo piano, collocati in parti nascoste. - Verificare la presenza di eventuali parti incoerenti o decoese. Se presenti, provvedere ad opportuni preconsolidamenti (→ vedi scheda <i>preconsolidamento</i>). - Preparare il sottofondo su cui si dovrà intervenire (→ vedi scheda <i>preparazione del supporto</i>). È necessario che il substrato si presenti sano, leggermente irruvidito e saturo d'acqua. Per garantire ciò occorre rimuovere eventuali parti ammalorate presenti. - Verificare l'eventuale presenza di ferri e barre di armatura (→ vedi scheda <i>passivazione dei ferri</i>). - Applicare la malta: se la superficie è molto ampia e lineare e la reintegrazione è di spessore contenuto (es. rivestimento a bugnato), si può procedere con tecnica a spruzzo, ideale per l'applicazione di malte espansive a consistenza plastica; se l'area di intervento è ridotta occorre procedere con la spatola. <p>L'impasto dato a spruzzo dovrebbe essere una malta o un betoncino dotato di caratteristiche tixotropiche, cioè la capacità di mantenere la forma anche in assenza di cassetta. È necessario impiegare additivi fluidificanti che compensino il fenomeno di ritiro; tale fenomeno potrebbe aumentare se l'impasto ha richiesto l'impiego di aggregati di piccola granulometria e dunque una quantità maggiore di legante cementizio. L'acqua può essere aggiunta al momento dell'applicazione (via secca), oppure la miscela viene composta prima (via umida).</p> <p>Per migliorare l'aderenza del getto occorre mantenere un'alta velocità di proiezione all'ugello, ridotta distanza dall'elemento e un getto perpendicolare alla superficie.</p> <p>L'applicazione a spatola si esegue manualmente avendo cura di trattare con attenzione i particolari dell'elemento (giunti, forme decorative, sottosquadri).</p> <ul style="list-style-type: none"> - Successivamente all'applicazione del materiale, in fase di semi-indurimento si dovrebbe procedere alla realizzazione della forma dell'elemento attraverso l'uso di modine e marciamodine nel caso di modanature di cornici e marcapiani; strumenti di incisione, frattazzo, pialletto o scalpello e martello per le finiture dei bugnati. - Una volta realizzata la forma occorre prevedere una fase di stagionatura, durante la quale sarebbe corretto mettere a punto un'insieme di accorgimenti protettivi al fine di permettere al getto di mantenere le proprie condizioni di temperatura e umidità durante la fase di maturazione. Tali accorgimenti possono richiedere l'uso di teli di protezione e bagnatura continua attraverso nebulizzazione di acqua, fino al completo indurimento della superficie. - Applicare un'eventuale protezione superficiale (→ vedi scheda <i>protezione</i>).

Sigillatura delle fessurazioni

SIGILLATURA DI FESSURAZIONI
DESCRIZIONE
Reintegrazione di parti o elementi tridimensionali mancanti, volta a rimettere in efficienza l'opera architettonica e a limitare eventuali alterazioni subentrate a seguito del distacco graduale o immediato che si è verificato, assicurando la protezione dall'ingresso di nuovi agenti aggressivi.
CASI DI APPLICAZIONE
Reintegrazione di elementi tridimensionali distaccati dall'apparato decorativo; riparazione di superfici verticali (rifacimento di copriferri, parti di parete, pilastri, colonne) o orizzontali (parti di pavimento); riempimento di cavità interne. L'intervento può essere applicato nei casi di disgregazione, distacco e mancanza. Se la reintegrazione prevede grandi volumi occorre procedere con la realizzazione di casseforme; se riguarda piccoli interventi si può optare per l'uso di stampi. È possibile prevedere anche applicazioni manuali.
SUGGERIMENTI OPERATIVI
<p>La scelta del metodo adeguato da adottare per risanare eventuali fessurazioni dipende: dall'ampiezza della fessura, dal volume da riempire e dai possibili movimenti della lesione nel tempo.</p> <p>Dopo queste valutazioni, è possibile individuare diversi tipi di fessure e dunque differenti modalità di intervento.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Quando le fessure sono fini e poco profonde (pochi mm) si può procedere con l'applicazione a spatola di un impasto rasante molto fine, con proprietà impermeabilizzanti ed elastiche, in quanto l'intervento dovrebbe mirare ad evitare la penetrazione di acqua, anidride carbonica e cloruri, preservando l'elemento da sviluppi futuri di alterazioni; - Se le fessure sono sottili ma molto profonde, occorre riempire le lesioni tramite iniezioni di boiaccia cementizia, applicate con siringa previa sigillatura superficiale delle fessure per contrastare l'eventuale fuoriuscita dell'impasto. In questo caso l'intervento è indirizzato a riconferire monoliticità alla parte interessata. - Se le fessure sono di tipo dinamico (tendenza ad aprirsi ulteriormente) occorre ripararla con impasti altamente elastici, oppure con materiali che siano in grado di far lavorare la fessura come giunto di dilatazione. <p>In questi casi si impiegano malte cementizie modificate con polimeri acrilici, epossidici o poliuretanic.</p> <p>Per tutti i casi occorre procedere nel seguente modo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Eseguire test preliminari per verificare l'idoneità del materiale da mettere in opera, su porzioni di materiale già prelevato per le indagini diagnostiche, oppure su elementi in secondo piano, collocati in parti nascoste. - Verificare la presenza di eventuali parti incoerenti o decoese. Se presenti, provvedere ad opportuni preconsolidamenti (→ vedi scheda <i>preconsolidamento</i>). - Realizzare dei fori con trapano di dimensioni pari a circa 1 cm attorno alla cavità da riempire e posizionare piccoli tubi per l'iniezione in profondità, attorno alle cavità da riempire; - Pulire dei fori con lavaggio a pressione e sigillatura temporanea con stucco cementizio; - Aspirare l'aria contenuta nella fessura; - Applicare la boiaccia cementizia per iniezione esercitando una pressione costante e bassa (circa 1 bar). - Applicare un'eventuale protezione superficiale (→ vedi scheda <i>protezione</i>).

¹ Il valore suggerito fa riferimento a quanto citato in: BERTOLINI L., LOLLINI F., REDAELLI E., *Strutture in c.a e c.a.p.*, in BERTOLINI L., 2012, p. 192.

² *Ibidem.*

Reintegrazione volumetrica

REINTEGRAZIONE VOLUMETRICA

DESCRIZIONE

Reintegrazione di parti o elementi tridimensionali mancanti, volta a rimettere in efficienza l'opera architettonica e a limitare eventuali alterazioni subentrate a seguito del distacco graduale o immediato che si è verificato, assicurando la protezione dall'ingresso di nuovi agenti aggressivi.

CASI DI APPLICAZIONE

Reintegrazione di elementi tridimensionali distaccati dall'apparato decorativo; riparazione di superfici verticali (rifacimento di copriferri, parti di parete, pilastri, colonne) o orizzontali (parti di pavimento); riempimento di cavità interne. L'intervento può essere applicato nei casi di disgregazione, distacco e mancanza.

Se la reintegrazione prevede grandi volumi occorre procedere con la realizzazione di casseforme; se riguarda piccoli interventi si può optare per l'uso di stampi. È possibile prevedere anche applicazioni manuali.

SUGGERIMENTI OPERATIVI

- eseguire test preliminari per verificare l'idoneità del materiale da mettere in opera, su porzioni di materiale già prelevato per le indagini diagnostiche, oppure su elementi in secondo piano, collocati in parti nascoste.

- verificare la presenza di eventuali parti incoerenti o decoese. Se presenti, provvedere ad opportuni preconsolidamenti (→ vedi scheda *preconsolidamento*).

- preparare il sottofondo su cui si dovrà intervenire (→ vedi scheda *preparazione del supporto*). È necessario che il substrato si presenti sano, leggermente irruvidito e saturo d'acqua. Per garantire ciò occorre rimuovere eventuali parti ammalorate presenti.

- verificare l'eventuale presenza di ferri e barre di armatura (→ vedi scheda *passivazione dei ferri*).

- l'applicazione manuale dell'impasto cementizio per la ricostruzione di mancanze localizzate si esegue con spatole o cazzuole; si può effettuare per spessori variabili da 10 mm fino a 70 mm. Questa tecnica permette anche il ripristino di copriferri senza l'impiego di cassature provvisorie, risparmiando così sui costi e le tempistiche d'esecuzione.

Per quanto attiene lo spessore del copriferro, un aumento di tale dimensione ($S > 30 \text{ mm}$)¹, permette di allungare il tempo necessario per l'innescare dei fenomeni corrosivi, poichè estende la profondità che la carbonatazione deve percorrere prima di depassivare le armature; tuttavia, uno spessore troppo elevato di copriferro ($S > 60 \text{ mm}$)² aumenta notevolmente il rischio di fessurazione, rendendo l'impasto maggiormente vulnerabile all'azione ambientale.

- laddove previsto, eseguire la finitura superficiale in base alle modalità preesistenti, oppure con l'applicazione di un altro strato di malta a granulometria più fine. Tale strato assicura già una maggiore impermeabilità allo strato sottostante.

- l'applicazione della malta tramite colaggio può avvenire impiegando o casseforme (generalmente per ricostruzioni molto ampie) o stampi (previsti per ricostruzioni ornamentali di forma particolarmente complessa o in ogni caso per modanature articolate).

Tale procedura può essere effettuata fuori opera, applicando in un secondo momento la reintegrazione realizzata alla facciata. Nella maggioranza dei casi, l'elemento è costituito da strati differenti, per cui occorre procedere per fasi.

- nel caso dell'uso di stampi, generalmente in gomma siliconica, innanzitutto occorre creare lo stampo attraverso l'esecuzione di un calco della decorazione da riprodurre³. Se lo stampo è stato impiegato più volte, occorre eliminare accuratamente le tracce di polvere, getti precedenti e sostanze oleose e stuccare eventuali danni superficiali.

Per superfici molto articolate, non lisce, è bene applicare sul fondo dello stampo delle sostanze che permettano il distacco dell'impasto (generalmente delle miscele di acqua e tensioattivi); a questo punto versare lentamente lo strato di finitura. Si deve evitare di gettare l'impasto simultaneamente su due lati opposti per evitare che l'aria venga intrappolata dai due flussi di malta in controcorrente. Quando l'impasto ha iniziato la fase di indurimento, versare lo strato interno (generalmente più grossolano), avendo cura di inserire eventuali armature o agganci per il fissaggio alla struttura in opera. Il completo riempimento delle cavità può essere agevolato dall'impiego di tondini flessibili, preferibile rispetto ai vibratori ad ago o a parete, per muovere la malta fluida e facilitare l'espulsione dell'eventuale aria residua. Nel caso di riparazione di pavimenti, solette o solai, subito dopo il getto occorre gettare e rifinire con la staggia (per livellare) l'impasto autolivellante.

- Una volta realizzata la forma occorre avviare una fase di stagionatura, durante la quale occorre prevedere un'insieme di accorgimenti protettivi al fine di permettere al getto di mantenere le proprie condizioni di temperatura e umidità durante la fase di maturazione. Tali accorgimenti possono richiedere la copertura della superficie con teli costantemente umidi per almeno 24 ore e fino a 2 giorni in ambienti caldi, asciutti e ventilati.

L'applicazione in facciata dell'elemento ottenuto deve avvenire seguendo le indicazioni relative alla preparazione del supporto (→ vedi scheda *preparazione del supporto*).

- Applicare un'eventuale protezione superficiale (→ vedi scheda *protezione*).

³ Esecuzione di un calco per la realizzazione dello stampo: vedi foto riportate in basso.

1 Applicare lo strato distanziatore



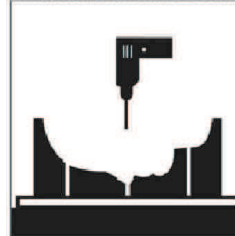
2 Colare o stendere il sostegno



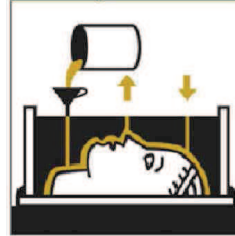
3 Rimuovere sostegno e distanziatore



4 Praticare i fori di colata e di sfiato



5 Versare la gomma siliconica



6 Sformare



¹ TORRACA G., *Problemi di conservazione delle superfici esterne*, in BISCANTIN G., VOLPIN S. (a cura di), 1990, pp. 13-26.

5.3.1.5 PROTEZIONE

TRATTAMENTO PROTETTIVO

DESCRIZIONE

Operazione da eseguire al fine di preservare l'integrità della costruzione e per consentire una migliore resistenza delle superfici all'attacco degli agenti esterni di degrado e aumentare l'efficacia e la durabilità dell'intervento di riparazione.

CASI DI APPLICAZIONE

Tutti i casi in cui è necessario ridurre la penetrazione degli agenti aggressivi presenti nell'ambiente esterno e impermeabilizzare il supporto.
Si può applicare su elementi che hanno subito fenomeni di fessurazione, erosione e distacco e che sono stati risarciti.

SUGGERIMENTI OPERATIVI

I trattamenti superficiali sono applicati sulla superficie del calcestruzzo con l'obiettivo di aumentare la resistenza alla penetrazione di sostanze aggressive (come nel caso dei rivestimenti organici) o ridurre il contenuto di umidità del calcestruzzo in modo da contrastare la propagazione della corrosione (come nel caso dei trattamenti idrorepellenti). Gli inibitori di corrosione sono sostanze che, aggiunte all'impasto di calcestruzzo, possono consentire di estendere la vita di servizio aumentando il tenore critico di cloruri per l'innescamento della corrosione¹.

L'entità e la tipologia del protettivo dipende da diversi fattori:

- l'entità, la natura e l'attacco del degrado subito dall'impasto cementizio;
- lo stato di conservazione e la qualità dell'impasto cementizio;
- la natura e l'entità delle fessure eventualmente presenti sull'impasto cementizio.

Tra le tecniche da adoperare per eseguire la protezione delle superfici in materiale cementizio si consiglia l'applicazione:

- di un rivestimento cementizio di spessore ridotto (pochi mm);

Soltanto quando si ritiene strettamente necessario, e cioè quando si è in ambiente particolarmente ricco di umidità e acqua, si possono eseguire anche impregnazioni a base di resine idrorepellenti o idrofobizzanti, stendendo il prodotto a pennello, rullo o a spruzzo sino a saturazione.

La protezione con impregnazione di idrorepellenti dovrebbe essere evitata a meno che strettamente necessaria, per garantire un'ulteriore protezione al manufatto. Può essere impiegata qualora non si voglia alterare l'aspetto estetico dell'elemento. Tuttavia la limitazione della presenza di acqua sulle superfici potrebbe favorire la penetrazione di anidride carbonica, accelerando il processo di carbonatazione. I prodotti cementizi dovrebbero essere della stessa natura di quelli impiegati per il ripristino volumetrico, ma con una granulometria dell'aggregato più fine. In questi casi, se l'ambiente non è troppo aggressivo, gli stessi strati di finitura, se realizzati sempre con malta cementizia, possono garantire una sufficiente impermeabilità senza ricorrere ad ulteriori protettivi. I prodotti a base cementizia utilizzati per la protezione dovrebbero presentare un'alta percentuale di aggregati di granulometria fine o molto fine ed elevati dosaggi di cemento. Essi possono essere miscele costituite da additivi idrofughi a base polimerica, cemento, acqua e aggregati fini da impiegare per il confezionamento in cantiere di malte impermeabili. Dovrebbero costituire un rivestimento continuo, compatto e chiuso. È possibile prevedere anche l'uso di malte cementizie bicomponenti (liquido + polvere), costituite da due componenti predosati, di cui uno in polvere a base di cemento e aggregati fini e l'altro contenente polimeri in dispersione acquosa.

Sarebbe opportuno evitare l'uso di prodotti premiscelati, poichè limitano le possibilità di variazione del composto. L'applicazione dovrebbe avvenire con spatole metalliche, ripetendo l'operazione per più strati (da 2 a 10 mm).

È necessario programmare interventi protettivi sui manufatti in impasto cementizio con una certa frequenza, poichè tutte le sostanze applicate, essendo disposte sulla parte maggiormente esposta, subiscono facilmente l'attacco dei degni, riducendo rapidamente il loro spessore.

5.3.2 Conservazione programmata

Gli interventi di conservazione programmata riguardano delle procedure adottate nell'ultimo decennio, per la tutela costante dei monumenti antichi, ma che potrebbero risultare un valido strumento di salvaguardia anche per gli edifici novecenteschi. Le architetture del secolo scorso, come già ampiamente dimostrato nel corso della presente ricerca, sono spesso bisognose di interventi di restauro, a causa di una mancata cura nel tempo. Tali architetture, infatti, sono particolarmente esposte per le loro caratteristiche materiali, tecnologiche e formali ai rischi di un accelerato degrado; esse troverebbero, nel controllo e nella cura costante, la più efficace tutela delle loro autenticità. Ecco perché una vigile opera di conservazione programmata, intesa come passaggio dal restauro (interpretato come "evento"), ad una azione di tutela applicata come processo di lungo periodo⁴⁷, potrebbe permettere una idonea conservazione di queste architetture, senza dover necessariamente intraprendere dispendiosi e problematici interventi di restauro. Questi ultimi peraltro, se effettuati su insanabili livelli di degrado, possono comportare il mancato raggiungimento di un valido risultato.

In questo ambito, benché il Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio (D. Lgs. 42/2004, art.29) abbia affermato la necessità di diffondere l'approccio della conservazione programmata, sottolineando che «*il processo conservativo deve basarsi su una coordinata, coerente e programmata attività di studio, prevenzione, manutenzione e restauro*», trovano ancora poco spazio interventi incentrati su questa logica. Le difficoltà, che l'affermarsi di una pratica di cura continua incontra, sono ancora maggiori se si pensa di applicare questa prassi manutentiva (basata su una concezione processuale) all'architettura del XX secolo. Questo avviene, in primo luogo, perché la conservazione di un'opera di architettura di recente costruzione pone problemi operativi differenti da quelli consueti per chi opera in un contesto storicizzato⁴⁸, e ciò non può non influenzare un ipotetico piano di conservazione. Oltre gli aspetti propriamente tecnologici e materici, che contraddistinguono questa architettura, diverso è anche il rapporto tra l'edificio e le sue trasformazioni nel tempo. Se per l'edilizia storica la sovrapposizione di linguaggi contemporanei costituisce l'elemento di identificazione dell'atto progettuale del restauro, il moderno è meno legato al concetto di stratificazione⁴⁹. Questa è una delle problematiche legate agli interventi sull'architettura del XX secolo, che incide sulla difficoltà di attuare un piano di conservazione programmata.

Proprio per superare il tema del nuovo intervento su architetture moderne, si potrebbe mettere in atto una strategia di cura continua, per controllare nel tempo il procedere delle trasformazioni con interventi minimamente invasivi, che accompagnino le trasformazioni progressive a cui l'opera è soggetta⁵⁰.

Si può quindi pensare ad una strategia di manutenzione che valuti le caratteristiche del bene e quelle del contesto in cui è inserito, monitori nel tempo i meccanismi di degrado in atto, mantenendo il processo dei fenomeni in condizioni di equilibrio. A partire da questi elementi si potrebbe, dunque, pianificare un'attività periodica che includa anche la valutazione dell'uso che viene fatto del bene, e il ruolo del fruitore stesso.

La conservazione potrebbe essere, infatti, anche un modo per gestire i beni culturali, un comportamento, un lavoro processuale da svolgere a partire dall'educazione-

⁴⁷ MONTANARI G., *Cosa conservare dell'architettura contemporanea ?*, in CALLEGARI G., MONTANARI G. (a cura di), 2001, pp. 29-35.

⁴⁸ PESENTI S., *Conservare il novecento. Note sull'evoluzione del dibattito disciplinare*, in BISCONTIN G., DRIUSSI G. (a cura di), 2004, pp. 17-26.

⁴⁹ BORGARINO M.P., *Carlo Scarpa: progetto, previsione e manutenzione. La strategia di conservazione programmata come regolazione delle trasformazioni*, in CANZIANI A. (a cura di), 2009, pp. 88-97.

⁵⁰ GASPAROLI P., *Gestire il costruito tra "restauro" e regolazione del mutamento: il contributo disciplinare delle tecnologie dell'architettura*, in BISCONTIN G., DRIUSSI G. (a cura di), 2008, pp. 51-60.

formazione dei soggetti necessari alla sua attuazione⁵¹.

In questo modo un'azione di cura programmata andrebbe oltre la semplice manutenzione o il monitoraggio: sarebbe una strategia complessa, che prevede un'accurata organizzazione delle attività quotidiane di tutti gli utenti coinvolti.⁵²

⁵¹ MUSSO S. F., *La conservazione programmata come sfida per una tutela innovativa del patrimonio culturale*, in CANZIANI A. (a cura di), 2009, pp. 24-35.

⁵² DELLA TORRE S., in "Il capitale culturale", n. 1, 2010, pp. 47-55.



6 CONCLUSIONI

L'immagine ritrae la scala elicoidale in conglomerato cementizio armato all'interno dell'edificio "Lingotto" in via Nizza a Torino, realizzato dall'architetto Giacomo Mattè Trucco a partire dal 1916.

6.1 SINTESI DEI RISULTATI E POSSIBILI AMBITI DI SVILUPPO DELLA RICERCA

«È evidente che anche le strutture che possono avvalersi delle recenti innovazioni nel settore del calcestruzzo e delle conoscenze più avanzate in materia di durabilità dovranno essere sottoposte a interventi di manutenzione e ripristino. D'altra parte la durabilità è intesa come la capacità di resistere alle azioni aggressive mantenendo inalterate le proprietà meccaniche e funzionali e garantendo una determinata vita di servizio. In sostanza si sancisce che esistono calcestruzzi durevoli ma non materiali eterni, confermando una reale necessità, per le strutture in c.a. e c.a.p., di manutenzione o di dismissione al termine della vita utile, prevista in relazione alla destinazione d'uso»¹.

Per i manufatti del XX secolo, e in particolare in materiale cementizio, la durabilità è un tema di grande importanza, dal momento che la vulnerabilità alle condizioni ambientali può comprometterne seriamente non solo l'aspetto esteriore ma anche la statica. Il connubio tra l'aggressività dell'ambiente e le carenze, imputabili ai diversi operatori del settore, innesca il degrado e parallelamente l'assenza di manutenzione compromette ulteriormente la vita utile degli edifici. La frase riportata sopra mette in evidenza come le problematiche, legate alla conservazione di materiali sperimentali, siano una questione non circoscritta ad un preciso momento storico, ma con il trascorrere del tempo, tutti i materiali manifestano delle problematiche legate alla loro durabilità, comportando la necessità di trovare al più presto delle soluzioni che guidino i futuri interventi di restauro, per non perdere un patrimonio di saperi e tradizioni che caratterizzano l'epoca di appartenenza.

Tale necessità esorta a riflettere sulle conoscenze acquisite relative all'ambito degli impasti cementizi e delinea le possibili direzioni future di indagine, che potrebbero permettere di rispondere alle problematiche sopra esposte.

