



Università degli Studi di Ferrara

DOTTORATO DI RICERCA IN "TECNOLOGIA DELL'ARCHITETTURA"

CICLOXXIV

COORDINATORE Prof. G.TRIPPA

RENDIMENTO ENERGETICO E AGGREGATO EDILIZIO

Incidenza del contesto aggregativo
sul fabbisogno energetico dell'edilizia residenziale
Il caso di Rotterdam

ENERGY IN THE URBAN CONTEXT

Influence of urban textures
on the energy demand of residential buildings
The case study of Rotterdam

Settore Scientifico Disciplinare ICAR/12

Dottorando

Dott. Arbizzani Enrico

Tutore

Prof. Marzot Nicola

Anni 2009/2011

RENDIMENTO ENERGETICO E AGGREGATO EDILIZIO

Incidenza del contesto aggregativo
sul fabbisogno energetico dell'edilizia residenziale

Il caso di Rotterdam

ENERGY IN THE URBAN CONTEXT

Influence of urban textures
on the energy demand of residential buildings

The case study of Rotterdam

dottorando Enrico Arbizzani
tutor Nicola Marzot

supervisione EIFER
C.Keim J.M.Bahu I.Hossain

2012

Dottorato in Tecnologia dell'Architettura - ciclo XXIV

UNIFE da IUAV dpa dca UNIBO dapt EIFER

Abstract La ricerca mira a fornire una stima dell'incidenza del contesto aggregativo sul fabbisogno energetico per la climatizzazione invernale ed estiva dell'edilizia residenziale. L'indagine ha confrontato 24 campioni di edilizia aggregata selezionati nell'ambito urbano di Rotterdam per livelli di complessità aggregativa. La mappatura tipologica del parco edilizio è stata ottenuta tramite cluster analysis, calcolata sulle caratteristiche morfologiche dell'edilizia. Il fabbisogno energetico e l'irraggiamento solare sono stimati in ambiente GIS assumendo come variabili di calcolo i soli parametri dipendenti dall'assetto morfologico-aggregativo. I risultati ottenuti sono confrontati per serialità aggregativa, tipo edilizio prevalente e uniformità tipologica dei campioni.

Abstract The research aims to calculate the influence of urban textures on the energy demand of residential buildings. It compares 24 samples of housing aggregations in the city of Rotterdam, Netherlands, that are characterized by different levels of texture complexity. Building types are recognized through a clusters analysis of the morphological data of the residential stock. Sun radiation and energy demand for heating and cooling are calculated with a GIS model. The results are compared to the typological uniformity, the prevailing building type and the seriality of the aggregations.

Indice

abstract	5
----------	---

PARTE I

1.0 Section I - objectives methods context [english summary]	12
---	----

1.1 INTRODUZIONE obbiettivi metodologia	13
--	----

scale cointeressate e inerzia dell'aggregato
obbiettivi e metodologia
la collaborazione con EIFER
la struttura della ricerca

1.2 ANALISI DEI FABBISOGNI ENERGETICI DELL'AGGREGATO metodologie a confronto	16
---	----

L'analisi della complessità aggregativa attraverso DEM
il caso studio MIT Ratti Baker Steemers
Il ruolo della tipologia edilizia nel comportamento energetico dell'aggregato
il caso studio di EIFER
Densificazione e fabbisogno energetico
il caso studio Arkitektskolen Aarhus
La certificazione energetica alla scala dell'aggregato
il caso studio ZonaKlima
L'incidenza della densità edilizia nei guadagni solari
il caso studio TUDelft

1.3 PATTERNS AGGREGATIVI metodologie di analisi a confronto	31
--	----

Modelli di analisi per tipi edilizi
il concetto di tipo in architettura
tipo, standard, pattern, categoria e modello.
Il tipo come sistema di rapporti tra scale architettoniche concorrenti
il concetto di rendimento dell'aggregato
classificazione del tessuto per complessità aggregativa
Modello di analisi dei patterns aggregativi
serialità, organicità, genericità

1.4 GLOSSARIO DI DEFINIZIONI	40
------------------------------	----

1.5 Bibliografia Parte I	51
--------------------------	----

PARTE II

2.0 Section II- typological analysis and sampling [english summary]	56
2.1 ANALISI TIPOLOGICA DEL PARCO EDILIZIO individuazione delle componenti edilizie dell'aggregato	57
Limitazione del campo d'indagine modello di analisi in ambiente GIS l'ambito di Rotterdam il dato catastale Limitazione delle destinazioni d'uso	
Mappatura tipologica tramite analisi per clusters statistici selezione dell'algoritmo di clusterizzazing La selezione dei parametri morfologici Analisi delle Componenti Principali Specifiche di calcolo dell'algoritmo Two-Step silhouette di coesione e separazione dei clusters Verifica di stabilità dei risultati	
2.2 ANALISI DEI CLUSTERS riconoscimento tipologico	83
2.3 SCHEDATURA TIPOLOGICA	89
2.4 ANALISI AGGREGATIVA e campionamento	115
Distribuzione delle tipologie prevalenti per aggregato Distribuzione dell'uniformità tipologica per aggregato Distribuzione della serialità aggregativa Campionamento spettro della complessità aggregativa	
2.5 TAVOLE CAMPIONAMENTO	123
2.6 Bibliografia Parte II	154
2.7 MATRICI COMPATARIVE	157

PARTE III

3.0 Section III - solar radiation. energy demand. discussion [english summary]	172
---	------------

3.1 ANALISI DELL'IRRAGGIAMENTO SOLARE	173
--	------------

Assunti di calcolo dell'irraggiamento solare

tool di simulazione sviluppato da ELFER

Incidenza dell'assetto aggregativo nell'irraggiamento solare

simulazione dell'irraggiamento solare per rotazione degli aggregati campione

Letture dei risultati

aggregazione edilizia e guadagno solare medio

orientamento dell'aggregazione e variazione dell'irraggiamento

3.2 FABBISOGNI ENERGETICI PER LA CLIMATIZZAZIONE Modello di calcolo assunti e invarianti	195
---	------------

Limiti di esercizio assunti

Definizione di zona termica

dati climatici e gradi-ora

Fabbisogno energetico per il riscaldamento

Fabbisogno energetico per il raffrescamento

Percentuale di finestratura

tavole

3.3 LETTURA DEI RISULTATI	214
----------------------------------	------------

Prestazioni energetiche dell'assetto morfologico-aggregativo

Fabbisogno e categorie aggregative

fabbisogni energetici e serialità aggregativa

fabbisogni energetici e uniformità tipologica dell'aggregato

fabbisogni energetici e tipo edilizio prevalente

Simulazione di incremento dei livelli prestazionali degli involucri

simulazione di retrofit energetico

L'incidenza dell'aggregato nel fabbisogno energetico

3.4 Bibliografia Parte III	231
-----------------------------------	------------

3.5 Acknowledgments	232
----------------------------	------------

3.6 SCHEDE RIASSUNTIVE DEI CAMPIONI	233
--	------------



PARTE I

Section I objectives methods context The research aims to calculate the influence of urban textures on the energy demand for residential heating and cooling. The work compares 24 samples of housing aggregations in the city of Rotterdam, the Netherlands. The energy demand is calculated assuming standard values for the all the factors that are not influenced by the morphology of the urban texture. The GIS based energetic model has been developed in collaboration with the *European Institute for Energy Research*.

In the first part of the thesis, a comparison of the european states of the research is presented. The works of Ratti, Baker and Steemers (2004); Uytengaak (2008); Steemers (1997); Bæk Pedersen (2009) are compared to the latest investigations of the *European Institute for Energy Research* and the italian studies on the neighbourhood green labelling ZonaClima (Hitthaler 2010). The comparison shows a lack of uniformity in the morphological analysis of urban textures.

A brief summary of the architectural debate on urban patterns is then presented as means to introduce the model of interpretation of Rotterdam textures. The architectural concepts of *type, standard, pattern, invariant* and *model* are then compared in order to define the analytic model, which has been based on housing types recognition and the *degrees of organicity* proposed by Caniggia Maffei (2001).

Introduzione

obbiettivi metodologia

Nei contesti urbani l'edilizia è responsabile di più del 40% del consumo complessivo di energia. In alcuni ambiti europei, tale soglia viene ampiamente superata raggiungendo il 50% o il 60% del fabbisogno (UN-Habitat 2008).

Il ruolo che l'edilizia può ricoprire nella riduzione della domanda energetica è messo oggi a confronto con la tendenza globale all'inurbamento e il dibattito contemporaneo sulla densità urbana sostenibile. Per una massa sempre più critica di edilizia, tale porzione di consumo energetico risulta quindi influenzato dal filtro dell'aggregazione urbana, che vincola l'assetto morfologico dei manufatti e il sistema di relazioni con il contesto microclimatico circostante (Givoni 1989).

scale cointeressate
e inerzia dell'aggregato

Tale incidenza risulta però tendenzialmente *trascurata a causa della complessità dei processi ambientali coinvolti*¹ (Ratti et al. 2004). L'assetto aggregativo dell'edilizia presenta infatti ricadute che coinvolgono differenti scale dimensionali, a cui corrispondono fenomeni, soggetti e competenze distinti. La sua incidenza sulla domanda energetica non risiede però nel solo sistema di rapporti tra scale cointeressate. La configurazione aggregativa si caratterizza infatti per una maggiore *inerzia* al mutamento (Caniggia 1993) rispetto alla capacità di rinnovarsi dei singoli edifici al sopraggiungere di nuove istanze abitative o tecnologiche. L'incidenza dell'assetto aggregativo assume quindi crescente importanza all'aumentare della prospettiva temporale assunta per l'analisi o il progetto architettonico.

¹ testo originale in inglese cfr. Ratti et al.2004

Il lavoro di ricerca è stato quindi finalizzato all'indagine del sistema di reciproche influenze dovute al processo di aggregazione urbana, fornendo una stima dell'incidenza dell'assetto morfologico-aggregativo sui consumi energetici dell'edilizia per la climatizzazione estiva e invernale.

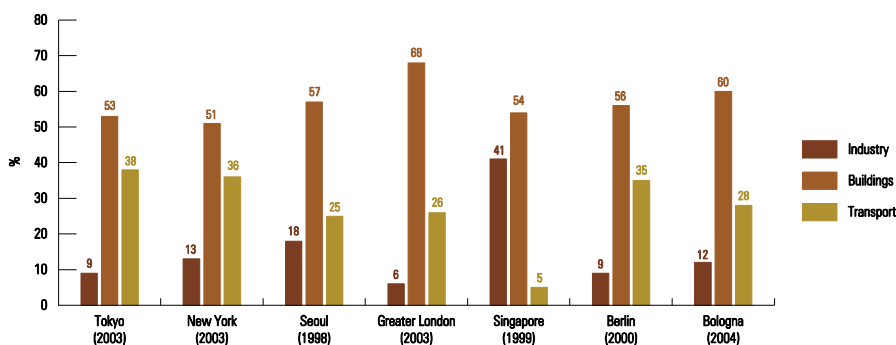
obiettivi

L'indagine ha quindi confrontato il fabbisogno energetico di singoli unità residenziali all'interno di un campione di 24 aggregati edilizi assumendo come variabili di calcolo i soli parametri influenzati dall'assetto aggregativo. I fattori di consumo dipendenti dal comportamento dell'utenza, dall'efficienza degli impianti e dalle soluzioni costruttive degli edifici sono stati pertanto considerati uniformi per ciascuna unità edilizia campionata. La matrice comparativa risultante restituisce quindi un quadro dell'incidenza dei soli fattori morfologico-aggregativi del parco edilizio esistente.

metodologia

La fase di campionamento si è concentrata sull'ambito urbano di Rotterdam, Paesi Bassi, dove si è avvalsa del confronto con gli uffici catastali Landmeten-Gemeentewerken, l'archivio statistiche e licenze dS+V e le collezioni del Gemeentearchief Rotterdam sezione Bouwtekeningen.

ENERGY CONSUMPTION IN SELECTED CITIES IN HIGH-INCOME, INDUSTRIALIZED ECONOMIES



Source: UN-HABITAT Global Urban Observatory 2008
Note: Data from various sources, 1999-2004

[T01] Percentuale di consumo energetico dell'edilizia di differenti contesti urbani a confronto.
fonte UN-Habitat 2008

Il database dei dati morfologici e il modello di simulazione energetica in ambiente GIS sono stati sviluppati tramite la collaborazione con l'European Institute For Energy Research, con sede a Karlsruhe, Germania, tramite la supervisione dei coordinatori C.Keim, J.M.Bahu e I.Hossain. EIFER ha inoltre messo a disposizione un nuovo tool integrato in ambiente GIS per la simulazione dell'irraggiamento solare, di cui questo lavoro rappresenta una delle prime applicazioni a campioni catastali reali.

la collaborazione
con EIFER

**la struttura
della ricerca**

La prima parte del lavoro d'indagine restituisce un quadro dello stato della ricerca europea alla luce del quale emerge l'estrema varietà di modelli di interpretazione dell'aggregazione edilizia. Pertanto è stata integrato nel lavoro d'indagine una sintesi dei diversi modelli di analisi morfo-tipologica che hanno dominato il dibattito architettonico della seconda metà del XX sec.

Nella seconda parte della tesi, è stato analizzato il parco residenziale di Rotterdam, la cui mappatura tipologica è stata condotta tramite analisi per clusters statistici, basata sulle caratteristiche morfologiche dei singoli manufatti. Viene quindi presentato il modello di campionamento degli aggregati che, recuperando alcune metodologie e definizioni introdotte da S.Muratori, G.Caniggia e G.L.Maffei, ha consentito un una selezione dei campioni per gradi di complessità aggregativa, derivati dall'analisi dell'uniformità tipologica, della serialità dell'aggregazione e della natura dei tipi edilizi maggiormente diffusi nei campioni.

La terza parte del lavoro si è quindi concentrata sulla stima dei rendimenti energetici, affiancata ad una analisi dell'irraggiamento solare dei campioni per diversi angoli di orientamento degli stessi. I risultati restituiscono quindi una matrice comparativa dei differenti comportamenti energetici, evidenziando le variazioni di fabbisogno riconducibili ai diversi gradi di complessità aggregativa.

ANALISI DEI FABBISOGNI ENERGETICI DELL'AGGREGATO

metodologie a confronto

Il quadro della ricerca europea sui livelli prestazionali dell'edilizia aggregata si dimostra ad oggi in pieno sviluppo a causa della complessità dei processi ambientali coinvolti e delle simulazioni necessarie a restituirli. Alcune porzioni delle indagini qui presentate risultano infatti ancora inedite al momento della stesura del presente resoconto. La loro consultazione è stata possibile tramite successivi momenti d'incontro con gli stessi autori, che hanno messo gentilmente a disposizione i risultati più avanzati delle loro ricerche, con i quali questo lavoro ha quindi avuto modo di confrontarsi.

L'analisi della complessità aggregativa attraverso DEM

il caso studio MIT Ratti Baker Steemers

Uno dei primi studi sul comportamento energetico dell'aggregato è rappresentato dal lavoro di C.Ratti, N.Baker, K.Steemers (2004) che compara 3 campioni di edilizia aggregata delle città di Londra, Tolosa e Berlino, tramite l'utilizzo di Digital Elevation Models (DEM): restituzioni raster delle configurazioni volumetriche degli edifici. La ricerca trae spunto dal lavoro di Baker e Steemers (1998) che propone una stima pari ad una variazione di 20 volte della domanda energetica edilizia, a seconda delle differenti caratteristiche o configurazioni della stessa. Disaggregando i dati for fattori di incidenza, quali assetto costruttivo, efficienza degli impianti e comportamento dell'utenza, Ratti, Baker e Steemers avanzano l'ipotesi che la morfologia aggregativa possa incidere per un margine di variazione di 2x (Ratti e al. 2004).

analisi dell-aggregato
tramite DEM

LT method

L'indagine verifica tale ipotesi, stimando il fabbisogno energetico dei 3 campioni tramite il metodo LT (*Lighting and Thermal*), che consente il calcolo della domanda energetica per la climatizzazione unita al consumo elettrico mensile per l'illuminazione interna, al quale corrisponde un incremento di guadagni termici e del fabbisogno energetico complessivo. Il modello, sviluppato originariamente per edilizia non residenziale, si basa sull'individuazione delle aree interne di un edificio a diretta esposizione con l'ambiente esterno e quindi soggette a illuminamento e ventilazione naturale. Tale proporzione tra aree passive e non-passive consente infatti una stima del potenziale di implementazione dei guadagni solari termici e di illuminamento. Il confronto dei fabbisogni risultanti è condotto a parità di soglie prestazionali di tutti i fattori non direttamente influenzati dall'assetto edilizio, assumendo quindi come variabili di calcolo i soli parametri morfologici dell'aggregato. Il confronto non presenta pertanto *finalità diagnostiche* o di stima del consumo reale dell'edilizia (Ratti et al. 2004), e trova quindi un antecedente nel lavoro precursore di L. March (1972).

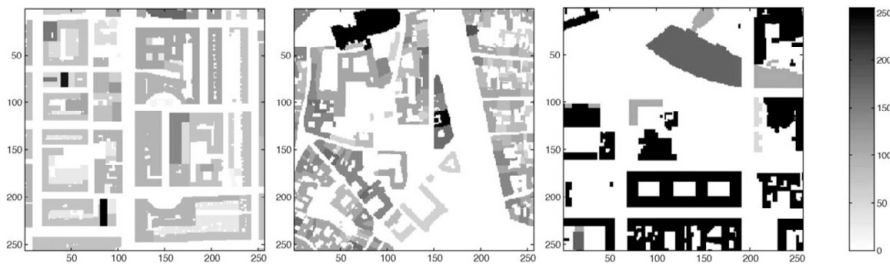
È interessante notare che la percentuale di bucatura dell'edilizia è assunta uniforme in tutti gli aggregati, negando quindi una correlazione tra assetto distributivo e distribuzione degli affacci, che risulta invece leggibile in differenti tipi edilizi residenziali (cfr. Caniggia Maffei 1984). Il campionamento proposto non presenta però differenziazioni per destinazioni d'uso, ma assume l'aggregato edilizio nel suo complesso, senza specifiche distinzioni tassonomiche. La consistenza morfologica dei 3 campioni suggerisce tuttavia una selezione condotta per epoca formativa degli aggregati, le cui ricadute non vengono però esplicitate nell'indagine.

la ridotta incidenza della compattezza

Nonostante il limitato numero di campioni confrontati, i risultati mostrano soglie proporzionalmente più contenute di consumi energetici al diminuire della compattezza media degli aggregati, per un margine di variazione del 10% del fabbisogno. Pertanto *'le perdite di calore attraverso l'involucro edilizio non costituiscono la componente principale del bilancio energetico degli edifici'*.¹ I risultati mettono quindi in evidenza come, in ambito aggregativo, la compattezza dei singoli manufatti non basti a restituire un quadro esauriente dei fenomeni incidenti sulla domanda energetica (Baker Ratti 2000; Ratti e al. 2004).

La ricerca ha quindi il merito di aver dato prova dell'applicabilità dei modelli raster all'analisi energetica di porzioni estensive di edilizia. Infatti, rispetto ai molti modelli di simulazione esistenti, il lavoro di Ratti, Baker e Steemers allarga la prospettiva del controllo dei consumi, solitamente focalizzata alla definizione del progetto architettonico, alla scala urbana dell'aggregato edilizio.

¹ Testo originale in inglese: Ratti et al. 2004.



[T02] DEMs dei campionamenti di Londra, Tolosa e Berlino. fonte Ratti et al.2004

Il ruolo della tipologia edilizia nel comportamento energetico dell'aggregato il caso studio di EIFER

Uno degli studi sicuramente più sistematici sui fabbisogni energetici dell'aggregato è rappresentato dalla ricerca condotta dalla *London School of Economics* LSE assieme all'*European Institute for Energy Research* EIFER.

L'indagine, sviluppata all'interno del più ampio progetto *Urban Age*, mira alla definizione dei differenti fabbisogni energetici di un ampio campione¹ di edilizia residenziale. Il lavoro risulta di notevole interesse per l'ampiezza del campione e l'approccio metodologico di analisi: il rapporto tra forma urbana e comportamento energetico è infatti indagato tramite il confronto delle cinque tipologie edilizie, assumendo come variabili di calcolo i soli parametri morfologici come, ad esempio, l'altezza media dei manufatti, la volumetria, la superficie disperdente ecc.

A tale scopo, LSE ed EIFER hanno sviluppato un modello di calcolo integrato in ambiente GIS -Sistema Informativo Geografico- finalizzato alla definizione del fabbisogno a regime stazionario di energia primaria per il riscaldamento. Il modello utilizzato, che assume le metodologie definite dalla normativa ISO13790, non si basa sulla disaggregazione di dati di consumo reale, ma sulla quantificazione del fabbisogno energetico di ogni singolo edificio per giungere, tramite un processo di generalizzazione per classi tipologiche, ad una stima comparativa su media annuale dei campioni aggregati. Come per Ratti, Baker e Steemers (2004), il confronto è reso possibile dall'assunzione come parametri invarianti di tutti i fattori non morfologici che incidono sul controllo del confort interno, come ad esempio materiali costruttivi (e i relativi coefficienti di trasmittanza termica) o le condizioni climatiche ambientali.

Rispetto ad altri sistemi di calcolo energetico più diffusi in ambito

modello di calcolo
in GIS

¹ La ricerca confronta differenti soluzioni aggregative all'interno di numerosi contesti urbani europei. L'indagine risulta però ancora inedita al momento di redazione del presente resoconto, pertanto per l'analisi qui condotta si fa riferimento agli studi parziali, già consultabili in Bahu (2010), afferenti al solo ambito urbano di Parigi.

analisi di aggregati
uniformi per tipologia edilizia

architettonico, il modello sviluppato da EIFER da prova del potenziale applicativo della simulazione in ambiente GIS, usualmente utilizzato su scale dimensionali decisamente maggiori di quella architettonica, per la restituzione delle complessità morfologiche e la gestione di ampi database, necessari per l'indagine sul contesto aggregativo.

L'indagine ha potuto quindi confrontare un totale di 25 campioni di morfologie urbane, definite per maglie quadrate di 500x500m. All'interno della selezione sono state identificate le cinque tipologie edilizie più significative, desunte tramite un'analisi qualitativa delle aree urbane. Discriminante decisiva nella selezione dei campioni risulta pertanto essere la tipologia edilizia prevalente nell'aggregato. Per ciascuna classe tipologica sono stati selezionati cinque casi reali il più possibile omogenei per manufatti e distribuzione tipologica. Le tipologie edilizie sono definite tramite soglie parametriche relative alle caratteristiche geometriche dei volumi edilizi. Il database georeferenziato infatti si basa sulle planimetrie catastali prive dell'assetto distributivo interno. La classificazione tipologica risultante, pur consentendo una categorizzazione delle soluzioni morfologico-volumetriche, non riesce a distinguere l'ampia casistica di varianti o classi tipologiche riscontrabile in letteratura², basate prevalentemente sull'analisi del sistema di relazioni distributive dell'edificio. Ne deriva una classificazione dei manufatti dal carattere intenzionalmente generico o, meglio, dotata di un basso *livello di tipicità* (Caniggia Maffei 2001), che garantisce il confronto tra diversi ambiti urbani e quindi culturali e tecnologici.³ Al tempo stesso è però necessario mettere in evidenza che i rendimenti energetici risultanti afferiscono di conseguenza ad una scala di definizione che trova nella pianificazione territoriale o urbana il proprio destinatario, mentre lascia un ampio margine di variazione nell'applicazione alla scala del progetto architettonico.

Rispetto ai precedenti lavori sull'efficienza energetica della morfologia edilizia, l'approccio di LSE-EIFER riconosce il ruolo decisivo che la tipologia edilizia riveste nella definizione dell'aggregato: il tipo viene assunto come *pattern* discriminante degli esiti qualitativi della forma urbana e di conseguenza, del rendimento energetico dell'assetto morfologico. Tale valenza del tipo edilizio, che trova nell'approccio strutturalista⁴ all'indagine sui tessuti residenziali una

² cfr. ad es. Zaffagnini 1995; Uytengaak 2008; Maretto Caniggia 1986

³ La definizione di classi tipologiche come lo slab housing o il compact urban block, ad esempio, pur consentendo la definizione di parametri di controllo della densità urbana e dei possibili assetti aggregativi, non permette il riconoscimento di tipologie in linea, a corte o a ballatoio che, pur rientrando all'interno di tali categorie, sottendono ad un diverso assetto distributivo delle unità abitative componenti e quindi ad una classificazione a scala architettonica. Per una trattazione più dettagliata sul riconoscimento delle varianti tipologiche dai dati catastali e le relative definizioni utilizzante nel lavoro di ricerca, si rimanda ai successivi capitoli sull'analisi dei pattern aggregativi [1.3], la classificazione del campione [2.1] e al glossario di definizioni [1.4].

⁴ cfr. ad es. Rossi 1966; Muratori 1967.

consistente letteratura di confronto, consente una distinzione dei campioni d'analisi basata sulla *omogeneità* delle soluzioni abitative per comparti urbani.

È interessante notare come l'intero aggregato urbano venga interpretato come un'alternanza di lottizzazioni tipologicamente uniformi. Meno evidente rimane il ruolo che la complessità aggregativa, le polarità economiche o le gerarchie dell'impianto infrastrutturale hanno sull'aggregato.⁵ I campioni, riconducibili all'espansione industriale delle città, non ambiscono a rappresentare un patchwork di fasi progressive di formazione dell'aggregato e quindi a restituire una *città per parti* o un gradiente di urbanizzazione, ma l'uniformità tipologica, o meglio la 'prevalenza' tipologica, viene assunta come regola interna di definizione di distinti *frammenti* urbani coesistenti. L'assetto tipologico non viene infatti letto in un quadro storico-formativo o economico, ma trova nei soli parametri di diffusione la legittimità per il suo utilizzo ed eventuale riapplicazione. È in questa ottica che il lavoro di LSE-EIFER si pone *implicitamente* l'obiettivo di una definizione di categorie morfologiche per rendimenti prestazionali che ne consenta, astruendo dal caso reale le componenti formali costitutive, l'applicazione delle stesse nel progetto del nuovo.

Densificazione e fabbisogno energetico

il caso studio Arkitektsskolen Aarhus

Nell'ambito del dibattito internazionale sulla densità sostenibile, la danese Arkitektsskolen Aarhus ha condotto un'indagine per valutare le ricadute sulla qualità urbana per notevoli soglie di incremento di densità e compattezza dell'aggregato edilizio. Il *Center for Strategic Urban Research*, promotore della ricerca, ha proposto un modello di simulazione che metta a sistema l'analisi dei fabbisogni energetici per il riscaldamento, l'apporto di luce solare e l'esposizione ai venti con i parametri di occupazione del suolo e densità edilizia, per un campione di 8 tipologie costruttive.

L'indagine mira a valutare il potenziale applicativo della *città compatta* (Bæk Pedersen 2009) testandone i parametri performanti con l'obiettivo di confutarne le criticità che nel dibattito contemporaneo la contrappongono a modelli di sviluppo decisamente più diffusi come la *città isotropica* o lo *sprawl* residenziale. In tale ottica, il modello d'analisi propone il confronto di 8 soluzioni progettuali selezionate per indici di densità FAR⁶ anche di molto

confronto di aggregati
di progetto ad alta densità

⁵ Ruolo riconosciuto determinante negli studi di G.Caniggia e G.L.Maffei (2001) almeno per quanto concerne l'edilizia pre-insustriale non pianificata o 'di base'.

⁶ FAR floor area ratio: indice di densità edilizia calcolato come rapporto tra superficie abitabile lorda dell'edificio e superficie del lotto d'intervento.

superiori a 2. Le 8 configurazioni di progetto sono state scelte da un campione di 80 progetti residenziali, chiamati 'models', sviluppati per lotti d'intervento di 100x100m e progettati dal *Center for Strategic Urban Research*.

L'intero campione è costituito da edilizia residenziale nell'obiettivo di vincolare le tipologie risultanti alle istanze di illuminamento che la funzione abitativa richiede. In realtà alla ricerca di compattezza che l'indagine si propone corrisponde anche una concentrazione di programmi funzionali che consentirebbe una varietà di soluzioni morfologiche (specialmente quanto a profondità dell'edificio) decisamente più ampia rispetto all'edilizia residenziale. Tutti i progetti infatti assumono il mix di funzioni, utenze e usi come garanzia della qualità urbana risultante, mantenendo un minimo 30% superficie fondiaria destinata a spazio aperto.

Gli 80 progetti residenziali sono il risultato di 10 possibili configurazioni con differenti livelli di densità di 8 differenti *building typologies*. È interessante notare come tutti gli 80 campioni presentino una simile organizzazione distributiva delle unità abitative. Si tratta di edifici ad appartamenti organizzati attorno a sistemi distributivi comuni e riconducibili a ciò che in precedenti classificazioni morfo-tipologiche⁷ viene individuato come tipologia edilizia *in linea* e *a torre*. Le unità abitative, di pianta rettangolare, sono distinte in 3 sole possibili configurazioni a seconda della logica degli affacci principali (appartamenti mono affaccio, ad affaccio contrapposto o con 3 lati predisposti per l'affaccio) e, di conseguenza, risultano implicitamente distinte anche secondo il potenziale aggregativo, ovvero la quantità di pareti cieche condivisibili con altre unità. Ne deriva una classificazione che a parità di componenti architettonici (le 3 soluzioni di appartamento) e di assetti distributivi (2 tipologie edilizie) definisce e confronta 8 possibili configurazioni di tali elementi e sistemi (*building typologies*). Al fine del confronto con altri casi studio, si è preferito ricondurre tali distinzioni all'interno delle definizioni più frequentemente applicate in ambito morfologico, e pertanto la definizione di *building typology* (letteralmente *tipologia edilizia*) utilizzata nelle pubblicazioni del *Center for Strategic Urban Research* viene qui interpretata come *tipo di aggregato*.

L'equivoco terminologico, derivato probabilmente dalla indistinguibilità delle componenti nel disegno unitario dei progetti⁸, mette in realtà in evidenza che il ruolo determinante che il tipo edilizio gioca nella definizione di tali componenti non sia da solo sufficiente alla completa definizione dell'assetto aggregativo risultante. L'indagine della Arkitektskolen Aarhus è infatti prova dell'ampio spettro di soluzioni ottenibili in aggregati edilizi tipologicamente uniformi.⁹

variazioni aggregative
di tipi edilizi uniformi

⁷ cfr. ad es.: Zaffagnini et al.1995; Caniggia Maffei 2001

⁸ Analizzando gli esempi applicativi di Copenhagen e Kolding si nota infatti come gli isolati di 100x100m vengano trattati come 'megastrutture' ad alta densità trattate uniformemente anche nelle finiture di facciata: ogni intervento amalgama sotto la stesso involucro la varietà di programmi e aggregazioni.

⁹ Ad es. nel catalogo dei 'models' sono presenti anche 10 soluzioni distinte di aggregati costituiti da una sola tipologia edilizia.

Pertanto, l'indagine della Arkitektskolen Aarhus confronta 8 tipologie di aggregati di progetto, formati da 2 sole tipologie edilizie. Nel caso specifico, l'utilizzo di soli tipi edilizi *in linea* e *a torre* è probabilmente riconducibile agli alti livelli di densità che tali tipologie consentono. Le tipologie sono state desunte da casi reali diffusi in contesto europeo quali *slab*, *urban villa*, *urban block*, *grouped highrise* o definiti tramite progetto, come *barcode*, *SuperBlock*, *conglomerate* e *kasbah* (cfr. Bæk Pedersen 2009) Sempre in ottica di confronto con gli altri casi studio analizzati e applicando alcune definizioni più diffuse in ambito morfologico,¹⁰ le tipologie possono essere tradotte in

- **slab** aggregato a stecche di tipi *in linea*
- **urban villa** aggregato di tipi edilizi *a torre* compatti o *in linea* isolati
- **urban block** tipi edilizi in linea aggregati *a corte*
- **grouped highrise** aggregato di tipi edilizi *a torre*
- **barcode** aggregato a stecche di tipologie miste
- **SuperBlock** edificio *a ballatoio* o aggregazione a stecca di tipi *in linea*
- **conglomerate** aggregato continuo di tipi *in linea* (anche in quota)
- **kasbah** aggregato a corti di tipologie miste

Le tipologie analizzate non costituiscono delle esemplificazioni della massima densità ottenibile, quanto *un suggerimento del possibile equilibrio* (Bæk Pedersen 2009) ottenuto nel garantire adeguati livelli di illuminazione naturale, ventilazione e contenimento energetico durante la progettazione di edilizia ad alta densità (FAR>3).

Rispetto ai casi reali campionati dal MIT (Ratti et al.2005) o da LSE-EIFER (Bahu 2011), l'opportunità di confrontare soluzioni di progetto consente una lettura più dettagliata dei risultati d'analisi grazie al minor margine di errore dei dati d'ingresso, ma al tempo stesso necessita della simulazione di un contesto di ombreggiamento per la valutazione degli apporti solari. Nel modello del *Center for Strategic Urban Research* la giustapposizione degli 8 casi campionati è stata assunta come simulazione di inserimento urbano.

L'analisi dell'illuminazione naturale è stata condotta comparando i casi campione con l'illuminazione potenziale di un edificio in campo aperto. I risultati ottenuti sono stati quindi confrontati con il comportamento di un isolato tradizionale danese (Frederiksberg in Aarhus) per stimare la differenza proporzionale del numero di alloggi sufficientemente illuminati.

L'indagine ha permesso di dimostrare che l'apporto di luce solare non è direttamente correlato a parametri di incremento della densità edilizia. Il confronto tra le 8 tipologie di progetto e il campione reale di riferimento mostra invece lo stretto legame tra apporto di luce solare e superficie di

apporto di luce solare
e alta densità

¹⁰ Per una trattazione più esauriente delle definizioni applicate si rimanda alla Parte I - Glossario

impronta dell'edificio (area di ingombro del pianterreno), rivelando la possibilità di buoni livelli di illuminazione e irraggiamento anche per edifici di notevole altezza. In oltre, l'incremento in densità edilizia (calcolato in FAR) non rappresenta una perdita di qualità nei livelli di apporto di luce solare anche quando confrontato al parco residenziale esistente del contesto danese (Bæk Pedersen 2009).

Viceversa, le simulazioni fluidodinamiche sul comportamento dei venti nell'aggregato, condotte tramite il software IES-Virtual Environment mostrano livelli di comfort maggiore per soluzioni aggregative più serrate o chiuse, come ad esempio l'isolato di tradizione ottocentesca risultante dall'edificazione continua sul perimetro di un'area interclusa da almeno tre strade.

Per quanto concerne invece il comportamento energetico, l'indagine¹¹ riconferma il ruolo determinante, già riconosciuto da letteratura e normativa di settore, che la compattezza dell'edilizia e l'orientamento hanno sui fabbisogni di energia primaria per il riscaldamento, ma al tempo stesso non individua alcun rapporto diretto tra alti livelli di FAR e riduzione dei fabbisogni. Il rendimento energetico dell'aggregato sembra pertanto svincolato dall'incremento di densità. È interessante notare come, a contrario del modello di calcolo sviluppato da EIFER, non siano stati considerati nei calcoli i carichi derivanti da ventilazione e che la superficie di vetratura non sia vincolata dall'assetto tipologico o aggregativo, ma sia uniforme per tutti i campioni.

In conclusione, la densificazione edilizia, e la conseguente riflessione sulle modalità aggregative della stessa, si configurano come risposta alle istanze di sostenibilità in riferimento alla riduzione dell'impianto infrastrutturale, alla concentrazione dei programmi funzionali e all'occupazione del suolo.

verifica tramite
applicazione progettuale

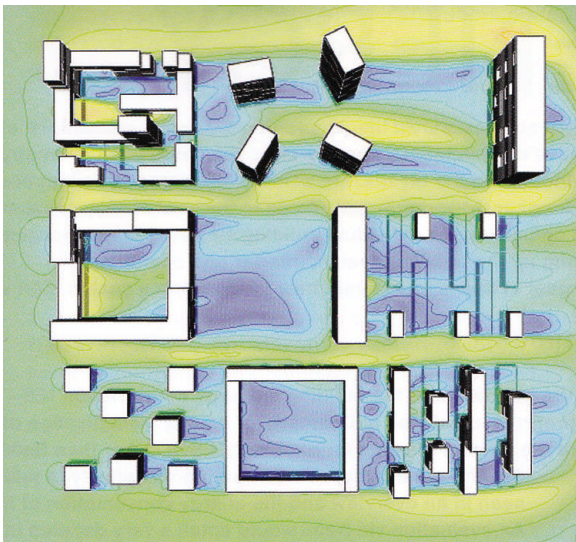
La fase finale dell'indagine prevedeva l'applicazione dei modelli di studio a due contesti urbani reali: la cittadina di Kolding e le aree di riqualificazione di Ørestad e Carlsberg nel porto settentrionale in Copenhagen, Danimarca. I progetti prevedono la realizzazione di spazi residenziali e di lavoro per un indice totale di densificazione FAR=7.¹²

Le differenti soluzioni progettuali sono state inserite simultaneamente e adattate al un contesto reale senza una selezione delle tipologie per livelli prestazionali ma organizzando il disegno complessivo dell'aggregato in favore della varietà d'uso e attrattività degli spazio aperti.

¹¹ Le simulazioni sul comportamento sono state condotte tramite IES-Virtual Environment. I carichi derivanti da fornitura di acqua calda non sono considerati nei computi.

¹² Per Copenhagen si tratta in particolare dell'urbanizzazione di un'ex area portuale di 200ha da convertirsi in unità abitative, commerciali e terziarie per 40000 abitanti.

Pertanto rispetto all'approccio LSE-EIFER, il confronto non è volto alla definizione di una tipologia aggregata maggiormente performante: garantite alte soglie di livelli prestazionali in termini di impiego delle risorse ambientali, i diversi rendimenti vengono subordinati al controllo in fase progettuale della qualità spaziale risultante. L'efficienza degli aggregati viene cioè messa a sistema con le istanze del programma funzionale, l'impatto sull'edilizia esistente, il controllo dello spazio pubblico e dell'impianto infrastrutturale che l'applicazione al contesto reale comporta. Ne deriva un impianto di tessuti urbani in cui la tipologia aggregativa ad alta densità viene assunta come strumento di controllo delle risorse ambientali e non solo come codice organizzativo del disegno urbano. In tale logica il confronto tra campioni di aggregato diventa un catalogo di modelli applicativi fornito al progettista come insieme di soluzioni ottimizzate per l'impiego di risorse ambientali.



[T03] Analisi dell'esposizione ai venti di aggregazioni edilizie ad alta densità. fonte Bæk Pedersen 2009

La certificazione energetica alla scala dell'aggregato

il caso studio ZonaKlima

confronto di aggregazioni
di edilizia passiva

S.Hitthaler, G.Heiter e C.Falkenhagen (Hitthaler et al.2011) propongono un analogo modello di simulazione a parità di parametri non morfologici per il confronto di alcune tipologie edilizie aggregate. A differenza del modello LSE-EIFER, il gruppo di studio altoatesino propone una stima dei fabbisogni energetici tramite software di calcolo CasaClima, finalizzata al confronto di un campione di progetti per edilizia residenziale.

Svincolato dal campionamento dell'esistente, lo spettro di soluzioni analizzate può essere indagato anche in rapporto alla variazione del numero di piani e al conseguente aumento di superficie disperdente. Assumendo tra i parametri costanti la superficie abitativa (e di conseguenza il volume, essendo anche l'altezza dei vani invariante di calcolo), tale variazione di piani si traduce in una maggiore o minor compattezza dell'edificio. La simulazione riesce quindi a portare in primo piano l'incidenza della compattezza nel comportamento energetico di differenti tipologie edilizie.

È interessante notare inoltre come nel modello di calcolo di S.Hitthaler, G.Heiter e C.Falkenhagen, il sistema di bucatore sia associato all'orientamento e alla esposizione solare delle facciate, non vincolato quindi all'assetto distributivo del tipo edilizio. Si presuppone pertanto la perdita Il rapporto discriminante tra tipologia ed distribuzione degli ambienti illuminati, in favore di una ottimizzazione delle logiche di affaccio, non sempre presente nel campionamento di casi esistenti. L'indagine confronta quindi soluzioni progettuali volte all'ottimizzazione del guadagno solare passivo e del risparmio energetico proponendo il confronto tra 6 tipologie di unità abitative che, nell'aggregarsi, configurano differenti edifici o tessuti edilizi propri.

La classificazione delle tipologie mira pertanto ad evidenziare il differente potenziale di parametri morfologici dal riconosciuto valore performante in termine di comportamento energetico, come la compattezza o, appunto, l'ottimizzazione degli affacci. Il tipo edilizio non viene assunto come regola o pattern aggregativo, ma come possibile configurazione morfologica offerta al progettista tra le migliori soluzioni performanti. Il rendimento energetico del complesso sistema di vincoli tra aggregato e edificio resta non indagato a favore dell'individuazione di un'ampia casistica di soluzioni aggregative ottenibili dal progetto dell'edilizia compatta. Nell'indagare le possibili configurazioni aggregate, la ricerca propone però un salto di scala nella valutazione delle ricadute che il progetto di architettura sostenibile ha sul contesto ambientale.

la sperimentazione
ZonaClima a Brunico

Una prima applicazione sperimentale che raccoglie gli spunti di tale riflessione è riscontrabile nel progetto di recupero, dell'area DeCobelli a Brunico, SudTirolo. Si tratta di una ex area demaniale adibita a caserma e destinata dalla Provincia di Bolzano a nuova area di completamento residenziale per un totale di 16.278 mq.