La ricerca traccia un percorso di conoscenza inerente le miscele a base cementizia, sperimentate durante i primi anni del XX secolo, partendo dalla composizione delle miscele, delle tecniche esecutive, della messa in opera e dei principali impieghi, fino a giungere alle più frequenti manifestazioni di degrado. Tale percorso trova la sua naturale conclusione nella definizione di suggerimenti operativi, in grado di indirizzare i tecnici verso scelte appropriate riguardanti metodi e materiali da impiegare in fase di cantiere: si propongono, infatti, le principali caratteristiche da tenere in considerazione nella scelta di un idoneo impasto da reintegro, ma anche valide azioni di restauro da compiere, senza minare le valenze culturali della materia. Lo studio esplora, oltre all'ambito storico, anche conoscenze appartenenti a mondi diversi come quello della produzione industriale, della chimica, della tecnologia, per giungere all'ambito conservativo. L'obiettivo è di ricomporre frammenti di saperi differenziati, all'interno di un percorso strutturato, per restituire una valutazione obiettiva e il più possibile completa del materiale.

Tale approccio conoscitivo può rappresentare una base per future ricerche inerenti non soltanto le miscele a base cementizia impiegate durante la stagione liberty, ma anche i conglomerati e gli impasti adoperati nei decenni successivi, quando la sperimentazione conduce verso la realizzazione di strutture che superano le possibilità costruttive consentite fino a quel momento.

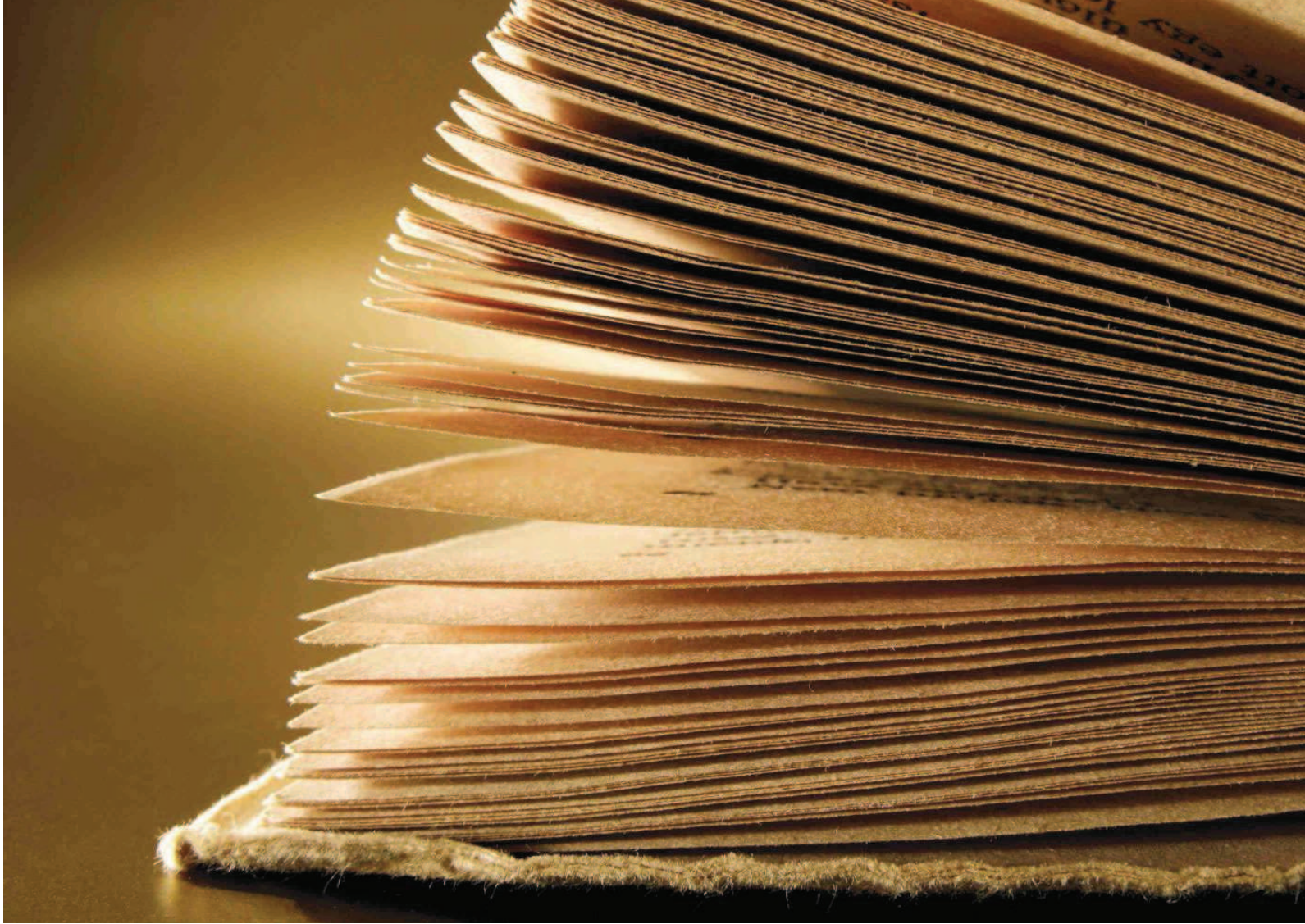
Le future ricerche possono superare la sfera dei materiali cementizi, approfondendo anche ambiti legati ad altri materiali che caratterizzano le innovazioni del Novecento. Lo studio apre la strada, infatti, ad un possibile allargamento del campo di indagine, spostandosi dagli impasti verso altri materiali innovativi sperimentati nel corso del XX secolo (materiali plastici, metalli, isolanti, ecc...), e adottando il medesimo percorso di studio.

Gli sviluppi futuri della ricerca possono condurre non soltanto verso un ampliamento del campo di indagine, ma anche verso degli approfondimenti che focalizzano

¹ MARINO R., *La durabilità delle strutture*, in MARINO R. (a cura di), 2007, p. 18.

l'attenzione su specifici impasti da reintegro e che indirizzano la ricerca verso altri settori disciplinari, come l'ambito chimico per la sperimentazione di miscele con specifiche caratteristiche composizionali poste in opera nelle architetture storiche e individuate poichè largamente diffuse in un determinato contesto (si pensi agli studi europei, tuttora in corso, riguardanti il "cemento romano"), giungendo così a implementare con maggiore specificità i suggerimenti operativi, utili ai destinatari della ricerca (operatori di cantiere, maestranze specializzate, tecnici e imprese) per l'esecuzione di interventi di restauro.

Concludendo, la manutenzione ed il restauro delle opere del XX secolo rappresentano un argomento che col passare del tempo necessiterà di risposte esaustive, coinvolgendo non soltanto aspetti tecnici ma anche culturali, sociali ed economici; per questo è importante affrontare un'indagine multidisciplinare che possa portare risultati utili al settore delle costruzioni.



7 ALLEGATI

7.1 SCHEDE FOTOGRAFICHE DEI CASI STUDIO DEL CAPITOLO 3

RILIEVO FOTOGRAFICO

EDIFICIO: Privata abitazione, Milano, via Pisacane 12

PROGETTISTA: Alfredo Campanini ANNO DI REALIZZAZIONE: 1902

Localizzazione



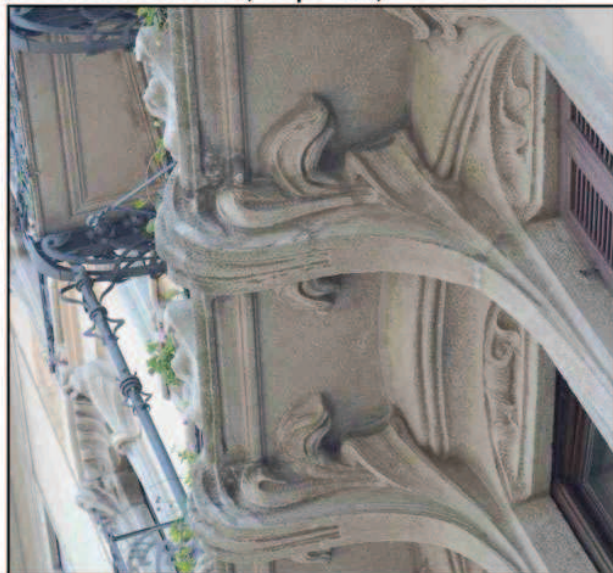
Visione generale del prospetto



Carbonatazione e macchie



Biodeterioramento, deposito, efflorescenza



Deposito superficiale, disgregazione



Erosione, croste nere



RILIEVO FOTOGRAFICO

EDIFICIO: Privata abitazione, Milano, via Pisacane 16

PROGETTISTA: Andrea Fermini ANNO DI REALIZZAZIONE: 1902

Localizzazione



Visione generale del prospetto



Carbonatazione e macchie



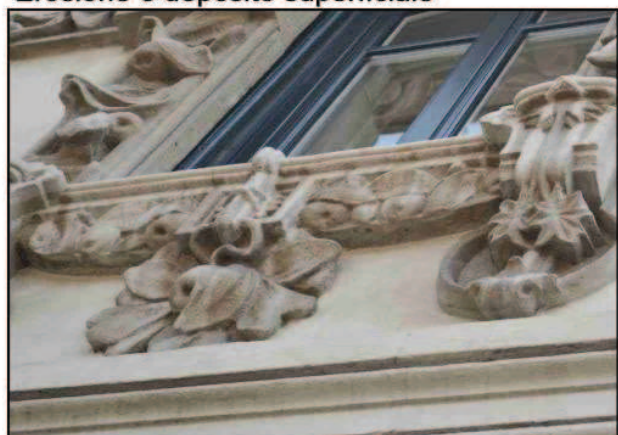
Croste nere



Disgregazione/distacco di aggregati



Erosione e deposito superficiale



RILIEVO FOTOGRAFICO

EDIFICIO: Privata abitazione, Milano, via Pisacane 22-24

PROGETTISTA: sconosciuto ANNO DI REALIZZAZIONE: 1902

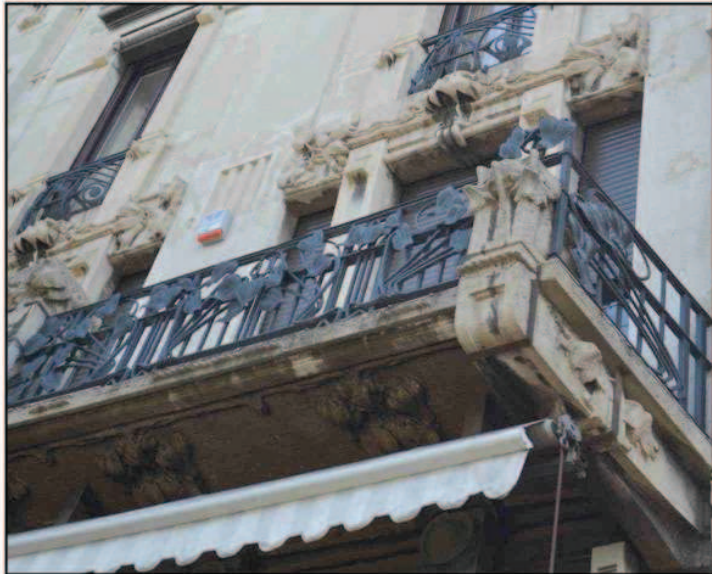
Localizzazione



Visione generale del prospetto



Croste nere



Fessurazioni del basamento e rivestimento



Colature e deposito superficiale



Carbonatazione, croste nere



RILIEVO FOTOGRAFICO

EDIFICIO: Privata abitazione, Milano, via dei Mille, 68

PROGETTISTA: sconosciuto ANNO DI REALIZZAZIONE: 1902

Localizzazione



Visione generale del prospetto



Biodeterioramento e croste nere



Deposito superficiale



Patina biologica ed efflorescenza



Fessurazione



RILIEVO FOTOGRAFICO

EDIFICIO: Privata abitazione, Milano, via Gustavo Modena, 2 p.zza F.lli Bandiera

PROGETTISTA: sconosciuto ANNO DI REALIZZAZIONE: 1902

Localizzazione



Visione generale del prospetto verso piazza Bandiera



Prospetto verso via Modena



Macchie



Fessure, carbonatazione, biodeterioramento



Deposito superficiale e dilavamento



RILIEVO FOTOGRAFICO

EDIFICIO: Villa De Nardis-Palombaro, Grottammare, Viale della Repubblica 38

PROGETTISTA: Vincenzo Pilotti ANNO DI REALIZZAZIONE: 1902

Localizzazione



Visione generale del prospetto verso via G. Garibaldi



Prospetto lungo viale della Repubblica



Deposito superficiale, perdita di finitura



Biodeterioramento



Colature



RILIEVO FOTOGRAFICO

EDIFICIO: Casa Dugnani, Milano, via Aurelio Saffi 9

PROGETTISTA: sconosciuto ANNO DI REALIZZAZIONE: 1902-03

Localizzazione



Visione generale del prospetto



Fessurazioni, deposito superficiale, perdita finitura



Carbonatazione



Erosione, dilavamento, carbonatazione



Efflorescenza



RILIEVO FOTOGRAFICO

EDIFICIO: Villa Ducloz, Lucca, via Matteo Civitali 234

PROGETTISTA: Gaetano Orzali ANNO DI REALIZZAZIONE: 1903

Localizzazione



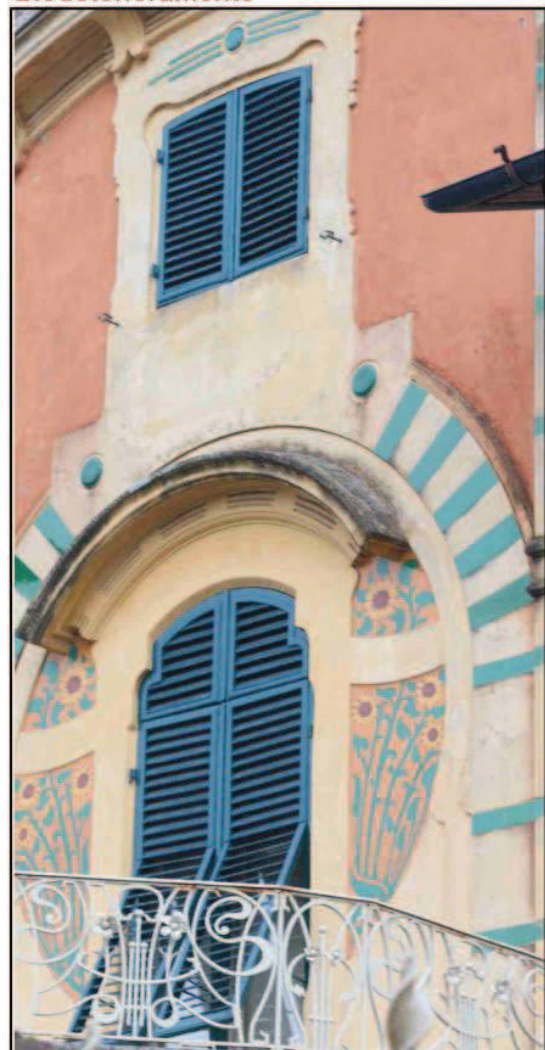
Visione generale



Erosione, croste



Biodeterioramento



RILIEVO FOTOGRAFICO

EDIFICIO: Villino Melchiorri, Ferrara, viale Cavour, 184

PROGETTISTA: Ciro Contini ANNO DI REALIZZAZIONE: 1904

Localizzazione



Visione generale da Viale Cavour



Deposito superficiale, perdita della finitura



Biodeterioramento, carbonatazione



Efflorescenza



RILIEVO FOTOGRAFICO

EDIFICIO: Casa Donzelli, Milano, via Vincenzo Gioberti 1

PROGETTISTA: Ulisse Stacchini ANNO DI REALIZZAZIONE: 1903-04

Localizzazione



Visione generale del prospetto



Deposito superficiale, dilavamento



Erosione, biodeterioramento



Erosione



Biodeterioramento, croste



RILIEVO FOTOGRAFICO

EDIFICIO: Casa Galimberti, Milano, via Marcello Malpighi 3

PROGETTISTA: Giovan Battista Bossi ANNO DI REALIZZAZIONE: 1903-05

Localizzazione



Visione generale del prospetto



Prospetto lungo la strada chiusa



Prospetto lungo via Malpighi



Intervento incongruo



Erosione e perdita della finitura



Disgregazione



RILIEVO FOTOGRAFICO

EDIFICIO: Palazzo Fortuna, Lucca, Viale Giuseppe Giusti ang. via Montegrappa

PROGETTISTA: Daniele Del Magro ANNO DI REALIZZAZIONE: 1904

Localizzazione



Visione generale dei prospetti all'angolo tra le due strade



Croste nere



Biodeterioramento



Croste nere



Colature



RILIEVO FOTOGRAFICO

EDIFICIO: Privata abitazione, Milano, via dei Mille, 70 ang. via Gaio

PROGETTISTA: sconosciuto ANNO DI REALIZZAZIONE: 1904

Localizzazione



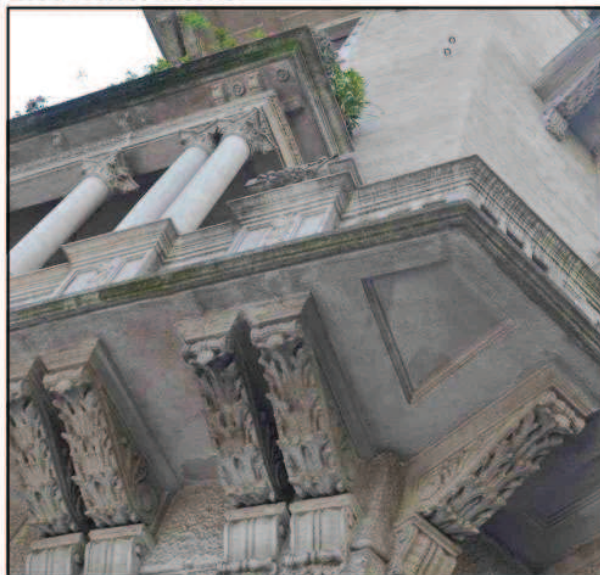
Visione generale del prospetto



Graffiti vandalici



Biodeterioramento



Efflorescenza



Fessurazione dei giunti delle formelle



RILIEVO FOTOGRAFICO

EDIFICIO: Casa Guazzoni, Milano, via Marcello Malpighi 12

PROGETTISTA: Giovan Battista Bossi ANNO DI REALIZZAZIONE: 1906

Localizzazione



Visione generale del prospetto



Prospetto lungo via Melzo



Disgregazione, distacco degli aggregati



Carbonatazione



Croste, dilavamento



RILIEVO FOTOGRAFICO

EDIFICIO: Aedes Bormioli, Parma, via dei Farnese, 17-21

PROGETTISTA: Alfredo Provinciali ANNO DI REALIZZAZIONE: 1905

Localizzazione



Visione generale dal lato del fiume



Visione di dettaglio dei particolari di facciata



Croste



Deposito superficiale



Carbonatazione



RILIEVO FOTOGRAFICO

EDIFICIO: Villino Mosti Trotti Estense, Bologna, via Rodolfo Audinot, 8

PROGETTISTA: Paolo Sironi ANNO DI REALIZZAZIONE: 1905

Localizzazione



Visione generale del prospetto lungo via Audinot



Biodeterioramento



Colature



RILIEVO FOTOGRAFICO

EDIFICIO: Privata abitazione, Bologna, via Rodolfo Audinot, 17

PROGETTISTA: Paolo Sironi ANNO DI REALIZZAZIONE: 1905-10

Localizzazione



Visione generale del prospetto lungo via Audinot



Perdita della finitura



Biodeterioramento, carbonatazione



Efflorescenza, distacco



Fessurazioni, biodeterioramento



RILIEVO FOTOGRAFICO

EDIFICIO: Privata abitazione, Bologna, via Rodolfo Audinot, 25

PROGETTISTA: Paolo Sironi ANNO DI REALIZZAZIONE: 1905-10

Localizzazione



Visione generale del prospetto lungo via Audinot



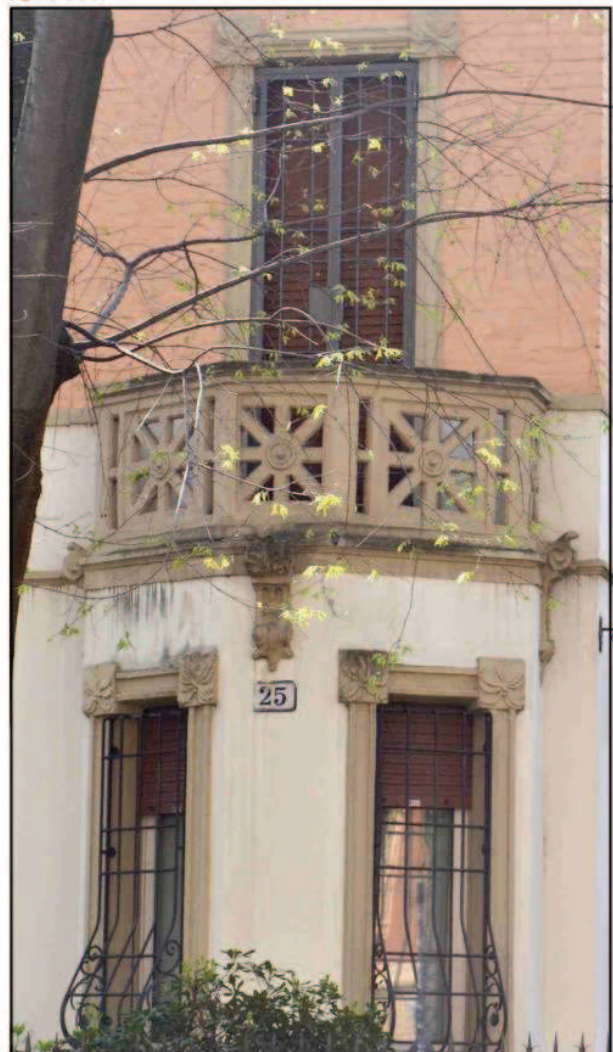
Colature, fessurazioni, erosione



Biodeterioramento



Croste



RILIEVO FOTOGRAFICO

EDIFICIO: Privata abitazione, Bologna, via Rodolfo Audinot, 29

PROGETTISTA: Paolo Sironi ANNO DI REALIZZAZIONE: 1905-10

Localizzazione



Visione generale del prospetto lungo via Audinot



Biodeterioramento



Fessurazioni



Biodeterioramento, deposito superficiale



RILIEVO FOTOGRAFICO

EDIFICIO: Privata abitazione, Bologna, via Francesco Roncati, 16

PROGETTISTA: Paolo Sironi ANNO DI REALIZZAZIONE: 1905-10

Localizzazione



Visione generale del prospetto lungo via Roncati



Carbonatazione



Biodeterioramento



Efflorescenza



Deposito superficiale



RILIEVO FOTOGRAFICO

EDIFICIO: Villa Duò, San Felice sul Panaro, viale Campi, 4

PROGETTISTA: Arturo Prati ANNO DI REALIZZAZIONE: 1905

Localizzazione



Visione generale del prospetto principale lungo viale Campi



Biodeterioramento, erosione



Distacco, perdita della finitura



Dilavamento, efflorescenza



Carbonatazione, biodeterioramento



RILIEVO FOTOGRAFICO

EDIFICIO: Palazzina Crespi, Bologna, via Matteotti, 21

PROGETTISTA: Giulio Marcovigi ANNO DI REALIZZAZIONE: 1912

Localizzazione



Visione generale del prospetto lungo via Matteotti



Colature, perdita della finitura



Deposito superficiale, colature



Croste nere



Biodeterioramento, fessurazioni



Biodeterioramento, fessurazioni



RILIEVO FOTOGRAFICO

EDIFICIO: Villa Ida Lampugnani, Parabiago (Mi), viale Giacomo Matteotti, 29

PROGETTISTA: sconosciuto ANNO DI REALIZZAZIONE: 1907

Localizzazione



Visione generale



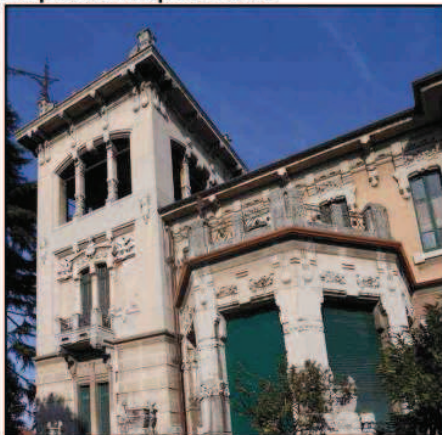
Dilavamento



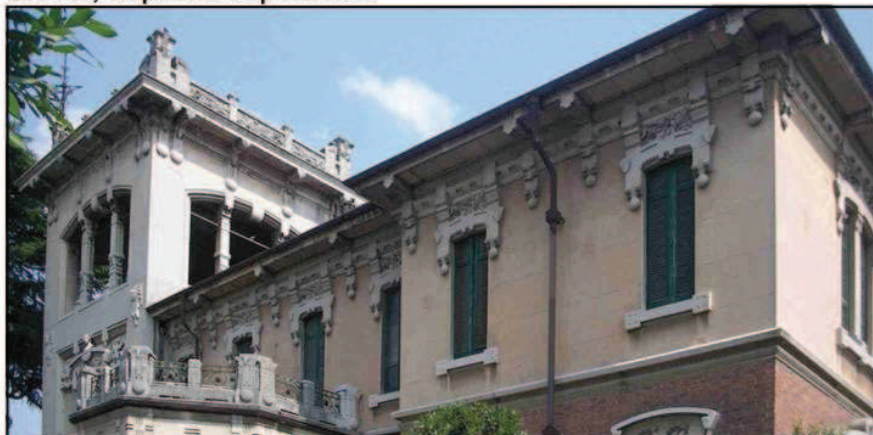
Viste generali dei prospetti verso il giardino



Deposito superficiale



Croste, deposito superficiale



RILIEVO FOTOGRAFICO

EDIFICIO: Palazzo Franchini, Lucca, via Matteo Civitali, 369

PROGETTISTA: sconosciuto ANNO DI REALIZZAZIONE: 1907

Localizzazione



Visione generale del prospetto lungo viale Civitali



Perdita della finitura, deposito superficiale



Carbonatazione



Carbonatazione, distacco



Distacco

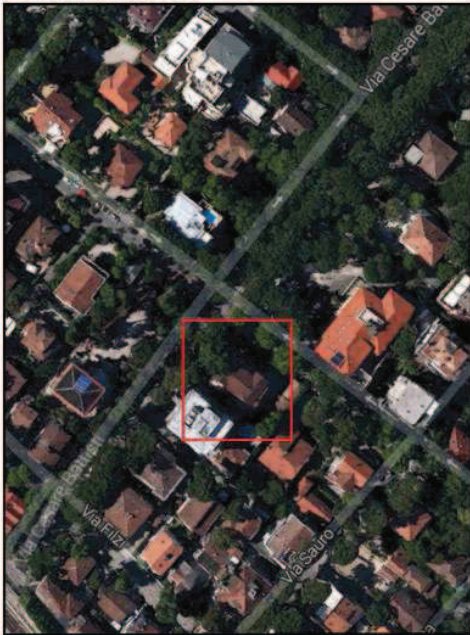


RILIEVO FOTOGRAFICO

EDIFICIO: Pensione Florence, Riccione, via Cesare Battisti 30

PROGETTISTA: sconosciuto ANNO DI REALIZZAZIONE: ante 1907

Localizzazione



Visione generale del prospetto laterale



Deposito superficiale



Distacco



Biodeterioramento



RILIEVO FOTOGRAFICO

EDIFICIO: Casa Apostolo, Milano, via Torquato Tasso 15

PROGETTISTA: sconosciuto ANNO DI REALIZZAZIONE: 1907

Localizzazione



Visione generale del prospetto



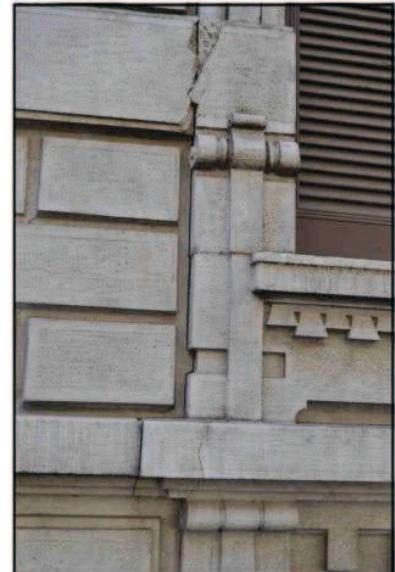
Fessurazioni



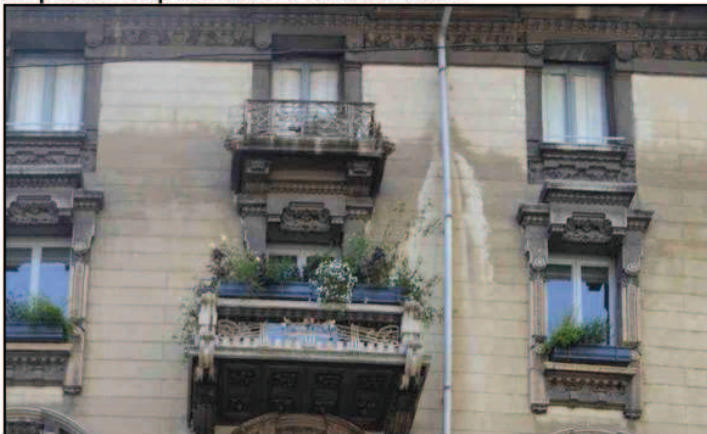
Fessurazioni



Distacco



Deposito superficiale e dilavamento



Biodeterioramento e croste nere



RILIEVO FOTOGRAFICO

EDIFICIO: Villino Masieri, Ferrara, viale Cavour, 114

PROGETTISTA: Ciro Contini ANNO DI REALIZZAZIONE: 1908

Localizzazione



Visione generale da Viale Cavour



Erosione, biodeterioramento, deposito superficiale



Deposito superficiale



Colatura

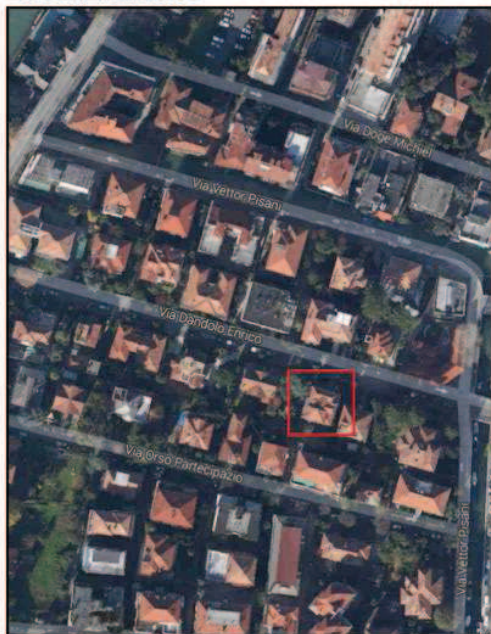


RILIEVO FOTOGRAFICO

EDIFICIO: Villino Trento, Venezia, via Enrico Dandolo, 16

PROGETTISTA: Francesco Marsich ANNO DI REALIZZAZIONE: 1908-09

Localizzazione



Visione generale del prospetto principale



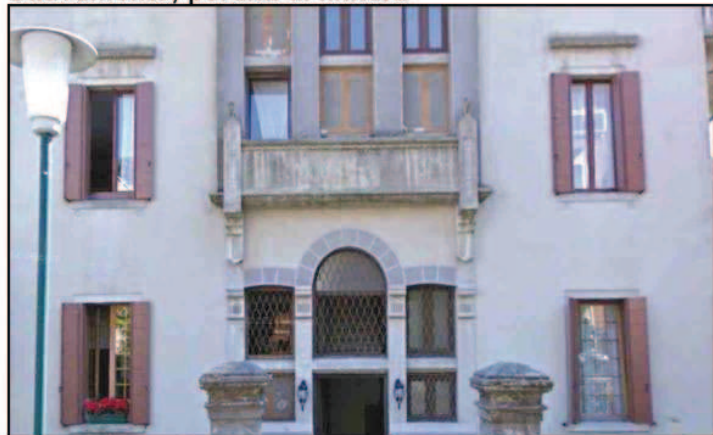
Biodeterioramento



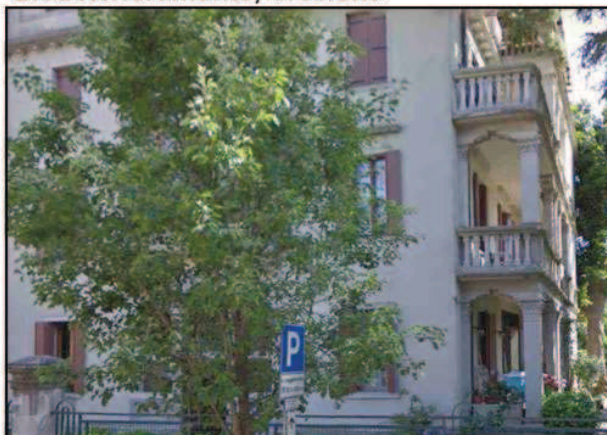
Deposito superficiale, perdita di finitura



Dilavamento, perdita di finitura



Biodeterioramento, erosione



RILIEVO FOTOGRAFICO

EDIFICIO: Hotel Campo dei Fiori, Varese, via Campo dei Fiori

PROGETTISTA: Giuseppe Sommaruga ANNO DI REALIZZAZIONE: 1908-12

Localizzazione



Visione generale



Distacchi, fessurazioni, perdita della finitura



Deposito superficiale, biodeterioramento



Biodeterioramento



Deposito superficiale, erosione



RILIEVO FOTOGRAFICO

EDIFICIO: Villino Chelini/Campedelli, Lucca, viale Puccini, 1757

PROGETTISTA: Sconosciuto ANNO DI REALIZZAZIONE: 1909?

Localizzazione



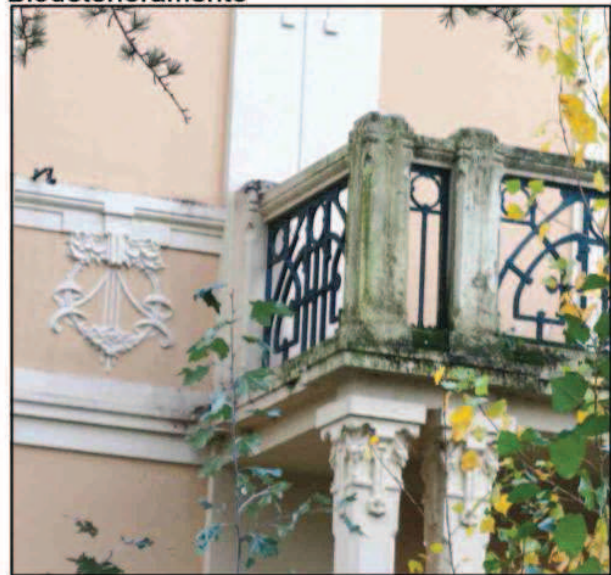
Visione generale del prospetto principale



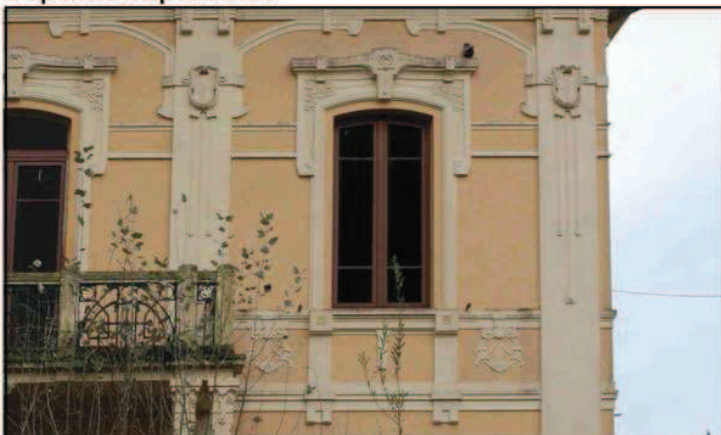
Biodeterioramento



Biodeterioramento



Deposito superficiale



Biodeterioramento



RILIEVO FOTOGRAFICO

EDIFICIO: Palazzo Bertolli, Lucca, viale Cavour, 267-287

PROGETTISTA: Giuseppe Puccinelli ANNO DI REALIZZAZIONE: 1910

Localizzazione



Visione generale del prospetto lungo viale Cavour



Biodeterioramento



Biodeterioramento



Dilavamento



Deposito superficiale



RILIEVO FOTOGRAFICO

EDIFICIO: Casa Ambrosi, Parma, b.go della Cavallerizza 4 /p.za Ghiagia 19

PROGETTISTA: Fortunato Morestori ANNO DI REALIZZAZIONE: 1910

Localizzazione



Visione generale del prospetto



Perdita della finitura



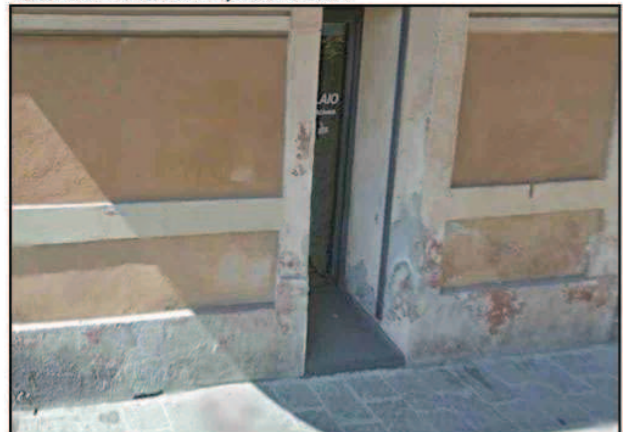
Biodeterioramento



Distacco del copriferro, carbonatazione



Carbonatazione, distacchi

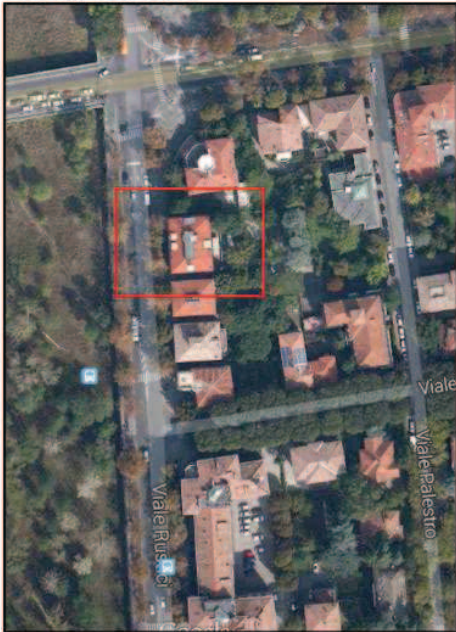


RILIEVO FOTOGRAFICO

EDIFICIO: Villino Longhi, Parma, viale Rustici, 2

PROGETTISTA: Giorgio Alessio Canosio ANNO DI REALIZZAZIONE: 1910

Localizzazione



Visione generale del prospetto



Biodeterioramento



Deposito superficiale



Biodeterioramento



Distacco e perdita della finitura



RILIEVO FOTOGRAFICO

EDIFICIO: Privata abitazione, Empoli (Fi), via Curtatone e Montanara, 9

PROGETTISTA: sconosciuto ANNO DI REALIZZAZIONE: 1910

Localizzazione



Visione generale del prospetto



Biodeterioramento



Fessurazioni, risarciture incongrue



Deposito superficiale



Distacco



RILIEVO FOTOGRAFICO

EDIFICIO: Privata abitazione, San Benedetto del Tronto, Via Luigi Dari, 22

PROGETTISTA: sconosciuto ANNO DI REALIZZAZIONE: 1910

Localizzazione



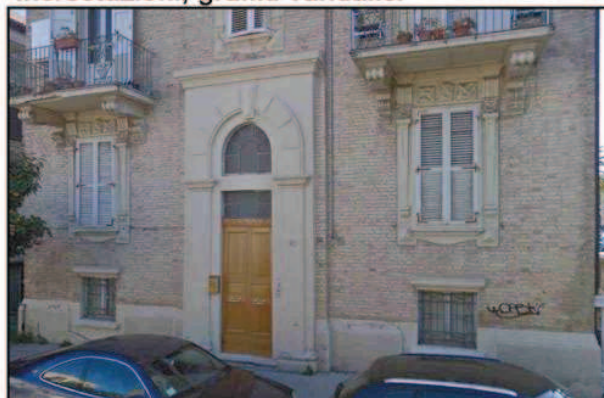
Visione generale del prospetto lungo via Audinot



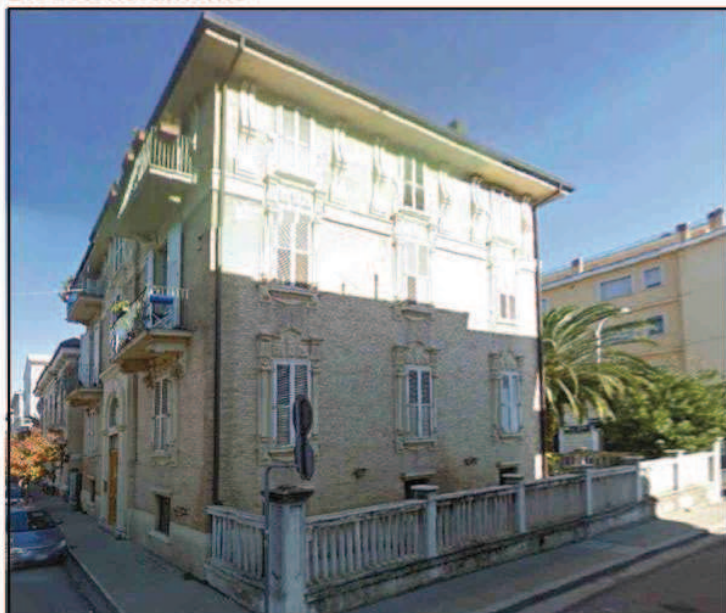
Carbonatazione, distacchi



Incrostazioni, graffiti vandalici



Biodeterioramento



Deposito superficiale

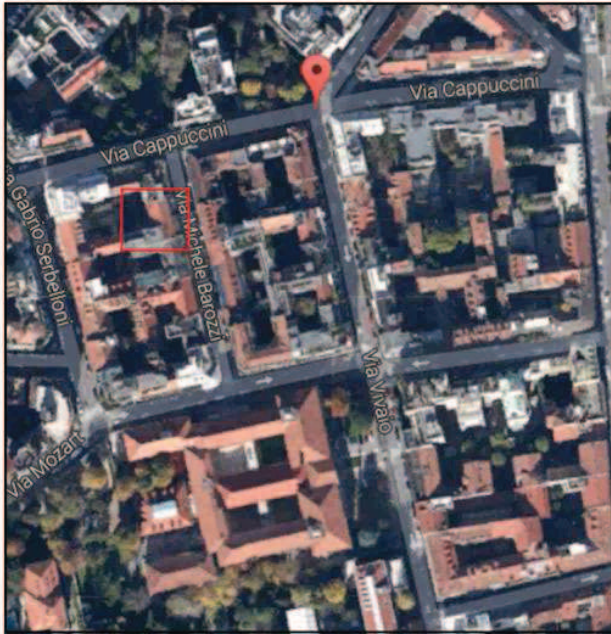


RILIEVO FOTOGRAFICO

EDIFICIO: Privata abitazione, Milano, via Michele Barozzi 2

PROGETTISTA: sconosciuto ANNO DI REALIZZAZIONE: 1910-12

Localizzazione



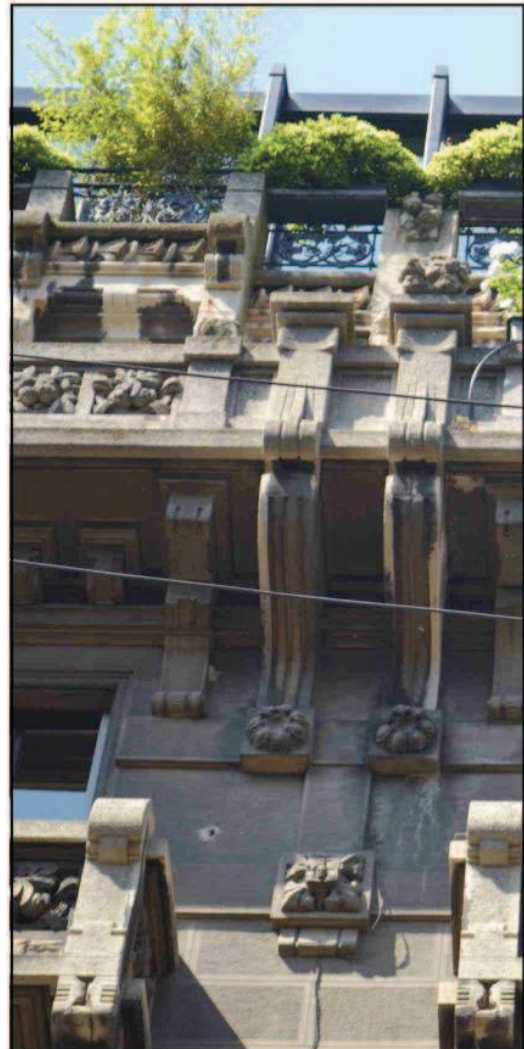
Visione generale del prospetto



Macchie e croste nere



Deposito superficiale

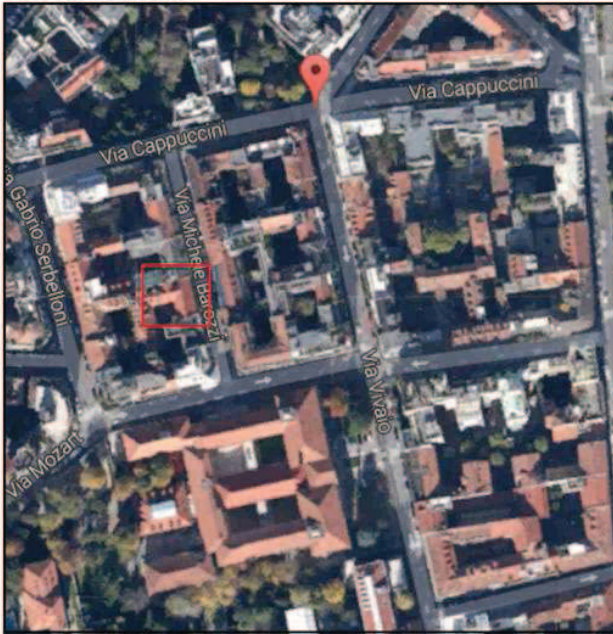


RILIEVO FOTOGRAFICO

EDIFICIO: Privata abitazione, Milano, via Michele Barozzi 8

PROGETTISTA: sconosciuto ANNO DI REALIZZAZIONE: 1910-12

Localizzazione



Visione generale del prospetto



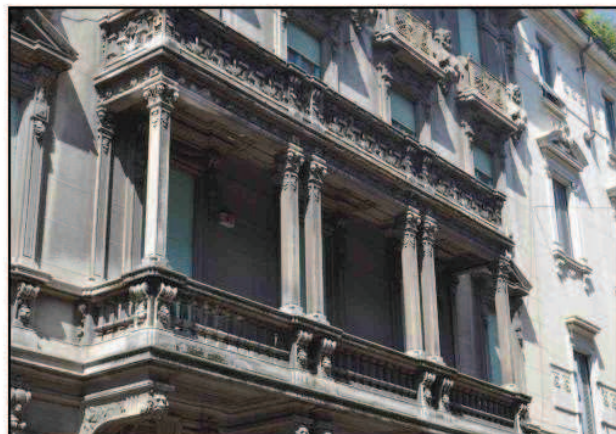
Croste nere, carbonatazione



Biodeterioramento



Deposito superficiale



RILIEVO FOTOGRAFICO

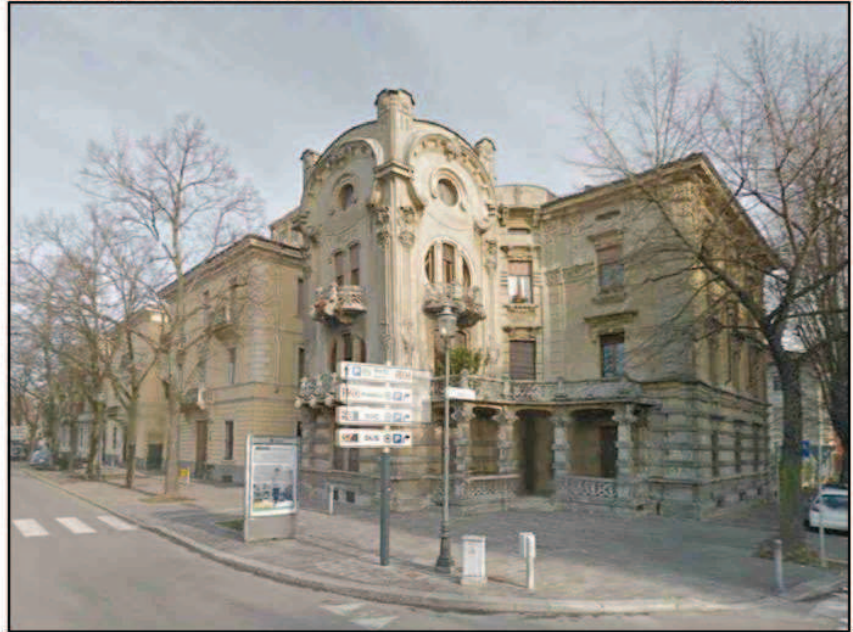
EDIFICIO: Villino Bonazzi, Parma, viale Rustici, 8