Il progetto, che prevede la realizzazione di 7 unità residenziali ad elevata efficienza energetica, si inserisce all'interno del quadro normativo della provincia autonoma che dal 2005 ha introdotto gli standard CasaClima¹ per gli edifici di nuova realizzazione e dal 2009 ha programmato un sistema di incentivi in premi di cubatura per il risanamento energetico del parco residenziale esistente.

la sperimentazione
ZonaClima a Brunico

Il progetto DeCobelli, attualmente in fase di realizzazione, vincola gli esiti progettuali al controllo sistematico delle ricadute a scala urbana dell'intervento, in termini di trasporti (veicolari e non), occupazione del suolo, irraggiamento naturale (della nuove realizzazioni e dell'esistente contesto perimetrale), gestione delle acque meteoriche, differenziazione rifiuti e isolamento da infiltrazioni di radon.

L'intero aggregato è organizzato secondo l'illuminazione naturale assunta quale *diritto civico* dei futuri abitanti (Hitthaler 2010). L'esposizione solare e le conseguenti visuali paesaggistiche vengono pertanto adottate come matrice organizzativa del disegno dell'aggregato. La tipologia edilizia stessa, vincolata ai parametri di compattezza, è definita in modo da garantire la maggior potenziale illuminante per l'aggregato e, pertanto, si compone di sole case *a torre e in linea*, cioè edifici ad appartamenti in prevalenza isolati.

La sperimentazione dell'area ex-DeCobelli rappresenta un esempio di valutazione ambientale alla scala di aggregato edilizio, fornendo una test applicativo per lo sviluppo di una certificazione del tessuto urbano risultante, o meglio, delle ricadute ambientali alla scala del contesto urbano. L'approccio, riassunto nel passaggio di scala da *CasaClima* a *ZonaClima* (Hitthaler 2009), pone le basi per la certificazione energetica dell'aggregato che nel sigillo *CasaClima Habitat*² trova una prima risposta operativa.

Il certificato *CasaClima Habitat* intende attestare un'analisi di sostenibilità *globale equilibrata* dell'intervento urbano, basata sulla valutazione degli aspetti ecologici (materiali, rifiuti, ...), sociali (trasporto, diritto di illuminamento, ...) ed economici (trasparenza di processo).

la certificazione energetica
dell'aggregato
CasaClima Habitat

Il certificato allarga l'insieme di stakeholders coinvolti nell'analisi, nell'obiettivo di dimostrare che il controllo dei volumi di traffico, dell'impianto infrastrutturale e dell'utilizzo di risorse ambientali *possono maggiormente influenzare il consumo energetico totale di una zona di costruzione più che un edificio singolo a consumo energetico nullo* (Aschbacher 2010). Il metodo di valutazione *CasaClima Habitat*, recentemente proposta dall'agenzia *Casaclima*³, è uno strumento di

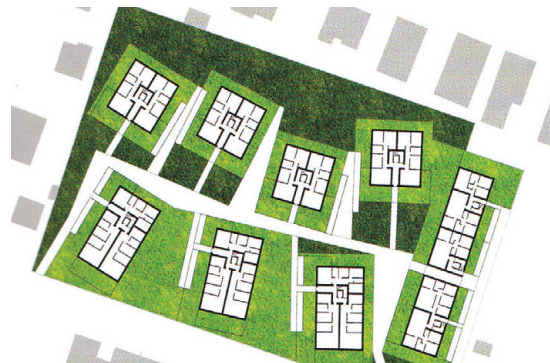
1 cfr. ad es. N.Lantschner 'Cubatura in regalo' in KlimaHaus n1 2010

2 Ancora in fase di sviluppo durante la redazione della presente indagine.

3 CasaClima è un'agenzia pubblica dedicata alla certificazione energetica degli edifici, divulgazione e formazione degli operatori del settore edilizio nell'ambito del risparmio energetico, sostenibilità e mutamenti climatici, con sede a Bolzano, Italia.

valutazione delle caratteristiche di un aggregato edilizio, analogo ad altri sistemi di certificazione a punteggio o a *checklist* come i protocolli LEED o ITACA solo per citarne alcuni, basato sulla verifica di un elenco di requisiti suddivisi in 9 categorie, di cui riporta un breve estratto (Bancher 2011):

- efficienza dell'involucro, di impianti e elettrodomestici, ottimizzazione dell'orientamento ecc.
- standard *casaclima nature* per materiali, piano di demolizione, riutilizzo di strutture o materiale di recupero, piano di gestione di rifiuti e della mobilità ecc.
- piano di gestione acque meteoriche, riduzione impermeabilizzazione del suolo, vegetazione autoctona ecc.
- confort interno, accessibilità e sicurezza
- monitoraggio radon ed elettrosmog, mix tipologico degli alloggi,
- concetto architettonico unitario, qualità visuali esterne, utilizzo di materiali, imprese o tecnologie locali ecc.
- flessibilità e possibilità di ampliamento, cronoprogramma di cantiere, ecc.
- analisi costi benefici, monitoraggio energetico, manuale di manutenzione, ecc.
- formazione dei residenti, coinvolgimento in fase di progettazione, ecc.



[T04] Progetto dell'area DeCobelli: sperimentazione ZonaClima. fonte Hitthaler 2010

Risulta interessante notare come uno strumento di verifica quale *CasaClima Habitat* potrebbe trovare collocazione all'interno del sistema di incentivi già esistente ad esempio nella provincia di Bolzano, sede dell'agenzia CasaClima e dell'area ex-DeCobelli. L'argomento è di recente introduzione nel panorama della certificazione energetica dell'edilizia ed esula dagli obiettivi del presente lavoro, ciò nonostante rappresenta uno degli strumenti di più facile integrazione normativa riscontrati nel recente dibattito europeo sul rendimento energetico dell'edilizia aggregata.

Per scala e complessità dei parametri coinvolti, *CasaClima Habitat* o l'esempio di *ZonaClima* dell'area DeCobelli non possono essere ricondotti e quindi confrontati direttamente con altre analisi di tessuto aggregativo che, anche quando di dimensioni più estese, come nel caso studio LSE-EIFER, si concentrano sulla sola valutazione del fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento. Pertanto, l'ampiezza dei parametri assunti, che spesso esulano dall'ambito edilizio o tecnologico, collocano l'approccio di *ZonaClima* alla scala della pianificazione urbanistica.

Resta interessante notare come l'allargamento del campo d'indagine, anche se focalizzato alla sola edilizia ad alta efficienza, metta comunque in evidenza lo stretto sistema di ricadute delle differenti scale edilizie (edificio su aggregato, aggregato su edificio, aggregato su sistema urbano ecc.) in una logica di reciproca influenza che richiama da vicino il concetto di *rendimento*⁴ dell'aggregato già introdotto nel 1979 da G.Caniggia e G.L.Maffei.

4 cfr. Parte I - Glossario

L'incidenza della densità edilizia nei guadagni solari

il caso studio TUDelft

Analogamente all'esperienza applicativo-progettuale di Aarhus Arkitektskole, R.Uytenhaak (2008) propone uno studio dei processi di densificazione dell'aggregato e delle qualità spaziali risultanti. Pur non indagando le ricadute energetiche delle diverse soglie di densità edilizia, il lavoro restituisce un quadro dell'incidenza delle possibili strategie di densificazione sui guadagni solari e di illuminamento naturale dell'edilizia aggregata. I tessuti urbani sono analizzati secondo l'equilibrio tra costruito e spazio aperto indagando la perdita di qualità spaziali dell'aggregazione, nel tentativo di favorire la prossimità di funzioni e ottimizzare l'occupazione del suolo.

L'indagine è stata finalizzata a restituire un modello matematico per la simulazione dell'incremento di densità edilizia sulla base del quale sono state derivate 9 leggi di densificazione che descrivono la variazione delle proprietà morfologiche degli aggregati, come ad esempio l'indice di facciata (*façade index*) o l'angolo di ostruzione solare (*angle of obstruction*),¹ al progressivo incremento degli indici di FAR.

leggi morfologiche
di densificazione

Si tratta di un studio morfologico basato sul confronto di 4 possibili configurazioni volumetriche dell'edilizia: *puntuale, a corte, a stecca, a isolato*, la distinzione delle quali è svincolata dalla destinazione d'uso degli edifici. Trattandosi in oltre di soluzioni progettuali comparabili ma non assimilabili a casi reali, il confronto dei campioni non è associabile ad una distribuzione interna delle unità abitative componenti, concentrando l'indagine sull'assetto volumetrico complessivo dell'aggregazione.

Tra le 9 leggi derivate, è interessante notare che alcune di queste, pur finalizzate alla sola definizione di proprietà morfologiche, suggeriscano una incidenza diretta dell'incremento di densificazione sul comportamento energetico dell'edilizia, ad esempio:

- Profondità di fabbrica e alti livelli di angolo di ostruzione della luce solare (i.e. $\geq 30^\circ$) riducono la necessità di contiguità dell'aggregazione per l'incremento di densità edilizia
- L'aumento di superficie d'involucro naturalmente illuminata è linearmente proporzionale all'indice di facciata
- a parità di angolo esterno di ostruzione solare la profondità di penetrazione della luce naturale aumenta al diminuire della sezione stradale.

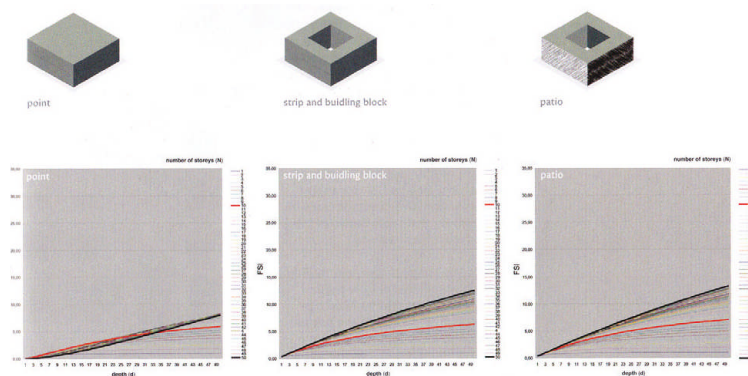
¹ Per 'façade index' si intende il rapporto tra superficie d'involucro e superficie abitabile lorda; per 'angle of obstruction' si intende l'angolo di ombreggiamento causato dall'edilizia prospiciente l'edificio o l'aggregato in analisi (cfr. Uytenhaak 2008)

Rispetto alle altre indagini analizzate, il lavoro di non presenta quindi finalità diagnostiche o interpretative del costruito esistente, ma è esplicitamente indirizzato a fornire strumenti di supporto per il progetto architettonico, indagando strategie per la compensazione delle perdite di *qualità naturale* dell'edilizia (Uytenhaak 2008) dovute all'aumento di densità.

L'indagine mette in oltre in evidenza come l'ordine di grandezza degli indici di densità edilizia sia vincolato dalla scala di analisi dei campioni aggregativi. La proporzione tra superficie netta costruita e lorda campionata varia infatti in funzione della dimensione dei campioni stessi, rischiando di compromettere il confronto di aggregati lottizzativi di differente forma o estensione.²

sclartà degli indici
di densificazione

Il lavoro di Uytenhaak si completa di una raccolta di progetti edilizi realizzati nei Paesi Bassi negli ultimi 40 anni tramite i quali viene confrontato il processo di derivazione delle leggi di densificazione precedentemente descritte. I progetti sono contestualizzati all'interno dell'incremento esponenziale di densità e occupazione del suolo riscontrabile nei Paesi Bassi nell'ultimo secolo, che ha visto sovrapporsi all'incremento demografico, un aumento della superficie abitativa pro-capite.



[T05] Analisi della variazione degli indici morfologici all'aumento di densità edilizia. fonte Uytenhaak 2008

conclusioni

Lo stato della ricerca europea restituisce quindi un quadro tuttora in evoluzione che, pur con finalità comuni o quantomeno comparabili, non presenta una uniformità di metodi e terminologie per l'indagine morfologica della scala aggregativa. Si è reso necessario quindi sintetizzare nel seguente capitolo gli assunti e le metodologie già codificate in ambito morfo-tipologico per l'indagine dell'edilizia aggregata, esplicitando quali definizioni risultino applicabili e coerenti con gli obiettivi d'indagine presentati.

² Per questo motivo nel campionamento condotto si è preferito suddividere il parco edilizio di Rotterdam per maglie ortogonali di dimensione uniforme indipendenti dall'assetto lottizzativo dei singoli campioni. cfr. Cap.2.4

PATTERNS AGGREGATIVI

metodologie di analisi a confronto

Dall'analisi dello stato della ricerca europea sul comportamento energetico dell'edilizia aggregata emerge il ruolo decisivo che le famiglie tipologiche ricoprono nei modelli di simulazione dell'aggregato. A tale proposito è necessaria una precisazione per evitare fraintendimenti terminologici tra le differenti discipline coinvolte. Il termine tipo e la disciplina tipologica sono stati infatti al centro del dibattito internazionale sull'architettura della seconda metà del XX sec. ed hanno assunto connotazioni specifiche spesso fraintendibili o sconosciute ad altri ambiti d'indagine con i quali questo stesso lavoro ha avuto modo di confrontarsi.

Pertanto si è deciso di richiamare brevemente alcuni concetti e metodologie afferenti a tale dibattito tipologico, per chiarire le definizioni e gli assunti che hanno trovato applicazione nel presente lavoro. In coda al capitolo viene in oltre allegato un glossario di definizioni per facilitare la consultazione delle successive parti dell'indagine.

Modelli di analisi per tipi edilizi

il concetto di tipo in architettura

Il termine *tipo* indica, nella sua accezione generale, una specie, classe o gruppo di elementi, definito per proprietà, caratteri o regolarità comuni e distintive.¹ In *ambito architettonico*, il tipo edilizio è spesso utilizzato quindi come categoria tassonomica, cioè schema riassuntivo di alcuni caratteri comuni a più manufatti edilizi, o, nell'accezione muratoriana² del termine, come proiezione concretizzabile del manufatto edilizio, cioè sintesi del sistema di rapporti tra elementi costruttivi, assetto distributivo e criteri aggregativi dei singoli manufatti. In entrambe le accezioni il tipo edilizio è quindi assumibile come strumento interpretativo di sistemi insediativi di più ampia scala.

Tali definizioni richiamano da vicino il concetto più generale di *invariante*, inteso quale caratteristica o proprietà di una classe di elementi edilizi o di un sistema aggregativo che presenta maggiore ricorrenza o regolarità al variare di altre condizioni o in presenza di trasformazioni del sistema stesso.³ Tale accezione, volutamente generica, permette in questa sede di porre sinteticamente in evidenza le peculiarità del *tipo* in architettura, tramite il confronto con altre declinazioni della stessa riscontrabili nei concetti di *standard*, *pattern*, *categoria* e *modello*. La definizione di invarianti infatti costituisce uno strumento di controllo progettuale e di analisi del costruito che si concretizza di un progressivo *processo di astrazione* basato sull'assunzione di costanti: siano esse definite come soglie condivise o sistemi di relazioni spaziali ricorrenti. Tale metodologia ha trovato nella critica strutturalista il suo momento di massima applicazione.

tipo edilizio
e invarianti

Il concetto di *standard*, inteso quale norma condivisa e ripetibile⁴, ne è una chiara esemplificazione. Nelle sue trattazioni sulla prefabbricazione degli elementi costruttivi, N.J.Habraken (1976) sintetizza efficacemente come l'applicazione di soluzioni standardizzate corrisponde ad un *processo di ottimizzazione* basato sul presupposto che lo spazio architettonico possa essere differenziato, specializzato, in modo da rendere possibile la distinzione tra due principali sistemi di componenti invarianti e adattabili.⁵ La definizione di Habraken, applicabile per estensione sia a sistemi costruttivi che a codici normativi, mette in luce la dicotomia sottesa alla definizione di uno *standard*: la presenza necessaria e complementare di una componente modificabile e di una codificata, in quanto condivisa.

tipo
e standard

1 cfr. Argan 1965; Garzanti 1996; Zaffagnini et al.1995; Caniggia Maffei 2001.

2 cfr. Muratori 1967; Caniggia 1976.

3 cfr. Argan 1965; Grassi 1967; Garzanti 1996; Zaffagnini et al.1995; Caniggia Maffei 2001; Samonà 1975.

4 cfr. ad es. Garzanti 1996; Samonà 1975.

5 Nella trattazione originaria di Habraken i due sistemi trovano corrispondenza in elementi prefabbricati denominati 'supports' e 'detachable units', traducibili in 'supporti' e 'unità separabili'; le quali non coincidono con la semplice distinzione tra struttura portante e struttura portata, ma con una differenziazione tra componenti adattabili e strutture invarianti.

In particolare, la distinzione principale tra le due componenti è riconducibile al processo decisionale e di controllo della produzione edilizia: mentre la definizione delle invarianti di supporto è ambito di applicazione delle regole dettate da una comunità, le componenti variabili rappresentano l'area sulla quale decide l'utenza del prodotto edilizio e devono pertanto garantire il massimo grado di adattabilità.

Lo stesso Habraken specifica però che la definizione del limite tra supporto invariante e unità variabile è innanzitutto un problema sociale che ha differenti risposte a seconda del contesto culturale e temporale (Habraken 1976), evidenziando quindi la necessità di uno specifico campo o contesto di applicazione per l'assunzione di invarianti a tutti gli effetti efficaci per il progetto architettonico.

Pertanto lo standard rappresenta una invariante condivisa e replicabile, sia essa declinata come soglia prestazionale o codice, che risulta non finalizzata a regolamentare il complesso di caratteristiche di una costruzione, ma a garantire livelli di prestazioni considerati necessari e, al tempo stesso, dei margini di variazione ai differenti soggetti del processo edilizio.⁶ In tale accezione il concetto di standard trova quindi applicazione come strumento di verifica.

tipo e pattern

Il termine anglosassone *pattern*, invece, è traducibile come schema, modello, struttura o motivo. Più in generale esprime una certa regolarità riscontrabile in una classe di elementi e pertanto richiama da vicino il concetto di struttura⁷ insito nei tipi edilizi precedentemente menzionato. In questa sede si è preferito mantenere il termine inglese per distinguere l'insieme di proprietà architettoniche che Christopher Alexander (e tutta la scuola statunitense da lui influenzata) identifica con tale espressione.

Analizzando le regolarità comuni a più soluzioni spaziali, Alexander (1979) ha infatti definito i *patterns* come *leggi morfologiche che caratterizzano i rapporti tra componenti edilizi*.⁸ Nello specifico, ciò che si ripete regolarmente non sono gli elementi stessi, siano essi spaziali o costruttivi, ma il modo di usufruirne, ovvero la combinazione di molteplici attività che è possibile consentire con una specifica configurazione architettonica⁹. Pertanto, quest'ultima viene ad assumere il ruolo di invariante ricorrente in quanto capace di associare elementi contestuali, esigenze spaziali e (conseguente) soluzione costruttiva (Alexander et al. 1977). La combinazione di tali regole all'interno di un sistema di elementi e leggi associative diventa quindi obiettivo del progetto edilizio, il quale affida al sistema di strutture invarianti la garanzia degli esiti costruttivi. Alexander

⁶ cfr. ad es. Samonà 1975

⁷ nell'accezione derivata dalla critica strutturalista del termine.

⁸ ad esempio: Il 'gradiente di privacy' all'interno di una residenza o la 'baricentricità degli spazi pubblici urbani' sono patterns nell'accezione di C. Alexander (1979)

⁹ nella definizione di Alexander: 'patterns of event's e 'patterns of space'.

infatti esplicita le finalità dei *patterns* identificandole con la qualità spaziale risultante, ma a differenza delle altre declinazioni di invarianti presentate, riconosce una componente soggettiva (ed empirica) nell'uso e nell'efficacia di queste invarianti: ogni *pattern* non implica univocamente la creazione di qualità, ma risulta vincolato alla percezione che la memoria soggettiva ha del *pattern* stesso. In sintesi, tale accezione di *pattern* distingue caratteri comuni a differenti soluzioni edilizie, connotati da ricorrenza, da utilità (o finalità) esplicitata e da un vincolo soggettivo oltre che collettivo.

Analogamente, il tipo edilizio si definisce per la presenza di invarianti formali riconoscibili nelle diverse manifestazioni dei prodotti edilizi e si situa pertanto a *livello della struttura profonda della forma architettonica* (Martì Aris 1990). La tipologia si differenzia dalle precedenti declinazioni di invariante per il suo afferirsi alla riproposizione di sistemi di relazione esclusivamente spaziali. Data la sua natura di *struttura organizzativa* della forma, il tipo rappresenta sia uno strumento per la comprensione del costruito che un metodo operativo *alla base dello stesso atto progettuale* (Martì Aris 1990).¹⁰

tipologia
e classificazione

Tale accezione circoscrive quindi il *tipo a schema descrittivo* di peculiari proprietà formali assimilabile (nella sua applicabilità) al concetto di categoria o classe, tanto da poter essere adottato anche nello studio dell'edilizia modernista o contemporanea.¹¹ Rispetto al concetto di categoria però è possibile riconoscere una proprietà distintiva del tipo, corrispondente alla sua finalità operativa. Come sintetizza efficacemente Martì Aris, infatti, la tipologia non ambisce a stabilire una classificazione del diverso, specialmente nella sua accezione di strumento progettuale, ma anzi ricerca risonanze tra classi di elementi dissimili, per stabilire connessioni in grado di garantire una produzione edilizia assimilabile ad una progressione etimologica.

Tali ricadute operative rappresentano la principale distinzione tra l'accezione di *tipo* in architettura rispetto ad altri ambiti disciplinari.¹² In particolare occorre mettere in luce che in ambito edilizio il concetto di *tipo*, sia esso assunto quale categoria tassonomica o come strumento progettuale, si basa sulla distinzione delle caratteristiche distributive interne dei manufatti edilizi.¹³ A seconda dell'accezione assunta per il termine, tale differenziazione può essere messa a sistema con altre proprietà o caratteri dell'edilizia, ma in termini più generali possibili, non prescinde dal riconoscimento delle logiche di organizzazione degli spazi interni dell'architettura. Questa precisazione, che risulta scontata in ambito morfo-tipologico, è spesso fonte di fraintendimenti nel confronto di classi tassonomiche redatte per destinatari differenti da architetti o progettisti a cui questo lavoro invece si rivolge.

tipologia edilizia
e analisi degli assetti distributivi

¹⁰ cfr. anche Rossi 1966; Aymonino 1966; Grassi 1967; Martì Aris 2005.

¹¹ cfr. Martì Aris 1990; Zaffagnini et al. 1995.

¹² cfr. ad esempio Peroni 1998.

¹³ cfr. ad es. Zaffagnini 1992; Neufert et al. 1999.

tipo e modello

L'operatività del concetto di *tipo* trova un antecedente nel lavoro di Saverio Muratori (1960) sui centri antichi delle città italiane. Partendo dallo studio degli aggregati edilizi storici la cui realizzazione *non* è riconducibile alla mediazione di un progetto architettonico, Muratori propone una definizione di *tipo edilizio* che supera la dicotomia positivista tra individuo edilizio e tipo, che riconosceva al primo l'eventuale funzione di *modello* replicabile e al secondo la connotazione di schema o *regola* astratta. Sin dalla definizione di Quatremère de Quincy infatti, il concetto di tipo trova applicazione come *schema* riassuntivo dei caratteri comuni a più manufatti, quindi idea distinta dalla realtà edilizia, assimilabile a categoria tassonomica. Saverio Muratori invece assume il tipo quale proiezione concretizzabile all'edificio, cioè *rappresentazione* completa del sistema di rapporti tra elementi costituenti il manufatto stesso, utile a spiegare la realizzazione di fabbriche edilizie in assenza di una pianificazione o della mediazione critica di un progettista, quali quelle costituenti il tessuto residenziale della 'città spontanea'. In tale accezione il *tipo edilizio* presenta caratteri di edificabilità, replicabilità, aggregabilità e insediabilità, e può quindi sintetizzare contemporaneamente il sistema di rapporti distributivi, costruttivi e aggregativi di un edificio secondo il grado di definizione -il *livello di tipicità* (Caniggia Maffei 2001)- adottato dall'indagine.

tipo come sintesi a priori

tipo e mutazione

Pertanto il tipo è indagabile quale codice condiviso o *idea comune di casa* atta alla produzione edilizia di un particolare intorno storico-culturale. Le costanti formali da esso rappresentate non possono quindi essere assunte a struttura stabile ed immutabile (Martì Aris 1990).

La *scuola muratoriana* di analisi tipologica ha infatti dimostrato la presenza di un processo di formazione dei tipi edilizi (Maretto Caniggia 1986; Caniggia Maffei 1984) che evidenzia come, in uno stesso ambito territoriale, si succedano nel tempo differenti soluzioni tipologiche tanto che è possibile analizzare quanto delle precedenti esperienze edilizie venga confermato nelle successive trasformazioni. Gli studi sui tessuti antichi di Venezia, Roma, Como, Firenze e Genova comprovano come i tipi, nell'accezione muratoriana del termine, vengano a coincidere con le categorie strutturali, storiche e processuali che caratterizzano i manufatti edilizi (cfr. ad es. Muratori 1960; Caniggia 1997, Caniggia Maffei 2001).

Tale concezione ha conferito in ambito architettonico una nuova valenza all'indagine dell'ambiente antropico, in quanto il tipo è interpretato quale sintesi delle pre-esistenti esperienze edilizie o, meglio, "*correlazione integrata, autosufficiente di nozioni complementari tese ad un fine unitario [...] pre-proiezione di quel che sarà l'oggetto realizzato, finito, pur essendo anteriori alla stessa fisicità dell'oggetto*" (Caniggia Maffei 2001).

Le regolarità formali del tipo risultano quindi vincolate ad un intorno spaziale e temporale, e al tempo stesso presentano caratteri indipendenti da materiali e tecniche costruttive (cfr. G.Nardi 1994). La loro generalizzazione risulta pertanto inefficace se non facendo ricorso a sotto-famiglie tipologiche, varianti diacroniche o introducendo il concetto di *livello di tipicità*.

Il processo di evoluzione stesso del tipo edilizio *non* risulta quindi strettamente condizionato dai vincoli funzionali dell'architettura, dalla tecnica costruttiva o dal contesto climatico¹⁴, ma è piuttosto riconducibile ai fenomeni di evoluzione storico-culturale. Solo all'interno di tale connotazione, intesa nei suoi limiti temporali e geografici, esso può essere assunto quale parametro invariante, pena la sua perdita di significato.¹⁵

14 cfr. ad esempio la distribuzione delle tipologie a corte di epoca romana o delle case a schiera mature diffuse tramite varianti sincroniche dai contesti climatici centro-europei a quelli nord africani. cfr. Caniggia 1997; Maretto Caniggia 1986; Muratori 1960.

15 cfr. la critica sulla validità di un approccio per tipi architettonici proposta in R.Moneo 1978.

Il tipo come sistema di rapporti tra scale architettoniche concorrenti il concetto di rendimento dell'aggregato

tipo edilizio e scale
dimensionali intercorrenti

Dall'assunto muratoriano di *tipo* come *sintesi a priori* derivano ulteriori corollari che ne esplicitano l'applicabilità operativa anche a scale architettoniche progressivamente cointeressate.¹⁶ In queste è possibile quindi definire il concetto di *tipo di tessuto edilizio* (applicato alla scala dell'aggregato) e di *organismo urbano* (applicato alla scala dell'insediamento) con caratteristiche e proprietà del tutto analoghe al *tipo edilizio*.

Pertanto la tipologia può essere adottata quale chiave di lettura del sistema di rapporti tra scale architettoniche, siano essi costituiti da soli vincoli di assetto morfologico-aggregativo,¹⁷ da reciproche influenze sul comportamento energetico dell'edilizia,¹⁸ o da fenomeni di densificazione.

Il concetto di *tessuto edilizio* infatti corrisponde all'insieme di nozioni integrate finalizzato all'edificazione di un aggregato di *tipi edilizi*. Anch'esso derivato dalla pre-esistente esperienza edificatoria, rappresenta quindi il complesso delle caratteristiche strutturanti un'aggregazione, le quali risultano strettamente connesse alle proprietà dei lotti edilizi componenti. La ripetitività del tipo nel tessuto è quindi indice di una mutua incidenza tra componente e composto che vincola i processi di edificazione e mutazione in una logica di *rendimento*.

Grazie a tale accezione infatti, Caniggia e Maffei hanno suggerito (già nel 1979) una metodologia di valutazione dell'aggregarsi edilizio basata sulla variazione dell'equilibrio (più o meno stabile) di rapporti tra componenti edilizie aggregate.

rendimento

Nell'analisi tipologica-processuale, il concetto di *rendimento* misura infatti la quantità di risorse materiali e temporali necessarie ad un ambiente antropico per assorbire le ricadute di un intervento edilizio, inteso come alterazione dal sistema di influenze reciproche e scalari dell'ambiente stesso. Il *rendimento* corrisponde quindi alla capacità di un intorno di assimilare le variazioni dovute ad una nuova alterazione o viceversa, la capacità di un quest'ultima di inserirsi nel sistema di rapporti preesistenti, anticipando un approccio metodologico che richiama da vicino le istanze di sostenibilità successivamente integrate (o in procinto di integrazione) nel progetto architettonico.

¹⁶ cfr. tra gli altri Cataldi 1977.

¹⁷ cfr. ad es. Zaffagnini et al. 1995; Caniggia 1993; Maretto Caniggia 1986.

¹⁸ come già dimostrato dalle indagini precedentemente citate: cfr. ad es. Bahu 2011; Bæk Pedersen 2009.

L'analisi di queste influenze reciproche consente in oltre la definizione di un grado di complessità organizzativa dell'aggregato stesso. Il livello di configurazione delle componenti di un continuo edilizio, o *livello di organicità* (Caniggia Maffei 2001) corrisponde infatti al grado di articolazione raggiunto da un aggregato, misurato in rapporto al livello di variazione delle componenti edilizie e dell'assetto proprio del composto. In riferimento alla teoria del *tipo di base*,¹⁹ Caniggia e Maffei individuano gli estremi di tali variazioni nei concetti di seriale e organico, grazie ai quali distinguono 4 gradi di configurazione distinti:

- *seriale sistematico*: costituito da elementi seriali aggregati serialmente.
- *seriale occasionale*: costituito da elementi seriali aggregati in maniera organica.
- *episodico organico*: costituito da elementi organici aggregati serialmente.
- *organico totale*: costituito da elementi organici aggregati in maniera organica.

le quali, è necessario precisare, non vogliono restituire un assetto preferibile dell'aggregazione, ma soltanto lo spettro di configurazioni sistematicamente riscontrate o riscontrabili nell'ambiente antropizzato.

Classificazione del tessuto
per complessità aggregativa

Modello di analisi dei patterns aggregativi

Le attuali tendenze di sviluppo urbano mettono però in discussione alcuni assunti dell'approccio metodologico per *tipi edilizi*. Il carattere residuale della *città generica* (Koolhaas et al. 1995) trova infatti nella mancanza di sistemi condivisi, cioè nell'assenza di organicità, l'unica costante del proprio sviluppo.

In tale contesto molte delle condizioni e prerogative dei tipi vengono a mancare²⁰: Franco Farinelli (2003) ad esempio, descrivendo la perdita del rapporto indicale tra strada e edilizia nella città contemporanea, mette indirettamente in discussione le logiche formative interpretabili attraverso il concetto di *tessuto edilizio*. La perdita di corrispondenza tra struttura gerarchica dell'aggregato e categorie storico-processuali è riconducibile alle diverse logiche di distribuzione delle polarità urbane, se non ad una totale ridefinizione delle stesse nell'ambito della *città diffusa*. Richard Ingersoll (2004) mette in evidenza il ruolo chiave che infrastrutture e flussi urbani ricoprono nella perdita di

tipo e
genericità

¹⁹ cfr. Glossario voce: Tipo edilizio

²⁰ cfr. Moneo 1978

significato di tali nodalità,²¹ mentre Rem Koolhaas (1995) assume a manifesto operativo i fenomeni (incostanti) di contrasto e contaminazione che ad esse si sostituiscono.

Una conseguenza di tale contesto è rappresentata dell'impossibilità di leggere un unico tipo edilizio quale codice condiviso dall'intera produzione edilizia cittadina o territoriale.²² Pertanto l'applicazione del concetto di *tipo di base* di una aggregazione edilizia risulterebbe impropria o fuorviante nell'aggregato *generico*.

tipo edilizio
prevalente

Al tempo stesso però, l'accezione muratoriana di *tipo* quale sintesi degli assetti distributivi e aggregativi, consente comunque di associare le configurazioni degli aggregati esistenti, siano essi strutturazioni storiche o frutto di intenzionalità progettuale, alle proprietà aggregative dei singoli manufatti. Pertanto il riconoscimento di una *tipologia prevalente* di un aggregato risulta significativo in quanto rappresentazione delle logiche aggregative maggiormente diffuse tra le componenti dello stesso e, con tale accezione, viene quindi applicato al lavoro d'indagine.

grado di articolazione
dell'aggregato

In oltre, il venir meno dell'univocità del *tipo di base* e delle logiche formative per nodalità urbane non sembra pregiudicare l'analisi per gradi di complessità delle configurazioni aggregative. Queste infatti restano comunque ascrivibili all'interno dello spettro di soluzioni definito dai gradi massimi di *serialità* e *organicità* suggeriti da Caniggia e Maffei (2001) in quanto indipendenti dalla natura degli elementi analizzati e basati sui soli rapporti tra componenti e composto. Pertanto i *livelli di organicità* vengono recuperati quali riferimento metodologico per il campionamento dell'aggregato. Tuttavia, nell'indagine qui presentata, si è preferito fare ricorso a terminologie volutamente più generiche, quali *aggregato complesso* o *gerarchizzato*, non essendo possibile riproporre propriamente il concetto di *grado organico* che, nella sua originaria accezione, viene raramente raggiunto nelle aggregazioni della *città generica*.

Per il lavoro di ricerca viene quindi riconosciuto al *tipo edilizio* di definizione muratoriana il suo potenziale di rappresentatività dei rapporti intercorrenti tra assetto distributivo e logiche aggregative, secondo il massimo *grado di tipicità* consentito dalla definizione dei dati catastali in analisi. Il campionamento degli aggregati è stato quindi condotto tramite il riconoscimento dei tipi edilizi diffusi nell'ambito urbano di Rotterdam, analizzandone il livello di complessità aggregativa, ottenuto dalle variazioni delle componenti tipologiche e dal grado di articolazione del composto risultante, potendo quindi confrontare il *rendimento* energetico delle diverse configurazioni.

21 Per quanto la teoria delle fridge belts di M.R.G.Conzen (Whiehand 2005) lascia supporre la presenza di patterns di distribuzione della densità edilizia comunque leggibili nell'agglomerato urbano generico.
22 cfr. ad es. in Rotterdam gli interventi del Kop van Zuid, di Müllerpier o di Nesseland.

Glossario di definizioni

Nell'indagine qui presentata si fa ricorso a termini e definizioni specifiche dell'ambito disciplinare di analisi morfologica dell'architettura o derivate dagli studi di analisi tipologico-processuale dell'edilizia che trovano in Saverio Muratori il proprio precursore e dai quali questo lavoro recupera molte nozioni metodologiche per lo studio dell'aggregato edilizio. Per facilitare la consultazione si è ritenuto pertanto utile redigere un glossario di definizioni per evitare equivoci terminologici nell'utilizzo di concetti spesso comuni con altre discipline anche non architettoniche. Si tratta per la maggior parte di definizioni integralmente riprese dai lavori di G.Caniggia, G.L.Maffei e S.Muratori solo per citare alcuni tra gli autori più noti a livello internazionale. Ogni definizione è correlata in calce dei relativi riferimenti bibliografici. Qualora una voce compaia in più pubblicazioni di diversi autori, la definizione è stata modificata per integrare i diversi contributi, altrimenti riportati fedelmente dai testi originali. In calce ad ogni voce sono in oltre riportate le più frequenti traduzioni in letteratura inglese.

fonti bibliografiche

[a] Caniggia G., Maffei G.L. 2001. Architectural composition and building typology: Interpreting basic buildings. (1ed.:1979. Composizione architettonica e tipologia edilizia: 1.Lettura dell'edilizia di base. Venezia: Marsilio.) Florence: Alinea. [b] Caniggia G.,Maffei G.L. 1984. Composizione architettonica e tipologia edilizia: 2.Il progetto dell'edilizia di base. Venezia: Marsilio. [c] Caniggia G. 1993. Ragionamenti di tipologia: operatività della tipologia processuale in architettura. Firenze: Alinea. [d] Zaffagnini M., Gaiani A., Marzot N. 1995. Morfologia urbana e tipologia edilizia. Bologna: Pitagora. [e] Neufert E., Baglioni A., Gottfried A., Collina L. 1999. Enciclopedia pratica per progettare e costruire. Manuale ad uso di architetti, ingegneri, periti edili e costruttori, docenti e discenti. Norme e prescrizioni per progettare, costruire, dimensionare, distribuire. Milano: U.Hoepli. [f] Zaffagnini M. (ed.) 1992. Edilizia residenziale. in Manuale di progettazione edilizia. Vol.1 Tipologia e criteri di dimensionamento. Milano: Hoepli. [g] Maretto P.,Caniggia G. 1986. La casa veneziana nella storia della città dalle origini all'Ottocento. Venezia: Marsilio. [h] Muratori S. 1967. Civiltà e Territorio. Roma: Centro Studi di Storia Urbanistica. [i] Bæk Pedersen P. 2009. Sustainable compact city. Bæredygtig kompakt. Århus: Arkitektkolens Forlag. [j] Marti Aris C. 1990. Le variazioni dell'identità: il tipo in architettura. Torino: Città Studi Edizioni.

Analisi tipologica studio dei tipi edilizi tramite la sistematica raccolta e il confronto delle caratteristiche dei singoli manufatti. In particolare, secondo l'approccio di scuola muratoriana, l'analisi tipologica corrisponde allo studio delle strutture storico processuali condotto tramite la lettura sincronica e diacronica delle caratteristiche comuni a differenti manufatti edilizi.

[a] [d] [h]

[typological analysis]

Aggregato edilizio Generico insieme di edifici strutturato da una successione di interventi edilizi o da una progettazione sincronica degli stessi. Si caratterizza per la riconoscibilità di patterns morfologici riconducibili alle tipologie edilizie costituenti e/o a intrinseche leggi formative. Caniggia e Maffei (2001) ne individuano gli margini di variazione nelle configurazioni *organica* e *seriale*. Si definisce pertanto *aggregato organico* un insieme di edifici che per vincoli di posizione e reciproche influenze presentano conformazioni peculiari, complementari e difficilmente intercambiabili; mentre per *aggregato seriale* si intende un'aggregazione di edifici ripetuti o intercambiabili per ruolo, posizione, forma o funzione.

[a] [d] [h]

[urban texture] [aggregation of buildings] [buildings aggregates]

Area di pertinenza porzione del lotto edilizio costituita da spazio aperto contiguo all'edilizia, di pertinenza di una o più unità abitative, originariamente riferito all'area non edificata del lotto della tipologia a schiera.

[a] [d] [h]

[pertinent area]

Casa o tipologia bifamiliare vedi *Tipo edilizio a casa binata*

Casa a blocco spesso riportata anche come *casa ad appartamenti*, *palazzina* o, in letteratura inglese, *urban block* o *housing block*. Si tratta di un'edilizia residenziale multifamiliare caratterizzata da spazio libero o aree di pertinenza non edificate su tutti i fronti. Tale termine afferisce sia a unità edilizie isolate che a complessi residenziali delimitati da percorrenze sulle quali insiste una fascia edificata tendenzialmente continua, articolata attorno ad uno spazio aperto centrale di contenuta estensione. Dall'analisi dell'assetto distributivo interno, delle logiche aggregative e degli affacci principali, le prime sono riconducibili più propriamente a tipi *a torre* di contenuta altezza o a tipi *in linea* isolati (con due fronti quindi tendenzialmente ciechi), mentre le ultime sono scomponibili in unità di case in linea aggregate a restituire un isolato continuo. Vedi anche *Isolato*

[f] [d] [i] [e]

[urban block] [housing block] [apartments buildings] [in-line typology]

Casa a ballatoio vedi *Tipo edilizio a ballatoio*

Casa a corte vedi *Tipo edilizio a corte*

Casa a schiera vedi *Tipo edilizio a schiera*

Casa in linea vedi *Tipo edilizio in linea*

Cellula modulo strutturale e distributivo coincidente con un vano abitabile e corrispondente alla più elementare organizzazione spaziale dei fattori *necessari e sufficienti* alla produzione edilizia.

[a] [b]

[cell]

edilizia di base utilizzato in contrapposizione al concetto di *edilizia specialistica*, indica l'insieme dell'edilizia residenziale, riconosciuta come porzione più consistente di edificato in un ambito urbano. Il termine nasce dagli studi condotti sugli aggregati edilizi pre-industriali privi di una mediazione critica quale quella del progetto architettonico. Viene pertanto alle volte utilizzato come sinonimo di edificazioni residenziali spontanee e/o non pianificate caratterizzanti i centri antichi delle città.

[b] [a] [d] [c] [h]

[basic buildings] [ordinary residential buildings]

edilizia specialistica utilizzato in contrapposizione al concetto di *edilizia di base*, indica l'insieme dell'edilizia con destinazione d'uso prevalentemente non residenziale.

[b] [a] [d] [c] [h]

[specialized buildings]

high-rise buildings termine diffuso in letteratura inglese per raggruppare tutte i manufatti edilizi caratterizzati da una notevole sviluppo in altezza. All'interno di tale categoria rientrano usualmente tipi *a torre*, tipi *a ballatoio* e meno frequentemente anche tipi *in linea*.