PROGETTISTA: Mario Stocchi Monti ANNO DI REALIZZAZIONE: 1911

Localizzazione



Visione generale all'incrocio tra Viale Rustici e viale Magenta



Perdita della finitura



Biodeterioramento



Deposito superficiale



Biodeterioramento sul cornicione



RILIEVO FOTOGRAFICO

EDIFICIO: Casa Berri Meregalli, Milano, via Cappuccini 8

PROGETTISTA: Giulio Ulisse Arata ANNO DI REALIZZAZIONE: 1911-14

Localizzazione



Visione generale del prospetto lungo via Cappuccini



Prospetto in angolo con via Vivaio



Croste nere, biodeterioramento, dilavamento



Croste nere



Distacco della finitura



RILIEVO FOTOGRAFICO

EDIFICIO: Privata abitazione, Milano, via Cappuccini 6

PROGETTISTA: sconosciuto ANNO DI REALIZZAZIONE: 1911-14

Localizzazione



Visione generale del prospetto lungo via Cappuccini



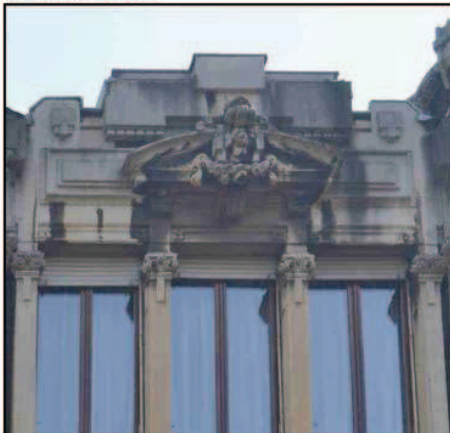
Biodeterioramento, croste nere, fessure



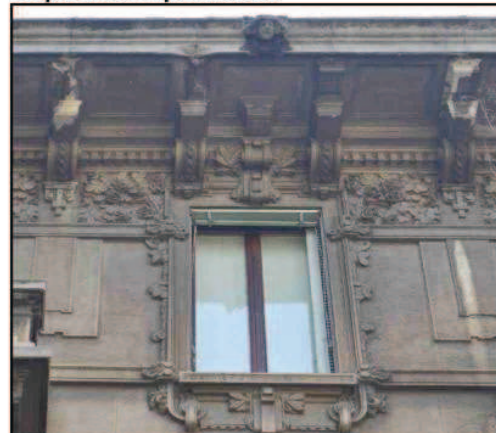
Croste nere



Croste nere



Deposito superficiale



Fessurazioni



RILIEVO FOTOGRAFICO

EDIFICIO: Privata abitazione, Milano, via Cappuccini 4

PROGETTISTA: sconosciuto ANNO DI REALIZZAZIONE: 1911-14

Localizzazione



Visione generale del prospetto



Deposito superficiale



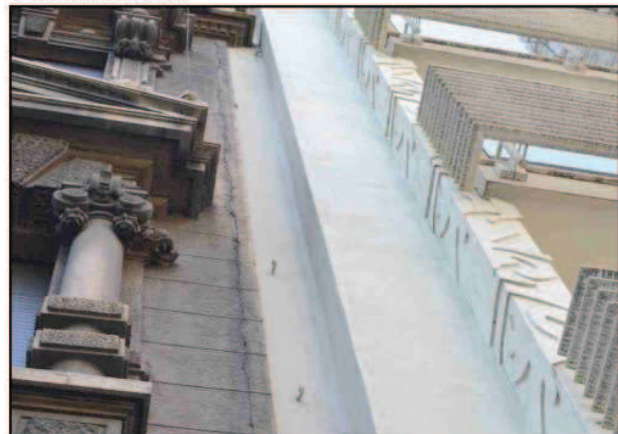
Biodeterioramento



Croste nere



Fessurazione



RILIEVO FOTOGRAFICO

EDIFICIO: Villino Del Magro, Lucca, viale Giuseppe Giusti, 331

PROGETTISTA: Daniele Del Magro ANNO DI REALIZZAZIONE: 1912

Localizzazione



Visione generale del prospetto lungo viale Giusti



Biodeterioramento



Dettaglio della decorazione dell'apertura



Croste, colature, perdita della finitura



RILIEVO FOTOGRAFICO

EDIFICIO: Casa Hahn, Milano, via Luigi Settembrini 38 e 40

PROGETTISTA: sconosciuto ANNO DI REALIZZAZIONE: 1912

Localizzazione



Visione generale del prospetto



Deposito superficiale



Dilavamento e deposito superficiale



Graffiti vandalici



Croste nere e vegetazione



RILIEVO FOTOGRAFICO

EDIFICIO: Privata abitazione, Milano, via Domenico Scarlatti 27

PROGETTISTA: sconosciuto ANNO DI REALIZZAZIONE: 1912

Localizzazione



Visione generale del prospetto



Efflorescenze



Croste nere



Fessurazioni



Carbonatazione, biodeterioramento



RILIEVO FOTOGRAFICO

EDIFICIO: Casa Donzelli, Milano, via Torquato Tasso 8

PROGETTISTA: Enrico Zanoni ANNO DI REALIZZAZIONE: 1913

Localizzazione



Visione generale del prospetto



Biodeterioramento



Distacco, colature



Deposito superficiale, dilavamento



Biodeterioramento



RILIEVO FOTOGRAFICO

EDIFICIO: Casa Bonini, Parma, via Trento, 46

PROGETTISTA: Camillo Uccelli ANNO DI REALIZZAZIONE: 1912

Localizzazione



Visione generale del prospetto



Visione del prospetto lungo via Cagliari



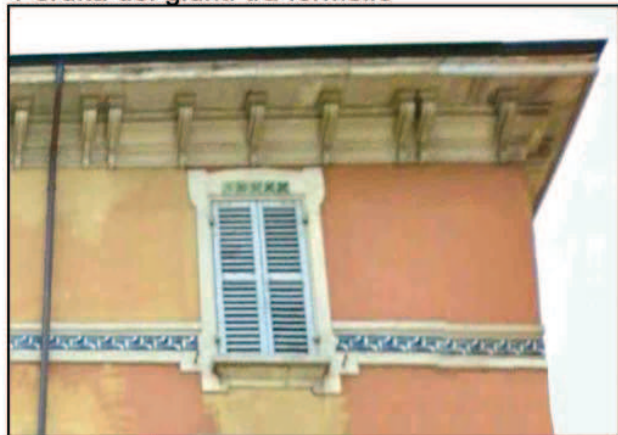
Risarciture incongrue, graffiti vandalici e distacchi



Biodeterioramento



Perdita dei giunti tra formelle



RILIEVO FOTOGRAFICO

EDIFICIO: Villino Battioni, Parma, via Palestro, 4

PROGETTISTA: Ettore Leoni ANNO DI REALIZZAZIONE: 1912

Localizzazione



Visione generale del prospetto



Risarciture incongrue, distacchi



Deposito superficiale, colature



Biodeterioramento



Carbonatazione, distacchi



RILIEVO FOTOGRAFICO

EDIFICIO: Casa Galleria, Firenze, Borgo Ognissanti, 26

PROGETTISTA: Giovanni Michelazzi ANNO DI REALIZZAZIONE: 1912-13

Localizzazione



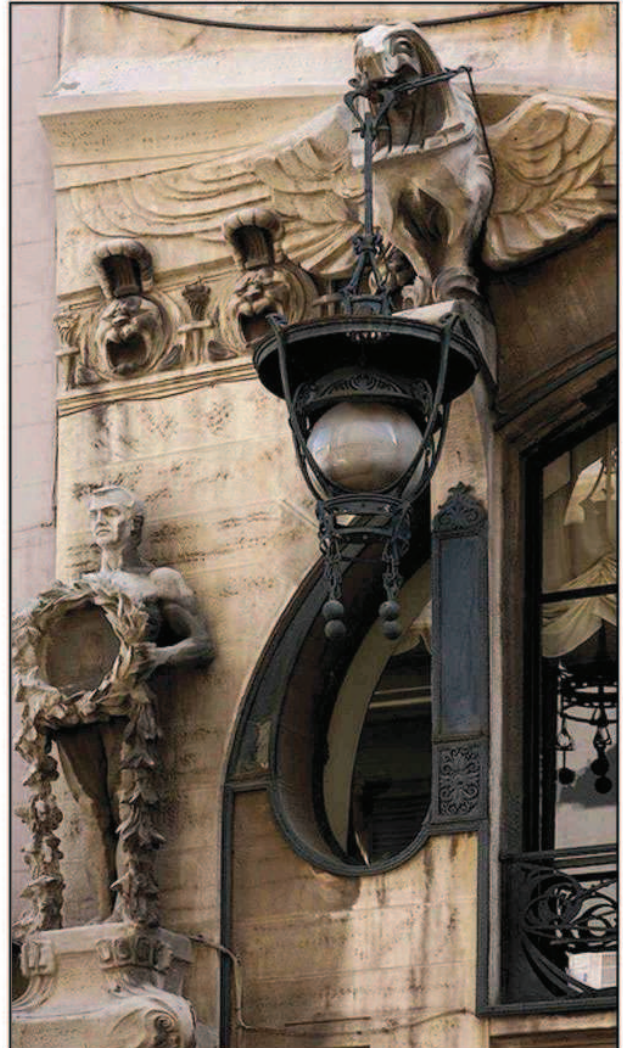
Visione generale del prospetto



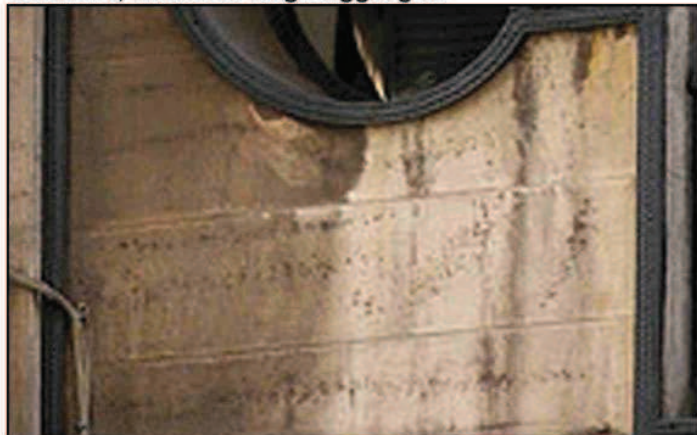
Deposito superficiale



Croste, erosione, fessurazioni



Colature, distacco degli aggregati



RILIEVO FOTOGRAFICO

EDIFICIO: Palazzo Silvestrini, Lucca, viale Giosuè Carducci, 79

PROGETTISTA: Giovanni Del Prete ANNO DI REALIZZAZIONE: 1913

Localizzazione



Visione generale del prospetto lungo viale Carducci



Perdita dai giunti delle formelle



Colature



Biodeterioramento



RILIEVO FOTOGRAFICO

EDIFICIO: Palazzo Zanchi, Parma, via Farini, 69 ang. via Rondani

PROGETTISTA: Massimo Maffei ANNO DI REALIZZAZIONE: 1913

Localizzazione



Visione generale del prospetto



Colature



Biodeterioramento



Dilavamento



Erosione



RILIEVO FOTOGRAFICO

EDIFICIO: Ca' di Me, Venezia, via Domenico Selvo 1, ang. via Rodi 2

PROGETTISTA: Antonio Pedrazzoli ANNO DI REALIZZAZIONE: 1913

Localizzazione



Visione generale dall'angolo tra via Selvo e via Rodi



Prospetto su via Rodi



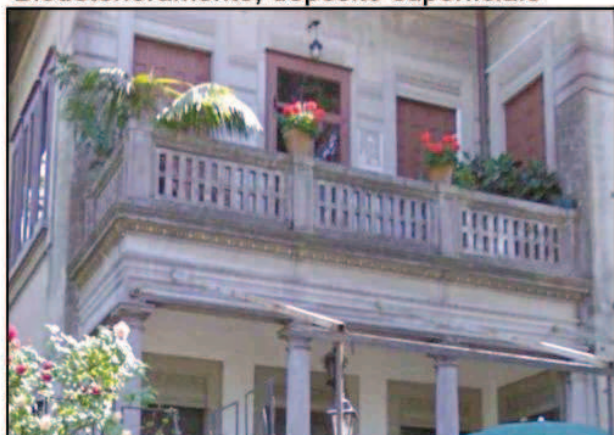
Colature, perdita di finitura



Biodeterioramento, presenza di vegetazione



Biodeterioramento, deposito superficiale



RILIEVO FOTOGRAFICO

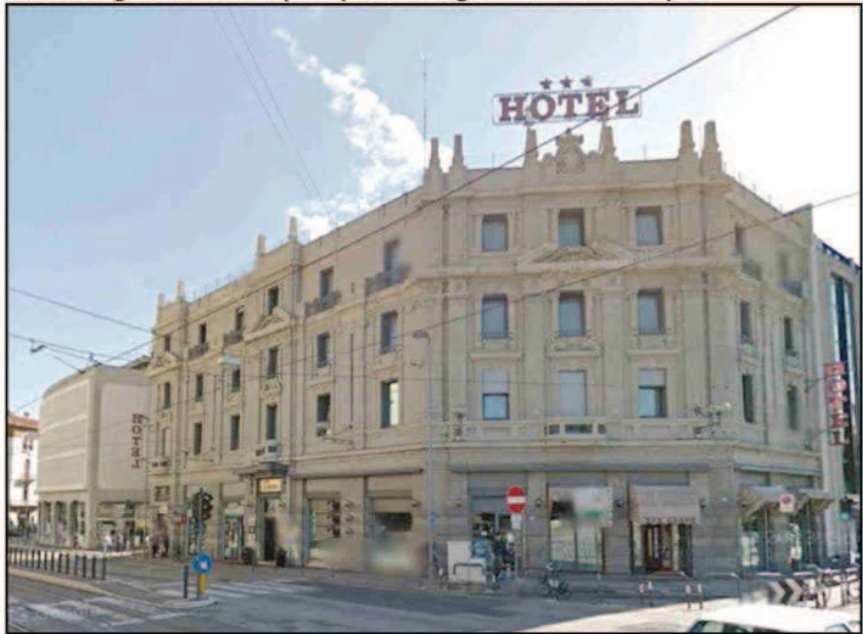
EDIFICIO: Albergo del Corso, Padova, Corso del Popolo, ang. via Trieste

PROGETTISTA: Renzo Candeo ANNO DI REALIZZAZIONE: 1913

Localizzazione



Visione generale del prospetto lungo Corso del Popolo



Visione del prospetto lungo via Trieste



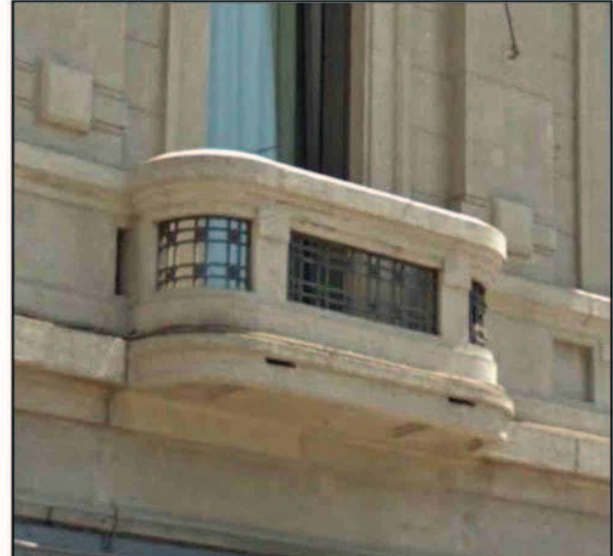
Deposito superficiale, erosione



Erosione, dilavamento



Fessurazioni

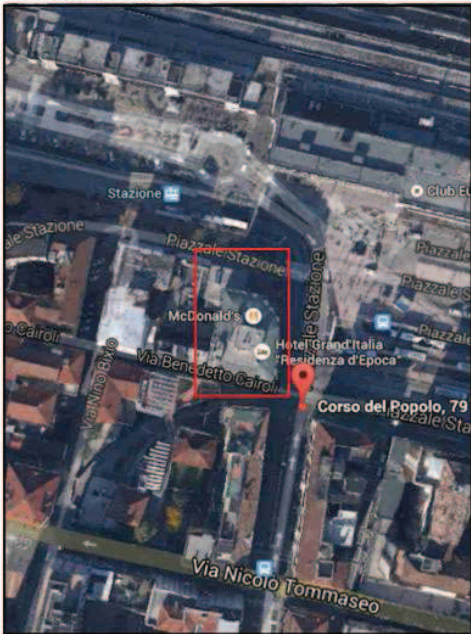


RILIEVO FOTOGRAFICO

EDIFICIO: Privata abitazione, Padova, Corso del Popolo 79-85

PROGETTISTA: sconosciuto ANNO DI REALIZZAZIONE: 1914

Localizzazione



Visione generale del prospetto verso il piazzale della stazione



Erosione, perdita di finitura



Prospetto lungo Corso del Popolo



Colature, distacchi



Colature



RILIEVO FOTOGRAFICO

EDIFICIO: Palazzo Lusignani, Parma, via Repubblica, 43

PROGETTISTA: Fortunato Morestori ANNO DI REALIZZAZIONE: 1916

Localizzazione



Visione generale del prospetto principale lungo viale Garibaldi



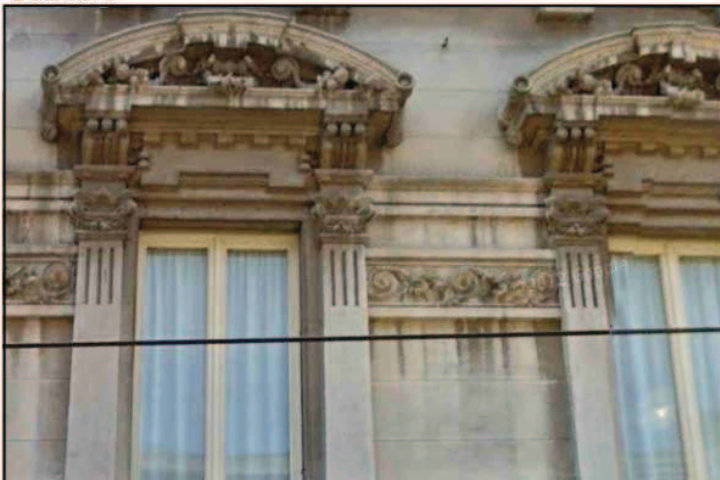
Croste



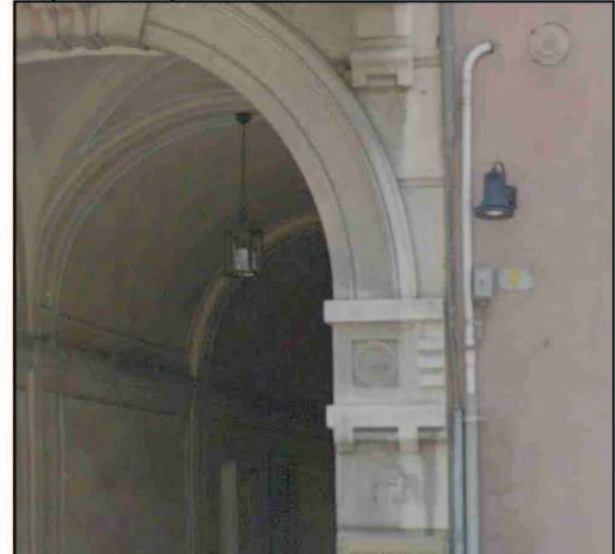
Biodeterioramento



Colature



Deposito superficiale



RILIEVO FOTOGRAFICO

EDIFICIO: Villa Severini, Fano, Via Roma 69

PROGETTISTA: sconosciuto ANNO DI REALIZZAZIONE: 1917-19

Localizzazione



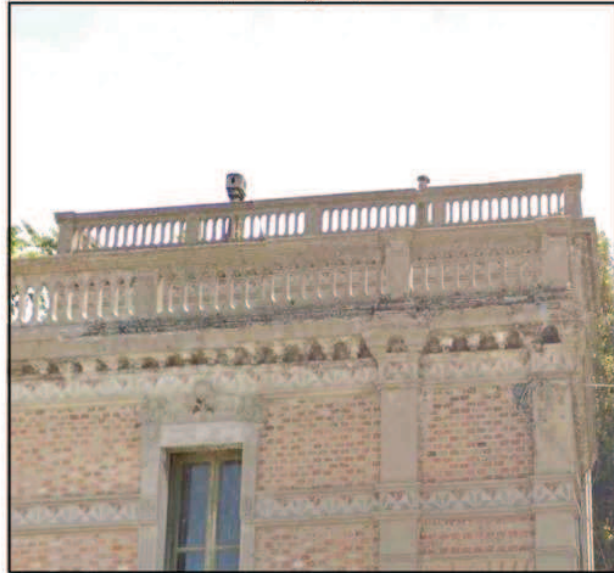
Visione generale del prospetto verso via Roma



Perdita dei giunti, corrosione delle armature



Carbonatazione, ettringite, distacchi



Carbonatazione, biodeterioramento



Biodeterioramento



RILIEVO FOTOGRAFICO

EDIFICIO: Villa Bozzoni, San Benedetto del Tronto, Viale Trieste, 2

PROGETTISTA: sconosciuto ANNO DI REALIZZAZIONE: 1918

Localizzazione



Visione generale del prospetto verso largo Trieste



Visione del prospetto principale lungo viale Trieste



Distacchi, perdita di finitura



Colature, biodeterioramento



Incrostazioni, colature



7.2 GLOSSARIO

A

Acqua di impasto: acqua naturale, limpida, priva di acidi, specialmente solfati e cloruri. L'acqua necessaria per determinare la reazione del cemento è minima, circa il 23%, mentre la restante necessita per creare un impasto atto ad essere lavorato. La prima è l' "acqua stechiometrica", la seconda è l' "acqua del gel"¹.