Inerzia (del tessuto edilizio) Resistenza propria di un aggregato o di un tessuto edilizio ad una azione tendente a variarne le proprietà costitutive. In particolare, l'*inerzia* descrive la differente rapidità di mutazione che è riscontrabile tra il singolo manufatto edilizio e l'assetto lottizzativo delle proprietà fondiarie, vincolando quest'ultime ad un impianto viario e ad un dimensionamento delle aree di pertinenza riconducibile al *tipo*

fonti bibliografiche

[a] Caniggia G., Maffei G.L. 2001. Architectural composition and building typology: Interpreting basic buildings. (1ed.:1979. Composizione architettonica e tipologia edilizia: 1.Lettura dell'edilizia di base. Venezia: Marsilio.) Florence: Alinea. [b] Caniggia G., Maffei G.L. 1984. Composizione architettonica e tipologia edilizia: 2.Il progetto dell'edilizia di base. Venezia: Marsilio. [c] Caniggia G. 1993. Ragionamenti di tipologia: operatività della tipologia processuale in architettura. Firenze: Alinea. [d] Zaffagnini M., Gaiani A., Marzot N. 1995. Morfologia urbana e tipologia edilizia. Bologna: Pitagora. [e] Neufert E., Baglioni A., Gottfried A., Collina L. 1999. Enciclopedia pratica per progettare e costruire. Manuale ad uso di architetti, ingegneri, periti edili e costruttori, docenti e discenti. Norme e prescrizioni per progettare, costruire, dimensionare, distribuire. Milano: U.Hoepli. [f] Zaffagnini M. (ed.) 1992. Edilizia residenziale. in Manuale di progettazione edilizia. Vol.1 Tipologia e criteri di dimensionamento. Milano: Hoepli. [g] Maretto P., Caniggia G. 1986. La casa veneziana nella storia della città dalle origini all'Ottocento. Venezia: Marsilio. [h] Muratori S. 1967. Civiltà e Territorio. Roma: Centro Studi di Storia Urbanistica. [i] Bæk Pedersen P. 2009. Sustainable compact city. Bæredygtig kompakt. Århus: Arkitektkolens Forlag. [j] Marti Aris C. 1990. Le variazioni dell'identità: il tipo in architettura. Torino: Città Studi Edizioni.

edilizio di prima edificazione. Il concetto di *inerzia*, pubblicato postumo e mai sviluppato sistematicamente, è introdotto da G.Caniggia (1997) per descrivere la formazione dello iato tra centro antico delle città europee e nuove fasi espansione urbana del XIX sec. Tale distinzione viene letta come causa dei successivi interventi di demolizione e riammodernamento dei centri cittadini dove gli impianti viari e i tessuti non risultavano adeguati ai livelli di densificazione e accrescimento che i tipi edilizi avevano raggiunto.

[c]

[inertia of urban textures]

Insedimento complesso di edifici abitativi direttamente rapportabile ad un intorno territoriale produttivo di sua pertinenza

[d] [a]

[settlement]

Insulizzazione (fenomeno di) processo di progressiva articolazione distributiva e/o volumetrica di una fabbrica edilizia residenziale all'aumentare delle unità residenziali costituenti (e del conseguente numero di unità familiari) tramite l'introduzione di disimpegni distributivi e/o vani scala comuni. Originariamente definito per i processi di densificazione e suddivisione del tipo *domus*, il termine è utilizzato anche in riferimento ad altre tipologie.

[b] [a] [d] [c] [h]

[insulation]

Isolato gruppo di lotti edilizi circondato da percorrenze che ne identificano il perimetro. Si tratta di una definizione particolarmente efficace per l'individuazione della massima entità organizzata di proprietà individuali che trova però difficile applicabilità nei modelli di espansione urbana di epoca modernista basati sulla critica all'aggregazione per isolati.

[c] [d] [a]

[urban block]

Livello di organicità grado di configurazione tra le componenti di un insieme. Con particolare riferimento all'edilizia residenziale, esso corrisponde al grado di articolazione e complessità raggiunto da un aggregato, misurato in rapporto al livello di variazione delle componenti edilizie e dell'assetto proprio del composto. In riferimento alla teoria del *tipo di base*, gli estremi di variazione dell'aggregazione vengono

riconosciuti nel concetto di *seriale* e *organico* (cfr. voce *Aggregato*), grazie ai quali è possibile distinguere 4 gradi distinti:

- *seriale sistematico*: costituito da elementi seriali aggregati serialmente.
- *seriale occasionale*: costituito da elementi seriali aggregati in maniera organica.
- *episodico organico*: costituito da elementi organici aggregati serialmente.
- *organico totale*: costituito da elementi organici aggregati in maniera organica.

In questa sede, i differenti livelli di organicità vengono recuperati quali riferimento metodologico per il campionamento dell'aggregato. Tuttavia, a causa del venir meno dell'univocità di un singolo *tipo edilizio di base* (vedi alla voce *Tipo edilizio*) come standard residenziale nell'edilizia contemporanea, si è preferito fare ricorso a terminologie volutamente più generiche, quali *aggregazione complesso* o *gerarchizzata*, non essendo possibile riproporre propriamente il concetto di *grado organico* che, nella sua originaria accezione, viene raramente raggiunto dall'edilizia analizzata.

[a] [b] [d]

[degrees of organicity]

Livello di tipicità grado progressivo di approfondimento dell'analisi o della distinzione delle strutture tipologiche, atto alla loro comprensione. Corrisponde al livello di rappresentatività o di specificazione che un tipo edilizio consente nel sintetizzare le caratteristiche di uno o più manufatti edilizi. Pertanto ad un livello di tipicità maggiore corrisponde un'individuazione più specifica dei caratteri distintivi dell'edilizia. Viceversa un livello di tipicità minore coincide con un maggior numero di individui edilizi definiti dal tipo.

[a] [b] [c]

[Level of specificity]

Lottizzazione processo di suddivisione del terreno in lotti edificabili riscontrabile in quasi tutti i fenomeni urbani. Nella città capitalistica essa assume a strumento urbanistico e meccanismo di sviluppo urbano, giungendo a determinare la struttura viaria, la localizzazione degli spazi o degli edifici pubblici, i tipi edilizi, la percentuale di occupazione del suolo ecc..

[d] [e]

[lots arrangement] [urban lotting]

fonti bibliografiche

[a] Caniggia G., Maffei G.L. 2001. Architectural composition and building typology: Interpreting basic buildings. (1ed.:1979. Composizione architettonica e tipologia edilizia: 1.Lettura dell'edilizia di base. Venezia: Marsilio.) Florence: Alinea. [b] Caniggia G., Maffei G.L. 1984. Composizione architettonica e tipologia edilizia: 2.Il progetto dell'edilizia di base. Venezia: Marsilio. [c] Caniggia G. 1993. Ragionamenti di tipologia: operatività della tipologia processuale in architettura. Firenze: Alinea. [d] Zaffagnini M., Gaiani A., Marzot N. 1995. Morfologia urbana e tipologia edilizia. Bologna: Pitagora. [e] Neufert E., Baglioni A., Gottfried A., Collina L. 1999. Enciclopedia pratica per progettare e costruire. Manuale ad uso di architetti, ingegneri, periti edili e costruttori, docenti e discenti. Norme e prescrizioni per progettare, costruire, dimensionare, distribuire. Milano: U.Hoepli. [f] Zaffagnini M. (ed.) 1992. Edilizia residenziale. in Manuale di progettazione edilizia. Vol.1 Tipologia e criteri di dimensionamento. Milano: Hoepli. [g] Maretto P., Caniggia G. 1986. La casa veneziana nella storia della città dalle origini all'Ottocento. Venezia: Marsilio. [h] Muratori S. 1967. Civiltà e Territorio. Roma: Centro Studi di Storia Urbanistica. [i] Bæk Pedersen P. 2009. Sustainable compact city. Bæredygtig kompakt. Århus: Arkitektkolens Forlag. [j] Marti Aris C. 1990. Le variazioni dell'identità: il tipo in architettura. Torino: Città Studi Edizioni.

Morfologia Urbana è lo studio delle forma della città, dei suoi elementi costituenti e dei relativi processi formativi

[d]

[urban morphology]

Organico vedi Aggregato

Polarità qualità di un punto singolare dell'ambito urbano o insediativo derivato dall'interazione tra due o più continui. In particolare si distingue la intersezione o gemmazione di questi ultimi come *nodo*, il loro principio come *polo* e il loro termine come *antipolo*. Cfr. ad es.: *se per continui si assumono due percorrenze, la loro intersezione o biforcazione è definita come nodo.*

[d] [a]

[Polarity] [Pole]

Rendimento Nell'analisi tipologico-processuale, il rendimento misura la quantità di risorse materiali e temporali necessarie ad un ambiente antropico per assorbire le ricadute di un intervento edilizio, inteso come alterazione del sistema di influenze reciproche e scalari dell'ambiente stesso. Il rendimento corrisponde quindi alla capacità di un intorno di assimilare le variazioni dovute ad una nuova alterazione o viceversa, la capacità di un quest'ultima di inserirsi nel sistema di rapporti (qualitativi e quantitativi) preesistenti. Per estensione, il *rendimento* rappresenta la dialettica tra azione antropica e reazione ambientale.

[a] [b] [c]

[yeld]

Seriale vedi Aggregato

Tessuto edilizio (tipo di) analogamente al concetto di *tipo edilizio*, per *tipo di tessuto edilizio* si intende l'insieme di nozioni integrate, condiviso da un intorno culturale, che è finalizzato all'edificazione di un aggregato di *tipi edilizi*. Si tratta pertanto della rappresentazione o proiezione concettuale, basata sulla pre-esistente esperienza edificatoria, del complesso di caratteristiche di una aggregazione edilizia, pur essendo anteriore alla fisicità della stessa. Il *tipo di tessuto* si caratterizza per la modularità o ripetitività delle proprie componenti identificabili con il lotto edilizio. Il termine, originariamente definito per l'indagine dell'edilizia antica 'non progettata', è alle volte utilizzato per estensione come sinonimo di *aggregato edilizio*.

[a] [b] [c] [d] [h]

[type of urban tissue]

Tipo edilizio Il termine *tipo* indica una specie, classe o gruppo di elementi, definito per proprietà, caratteri o regolarità comuni e distintive. In ambito architettonico, il *tipo edilizio* è spesso utilizzato come categoria tassonomica, cioè schema riassuntivo di alcuni caratteri comuni a più manufatti edilizi, o, nell'accezione muratoriana del termine, come rappresentazione complessiva del sistema di rapporti tra elementi costruttivi, assetto distributivo e criteri aggregativi degli individui edilizi, secondo il *livello di tipicità* adottato per l'indagine dei singoli manufatti. In tale accezione il tipo edilizio presenta caratteri di edificabilità, replicabilità, aggregabilità e insediabilità, ed è quindi assunto come strumento interpretativo e di modulo formativo di sistemi insediativi di più ampia scala. In letteratura è possibile trovare distinzione tra *tipo edilizio di base*, inteso come tipologia prevalente e quindi caratterizzante un aggregato edilizio in quanto codificazione condivisa della residenza familiare (*foundation type*), e *tipo edilizio base*, che identifica la tipologia residenziale più semplice caratterizzata da una fabbrica monocellulare di un solo piano (*base type*).

In questa sede il tipo edilizio è assunto quale sintesi degli assetti distributivi, strutturali e delle logiche aggregative che caratterizzano un raggruppamento di edifici.

[a] [b] [c] [d] [h] [f] [g] [i] [j]

[Building type]

Tipo edilizio a ballatoio Si tratta del tipo che meglio massimizza il rapporto tra superficie abitativa e distributiva tramite la ripetizione su più livelli di una percorrenza, frequentemente esterna, per servire più unità residenziali per piano. La presenza di tale disimpegno distributivo consente la riduzione dei nuclei di collegamento verticale e favorisce una configurazione dell'edilizia a prevalente sviluppo longitudinale parallelo ai fronti di affaccio principale. I problemi di introspezione dovuti alla presenza stessa del ballatoio vengono spesso risolti con soluzioni a duplex degli alloggi o con la collocazione interna 'a corridoio' della percorrenza distributiva. Le configurazioni risultanti vengono spesso indicate come varianti della tipologia stessa e riportate in letteratura come *tipo a galleria* o *tipo a spina*, i quali presentano comunque logiche aggregative analoghe alla tipologia *a ballatoio*. A causa dell'elevata altezza raggiungibile nella logica di massimizzazione dei collegamenti verticali che il tipo consente, questo viene spesso associato in letteratura anglosassone al tipo edilizio a torre nella comune accezione di high-rise buildings.

[f] [i] [e]

[gallery housing] [balcony housing] [slab housing] [highrise builgins]

fonti bibliografiche

[a] Caniggia G., Maffei G.L. 2001. Architectural composition and building typology: Interpreting basic buildings. (1ed.:1979. Composizione architettonica e tipologia edilizia: 1.Lettura dell'edilizia di base. Venezia: Marsilio.) Florence: Alinea. [b] Caniggia G.,Maffei G.L. 1984. Composizione architettonica e tipologia edilizia: 2.Il progetto dell'edilizia di base. Venezia: Marsilio. [c] Caniggia G. 1993. Ragionamenti di tipologia: operatività della tipologia processuale in architettura. Firenze: Alinea. [d] Zaffagnini M., Gaiani A., Marzot N. 1995. Morfologia urbana e tipologia edilizia. Bologna: Pitagora. [e] Neufert E., Baglioni A., Gottfried A., Collina L. 1999. Enciclopedia pratica per progettare e costruire. Manuale ad uso di architetti, ingegneri, periti edili e costruttori, docenti e discenti. Norme e prescrizioni per progettare, costruire, dimensionare, distribuire. Milano: U.Hoepli. [f] Zaffagnini M. (ed.) 1992. Edilizia residenziale. in Manuale di progettazione edilizia. Vol.1 Tipologia e criteri di dimensionamento. Milano: Hoepli. [g] Maretto P.,Caniggia G. 1986. La casa veneziana nella storia della città dalle origini all'Ottocento. Venezia: Marsilio. [h] Muratori S. 1967. Civiltà e Territorio. Roma: Centro Studi di Storia Urbanistica. [i] Bæk Pedersen P. 2009. Sustainable compact city. Bæredygtig kompakt. Århus: Arkitektskolens Forlag. [j] Marti Aris C. 1990. Le variazioni dell'identità: il tipo in architettura. Torino: Città Studi Edizioni.

Tipo edilizio a casa binata Il tipo binato è costituito da un'unità abitativa accostata tramite un fronte cieco ad altri manufatti edilizi, usualmente consistenti in una singola unità edilizia simmetrica o gemella alla prima per dimensione e configurazione. Per questo motivo in letteratura è a volte riportata anche come *casa* o *tipologia bifamiliare*. Si tratta di una tipologia a bassa densità e connotazione mono-familiare, anche se la presenza di aree di pertinenza sui fronti non condivisi fornisce spesso le condizioni per la realizzazione di locali di servizio o di espansione delle unità residenziali, dando luogo a fenomeni di insulizzazione. In letteratura tedesca o inglese è possibile in oltre riscontrare una variante associata al *tipo a casa binata*, denominato *Two-flat*, *German duplex* o *Polish flat*, caratterizzata dalla divisione delle unità abitative per piano invece che per accostamento, anche se, per logiche aggregative, tale variante potrebbe più propriamente essere ricondotta ad un particolare fenomeno di insulizzazione del *Tipo a casa isolata*. Un'ulteriore variante anglosassone del tipo binato è riscontrabile nelle *back-to-back houses* dove l'incremento del numero di unità abitative (solitamente 4) riduce ulteriormente il numero di fronti d'affaccio. I conseguenti problemi di ventilazione ne hanno contrastato la diffusione a partire dal secondo dopoguerra.

[f] [e]

[Semi-detached housing] [twin housing] [linked housing] [semis]

Tipo edilizio a casa con patio del tutto analogo per assetto distributivo e logiche aggregative al *tipo edilizio a corte*, è frequentemente distinto in letteratura come contemporanea variante monofamiliare dello stesso. In entrambi i casi, lo spazio aperto cortilizio assolve alla funzione distributiva e aereo-illuminante degli ambienti. Il conseguente aumento del numero di fronti esterni ciechi utilizzabili per l'aggregazione conferisce a quest'ultima un carattere isotropo. In letteratura è spesso associato o confuso con tipologie edilizie a schiera in cui la presenza di uno o più patii privati consentono un'articolazione più complessa degli spazi abitativi, che non assolvono alle principali funzioni distributive o aereo-illuminanti.

[d] [f] [e]

[patio housing] [courtyard housing] [terraced housing]

Tipo edilizio a casa isolata appartenente alla famiglia edilizia delle residenze mono-familiari, è caratterizzato da spazio libero o da aree di pertinenza non edificate su tutti i fronti. A causa di tale connotazione, è alle volte menzionato come villa urbana o villetta. La pressochè totale assenza di

vincoli aggregativi consente un ampio margine di variazione nell'assetto distributivo interno e nelle configurazioni risultanti tra le quali sono però difficilmente riscontrabili altezze uguali o superiori ai 3 piani fuori terra a causa della sua connotazione mono-familiare. In letteratura tedesca o inglese è possibile in oltre riscontrare una variante multi-familiare del tipo a casa isolata, denominato *Two-flat*, *German duplex* o *Polish flat*, caratterizzata un particolare fenomeno di insulizzazione costituito dalla separazione in diverse unità abitative dei piani dell'edificio.

[d] [f] [e] [i]

[detached housing] [urban villa] [single-family housing] [separate house]

Tipo edilizio a corte L'edilizia a corte è caratterizzata da uno spazio aperto, l'area cortilizia, che assolve alle funzioni distributive e aero-illuminanti degli ambienti residenziali. Il conseguente aumento del numero di fronti esterni ciechi utilizzabili per l'aggregazione conferisce a quest'ultima un carattere isotropo. L'accesso agli ambienti residenziali risulta quindi sempre mediato dall'area cortilizia. Storicamente derivato dal tipo *domus* di origine greco-romana, nella sua variante monofamiliare più antica gli ambienti residenziali assumevano una collocazione isorientata nella corte. Nella sua variante plurifamiliare può assumere configurazioni a L analoghe a varianti angolari del tipo in linea, dalle quali viene distinto per la funzione distributiva e aero-illuminante assoluta prevalentemente dalla corte.

[d] [f] [h] [a] [b]

[courtyard typology] [courtyard housing]

Tipo edilizio a galleria vedi *Tipo edilizio a ballatoio*

Tipo edilizio a gradoni Il tipo si caratterizza come residenza multifamiliare pluripiano distinta per le differenti quote e/o elevazioni delle singole unità abitative componenti. La peculiare configurazione di tale tipo consente la moltiplicazione dei fronti di affaccio derivata originariamente da vincoli orografici o normativi. A livello distributivo interno è spesso associabile a varianti del *tipo in linea* o del *tipo a ballatoio*.

[f] [d] [e]

[Terraced building]

Tipo edilizio a schiera Il tipo si caratterizza per due fronti ciechi, tendenzialmente perpendicolari alla percorrenza su cui insiste l'ingresso all'edificio, che risultano condivisi con altri edifici contigui. Oltre a questi,

fonti bibliografiche

[a] Caniggia G., Maffei G.L. 2001. Architectural composition and building typology: Interpreting basic buildings. (1ed.:1979. Composizione architettonica e tipologia edilizia: 1.Lettura dell'edilizia di base. Venezia: Marsilio.) Florence: Alinea. [b] Caniggia G.,Maffei G.L. 1984. Composizione architettonica e tipologia edilizia: 2.Il progetto dell'edilizia di base. Venezia: Marsilio. [c] Caniggia G. 1993. Ragionamenti di tipologia: operatività della tipologia processuale in architettura. Firenze: Alinea. [d] Zaffagnini M., Gaiani A., Marzot N. 1995. Morfologia urbana e tipologia edilizia. Bologna: Pitagora. [e] Neufert E., Baglioni A., Gottfried A., Collina L. 1999. Enciclopedia pratica per progettare e costruire. Manuale ad uso di architetti, ingegneri, periti edili e costruttori, docenti e discenti. Norme e prescrizioni per progettare, costruire, dimensionare, distribuire. Milano: U.Hoepli. [f] Zaffagnini M. (ed.) 1992. Edilizia residenziale. in Manuale di progettazione edilizia. Vol.1 Tipologia e criteri di dimensionamento. Milano: Hoepli. [g] Maretto P.,Caniggia G. 1986. La casa veneziana nella storia della città dalle origini all'Ottocento. Venezia: Marsilio. [h] Muratori S. 1967. Civiltà e Territorio. Roma: Centro Studi di Storia Urbanistica. [i] Bæk Pedersen P. 2009. Sustainable compact city. Bæredygtig kompakt. Århus: Arkitektkolens Forlag. [j] Marti Aris C. 1990. Le variazioni dell'identità: il tipo in architettura. Torino: Città Studi Edizioni.

l'edilizia a schiera è composta da due fronti di affaccio di dimensioni più contenute: uno atto ad ospitare l'accesso all'edificio e l'altro prospiciente uno spazio aperto, usualmente privato, nel quale è riscontrabile frequentemente la presenza di locali di servizio o di espansione delle unità residenziali. Il corpo scala trova tendenzialmente collocazione nell'area più interna del fabbricato consentendo agli ambienti con funzione residenziale di usufruire dei limitati affacci dell'involucro. La contenuta ampiezza dei tali fronti è riconducibile ad una originaria logica di ottimizzazione dell'incidenza dei singoli manufatti sulla percorrenza nella quale essi si innestano. Pur essendo diffusa come tipologia prevalentemente monofamiliare, sono riscontrabili numerose varianti edilizie suddivise in differenti unità abitative.

[a] [b] [c] [d] [e] [f] [g] [h] [i]

[row housing] [terraced housing] [linked housing]

Tipo edilizio a torre L'edilizia a torre si caratterizza per lo sviluppo in altezza dei manufatti consentito dal nucleo distributivo verticale dislocato tendenzialmente in posizione centrale a servire più unità residenziali per piano. Lo sviluppo in altezza e la collocazione di tale vano distributivo consentono una ripartizione degli affacci indifferenziata su tutti i lati dell'involucro senza una gerarchia vincolata. Ne derivano ridotte possibilità aggregative spesso risolte tramite l'innesto di un basamento. Si tratta di una tipologia che consente alta densità abitativa, a causa della quale viene a volte associata in letteratura anglosassone a tipologie a ballatoio di elevata altezza nella comune denominazione di *high-rise buildings*.

[f] [d] [e]

[tower housing] [tower block] [apartments buildings] [highrise builgins]

Tipo edilizio in linea Il tipo in linea è rappresentato da edilizia pluripiano a destinazione multifamiliare. Il tipo si caratterizza per il nucleo distributivo verticale che trova collocazione tendenzialmente in posizione baricentrica a servire più unità residenziali per piano. Le unità abitative interne affacciano principalmente su due fronti contrapposti lasciando i restanti disponibili all'aggregazione, la quale risulta di conseguenza progressiva e lineare a formare aggregazioni a stecca, a crescent o a isolato. La profondità del corpo di fabbrica risulta vincolato alla funzione aereo-illuminante degli ambienti residenziali, mentre longitudinalmente sono riscontrabili alcune varianti del tipo che presentano differenti dimensioni a cui corrisponde una progressiva distanza tra alloggi e nucleo di collegamento verticale. Derivando dalla

tipologia edilizia *a schiera*, condivide con questa le logiche aggregative dei singoli manufatti.

[f] [d] [b]

[apartments buildings] [in-line typology]

Torre ad appartamenti vedi *Tipo edilizio a torre*

Unità residenziale o abitativa coincide con una fabbrica edilizia o una porzione della stessa costituita da uno o più ambienti strutturati sistematicamente per consentire la funzione dell'abitare. L'unità residenziale coincide quindi genericamente con una abitazione mono-familiare ed è spesso riconoscibile come modulo costitutivo delle tipologie residenziali multi-familiari.

[d] [f] [e]

[residential unit]

Variante Mutazione di un tipo edilizio dovuta a vincoli di posizione, normativi o alla compresenza di differenti esigenze abitative, nonostante le quali rimane riconoscibile la configurazione o la famiglia tipologica oggetto di adeguamento. In letteratura viene distinto dal concetto di *trasformazione* o *derivazione* che indica la formazione di un nuovo tipo edilizio unitariamente coerente anche quando prodotto da tipologie preesistenti.

[a] [b] [c] [d] [h]

[Mutation] [Variant]

Villa isolata o urbana vedi *Tipo edilizio a casa isolata*

fonti bibliografiche

[a] Caniggia G., Maffei G.L. 2001. Architectural composition and building typology: Interpreting basic buildings. (1ed.:1979. Composizione architettonica e tipologia edilizia: 1.Lettura dell'edilizia di base. Venezia: Marsilio.) Florence: Alinea. [b] Caniggia G.,Maffei G.L. 1984. Composizione architettonica e tipologia edilizia: 2.Il progetto dell'edilizia di base. Venezia: Marsilio. [c] Caniggia G. 1993. Ragionamenti di tipologia: operatività della tipologia processuale in architettura. Firenze: Alinea. [d] Zaffagnini M., Gaiani A., Marzot N. 1995. Morfologia urbana e tipologia edilizia. Bologna: Pitagora. [e] Neufert E., Baglioni A., Gottfried A., Collina L. 1999. Enciclopedia pratica per progettare e costruire. Manuale ad uso di architetti, ingegneri, periti edili e costruttori, docenti e discenti. Norme e prescrizioni per progettare, costruire, dimensionare, distribuire. Milano: U.Hoepli. [f] Zaffagnini M. (ed.) 1992. Edilizia residenziale. in Manuale di progettazione edilizia. Vol.1 Tipologia e criteri di dimensionamento. Milano: Hoepli. [g] Maretto P.,Caniggia G. 1986. La casa veneziana nella storia della città dalle origini all'Ottocento. Venezia: Marsilio. [h] Muratori S. 1967. Civiltà e Territorio. Roma: Centro Studi di Storia Urbanistica. [i] Bæk Pedersen P. 2009. Sustainable compact city. Bæredygtig kompakt. Århus: Arkitekt skolens Forlag. [j] Marti Aris C. 1990. Le variazioni dell'identità: il tipo in architettura. Torino: Città Studi Edizioni.

Parte I bibliografia

- Alexander C.
1979. The timeless way of building. New York: Oxford university press.
- Alexander C., Ishikawa S., Silverstein M.
1977. A pattern language: towns, buildings, construction. New York: Oxford university press.
- Argan G.C.
1965. Sul concetto di tipologia architettonica. in Progetto e Destino. Milano: il Saggiatore.
- Aymonino C.
1966. La formazione di un moderno concetto di tipologia edilizia. in AA.VV. Rapporti tra la morfologia urbana e la tipologia edilizia. Venezia: Cluva
- Bancher, M.
2011. KlimaHaus Habitat - Introduzione. atti 6° Congresso Internazionale CasaClima Costruire con intelligenza 28/29.01.2011 Bolzano
- Aschbacher A.
2010. Efficienza energetica. in S.Hitthaler (ed.) Urban Klima: ZonaClima, una sperimentazione a Brunico dossier in Paesaggio Urbano n3 2010 pp97-110 Maggioli Editore
- Bahu J.M.
2010. Simulation de la consommation d'énergie finale dans le résidentiel grâce à une modélisation orientée-objet. Cas de Paris. Thèse non publiée. Compiègne: Université de Technologie de Compiègne - European Institute For Energy Research
- Bæk Pedersen P.
2009. Sustainable compact city. Bæredygtig kompakt. Århus: Arkitektskolens Forlag.
- Baker N., Ratti C.
2000. Simplified Urban Climate Models from Medium-Scale Morphological Parameters. World Meteorological Organisation WMO/TD 1026. Selected Papers from the International Conference in Urban Climatology ICUC99
- Baker N., Steemers K.
1998. Energy and environment in architecture. London: E. & F. N. Spon.
- Burdett R., Sudjic D.
2010. Endless city. London: Phaidon
- Campioli A.
1993. Il contesto del progetto. Milano: Francoangeli
- Caniggia G.
1976. Strutture dello spazio antropico: studi e note. Firenze: UNIEDIT.
- Caniggia G.
1993. Ragionamenti di tipologia: operatività della tipologia processuale in architettura. Firenze: Alinea
- Caniggia G., Maffei G.L.
1984. Composizione architettonica e tipologia edilizia: 2. Il progetto dell'edilizia di base. Venezia: Marsilio.
- Caniggia G., Maffei G.L.
2001. Architectural composition and building typology: Interpreting basic buildings. (1ed.:1979. Composizione architettonica e tipologia edilizia: 1.Lettura dell'edilizia di base. Venezia: Marsilio.) Florence: Alinea
- Cataldi G.
1977. Per una scienza del territorio: studi e note. Firenze: Uniedit.
- Charlot-Valdieu C., Outrequin P.
2009. L'urbanisme durable: concevoir un écoquartier. Paris: Le Moniteur
- European Institute For Energy Research
London School of Economics - LSE.Cities
-not yet released-. Cities and Energy. Urban Morphology and Heat Energy Demand. London: LSE Cities
- Farinelli F.
2003. Geografia: un'introduzione ai modelli del mondo. Torino: Einaudi.
- Garzanti
1996. Enciclopedia dell'architettura Garzanti. Milano: Garzanti.
- Geisendorf C.-E., Schüepf J.R., Stanesco A., Tönshoff H.
1983. Dichte individuelle Wohnbauformen eine systematische Beispielsammlung Stuttgart: Gerd Hatje.
- Givoni B.
1989. Urban design. in Different climates. n346 Geneva: World Meteorological Organisation WMO/TD
- Grassi G.
1967. La costruzione logica dell'architettura. Padova: Marsilio.
- Habraken J.
1998. The Structure of the Ordinary, Form and Control in the Built Environment. J.TeicherEditor Cambridge: MIT Press
- Habraken J., Boekholt J.T., Thyssen A.P., Dinjens P.J.M.
1976 Variations, the Systematic Design of Supports. Cambridge, USA and London: MIT Press.
- Hitthaler S.
2009. Vom KlimaHaus zur KlimaZone. atti Zukunft Bauen: Internationale Fachtagung 22-24.01.09 Bolzano
- Hitthaler S. (ed.)
2010. Urban Klima: ZonaClima, una sperimentazione a Brunico. dossier in Paesaggio Urbano. n3 pp97-110. Maggioli Editore
- Hitthaler S., Heiter G., Falkenhagen C.
2012. Piccolo Percorso. in Passivhaus Leitfaden. In fase di pubblicazione: riferimento bibliografico soggetto a possibili variazioni
- Ingersoll R.
2004. Sprawltown. Roma: Meltemi.
- Koolhaas R.
1978. Delirious New York: a retroactive manifesto for Manhattan. London: Thames and Hudson
- Koolhaas R., Mau B., Sigler J., Werlemann H.
1995. Small, medium, large, extra-large: Office for Metropolitan Architecture, Rem Koolhaas, and Bruce Mau. New York.NY: Monacelli Press.
- March L.
1972. Elementary models of built forms. in L.March (ed.) Urban Space and Structures. Cambridge: Cambridge University Press

- Maretto P., Caniggia G.
1986. La casa veneziana nella storia della città dalle origini all'Ottocento. Venezia: Marsilio.
- Marti Aris C.
1990. Le variazioni dell'identità: il tipo in architettura. Torino: Città Studi Edizioni
- Marti Aris C.
2005. La cimbra y el arco. Barcelona: Fundació Caixa d'Arquitectes.
- Marzot N.
1995. Lettura dell'edilizia di base Ferrarese. In M.Zaffagnini, A.Gaiani, N.Marzot. Morfologia urbana e tipologia edilizia. Bologna: Pitagora.
- Moneo R.
1978. On Typology. in *Oppositions*. n13 Cambridge: MIT Press. pp23-44
- Muratori S.
1960. Studi per una operante storia urbana di Venezia. Roma: Istituto poligrafico dello Stato.
- Muratori S.
1967. Civiltà e Territorio. Roma: Centro Studi di Storia Urbanistica.
- Nardi G.
1994. Le nuove radici antiche: saggio sulla questione delle tecniche esecutive in architettura. Milano: Franco Angeli
- Neufert E., Baglioni A., Gottfried A., Collina L.
1999. Enciclopedia pratica per progettare e costruire. Manuale ad uso di architetti, ingegneri, periti edili e costruttori, docenti e discenti. Norme e prescrizioni per progettare, costruire, dimensionare, distribuire. Milano: U.Hoepli.
- Peroni R.
1998. Classificazione tipologica, seriazione cronologica, distribuzione geografica. in *Aquileia Nostra* LXIX. pp10-27
- Ratti C., Baker N., Steemers K.
2004. Energy consumption and urban texture. in *Energy and Buildings*. n37 pp762-776
- Reimerink L.
2008. Grenzeloos Wonen: Europa verhuist. Wormer: Inmerc.
- Rossi A.
1966. L'architettura della città. Padova: Marsilio
- Samonà G.
1975. I concetti di standard e tipologia nell'urbanistica. in P.Lovero (ed.) *L'unità architetture urbanistica. Scritti e progetti 1929-1973* Milano: Franco Angeli Editore.
- Steemers K., Baker N., Crowther D., Dubiel J., Nikolopoulou M., Ratti C.
1997. City texture and Microclimate. in *Urban Design Studies*. n3 pp25-49
- UN-HABITAT. United Nation Human Settlements Programme
2008. State of the World's Cities 2008-2009. Harmonious Cities. London: UN-HABITAT
- Uytengaak R.
2008. *Cities Full of Space: Qualities of Density*. Rotterdam: 010 Publisher.
- Whitehand J.W.R.
1988. Urban fringe belts. Development of an idea. in *Planning Perspectives*. n3.1 pp47-58
- Whitehand J.W.R.
1994. Development Cycles and Urban Landscapes. in *Geography* n99 pp3-17
- Whitehand J.W.R.
2005. Urban Morphology, Urban Landscape Management and Fringe Belts. in *Urban Design* n93 pp19-21
- Zaffagnini M. (ed.)
1992. Edilizia residenziale. in *Manuale di progettazione edilizia. Vol.1 Tipologia e criteri di dimensionamento*. Milano: Hoepli.
- Zaffagnini M., Gaiani A., Marzot N.
1995. *Morfologia urbana e tipologia edilizia*. Bologna: Pitagora



PARTE II

Section II typological analysis and sampling

The mapping of Rotterdam housing types has been achieved through a clusters analysis of the building stock, based on the morphological characteristics of the buildings. A sub-set of GIS derived parameters has been selected through a Principal Components analysis of the dataset and the variable selection criteria B4 introduced by Jolliffe (1972; 2002). The cluster analysis has been calculated with the algorithm Two-Step by SPSS. A stability test of the results has been run for different randomization of the data and then compared to a validating K-means cluster analysis based on the obtained centres [T17]. The 9 resulting clusters has been recognized as building variants of 6 housing types. The typological distribution has been calculated for all the metropolitan area of Rotterdam. The samples of urban textures has been selected [T40] according to the neighbourhoods most diffuse type (prevailing type), the number of types [τ] in the sample (typological uniformity) and the angle range [Δ] between buildings (seriality of the aggregation).

ANALISI TIPOLOGICA DEL PARCO EDILIZIO

individuazione delle componenti edilizie dell'aggregato

La definizione di tipo edilizio assunta per l'indagine consente di restituire un'analisi delle configurazioni aggregative basata sulle variazioni delle componenti edilizie dell'aggregazione e, al tempo stesso, di impostare un modello di calcolo energetico basato sui consumi dei singoli edifici.

modello di analisi
in ambiente GIS

L'indagine è stata condotta tramite un sistema informativo territoriale¹ (*geographic information system - GIS*) che consente la redazione e gestione di database di notevoli dimensioni quali quelli necessari per l'indagine dell'aggregato. Un GIS infatti rappresenta *l'insieme di strutture, metodi, strumenti e dati digitali finalizzato ad analizzare fenomeni localizzati e a facilitare il processo decisionale su di esso afferenti* (cfr. Joliveau 2004).²

Pertanto in collaborazione con l'European Institute For Energy Research è stato redatto un database in ambiente GIS delle caratteristiche morfologiche di un campione edilizio catastale, sulla base del quale condurre la stima dei fabbisogni energetici basati sulle reciproche influenze dei singoli manufatti.

¹ Per la redazione del database ci si è avvalsi della versione 9.0 di ESRI ArchGIS.

² testo originale in francese. cfr. Joliveau 2004

Limitazione del campo d'indagine

l'ambito di Rotterdam

Per garantire l'uniformità degli apporti energetici interni e ampia varietà di configurazioni aggregative, la ricerca si concentra sull'analisi dell'edilizia a destinazione d'uso residenziale realizzata tra il 1870 e il 2003. Tale limitazione di campo ha trovato nel contesto urbano di Rotterdam l'ambito di campionamento idoneo alle finalità d'indagine assunte.¹

il dato catastale

Il lavoro di ricerca si basa quindi sui dati planimetrici vettorializzati della città messi a disposizione dagli uffici catastali e lavori pubblici Landmeten Gemeentewerken e dS+V. Si tratta dell'insieme delle planimetrie catastali relative all'intera area municipale aggiornate al 2003 e georeferenziate secondo il sistema Rijksdriehoekscoördinaten (RD-coördinaten) basato sul sistema di coordinate europeo ETRS89.

All'interno dei dati messi a disposizione dal Landmeten, per un livello di definizione LoD1,² si registra una incompletezza nei dati catastali. Il problema è circoscritto alla sola area di Overschie, nella periferia nord-ovest della città, e riguarda 104 edifici residenziali (tutti riconducibili a tipi *a schiera e in linea*) che risultano mancanti di parcella identificativa e altezze relative. Si tratta di un puntuale errore di redazione della mappa catastale che coinvolge quindi all'incirca lo 0,1% del dato residenziale (0,08% del intero parco edilizio) e per tanto tali porzione è stata trascurata nelle analisi successive.

Limitazione delle destinazioni d'uso

Per poter integrare nel confronto dei fabbisogni energetici i carichi dovuti ad apporti interni, il campo d'indagine è stato limitato alla sola edilizia residenziale. La distinzione per programmi funzionali dei dati catastali è stata condotta estraendo la destinazione d'uso dei suoli dalle mappe redatte dall'*European Environment Agency* EEA all'interno del progetto *GMES Urban Atlas*. L'atlante fornisce un quadro generale dell'occupazione e uso del suolo per aree urbane superiori a 100.000 abitanti nel contesto paneuropeo.

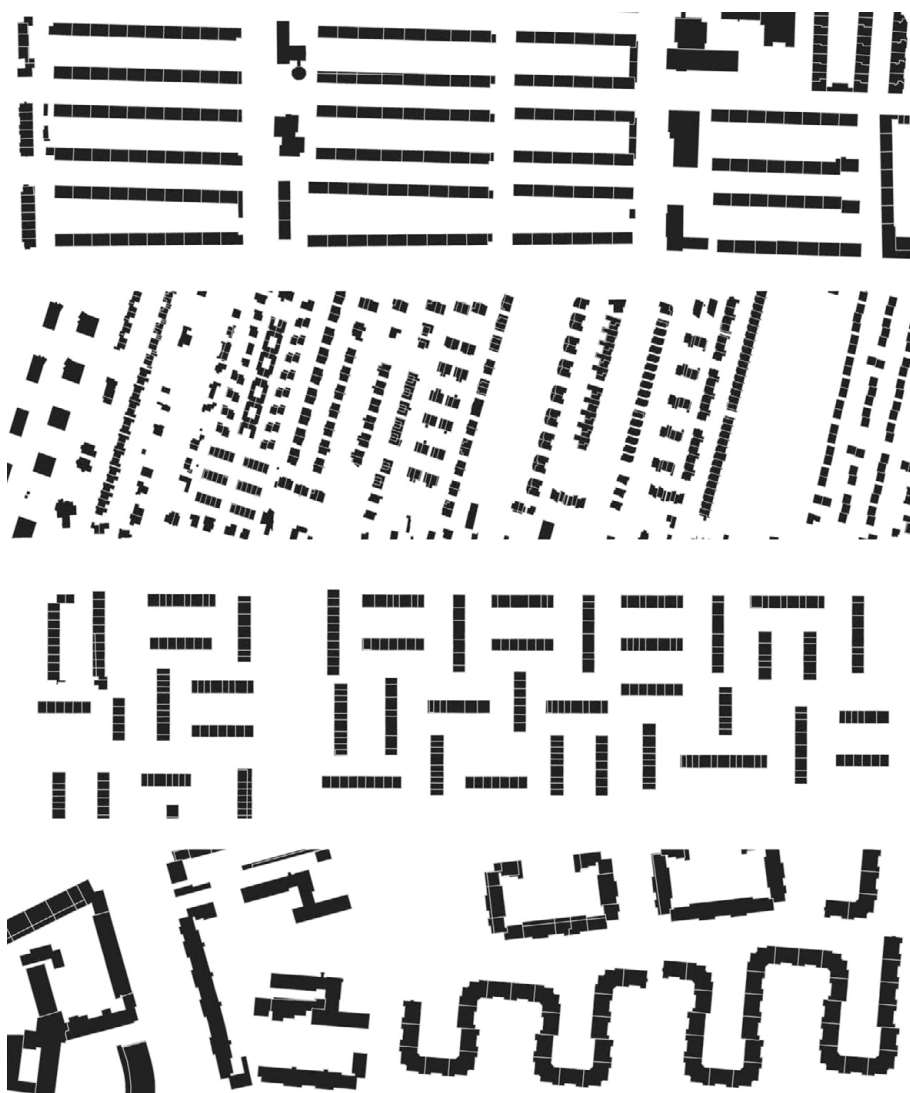
destinazioni d'uso

¹ Rotterdam presenta infatti un parco edilizio coerente con i limiti temporali d'indagine. Le porzioni più antiche della città sono andate perdute durante il secondo conflitto mondiale mentre le fasi di espansione post bellica e gli interventi di riqualificazione degli ultimi 20 anni sono stati teatro di un'intesa attività di sperimentazione in ambito residenziale. cfr. Laar et al.2007; Koolhaas et al.1995.

² Il livello di definizione LoD1 corrisponde al grado di restituzione dei dati volumetrici in ambiente GIS. In particolare i dati messi a disposizione non conservano informazioni circa superfici inclinate, ovvero non parallele o ortogonali al piano di proiezione del suolo. Pertanto i volumi edilizi sono definiti per parallelepipedi vettoriali la cui elevazione corrisponde all'altezza media delle coperture.

consistenza del parco
residenziale

La non elevata scala di definizione, per quanto completa dell'intera area metropolitana di Rotterdam, ha reso necessario una ulteriore selezione dei dati catastali tramite l'integrazione delle zonizzazioni del *Bestemmingsplan*³ municipale nel database georeferenziato. A seguito di tale selezione l'insieme di unità edilizie raccolte è pari a 106330 edifici residenziali.



[T06] Porzioni delle planimetrie catastali di Rotterdam: esempi di aggregazioni. Dall'alto i quartieri di Carnisse, 's- Graveland, Pendrecht e Rubroek

³ Piano di zonizzazione vigente equiparabile ai PRGC o PSC italiani. In particolare ci si riferisce alle carte dello stato di fatto e uso dei suoli di Rotterdam redatte a scala 1:500 e aggiornate al 2004.

[nelle pagine seguenti] Visualizzazione dei volumi edilizi di Rotterdam in ambiente GIS





Mappatura tipologica tramite analisi per clusters statistici

Tramite la redazione del database morfologico è stato quindi possibile mappare i tipi edilizi esistenti tramite la segmentazione del parco edilizio per clusters statistici che ha permesso di differenziare in gruppi morfologicamente omogenei l'edilizia residenziale in analisi.

Trattandosi di una distinzione basata su un campione reale, il riconoscimento delle differenti tipologie è ovviamente vincolato allo spettro di soluzioni morfologiche esistenti. Per tanto l'analisi è stata estesa all'intero parco residenziale di Rotterdam, assumendo i confini municipali come limite di selezione. Basandosi sul solo dato catastale in ingresso, la procedura risulta di notevole interesse specialmente per l'esportabilità del metodo ad altri ambiti urbani. I parametri morfologici necessari per la clusterizzazione sono infatti calcolabili o derivabili nel database relazionale, avendo a disposizione le sole planimetrie catastali, integrate con le altezze degli edifici.

L'analisi per clusters (*clusters analysis*) consente infatti la definizione di sottoinsiemi omogenei all'interno di una popolazione di casi o di osservazioni.⁴ Si tratta di una procedura di analisi statistica multivariata frequentemente utilizzata ad esempio in analisi tassonomica o nelle segmentazioni di mercato (cfr. Mooi Sarstedt 2011) che identifica raggruppamenti di casi basati su una misura di similarità/dissimilarità. Il processo di definizione di tali raggruppamenti, i *clusters*, è finalizzato a minimizzare la dissimilarità o 'distanza' *all'interno* dei raggruppamenti stessi e a massimizzare la lontananza *tra* di essi, consentendo quindi un'analisi sistematica dell'appartenenza di ciascun caso o osservazione ad un gruppo (Garson 2010).

clusters analysis

L'analisi per clusters può essere quindi applicata ad un campione edilizio tramite la raccolta e il confronto delle caratteristiche dei manufatti rese possibili dai database relazionali in ambiente GIS. Adottando quindi i parametri di misurazione della morfologia edilizia è possibile ottenere una distinzione del campione in clusters omogenei per caratteristiche *formali* e ricondurre gli stessi, in un momento successivo, a categorie tipologiche riconosciute.

tipologia e
clusters analysis

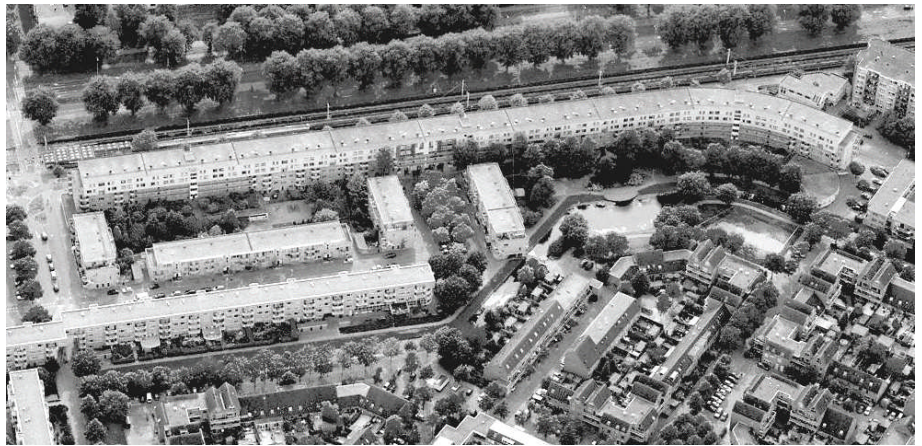
L'analisi per clusters statistici non è infatti assimilabile ad un processo di classificazione dei manufatti in categorie tassonomiche predefinite.⁵ Il procedimento di analisi non è cioè finalizzato a ricondurre i singoli casi, gli edifici, all'interno di soglie o intervalli parametrici (pre)stabiliti, ma

⁴ cfr. ad es. Abonyi Feil 2007; Jajuga et al. 2002; Garson 2010.

⁵ cfr. ad es. Jajuga et al. 2002; Abonyi Feil 2007

mira ad evidenziare quali sottoinsiemi del campione meglio restituiscono (massimizzandole) le differenze misurate nella ‘popolazione’ edilizia. Tale processo richiede pertanto una seconda fase d’analisi nella quale interpretare e ricondurre i clusters ottenuti alle famiglie, classi, tipologie o varianti edilizie codificate nella letteratura di settore.

Solo tramite questa seconda fase di lettura è possibile associare i singoli casi edilizi raggruppati a quei patterns costruttivo-distributivi che il tipo edilizio sintetizza, quali ad esempio le logiche distributive interne ricorrenti (non esplicitate nel dato catastale originale) o la percentuale media di bucatura delle facciate. In questo modo è possibile ottenere un modello di distribuzione delle caratteristiche morfologiche maggiormente incidenti sul comportamento energetico dell’edilizia.



[T07] Margini di variazione del dato morfologico catastale: l'esempio dell'edificio residenziale De Muur presso Oosterflank affiancato da tipi edilizi a schiera - fonte: Microsoft Bingmaps

La clusters analysis e il conseguente riconoscimento dei tipi edilizi non mira pertanto a sostituire l’analisi tipologica dei manufatti o dell’impianto aggregativo, ma consente, con un contenuto impiego di risorse di computazione e di dati in ingresso, la mappatura di un esteso parco edilizio, quale quello di Rotterdam.

Il *livello di tipicità* (Caniggia Maffei 2001) risultante da tale processo di riconoscimento è conseguentemente vincolato alle caratteristiche derivabili dal dato catastale⁶ e non può spingersi al confronto delle peculiarità costruttive dei singoli manufatti. Ciononostante l’approccio garantisce al tempo stesso la stabilità dell’analisi multivariata (grazie all’elevato numero di casi esaminati) ed un’ampia casistica di soluzioni aggregative campionabili per la successiva stima energetica.

⁶ i dati catastali si intendono integrati delle altezze dei singoli edifici

L'algoritmo di clustering Two-step

L'analisi dei clusters è stata condotta tramite l'algoritmo *Two-step* sviluppato da SPSS Inc.⁷ Tale procedimento si basa su un algoritmo di calcolo articolato in due fasi, derivate dalla procedura di *data mining* BIRCH (Zhang et al.1996) che consente, grazie ad una prima fase di pre-raggruppamento dei dati (*sub-clusters*), l'applicazione di una procedura di clustering gerarchico agglomerativo anche a database di notevoli dimensioni.

L'algoritmo è sviluppato per poter supportare in fase di calcolo sia variabili categoriali che continue (Chiu et al.2001) e consente la specifica di un predefinito numero di clusters da individuare o la selezione automatizzata di un numero ottimizzato di raggruppamenti secondo il test di verifica di Akaike (*Akaike's Information Criterion*) o il criterio di informazione Bayesiano (*Bayesian Information Criterion*).

Altri metodi di analisi per raggruppamenti, come il *clustering gerarchico* tradizionale, tendono a restituire minori livelli di accuratezza del clustering e, rispetto all'algoritmo Two-step, risultano meno stabili per dataset di *notevoli*⁸ dimensioni (SPSS 2001; Garson 2010) quali quelli necessari per l'indagine dell'aggregato.

Basando in oltre la misurazione di (dis)similarità sulla minor distanza euclidea tra i casi, i clustering gerarchici tradizionali possono risultare maggiormente sensibili a valori anomali (*outliers*) presenti nei dati (Mooi Sarstedt 2011), caratteristica non trascurabile in un insieme di dati catastali reali dove la dimensione dell'unità edilizia dipende dalla molteplicità di obiettivi e soggetti coinvolti nel processo edilizio.⁹

Metodi di clusterizzazione non gerarchica, come il metodo *k-means*, necessitano di contenute risorse di computazione e risultano maggiormente stabili, rispetto ad algoritmi gerarchici, anche in presenza di numerose variabili d'analisi, essendo meno influenzati dall'eventuale non significatività di alcune di esse (Mooi Sarstedt 2011). Tali algoritmi richiedono però la predeterminazione, stimata o teorica, nel numero di clusters da individuare e dei relativi centroidi (SPSS 2001).

selezione dell'algoritmo di clusterizzazione

[T07]

⁷ Tutte le analisi statistiche riportate nell'indagine sono state condotte tramite la versione 18.0 del software di calcolo statistico SPSS.

⁸ Empiricamente Mooi e Sarstedt (2011) indicano la soglia approssimativa dei 500 casi campionati per la definizione di dataset di grandi dimensioni. In Garson (2010) è possibile riscontrare il valore di 250 casi per la definizione di dimensione medio/piccola del campionamento. Il dataset redatto sui dati catastali di Rotterdam presenta 106330 casi di edilizia residenziale, annoverandosi quindi come dataset di grandi dimensioni.

⁹ Cfr. ad es. nella sola Rotterdam il blocco residenziale De Muur di 300 m di den Berg e de Groot presso Oosterflank (Kobelaan) o i più recenti interventi degli EGM Architecten a Bergweg o del Kuiper Compagnons nell'area Kobe a Hoogvliet, caratterizzati da complesse soluzioni a ballatoio eccezionali, per dimensione, rispetto alle dimensioni medie del parco edilizio.

verifica di stabilità
dei risultati

L'algoritmo Two-step è stato pertanto preferito per la segmentazione del parco edilizio di Rotterdam. In una fase successiva, i centri dei raggruppamenti risultanti sono stati utilizzati per condurre una clusterizzazione non gerarchica per *k-means*, i cui esiti sono serviti per la validazione dei risultati ottenuti.

I raggruppamenti sono stati quindi confrontati con i margini di variazione ottenuti applicando l'algoritmo Two-step a diverse randomizzazioni dei dati morfologici originali, in modo da verificare la stabilità dei risultati dall'eventuale influenza¹⁰ che la strutturazione dei dati può avere sulla componente gerarchica della procedura Two-step (SPSS 2001; Garson 2010).

La selezione dei parametri morfologici

L'individuazione dei clusters si basa sulla misura di *similarità* o, viceversa, di *lontananza* dei singoli campioni, intesa come distanza tra le caratteristiche osservate in una popolazione. Per l'analisi dell'edilizia aggregata tali osservazioni sono state quantificate tramite parametri *morfologici* assunti come variabili dell'algoritmo di clusterizzazione.

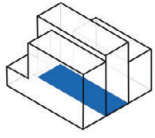
La loro selezione mira pertanto a definire i caratteri distintivi dei clusters, per garantire la massimizzazione di quelle differenze che permettano di ricondurre i raggruppamenti individuati a tipi edilizi codificati. Pertanto tali parametri non consentono, analizzati singolarmente, di restituire la complessità distributiva o costruttiva riassunta nel concetto di *tipo*, ma permettono, utilizzati simultaneamente nel processo di clustering, una segmentazione del parco edilizio per caratteristiche morfologiche.

parametri morfologici e
variabili di clustering

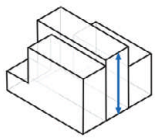
In coerenza con le finalità d'indagine descritte, sono stati raccolti 10 parametri morfologici tramite la ricognizione di precedenti esperienze di analisi o classificazione parametriche dell'edilizia.¹¹ A questi, sono stati aggiunti altri 3 indici, definiti durante il percorso di ricerca, che si sono dimostrati particolarmente efficaci al fine di diversificare la popolazione edilizia per caratteristiche plani-volumetriche tipiche delle distinzioni distributive ricorrenti in ambito architettonico. Per ogni parametro viene illustrata di seguito la procedura di calcolo condotta in ambiente GIS e restituita una sintesi delle potenzialità o criticità di utilizzo dello stesso nell'individuazione dei clusters.

¹⁰ La possibile influenza della struttura dei dati sugli algoritmi di clusterizzazione è solitamente più incidente per dataset di contenute dimensioni (Garson 2010). La mole dei dati raccolti suggerisce una minima ricaduta (confermata dai risultati) dell'ordine degli stessi sull'individuazione dei raggruppamenti. I margini di variazione ottenuti sono riconducibili, come spiegato successivamente, alle affinità di configurazione che tipi edilizi differenti possono assumere. Il test di stabilità condotto restituisce quindi una stima della consistenza di tali ambigue attribuzioni.

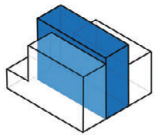
¹¹ cfr. APUR 2007; Salat 2009; Ratti et al. 2005; Bahu 2010; CLIP 2001; Steadman et al. 2000, Brown Steadman 1991a-b, Zaffagnini 1992.



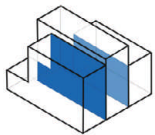
S_{foot} - Superficie di impronta (*footprint*) dell'edificio, calcolata come superficie lorda del pianterreno, aggetti esclusi, e misurata in [mq]. Una clusterizzazione per [S_{foot}] consente la distinzione del campione per occupazione del suolo che, dal confronto con precedenti classificazioni qualitative¹², sembra consentire in maniera particolarmente efficace la distinzione tra tipologie edilizie. Criticità nell'utilizzo di tale parametro possono presentarsi in presenza di superfetazioni dell'edilizia o nella corretta distinzione ad esempio tra tipologie *in linea* o *a torre*, non restituendo informazioni circa configurazione aggregativa o altezza dei manufatti.



h_{max} - Altezza massima osservabile tra le differenti componenti dell'unità edilizia (proiezione secondo il sistema di coordinate *Rijksdrieboek.scoördinaten*): parametro misurato in [m]. Per quanto frequentemente utilizzato come parametro descrittivo, tale indice non consente una distinzione corretta tra tipologie edilizie. A parità di elevazione infatti sono riscontrabili differenti soluzioni tipologiche.¹³ L'altezza massima risulta pertanto utile, se computata assieme ad altri parametri morfologici, per massimizzare la distinzione di tipologie solitamente di notevole elevazione, come torri o ballatoi (*highrise buildings*).



V - Volume lordo dell'unità edilizia misurato in [m^3] e calcolato come sommatoria degli ingombri volumetrici dei singoli corpi di fabbrica compresi nel perimetro della parcella fondiaria.¹⁴ Il grado di definizione dei dati catastali georeferenziati (LoD1) non consente la restituzione di pareti inclinate o aggetti, che pertanto sono stati esclusi dall'analisi. Prove di clusterizzazione hanno messo in luce come il parametro volumetrico risulti particolarmente efficace per la distinzioni dei tipi edilizi solo all'interno di aggregati caratterizzati da minimi livelli di uniformità tipologica.



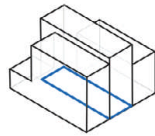
S_{shrd} - superficie di involucro condivisa con un'altra unità edilizia contigua misurata in [mq]. Analogamente alla superficie [S], il parametro è funzione sia della contiguità edilizia che dell'altezza delle costruzioni. In aggregati edilizi particolarmente densi per occupazione del suolo, il parametro [S_{shrd}] consente

¹² cfr. ad es. la 'legge dei successivi raddoppi' proposta da Caniggia e Maffei (2001) nell'analisi di evoluzione processuale dei tipi edilizi, la quale evidenzia una possibile distinzione delle tipologie per addizioni di componenti cellulari e non per semplici incrementi lineari.

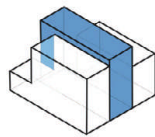
¹³ Nel caso di Rotterdam, per un'altezza di 5 piani (13m ca.) sono rintracciabili ad esempio tipi a schiera, in linea, a torre e a ballatoio.

¹⁴ in caso di pareti condivise il limite volumetrico coincide con il limite della proprietà.

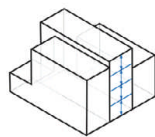
una distinzione delle differenti tipologie, mentre risulta inefficace nella differenziazione di edilizia isolata.



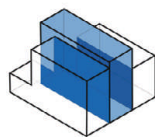
P - Perimetro dell'unità edilizia relativo alla superficie lorda catastale del pianterreno, aggetti esclusi, misurato in [m]. Il parametro, svincolato dalla configurazione in altezza dei manufatti, restituisce efficacemente la distinzione di ingombro delle *cellule*¹⁵ costituenti i diversi tipi edilizi, pur escludendo informazioni quantitative circa le differenti configurazioni isolate o contigue dei manufatti.



S - estensione dell'involucro edilizio calcolata come superficie disperdente con l'ambiente esterno al netto di eventuali aggetti e della superficie di occupazione del suolo. Parametro misurato in [mq]. Analogamente al calcolo del volume [V], superfici inclinate sono approssimate a piani verticali e orizzontali, secondo il grado di definizione LoD1. Tale parametro risulta pertanto funzione della configurazione distributiva dei manufatti, del numero di piani in elevato, e dell'assetto aggregativo, essendo le superfici condivise con l'eventuale edilizia contigua non computate nell'involucro.



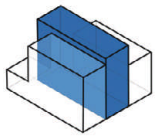
h_{str} - stima del numero di piani dell'edilizia, calcolato per un'altezza media d'interpiano di 280 cm¹⁶: parametro adimensionale. Analogamente all'altezza [Hmax] dalla quale si differenzia per la maggiore uniformità di osservazioni e conseguente enfattizzazione delle differenze relative, il numero di piani risulta efficace solo per massimizzare la distinzione di tipologie *highrise* dal restante parco edilizio.



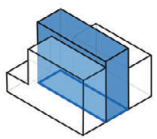
S_{shrd}/S - indice di contiguità dell'edilizia calcolato come rapporto tra superficie di involucro condivisa con altre unità edilizie e superficie disperdente: parametro adimensionale. Introducendo il rapporto con la superficie esterna d'involucro, il parametro restituisce una apprezzabile distinzione di tipologie edilizie per contesti fortemente densificati. Il parametro risulta invece inefficace per la differenziazione di edilizia isolata.

¹⁵ Il concetto di 'cellula' afferisce alle teorie sui processi di formazione (e distinzione) dei tipi edilizi proposte da S. Muratori. Per una trattazione più dettagliata si rimanda a Parte I - Glossario

¹⁶ L'altezza minima per ambienti residenziali è stata infatti alzata a 260cm solo nel 2003, mentre la produzione edilizia olandese successiva al secondo dopoguerra è caratterizzata da altezze minime di 240cm (cfr. Andeweg Koopman 2007); ne risulta una dimensione d'interpiano più ridotta rispetto ad altri standard europei.

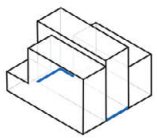


S/V - indice di compattezza dell'edificio calcolato come rapporto tra superficie disperdente con l'ambiente esterno e volume lordo: parametro adimensionale. Per quanto si tratti di un parametro spesso utilizzato in letteratura per l'analisi e regolamentazione del comportamento energetico dell'edilizia, la misurazione della compattezza di un edificio non riesce a restituire compiutamente le differenze degli assetti distributivi utilizzati per le definizioni tipologiche. Il parametro $[S/V]$ è infatti indifferente alla scala dimensionale dei manufatti, presentando criticità nella distinzione di configurazioni tipologie che presentino analoghi livelli di compattezza.

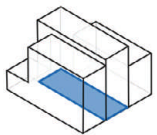


P²/V - indice di compattezza dell'edificio calcolato come rapporto tra perimetro del pianterreno e volume lordo della costruzione:¹⁷ parametro adimensionale. Analogamente all'indice $[S/V]$, tale parametro non risulta efficace nella massimizzazione delle differenze tra tipologie edilizie, ma rispetto ad esso, enfatizza la distinzione delle compattezze planimetriche degli edifici.

Alla luce delle specifiche distinzioni che la classificazione dei tipi assume in ambito architettonico, a tale raccolta sono stati aggiunti 3 ulteriori parametri definiti specificamente per gli obiettivi della ricerca, che in fase di analisi si sono rivelati particolarmente efficaci per la differenziazione delle caratteristiche morfologiche codificate in ambito disciplinare.

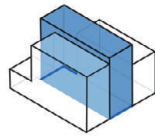


P_{ext} - perimetro esterno dell'edificio, calcolato come porzione del perimetro al pianoterra dell'edificio non condivisa con altre costruzioni confinanti. Il parametro, misurato in [m], rappresenta pertanto la porzione di perimetro potenzialmente idonea ad ospitare gli affacci principali, restituendo la logica di affaccio (e distributiva) degli ambienti interni.



P/S_{foot} - indice di compattezza planimetrica dell'edificio. Parametro adimensionale calcolato come rapporto tra il perimetro al pianterreno dell'edificio e la relativa area di occupazione del suolo. Il parametro, pur presentando criticità analoghe ad altri indici di compattezza, misura le sole variazioni planimetriche indipendentemente dagli assetti volumetrici dell'edilizia.

¹⁷ a volte menzionato anche come $[P/\sqrt{V}]$



P_{ext}/V – indice di configurazione volumetrica calcolato come rapporto tra il perimetro esterno [P_{ext}] e il volume lordo del manufatto: parametro adimensionale. L'indice consente la differenziazione dei manufatti caratterizzati da analoghi volumi.

matrice dei dati morfologici

standardizzazione
delle variabili

L'insieme di parametri morfologici raccolti si compone quindi di variabili scalari continue¹⁸ calcolate tramite GIS per ogni unità residenziale di Rotterdam, restituendo una matrice di 106330 casi, le unità residenziali, e 13 variabili, i parametri morfologici. La maggior parte di tali indici è definita per unità di misura differenti e ha richiesto pertanto la standardizzazione delle stesse per evitare l'eccessiva incidenza di un singolo parametro nel processo di clusterizzazione dovuta al solo ordine di grandezza della variabile. Nello specifico la *Z standardization*, idonea per le specifiche di calcolo ed integrata di default nell'algoritmo Two-step, è stata applicata alle variabili selezionate.¹⁹

¹⁸ La selezione di parametri scalari ha consentito in oltre di sottrarre l'analisi alle criticità riscontrate per nell'applicazione di variabili categoriali all'algoritmo Two-Step (Bacher et al. 2004).

¹⁹ Per ulteriori specifiche di calcolo si rimanda alle pubblicazioni della stessa SPSS Inc. The SPSS twostep cluster component. Chicago 2001: SPSS technical report.

Analisi delle Componenti Principali

I 13 parametri raccolti concorrono quindi a restituire un quadro delle proprietà formali dell'edilizia. Di conseguenza l'insieme dei dati si caratterizza per la presenza di una consistente correlazione tra gli stessi indici morfologici, le cui ricadute potrebbero però compromettere la corretta individuazione dei clusters a causa dalla conseguente 'ridondanza' delle informazioni restituite dai parametri correlati. Tali considerazioni trovano riscontro nei presupposti di calcolo dell'algoritmo Two-step (SPSS 2001; Garson 2010) dove l'eventuale non-indipendenza delle variabili rappresenta una violazione degli assunti. Si è resa quindi necessaria una seconda fase di selezione dei parametri, tramite l'individuazione di un sottoinsieme di indici morfologici al tempo stesso indipendenti e capaci di restituire le differenze distintive dell'edilizia, senza per questo comportare una perdita significativa dell'insieme di informazioni rappresentato dal complesso dei 13 parametri.

correlazione dei parametri
morfologici e selezione
delle variabili di clustering

Tale riduzione è conseguibile tramite l'analisi delle Componenti Principali calcolata sulla matrice delle osservazioni raccolte. Le Componenti Principali infatti costituiscono una combinazione lineare dell'originario insieme di parametri selezionati, che risulta quindi sostituibile con un numero inferiore di variabili ortogonali derivate. Si tratta pertanto di una procedura di riduzione dimensionale in grado di restituire un sotto-insieme di variabili indipendenti, ciascuna delle quali conserva, per soglie progressivamente decrescenti, una porzione della varianza dei dati analizzati, ovvero della quantità di informazioni rappresentata dai parametri originari (Jolliffe 2002; Al-Kandari Jolliffe 2005). In un processo di analisi multivariata infatti, la presenza stessa di forti correlazioni, come quelle osservabili in un parco edilizio,²⁰ è garanzia della minima perdita di varianza allo scarto di variabili ridondanti²¹ (Jolliffe 1973; King Jackson 1999).

[T08]

Rispetto però alle tradizionali applicazioni di tale procedura²², si è preferito non fare ricorso ai punteggi delle Componenti (*components scores*), cioè agli esiti del processo di combinazione lineare, come variabili di calcolo del successivo clustering. Se infatti l'utilizzo degli *scores* è garanzia dell'indipendenza del sottoinsieme di variabili ottenuto, essi restituiscono comunque una derivazione lineare di tutti i parametri originari, tramite la quale non è quindi possibile escludere una sovrarappresentazione dei parametri correlati nel processo di clusterizzazione.

²⁰ cfr. tabella [T08]

²¹ Gli elevati livelli di correlazione che caratterizzano i parametri morfologici dell'edilizia (cfr. T08) suggeriscono in oltre una ridotta probabilità che la selezione di variabili possa compromettere l'individuazione di clusters di contenute dimensioni. Tale rischio, evidenziato da Dolnicar and Grün (2008) risulta ulteriormente contenuto dall'utilizzo dell'algoritmo Two-Step (cfr. Horn Huang 2009) e trova conferma nei risultati della clusterizzazione condotta. cfr. [T17]

²² cfr. ad es. Garson 2010; Mooi Sarstedt 2011

In oltre, Dolnicar and Grün (2008) mettono in evidenza come un processo di segmentazione condotto tramite i punteggi delle Componenti (o di un'analisi Fattoriale) possa compromettere o fuorviare il confronto dei clusters con i parametri originali, essendo i primi calcolati su variabili derivate e non sulle osservazioni raccolte.

metodo B4

Pertanto si è preferito selezionare quel sottoinsieme di variabili che presentassero maggiori pesi (*loadings*) con le Componenti Principali estratte, corrispondenti cioè a quei parametri morfologici maggiormente correlati con le Componenti stesse. Ad ognuna di queste è stata quindi associata una variabile, consentendo di scartare il restante numero di parametri non selezionati. Tramite questa procedura, il numero delle Componenti Principali estratte viene quindi a coincidere con la dimensione del sottoinsieme di variabili individuato. La metodologia trova legittimazione in quanto a ciascuna Componente ad alta varianza risulta associato un solo gruppo di variabili correlate (Jolliffe 2002).

Tale procedimento è stato introdotto da I.T.Jolliffe (1972) con l'appellativo di *metodo B4* e ha trovato applicazione in successivi ambiti d'indagine caratterizzati da problemi di riduzione dimensionale dei dati, analoghi a quelli qui presentati (cfr. ad es. King Jackson 1999).

Al-Kandari (Al-Kandari Jolliffe 2005) restituisce un quadro esauriente delle potenzialità applicative di tale metodo comparandolo con altri modelli di selezione delle variabili (*variables selection criteria*) proposti da Krzanowski (1987), McCabe (1984) e dallo stesso Jolliffe (1972), senza però riscontrare prestazioni *uniformemente superiori* di un modello rispetto agli altri.²³ King e Jackson (1999) invece evidenziano, tramite un analogo indagine comparativa, l'applicazione²⁴ del metodo B4 a dataset di notevoli dimensioni, grazie alle contenute risorse di calcolo necessarie e alla quantità di informazioni conservata che il procedimento garantisce.

Pertanto il metodo B4 risulta preferibile in quanto coerente con le specifiche finalità di questo lavoro. Infatti, l'obiettivo della riduzione delle variabili qui presentato non coincide con l'interpretabilità della relazioni esistenti tra i parametri, cioè con l'analisi del sistema di rapporti rappresentato dalle Componenti Principali, né tanto meno con la massima riduzione possibile del numero di variabili. L'algoritmo Two-step è infatti in grado di supportare la quantità di parametri morfologici raccolti e, al tempo stesso, la matrice di dati in esame (106330x13) presenta un numero di casi, le singole unità edilizie, di ordine di grandezza decisamente superiore alle variabili in gioco.

²³ cfr. anche Jolliffe 2002

²⁴ King e Jackson (1999) suggeriscono l'utilizzo del metodo B4 tramite una soglia di estrazione delle Componenti derivata dal modello 'broken stick'. Quest'ultimo però viene messo in discussione dallo stesso Jolliffe (2002) e pertanto non trova applicazione nel presente lavoro.

Le dimensioni della matrice non pregiudicano quindi la stabilità dell'analisi multivariata (cfr. King Jackson 1999), il cui conseguimento rappresenta usualmente l'obiettivo dei criteri di selezione delle variabili.

La riduzione di parametri condotta è pertanto finalizzata unicamente a garantire l'assunto di indipendenza delle variabili estratte e ad evitare la sovrarappresentazione dei parametri correlati nella successiva *clusters analysis*. Pertanto la selezione è stata ottenuta applicando il metodo B4 ai dati morfologici del parco edilizio di Rotterdam.

Correlazione dei parametri morfologici

La tabella [T08] restituisce il quadro delle correlazioni esistenti tra i parametri calcolati sul parco edilizio. In particolare:

- $[S_{\text{foot}}]$, $[V]$, $[S]$, $[P]$, $[P_{\text{ext}}]$ risultano fortemente correlati per valori del coefficiente di Pearson > 0.7
- $[H_{\text{max}}]$, $[H_{\text{str}}]$ e $[S_{\text{shrd}}]$ presentano una forte correlazione tra loro e, per valori di Pearson ~ 0.5 , con $[V]$, $[S]$, $[S/V]$, $[P^2/V]$, $[P/S_{\text{foot}}]$ e $[P_{\text{ext}}/V]$
- l'indice $[P/S_{\text{foot}}]$ presenta correlazioni con quasi tutti gli altri parametri
- $[S/V]$ in oltre risulta fortemente correlato con $[P_{\text{ext}}/V]$ (Pearson 0.9) e con $[S_{\text{shrd}}]$ (Pearson ≈ 0.6)

Correlazione tra i
parametri morfologici

La matrice di correlazione bivariata conferma quindi l'ipotesi di non-indipendenza dei parametri. Su di essa è stata quindi condotta un'analisi delle Componenti Principali con l'obiettivo di selezionare un sottoinsieme di variabili non correlate da poter applicare al processo di clustering.

L'estrazione delle componenti

L'analisi della varianza totale spiegata [T09] restituisce la quantità di informazione conservata, espressa in percentuale di varianza cumulata, rispetto al numero di Componenti Principali estraibili. Secondo il criterio di individuazione di Kaiser (Kaiser 1960) la soglia di selezione di tale numero corrisponde alla quantità di Componenti che presentano autovalori ≥ 1 .

Pertanto, per la matrice di correlazione analizzata, è possibile estrarre 3 Componenti Principali a cui è associabile una conservazione dell' 84.3% della varianza dei dati originari. La procedura di individuazione trova conferma anche nello *scree test* (Cattell 1966) del grafico decrescente degli autovalori (*scree graph*), dove è possibile notare uno punto di flesso in corrispondenza della III Componente.

Varianza totale cumulata
per 3 Componenti Principali

[T10 scree graph]

Correlations

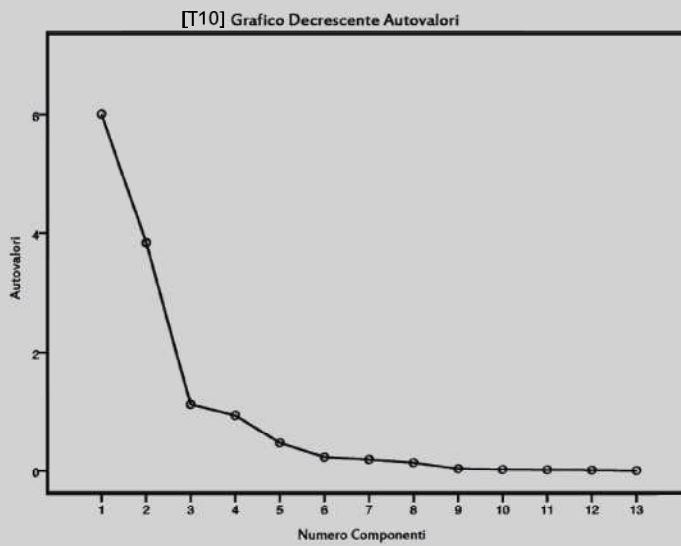
		[Sfoot]	[Hmax]	[V]	[P]	[S]	[Pext]	[Sshrd]	[Hstr]	[S/V]	[P2/V]	[P/Stoot]	[Sshd/S]	[Pext/V]
[Sfoot]	Pearson Correlation	1	,355	,869	,957	,918	,901	,152	,343	-,187	-,011	-,522	-,254	-,137
	Sig. (2-tailed)		,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	N	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330
[Hmax]	Pearson Correlation	,355	1	-,540	,366	-,508	,216	,741	,981	-,566	-,596	-,473	,208	-,473
	Sig. (2-tailed)	,000		,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	N	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330
[V]	Pearson Correlation	,869	,540	1	,799	,968	,727	,251	-,526	-,205	-,110	-,422	-,163	-,145
	Sig. (2-tailed)	,000	,000		,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	N	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330
[P]	Pearson Correlation	,957	,366	,799	1	,890	,934	,189	,354	-,196	,054	-,545	-,264	-,158
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000		,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	N	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330
[S]	Pearson Correlation	,918	,508	,968	,890	1	,853	,164	,494	-,162	-,071	-,479	-,273	-,131
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000		,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	N	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330
[Pext]	Pearson Correlation	,901	,216	,727	,934	,853	1	-,095	,207	,038	,140	-,492	-,482	,016
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000		,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	N	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330
[Sshrd]	Pearson Correlation	,152	,741	,251	,189	,164	-,095	1	,727	,634	-,449	-,282	,535	-,453
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000	,000		,000	,000	,000	,000	,000	,000
	N	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330
[Hstr]	Pearson Correlation	,343	,981	,526	,354	,494	,207	,727	1	-,559	-,590	-,458	,209	-,488
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000		,000	,000	,000	,000	,000
	N	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330
[S/V]	Pearson Correlation	-,187	-,566	-,205	-,196	-,162	,038	-,634	-,559	1	,664	,490	-,598	,909
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000		,000	,000	,000	,000
	N	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330
[P2/V]	Pearson Correlation	-,011	-,596	-,110	,054	-,071	,140	-,449	-,590	,664	1	,429	-,269	,661
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000		,000	,000	,000
	N	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330
[P/Stoot]	Pearson Correlation	-,522	-,473	-,422	-,545	-,479	-,492	-,282	-,458	,490	,429	1	,292	,460
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000		,000	,000
	N	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330
[Sshd/S]	Pearson Correlation	-,254	,208	-,163	-,264	-,273	-,482	,535	,209	-,598	-,269	,292	1	-,417
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000		,000
	N	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330
[Pext/V]	Pearson Correlation	-,137	-,473	-,145	-,158	-,131	,016	-,453	-,468	,909	,661	,460	-,417	1
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	
	N	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330	106330

[T08] Matrice di correlazione bivariata tra i parametri morfologici calcolati sul parco residenziale di Rotterdam.

[T09] Varianza totale spiegata

Componente	Autovalori iniziali		Pesii dei fattori non ruotati			Pesii dei fattori ruotati			
	Totale	% di varianza	% cumulata	Totale	% di varianza	% cumulata	Totale	% di varianza	% cumulata
1	6,007	46,208	46,208	6,007	46,208	46,208	5,176	39,812	39,812
2	3,843	29,561	75,769	3,843	29,561	75,769	2,906	22,357	62,169
3	1,109	8,534	84,303	1,109	8,534	84,303	2,877	22,134	84,303
4	,927	7,134	91,437						
5	,469	3,604	95,042						
6	,230	1,768	96,810						
7	,191	1,467	98,277						
8	,137	1,052	99,328						
9	,035	,270	99,599						
10	,020	,157	99,756						
11	,017	,132	99,888						
12	,011	,086	99,974						
13	,003	,026	100,000						

Metodo di estrazione: Analisi componenti principali.



[T11] Comunalità

	Iniziale	Estrazione
[Sfoot]	1,000	,913
[Hmax]	1,000	,838
[V]	1,000	,877
[P]	1,000	,904
[S]	1,000	,950
[Pext]	1,000	,927
[Sshrd]	1,000	,804
[Hstr]	1,000	,823
[S/V]	1,000	,863
[P2/V]	1,000	,729
[P/Sfoot]	1,000	,815
[Sshd/S]	1,000	,702
[Pext/V]	1,000	,813

Metodo di estrazione: Analisi componenti principali.

[T12] Matrice di componenti^a

	Componente		
	1	2	3
[S]	,849	,460	,134
[V]	,834	,360	,230
[Sfoot]	,812	,503	,028
[P]	,809	,499	,019
[Hmax]	,789	-,398	,241
[Hstr]	,776	-,400	,245
[P/Sfoot]	-,709	-,005	,558
[Sshd/S]	-,003	-,744	,386
[S/V]	-,585	,690	,214
[Pext]	,670	,687	-,087
[P2/V]	-,445	,653	,322
[Pext/V]	-,518	,622	,397
[Sshrd]	,542	-,606	,379

Metodo estrazione: analisi componenti principali.

a. 3 componenti estratti

[T13] Matrice dei componenti ruotata^a

	Componente		
	1	2	3
[S]	,959	-,058	,163
[Sfoot]	,950	-,094	,048
[P]	,944	-,101	,043
[Pext]	,942	-,015	-,198
[V]	,892	-,035	,282
[Pext/V]	-,002	,849	-,303
[S/V]	-,025	,784	-,498
[P2/V]	,070	,778	-,345
[P/Sfoot]	-,526	,726	,105
[Sshrd]	,081	-,296	,843
[Hmax]	,394	-,400	,723
[Hstr]	,383	-,393	,722
[Sshd/S]	-,432	-,110	,709

Metodo estrazione: analisi componenti principali.

Metodo rotazione: Varimax con normalizzazione di Kaiser.

La tabella riassuntiva delle comunalità [T11] descrive la percentuale di varianza spiegata da ciascuna variabile morfologica a seguito dell'estrazione. È possibile notare una minima perdita di informazioni di tutti i parametri analizzati, tra i quali il valore più contenuto, pari a 0.702, è riscontrabile per l'indice $[S_{shrd}/S]$.

comunalità

La lettura della matrice ruotata²⁵ dei pesi delle Componenti [T13] restituisce un quadro del sistema di correlazione esistente tra quest'ultime e le variabili analizzate, consentendo quindi di analizzare quali variabili siano maggiormente associate o rappresentate da ciascuna Componente.

matrice di rotazione
e selezione delle
variabili

Applicando quindi il metodo di selezione B4 proposto da Jolliffe, è possibile individuare quelle variabili che presentano coefficienti più consistenti, in valore assoluto, per ogni Componente, e che risultano pertanto rappresentative dell'insieme di variabili correlate con quest'ultima. La tabella [T14] riassume le variabili morfologiche selezionate e i relativi pesi per ciascuna Componente Principale estratta.

Variabili	Componenti Principali
Sfoot	
Hmax	
V	
P	
S	I [0.959]
Pext	
Sshrd	III [0.843]
Hstr	
S/V	
P2/V	
P/Sfoot	
Sshrd/S	
Pext/V	II [0.849]

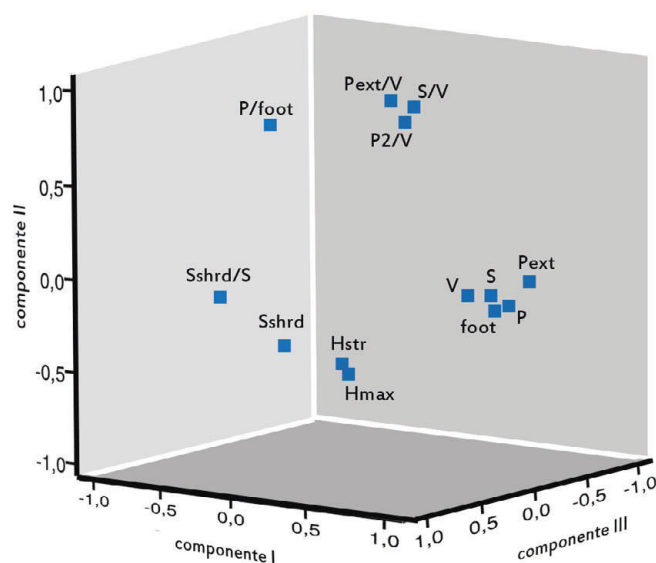
[T14] Associazione di Componenti Principali e variabili morfologiche per le ipotesi di 3 Componenti estratte. La correlazione tra variabili e Componenti consente la selezione delle prime quali variabili di calcolo per la clusterizzazione, garantendo l'indipendenza dei parametri selezionati. In parentesi, il peso di ciascuna variabile rispetto alla relativa Componente Principale.