Additivo: prodotto che, se inserito in quantità pari a circa il 2-5% in peso del cemento, modifica le proprietà dell'impasto sia allo stato fresco (richiesta d'acqua, tempo di presa, lavorabilità, presenza d'aria) che indurito (resistenza meccanica, durabilità, impermeabilità, finitura superficiale). In base al suo effetto è possibile distinguere un additivo ad azione fisica da uno ad azione chimica².

Aderenza: proprietà dell'impasto che permette di creare un legame con i getti successivi, gli inerti più grossi o le armature in ferro. Tale caratteristica si ottiene grazie alla presenza del legante.

Aggiunta: materiale inorganico finemente suddiviso che viene addizionato all'impasto per modificarne le caratteristiche.

Aggregato: particelle, generalmente di materiali lapidei naturali, inglobate nella matrice cementizia. Il loro impiego è necessario per garantire la stabilità dimensionale del calcestruzzo in relazione alle conseguenze del calore di idratazione o del ritiro igrometrico. Per garantire determinate proprietà del calcestruzzo sia fresco che indurito devono avere determinati requisiti in rapporto alla forma delle particelle, alla distribuzione granulometrica, all'assorbimento di acqua, alla resistenza meccanica. In genere si dividono in fini (sabbie) e grossi (ghiaie o pietrischi, a seconda che siano di origine alluvionale o di frantumazione)³.

Analisi granulometrica: procedimento di classificazione di aggregati di varie dimensioni, che viene attuato mediante l'uso di vagli corrispondenti alle classi granulometriche standard.

Armatura: insieme di barre e staffe metalliche disposte all'interno del getto dell'impasto cementizio.

B

Betoniera: macchina dotata di recipiente rotante con alette interne per il mescolamento dei componenti dell'impasto. È detta *a caduta libera* perchè i componenti dell'impasto vengono lasciati cadere grazie alla gravità. Ne esistono diversi tipi: *a bicchiere rovesciabile*, per piccoli cantieri, *a tamburo o inversione*, per grandi produzioni, *a riflusso o ritorno di riflusso*, per il trasporto in cantiere.

Betoncino: calcestruzzo con inerte grosso (fino a 10 mm).

Bleeding: essudazione; consiste nella separazione dal cemento di acqua, specialmente in superficie, ma che rimane incorporato anche nel calcestruzzo

¹ COLLEPARDI M., 1991, p. 249.

² BALDINI E., 1972, pp. 86-87.

³ CARLESSI M., *Gli agglomerati idraulici tra Ottocento e Novecento. Calci, cementi naturali e Portland*, in DI BIASE C. (a cura di), 2009, p. 139.

attorno ai grani di ghiaia ed alle armature, dando origine, asciugandosi, a formazioni porose che indeboliscono il calcestruzzo perché lo rendono permeabile e quindi vulnerabile agli agenti atmosferici, poco resistenti all'usura e di scarsa resistenza⁴.

Blocco cementizio: elemento pieno o forato in materiale cementizio, spesso sagomato per consentire una più agevole connessione e un corretto posizionamento. Solitamente è legato ad altri blocchi a formare un'intelaiatura attraverso barre metalliche.

Boiaccia: impasto quasi liquido di cemento o calce. È detta passivante se funge da rivestimento protettivo dei tondini in ferro del calcestruzzo armato dopo essere stata additivata con antiossidanti.

C

Calce: legante inorganico a base di composti di calcio usato per la confezione di malte e intonaci. È ottenuta per cottura di rocce calcaree che reagiscono con l'acqua, formando un composto resistente. Può essere aerea (se fa presa in ambiente asciutto) o idraulica (se fa presa in ambiente umido).

Calce idraulica: è un legante idraulico che può far presa ed indurire anche se immersa in acqua. Nell'antichità si usano calcari marnosi, cioè contenenti quantità intorno al 25% di argilla, cotti in forni che possono arrivare ad una temperatura massima di circa 1000 gradi. Il prodotto ottenuto in cottura dalla fusione del calcare con l'argilla viene chiamato dai romani calce idraulica, perché è una malta che ha come caratteristica la possibilità di indurire sia all'aria aperta che sott'acqua. Da non confondere con la calce idrata, (calce viva, calce spenta, grassello di calce) che è ottenuta tramite la cottura di sabbie calcaree pure ed appartiene alla famiglia dei leganti aerei, cioè non ha la capacità di indurire sott'acqua. La calce idraulica invece appartiene alla famiglia dei cementi. I due prodotti si differenziano anche per il tempo di cottura e la quantità di argilla contenuta nell'una e nell'altra. I tempi di cottura vanno dalle 36 ore circa a 1000 gradi della calce idraulica naturale ai 45 minuti circa a 1450 gradi per il cemento. Le quantità di argilla invece vanno dal 20-22% per la calce idraulica ai 25-27% per il cemento. Oggi è possibile ottenere calce idrauliche naturali anche dalla cottura di calcari silicei anziché argillosi, attraverso metodi di lavorazione più rapidi ed economici.

Calcestruzzo: conglomerato costituito da una miscela di legante idraulico (cemento), aggregati (sabbia e ghiaia), acqua, additivi e aggiunte minerali.

il termine 'calcestruzzo' deriva dall'espressione latina *calcis [con]structio*, che significa, letteralmente, struttura a base di calce. Per definire un 'conglomerato' molto simile al calcestruzzo odierno (costituito, cioè, da frammenti di pietra o laterizio mescolati con sabbia e acqua e legati con grassello di calce [calce idrata, idrossido di calcio]), Vitruvio usa il termine *opus caementitium*. Per le opere idrauliche, la sabbia viene sostituita da pozzolana di origine vulcanica (*pulvis puteolana*) o cocchio pesto. Il rottame di pietra usato per confezionare il calcestruzzo veniva indicato con il termine *caementum* (der. Dal verbo *caedo*, taglio di pezzi).

La differenza principale tra il calcestruzzo antico e quello moderno è il diverso tipo di legante impiegato: nel calcestruzzo antico il legante è costituito da calce e pozzolana o da prodotti nei quali la calce è accompagnata da impurità (silice e allumina) che le conferiscono proprietà simili a quelle del cemento (calce idraulica); nel calcestruzzo moderno, invece, il legante è costituito dal cemento Portland o da miscele di queste con loppa d'altoforno e pozzolana.

⁴ BALDINI E., 1972, pp. 86-87.

Calcestruzzo armato: conglomerato cementizio entro cui è stata inserita un'armatura in acciaio per sopportare le sollecitazioni di trazione. È detto *precompresso* se l'armatura è messa in trazione esercitando una sollecitazione di precompressione sul conglomerato, *prefabbricato* se viene gettato e fatto maturare fuori opera.

Calore di idratazione: energia termica che viene liberata dal calcestruzzo durante la maturazione.

Cassaforma: struttura provvisoria in legno, acciaio o materiale plastico, destinata a conferire una specifica forma al getto in calcestruzzo, sostenendolo durante la maturazione. È detta *recuperabile* se, ad indurimento avvenuto dell'impasto, può essere smontata e riutilizzata, *a perdere* se, a getto indurito, viene lasciata in opera.

Classe granulometrica: espressione che indica un insieme di granuli di un aggregato aventi identica dimensione.

Cemento: il termine *caementum* dal latino, conserva il significato originale di "rottame di pietra", fino al tardo Medioevo quando, con il termine italiano di *cemento*, assume dapprima il significato di "malta legante" formata da calce e sabbia e più tardi di "legante idraulico". Alla fine del XVIII secolo il termine *cemento* assume il significato attuale di legante, mentre al conglomerato venne definitivamente assegnato il termine di *calcestruzzo*. Attualmente si identifica come materiale inorganico finemente macinato che, se mescolato con acqua, forma una pasta che rapprende e indurisce a seguito di reazioni e processi di idratazione e che, una volta indurita, mantiene la sua resistenza anche in presenza di acqua.

Da *caementum* non si sono verificate rilevanti trasformazioni né nella lingua tedesca (*zement*) né nella lingua anglosassone (*cement*). Nel XIX secolo ricorre anche il vocabolo *smalto cementizio*.

Il termine *concrete*, per indicare il calcestruzzo, è un vocabolo derivato dal latino ma importato nell'isola britannica da popoli di lingua neolatina (probabilmente dopo il mille dai francesi).

I Romani definiscono *caementum structile* quei frammenti di pietra legati da cemento che adoperano per fabbricare, cioè il calcestruzzo.

Di derivazione più incerta sono i vocaboli spagnolo *hormigon* e francese *béton*, per il moderno *calcestruzzo*.

Durante il Medio Evo il significato di *cementum* come malta di calce si conserva inalterato, come documenta nel 1230 il frate francescano Bartolomeo de Glanville in Sassonia nella sua enciclopedia *De proprietatibus rerum*: << la calce [...] è una pietra cotta; per mescolanza di essa con sabbia ed acqua viene confezionato il cemento >>. All'interno del *Dizionario di Chimica* di P. G. Macquer, tradotto in italiano da G. A. Scopoli nel 1783, a pag. 257 del III volume, alla voce *calce terrea-Chaux terreuse-Calx terrea* è scritto: << la calce petrosa è d'un grande uso. Ognuno sa che se ne fa il cemento (mortier), il quale è un miscuglio di calce spenta coll'acqua mescolata con una certa quantità di sabbia...o di argilla cotta e fatta in polvere grossolana. Questo miscuglio ha la proprietà, disseccandosi fino ad un certo punto di far presa e di indurirsi moltissimo, il che lo rende atto a collegare bene le pietre degli edifici e dei pavimenti >>. I cementi sono ottenuti per calcinazione⁵ (sotto il limite di rammollimento) di calcari naturali o artificiali più argillosi o silicei delle calce idrauliche; non si polverizzano a contatto con acqua e servono mezzi meccanici per ridurli in polvere. Dalla cottura degli argillosi si ottengono i cementi a lenta o rapida presa, mentre dalla cottura dei silicei si ottengono i cementi *grappiers*.

Cemento a lenta presa: il materiale inizia la presa in un'ora circa e la termina tra sei

⁵ CARLESSI M., *Gli agglomerati idraulici tra Ottocento e Novecento. Calci, cementi naturali e Portland*, in DI BIASE C. (a cura di), 2009, p. 140.

e dodici ore.

Cemento a pronta presa: il materiale comincia la presa entro un minuto dalla sua posa in opera e la termina in poco più di mezz'ora.

Clinker: miscela di calcare e argille, sottoposta a cottura, da cui si ricava il cemento per raffreddamento, macinazione e stagionatura. Durante la cottura, le materie prime si dissociano e si combinano per formare dei silicati (silicato tricalcico e silicato bicalcico) e degli alluminati (alluminato tricalcico e fase ferrica). Il clinker si presenta con granuli che raggiungono dimensioni dell'ordine del cm. Contiene piccole quantità di ossidi, tra i quali gli ossidi di sodio e potassio che conferiscono carattere alcalino ai prodotti di idratazione. Al clinker si deve aggiungere circa il 5% in massa di gesso per consentire una corretta presa del cemento⁶.

Coesione: capacità del legante di tenere insieme gli aggregati durante il trasporto e la posa in opera. Tale caratteristica, insieme a *omogeneità e consistenza*, consente di definire la lavorabilità del calcestruzzo fresco.

Compattazione: vibrazione del materiale, attuata per ottenere la massima coesione del composto (evitando la formazione di cavità interne). Il *costipamento* è il procedimento attuato per ottenere la massima coesione del composto.

Cono di Abrams: strumento utilizzato per la determinazione della consistenza dell'impasto, tale prova prende anche il nome di *slump test*. La conoscenza di tale parametro è fondamentale per la definizione della lavorabilità del calcestruzzo. Mediante lo slump-test è possibile confrontare gli effetti fluidificanti di eventuali additivi chimici a parità di rapporto acqua-cemento. Attraverso lo Slump Test è possibile misurare il cedimento, espresso in mm, del calcestruzzo rispetto all'altezza del cono. Sono riconosciute cinque fasce di consistenza:

S1: 0-40mm

S2: 50-90mm

S3: 100-150mm

S4: 160-210mm

S5: >220mm

La tendenza attuale dell'esecuzione dei getti è quella di superare la consistenza S4 e superare i limiti della misurabilità consentiti dal cono, ponendo in opera calcestruzzi oltre la consistenza S5.

Copriferro: spessore del calcestruzzo esterno che protegge l'acciaio dai fenomeni di aggressione fisica e chimica.

D

Decapaggio: procedimento chimico superficiale del calcestruzzo non indurito eseguito con acido cloridrico diluito in acqua, che aggrede i componenti a base di calce presenti nello strato superficiale di malta, portandolo alla luce gli inerti.

Disarmo: procedimento di rimozione delle casseforme dal getto. Viene eseguito solo quando l'impasto ha raggiunto la resistenza minima richiesta.

Distribuzione granulometrica: suddivisione in classi dimensionali dei granuli di un campione di inerte, espresse graficamente attraverso la *curva granulometrica*.

Durabilità: attitudine a mantenere nel tempo le caratteristiche fisico-chimiche.

⁶ BERTOLINI L., *Le proprietà dei calcestruzzi cementizi*, in DI BIASE C. (a cura di), 2009, pp. 123-124.

Dipende da fattori *intrinseci*, come il dosaggio del cemento, la granulometria degli inerti, il rapporto acqua-cemento, ed *estrinseci*, come temperatura, condizioni ambientali e stato di conservazione dell'armatura.

E

Ettringite: fenomeno di degrado che comporta rigonfiamento e distacco del materiale. È causato dalla presenza di solfati che, trasportati dall'umidità, migrano verso la superficie esterna e, combinandosi con malta idraulica, provocano la formazione di tale composto chimico.

F

Farina cruda: miscela cruda di calcare e argilla ottenuta per frantumazione, essiccazione, macinazione, muscolazione e cottura delle materie prime. Ha una consistenza plastica miscelandola con acqua e viene pressata per conferirle l'aspetto di blocchi. Questi ultimi si lasciano essiccare e poi cuocere⁷.

Filler: materiale calcareo finissimo usato per aumentare la consistenza del legante e rendere più compatto l'impasto.

Finitura superficiale: trattamento delle superfici faccia a vista per modificarne l'aspetto dopo il disarmo o per fini protettivi.

Fluage: fenomeno del lento incremento della deformazione iniziale del materiale soggetto a carico costante nel tempo.

Fluidificante: additivo costituito da tensioattivi utilizzato per rendere più scorrevole e deformabile l'impasto, migliorandone la lavorabilità.

G

Getto: colata di calcestruzzo nelle casseforme con velocità variabile in relazione alla dimensione dell'opera, al tipo di struttura, alla quantità di armature e alla pressione consentita dalle casseforme.

Giunto: elemento lineare generalmente eseguito in opera per chiudere un'interruzione della continuità strutturale o costruttiva.

Granulometria: distribuzione in classi delle dimensioni dei granuli di una miscela con varie pezzature, determinata con l'*analisi granulometrica*.

Grappiers: transazione tra calce e cemento Portland. Vengono anche definiti "calce morta" e si presentano come polvere fine di colore chiaro. La definizione presente nel manuale di Daniele Donghi definisce il *grappier* come una parte di calce idraulica che viene bagnata per farla estinguere. «Una volta effettuato tale procedimento, si buratta (setaccia) ottenendo il fior di calce, ossia quella polvere che passa tra le maglie del buratto e il grappier, ossia quella polvere di grana più grossa che rimane nel buratto. Essa viene poi macinata e mescolata al fior di calce. I grappiers sono composti quasi esclusivamente di parti stracotte e di altre ben cotte ma incapaci di sfiorire nell'idratazione e forniscono, dopo la macinazione, un vero cemento siliceo

⁷ CUSSINO L., *Evoluzione tecnologica dell'industria del cemento*, in GORIA C., CUSSINO L., BORASI V. (a cura di), 1976, p. 101.

a presa lentissima, con indice di idraulicità variabile tra 0,50 e 0,70⁸. I più rinomati sono i Lafarge, paragonati ai migliori Portland.

I

Idratazione del cemento: reazione esotermica irreversibile che avviene quando legante e sabbia vengono mescolati con acqua, formando cristalli che contengono radicali di idrossido.

Idraulicità del cemento: proprietà di far presa e indurire anche sott'acqua per la presenza di silicati e alluminati, per la finezza della macinazione, per le variazioni di temperatura e per l'aggiunta di additivi.

Idrolisi: diverse reazioni chimiche in cui le molecole vengono scisse in due o più parti per effetto dell'acqua e può talvolta essere considerata come la reazione inversa della reazione di condensazione. Non è da confondersi con l'idratazione, in cui ad una molecola viene addizionata una molecola di acqua.

Ife: filamenti unicellulari o pluricellulari, uninucleati o polinucleati di forma cilindrica allungati, che disposti uno sull'altro formano il micelio, ovvero il corpo vegetativo, dei funghi.

Impasto cementizio: miscela formata da un legante cementizio, acqua e materiali inerti.

Impianto di betonaggio: attrezzature necessarie per la produzione di calcestruzzo. Può essere un *impianto di dosaggio*, quando i materiali vengono pesati e dosati e poi caricati su autobetoniere in cui, con l'aggiunta di acqua si avvia il mescolamento; oppure *impianto di dosaggio e mescolamento*, in cui si provvede anche al mescolamento dell'impasto. L'installazione può essere orizzontale o verticale.

Inerti: naturali o di frantoio, devono essere puri e costituiti da elementi non gelivi e non friabili, devono essere privi di sostanze organiche, limose, argillose o gessose in proporzione nociva all'indurimento del conglomerato, alla conservazione delle armature⁹.

Inibitore di corrosione: additivo che previene l'ossidazione dei ferri d'armatura.

Intonaco: impasto di malta a base di gesso, calce o cemento applicato su una superficie come rivestimento di finitura o base per ulteriori trattamenti.

L

Lavorabilità: attitudine di un impasto a lasciarsi manipolare nell'intervallo di tempo tra la miscelazione e l'inizio della presa.

Legante: prodotto inorganico che si presenta sottoforma di polvere molto fine; mescolato con acqua, dà luogo ad una massa di aspetto cremoso, e di consistenza variabile che, dapprima perde gradualmente la sua plasticità (presa), e successivamente diventa rigida e dura (indurimento). Se l'indurimento avviene all'aria, il legante è aereo, se si verifica sott'acqua il legante è idraulico. La miscela di acqua e cemento prende il nome di *pasta*; quella di acqua, cemento e inerti è *malta*

⁸ DONGHI D., *Materiali, elementi costruttivi e finimenti esterni delle fabbriche*, in DONGHI D., 1906, p. 299.

⁹ BALDINI E., 1972, p. 19.

o *calcestruzzo*.

M

Malta: miscela di legante, acqua e sabbia. Dopo il Medio Evo il vocabolo *cemento* indica la *malta legante* formata dalla calce e sabbia, mentre dopo la metà del XVII secolo assume il significato esclusivo di legante idraulico. I vocaboli già esistenti di *malta*, *mortar*, *mortier*, *mörtel*, ecc.. nelle varie lingue vennero utilizzati, aggiungendovi l'aggettivo aereo, per indicare una miscela di sabbia e calce spenta, fino ad allora chiamata *cemento*.

Marna da cemento: roccia sedimentaria di origine clastica, a grana fine, costituita da argilla ricementata dal carbonato di calcio che contiene degli ossidi, quali silice, allumina, ossidi di ferro e di calcio. Questo materiale viene impiegato per la produzione di clinker dall'industria del cemento utilizza dall'inizio del '900 una miscela costituita dai silicati idrati d'alluminio e rocce calcaree macinate, mescolate e cotte a circa 1400° C.

Materiale pozzolanico: sostanze composte principalmente da silice amorfa e utilizzate in sostituzione di parte del clinker nei cementi di miscela, oggi prodotti. Queste sostanze partecipano alle reazioni di idratazione. Macinate fini e mescolate con acqua e calce generano silicati idrati di calcio simili a quelli che si ottengono con l'idratazione del cemento portland. I materiali pozzolanici utilizzati oggi sono spesso residui di processi industriali; i più diffusi sono le ceneri volanti (prodotto dalla combustione del carbone nelle centrali termoelettriche) e il fumo di silice (residuo della produzione del silicio e delle sue leghe)¹⁰.

Matrice connettiva: detta anche pastina, è uno dei tre "fattori di aspetto" delle malte a vista di un intonaco esterno da rappezzare (gli altri due sono la grana e la patina naturale conferita dal tempo). Essa è costituita dal legante e dai grani finissimi non distinguibili ad occhio nudo della sabbia e delle eventuali aggiunte e additivi. Appare in superficie tra i grani visibili di sabbia¹¹.

Maturazione del calcestruzzo: fase di presa e indurimento del calcestruzzo che comincia col getto e termina al raggiungimento della resistenza finale della massa indurita (per legge pari a 28 giorni); la maturazione è soggetta alle condizioni climatiche locali, ed è detta anche *stagionatura*.

Mix design: noto anche come "progetto della miscela", riguarda la scelta del proporzionamento degli ingredienti necessari per confezionare un impasto cementizio. I rapporti tra acqua, cemento, sabbia e ghiaia sono fondamentali per ottenere un calcestruzzo di elevata qualità; avere una buona lavorabilità e allo stesso tempo evitare la fessurazione del materiale, sono requisiti interdipendenti e contemporaneamente antitetici poiché si ottengono con rapporti tra gli ingredienti molto diversi tra loro. Lo studio del mix design mira a determinare la combinazione più idonea tra tutte le possibili, al fine di determinare il giusto equilibrio tra i componenti.

O

Omogeneità: caratteristica di un materiale che presenta costituzione costante in ogni punto.