²⁵ La rotazione delle matrici dei pesi (components loadings) è condotta solo per garantire una maggior leggibilità della struttura delle correlazioni, rappresentate dai pesi stessi, tra Componenti e variabili. In una soluzione non ruotata, infatti, alcune variabili possono presentare analoghi pesi su Componenti differenti. La rotazione garantisce l'analisi del sistema di correlazioni senza compromettere i risultati ottenuti. In particolare il metodo di rotazione applicato è Varimax con normalizzazione di Kaiser.

Dalla lettura della matrice dei pesi [T13] è possibile notare come la prima Componente Principale estratta sia rappresentativa delle caratteristiche plani-volumetriche dell'edilizia, essendo correlata prevalentemente con i parametri quali il perimetro, la superficie disperdente, l'impronta a terra, il volume. Gli indici di compattezza presentano maggiori pesi in corrispondenza della seconda Componente Principale, mentre la terza raccoglie l'insieme di informazioni relativo alle altezze e agli indici di contiguità dell'edilizia.²⁶

Per quanto la lettura dei pesi ottenuti esuli dagli obiettivi della ricerca qui presentata, la distribuzione degli stessi e la conseguente interpretabilità delle Componenti Principali sono indice della validità del processo effettuato. All'aumentare del numero di Componenti estratte, infatti, le variabili presentano valori di correlazione più contenuti e le Componenti con minori autovalori tendono a rappresentare singole variabili.

Per l'ipotesi di estrazione di III Componenti Principali è inoltre possibile fornire una restituzione grafica [T15] del rapporto tra variabili analizzate e Componenti estratte.



[T15] Restituzione grafica delle Componenti ruotate

²⁶ Gli indici di contiguità, come [Sshrd] o [Sshrd/S], rappresentano l'estensione delle superfici d'involucro condivise tra più edifici. La correlazione tra tali variabili con gli indici di altezza dell'edilizia, e la conseguente afferenza comune alla terza Componente Principale, è riconducibile alla prevalenza di tipi edilizi aggregati senza soluzione di continuità. Come esplicitato dalle successive fasi di indagine, sono infatti prevalenti a Rotterdam edifici residenziali caratterizzati dalla contiguità delle fabbriche edilizie aggregate. Ne deriva un'estensione delle superfici perimetrali condivise tendenzialmente coincidente con l'intera altezza dei fabbricati da cui discende la correlazione dei parametri.

Specifiche di calcolo dell'algoritmo Two-Step

I parametri morfologici [S], [S_{shrd}] e [P_{ext}/V], selezionati per correlazione con le Componenti Principali del dataset, sono stati quindi utilizzati come variabili dell'algoritmo di clusterizzazione.

Le specifiche di calcolo della procedura Two-step -di seguito riportate- corrispondono alle soglie parametriche adottate di default dall'algoritmo a causa dei livelli di computazione²⁷ e strutturazione del clustering gerarchico da esse garantiti. In questa sede vengono quindi riproposte in quanto congrue con le finalità dell'indagine condotta.

- metodo di calcolo della distanza: Log-likelihood
- soglia di distanza iniziale: 0
- massime ramificazione per nodo-foglia: 8
- livelli di profondità della struttura: 3

la misurazione
della lontananza dei casi

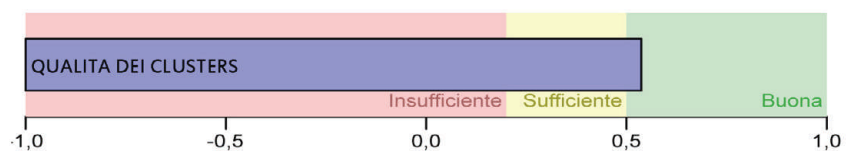
In particolare, la misurazione di similarità o distanza dei parametri è stata calcolata per probabilità di verosimiglianza (*log likelihood distance*), tramite la quale, la definizione dei clusters e l'assegnazione dei casi è calcolata sulla *distribuzione per probabilità delle variabili, mirando alla massimizzazione della verosimiglianza complessiva dei dati* (SPSS 2001; Chiu et al. 2001)

Il confronto di procedimento di clustering adottato con i tests di verifica di Akaike e il criterio di informazione Bayesiano suggerisce una massimizzazione della differenze tra raggruppamenti ottenibile per 5 clusters. Comparando però i risultati con le restuzioni planimetriche in ambiente GIS²⁸ è possibile notare l'accorpamento nel medesimo gruppo di edilizia riconoscibile come tipi a schiera e a casa binata. Al tempo stesso una porzione consistente di casi di edilizia a torre viene accomunata in un unico raggruppamento al tipo edilizio a ballatoio a causa dei simili livelli di elevazione raggiunti da entrambe le categorie di manufatti. Il procedimento suggerisce quindi una massimizzazione delle distanza di dissimilarità tra cluster per un livello di segmentazione del parco edilizio non idoneo alle finalità dell'indagine. L'analisi tipologica ha necessitato quindi di un aumento della soglia di definizione del clustering ottenibile tramite l'incremento del numero di raggruppamenti indagati.

²⁷ In particolare, viste le dimensioni del dataset sottoposto a clustering, lo spazio di memoria destinato alla computazione del software è stato esteso a 2GB per evitare le ricadute che una contenuta disponibilità di risorse di computazione può avere sul processo di raggruppamento (cfr. Garson 2010)

²⁸ Una verifica qualitativa della significatività dei risultati è stata inoltre condotta tramite il confronto dei clusters ottenuti, e restituiti in ambiente GIS, con rilievi e foto satellitari. In particolare ci si è avvalsi dei rilevamenti messi a disposizione dagli uffici del Landmeten - Gemeentewerken, aggiornati al 2003, confrontati con le ortofoto e viste prospettiche reperibili nei softwares Google Earth v.6.1.0 e nelle applicazioni Microsoft Bing Maps, Google StreetView e Yahoo Maps aggiornati al 2004.

Dalla ricognizione²⁹ della letteratura di settore è stato possibile definire, per bassi *livelli di tipicità* (Caniggia Maffei 2001) coerenti con il livello di definizione del dato catastale, una stima delle possibili configurazioni residenziali, corrispondente a 9 famiglie tipologiche.³⁰ Tale classificazione, che trova riscontro in diversi ambiti di indagine³¹, si basa sulla distinzione dell'edilizia residenziale per criteri distributivi degli ambienti abitativi e per logiche aggregative dei singoli manufatti. La consistenza di tali categorie è pertanto derivata dalle peculiarità morfologiche dell'edilizia, riscontrabili negli stessi assetti planimetrico-catastali degli edifici. Il riferimento a tale quadro metodologico risulta quindi applicabile al database utilizzato. L'assunzione di un numero di raggruppamenti³² rappresenta quindi la soglia massima di classi tipologiche riscontrabili nel campione, ma al tempo stesso, non implica la presenza delle stesse nella popolazione analizzata. Pertanto la clusterizzazione condotta per 9 raggruppamenti è assimilabile ad una segmentazione del parco edilizio per varianti sincroniche, che trova conferma nei risultati dell'analisi.



[T16] indice di silhouette della clusterizzazione: misura il grado di coesione e separazione della segmentazione condotta, restituendo il livello di qualità della soluzione di raggruppamento ottenuta.

gli esiti del
processo di clustering

[T16]
silhouette di coesione
e separazione dei clusters

Il processo di clustering per 9 raggruppamenti restituisce un elevato margine di distinzione dell'edilizia, fornendo una segmentazione significativa anche di cluster di contenute dimensioni. Il confronto con i dati planimetrico-catastali e le foto satellitari suggerisce un processo di attribuzione coerente con le peculiarità morfologiche dei singoli casi. Anche l'indice di silhouette della clusterizzazione, computato in coda al procedimento Two-steps, indica un buon livello qualitativo della soluzione di clustering ottenuta. Il parametro di *silhouette* infatti misura il grado di coesione interna e separazione dei raggruppamenti, restituendo un indice della *qualità di accostamento* dei dati (Mooi Sarstedt 2011). La clusters analysis condotta supera il margine di 0.50 punti, identificativo di una buona soglia di segmentazione del campione edilizio.

29 Per una catalogazione sistematica dei tipi edilizi residenziali di epoca moderna (i.e. post XVIII sec.) cfr. Neufert et al. 1999; Zaffagnini 1992; Zaffagnini et al. 1995; Uytengaak 2008; per una trattazione più estesa su singole tipologie che trascende finalità tassonomiche cfr. Caniggia Maffei 1984; Steadman et al. 2000; Schramm 2008, Chiappi Villa 1979; Brown Steadman 1991a-b, Franchini Righetti 2000.

30 Costituite da tipi edilizi residenziali a schiera, a casa binata, a casa isolata, a corte, in linea, a ballatoio, a galleria, a gradoni, a torre. In alcune pubblicazioni il numero è limitato a 8 famiglie tipologiche, assumendo la residenza a galleria come variante del tipo a ballatoio. cfr. Parte I - Glossario.

31 Per una casistica di tipologie residenziali in contesto olandese si rimanda a Komossa 2010; Komossa et al. 2005.

32 Sull'assunzione di un numero di clusters in ingresso nell'algoritmo Two-Steps cfr. SPSS 2001; Mooi Sarstedt 2011 Garson 2010.

Verifica di stabilità dei risultati

In conclusione è stata condotta una verifica di stabilità dei risultati al variare della struttura dei dati in ingresso. Infatti, pur basandosi su una matrice di osservazioni comprendente l'intero parco edilizio di Rotterdam, non è possibile escludere a priori l'influenza della sequenza dei dati nel processo di clusterizzazione gerarchica integrato nell'algoritmo Two-Steps (Garson 2010; Horn Huang 2009). Pertanto la definizione dei raggruppamenti è stata ricalcolata per distinte randomizzazioni dei dati edilizi ottenendo un quadro della variazione, per quanto contenuta, dei risultati.

La tabella [T17] riassume la consistenza dei clusters derivati dal test di stabilità, messi a confronto con la media delle dimensioni dei raggruppamenti e la relativa deviazione standard.

	% dei clusters per test								valore medio	deviazione standard	K-means validation	la misurazione della lontananza dei casi
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8				
cluster 01	37.4	40.2	37.8	38.4	39.9	38.3	42.3	38.4	39.1	1.62	41.3	
cluster 02	20.2	20.6	21.7	19.9	20.0	19.4	21.0	20.8	20.5	0.73	20.0	
cluster 03	18.4	16.7	15.1	18.4	18.1	15.1	16.7	14.6	16.6	1.57	16.0	
cluster 04	15.1	15.4	14.3	13.6	12.8	14.2	14.0	14.2	14.2	0.81	10.3	
cluster 05	3.8	3.5	4.3	4.7	3.9	6.6	2.2	4.9	4.2	1.27	7.8	
cluster 06	2.0	1.5	3.9	1.9	2.5	3.4	1.5	3.9	2.6	1.02	2.9	
cluster 07	1.5	0.9	1.5	1.3	1.2	1.1	1.5	1.2	1.3	0.22	0.9	
cluster 08	1.1	0.8	0.9	1.1	1.0	0.8	1.1	1.2	1.0	0.15	0.6	
cluster 09	0.5	0.4	0.5	0.7	0.6	0.4	0.6	0.6	0.5	0.11	0.2	
	100	100	100	100	100	100	100	100			100	

[T17] Test di stabilità dei risultati di clustering alla randomizzazione dei dati in ingresso confrontato con i raggruppamenti derivanti per l'analisi K-means

Le diverse randomizzazioni presentano risultati proporzionalmente omogenei, pur restituendo un margine di variazione nelle dimensioni dei clusters. I valori più consistenti di deviazione standard si registrano per i raggruppamenti 01, 03 e 05 e risultano associabili alla natura dei manufatti individuati. Come illustrato successivamente³³ infatti, tali clusters sono riconducibili a tipi edilizi analoghi per consistenza morfologica, la cui assegnazione ad un raggruppamento presenta quindi maggiori margini di ambiguità.

La randomizzazione [R5] che meno si distanzia dai valori medi del test di stabilità è stata quindi assunta per le successive fasi d'indagine.

³³ cf. Cap.2.2

Validazione dei risultati
con K-means clustering

Un'ulteriore analisi di validazione dei raggruppamenti è ottenibile tramite il confronto dei risultati con il procedimento clustering non gerarchico per *K medie* (cfr. Mooi Sarstedt 2011; Garson 2010). Pertanto, sulla medesima popolazione campionata è stata condotta una clusterizzazione applicando tale algoritmo ai centri dei raggruppamenti ottenuti dal clustering R5 [TAB17].

La *K-means Cluster Analysis* si basa infatti sulla computazione di appartenenza dei casi ad un cluster non per (dis)similarità tra le singole osservazioni, ma in funzione della distanza di questi dal centro del raggruppamento (centroide del cluster).³⁴ Se alla verifica di tali distanze un'osservazione risulta associabile ad un centro diverso da quello del proprio cluster, essa viene riassegnata di raggruppamento. A seguito di tale ricollocazione vengono quindi ricalcolati i centri dei clusters e computate nuovamente le distanze dei singoli casi. Il procedimento si ripete per ogni successiva ridefinizione dei centri mirando alla riduzione della variazione interna dei raggruppamenti.

Rispetto ai metodi gerarchici quindi l'assegnazione ad un cluster può variare più volte durante il procedimento di calcolo³⁵ dal quale è possibile per tanto ottenere un indice della stabilità dei raggruppamenti analizzati. Il procedimento per *K medie* risulta quindi particolarmente efficace per la verifica dei risultati precedentemente ottenuti con l'algoritmo Two-steps.

Initial Cluster Centers

	Cluster								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
[S]	164,8413	236,6952	319,1021	326,5346	768,3670	207,4866	83,6072	2869,6990	4808,4523
[Sshrd]	132,3742	64,1188	238,3489	365,6995	123,0986	32,1405	3,1309	128,1444	688,1046
[Pext/V]	0,0328	0,0589	0,0180	0,0115	0,0237	0,1066	0,3182	0,0143	0,0063

Final Cluster Centers

	Cluster								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
[S]	212,0605	534,6654	971,6919	313,9325	2716,8632	260,4752	137,4881	5474,3191	10789,6753
[Sshrd]	253,2183	195,7793	221,7944	383,8612	249,8183	78,0700	118,7692	293,2108	359,6397
[Pext/V]	0,0176	0,0240	0,0189	0,0114	0,0137	0,0541	0,0469	0,0086	0,0063

[T18] Posizione iniziale e finale dei centri dei clusters calcolati nel procedimento K-means

I raggruppamenti derivati per *K-medie*, pur basandosi su una computazione euclidea della distanza, non differiscono in maniera sostanziale dalle medie ottenute con la procedura Two-steps, rientrando in prevalenza dentro il range di variazione suggerito dal test di stabilità alla struttura dei dati precedentemente condotto [T17]. Le divergenze di maggior consistenza si riscontrano per i clusters 05, 04, 08 e 09, gli ultimi 3 dei quali risultano sottostimati rispetto alle analisi precedenti, con una differenza massima nel cluster 04 di 2.5 punti percentuale rispetto ai valori minimi registrati con il

³⁴ cfr. ad es. Jajuga et al. 2002; Mooi Sarstedt 2011

³⁵ Per l'indagine si è utilizzato una soglia di cut-off pari a 20 iterazioni, corrispondenti al doppio di quelle previste di default dal software SPSS.

metodo Two-step. Il raggruppamento 05 è l'unico a presentare invece una sovrastima più consistente, che trova corrispondenza anche nella posizione finale dei centri [T18].

Il riconoscimento delle tipologie edilizie che i clusters rappresentano aiuta a capire le ragioni di tali margini di variazione. I dati reali in ingresso infatti, cioè i manufatti edilizi, non presentano per loro natura una netta distinzione in clusters: per scelte progettuali o per vincoli puntuali (aggregativi, normativi ecc.) molte famiglie tipologiche presentano infatti un'ampia casistica di analoghe varianti sincroniche che costituisce un margine di sovrapposizione tra i clusters, la cui corretta classificazione spesso richiede maggiori informazioni di quelle che la sola planimetria catastale è in grado di restituire.

A queste peculiarità del dato morfologico edilizio si aggiunge la grande varietà di configurazioni che alcune tipologie presentano tra i propri casi componenti. Il raggruppamento 05, come illustrato successivamente, è riconducibile ad esempio al tipo edilizio *a villa monofamiliare*, alla quale afferisce una casistica di manufatti edilizi decisamente meno omogenea (per dimensione, compattezza, altezza ecc.) rispetto ad altre tipologie. A questo si affiancano, ad esempio, i tipi edilizi *a ballatoio* e *a torre* che presentano variazioni dimensionali di ordine di grandezza maggiore rispetto ad altre tipologie³⁶ in ragione delle quali è possibile interpretare gli intervalli di variazione ottenuti.

³⁶ cfr. in Rotterdam, i tipi a ballatoio variano ad esempio da lunghezze di 90m ca. riscontrabili nei manufatti del quartiere di Prins Alexander ai 30m ca. degli interventi di sostituzione presenti in Oude Westen; i tipi a villa di Molenlaankwartier presentano varianti planimetrie a stecca, a patio, ecc. ; nell'area di Delfshaven sono riscontrabili case a torre di soli 5 piani, mentre nel Kop van Zuid gli interventi edilizi più recenti raggiungono quasi i 200m di altezza; ecc.

ANALISI DEI CLUSTERS

riconoscimento tipologico

L'analisi per clusters restituisce una suddivisione del parco edilizio di Rotterdam basato sulla massimizzazione delle differenze morfologiche dell'edilizia. I raggruppamenti ottenuti sono stati quindi analizzati tramite il confronto con i dati planimetrico-catastali in ambiente GIS per riconoscere nei singoli clusters i tipi edilizi codificati nella disciplina morfologica dell'architettura.

A tal proposito è necessario evidenziare, come menzionato precedentemente, che i tipi edilizi qui analizzati corrispondono ad una distinzione per assetti morfologico-distributivi che trova definizione nella disciplina progettuale dell'architettura. A tale codificazione spesso si sovrappongono categorie tassonomiche redatte in altri ambiti disciplinari o per differenti finalità investigative, a cui però non corrispondono casistiche univocamente equiparabili di manufatti edilizi. A fronte infatti di terminologie ed 'etichettature' spesso comuni a più discipline, i tipi edilizi qui presentati corrispondono alle sole definizioni codificate in ambito architettonico da cui questa indagine trae spunto.¹

La consistenza e le proprietà morfologico-aggregative dei 9 clusters ottenuti vengono di seguito riportate, esplicitando il processo di riconoscimento tipologico di classi e varianti edilizie che ha permesso di ricondurre i raggruppamenti a 6 tipi di configurazioni residenziali.

¹ cfr. Parte I - Glossario.

Cluster 01 %39.9

H _{max} .med	7.6m	d.s.1.5
S _{med}	164.8mq	d.s.40.4
S _{foot} .med	55.9mq	d.s.10.2
S _{shrd} .med	162.4mq	d.s.24.3
V _{med}	422.1m ³	d.s.160.7
%sup.condivisa	49	

L'edilizia identificata nel cluster rappresenta il raggruppamento di maggior consistenza e risulta caratterizzata da sola edilizia aggregata. La maggior parte delle pareti perimetrali, così come la maggior parte del perimetro degli elementi del cluster, risulta condiviso con l'edilizia confinante. Nei contenuti affacci risultanti trova luogo l'ingresso agli edifici spesso prospiciente una percorrenza stradale. La contenuta altezza media suggerisce un'elevazione di 2-3 piani fuori terra. L'edilizia identificata dal cluster è stata pertanto riconosciuta come tipologia *a schiera*.

Cluster 02 %20.0

H _{max} .med	11.7m	d.s.2.6
S _{med}	578.4mq	d.s.218.9
S _{foot} .med	194.5mq	d.s.51.2
S _{shrd} .med	263.1mq	d.s.56.8
V _{med}	2200.2m ³	d.s.860
%sup.condivisa	31.1	

Gli edifici ricondotti in questo cluster presentano uniformemente una minore estensione delle superfici d'involucro condivise con altri edifici rispetto alle pareti ospitanti affacci principali. Si tratta in prevalenza di edilizia aggregata dotata mediamente di 4-5 piani. In numerosi casi è facilmente distinguibile in facciata il vano distributivo verticale in posizione mediana a servire più unità abitative per piano. Il cluster è riconducibile alla tipologia edilizia *in linea*, cioè a blocchi di appartamenti aggregati in maniera analoga al tipo a schiera. È interessante notare nel cluster la presenza, per quanto non significativa, di edilizia a torre di dimensioni contenute erroneamente assegnata a questo raggruppamento.

Cluster 03 %18.1

H _{max} .med	7.2m	d.s.1.7
S _{med}	232.5 mq	d.s.71.0
S _{foot} .med	64.4mq	d.s.21.3
S _{shrd} .med	77.1mq	d.s.32.6
V _{med}	448.6m ³	d.s.186.4
%sup.condivisa	24.9	

Il raggruppamento distingue edilizia del tutto paragonabile per dimensioni e compattezza ai cluster 01 e 04, dai quali si differenzia per il solo assetto aggregativo. Il cluster 03 infatti presenta minori estensioni di superfici

condivisa con edilizia confinante [S_{shrd}] e, di conseguenza, maggior dimensione dell'involucro disperdente. Tali caratteristiche suggeriscono un raggruppamento di edilizia riconducibile a tipologie cosiddette *bifamiliari* o varianti angolari o di testata di tipi edilizi a schiera, a cui spesso corrispondono fenomeni di espansione dell'unità abitativa tramite annessi o superfetazioni. Il solo dato catastale non consente la distinzione tra le due varianti. La differente estensione di superficie disperdente che connota il cluster lascia legittimamente supporre un differente comportamento energetico dell'edilizia individuata e per tanto il raggruppamento è stato assunto quale tipologia edilizia propria, riconducibile al tipo edilizio *a casa binata*.

Cluster 04 %12.8



H_{max}^{med}	11.5m	d.s.1.9
S_{med}	206.1mq	d.s.73.0
S_{foot}^{med}	69.0mq	d.s.16.2
S_{shrd}^{med}	228.3mq	d.s.34.9
V_{shrd}^{med}	71.6m ³	d.s.304.2
%sup.condivisa	53.2	

Il cluster si compone di edilizia molto simile per assetti aggregativi al cluster 01 (case a schiera). Rispetto a questo, il raggruppamento si distingue per la maggior consistenza volumetrica, e quindi d'estensione dell'involucro disperdente, ma presenta margini di sovrapposizione in termini di occupazione del suolo. L'altezza media del raggruppamento suggerisce un maggior numero di piani a cui corrispondono molto probabilmente distinte unità abitative. Il cluster è riconducibile pertanto ad una variante *multi familiare* della tipologia *a schiera*.

Cluster 05 %3.9



H_{max}^{med}	6.3m	d.s.1.8
S_{med}	437.5mq	d.s.102.5
S_{foot}^{med}	134.6mq	d.s.52.0
S_{shrd}^{med}	11.2mq	d.s.6.7
V_{shrd}^{med}	763.3m ³	d.s.160.6
%sup.condivisa	2.5	

Il raggruppamento si caratterizza di edilizia quasi esclusivamente isolata. La superficie di occupazione del suolo e il range di variazione volumetrica suggeriscono una tipologia edilizia meno uniforme rispetto ad altri clusters, ma caratterizzata da un contenuto sviluppo in altezza. Il raggruppamento pertanto rimanda ad una tipologia edilizia a villa o casa isolata.

Cluster 06 %2.5



H _{max} .med	13.2m	d.s.1.8
S _{med}	436.5mq	d.s.154.3
S _{foot} .med	126.2mq	d.s.47.9
S _{shrd} .med	235.7mq	d.s.58.1
V _{med}	1652.6m ³	d.s.719.2
%sup.condivisa	34.9	

Il cluster raggruppa manufatti edilizi aggregati serialmente in maniera del tutto paragonabile alle tipologie in linea o a schiera, a cui corrisponde però una maggior consistenza delle pareti perimetrali non condivise ma caratterizzato da una maggiore dimensione delle pareti perimetrali non condivise rispetto a quest'ultime. Dalla restituzione del cluster nelle piante catastali in ambiente GIS non sono riscontrabili edifici isolati appartenenti al cluster. Rientrano nel raggruppamento molti casi di edilizia modernista ad appartamento e di schiere rifuse in soluzioni plurifamiliari. Il cluster è molto simile per superfici condivise al cluster 04 (edilizia a schiera multi familiare) ma da esso è distinguibile per l'ampiezza maggiore delle pareti d'affaccio che suggeriscono una possibile distinzione in più unità abitative per piano. Il cluster è pertanto riconoscibile come una variante della tipologia *in linea*.

Cluster 07 %1.2



H _{max} .med	4.5m	d.s.1.4
S _{med}	233.6mq	d.s.86.6
S _{foot} .med	86.5mq	d.s.24.8
S _{shrd} .med	3.1mq	d.s.2.9
V _{med}	388.3m ³	d.s.106.6
%sup.condivisa	1.3	

Il raggruppamento individua edilizia prevalentemente isolata con dimensioni molto contenute. La morfologia è molto varia, sia per compattezza che per proporzione dei volumi componenti le singole unità edilizie. Si nota in alcuni casi l'inclusione nel cluster di edilizia di completamento o di superfetazioni particolarmente isolate. L'altezza media suggerisce che raramente vengono superati i due piani fuori terra. Il cluster è pertanto riconducibile a una variante, sicuramente monofamiliare, della tipo *a casa isolata*.

Cluster 08 %1.0



H _{max} .med	16.1m	d.s.8.4
S _{med}	3498.4mq	d.s.2617.9
S _{foot} .med	862.8mq	d.s.603.6
S _{shrd} .med	216.6mq	d.s.354,5
V _{med}	14596,8m ³	d.s.13836,4
%sup.condivisa	5.8	

Questo cluster raggruppa i manufatti edilizi di maggior volume caratterizzati da un grande range di variazione di piani fuori terra. L'assetto planimetrico

catastale si distingue per il netto sviluppo in larghezza rispetto alla profondità dell'edificio, le cui pareti perimetrali di minor dimensione sono le uniche che ospitano l'eventuale aggregazione ad altre unità edilizie. La restante superficie d'involucro si caratterizza per la consistente presenza di bucatore. Il raggruppamento è stato pertanto riconosciuto come tipologia *a ballatoio*. Nel cluster è in oltre riscontrabile l'assegnazione erronea di alcuni edifici a torre.

Cluster 09 %0.6



H ^{max} .med	30.9m	d.s.21.0
S.med	2884,1mq	d.s.1987,3
S ^{foot} .med	439,8mq	d.s.191,0
S ^{shrd} .med	412,5mq	d.s.680.5
V.med	13323,0m ³	d.s.9171,3
%sup.condivisa	12.5	

Il raggruppamento si caratterizza di edilizia prevalentemente isolata. Il cluster presenta un'altezza e volumi medi tra i più alti riscontrati nei raggruppamenti. Tali caratteristiche suggeriscono la riconducibilità del cluster alla tipologia *a torre*.

SCHEDATURA TIPOLOGICA



T19

TIPO EDILIZIO A SCHIERA

% 52.7

H_{max}	[m] 8.8	[d.s.] 2.9
S_{max}	[m ²] 164.1	[d.s.] 52.1
S_{foot}	[m ²] 57.5	[d.s.] 14.4
S_{shrd}	[m ²] 186.1	[d.s.] 93.5
V	[m ³] 521.4	[d.s.] 281.9
S/V	0.3	[d.s.] 0.07
sup.condivisa [%]	32.2	



La tipologia a schiera rappresenta il tipo edilizio più diffuso a Rotterdam, sia nelle aree centrali che negli ambiti di espansione otto-novecenteschi. La tipologia si caratterizza per due fronti ciechi, tendenzialmente perpendicolari alla percorrenza su cui insiste l'ingresso all'edificio, che risultano condivisi con altri edifici contigui. Oltre a questi, l'edilizia a schiera è completata da due fronti di affaccio di dimensioni più contenute: uno atto ad ospitare l'accesso all'edificio e l'altro prospiciente uno spazio aperto, usualmente privato, nel quale è riscontrabile frequentemente la presenza di locali di servizio o di espansione delle unità residenziali. Il corpo scala trova tendenzialmente collocazione nell'area più interna del fabbricato consentendo agli ambienti con funzione propriamente residenziale di usufruire dei limitati affacci dell'involucro. La contenuta ampiezza dei tali fronti è riconducibile ad una originaria logica di ottimizzazione dell'incidenza dei singoli manufatti sulla percorrenza nella quale essi si innestano, la quale viene a volte sostituita (specialmente in interventi di recente realizzazione) da spazi pedonali privati o aree verdi, come nel caso di Schiebroek, Müllerpier o nella punta di Katendrecht. Pur essendo diffusa come tipologia prevalentemente monofamiliare, nel contesto di Rotterdam sono presenti numerose varianti edilizie suddivise in differenti unità abitative, in particolare nelle aree urbane di più antica formazione, quali Kralingen, Feijenoord, Delfshaven, Oude Westen e Oude Noorden, dove il tipo a schiera è riconoscibile come sedime di prima lottizzazione.

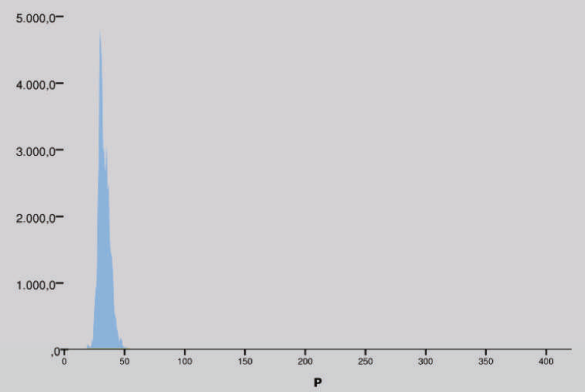
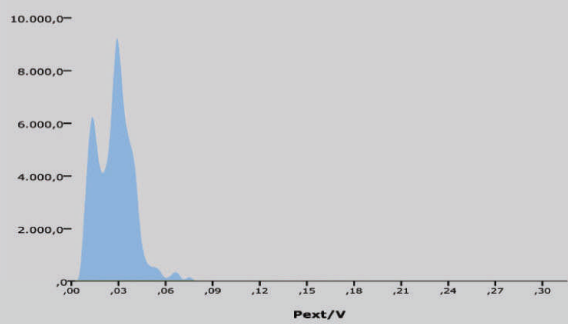
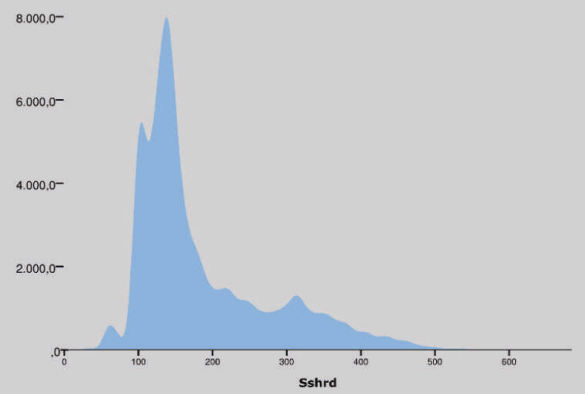
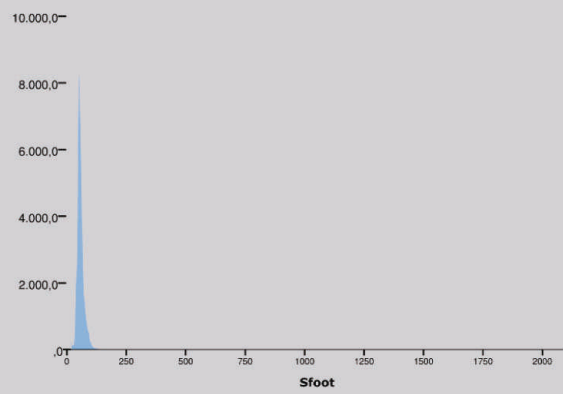
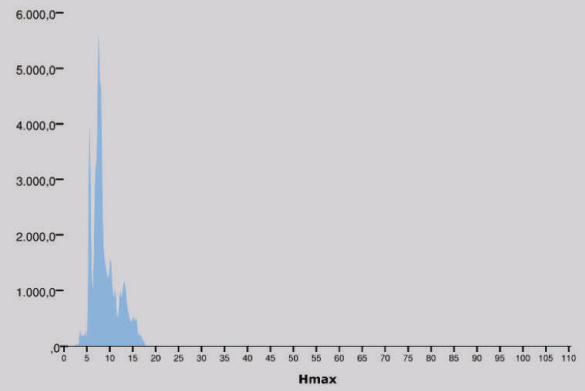
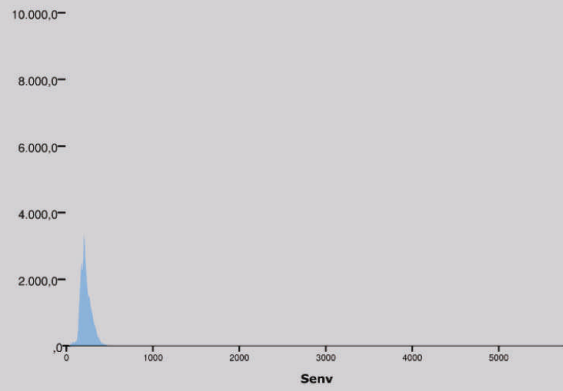
A fronte: immagine satellitare del quartiere di Kralingen [fonte GoogleMaps]. In alto: valori medi delle caratteristiche morfologiche del tipo edilizio e deviazione standard. Nel diagramma: logiche aggregative del tipo e (in azzurro) distribuzione degli affacchi principali.



Tipo edilizio A SCHIERA

In alto: esempi di tipi a schiera in Rotterdam - fonte immagini GoogleStreetview. A fronte: Distribuzione delle caratteristiche morfologiche del tipo. Dall'alto superficie esterna $[S_{ext}]$, altezza $[H_{max}]$, occupazione del suolo $[S_{foot}]$, superficie d'involucro condivisa $[S_{shrd}]$, indice di compattezza $[P_{ext}/V]$, perimetro $[P]$, dell'edilizia a schiera di Rotterdam.

CARATTERI MORFOLOGICI



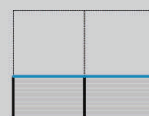


T20

TIPO EDILIZIO IN LINEA

% 22.5

H_{max}	[m] 12.9	[d.s.] 2.6
S_{max}	[m ²] 517.9	[d.s.] 232.8
S_{foot}	[m ²] 136.2	[d.s.] 61.6
S_{shrd}	[m ²] 246.1	[d.s.] 111.4
V	[m ³] 1732.1	[d.s.] 970.6
S/V	0.3	[d.s.] 0.07
sup.condivisa [%] 32.2		



La tipologia edilizia è costituita da edilizia pluripiano a destinazione multifamiliare. Il tipo si caratterizza per il nucleo distributivo verticale che trova collocazione tendenzialmente in posizione baricentrica a servire più unità residenziali per piano e che risulta spesso leggibile in facciata negli interventi analizzati in Rotterdam. Le unità abitative interne affacciano principalmente su due fronti contrapposti lasciando i restanti disponibili all'aggregazione che risulta di conseguenza lineare. La profondità del corpo di fabbrica risulta vincolata alla funzione areo-illuminante degli ambienti residenziali, mentre longitudinalmente sono riscontrabili alcune varianti del tipo a cui corrisponde una progressiva distanza tra alloggi e nucleo di collegamento verticale. Raramente sono riscontrabili in Rotterdam casi di edilizia in linea isolata. Condividendo le logiche aggregative con i tipi a schiera e a ballatoio, la tipologia in linea risulta notevolmente diffusa in tutto l'ambito urbano ed in particolare nei quartieri di espansione ottocentesca di Kralingen, Feijenoord, Oude Westen e Oude Noorden, dove compare come edilizia di sostituzione o come rifusione di preesistenti edifici a schiera. Aggregati edilizi costituiti quasi esclusivamente da questa tipologia sono riscontrabili in Carnisse, Bergpolder e Rubroek.

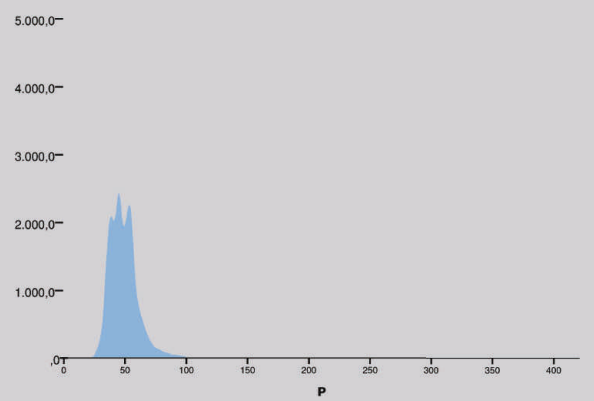
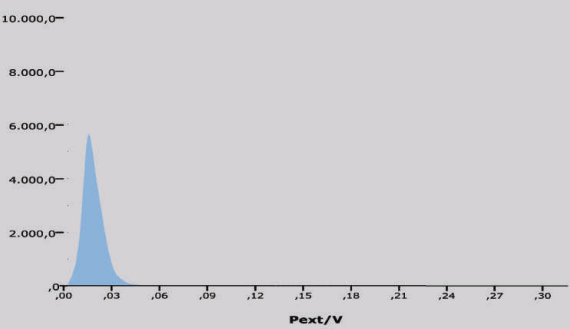
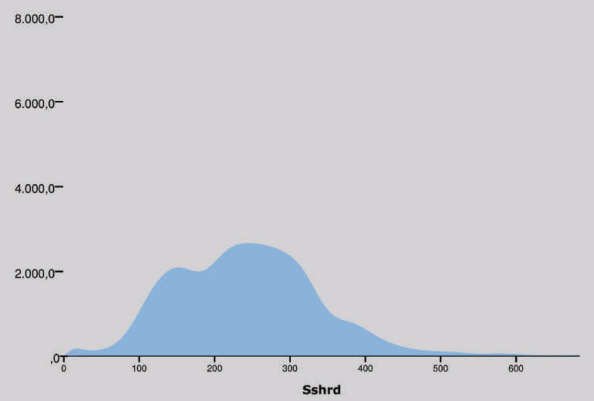
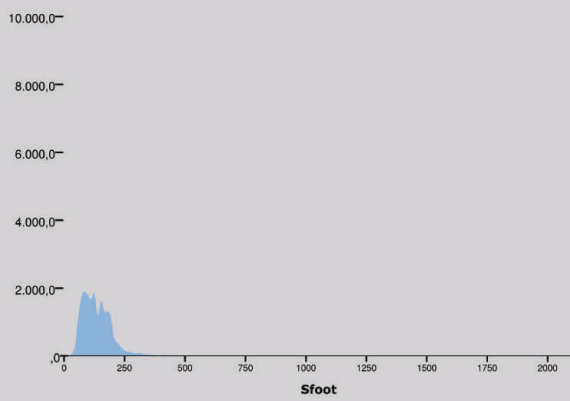
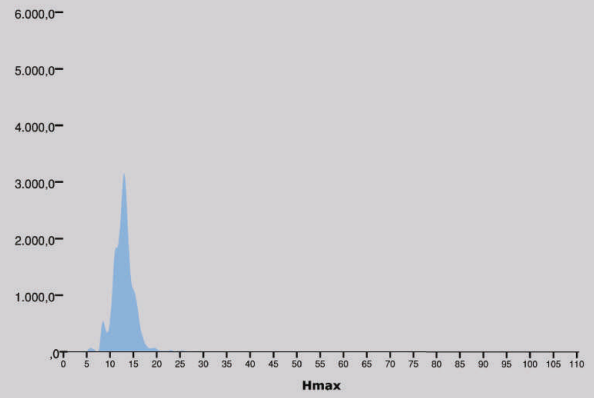
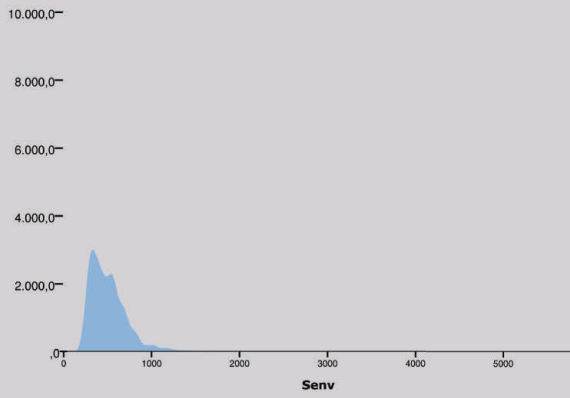
A fronte: immagine satellitare del quartiere di Carnisse [fonte GoogleMaps]. In alto: valori medi delle caratteristiche morfologiche del tipo edilizio e deviazione standard. Nel diagramma: logiche aggregative del tipo e (in azzurro) distribuzione degli affacchi principali.



Tipo edilizio IN LINEA

In alto: esempi di tipi in linea in Rotterdam - fonte immagini GoogleStreetview. A fronte: Distribuzione delle caratteristiche morfologiche del tipo. Dall'alto superficie esterna [S_{env}], altezza [H_{max}], occupazione del suolo [S_{foot}], superficie d'involucro condivisa [S_{shrd}], indice di compattezza [P_{ext}/V], perimetro [P], dell'edilizia in linea di Rotterdam.