¹⁰ BERTOLINI L., *Le proprietà dei calcestruzzi cementizi*, in DI BIASE C. (a cura di), 2009, p. 124.

¹¹ SCARZELLA P., ZERBINATI M., 2010, p. 311.

P

Pasta: sospensione più o meno fluida costituita da granuli di cemento dispersi in un mezzo acquoso. A partire dal mescolamento dell'acqua col cemento esiste sempre un periodo durante il quale le paste possono essere iniettate, colate, spruzzate e la durata dipende sostanzialmente dal tipo di cemento, dal rapporto acqua/cemento (0.25-0.5), dalla temperatura e dall'eventuale presenza di additivi. Le caratteristiche principali di una pasta allo stato fresco riguardano le proprietà reologiche e la stabilità. Dalla struttura della pasta indurita dipendono molte delle proprietà del calcestruzzo; dalla resistenza meccanica alla durabilità, dal ritiro allo scorrimento viscoso. La pasta indurita si presenta sottoforma di particelle di cemento ancora anidro ricoperte dai prodotti di idratazione tra le quali sono disseminate cavità di dimensioni variabili tra 1 e 0,01 mm¹².

Permeabilità: caratteristica del materiale di lasciarsi attraversare da liquidi e di saturarsi di materiali in soluzione.

Pop out: espulsione di piccole parti della superficie del calcestruzzo dovuta a pressione interna localizzata che lascia tipiche depressioni poco profonde di forma conica.

R

Rapporto acqua-cemento: incidenza in peso dell'acqua di miscelazione rispetto al cemento (per unità di volume). Il valore è normalmente compreso tra 0,5 e 0,7, anchese sarebbe sufficiente un valore di 0,2 affinché avvenisse il processo. Quando tale rapporto diminuisce la resistenza meccanica aumenta, fino ad un valore limite al di sotto del quale è impossibile lavorare l'impasto, poichè troppo rigido.

Reologia: studio del comportamento viscoso dell'impasto fluido in base alle sollecitazioni e alla velocità di scorrimento.

Resistenza: capacità del materiale di opporsi a determinate sollecitazioni.

Ritiro: diminuzione del volume dell'impasto per l'evaporazione di una parte di acqua. Può provocare microfessure interne ed esterne. È detto *plastico* se avviene prima del completamento della presa, *idraulico o igromerico*, se avviene più lentamente, per perdita d'acqua durante la stagionatura.

S

Segregazione degli inerti: fenomeno di separazione dei granuli degli inerti, che compromette lavorabilità e qualità del calcestruzzo.

Slump test: espressione che indica la prova del *cono di Abrams*.

Stagionatura: fase di presa e indurimento dell'impasto che comincia col getto e termina al raggiungimento della resistenza finale della massa indurita. È detta anche *maturazione*.

T

Thaumasite: minerale del gruppo dell'ettringite, la thaumasite si può formare nei calcestruzzi a seguito della reazione tra il solfato di calcio e i silicati idrati di calcio,

¹² COLLEPARDI M., 1991, pp. 125-126.

che si formano durante l'idratazione del cemento di Portland (attacco solfatico). Questa reazione avviene solo nel caso di basse temperature (0-10 °C) e in condizioni di umidità elevata (umidità relativa > 95%), e causa una riduzione (fino a scomparsa) dei silicati idrati di calcio da cui dipende il potere legante del cemento. La formazione di thaumasite si manifesta attraverso lo spappolamento del calcestruzzo.

Trattamento per via secca: modalità di preparazione della miscela cruda più diffusa. Le materie prime, pure e omogenee, generalmente vengono prima frantumate, poi seccate ed infine macinate. La frantumazione del calcare un tempo avveniva in frantoi a mascella, a cono o in mulini a molazze verticali, mentre l'argilla si sminuzzava con l'aiuto di mulini a cilindri scanalati. Poi i materiali venivano essiccati, si eseguiva una doppia macinazione e una fase di mescolazione prima della cottura finale. I due materiali possono essere trattati insieme fin dalla prima fase, oppure separatamente, ma possono anche essere essiccati separatamente e poi dosati e miscelati insieme, unendoli durante le fasi intermedie. Il risultato finale è sempre detto *farina cruda*. Questo processo richiede l'impiego di numerosi macchinari e la omogeneizzazione di farine ottenute per macinazione separata o congiunta, ha causato molti problemi in fase di cantiere.

Trattamento per via umida: consiste nel disperdere la miscela di calcare e argilla in 35-40% di acqua. Un tempo questa percentuale raggiungeva anche il 50-60%. Questo procedimento è stato il primo ad essere messo a punto, è il più semplice ed anche il meno costoso. Inizialmente le materie prime, anche contenenti impurità, vengono versate all'interno degli impianti di spappolamento dove si crea una sospensione acquosa e dove le parti restano per tutto il tempo della frantumazione, per poi essere raffinate e riciclate. Successivamente il composto passa attraverso dei miscelatori, viene fatto decantare e poi essiccare. Oggi le materie prime vengono passate nei mulini dove vengono anche raffinate ad umido e poi depositate all'interno di grandi bacini per permettere una migliore omogeneizzazione della miscela.

Trazione: sollecitazione che comporta l'allungamento di un corpo per l'azione di una forza applicata lungo l'asse longitudinale del corpo stesso.

V

Vacuum concrete: trattamento di depressione di un getto, finalizzato all'asporto dell'acqua in eccesso presente nell'impasto dopo la posa in opera.

Vuoti d'aria: piccoli e regolari vuoti dovuti alla presenza di bolle d'aria intrappolate nello strato superficiale del calcestruzzo durante la posa in opera e l'indurimento.



8 BIBLIOGRAFIA

8.1 BIBLIOGRAFIA CAPITOLI 1 E 2

- AA.VV., *Atti del Collegio degli Ingegneri e degli Architetti*, fasc. I, anno XX, Gamberini e Parmeggiani, Bologna, 1901.
- AA.VV., *Mostra del Liberty italiano: Palazzo della Permanente, Milano, dicembre 1972 - febbraio 1973*, Società per le Belle Arti ed Esposizione permanente, Milano, 1972.
- AIMONE L., OLMO C., *Le esposizioni universali 1851-1900. Il progresso in scena*, Allemandi, Torino, 1990.
- ALUNNO ROSSETTI V., *Il calcestruzzo: materiali e tecnologia*, McGraw-Hill, Milano, 2007.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI), *Concrete Repair Manual*, Terza Edizione, International Concrete Repair Institute, Farmington Hills, Michigan, USA, 2008.
- ARLORIO A., *Cementi italiani*, U. Hoepli, Milano, 1893.
- ASSOCIAZIONE ITALIANA TECNICO ECONOMICA DEL CEMENTO (AITEC), *Il secolo del cemento*, Pubblicamento, Roma, 2000.
- BAGNASCO A., *Cemento armato: guida teorico pratica per l'impiego e l'esecuzione del cemento armato*, Vannini, Brescia, 1942.
- BAIRATI E., RIVA D., *Guide all'architettura moderna. Il Liberty in Italia*, GLF Editori Laterza, Roma, 2001.
- BERNABEI G., GRESLERI G., ZAGNONI S., *Bologna moderna 1860-1980*, Patron Editore, Bologna, 1984.
- BERTOLINI L., PEDEFERRI P., *Tecnologia dei materiali: leganti e calcestruzzo*, UTET Città Studi Edizioni, Torino, 2000.
- BETTAZZI M.B., LIPPARINI P., *Attilio Muggia: una storia per gli ingegneri*, Editrice Compositori, Bologna, 2010.
- BIRAGHI M. (a cura di), *I quattro libri dell'architettura. Andrea Palladio*, Edizioni Studio Tesi, Pordenone, 1992.
- BOLIS B., *Calci e cementi*, U. Hoepli, Milano, 1952.
- BROSIO V., *Lo stile liberty in Italia*, A. Vallardi, Milano, 1967.
- CALLEGARI G., MONTANARI G. (a cura di), *Progettare il costruito. Cultura e tecnica per il recupero del patrimonio architettonico del XX secolo*, Franco Angeli, Milano, 2001.
- CARRAIA F., *La manutenzione delle facciate. Tecnologie e metodi di conservazione*, BE-MA editore, Milano, 1999.
- CASCIATO M., MORNATI S., SCAVIZZI C.P. (a cura di), *150 anni di costruzione edile in Italia*, EdilStampa, Roma, 1992.
- CAVALLINI M., CHIMENTI C., *La pietra artificiale*, Alinea Editrice, Firenze, 1996.
- CAVALLINI M., *Pietre e marmi artificiali: manuale per la realizzazione e il restauro delle decorazioni plastico architettoniche di esterni e interni*, Alinea Editrice, Firenze, 2000.
- CENNAMO M., *Autarchia e tecnologia nell'architettura razionale italiana*, F.lli Fiorentino, Napoli, 1988.
- COLLEPARDI M., *Scienza e tecnologia del calcestruzzo*, U. Hoepli, Milano, 1991.
- COLLEPARDI M., COPPOLA L., *Durabilità e restauro delle opere in calcestruzzo*, Enco s.r.l, Spresiano (TV), 1992.
- COLLEPARDI M., *Il nuovo calcestruzzo*, Tintoretto, Villorba (TV), 2003.
- COLLEPARDI M., COLLEPARDI S., TROLI R., *Mix design del calcestruzzo*, Enco s.r.l, Ponzano Veneto (TV), 2008.
- CROOKES W. (a cura di), *The Chemical News and journal of Physical science: with which is incorporated the "chemical gazette"*, vol. CXVII, The Chemical New Limited, Londra, Gran Bretagna, 1918.
- DAL CO F., CIUCCI G., *Architettura italiana del Novecento*, Electa, Milano, 1990.
- DONAGGIO E., *Il calcestruzzo*, Pirola, Milano, 1983.
- DONGHI D., *Manuale dell'architetto*, vol.1, UTET, Torino, 1906.
- FORMENTI C., *La pratica del fabbricare. Parte prima: il rustico delle fabbriche*,

- U. Hoepli, Milano, 2° ed., 1909.
- FUMAGALLI C., *La Italcementi: origini e vicende storiche: per il centenario della Società 1864-1964*, Italcementi, Bergamo, 1964.
 - GASPARI L., *Ricettario pratico per l'edilizia*, ETU- Edizioni Tecniche Utilitarie, Bologna, 1942.
 - GHERSI I., *Ricettario industriale: 8500 procedimenti utili nelle grandi e piccole industrie, nelle arti e nei mestieri*, U. Hoepli, Milano, 1915.
 - GIOLA V., *Cementi decorativi liberty: storia, tecnica, conservazione*, Quasar, Roma, 2009.
 - GIUSTI M.A., TAMBORRINO R., *Guida all'architettura del novecento in Piemonte (1902-2006)*, Allemandi, Torino, 2008.
 - GORIA C., CUSSINO L., BORASI V. (a cura di), *Cemento: storia, tecnologia, applicazioni*, Fabbri, Milano, 1976.
 - GRIFFINI A.E., *Costruzione razionale della casa*, U. Hoepli, Milano, 1948.
 - IORI T., *Il cemento armato in Italia: dalle origini alla seconda guerra mondiale*, EdilStampa, Roma, 2001.
 - IORI T., MARZO MAGNO A., *150 anni di storia del cemento in Italia. Le opere, gli uomini, le imprese*, Gangemi, Roma, 2011.
 - ILG U., *Il liberty a Lucca: architetture e committenti di primo Novecento*, M. Pacini Fazzi, Lucca, 2002.
 - LEONIDA V., *Nuovo ricettario industriale: Moderna enciclopedia pratica per piccole e grandi industrie. Oltre 2000 procedimenti, ricette, Consigli, suggerimenti, espedienti, ecc.*, U. Hoepli, Milano, 1945.
 - LEVI F., *Cinquant'anni dopo: il cemento armato dai primordi alla maturità*, Testo & Immagine, Torino, 2002.
 - MARIANI E., *Leganti aerei e idraulici*, Ambrosiana, Milano, 1976.
 - MAROTTA R., *Il calcestruzzo: lo studio delle miscele*, Cementir, Roma, 1977.
 - MAROTTA R., *Il calcestruzzo: la lavorazione*, Cementir, Roma, 1979.
 - MATTEINI M., MOLES A., *La chimica nel restauro*, Nardini Editore, Firenze, 1989.
 - MAZZOCCHI L., *Calci e cementi. Norme pratiche per ingegneri, architetti, costruttori, capimastri ed assistenti di fabbrica*, U. Hoepli, Milano, 1895.
 - MENICALI U., *I materiali dell'edilizia storica*, Nuova Italia Scientifica, Roma, 1992.
 - MOCHI G., PREDARI G., *La costruzione moderna a Bologna: 1875-1915: ragione scientifica e sapere tecnico nella pratica del costruire in cemento armato*, Mondadori Electa, Milano, 2012.
 - MUGGIA A., *Le costruzioni architettoniche e la loro ornamentazione in rapporto colla natura dei materiali. Memoria letta al Collegio degli Ingegneri e degli Architetti in Bologna nelle sedute 26 marzo, 9 aprile, 7 maggio 1892*, Tipografia Gamberini e Parmeggiani, Bologna, 1892.
 - MUGGIA G., *Prof. Ing. Attilio Muggia, dell'Università di Bologna. Note biografiche*, Tip. Compositori, Bologna, 1951.
 - MURATORE G. (a cura di), *Cantieri romani del Novecento: maestranze, materiali, imprese, architetti nei primi anni del cemento armato*, Izzy, Roma, 1995.
 - NELVA R., SIGNORELLI B., *Le opere di Pietro Fenoglio nel clima dell'Art Nouveau internazionale*, Dedalo, Bari, 1979.
 - NELVA R., SIGNORELLI B., *Avvento ed evoluzione del calcestruzzo armato in Italia: il sistema Hennebique*, Associazione italiana tecnico economica del cemento (AITEC), Milano, 1990.
 - PECCHIONI E., FRATINI F., CANTISANI E., *Le malte antiche e moderne tra tradizione ed innovazione*, Patron Editore, Bologna, 2008.
 - QUARNETI G. (a cura di), *I Quaderni di Giacomo Querini da Venezia 1889: delle calcine, dei mattoni e degli intonachi*, Ceprovis, Medolago (BG), 1990.
 - SYLVA G., *I cementi: caratteri e proprietà. Applicazioni. Processi di fabbricazione*, UTET, Torino, 1913.
 - TAGLIAVENTI G., *Tecniche e tecnologie dell'architettura fra eclettismo e*

- storicismo*, Alinea Editrice, Firenze, 2000.
- TOMASINI A., *Procedimenti di lavorazione per la fabbricazione dei marmi artificiali e della tarsia a colori in serie*, Città Studi Edizioni, Pordenone, 1944.
 - TRIVELLIN E., *Storia della tecnica edilizia in Italia dall'Unità ad oggi*, Alinea Editrice, Firenze, 1998.
 - VACCHELLI V.G., *Le costruzioni in calcestruzzo e in cemento armato*, U. Hoepli, Milano, 1899.
 - VIAMANNI E. S., *Preparazione razionale del calcestruzzo di cemento*, ETU - Edizioni Tecniche Utilitarie, Bologna, 1941.
 - VILLA A., *Il cemento e le sue applicazioni*, Vallardi, Milano, 1912.
 - VITRUVIUS POLLIO, *De Architectura: libri 10*, (testo latino con trad. di Luciano Migotto), Studio Tesi, Pordenone, 1993.
 - ZAMBONI C., *Il cemento Portland della ditta fratelli Pesenti fu Antonio di Alzano Maggiore: fabbricazione proprietà applicazioni*, Officine dell'Istituto italiano d'arti grafiche, Bergamo, 1901.

ARTICOLI IN RIVISTE

- COIGNET F., *Exposition universelle: constructions économiques en bêtôn pisè*, in "L'ingénieur", 1 novembre 1855, p. 23.
- DELHUMEAU G., *Hennebique e la costruzione in calcestruzzo armato intorno al 1900*, in "Rassegna", n. 49, 1992, pp. 15-25.
- FANT R., *Il recupero dei cementi decorativi*, in "Specializzata", n. 140, 2005, pp. 960-965.
- GARUFI S., *I cementi decorativi*, in "Recupero e conservazione", n. 85, 2009, pp.72-74.
- "Il Cemento", anno I, n.2, 1904.
- "Il Cemento", anno III, n.8, 1906.
- "Il Cemento", anno IV, n.1, 1907.
- "Il Cemento", anno V, n.1, 1908.
- "Il Cemento", anno VI, n.2, 1909.
- "Il Cemento", anno VI, n.8, 1909.
- "Il Cemento", anno VI, n.13, 1909.
- "Il Cemento", anno VI, n.14, 1909.
- "Il Cemento", anno VII, n.8, 1910.
- "Il Cemento", anno VII, n.16, 1910.
- "Il Cemento", anno VII, n.23, 1910.
- "Il Cemento", anno VII, n.24, 1910.
- "Il Cemento", anno VIII, n.3, 1911.
- "Il Cemento", anno VIII, n.7, 1911.
- "Il Cemento", anno IX, n.3, 1912.
- "Il Cemento", anno IX, n.4, 1912.
- LANVINI C., *L'intonaco*, in "L'Architettura Italiana", XII, n. 11, 1917.
- MARINO R., PIFERI C., *Il calcestruzzo faccia a vista. Parte I - architettura e calcestruzzo*, in "Concreto", n. 66, 2005, p. 40.
- SELVAFOLTA O., *Ingegneri, cemento e imprese a Milano tra Ottocento e Novecento*, in "Rassegna", n. 49, anno XIV, marzo 1992, pp. 26-35.
- SIMONNET C., *Alle origini del cemento armato*, in "Rassegna", n. 49, 1992, pp. 6-14.
- THOVEZ E., *Il rinascimento delle arti decorative*, in "Esposizione nazionale del 1898 a Torino. L'arte all'esposizione del 1898", n. 1, 1898, pp. 30-32.
- TURRIZIANI R., *I materiali: il cemento e il calcestruzzo*, in "Il secolo del cemento", supplemento al num. 757 de "L'industria del cemento", settembre, 2000, pp. 9-10.
- VITTORI C., *Cemento pozzolanico*, in "Ricerche d'architettura", Sindacato nazio-

nale fascista ingegneri della Confederazione professionisti e artisti, a. 1, n. 1, 1933, pp. 22-31.

ATTI DI CONVEGNO

- BISCONTIN G, VOLPIN S. (a cura di), *Superfici dell'Architettura: le Finiture*, Atti del Convegno di Studi "Scienza e Beni Culturali", Bressanone, 26-29 giugno 1990, Libreria Progetto, Padova, 1990.
- BISCONTIN G., MIETTO D. (a cura di), *Calcestruzzi antichi e moderni: storia, cultura e tecnologia*, Atti del Convegno di Studi "Scienza e Beni Culturali", Bressanone, 6-9 luglio 1993, Libreria Progetto, Padova, 1993.
- BISCONTIN G., DRIUSSI G. (a cura di), *Architettura e materiali del Novecento. Conservazione, restauro, manutenzione*, Atti del Convegno di Studi "Scienza e Beni Culturali", Bressanone, 13-16 luglio 2004, Arcadia Ricerche, Venezia, 2004.
- BOSSAGLIA R., CRESTI C., SAVI V. (a cura di), *Situazione degli studi sul Liberty*, Atti del Convegno Internazionale, Salsomaggiore Terme, Clusf Edizioni, Firenze, 1976.
- PETRUCCI F. (a cura di), *Atti del Convegno di Archeometria. Proceedings of the Meeting Science for Contemporary Art*, Atti del Convegno "La Scienza per l'Arte Contemporanea", Ferrara, 1-4 marzo 2011, Patron Editore, Bologna, 2012.
- PIROVANO C., BOSSAGLIA R., IRACE F., PIETRAFITTA F.I., *Cemento e calcestruzzo. Impiego artistico nella scultura, nell'architettura e nel restauro*, Atti del Convegno "Cemento e Calcestruzzo", Piacenza, 21 maggio 1994, Fondazione Cassa di risparmio di Piacenza e Vigevano, Piacenza, 1995.

DOCUMENTI DI ARCHIVIO

- Archivio Centrale dello Stato di Roma (ACS Roma), MICA, UIBM, Serie Invenzioni, brevetto num. 63323: C. Spazzi, *Nuovo materiale per getti decorativi*, aprile 1902.
- ACS Roma, MICA, UIBM, Serie Invenzioni, brevetto num. 66348: Ditta Fratelli Micheli, *Produzioni ornamentali in cemento*, dicembre 1902.
- ACS Roma, MICA, UIBM, Serie Invenzioni, Brevetto num. 74533: V. Compagnone, *Cemento di allumite*, dicembre 1904.
- ACS Roma, MICA, UIBM, Serie Invenzioni, Brevetto num. 74567: Venanzetti, *Materiale per sostituire il cemento ordinario*, gennaio 1905.
- ACS Roma, MICA, UIBM, Serie Invenzioni, Brevetto num. 75889: E. Bougleux, *Cemento resistente all'acqua di mare*, marzo 1905.
- ACS Roma, MICA, UIBM, Serie Invenzioni, Brevetto num. 79411: G. Morbelli, *Prodotti vulcanici per cementi a rapida e lenta presa con recupero di alcali*, novembre 1905.
- ACS Roma, MICA, UIBM, Serie Invenzioni, Brevetto num. 89139: F. Paporozzi, *Cemento idraulico a lenta presa*, maggio 1907.
- ACS Roma, MICA, UIBM, Serie Invenzioni, Brevetto num. 93307: G. Randone, *Cemento di magnesia*, gennaio 1908.
- ACS Roma, MICA, UIBM, Serie Invenzioni, Brevetto num. 98375: A. Palazzi, *Calcestruzzo per blocchi*, ottobre 1908.
- ACS Roma, MICA, UIBM, Serie Invenzioni, Brevetto num. 100749: L. Morganti, *Cemento idraulico a lenta presa*, febbraio 1909.
- ACS Roma, MICA, UIBM, Serie Invenzioni, Brevetto num. 100840: E. Torres, F. Coppola, *Agglomerati idraulici per rendere idraulica la silice inattiva*, gennaio 1909.
- ACS Roma, MICA, UIBM, Serie Invenzioni, Brevetto num. 101790: E. Finocchiaro, *Uso di lapillo vulcanico*, aprile 1909.