CARATTERI MORFOLOGICI



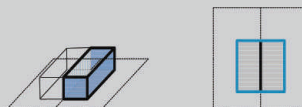


T21

TIPO EDILIZIO A CASA BINATA

% 18.1

H_{max}	[m] 7.2	[d.s.] 1.7
S_{max}	[m ²] 232.5	[d.s.] 71.0
S_{foot}	[m ²] 64.4	[d.s.] 21.3
S_{shrd}	[m ²] 77.1	[d.s.] 32.6
V	[m ³] 448.6	[d.s.] 186.4
S/V	0.5	[d.s.] 0.11
sup.condivisa [%] 24.9		



La tipologia binata è costituita da un'unità abitativa accostata tramite un fronte cieco ad altri manufatti edilizi usualmente consistenti in una singola unità edilizia simmetrica o gemella alla prima per dimensione e configurazione. Si tratta quasi esclusivamente di edilizia monofamiliare anche se la presenza di aree di pertinenza sui fronti non condivisi permette la realizzazione di locali di servizio o di espansione delle unità residenziali, fornendo le condizioni per una suddivisione in unità multi-familiari. Date le sue connotazioni morfologiche, a questa tipologia afferiscono anche le varianti angolari o di testata dei tipi a schiera che, per condizioni di localizzazione, presentano configurazioni del tutto analoghe al tipo binato, in termini di vincoli aggregativi, di estensione degli affacci e superficie disperdente. In Rotterdam la tipologia si presenta puntualmente diffusa in tutto l'ambito urbano, mentre aggregazioni edilizie costituite in prevalenza da tale tipo sono riscontrabili solo in interventi periferici di recente realizzazione (secondo dopoguerra) quali Pernis, Zevenkamp, l'area nord di Schiebroek e in particolare 's- Gravenland.

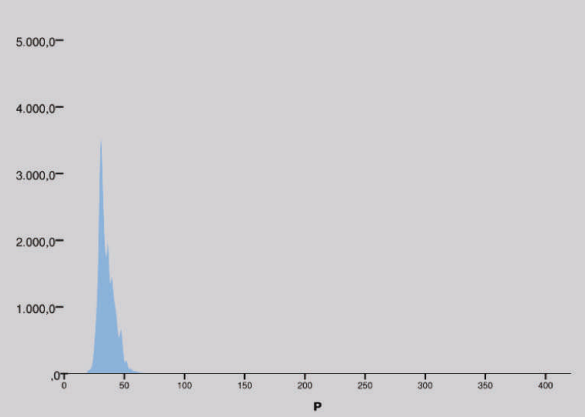
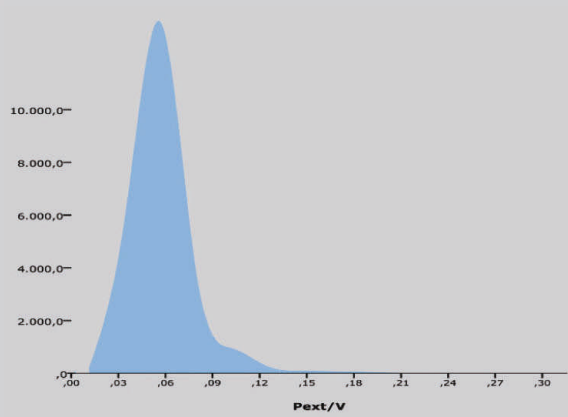
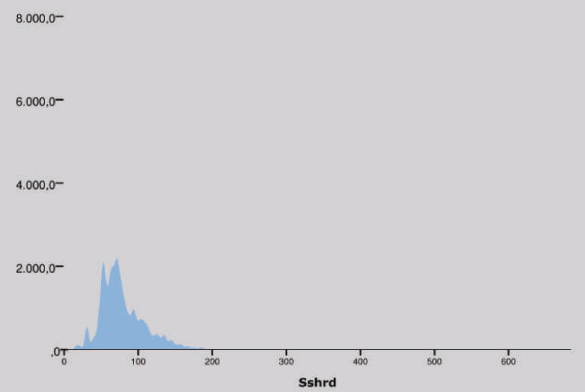
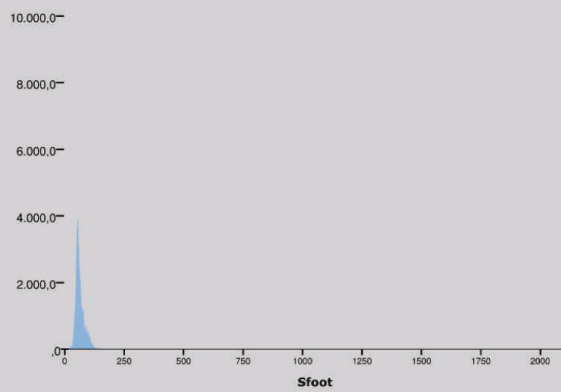
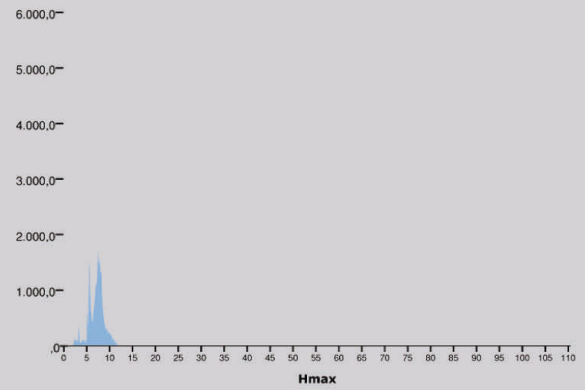
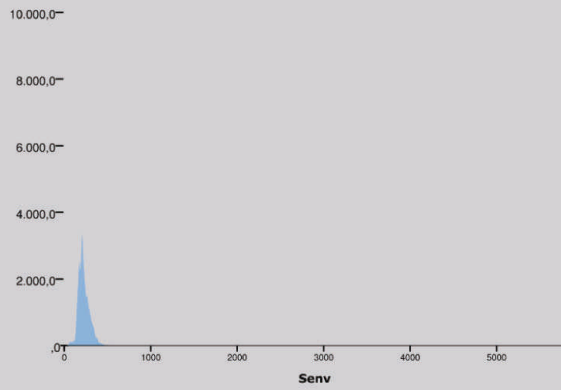
A fronte: immagine satellitare del quartiere di 's- Gravenland [fonte GoogleMaps]. In alto: valori medi delle caratteristiche morfologiche del tipo edilizio e deviazione standard. Nel diagramma: logiche aggregative del tipo e (in azzurro) distribuzione degli affacchi principali.



Tipo edilizio A CASA BINATA

In alto: esempi di tipi binata in Rotterdam - fonte immagini GoogleStreetview. A fronte: Distribuzione delle caratteristiche morfologiche del tipo. Dall'alto superficie esterna [S_{env}], altezza [H_{max}], occupazione del suolo [S_{foot}], superficie d'involucro condivisa [S_{shrd}], indice di compattezza [P_{ext}/V], perimetro [P], dell'edilizia binata di Rotterdam.

CARATTERI MORFOLOGICI





T22

TIPO EDILIZIO VILLA ISOLATA

% 5.1

H_{max}	[m] 5.6	[d.s.] 2.3
S	[m ²] 355.4	[d.s.] 214.4
S_{foot}	[m ²] 102.5	[d.s.] 68.3
S_{shrd}	[m ²] 7.0	[d.s.] 22.3
V	[m ³] 630.2	[d.s.] 498.6
S/V	0.8	[d.s.] 0.32
sup.condivisa [%]	1.9	



Il tipo è caratterizzato da aree di pertinenza non edificate su tutti i fronti e da una destinazione quasi esclusivamente mono-familiare. La pressoché totale assenza di contiguità con altre fabbriche o di vincoli aggregativi consente un ampio margine di variazione nell'assetto distributivo interno e nelle configurazioni risultanti, tra le quali sono però difficilmente riscontrabili altezze uguali o superiori ai 3 piani fuori terra, a causa della sua connotazione mono-familiare. Questa tipologia presenta pertanto il più basso livello di tipicità tra i tipi individuati. A causa dei bassi livelli di densità abitativa che questa tipologia fornisce, sono riscontrabili in Rotterdam casi di ville isolate solo in abiti periferici, dove il tipo non si concentra quasi mai puntualmente ma per ampie lottizzazioni, quali i quartieri di Hoek van Holland, 's- Gravenland, Kralingen-Oost, Molenlaankwartier e Nesseland, o lungo una percorrenza preesistente come nel caso di Hillegersberg e Overschie.

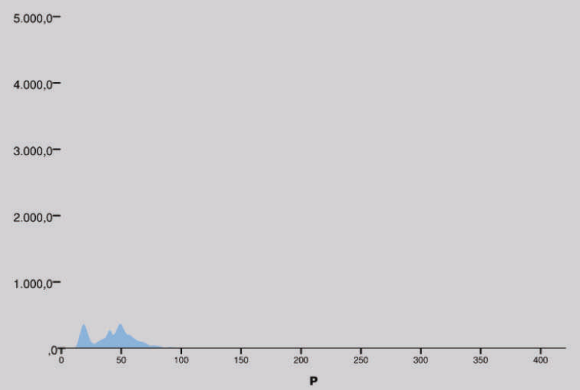
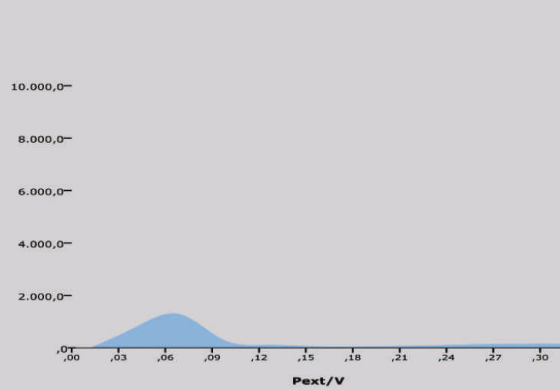
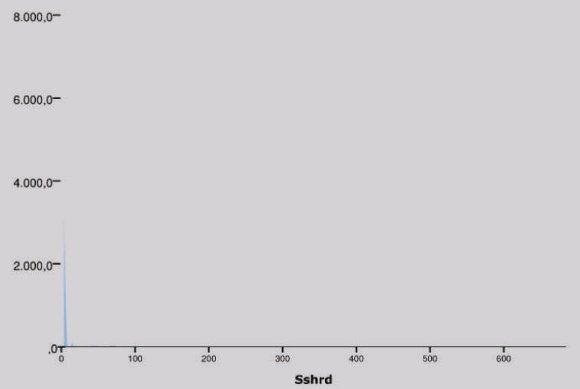
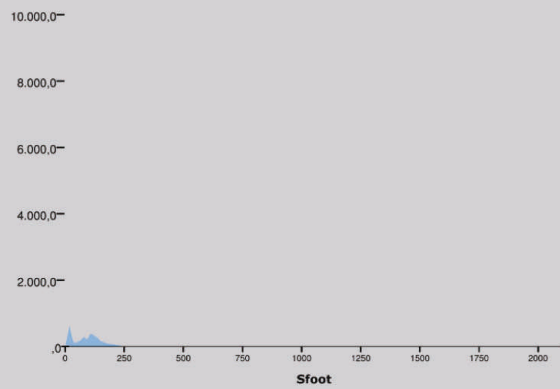
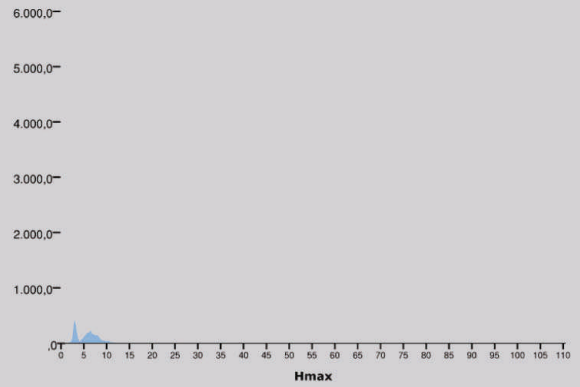
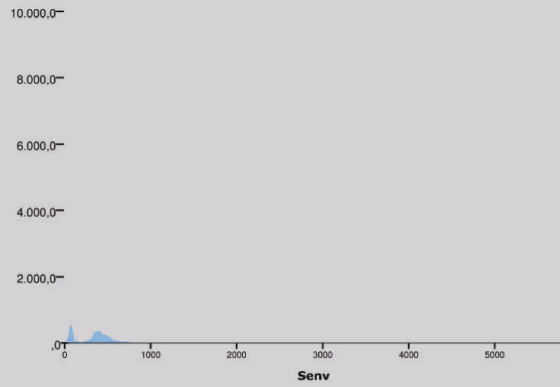
A fronte: immagine satellitare del quartiere di Molenlaankwartier [fonte GoogleMaps]. In alto: valori medi delle caratteristiche morfologiche del tipo edilizio e deviazione standard. Nel diagramma: logiche aggregative del tipo e (in azzurro) distribuzione degli affacchi principali.



Tipo edilizio VILLA ISOLATA

In alto: esempi di tipi villa isolata in Rotterdam - fonte immagini GoogleStreetview. A fronte: Distribuzione delle caratteristiche morfologiche del tipo. Dall'alto superficie esterna [S_{env}], altezza [H_{max}], occupazione del suolo [S_{foot}], superficie d'involucro condivisa [S_{shrd}], indice di compattezza [P_{ext}/V], perimetro [P], dell'edilizia villa isolata di Rotterdam.

CARATTERI MORFOLOGICI



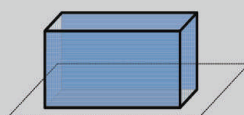


T23

TIPO EDILIZIO A BALLATOIO

% 1.0

H_{max}	[m] 16.1	[d.s.] 8.4
S_{max}	[m ²] 3498.4	[d.s.] 2617.9
S_{foot}	[m ²] 862.8	[d.s.] 603.6
S_{shrd}	[m ²] 216.6	[d.s.] 354.5
V	[m ³] 14596.8	[d.s.] 13836.4
S/V	0.3	[d.s.] 0.09
sup.condivisa [%] 5.8		



La tipologia si distingue per un disimpegno ripetuto su più livelli a servire le unità residenziali componenti l'edificio. La presenza di tale percorrenza distributiva consente la riduzione dei nuclei di collegamento verticale e favorisce lo sviluppo longitudinale della fabbrica edilizia. Si tratta pertanto di una tipologia che massimizza il rapporto tra superficie abitativa e distributiva a scapito dei problemi di introspezione dovuti alla presenza stessa del ballatoio che insiste su uno dei due affacci principali delle unità abitative. Dato l'elevato numero di unità servibili con un solo nucleo distributivo verticale, la tipologia a ballatoio è spesso rintracciabile nei grandi interventi di edilizia sociale ad elevata altezza, quali ad esempio Ommoord o Prins Alexander. L'elevato potenziale di sviluppo longitudinale e l'aggregabilità simile alle tipologie a schiera e in linea ha consentito a questo tipo una notevole diffusione in tutto l'ambito urbano di Rotterdam. Inserimenti puntuali di tipologia a ballatoio sono infatti riscontrabili in Kralingen, Feijenoord, Charlois, Delfshaven, Oude Westen e Oude Noorden. Aggregati costituiti quasi esclusivamente da tale tipo sono invece rintracciabili solo nelle urbanizzazioni del secondo dopoguerra di Pendrecht, IJsselmonde, Schiebroek e Kleinpolder.

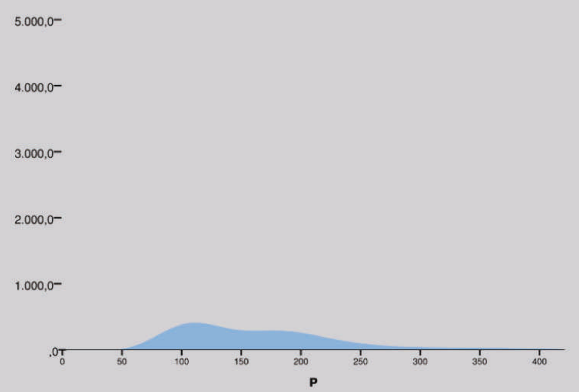
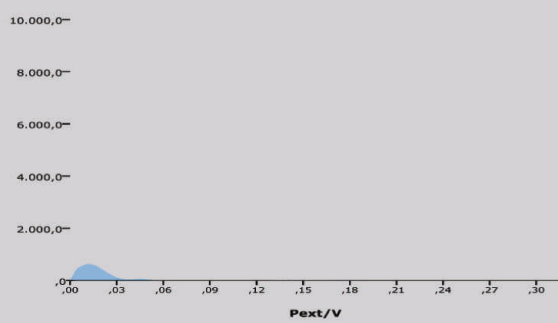
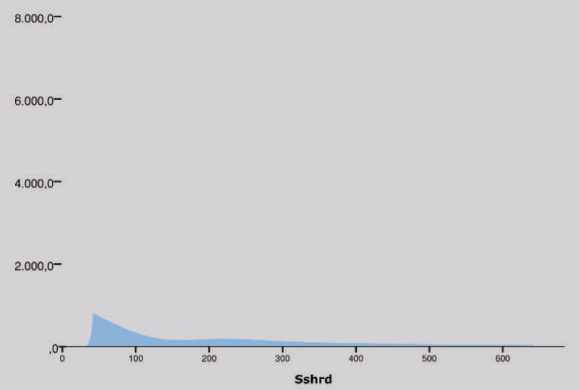
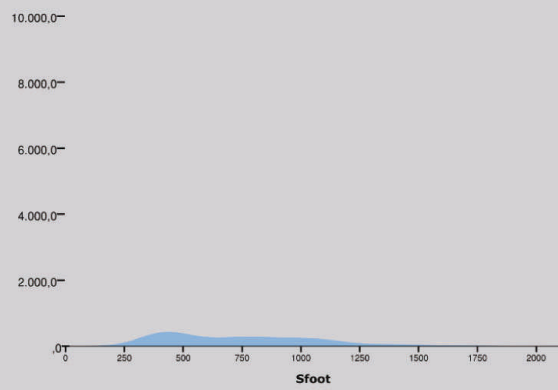
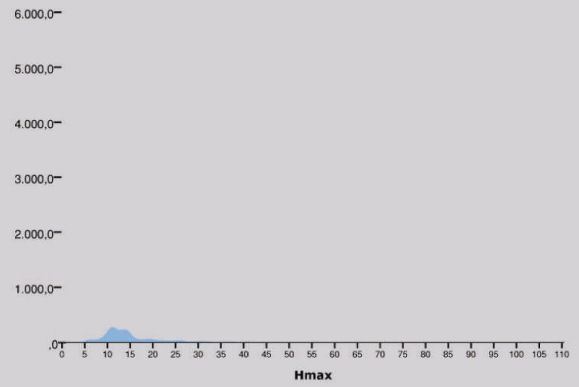
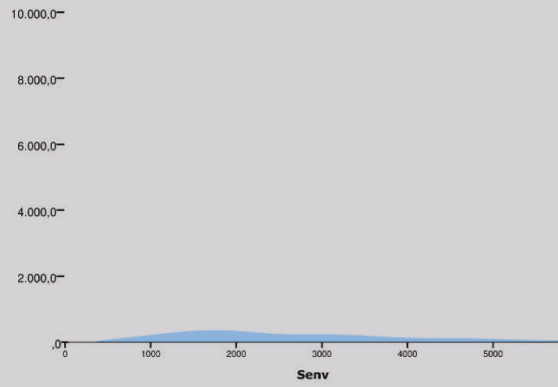
A fronte: immagine satellitare del quartiere di Ommoord [fonte GoogleMaps]. In alto: valori medi delle caratteristiche morfologiche del tipo edilizio e deviazione standard. Nel diagramma: logiche aggregative del tipo e (in azzurro) distribuzione degli affacchi principali.



Tipo edilizio A BALLATOIO

In alto: esempi di tipi a ballatoio in Rotterdam - fonte immagini GoogleStreetview. A fronte: Distribuzione delle caratteristiche morfologiche del tipo. Dall'alto superficie esterna $[S_{env}]$, altezza $[H_{max}]$, occupazione del suolo $[S_{foot}]$, superficie d'involucro condivisa $[S_{shrd}]$, indice di compattezza $[P_{ext}/V]$, perimetro $[P]$, dell'edilizia a ballatoio di Rotterdam.

CARATTERI MORFOLOGICI





T24

TIPO EDILIZIO A TORRE

% 0.6

H_{max}	[m] 30.9	[d.s.] 21.0
S	[m ²] 2884.1	[d.s.] 1987.3
S_{foot}	[m ²] 439.8	[d.s.] 191.0
S_{shrd}	[m ²] 412.5	[d.s.] 789.6
V	[m ³] 13323.0	[d.s.] 9171.3
S/V	0.2	[d.s.] 0.06
sup.condivisa [%]	12.5	



L'edilizia a torre si caratterizza per lo sviluppo in altezza dei manufatti consentito dal nucleo distributivo verticale dislocato tendenzialmente in posizione baricentrica a servire più unità residenziali per piano. Lo sviluppo in altezza e la collocazione di tale vano distributivo consentono una ripartizione degli affacci indifferenziata su tutti i lati dell'involucro senza una gerarchia vincolata. Ne derivano ridotte possibilità aggregative spesso risolte tramite l'innesto di un basamento dotato di affacci relativamente più contenuti e destinazione d'uso anche non residenziale. In tale configurazione sono riscontrabili inserimenti puntuali di tipologie a torre in tutto l'ambito urbano di Rotterdam, spesso collocate presso polarità economiche o punti di rilevanza paesaggistica. Esempi di lottizzazioni estensive di soli tipi a torre risultano molto rari in Rotterdam e concentrati prevalentemente lungo le rive del fiume Maas, come nel caso degli aggregati di De Esch e Katendrecht.

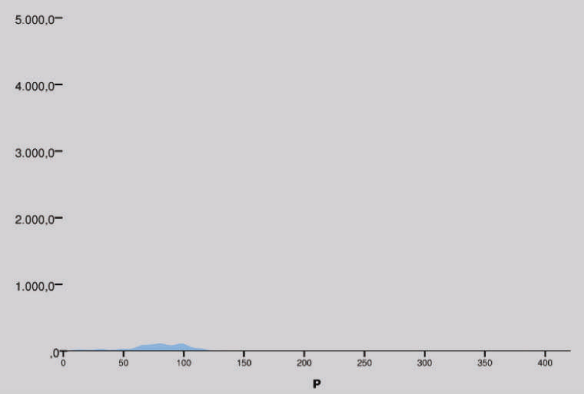
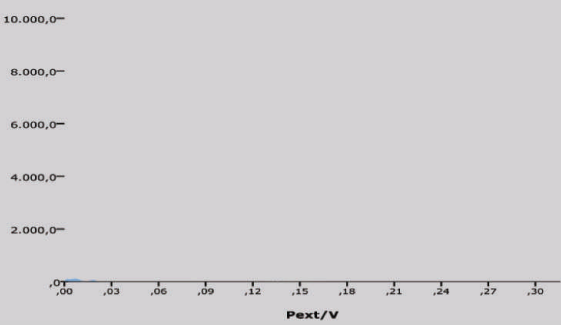
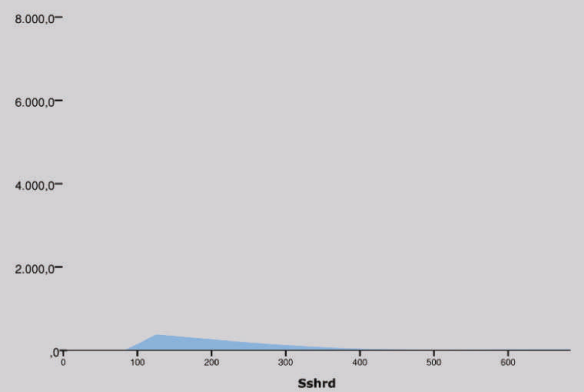
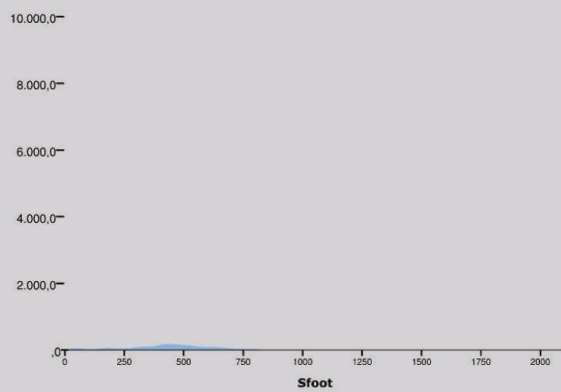
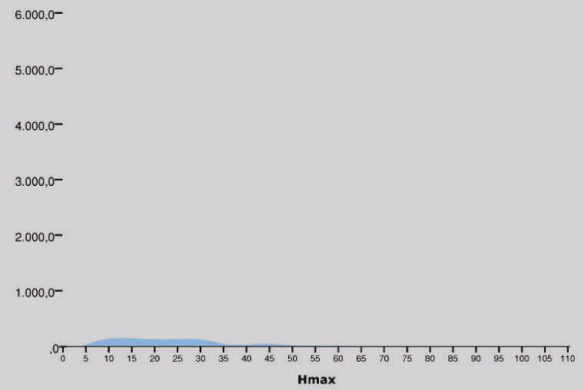
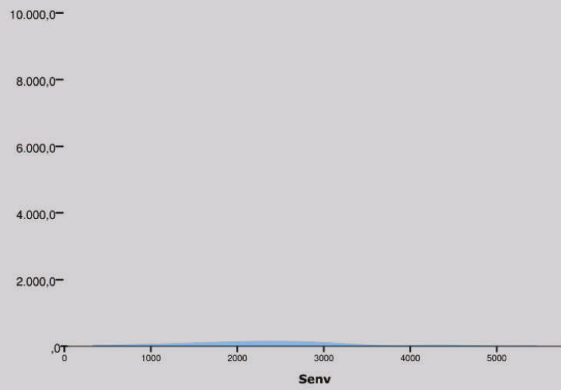
A fronte: immagine satellitare del quartiere di Schenkel [fonte GoogleMaps]. In alto: valori medi delle caratteristiche morfologiche del tipo edilizio e deviazione standard. Nel diagramma: logiche aggregative del tipo e (in azzurro) distribuzione degli affacchi principali.



Tipo edilizio A TORRE

In alto: esempi di tipi a torre in Rotterdam - fonte immagini GoogleStreetview. A fronte: Distribuzione delle caratteristiche morfologiche del tipo. Dall'alto superficie esterna [S_{env}], altezza [H_{max}], occupazione del suolo [S_{foot}], superficie d'involucro condivisa [S_{shrd}], indice di compattezza [P_{ext}/V], perimetro [P], dell'edilizia a torre di Rotterdam.

CARATTERI MORFOLOGICI



ANALISI AGGREGATIVA e campionamento

selezione dei campioni

Avendo a disposizione la mappatura tipologica dell'intero parco residenziale di Rotterdam è possibile analizzare l'articolarsi dell'aggregato edilizio nei molteplici ambiti e vincoli del contesto urbano. Gli aggregati di edilizia residenziale infatti assumono differenti configurazioni in funzione delle tipologie edilizie costituenti e delle gerarchie di impianto dovute alle scelte operate in fase progettuale e/o delle polarità economiche presenti (cfr. ad es. Caniggia Maffei 2001).

definizione degli aggregati [T27-T40]

Al fine di condurre una comparazione di soluzioni aggregative necessariamente differenti per qualità spaziali risultanti, si è deciso di suddividere l'ambito urbano campionabile in porzioni omogenee per superficie corrispondenti ad aree quadrate di 200m di lato. Le porzioni di tessuto urbano così ottenute costituiscono l'insieme degli aggregati edilizi entro cui condurre il campionamento.

Tale approccio trova riscontro nei lavori d'indagine del comportamento energetico dell'aggregato precedentemente menzionati (Ratti et al.2005; Bahu 2010; Bæk Pedersen 2009) con i quali questo lavoro condivide le finalità comparative del campionamento. A differenza di queste però si propone una diversa dimensione della maglia di individuazione dei tessuti. Se infatti Bæk Pedersen confronta lotti di progetto quadrati di 100m di lato, Ratti, Baker e Steemers optano per i 250m, mentre negli studi condotti da EIFER la maglia quadrata si estende a 500m.

Tramite verifica empirica sui dati catastali è stato possibile optare per una soluzione pari a 200m di lato che, applicata al contesto urbano di Rotterdam, si è dimostrata più adatta a garantire:

- una maggior casistica di aggregati tipologicamente uniformi. Tale configurazione è distintiva di numerose soluzioni aggregative¹, ma in Rotterdam risulta difficilmente riscontrabile con maglie di selezione di grandi dimensione per alcune tipologie edilizie quali ad esempio le case *a ballatoio* o *a torre*, maggiormente diffuse come interventi puntuali che non aggregati uniformi;
- una maggior casistica di impianti aggregativi complessi o gerarchizzati. Una maglia eccessivamente ridotta infatti tende a restituire aggregati di pochi isolati la cui configurazione tende a risultare seriale;
- il campionamento di aggregati riconducibili sia a distinti interventi edilizi che a un'unica intenzionalità progettuale che consente, a contrario di maglie di dimensioni maggiori,² l'inclusione nella popolazione campionabile anche grandi realizzazioni simultanee, non rare nell'ambito urbano di Rotterdam.³

selezione degli aggregati
per maglie quadrate
di 200x200 m

L'area municipale della città è stata pertanto suddivisa secondo una maglia ortogonale di 200m parallela all'asse geografico del vero nord in modo da suddividere l'intera superficie urbana per il minor numero di maglie possibile (T35). Sono state così definite un insieme di porzioni quadrate di aggregati edilizi all'interno del quale selezionare un campione di edifici rappresentativi della più ampia casistica di soluzioni aggregative riscontrabile.

[T35]

È stata quindi condotta un'analisi di tali configurazioni sulla base delle caratteristiche assunte dalle componenti edilizie dell'aggregato, già suddivise per famiglia tipologica. Se infatti ogni tipo edilizio rappresenta una sintesi delle proprietà morfologiche e dei vincoli aggregativi, l'analisi della loro distribuzione viene a corrispondere alla mappatura di differenti potenzialità aggregative dell'edilizia. In particolare Caniggia e Maffei (2001) propongono un'analisi del grado di articolazione o complessità raggiunto da un aggregato, sulla base del livello di variazione delle sue componenti edilizie e dell'assetto proprio del composto, i cui esiti vengono quindi a corrispondere a differenti *gradi di organicità*.⁴

criteri di campionamento

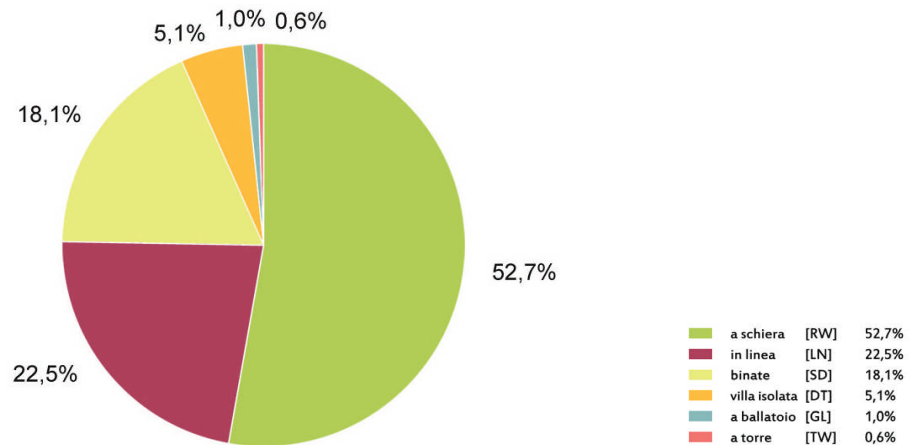
1 Molto frequentemente infatti l'uniformità tipologica è esito dell'attività pianificatoria e della relativa distinzione degli ambiti edificatori in zone omogenee.

2 cfr. ad es. i campioni RW1, GL1, TW1, esempi di aggregati edilizi esito di un singolo intervento progettuale.

3 cfr. ad es., tra gli interventi più rinomati, le aree residenziali degli Architekten Cie e dei Kcap nel Kop van Zuid, o il Witte Dorp di JJP Oud.

4 cfr. Glossario voce: livelli di organicità

Pertanto è stata condotta in ambiente GIS una lettura degli assetti aggregativi in base ai tipi edilizi maggiormente diffusi in ciascuna maglia di selezione, all'uniformità tipologica delle stesse e al grado di articolazione o di serialità del composto risultante.



[T25] Consistenza tipologica del parco residenziale di Rotterdam

Distribuzione delle tipologie prevalenti per aggregato

[T36] Una prima caratteristica distintiva degli aggregati è rappresentata dall'individuazione del tipo edilizio maggiormente diffuso in ciascuno di essi,⁵ avendo assunto le categorie tipologiche quali sintesi del potenziale aggregativo dell'edilizia. Tale diffusione è stata calcolata come sommatoria della superficie abitativa lorda per tipologia.⁶ I tipi edilizi corrispondenti alle maggiori estensioni di superficie costruita sono stati assunti quali caratterizzanti l'aggregato.

Tutte e 6 le tipologie edilizie analizzate presentano sufficienti concentrazioni da configurarsi come tipo prevalente di un aggregato.

⁵ Nel caso di aggregati edilizi di epoca pre-industriale, la cui realizzazione non è riconducibile ad un progetto architettonico ma a maestranze locali o agli stessi abitanti, l'individuazione della tipologia prevalente coincide con l'analisi del 'tipo di base' (Caniggia Maffei 2001), ovvero con il riconoscimento della soluzione abitativa (del concetto di casa) condivisa in uno specifico intorno culturale e temporale. Pertanto, per le porzioni più antiche degli ex-villaggi di Delfshaven, Pernis, Overschie o Oud-IJsselmonde, oggi inglobate in Rotterdam, il tipo assume un'ulteriore valenza in quanto manifestazione di una specifica cultura materiale (cfr. Muratori 1967). Per la restante maggioranza di aggregati post-industriali, cioè per quelle porzioni di costruito che sono esito esclusivamente dell'intenzionalità critica di un progettista, non è possibile leggere un unico tipo quale codice condiviso dall'intera produzione edilizia cittadina o regionale. Pertanto in questi casi il riconoscimento di una tipologia prevalente risulta significativo soltanto per il portato di vincoli e potenzialità aggregative che ciascun tipo sintetizza.

⁶ Corrispondente alla sommatoria, per ogni tipologia presente in un aggregato, della superficie abitativa lorda di ciascun piano.

L'analisi della distribuzione di tali tipi prevalenti [T36] restituisce una distinta diffusione spaziale delle tipologie: gli aggregati caratterizzati da soluzioni *in linea* si concentrano prevalentemente nella parte centrale della città a ridosso della vecchia area portuale, mentre le configurazioni a schiera si estendono a saturare l'area municipale lasciando agli aggregati di tipologie *a villa isolata* o *casa binata* solo aree marginali dell'ambito urbano. Sono eccezione a tale distribuzione le sole concentrazioni di case monofamiliari di Pernis e 's-Gravenland.

Gli aggregati edilizi connotati da tipologia *a ballatoio* risultano essere i più uniformemente distribuiti nell'area urbana, con un picco di concentrazione nel quartiere modernista di Pendrecht, mentre aggregati di *torri* sono prevalentemente riscontrabili in aree di spiccata valenza paesaggistica quali le sponde del fiume Maas e nel ex-centro antico.

Distribuzione dell'uniformità tipologica per aggregato

L'uniformità tipologica degli aggregati, restituita nella [T37], rappresenta la quantità di tipologie presenti in ciascuna porzione di tessuto individuata dalla maglia di 200 x 200m, per praticità indicata in questa sede con l'indice $[\tau]$. Tale lettura restituisce quindi la varietà degli elementi costituenti l'aggregato il cui numero oscilla tra 1 a 6 tipi edilizi, confermando la presenza di aggregati sia mono-tipologici che caratterizzati dalla massima combinazione possibile delle tipologie riscontrate.⁷ È interessante notare come l'uniformità tipologica non sia circoscritta a specifici quartieri del tessuto urbano: oltre alle zone più periferiche dell'area municipale, come Hoogvliet Zuid o Ommoord, sono puntualmente riscontrabili casi di aggregato caratterizzati da un ristretto numero di tipologie in tutto l'ambito urbano.⁸

I picchi maggiori di *mixité* tipologica invece si riscontrano nella corona di espansione ottocentesca della città nei quartieri di Kralingen, Feijenoord, Oude Westen e Oude Noorden, costituiti da tessuti edilizi ricchi di sostituzioni e stratificazioni edilizie.⁹ Analogamente a questi, nei quartieri satellite di Pendrecht, 110-Morgen e Hoogvliet risulta elevata la varietà di famiglie tipologiche presenti, la quale è però riconducibile ad una intenzionalità progettuale di epoca modernista.¹⁰ Un assetto analogo a quest'ultimi è riscontrabile in oltre nell'area di Bolnes.

$[\tau]$ numero di tipi edilizi presenti nell'aggregato

[T37]

⁷ Il dato rappresenta ulteriore validazione della dimensione assunta di 200x200m per la maglia di definizione degli aggregati.

⁸ cfr. ad es. l'estensiva urbanizzazione per tipi in linea di Carnisse, o gli aggregati a schiera di Noorde.

⁹ Tale corona di espansione si colloca all'esterno del limite fisico della città antica, assimilabile ad una prima fringe belt (Whitehand 2005) di Rotterdam costituita dai parchi Het Park e Muzeumpark, e dai sistemi di drenaggio del Westersingel e del Goudsesingel. I quartieri di tale fascia di espansione, ovvero Kralingen, Feijenoord, Oude Westen e Oude Noorden, corrispondono agli aggregati edilizi più antichi della città (il centro antico è stato demolito durante il secondo conflitto mondiale) i quali hanno risentito di una maggiore varietà di interventi e di vincoli orografici dovuti ai polder agricoli preesistenti. (cfr. Laar et al. 2007).

¹⁰ Si tratta infatti di quartieri realizzati durante la l'espansione successiva al secondo conflitto mondiale. L'approccio progettuale mirato a favorire la non uniformità tipologica è riscontrabile anche negli altri interventi dell'epoca, Schiebroek, IJsselmonde, Prins Alexander, che, pur non registrando i picchi massimi, presentano comunque tra i più elevati livelli di varietà tipologica.

misura della serialità
aggregativa
[Δ] angolo tra edifici

Distribuzione della serialità aggregativa

La distribuzione della serialità aggregativa [T38] delinea un quadro della complessità degli impianti lottizzativi in Rotterdam. Questa è calcolata come range di variazione dell'angolo tra edifici: se infatti le singole parcelle edilizie possono essere rappresentate in ambiente GIS da altrettanti poligoni vettoriali, di questi è possibile calcolare l'angolo rappresentativo dell'orientamento delle facciate rispetto al nord geografico. È stato possibile quindi computare il range di variazione di tali angoli all'interno di ciascun aggregato, ottenendo una parametrizzazione del diverso articolarsi dell'impianto lottizzativo, con range di variazione compreso tra i 0° e 180°. Essendo misurato come intervallo di variazione di un angolo, tale indice di serialità risulta indipendente dalla natura dei componenti dell'aggregato e mira a restituirne la configurazione attraverso la maggiore o minore differenza nell'orientamento dei fabbricati. Ad una variazione contenuta dell'angolo tra edifici ($\Delta \rightarrow 0^\circ$), infatti, l'aggregato edilizio risulterà caratterizzato da un impianto morfologicamente più uniforme e quindi connotato da una maggior serialità aggregativa. Viceversa, un aggregato più complesso o *organico* (Caniggia Maffei 2001), cioè caratterizzato da una gerarchia di percorrenze e/o da componenti edilizie maggiormente diversificate per vincoli di posizione, presenta un indice Δ maggiore ($\Delta \rightarrow 180^\circ$).

[T38] Analogamente a quanto messo in luce circa l'uniformità tipologica anche la serialità aggregativa presenta una differente distribuzione nell'ambito urbano. Per le aree di espansione ottocentesca tale serialità diminuisce (i valori di Δ risultano più elevati) in coincidenza delle aree dotate di maggior varietà tipologica come Kralingen, Feijenoord, Oude Westen e Oude Noorden, lasciando supporre un articolarsi dell'aggregato dovuto a distinti interventi edilizi succedutesi nel tempo. A questi quartieri si aggiunge l'area di Pernis, sorta come area urbana autonoma e inglobata nel 1934 durante le fasi di espansione del porto cittadino (cfr. Laar et al. 2007). Nelle fasce di più recente urbanizzazione invece non vi è una marcata sovrapposizione tra complessità aggregativa e varietà tipologica, lasciando quindi supporre la presenza di aggregati uniformi per tipologia il cui impianto lottizzativo risulta variamente articolato.

Nel complesso quindi nell'area urbana di Rotterdam sono riscontrabili due macroaree distinte coincidenti con una diversa distanza dal centro antico. Le aree meno distanti, di espansione ottocentesca, presentano aggregati maggiormente articolati e, caratterizzati da un'elevata varietà di tipi edilizi, nei quali la tipologia *in linea* risulta maggiormente diffusa. Nei restanti quartieri satellite, siano essi villaggi pre-esistenti o nuove urbanizzazioni del XX secolo, si riscontra una maggior diffusione dell'uniformità tipologica e serialità degli aggregati che si concentrano attorno a puntuali polarità più complesse per impianto lottizzativo e varietà dei tipi. La tipologia maggiormente diffusa in questi quartieri risulta essere la casa *a schiera*.

Campionamento

In coerenza con la matrice di lettura presentata, è stato selezionato un campione di aggregati individuando i casi corrispondenti ai punti critici dello spettro di soluzioni ottenuto [T40a.b] selezionando quindi la più ampia casistica di soluzioni reperibili. Per ciascuna delle 6 tipologie presenti a Rotterdam sono stati quindi selezionati 4 campioni corrispondenti a 4 possibili livelli di complessità aggregativa basati sul sistema di rapporti tra componenti edilizie e composto aggregativo¹¹ :

individuazione dei
24 campioni

- Aggregati uniformi per tipologia edilizia componente, caratterizzati da aggregazione seriale [T26; T40 codice identificativo: 1]
- Aggregati uniformi per tipologia edilizia componente, caratterizzati da aggregazione complessa o gerarchizzata [T26; T40 codice identificativo: 3]
- Aggregati composti da una varietà di tipologie edilizie e caratterizzati da aggregazione seriale [T26; T40 codice identificativo: 2]
- Aggregati composti da una varietà di tipologie edilizie e caratterizzati da aggregazione complessa o gerarchizzata [T26 ; T40 codice identificativo: 4]

[T40] spettro della
complessità aggregativa
dei campioni

La tabella [T26] riassume il numero di tipologie e il range di variazione dell'angolo tra edifici per ognuno dei 24 campione selezionati, mentre il grafico [T40a.b] ne restituisce lo spettro della complessità aggregativa. In allegato a questo resoconto sono in oltre disponibili le scede riassuntive delle caratteristiche morfologiche ed energetiche dei 24 campioni selezionati.

[cap.3.6]

¹¹ Lo spettro delle complessità aggregative [TXX] si basa sulle teorie di analisi tipologica di Caniggia e Maffei (2001) delle quali però non viene riproposta l'originale definizione delle 4 possibili configurazioni di aggregazione (rispettivamente seriale sistematico, seriale occasionale, organico episodico e organico totale) perché afferenti al concetto di 'tipo di base' quale elemento costituente l'aggregazione. Per Caniggia e Maffei infatti la lettura dell'aggregato storico (cioè dell'aggregato non progettato tramite 'coscienza critica') si basa sul riconoscimento della tipologia costitutiva intesa quale codice condiviso in un specifico ambito culturale. Pertanto l'aggregato storico risulta costituito solo da tale 'tipo di base' o dalle relative 'variazioni sincroniche per posizione', che lo configurano come un 'tessuto edilizio' propriamente detto. Per gli aggregati post-industriali analizzati non è possibile riscontrare un unico tipo, condiviso da tutti i soggetti coinvolti nella produzione edilizia di Rotterdam, pertanto l'analisi non si concentra sulla omogeneità delle singole variazioni tipologiche, ma sulla uniformità dei tipi edilizi presenti in un aggregato. Per questo motivo la riproposizione delle originali definizioni di Caniggia e Maffei risulterebbe inappropriata e fuorviante.

Codice identificativo del campione di edilizia aggregata	Tipo edilizio prevalente	UNIFORMITA' TIPOLOGICA	SERIALITA' AGGREGATIVA
		[τ] numero di tipi presenti nell'aggregato	[Δ] angolo massimo tra edifici
DT1	a casa isolata	1	9,8
DT2	a casa isolata	4	85,4
DT3	a casa isolata	1	159,1
DT4	a casa isolata	5	111,7
GL1	a ballatoio	2	0,5
GL2	a ballatoio	4	68,7
GL3	a ballatoio	1	104,8
GL4	a ballatoio	4	109,8
LN1	in linea	1	2,4
LN2	in linea	4	0,9
LN3	in linea	2	169,6
LN4	in linea	5	174,4
RW1	a schiera	2	6,2
RW2	a schiera	4	88,4
RW3	a schiera	2	140,8
RW4	a schiera	5	154,1
SD1	binata	3	3,2
SD2	binata	5	54,2
SD3	binata	2	124
SD4	binata	4	156,7
TW1	a torre	1	0,2
TW2	a torre	5	90,2
TW3	a torre	1	94,2
TW4	a torre	5	117

[T26] Parametri di selezione degli aggregati: tipologia prevalente, numero di tipologie presenti [τ] e angolo massimo tra edifici per campione [Δ] espresso in gradi ($0^\circ \leq \Delta \leq 180^\circ$).

Si noti come non sia stato possibile riscontrare soluzioni aggregative a tipologia edilizia mista ($\tau \geq 4$) caratterizzate da elevata serialità aggregativa (valori contenuti di Δ). Tale condizione mette in evidenza come ad una mixité tipologica risulti spesso correlata una maggiore complessità dell'impianto lottizzativo.¹²

A tal proposito è necessario precisare che i campioni selezionati non restituiscono un quadro della maggior diffusione delle soluzioni aggregative, ma mirano a rappresentare la casistica più ampia possibile di configurazioni riscontrabili nel contesto reale, date le premesse e gli assunti di analisi.

¹² Per tutti gli altri punti di criticità dello spettro invece (corrispondenti agli margini estremi del grafico T26) è stato possibile riscontrare nel parco edilizio dei campioni rappresentativi. cfr. ad es. il campione LN1: tipologicamente uniforme ($\tau=1$) e serialmente aggregato ($\Delta=2,4^\circ$); l'aggregato DT3: tipologicamente uniforme ($\tau=1$) con aggregazione complessa ($\Delta=159,1^\circ$) e il campione TW4: tipologicamente misto ($\tau=5$) con aggregazione complessa ($\Delta=117^\circ$).

CAMPIONAMENTO TAVOLE



[T27] Rotterdam





[T28] Housing

Dati catastali relativi alla sola edilizia ad uso residenziale

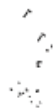




[T29] Tipo a Schiera

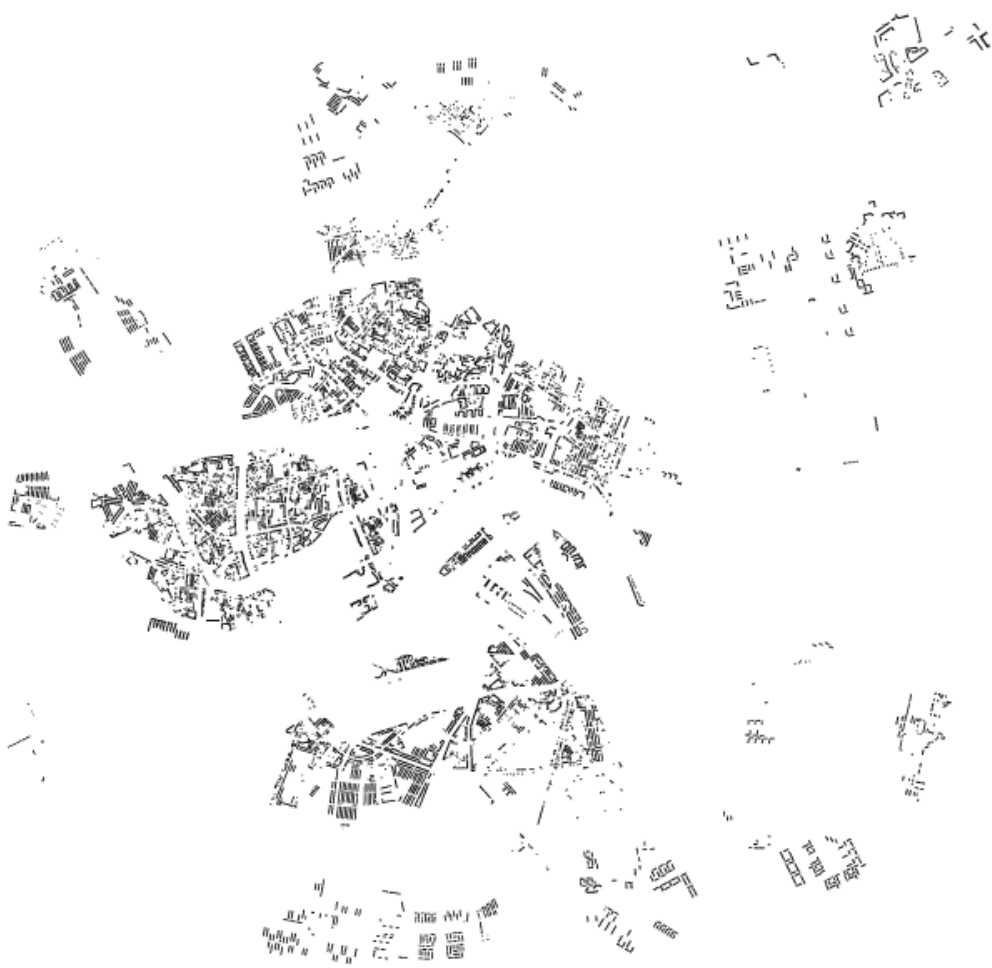
Distribuzione dell'edilizia riconosciuta come tipo a schiera nell'ambito urbano di Rotterdam

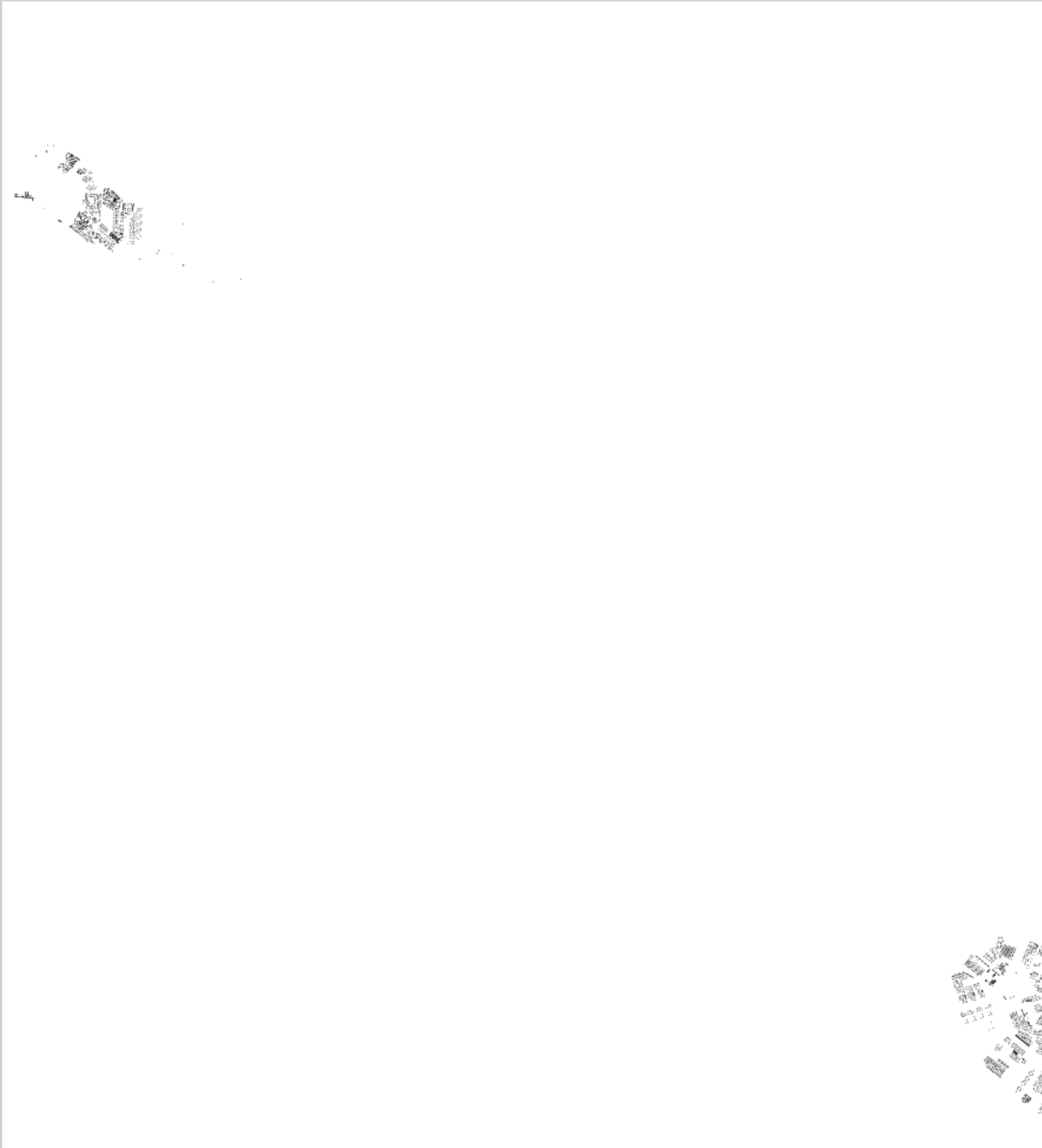




[T30] Tipo in Linea

Distribuzione dell'edilizia riconosciuta come tipo in linea nell'ambito urbano di Rotterdam

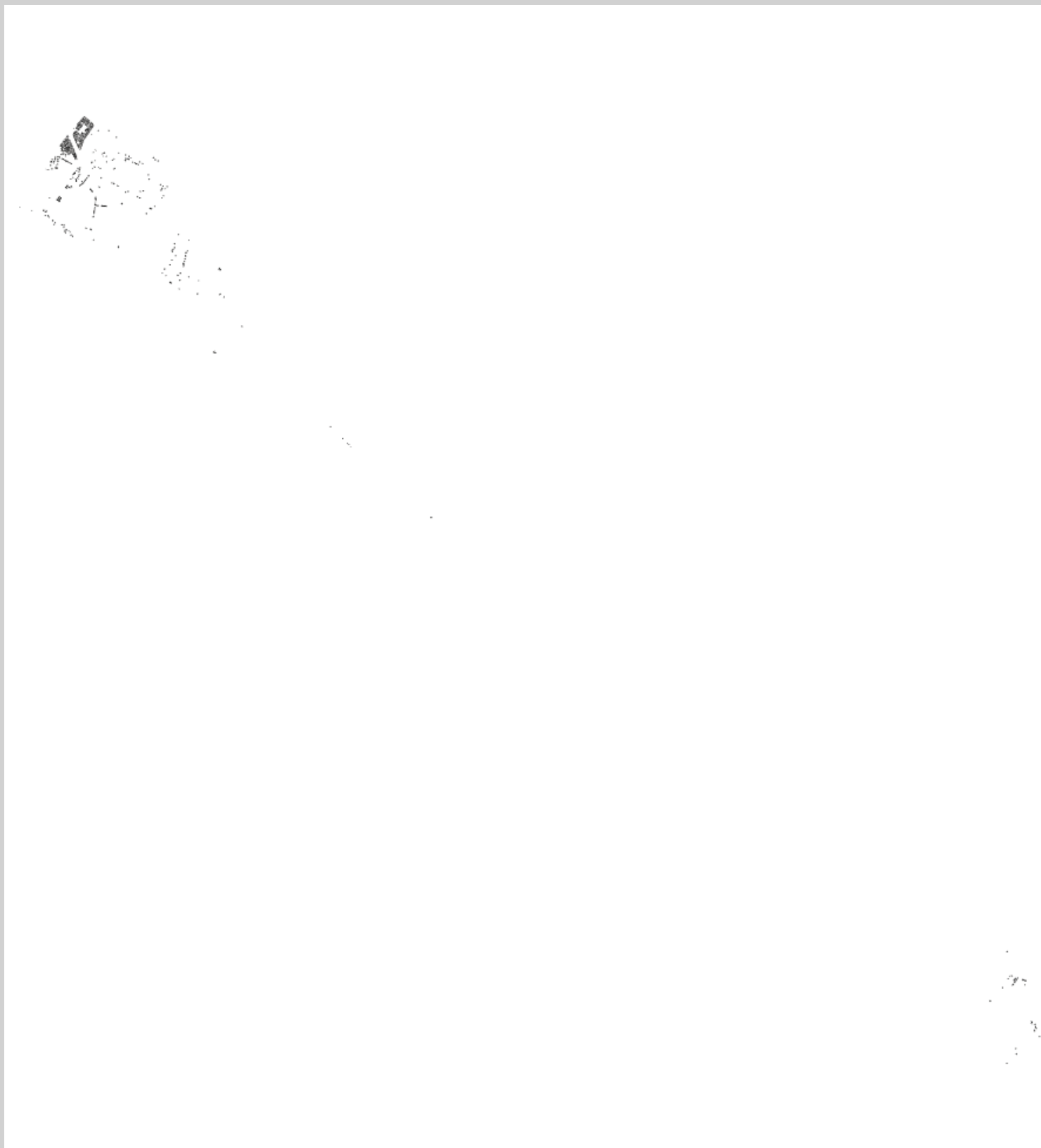




[T31] Tipo a Casa Binata

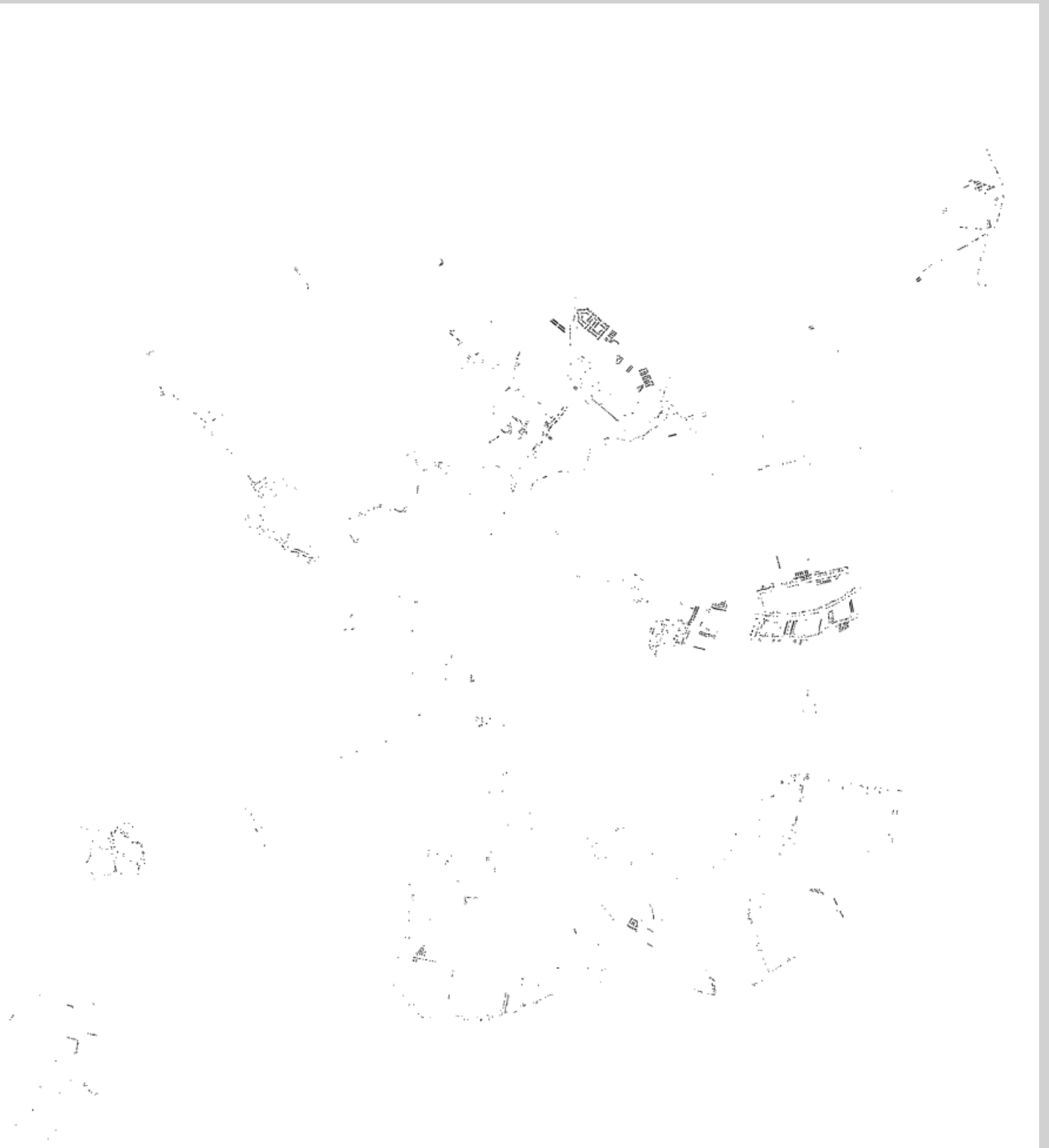
Distribuzione dell'edilizia riconosciuta come tipo a casa binata nell'ambito urbano di Rotterdam

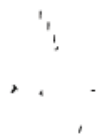




[T32] Tipo a Villa Isolata

Distribuzione dell'edilizia riconosciuta come tipo casa isolata nell'ambito urbano di Rotterdam

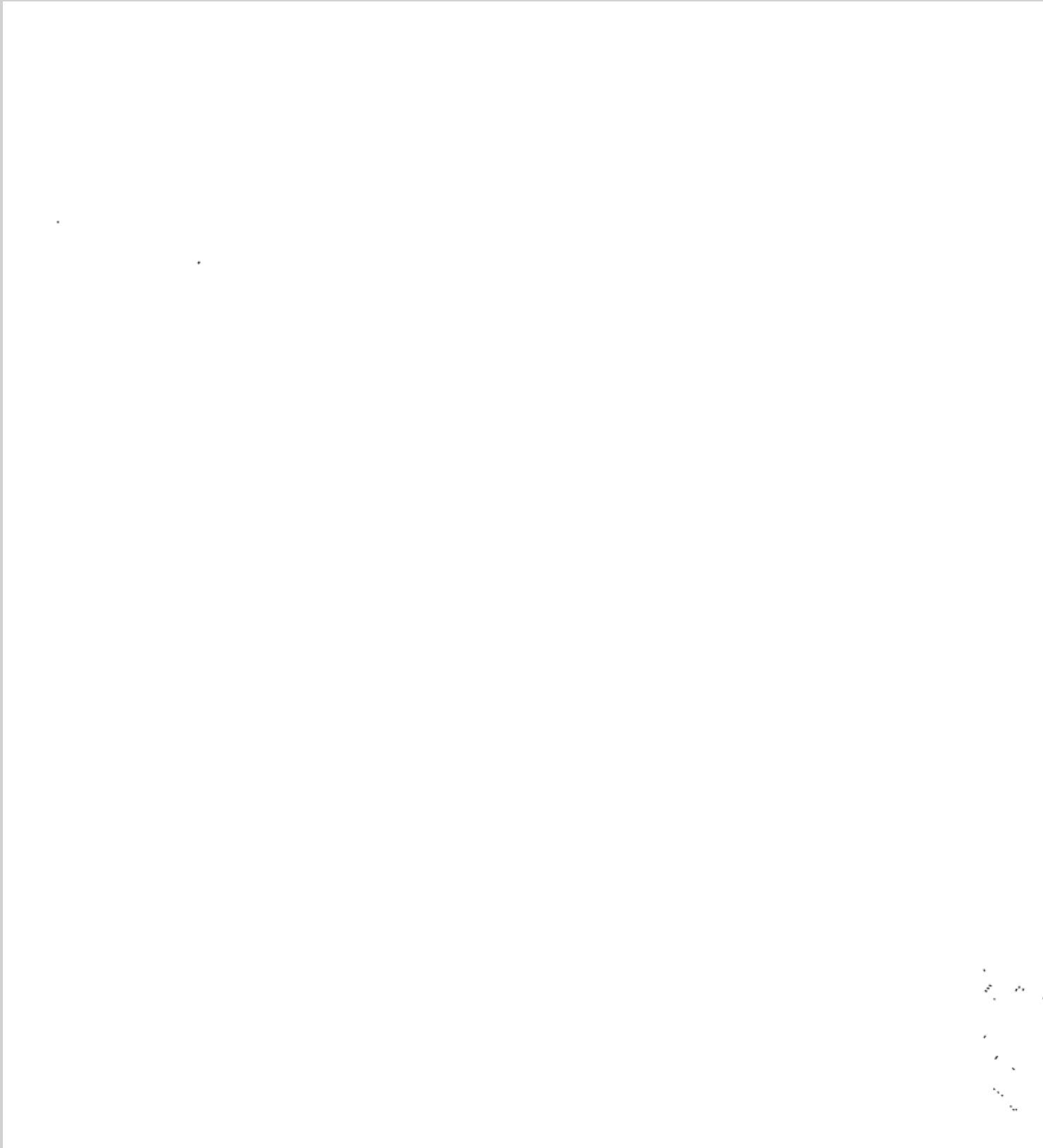




[T33] Tipo a Ballatoio

Distribuzione dell'edilizia riconosciuta come tipo a ballatoio nell'ambito urbano di Rotterdam

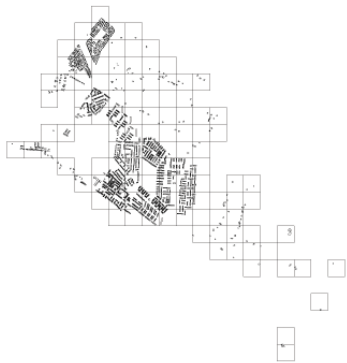




[T34] Tipo a Torre

Distribuzione dell'edilizia riconosciuta come tipo a torre nell'ambito urbano di Rotterdam





[T35] Rotterdam

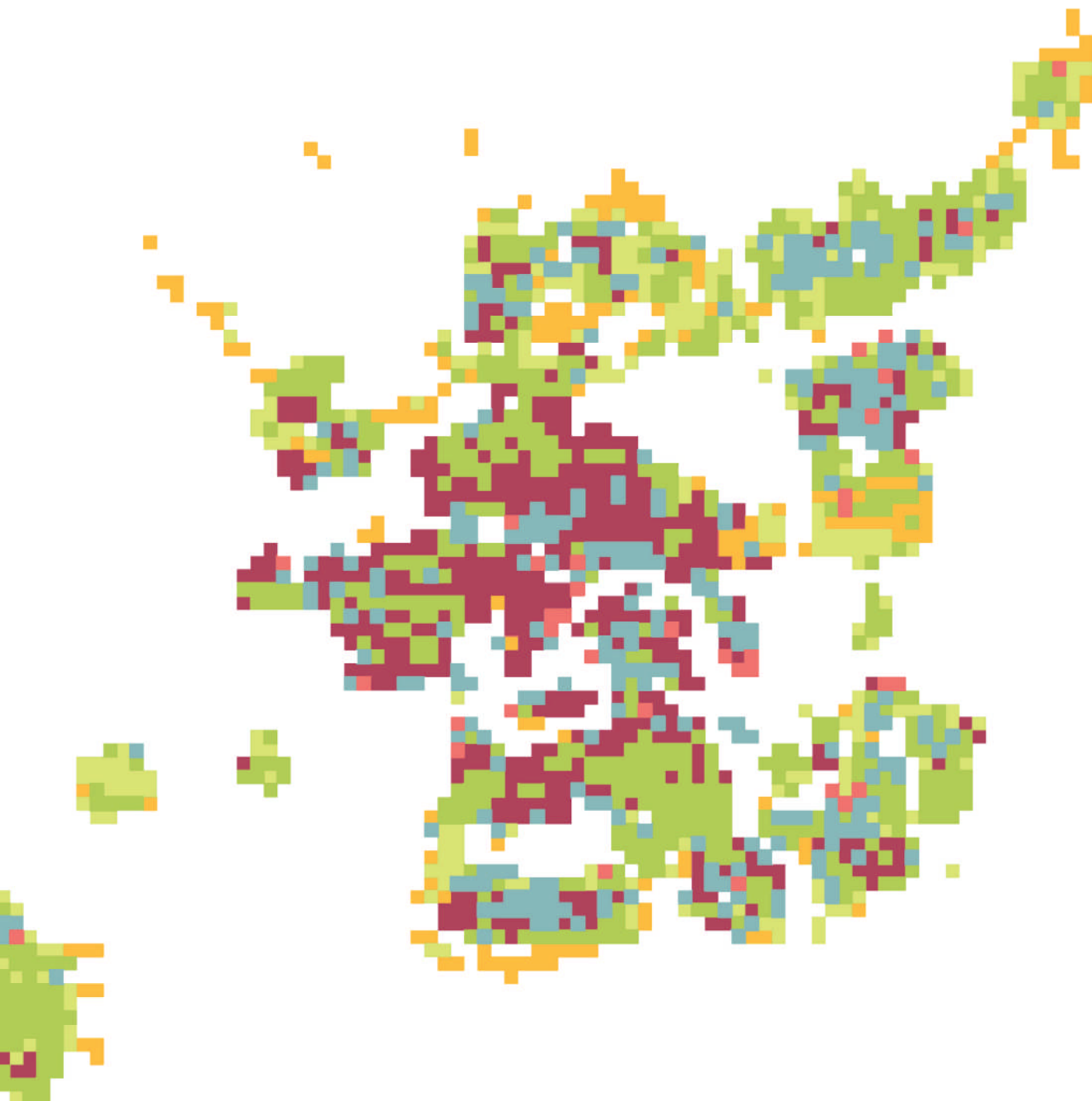
Suddivisione dell'ambito urbano in campioni di aggregato di 200x200m

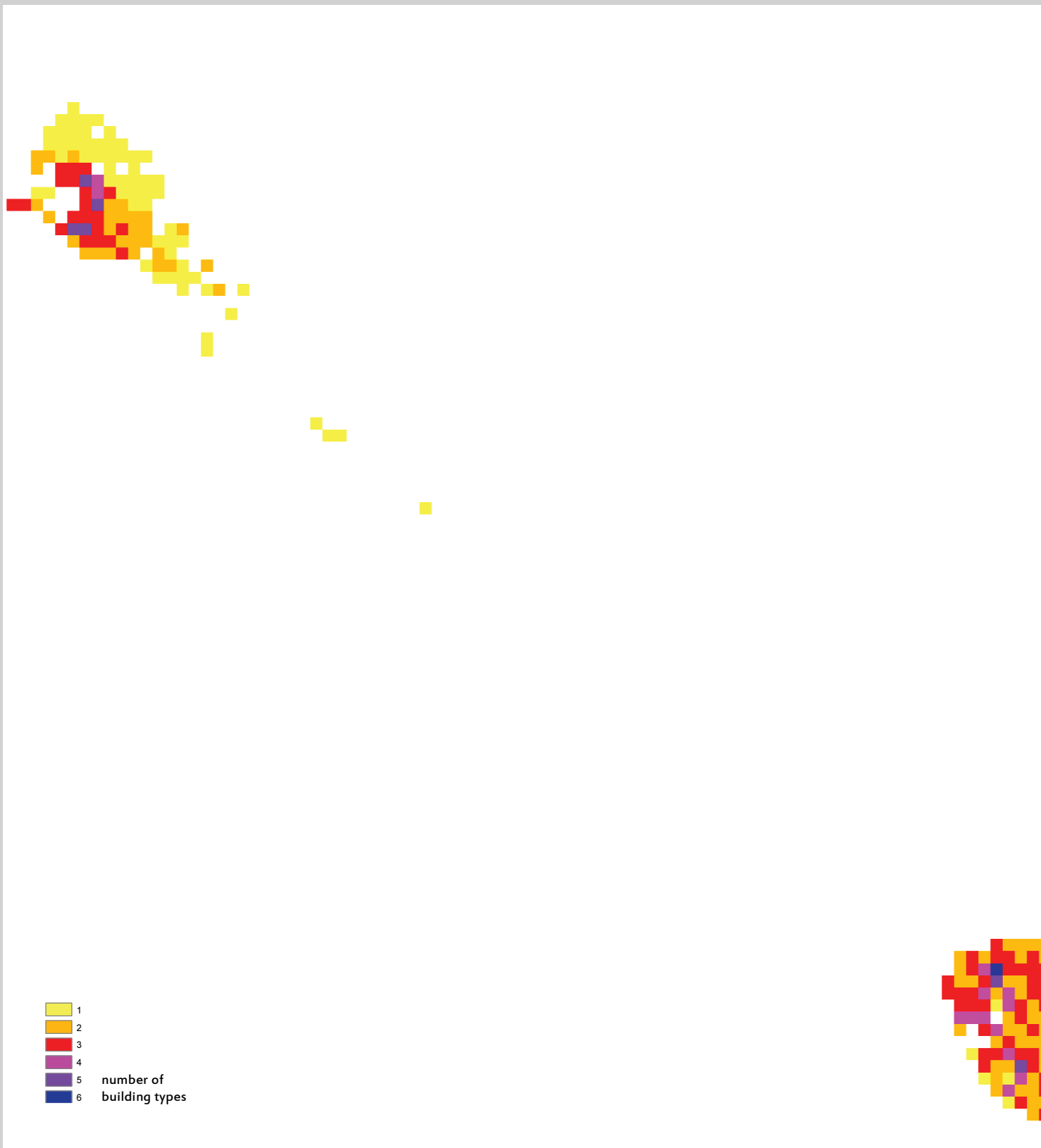




[T36] Tipo edilizio prevalente nell'aggregato

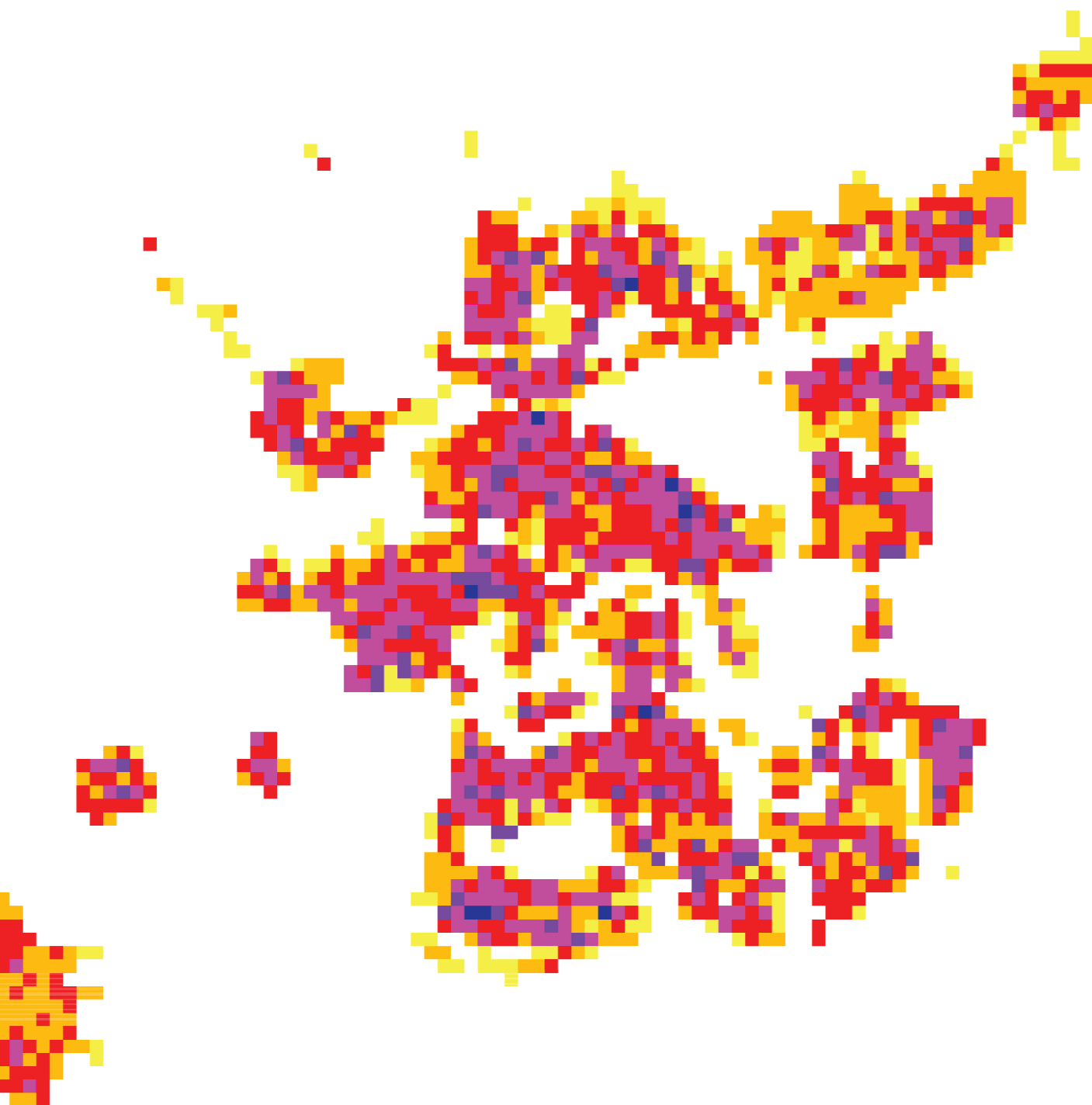
Distribuzione delle tipologie prevalenti per aggregato calcolata come superficie abitativa per tipo edilizio





[T37] Uniformità tipologica

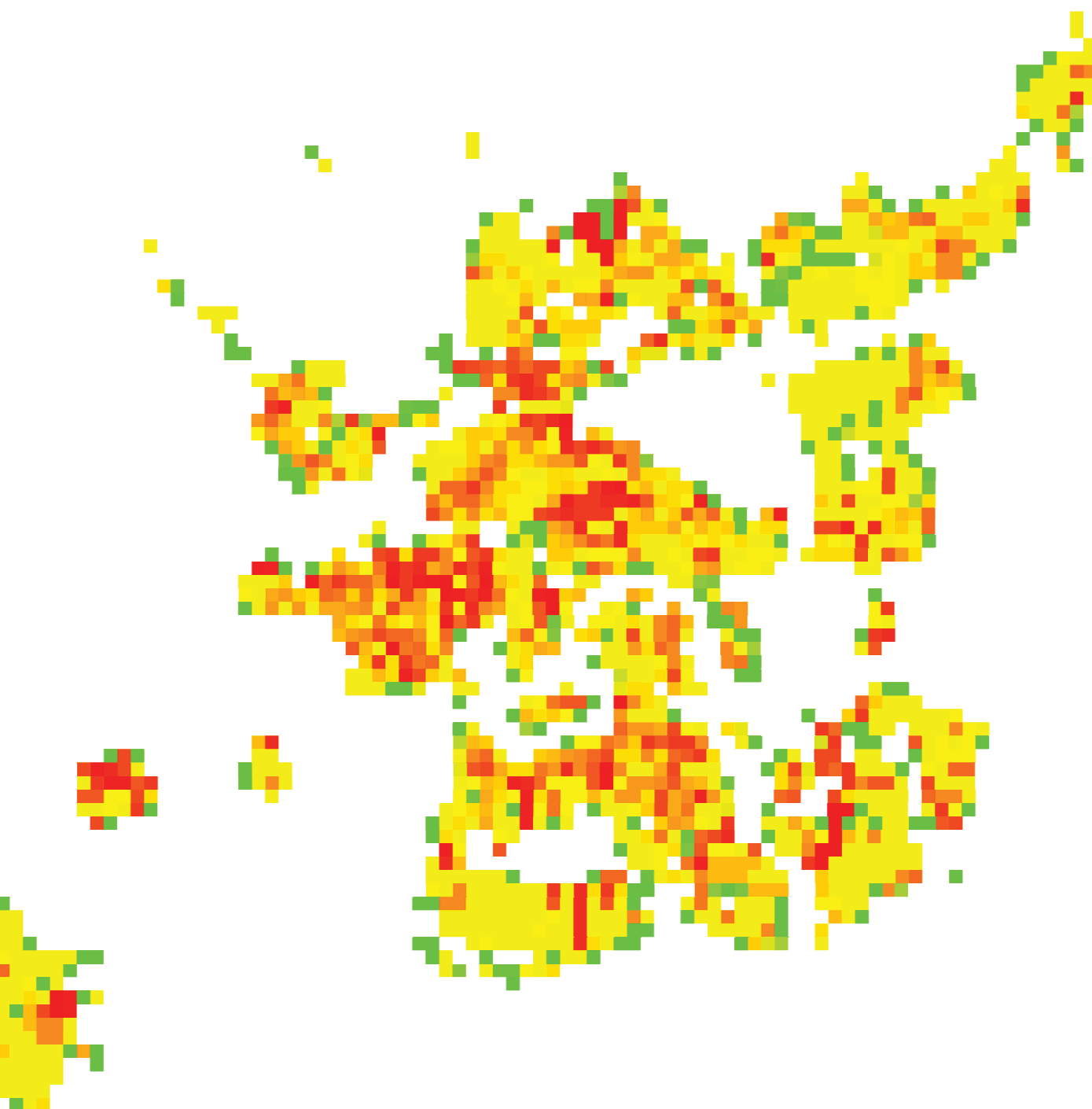
Distribuzione dell'uniformità di tipi edilizi per aggregato calcolata come numero di tipologie presenti per aggregato





[T38] Serialità aggregativa

Distribuzione della serialità aggregativa calcolata come angolo massimo registrato tra gli edifici dell'aggregazione.
Variazione da 0° a 180°.