- ACS Roma, MICA, UIBM, Serie Invenzioni, Brevetto num. 110236: L. Nocera, *Fabbricare il cemento*, giugno 1910.
- ACS Roma, MICA, UIBM, Serie Invenzioni, Brevetto num. 111324: V. M. Missiroli, *Cemento idraulico a lenta presa*, agosto 1910.
- ACS Roma, MICA, UIBM, Serie Invenzioni, brevetto num. 141323: E. Scrazzolo, *Conglomerato per marmi artificiali*, marzo 1914.
- ACS Roma, MICA, UIBM, Serie Invenzioni, Brevetto num. 142159: L. Marino e F. Ferrari, *Agglomeranti idraulici bianchi e colorati*, aprile 1914.
- ACS Roma, MICA, UIBM, Serie Invenzioni, Brevetto num. 145917: M. De Lica, *Pietra artificiale per costruzioni intelaiate*, novembre 1914.
- ACS Roma, MICA, UIBM, Serie Invenzioni, Brevetto num. 146076: A. Ajala, *Cementi composti*, novembre 1914.
- ACS Roma, MICA, UIBM, Serie Invenzioni, brevetto num. 173319: V. Carretta, *Agglomerato di cemento*, marzo 1919.
- ACS Roma, MICA, UIBM, Serie Invenzioni, Brevetto num. 176274: Ditta Bombri- ni, Parodi, Delfino, *Fabbricazione cemento lenta presa*, luglio 1919.
- ACS Roma, MICA, UIBM, Serie Invenzioni, Brevetto num. 176275: Ditta Bom- brini, Parodi, Delfino, *Miscela cementizia per agglomerati stabili all'azione del mare*, luglio 1919.
- ACS Roma, MICA, UIBM, Serie Invenzioni, Brevetto num. 180047: G. Vanini, P. Borrelli, *Cementi, terre refrattarie e prodotti affini industriali*, dicembre 1919.
- ACS Roma, MICA, UIBM, Serie Invenzioni, Brevetto num. 186170: B. Manuelli, *Cementi pozzolanici*, settembre 1920.
- Archivio Porcheddu Torino, *Palazzo Priotti Torino*, cartella n. 585/10267.

TESI DI LAUREA E DOTTORATO

- BARELLI M., *Produzione edilizia e architettura: il cemento armato e lo "stile nuo- vo"*, Tesi di laurea, Corso di laurea in Architettura, Politecnico di Torino, relatore: prof. A.M. Zorgno, A.A. 1990-1991.
- FARESIN A., *Il calcestruzzo in architettura. Cent'anni di sperimentazione e inno- vazione*, Dottorato di Ricerca in Tecnologia dell' Architettura, XXI ciclo, Dipar- timento di Architettura, Università degli Studi di Ferrara, proff. E. Antonini, V. Tatano, 2009.
- GIOLA V., *Conservazione dell'architettura liberty: i cementi decorativi*, Dotto- rato di Ricerca in Conservazione Architettonica, X ciclo, Dipartimento di Storia dell'Architettura, Restauro e Conservazione dei Beni Architettonici, Università degli Studi di Roma "La Sapienza", proff. G. Torraca, S. Della Torre, 1999.
- LIVI T., *L'architettura e il cemento negli anni Trenta in Italia. Tecniche costruttive e autarchia*, Tesi di laurea, Corso di laurea in Architettura, Politecnico di Torino, prof. A.M. Zorgno, A.A. 1995-1996.
- LUCCHESI A., *Pietre artificiali, malte di cemento e calcestruzzi nell'architettura del primo '900*, Dottorato di Ricerca in Recupero Edilizio e ambientale, VIII ciclo, Dipartimento di Architettura, Università degli Studi di Genova, proff. G.V. Gallia- ni, P. B. Torsello, 1996.

SITOGRAFIA

- GURTNER C. *et alii*, *Manual on best practice in the application of Roman cements*, ROCARE-FP7-ENV-2008-1, EU-PROJECT n. 226898, (2° ed. 2012), 2010, <http://www.rocare.eu/page/seite,rocare-manual-on-best-practice-in-the-application-of-roman-cements.html>, (giugno 2013).

8.2 BIBLIOGRAFIA CAPITOLO 3

- AA.VV., *Atlante del cemento*, UTET, Torino, 2000.
- AA. VV., *Il calcestruzzo vulnerabile*, Tintoretto, Villorba (TV), 2005.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI) (a cura di), *Concrete Repair Manual*, International Concrete Repair Institute, Farmington Hills, Michigan, USA, 3° ed., 2008.
- ASSOCIAZIONE ITALIANA CALCESTRUZZO ARMATO E PRECOMPRESSO (AICAP), *La corrosione nel calcestruzzo*, Pubblicamento, Roma, 2006.
- BAIRATI E., RIVA D., *Il Liberty in Italia*, Editori Laterza, Bari, 1985.
- BERTOLINI L., PEDEFERRI P., *Tecnologia dei materiali: leganti e calcestruzzo*, UTET, Torino, 2000.
- BERTOLINI L., *Materiali da costruzione. Degrado, prevenzione, diagnosi e restauro*, vol.II, UTET Città Studi Edizioni, Torino, 2012.
- BETTAZZI M.B. (a cura di), *Archivi aggregati: la sezione di architettura e i fondi degli architetti moderni*, Archivio Storico dell'Università, Bologna, 2003.
- BORTOLOTTO S., GIAMBRUNO M.C. (a cura di), *I materiali e le finiture del "Moderno"*, Dipartimento di Progettazione dell'architettura, Politecnico di Milano, Milano, 2008.
- BOSSAGLIA R. (a cura di), *Archivi del Liberty italiano: architettura*, Franco Angeli, Milano, 1987.
- BURLAMACCHI L., *Capire il calcestruzzo: i fenomeni alla base delle caratteristiche e del comportamento del calcestruzzo in opera*, U. Hoepli, Milano, 1994.
- CAMPBELL D. H., *Microscopical examination and interpretation of Portland cement and clinker*, Portland Cement Association, Glenview (USA), 1999.
- CANEVA G., NUGARI P.M., SALVADORI O. (a cura di), *La biologia vegetale per i Beni Culturali*, Vol. I "Biodeterioramento e Conservazione", Nardini Editore, Firenze, 2005.
- CATERINA G. (a cura di), *Tecnologia del recupero edilizio*, UTET, Torino, 1989.
- CAVALLINI M., CHIMENTI C., *La pietra artificiale*, Alinea Editrice, Firenze, 1996.
- COLLEPARDI M., COPPOLA L., *Durabilità e restauro delle opere in calcestruzzo*, Grafiche Tintoretto, Treviso, 1996.
- CORRAO R., *Patologie di degrado del cemento armato*, Mazzone, Palermo, 2004.
- DE CARLI C., *Brunate. Tra Eclettismo e Liberty. La villeggiatura progettata dal 1890 al 1840*, Nodo Libri, Como, 2009.
- DI BIASE C. (a cura di), *Il degrado del calcestruzzo nell'architettura del Novecento*, Maggioli, Sant'Arcangelo di Romagna (RN), 2009.
- FERNANDEZ F., *Alterazione e degrado dei materiali lapidei naturali: fenomeni, cause, riconoscimento e classificazione*, Uni Service, Trento, 2008.
- FRANCESCHI S., GERMANI L., *Il degrado dei materiali nell'edilizia. Cause e valutazione delle patologie*, DEI editore, Roma, 2007.
- GASPAROLI P., *Le superfici esterne degli edifici*, Alinea Editrice, Firenze, 2002.
- GODOLI E. (a cura di), *Architetture del Novecento: la Toscana*, Polistampa, Firenze, 2001.
- ILG U., *Il liberty a Lucca: architetture e committenti di primo Novecento*, M. Pacini Fazzi, Lucca, 2002.
- IODICE M. (a cura di), *Borgo Panigale. Antiche ville in un quartiere moderno*, Comune di Bologna, Bologna, 2004.
- MAGAUDDA G., *Il biodeterioramento dei beni culturali*, ENEA & Borgia Editore, Roma, 1994.
- MARIANO F. (a cura di), *L'età dell'eclettismo: arte e architettura nelle Marche fra Ottocento e Novecento*, Nerbini, Firenze, 2004.
- NIMIS P.L., PINNA D., SALVADORI O., *Licheni e conservazione dei monumenti*, CLUEB Editrice, Bologna, 1992.
- POLANO S., *Guida all'architettura italiana del Novecento*, Electa, Milano, 1991.

- PUCINOTTI R., *Patologia e diagnostica del cemento armato*, Flaccovio, Palermo, 2006.
- RICCI G. (a cura di), *Guide di architettura. Milano*, Torino, Allemandi, 1990.
- ROMEO C. R. (a cura di), *Un primo approccio all'arte e all'architettura liberty: tra conoscenza e restauro*, L'Artistica Editrice, Savignano (CN), 2013.
- SPEZIALI A., *Una stagione del Liberty a Riccione*, Maggioli, Sant'Arcangelo di Romagna, 2010.
- SPEZIALI A., *Romagna Liberty*, Maggioli, Sant'Arcangelo di Romagna (RN), 2012.
- ZILOCCHI B., IOTTI M., *Gli anni del Liberty a Parma*, Battei, Parma, 1993.

ARTICOLI IN RIVISTE

- COLLEPARDI M., *A state-of-the-art review on delayed ettringite formation*, in "Cement and Concrete Composition", n. 25, 2003, pp. 401-407.
- MERINI F., *Gli splendori Liberty di primo Novecento in totale abbandono*, in "Corriere di Bologna", 25 ottobre 2007.
- MIDDENDORF B., HUGHES J. J., CALLEBAUT K., BARONIO G., PAPAYIANNI I., *Investigative methods for the characterisation of historic mortars – part 1: Mineralogical characterization*, in "Materials and Structure", n. 38, 2005, pp. 761-769.
- MUGGIA A., *Villa Gina a Borgo Panigale presso Bologna*, in "L'edilizia moderna", anno XIV, fascicolo XI, 1905, pp. 57-58.
- NALDI P., *Il fantasma Liberty*, in "La Repubblica - sezione Bologna", 3 giugno 2009, p. 11.
- PAURI M., COLLEPARDI M., *La stabilità termo-igrometrica della thaumasite e della ettringite*, in "Il cemento", 1989, n. 3, p. 177.
- TIANO P., ACCOLLA P., TOMASELLI L., *Phototrophic biodeteriogens on lithoid surfaces: an ecological studies*, in "Microbial Ecology", n. 29, 1995, pp. 299-209.
- Anonimo, *Lo sviluppo dell'industria dei lavori in cemento e delle pietre artificiali*, in "Il Cemento", anno V, n. 12, 1908, p. 148.

ATTI DI CONVEGNO

- AA.VV., *Proceedings of the International Conference Heritage Protection: Construction aspects*, Atti del Convegno "Conference and Brokerage event. The construction aspects of Built Heritage Protection", Dubrovnik, 14-17 ottobre 2006, Radic J. et alii Eds, Dubrovnik, Croazia, 2006.
- AA.VV., *Atti del 9° Convegno Nazionale di Scienza e Tecnologia dei Materiali*, Atti del Convegno "AIMAT - Associazione Italiana d'Ingegneria dei Materiali", Piano di Sorrento, 29 giugno-2 luglio 2008, Ziino Edizioni, Castellammare di Stabia (NA), 2008.
- ASSOCIAZIONE ITALIANA TECNICO ECONOMICA DEL CEMENTO (AITEC), *La durabilità delle opere in calcestruzzo*, atti del convegno AITEC, Padova, 8-9 ottobre 1987, AITEC, Roma, 1988.
- BISCONTIN G., VOLPIN S. (a cura di), *Superfici dell'Architettura: le Finiture*, Atti del Convegno di Studi "Scienza e Beni Culturali", Bressanone, 26-29 giugno 1990, Libreria Progetto, Padova, 1990.
- BISCONTIN G., MIETTO D. (a cura di), *Calcestruzzi antichi e moderni: storia, cultura e tecnologia*, Atti del Convegno di Studi "Scienza e Beni Culturali", Bressanone, 6-9 luglio 1993, Libreria Progetto, Padova, 1993.
- BISCONTIN G., DRIUSSI G. (a cura di), *Architettura e materiali del Novecento. Conservazione, restauro, manutenzione*, Atti del Convegno di Studi "Scienza e Beni Culturali", Bressanone, 13-16 luglio 2004, Arcadia Ricerche, Venezia, 2004.

DOCUMENTI DI ARCHIVIO

- Archivi Architetti Bolognesi (AAB), Fondo *Attilio Muggia*, cartella 2/20, E XXV - A X Palazzi diversi: Progg. nn. 853 e 886 (nn. 87-101), 1050 (nn. 102-107), 1100 (n. 108), 1209 (nn. 109-121), 1289 (nn. 122-132), 2319 (nn. 133-167), 2429 (nn. 168-171), 2543 (nn. 172-186), 2549 (nn. 187-215), presso: Ordine degli Architetti di Bologna.
- Archivi Architetti Bolognesi (AAB), Fondo *Attilio Muggia*, cartella 4/40, *Fabbricato in via Dante*, prog. n. 2501, presso: Ordine degli Architetti di Bologna.
- Archivi Architetti Bolognesi (AAB), Fondo *Attilio Muggia*, cartella 4/44, *Villino Pennazzi a Borgo Panigale (nn. 1-102)*, presso: Ordine degli Architetti di Bologna.
- Archivi Architetti Bolognesi (AAB), Fondo *Attilio Muggia*, carteggio 43, presso: Ordine degli Architetti di Bologna.
- Archivio Muggia (AM), fondo privato, sezione di architettura, MUGGIA A., *Progetto di Villa Gina, via S. Agnese*, presso: Università "Alma Mater Studiorum" di Bologna.
- Archivio Storico Comunale Lucca (ASCLu), PG a. 1917, n. 2942, cat. 5.1.1, Permesso di Costruire num. 231/1915.

TESI DI LAUREA E DOTTORATO

- BOUVET E., *Studio dei biodeteriogeni delle architetture funerarie dell'Ottagono della Villetta (Parma)*, Tesi di laurea, Corso di laurea in Scienze per i Beni Culturali, Università degli Studi di Parma, relatore: prof. R. Bolpagni, A.A. 2007-2008.
- TRATTINO E., *Il degrado del cemento armato. Dinamiche, recupero e prevenzione*, Dottorato di Ricerca in Ingegneria delle Costruzioni, XVIII ciclo, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Napoli Federico II, prof. M. Fumo, 2006.

SITOGRAFIA

- BUZZI UNICEM, *Manuale di utilizzo del legante idraulico a base di clinker solfoalluminato*, <http://www.buzziunicem.it/online/download.jsp?idDocument=2323&instance=1>, (settembre 2014).
- CESTELLI GUIDI M., *Tecniche di diagnostica per i beni culturali: applicazioni della spettroscopia infrarossa allo studio delle sezioni stratigrafiche di un'opera d'arte*, in "INFN - Incontri di Fisica 2013", 2013, http://www.inf.infn.it/edu/incontri/2013/presentazioni/gdl/gruppo_P.pdf, (aprile 2014).
- COLLEPARDI M., *E come Ettringite. Dott. Jekyll e Mr. Hyde*, in "enco journal/Archivio: Il meglio di enco journal/L'ABC del calcestruzzo", n. 5, <http://www.enco-journal.com/abc.html>, (luglio 2014).
- COLLEPARDI M. *et alii*, *Attacco dei cloruri sulle strutture in c.a.*, in: "enco journal", anno XI, n. 35, 2006, pp. n.p., <http://www.enco-journal.com/journal/ej35/vulnerabile.html>, (maggio 2014).
- COPPOLA L., SERVIZIO TECNOLOGICO DI BETONROSSI S.p.A. (a cura di), *I cementi comuni e la norma UNI-EN 197-1*, in: "BBC Betonrossi Basic Concrete", 2010, <http://www.betonrossi.it/cont/brochures/dettaglio/1010/0402/546all1.pdf>, (febbraio 2014).
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (a cura di), *Air Quality in Europe report 2011*, in: "Mal'Aria 2012. Città italiane malate croniche di traffico e smog. Sempre insufficienti le politiche per tutelare la salute dei cittadini e migliorare la qualità della vita nei centri urbani", Legambiente, 20 gennaio 2012, http://www.legambiente.it/sites/default/files/docs/dossier_malaria_2012_finale_0.pdf, (marzo 2013).

- FRATINI F., *La diagnostica mineralogico petrografia nello studio delle malte antiche*, 2013, http://www.igiic.org/UserFiles/File/Fabio%20Fratini_PPT.pdf, (febbraio 2014).
- MASSIDDA L., *Le cause di degrado del calcestruzzo e delle opere in calcestruzzo armato*, in "enco journal", anno XVI, n. 53, 2011, pp. 16-19, <http://www.encojournal.com/journal/n.53.pdf>. (giugno 2014).
- PAURI M., COLLEPARDI M., *La stabilità termo-igrometrica della thaumasite e della ettringite*, in "Il Cemento", anno 86, n.3, 1989, pp. 176-184, <http://www.encosrl.it/enco%20srl%20ITA/servizi/pdf/restauro/5.pdf>, (giugno 2014).
- ZAMPETTI G., MINUTOLO A. (a cura di), *Mal'aria di città 2013. L'inquinamento atmosferico e acustico nelle città italiane*, in UFFICIO STAMPA DI LEGAMBIENTE, "Mal'aria di città 2013. PM10, PM2,5, ossidi di azoto, ozono e decibel fuori controllo minano salute e sicurezza dei cittadini", Legambiente, 17 gennaio 2013, http://www.legambiente.it/sites/default/files/docs/malaria_di_citta_2013.pdf, (marzo 2013).
- Anonimo, *Bruciano i materassi danno fuoco all'Hotel Milano*, in "Il giorno", Como, 2 settembre 2012, http://www.ilgiorno.it/como/cronaca/2012/09/02/766561-Brunate_hotel-Milano_fuoco_materassi.shtml, (novembre 2013).

NORMATIVA

- Norma UNI 11104:2004 *Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità - Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1*.
- Raccomandazioni NorMal - 1/88 *Alterazioni macroscopiche dei materiali lapidei: lessico*.
- Norma UNI 11182:2006 *Beni Culturali. Materiali lapidei naturali ed artificiali. Descrizione della forma di alterazione - Termini e definizioni*.
- Norma UNI-EN 197-1:2011 - *Cemento - Parte 1: Composizione, specificazioni e criteri di conformità per cementi comuni*.

8.3 BIBLIOGRAFIA CAPITOLO 4

- AA.VV., *Architettura e Urbanistica, Roma Capitale 1870-1911*, Marsilio Editore, Roma, 1984.
- AA.VV., *Costruire abitare. Gli edifici e gli arredi per la Weissenhofstedlung di Stoccarda. Bau und wohnung e Innenräume (1927-28)*, Edizioni Kappa, Roma, 1992.
- BALZANI M. (a cura di), *Restauro, recupero e riqualificazione. Il progetto contemporaneo nel contesto storico*, Edizioni Skira, Milano, 2011.
- BARDELLI P.G. et alii, *La costruzione moderna in Italia*, EdilStampa, Roma, 2001.
- BELLINI A. et alii, *Che cos'è il restauro? Nove studiosi a confronto*, Marsilio, Venezia, 2005.
- BERTOZZI P., GHINI A., GUARDIGLI L. (a cura di), *Le forme della tradizione in architettura. Esperienze a confronto*, Franco Angeli, Milano, 2005.
- BOTENARU DAN M., PØIKRYL R., TÖRÖK Á. (a cura di) *Materials, Technologies and Practice in Historic Heritage Structures*, Springer, Berlino, Germania, 2010.
- BRANDI C., *Teoria del restauro*, Einaudi Editore, Torino, (I ed. 1963), 1977.
- CARBONARA G., *Avvicinamento al restauro: teoria, storia, monumenti*, Liguori Editore, Napoli, 1997.
- GRECO A., QUAGLIARINI E. (a cura di), *L'involucro edilizio: una progettazione complessa*, Alinea Editrice, Firenze, 2007.
- LONGHI D., *Novecento: architetture e città del Veneto*, Il poligrafo, Padova, 2012.
- MARINO B. G., *Restauro e autenticità. Nodi e questioni critiche*, Edizioni Scientifiche Italiane, Napoli, 2006.

- RICCI G. (a cura di), *Guide di architettura. Milano*, Allemandi, Torino, 1990.
- ROMEO C. R. (a cura di), *Un primo approccio all'arte e all'architettura liberty: tra conoscenza e restauro*, L'Artistica Editrice, Savignano (CN), 2013.
- SBORGHINI F. (a cura di), *Il mito del Moderno. La cultura liberty in Liguria*, Fondazione Cassa di risparmio Genova e Imperia, Genova, 2003.
- SCARZELLA P., ZERBINATI M., *Superfici murarie dell'edilizia storica. Conservazione e manutenzione: malte e conglomerati a vista*, Alinea Editrice, Firenze, 2010.
- SCUNZA R. (a cura di), *Villa Rosa di Altare. Da Resistenza a museo*, San Giorgio Editore, Genova, 2007.
- SELVAFOLTA O. (a cura di), *Edilizia residenziale: costruire in Lombardia: 1880-1980*, Mondadori Electa, Milano, 1985.

ARTICOLI IN RIVISTE

- BARDELLI P. G., *Restauro o manutenzione. Una esperienza singolare in Torino*, in "Recuperare", anno III, luglio-agosto 1984, pp. 339-343.
- BORIANI M., *Restaurare il "moderno"? Difficoltà tecniche e teoriche di un tema di attualità*, in "Costruire in laterizio", n.60, 1997, pp.392-397.
- CARBONARA G., *Il restauro del moderno come problema di metodo*, in "Parametro", n. 266, 2006, pp. 21-25.
- GIORDANO L., MANCINI G., *L'impiego degli SCC nelle riparazioni strutturali*, in "Concreto", n. 74, 2007, p. 52.
- NELVA R., *Calcestruzzi armati e pietre artificiali nei primi anni di applicazione del bêtôn armé in Italia*, in "Recupero e conservazione", a. I, n. 3, 1995, pp. 29-40.
- NELVA R., SIGNORELLI B., *Impieghi della pietra artificiale e dei ferri battuti nelle architetture in Piemonte in epoca Art Nouveau*, in "Atti e rassegna tecnica-Società degli ingegneri e architetti in Torino", a. LIII, n. 2, 1999, pp. 54-64.
- PIZZI G., FORMICA L., *La conservazione delle facciate di Casa Campanini a Milano*, in "TeMA", n.3, 1994, pp. 15-22.

ATTI DI CONVEGNO

- AA. VV., *Malte a vista con sabbie locali nella conservazione degli edifici storici: relazioni di ricerca e atti del seminario 6-7-8 luglio 2000*, Atti del Convegno "Malte a vista con sabbie locali nella conservazione degli edifici storici", Torino, 6-8 luglio 2000, DISET, Politecnico di Torino, 2000.
- BISCONTIN G., MIETTO D. (a cura di), *"Calcestruzzi antichi e moderni: storia, cultura e tecnologia"*, Atti del Convegno di Studi "Scienza e Beni Culturali", Bressanone, 6-9 luglio 1993, Libreria Progetto, Padova, 1993.
- BISCONTIN G., DRIUSSI G. (a cura di), *Architettura e materiali del Novecento. Conservazione, restauro, manutenzione*, Atti del Convegno di Studi "Scienza e Beni Culturali", Bressanone, 13-16 luglio 2004, Arcadia Ricerche, Venezia, 2004.
- PALAZZOTTO E. (a cura di), *Il restauro del moderno in Italia e in Europa*, Atti del convegno "Il restauro del moderno in Italia e in Europa", Palermo, 11-12 giugno 2007, Franco Angeli, Milano, 2011.

DOCUMENTI DI ARCHIVIO

- Archivio Capitolino di Roma (ACRm), Ispettorato Edilizio, prot. 4162, anno 1909.

SITOGRAFIA

- ACQUARIO E Civica Stazione Idrobiologica Milano, 2007, http://www.acquario-civicomilano.eu/cms/index.php?option=com_content&task=view&id=62&Itemid=218, (settembre 2014).
- BUGINI R., FOLLI L. (a cura di), *Le pietre impiegate nell'architettura milanese e lombarda*, in: "Lezioni di petrografia applicata", CNR - Istituto per la Conservazione e la Valorizzazione dei Beni Culturali, Edizione 2008, <http://www.icvbc.cnr.it/didattica/petrografia/9.htm> (settembre 2014).
- CAPPELLI F., ZANARDO D., *Il restauro della liberty "Villa Sardi"*, in: "Atti del VI Congresso Nazionale IGIIC. Lo Stato dell'Arte 8", Venezia 16-18 settembre 2010, pp. 101-108, http://www.chiavedivolta.ve.it/articoli/congresso_igiic.pdf, (luglio 2014).
- EU-Project n. 226898 ROCARE FP7-ENV-2008-1, *Roman cements for architectural restoration to new high standards*, <http://www.rocare.eu/page/seite,roman-cement.html>, 2010, (maggio 2014).
- EU-Project n. 226898 ROCARE FP7-ENV-2008-1, 2010, <http://www.rocare.eu/page/seite,conservation-projects-using-roman-cement-technology.html> (maggio 2014).
- FERRAGNI D., FORTI M., MALLET J., TEUTONICO I.M., TORRACA G., *Injection grouting of mural paintings and mosaics*, in: "Adhesives and consolidants: contributions to the 1984 IIC Congress", 01/1984, Paris, pp.81-86, <https://www.iiconservation.org/node/1289>, (luglio 2014).
- INSTITUTE OF ART AND TECHNOLOGY CONSERVATION SCIENCES (IATCS), University of Applied Arts Vienna, *About Roman cement and the ROCARE-project*, 2010, <http://www.rocare.eu/page/seite,about-us.html>, (maggio 2014).
- PECORARO I., *Restauro dei monumenti architettonici: cenni sul significato dei termini*, Comunicazione svolta in occasione della settimana della cultura, 14 maggio 2007, presso la sede arcivescovile di Brindisi, piazza Duomo, 12 – Brindisi, <http://www.brindisiweb.it/arcidiocesi/doc/corso-brindisi-tutor.pdf>, (settembre 2014).
- VEGAS F., MILETO C. (a cura di), *New old restoration techniques for modern buildings: refurbishment of La Casa de la Madrina, Valencia (Spain)* in AA.VV., "International Seminar on the Management of the Shared Mediterranean Heritage", Institute de recherche pour le développement – UNESCO, Alejandria, 2005, <http://personales.upv.es/cami2/investigaci%C3%B3n/articulos%20en%20pdf/MILETO%20Y%20VEGAS%20-%20ISMARMED.pdf> (giugno 2014).
- WEBER J., *Roman cement – forgotten historic binder of Europe's built heritage. EU research projects ROCEM and ROCARE*, in: "RENOVA Info-Day Warszawa", 25-05-2012, <http://www.rocare.eu/page/imgt/file/Weber.pdf>, (maggio 2014).

NORMATIVA

- Legge n. 457 del 5/08/1978, *Norme per l'edilizia residenziale*.
- D. Lgs. n. 42 del 22/01/2004, *Codice dei beni culturali e del paesaggio*.
- D.L. "Sviluppo" n. 70 del 13/05/2011, convertito con modificazione dalla Legge n. 106 del 12/07/2011.

8.4 BIBLIOGRAFIA CAPITOLI 5, 6 E 7

- AA.VV., *Il calcestruzzo nelle opere di Carlo Scarpa. Forme, Alterazioni, Interventi*, Editrice Compositori, Bologna, 2005.
- ALUNNO ROSSETTI V., *Il calcestruzzo: materiali e tecnologia*, McGraw-Hill, Milano, 2007.

- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI) (a cura di), *Concrete Repair Manual*, Terza Edizione, International Concrete Repair Institute, Farmington Hills, Michigan, USA, 2008.
- AVRAMIDOU N., *Criteri di progettazione per il restauro delle strutture in cemento armato*, Liguori, Napoli, 1990.
- BALDINI E., *Manuale del calcestruzzo: per il controllo della produzione nella pratica di cantiere e dello stabilimento di produzione di preconfezionati e di prefabbricati: ad uso dei tecnici del settore, dei direttori dei lavori e degli allievi degli istituti e delle scuole professionali*, Ed. C.E.L.I., Bologna, 1972.
- BARDELLI P.G., FILIPPU E., GARDA E. (a cura di), *Curare il moderno. I modi della tecnologia*, Marsilio, Venezia, 2002.
- BELLINI A. et alii, *Che cos'è il restauro? Nove studiosi a confronto*, Marsilio, Venezia, 2005.
- BERTOLINI L., *Materiali da costruzione. Struttura, proprietà e tecnologie di produzione*, vol.I, Città Studi Edizioni, Torino, 2006.
- BERTOLINI L., *Materiali da costruzione. Degradazione, prevenzione, diagnosi e restauro*, vol.II, Città Studi Edizioni, Torino, 2012.
- BRANDI C., *Teoria del restauro*, Einaudi, Torino, 1977.
- CALLEGARI G., MONTANARI G. (a cura di), *Progettare il costruito. Cultura e tecnica per il recupero del patrimonio architettonico del XX secolo*, Franco Angeli, Milano, 2001.
- CARBONARA G. (a cura di), *Restauro e cemento in architettura*, vol.I, Associazione italiana tecnico economica del cemento (AITEC), Roma 1981.
- CARBONARA G. (a cura di), *Restauro e cemento in architettura*, vol.II, Associazione italiana tecnico economica del cemento (AITEC), Roma 1984.
- CARBONARA G., *Avvicinamento al restauro. Teoria, storia, monumenti*, Liguori Editore, Napoli, 1997.
- CARBONARA G., *Architettura d'oggi e restauro. Un confronto antico-nuovo*, UTET, Torino, 2011.
- COLLEPARDI M., *Scienza e tecnologia del calcestruzzo*, U. Hoepli, Milano, 3° ed., 1991.
- DE TOMMASI G., FATIGUSO F., *L'edilizia a struttura mista dei primi del Novecento: procedure e interventi per la conservazione e manutenzione*, Mario Adda Editore, Bari, 2008.
- DEZZI BARDESCHI M. (a cura di), *La conservazione del calcestruzzo armato nell'architettura moderna e contemporanea. Monumenti a confronto*, "Quaderni di ananke", 2.2010, Alinea Editrice, Città di Castello (PG), 2010.
- DI BIASE C. (a cura di), *Il degrado del calcestruzzo nell'architettura del Novecento*, Maggioli, Sant'Arcangelo di Romagna (RN), 2009.
- DONGHI D., *Manuale dell'architetto*, vol.1, UTET, Torino, 1906.
- FABBRI R. (a cura di), *Novecento: ex caserma dei vigili del fuoco, auditorium del conservatorio Frescobaldi, ex serbatoio di piazza 24 maggio, fondo Carlo Savonuzzi, per il restauro dell'auditorium, per la salvaguardia dell'architettura del '900*, vol. III, Comune e Università degli studi, Facoltà di architettura Biagio Rossetti, Ferrara, 2008.
- FEODOSEV V.I., *Resistenza dei materiali*, Editori Riuniti University press, Roma, 2011.
- GIMMA M.G., *Il restauro dell'architettura moderna*, BetaGamma, Viterbo, 1993.
- GORIA C., CUSSINO L., BORASI V. (a cura di), *Cemento: storia, tecnologia, applicazioni*, Fabbri, Milano, 1976.
- GRIGNOLO R. (a cura di), *Diritto e salvaguardia dell'architettura del XX secolo*, Silvana Editoriale, Mendrisio, Svizzera, 2014.
- GUARISCO G. (a cura di), *L'architettura moderna: conoscenza, tutela, conservazione*, Alinea Editrice, Firenze, 1993.
- IENTILE R., *Architetture in cemento armato. Orientamenti per la conservazione*, Franco Angeli, Milano, 2008.

- MACCHIA C., RAVETTA F., *Degrado e ripristino delle strutture in calcestruzzo*, Maggioli, Rimini, 1995.
- MARINO R. (a cura di), *La durabilità delle strutture. Calcestruzzo e normativa*, La Fiaccola, Milano, 2007.
- PALAZZOTTO E. (a cura di), *Il restauro del Moderno in Italia e in Europa*, Franco Angeli, Milano, 2011.
- PEDEFERRI P., *La corrosione del calcestruzzo. Fenomenologia, prevenzione, diagnosi, rimedi*, Roma, AICAP-Pubblicamento, Roma, 2006.
- REICHLIN B., PEDRETTI B. (a cura di), *Riuso del patrimonio architettonico*, Silvana Editoriale, Mendrisio, Svizzera, 2011.
- SCARROCCHIA S. (a cura di), *Alois Riegl. Il culto moderno dei monumenti. Il suo carattere e i suoi inizi*, Nuova Alfa, Bologna, 1990.
- SCARZELLA P., ZERBINATI M., *Superfici murarie dell'edilizia storica. Conservazione e manutenzione: malte e conglomerati a vista*, Alinea Editrice, Firenze, 2010.
- SIVIERO E., CANTONI R., FORIN M., *Durabilità delle opere in calcestruzzo. Degrado del calcestruzzo, corrosione delle armature, prevenzione, misura della durabilità, sperimentazione e controlli*, Franco Angeli, Milano, 1995.

ARTICOLI IN RIVISTE

- BERTOLINI L., CARSANA M., REDAELLI E., *Conservation of historical reinforced concrete structures damaged by carbonation-induced corrosion by means of electrochemical realkalisation*, in "Journal of Cultural Heritage", vol. 9, n. 4, 2008, pp. 376-385.
- CARBONARA G., *Il restauro del moderno come problema di metodo*, in "Parametro", n. 266, anno XXXVI, 2006, pp. 21-25.
- DALLA NEGRA R., *Il rispetto dell'autenticità del testo: alcune esperienze per la protezione dei paramenti lapidei esterni in edifici storici*, in "Arkos", n. 24, 2011, pp. 46-48.
- DELLA TORRE S., *Conservazione programmata: i risvolti economici di un cambio di paradigma*, in "Il capitale culturale", n. 1, 2010, pp. 47-55.
- DEZZI BARDESCHI M., *Conservare, non riprodurre il moderno*, in "Domus", n. 649, 1984, pp. 10-13.
- EMBERSON N.K., MAYS G.C., *Significance of property mismatch in the patch repair of structural concrete. Part 2. Axially loaded reinforced concrete members*, in "Magazine of Concrete Research", V. 42, n. 152, 1990, pp. 161-170.
- IRACE F., *La conservazione del moderno*, in "Domus", n. 649, 1984, pp. 2-5.
- KAMADA T., LI V.C., *The effect of surface preparation on the fracture behaviour of ECC/concrete repair system*, in "Cement & Concrete Composites", Elsevier, n. 6, 2000, pp. 423-431.
- SALVO S., *Facciate continue. Dopo il restauro del grattacielo Pirelli*, in "L'architetto italiano", n. 14, 2006, pp. 92-97.

ATTI DI CONVEGNO

- BARELLI M.L., LIVI T. (a cura di), *La salvaguardia del patrimonio architettonico del XX secolo: problemi, prospettive, strategie*, Atti del Convegno Internazionale, Torino, 26-27 novembre 1998, Lybra Immagine, Milano, 2000.
- BISCONTIN G., VOLPIN S. (a cura di), *Superfici dell'Architettura: le Finiture*, Atti del Convegno di Studi "Scienza e Beni Culturali", Bressanone, 26-29 giugno 1990, Libreria Progetto, Padova, 1990.
- BISCONTIN G., MIETTO D. (a cura di), *Calcestruzzi antichi e moderni: storia, cultura e tecnologia*, Atti del Convegno di Studi "Scienza e Beni Culturali", Bressanone, 6-9 luglio 1993, Libreria Progetto, Padova, 1993.

- BISCONTIN G., DRIUSSI G. (a cura di), *Architettura e materiali del Novecento. Conservazione, restauro, manutenzione*, Atti del Convegno di Studi "Scienza e Beni Culturali", Bressanone, 13-16 luglio 2004, Arcadia Ricerche, Venezia, 2004.
- BISCONTIN G., DRIUSSI G. (a cura di), *Restaurare i Restauri: metodi, compatibilità, cantieri*, Atti del Convegno di Studi "Scienza e Beni Culturali", Bressanone, 24-27 giugno 2008, Arcadia Ricerche, Venezia, 2008.
- CANZIANI A. (a cura di), *Conservare l'architettura. Conservazione programmata per il patrimonio architettonico del XX secolo*, Atti della Conferenza Internazionale "Planned conservation of XXth century architectural heritage: a review of policies and practices", Como, 30-31 Ottobre 2009, Mondadori Electa, Milano, 2009.
- CASCIATO M., MORNATI S., PORETTI S. (a cura di), *Architettura moderna in Italia: documentazione e conservazione: primo Convegno nazionale Do.co.mo.mo Italia*, Atti del Primo Convegno Nazionale "Do.co.mo.mo Italia", Roma, 21-23 gennaio 1998, EdilStampa, Roma, 1999.
- DE JONGE W., DOOLAAR A. (a cura di), *The Fair Face of Concrete: Conservation and Repair of Exposed Concrete*, Atti del Seminario "International DOCOMOMO", Eindhoven, 8 Aprile 1997, Do.co.mo.mo. International, Eindhoven, Olanda, 1998.
- MESSINA M., ZAGRA G., *Conservare il Novecento: oltre le carte*, Atti del Convegno Nazionale "Salone Internazionale dell'arte del restauro e della conservazione dei beni culturali e ambientali", Ferrara, 25-26 marzo 2000, Associazione Italiana Biblioteche (AIB), Roma, 2003.
- PRATALI MAFFEI S., RAVELLO F. (a cura di), *Il moderno tra conservazione e trasformazione. Dieci anni di Do.Co.Mo.mo Italia: bilanci e prospettive*, Atti del Convegno Internazionale, Trieste, 5-8 dicembre 2005, Ediltreg, Trieste, 2005.

TESI DI LAUREA E DOTTORATO

- BALDAZZI L., *Problemi di diagnostica e restauro dei materiali decorativi nell'architettura liberty in Emilia-Romagna*, Dottorato di Ricerca in Ingegneria dei Materiali, XXIV ciclo, Dipartimento di Ingegneria, Università di Bologna Alma Mater Studiorum, prof. E. Franzoni, 2012.
- DI SIMONE I., *Nanomateriali per il restauro architettonico: stato dell'arte e prospettive*, Tesi di laurea, Dipartimento di Ingegneria civile, chimica, ambientale e dei materiali, Università di Bologna, relatore: prof. E. Franzoni, A.A. 2011-2012.
- GALLO N., *Durabilità di materiali compositi applicati su murature in ambiente aggressivo: influenza della cristallizzazione salina sul fenomeno di aderenza*, Tesi di laurea, Corso di laurea in Ingegneria Civile, Università degli Studi di Padova, relatore: prof. M.R. Valluzzi, A.A. 2013-2014.
- ROCCHI L., *La pietra artificiale nell'architettura del "ventennio fascista". Conoscenza e sperimentazione per il restauro*, Dottorato di Ricerca in Tecnologia dell'Architettura, XXII ciclo, Dipartimento di Architettura, Università degli Studi di Ferrara, prof. R. Fabbri, 2010.

SITOGRAFIA

- ALESSANDRINI G., PASETTI A. (a cura di), *Elenco ragionato delle Raccomandazioni Normal*, 2004, <http://www.tine.it/normal/normal.htm>, (marzo 2014).
- BERRA M., *L'uso della nanosilice per prevenire la reazione espansiva alcali-silice nel calcestruzzo*, Cesi Ricerca, Febbraio 2008, http://www.rse-web.it/documenti.page?RSE_manipulatePath=yes&RSE_originalURI=/documenti/documento/659&country=ita, (agosto 2014).
- ICOMOS (a cura di), *Icomos charter - Principles for the analysis, conservation*

and structural restoration of architectural heritage, Atti del convegno: "ICOMOS 14th General Assembly", Victoria Falls, Zimbabwe, 27-31 ottobre 2003, <http://www.international.icomos.org/charters/charters.pdf>, (luglio 2014).

- <http://patrimoine21.blogspot.it/>, (settembre 2014).
- <http://www.docomomoitalia.it/drupal/profilo>, (maggio 2014).
- <http://www.libertyandel.it/>, (aprile 2014).
- <http://www.romagnaliberty.it/>, (aprile 2014).
- <http://www.italialiberty.it/>, (aprile 2014).
- <http://www.arteliberty.it/architettura.html>, (aprile 2014).
- MONTESPERELLI G. *et alii*, *Valutazione della resistenza alla corrosione di acciai ad alto tenore di azoto sensibilizzati ad alta temperatura*, in: Atti delle IX Giornate Nazionali sulla Corrosione e Protezione, Monte Porzio Catone, 6-8 Luglio 2011, pp. 113-122, <http://art.torvergata.it/handle/2108/42700>, (giugno 2013).
- RATTAZZI A., *Linee Guida per la caratterizzazione di una malta storica e per la malta da intervento*, in: "Giornata di aggiornamento sulla normativa tecnica per la Conservazione dei Beni Culturali", L'Aquila, 23 settembre 2010, http://82.186.56.163/aieance/documentazione_incontri/file/5_linee_guida_caratterizzazione_di_una_malta_storica.pdf, (febbraio 2014).

NORMATIVA

- ACI 201.2R, 1997, *Guide to Durable Concrete*.
- ACI 503.5R-92, 2003, *Guide for the Selection of Polymer Adhesives with Concrete*.
- ASTM E96 / E96M-13, *Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials*, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013.
- ASTM C418-12, *Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete by Sandblasting*, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012.
- ASTM C666 / C666M-03(2008), *Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing*, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2008.
- ASTM C944 / C944M-12, *Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete or Mortar Surfaces by the Rotating-Cutter Method*, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012.
- ASTM C1012 / C1012M-13, *Standard Test Method for Length Change of Hydraulic-Cement Mortars Exposed to a Sulfate Solution*, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013.
- D.L. "Sviluppo" n. 70 del 13/05/2011, convertito con modificazione dalla Legge n. 106 del 12/07/2011.
- D. Lgs. n. 490 del 29/10/1999, *Testo Unico delle disposizioni legislative in materia di beni culturali e ambientali*.
- D. Lgs. n. 42 del 22/01/2004, *Codice dei beni culturali e del paesaggio*.
- D.M. 14/01/2008, *Norme tecniche per le costruzioni*.
- Legge n.1089 del 1/06/1939, *Tutela delle cose di interesse storico e artistico*.
- Raccomandazioni NorMal - 1/88, *Alterazioni macroscopiche dei materiali lapidei: lessico*.
- UNI CEN/TR 15697:2008, *Cemento - Prove prestazionali di resistenza ai solfati - Rapporto sullo stato dell'arte*.
- UNI EN 196, *Metodi di prova dei cementi*.
- UNI EN 197, *Cemento*.
- UNI EN 206-1:2006, *Calcestruzzo - Parte 1: Specificazione, prestazione, produzione e conformità*.
- UNI EN 450, *Ceneri volanti per calcestruzzo*.
- UNI EN 480, *Additivi per calcestruzzo, malta e malta per iniezione - Metodi di prova*.

- UNI EN 934, *Additivi per calcestruzzo, malta e malta per iniezione.*
- UNI EN 1008:2003, *Acqua d'impasto per il calcestruzzo - Specifiche di campionamento, di prova e di valutazione dell'idoneità dell'acqua, incluse le acque di recupero dei processi dell'industria del calcestruzzo, come acqua d'impasto del calcestruzzo.*
- UNI EN 1504, (10 PARTI), *Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Definizioni, requisiti, controllo di qualità e valutazione della conformità.*
- UNI EN 1744-1:2013, *Prove per determinare le proprietà chimiche degli aggregati - Parte 1: Analisi chimica.*
- UNI EN 12620:2008, *Aggregati per calcestruzzo.*
- UNI EN 13263, *Fumi di silice per calcestruzzo.*
- UNI EN 13396:2004, *Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Misurazione della penetrazione degli ioni cloruro.*
- UNI EN 14216:2005, *Cemento - Composizione, specificazioni e criteri di conformità per cementi speciali a calore di idratazione molto basso.*
- UNI EN 14647:2006, *Cemento alluminoso - Composizione, specificazioni e criteri di conformità.*
- UNI EN 15743:2010, *Cemento sovrassolfatato - Composizione, specifiche e criteri di conformità.*
- UNI 8520, *Aggregati per confezione di calcestruzzi.*
- UNI 10813:1999, *Beni Culturali. Materiali lapidei naturali ed artificiali - Verifica della presenza di microrganismi fotosintetici su materiali lapidei mediante determinazione spettrofotometrica UV/Vis delle clorofille e, b e c.*
- UNI 10859:2000, *Beni Culturali. Materiali lapidei naturali ed artificiali - Determinazione dell'assorbimento dell'acqua per capillarità.*
- UNI 10921:2001, *Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Prodotti idrorepellenti - Applicazione su provini e determinazione in laboratorio delle loro caratteristiche.*
- UNI 10922:2001, *Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Allestimento di sezioni sottili e sezioni lucide di materiali lapidei colonizzati da biodegeneri.*
- UNI 10923:2001, *Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Allestimento di preparati biologici per l'osservazione al microscopio ottico.*
- UNI 10924:2001, *Beni culturali - Malte per elementi costruttivi e decorativi - Classificazione e terminologia.*
- UNI 10925:2001 *Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Metodologia per l'irraggiamento con luce solare artificiale.*
- UNI 11060:2003, *Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali. Determinazione della massa volumica e della percentuale dei vuoti.*
- UNI 11088:2003, *Beni culturali - Malte storiche e da restauro - Caratterizzazione chimica di una malta – Determinazione del contenuto di aggregato siliceo e di alcune specie solubili.*
- UNI 11089:2003, *Beni culturali - Malte storiche e da restauro - Stima della composizione di alcune tipologie di malte.*
- UNI 11121:2004, *Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Determinazione in campo del contenuto di acqua con il metodo al carburo di calcio.*
- UNI 11139:2004, *Beni culturali - Malte storiche - Determinazione del contenuto di calce libera e di magnesia libera.*
- UNI 11140:2004, *Beni culturali - Malte storiche - Determinazione del contenuto di anidride carbonica.*
- UNI 11182:2006, *Beni Culturali. Materiali lapidei naturali ed artificiali. Descrizione della forma di alterazione - Termini e definizioni.*
- UNI 11176:2006, *Beni Culturali - descrizione petrografica di una malta.*
- UNI 11177:2006, *Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Istruzio-*

ni complementari per l'applicazione della EN ISO 12571 - Prestazione igrotermica dei materiali e dei prodotti per l'edilizia - Determinazione delle proprietà di assorbimento igroscopico.

- UNI 11182:2006, *Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Descrizione della forma di alterazione - Termini e definizioni.*
- UNI 11187:2006, *Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Pulitura con tecnologia laser.*
- UNI 11189:2006, *Beni culturali - Malte storiche e da restauro - Metodi di prova per la caratterizzazione chimica di una malta - Analisi chimica.*
- UNI 11186:2008, *Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Metodologia per l'esposizione a cicli di gelo e disgelo.*
- UNI 11305:2009, *Beni culturali - Malte storiche - Linee guida per la caratterizzazione mineralogico-petrografica, fisica e chimica delle malte.*
- UNI 11432:2011, *Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Misura della capacità di assorbimento di acqua mediante spugna di contatto.*
- UNI 11526:2014, *Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Cianobatteri ed alghe verdi: tecniche culturali.*