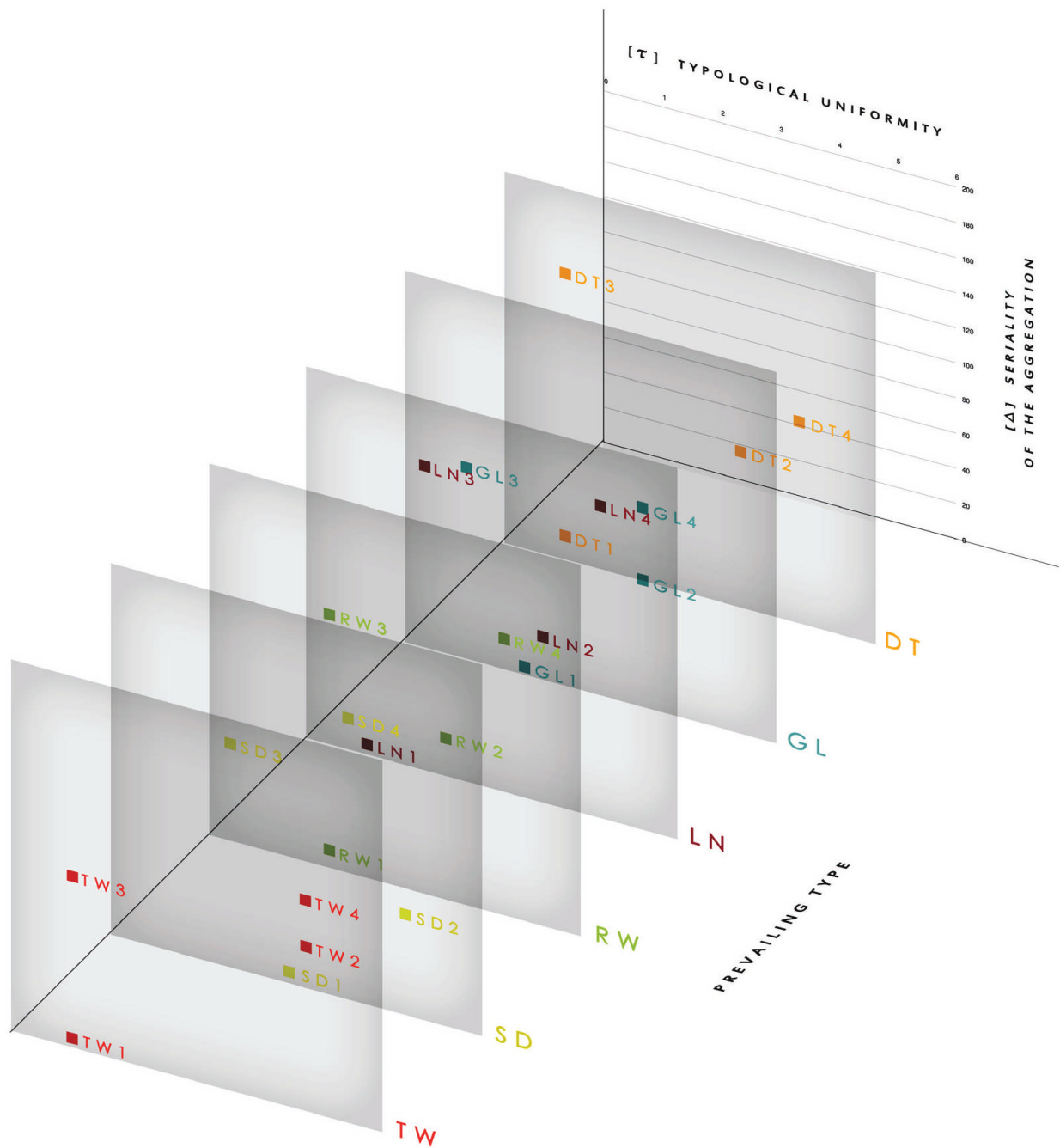




[T39] 24 Campioni

Distribuzione dei 24 campioni di edilizia aggregata selezionati per l'indagine



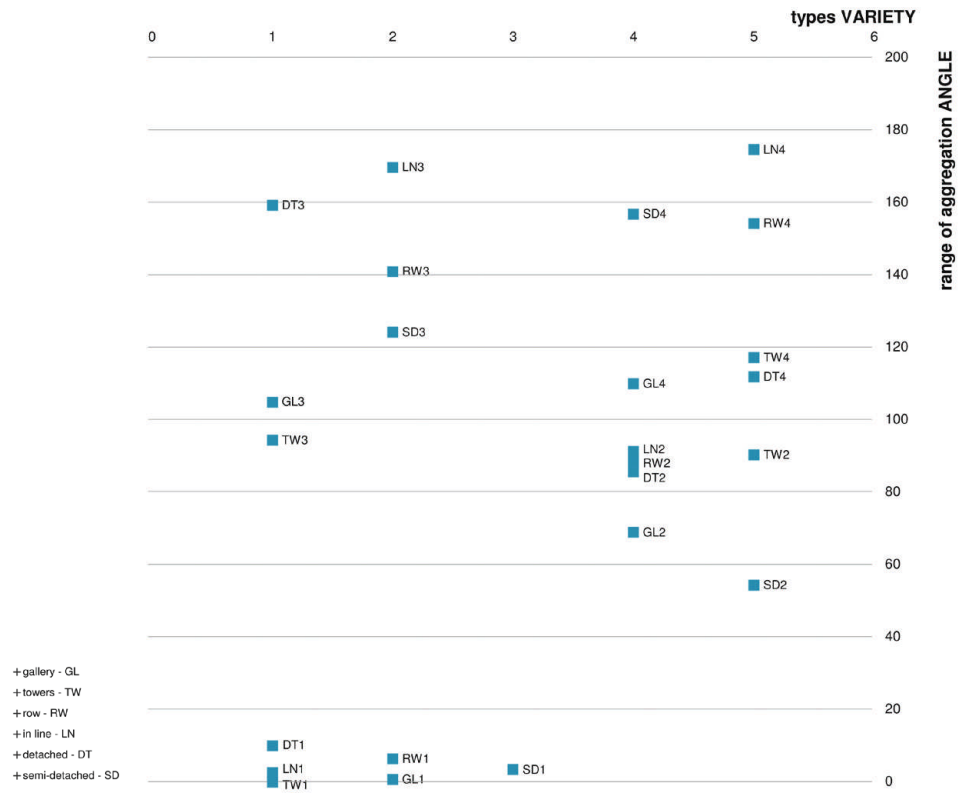


[T40a] Spettro 3D della compessità aggregativa dei campioni selezionati

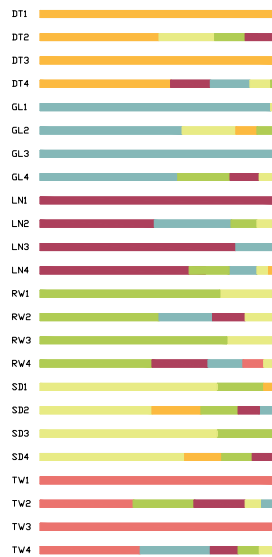
Campionamento

Selezione dei campioni di edilizia aggregata per

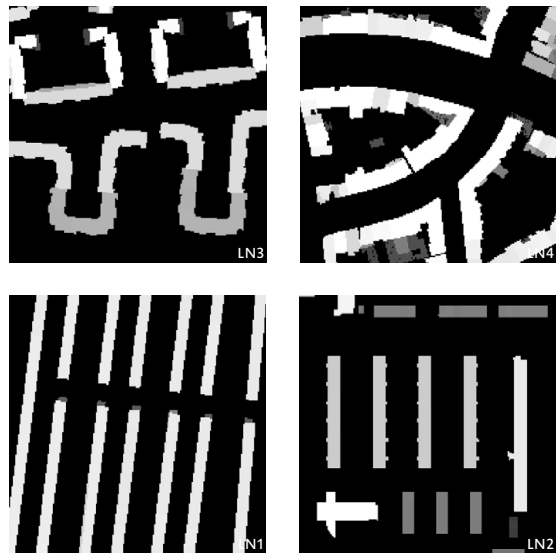
- tipo edilizio prevalente nella selezione - calcolata come percentuale di superficie abitativa per tipo edilizio
- uniformità tipologica - calcolata come numero $[\tau]$ di tipologie presenti nell'aggregato
- serialità aggregativa - calcolata come massimo angolo $[\Delta]$ di orientamento tra gli edifici del campione



[T40b] Spettro 2D della compessità aggregativa dei campioni selezionati

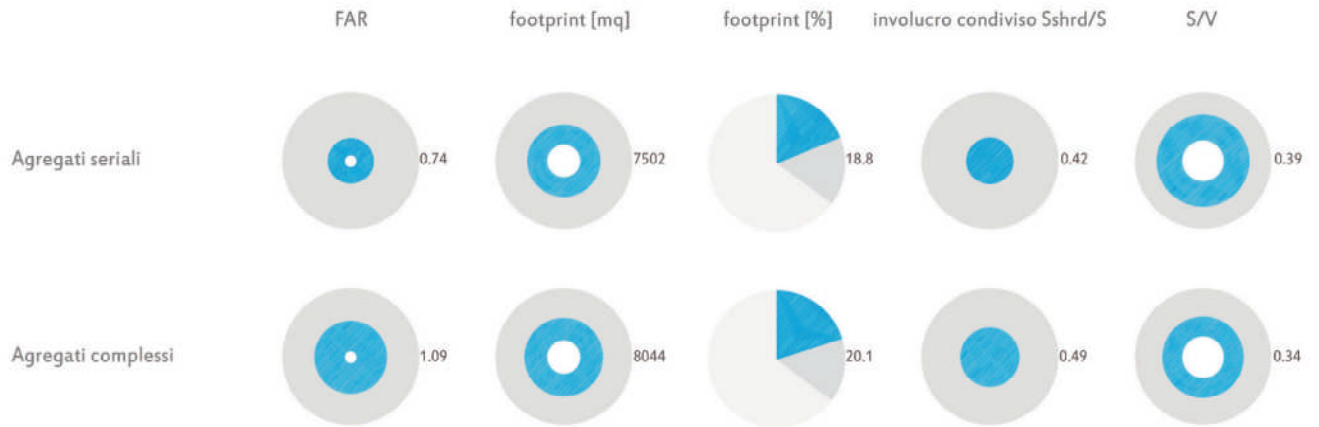


[T41] Percentuali di superficie abitativa per tipologia edilizia dei 24 campioni selezionati

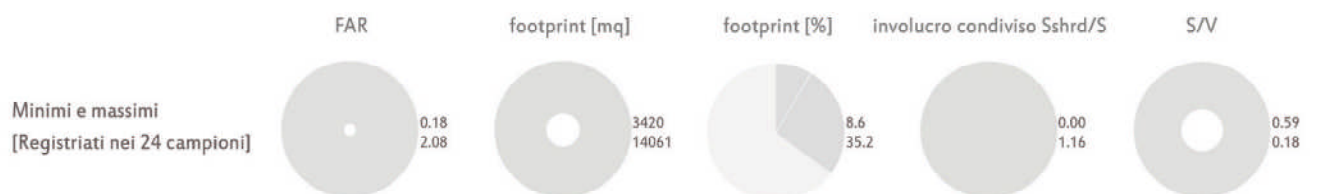
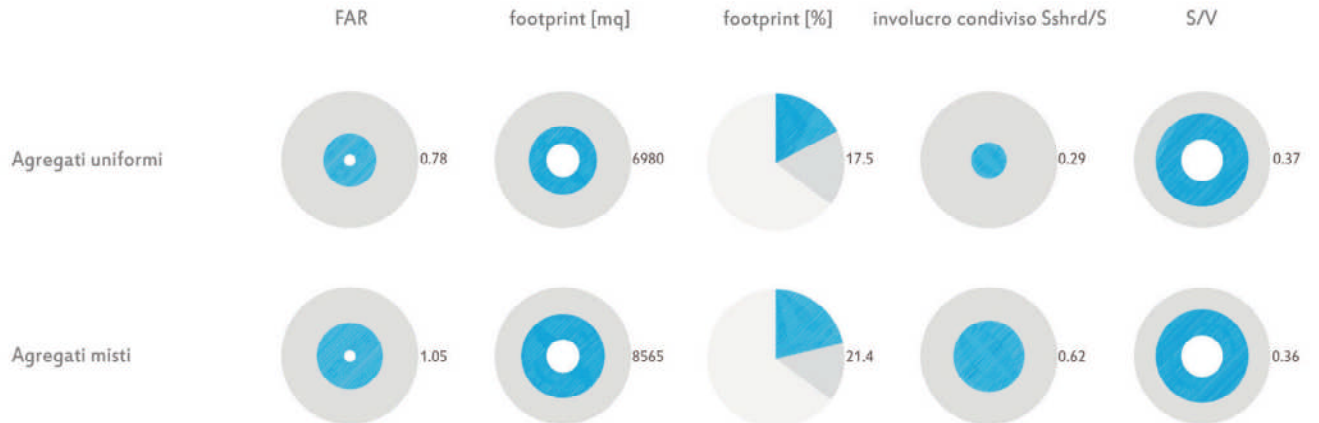


[T42] Esempificazione del processo di selezione per aggregati a prevalenza di tipi in linea.

MORFOLOGIA E SERIALITÀ AGREGATIVA

































MORFOLOGIA E UNIFORMITÀ TIPOLOGICA



[T43] MORFOLOGIA DELL'AGGRAGATO

Aggregazione degli indici morfologici per serialità aggregativa, uniformità tipologica e tipi edilizi prevalenti. In grigio (sopra) sono riportati i range di oscillazione dei parametri morfologici sui 24 campioni, in azzurro le loro medie calcolate per le diverse categorie di aggregazione. Nella lettura per serialità aggregativa e per uniformità tipologica, le medie si riferiscono quindi a 2 gruppi di 12 campioni. Nell'analisi per tipi edilizi prevalenti, le medie sono calcolate per 6 gruppi di 4 campioni aggregativi.

MORFOLOGIA E TIPO EDILIZIO

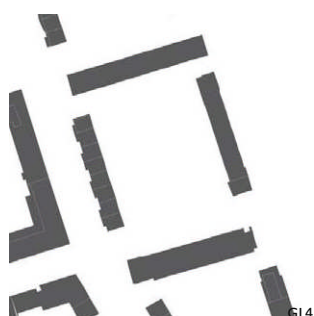
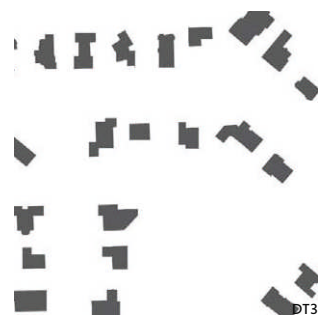
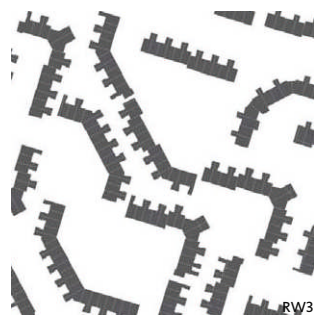
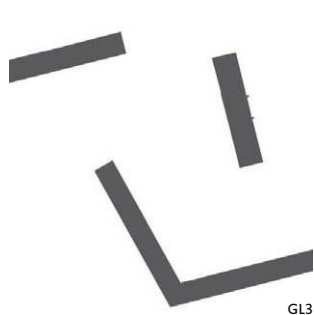
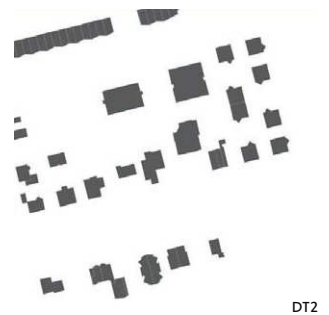
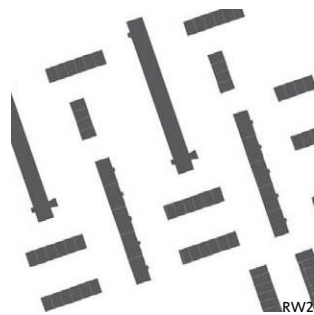
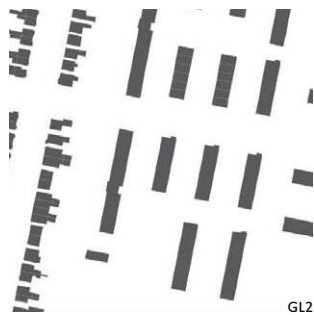
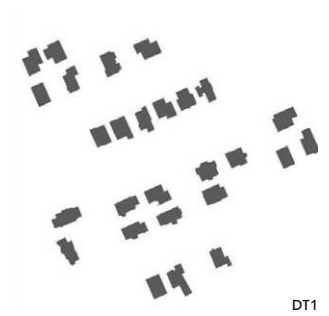
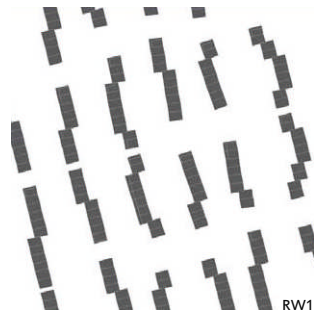
	FAR	footprint [mq]	footprint [%]	involucro condiviso Sshrd/S	S/V
Villa isolata [DT]	 0.31	 4909	 12.3	 0.13	 0.48
Binata [SD]	 0.49	 7473	 18.7	 0.49	 0.50
A schiera [RW]	 1.01	 10410	 26.0	 0.83	 0.37
In linea [LN]	 1.17	 10942	 27.4	 0.56	 0.31
A ballatoio [GL]	 1.27	 6810	 17.0	 0.33	 0.27
A torre [TW]	 1.25	 6092	 15.2	 0.40	 0.25

Parte II bibliografia

- Abonyi J., Feil B.
2007. Cluster analysis for data mining and system identification. Basel: Birkhäuser.
- Al-Kandari N.M., Jolliffe I.T.
2005. Variable selection and interpretation in correlation principal components. in *Environmetrics*. n.16.6 pp659-672.
- Andeweg M.T., Koopman F.W.A.,
2007. State of the Art: The Netherlands. in M.T.Andeweg, S.Brunoro, L.G.W.Verhoef (eds.). *Cost C16: improving the quality of existing urban building envelopes. State of the art*. Amsterdam: IOS Press.
- APUR Atelier parisien d'urbanisme.
2007. *Consommations d'énergie et émissions de gaz à effet de serre liées au chauffage des résidences principales parisiennes*. Paris: APUR.
- Bacher J., Wenzig K., Vogle M.
2004. SPSS TwoStep Cluster. A First Evaluation. Erlangen-Nürnberg: Friedrich Alexander Universität
- Bæk Pedersen P.
2009. *Sustainable compact city. Bæredygtig kompakt*. Århus: Arkitektskolens Forlag.
- Bahu J.M.
2010. *Simulation de la consommation d'énergie finale dans le résidentiel grâce à une modélisation orientée-objet. Cas de Paris. Thèse non publiée*. Compiègne: Université de Technologie de Compiègne - European Institute For Energy Research
- Brown F.E., Steadman J.P.
1991a. The morphology of British housing: an empirical basis for policy and research. Part I: Functional and dimensional characteristics. in *Environment and Planning B: Planning and Design* n18.3 pp277-299
- Brown F.E., Steadman J.P.
1991b. The morphology of British housing: an empirical basis for policy and research. Part 2: topological characteristics. in *Environment and Planning B: Planning and Design*. n18.4 pp385-415.
- Caniggia G., Maffei G.L.
1984. *Composizione architettonica e tipologia edilizia: 2. Il progetto dell'edilizia di base*. Venezia: Marsilio.
- Caniggia G., Maffei G.L.
2001. *Architectural composition and building typology: Interpreting basic buildings*. (1ed.:1979. *Composizione architettonica e tipologia edilizia: 1. Lettura dell'edilizia di base*. Venezia: Marsilio.) Florence: Alinea
- Cattell R.B.
1966. The scree test for the number of factors. in *Multiv. Behav. Res.* n1 pp245-276.
- Chiappi C., Villa G.
1979. *Tipo, progetto, composizione architettonica*. Firenze: Uniedit
- Chiu T., Fang D., Chen J., Wang Y., Jeris C.
2001. A Robust and Scalable Clustering Algorithm for Mixed Type Attributes in Large Database Environment. atti 7th ACM SIGKDD international conference on knowledge discovery and data mining.
- CLIP Club d'Ingénierie Prospective Energie et Environnement.
2001. *Habitat et environnement durable. Bilan rétrospectif et prospectif*. Cahier du CLIP n.13-avril 2001
- Dolnicar S., Grün B.
2008. Challenging Factor-Cluster Segmentation. in *Journal of Travel Research*. v.47.1 pp63-71
- Franchini A., Righetti P.
2000. *Tipologie residenziali contemporanee: manuale di realizzazioni europee degli ultimi vent'anni*. Milano: BE-MA.
- Garson G.D.
2010. *Statnotes: Topics in Multivariate Analysis*. North Carolina State University <http://faculty.chass.ncsu.edu/garson/PA765/statnote.htm>
- Horn B., Huang W.
2009. *Comparison of Segmentation Approaches*. Decision Analyst Inc.
- Jajuga K., Sokolowski A., Bock H.-H.
2002. *Classification, clustering and data analysis*. Y: Springer.
- Joliveau T.
2004. *Géomatique et gestion environnementale du territoire: Recherches sur un usage géographique des SIG*. Rouen: Université de Rouen.
- Jolliffe I.T.
1972. Discarding variables in a principal component analysis. I: Artificial data. in *Applied Statistics*. n21 pp160-173.
- Jolliffe I.T.
1973. Discarding Variables in a Principal Component Analysis. II: Real Data. in *Applied Statistics*. n22 pp21-31.
- Jolliffe I.T.
2002. *Principal component analysis*. New York: Springer.
- Kaiser, H.F.
1960. The application of electronic computers to factor analysis. in *Educ. Psychol. Meas.* n20 pp141-151.
- King J.R., Jackson D.A.
1999. Variable selection in large environmental data sets using principal components analysis. in *Environmetrics*. n10 pp67-77.
- Komossa S.
2010. *Hollands bouwblok en publiek domein. Model, regel, ideaal*. Nijmegen: Vantilt.
- Komossa S., Meyer H., Risselada M., Thomaes S., Jutten N.
2005. *Atlas of the Dutch urban block*. Bussum: Thoth.
- Koolhaas R., Mau B., Sigler J., Werlemann H.
1995. *Small, medium, large, extra-large: Office for Metropolitan Architecture*, Rem Koolhaas, and Bruce Mau. New York.NY: Monacelli Press.
- Krzanowski W.J.
1987. Selection of variables to preserve multivariate data structure, using principal components. in *Appl. Statist.* n.36 pp22-33.

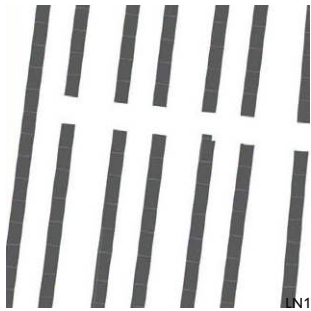
- Laar P. van de, Jaarsveld M. van, Klaassen L., Ball G.
2007. Historical atlas of Rotterdam: the city's growth illustrated. Amsterdam: SUN.
- McCabe G.P.
1984. Principal variables. in *Technometrics*. v26 n2
- Mooi E., Sarstedt M.
2011. *A Concise Guide to Market Research*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag
- Muratori S.
1967. *Civiltà e Territorio*. Roma: Centro Studi di Storia Urbanistica.
- Neufert E., Baglioni A., Gottfried A., Collina L.
1999. *Enciclopedia pratica per progettare e costruire. Manuale ad uso di architetti, ingegneri, periti edili e costruttori, docenti e discenti. Norme e prescrizioni per progettare, costruire, dimensionare, distribuire*. Milano: U.Hoepli.
- Ratti C., Baker N., Steemers K.
2005. Energy consumption and urban texture. in *Energy and Buildings*. n37 pp762-776.
- Salat S.
2009. Energy loads, CO₂ emissions and building stocks: Morphologies, typologies, energy systems and behaviour. in *Building Research and Information*. n37 pp598-609.
- Schramm H.
2008. *Low rise - high density: horizontale Verdichtungsformen im Wohnbau*. Wien: Springer.
- SPSS Inc.
2001. *The SPSS twostep cluster component*. Chicago: SPSS.
- Steadman P., Bruhns H.R., Holtier S., Gakovic B., Rickaby P.A., Brown F.E.
2000. A classification of built forms. in *Environment and Planning B: Planning and Design*. n27.1 pp73-91
- Uytenga R.
2008. *Cities Full of Space: Qualities of Density*. Rotterdam: 010 Publisher.
- Whitehand J.W.R.
2005. Urban Morphology, Urban Landscape Management and Fringe Belts. in *Urban Design* n93 pp19-21
- Zaffagnini M. (ed.)
1992. *Edilizia residenziale*. in *Manuale di progettazione edilizia. Vol.1 Tipologia e criteri di dimensionamento*. Milano: Hoepli.
- Zaffagnini M., Gaiani A., Marzot N.
1995. *Morfologia urbana e tipologia edilizia*. Bologna: Pitagora
- Zhang T., Ramakrishnan R., Livny M.
1996. BIRCH: An Efficient Data Clustering Method for Very Large Databases. atti ACM SIGMOD Conference on Management of Data. Montreal. pp103-114

MATRICI COMPATARIVE

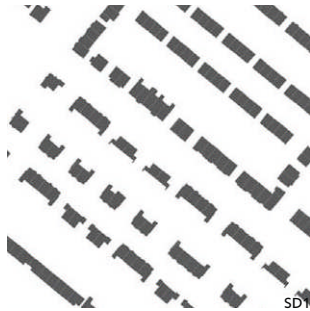


[T44] 24 CAMPIONI

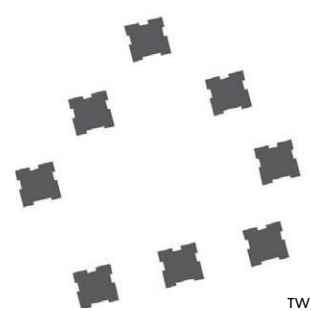
Dati catastali relativi alla sola edilizia residenziale.
Selezionati per complessità aggregativa.



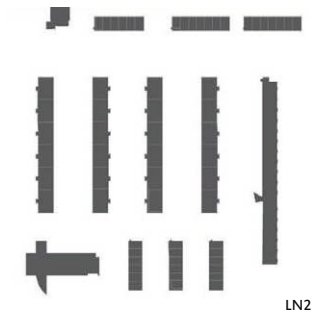
LN1



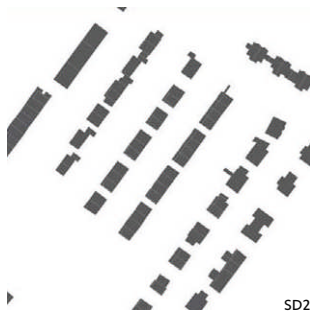
SD1



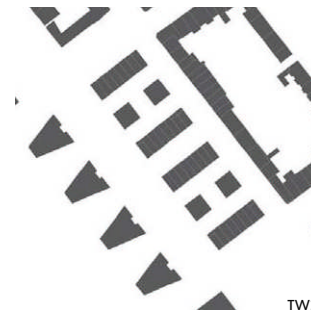
TW1



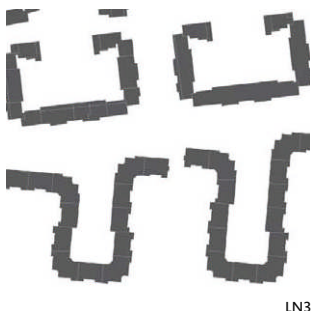
LN2



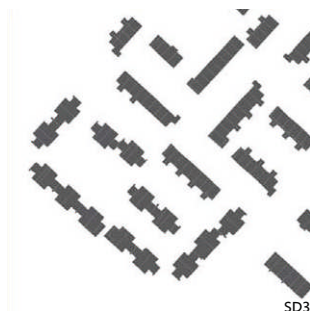
SD2



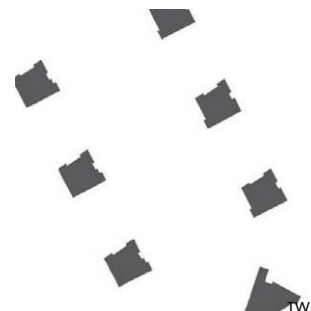
TW2



LN3



SD3



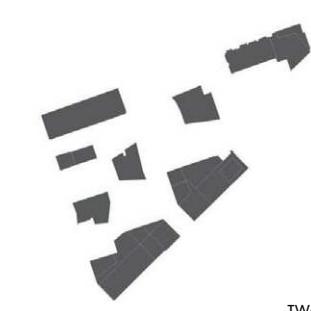
TW3



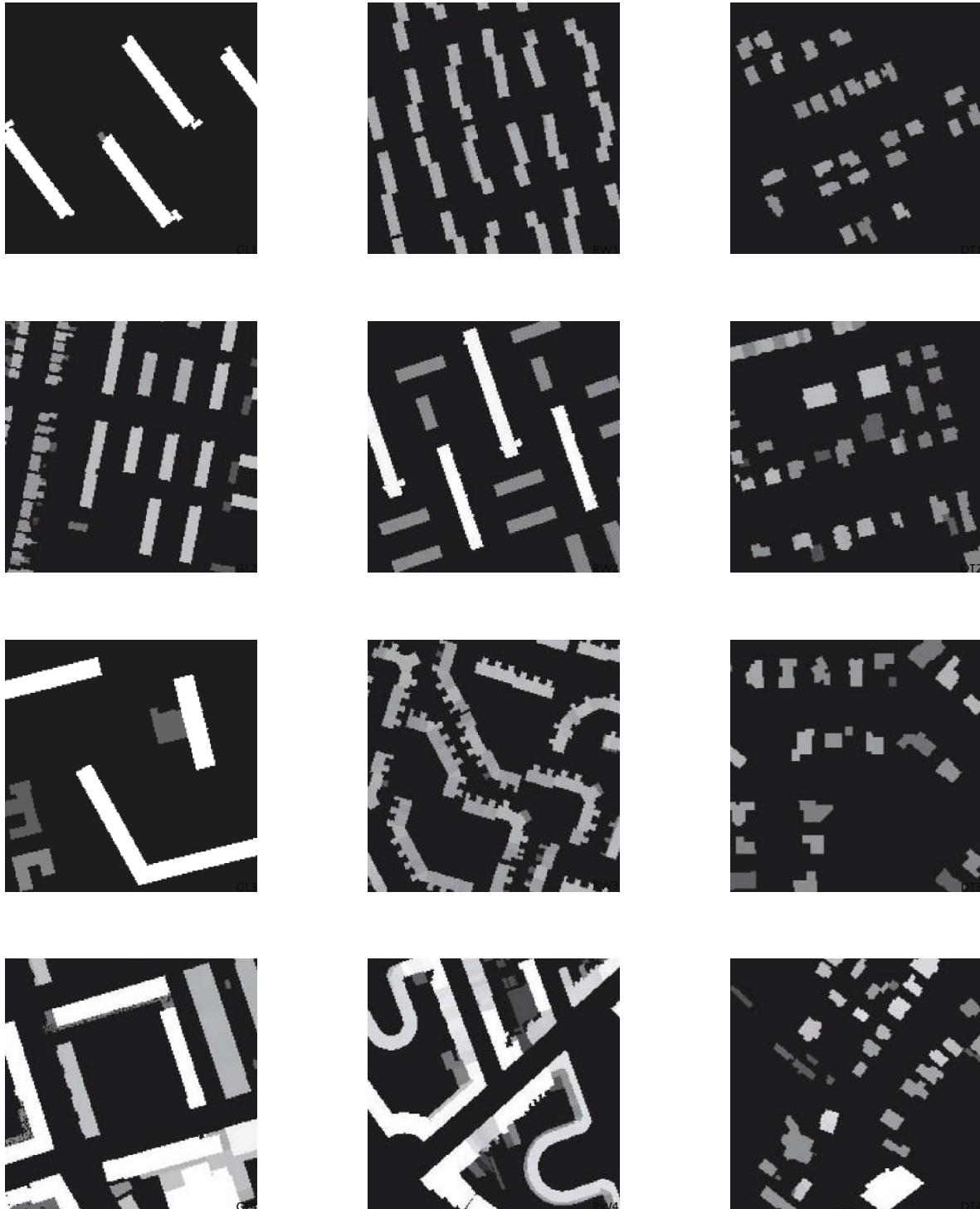
LN4



SD4

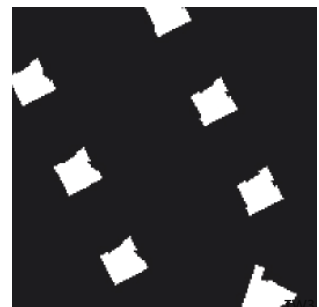
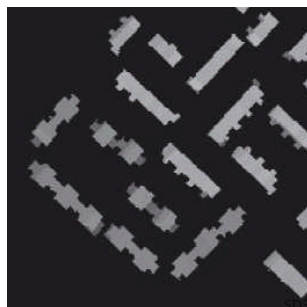
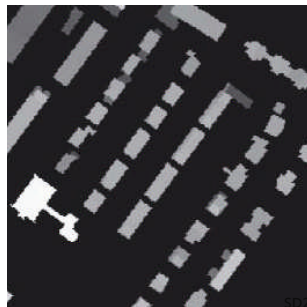
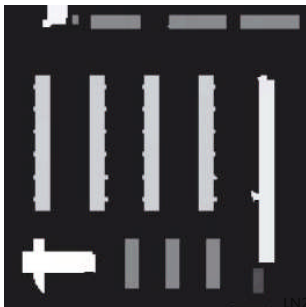
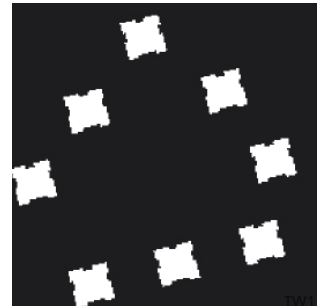
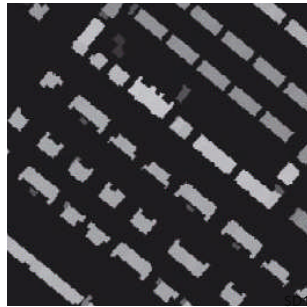
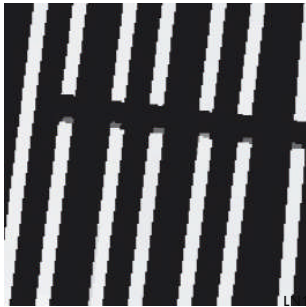


TW4



[T45] DIGITAL ELEVATION MODELS

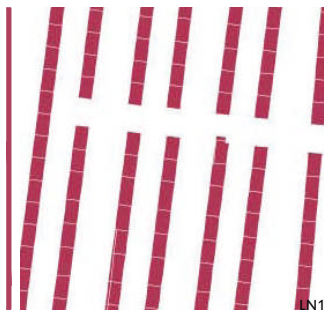
Integrazione dei parametri morfologici nei dati catastali.



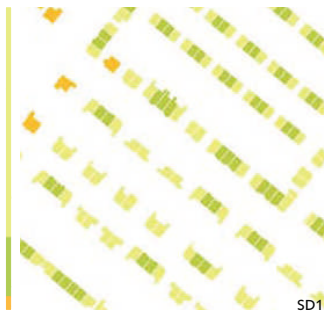


[T46] CLASSIFICAZIONE TIPOLOGIE EDILIZIE

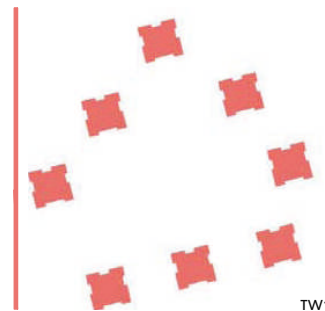
Per cluster statistici omogenei.



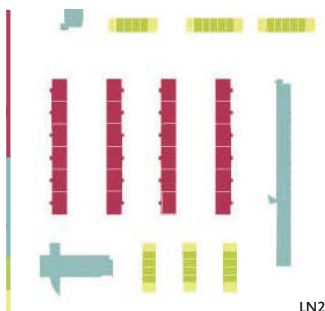
LN1



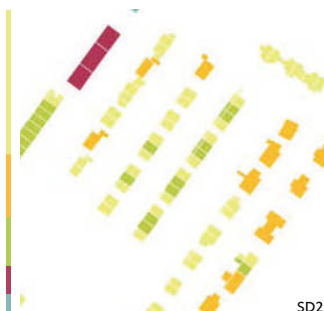
SD1



TW1



LN2



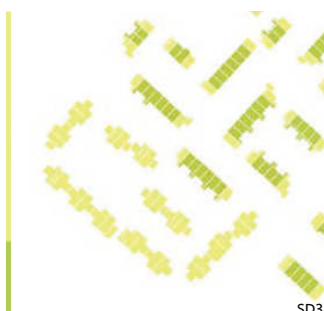
SD2



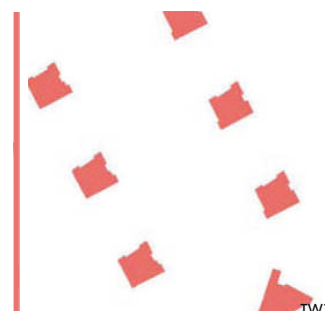
TW2



LN3



SD3



TW3



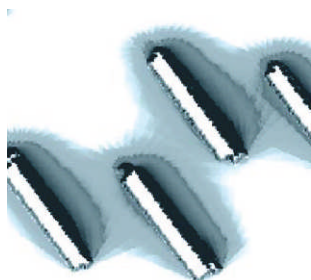
LN4



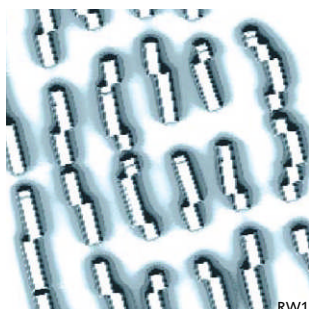
SD4



TW4



GL1



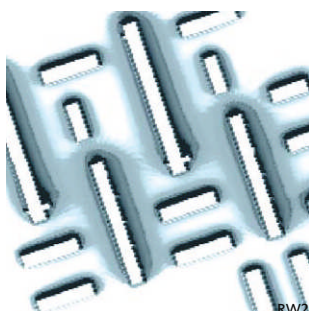
RW1



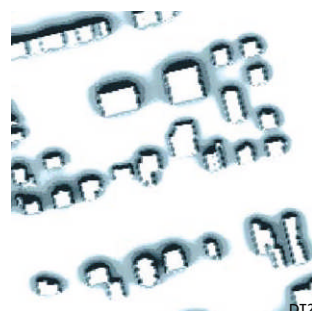
DT1



GL2



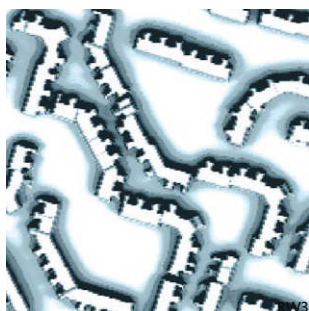
RW2



DT2



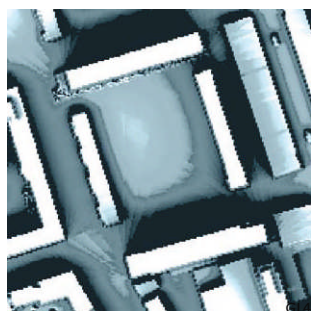
GL3



RW3



DT3



GL4



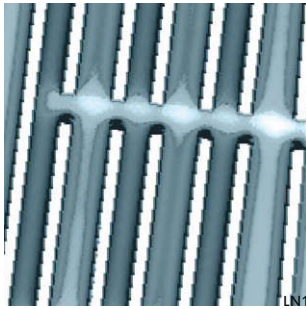
RW4



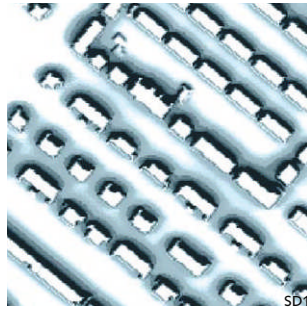
DT4

[T47] IRRAGGIAMENTO SOLARE

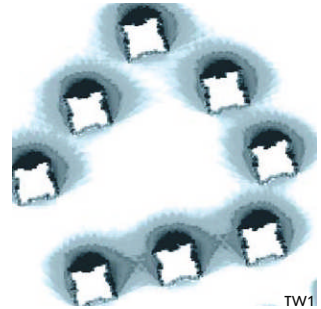
Analisi dell'irraggiamento solare per superfici orizzontali.



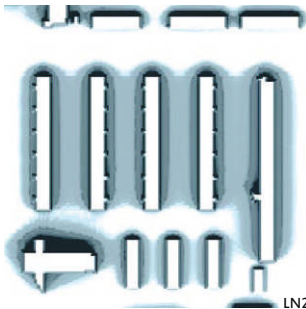
LN1



SD1



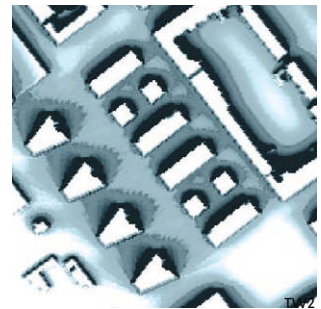
TW1



LN2



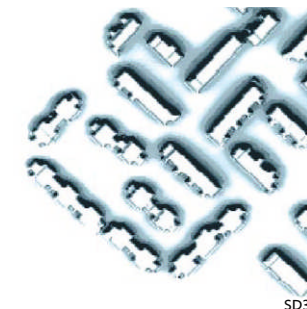
SD2



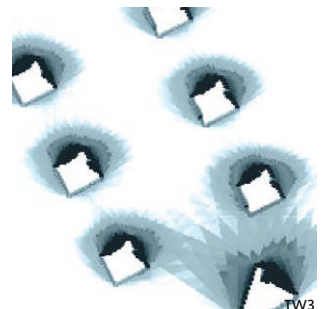
TW2



LN3



SD3



TW3



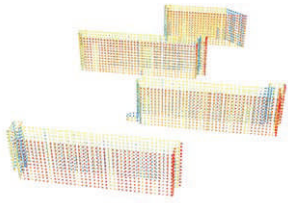
LN4



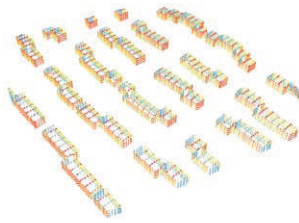
SD4



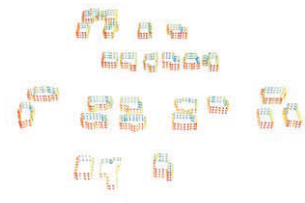
TW4



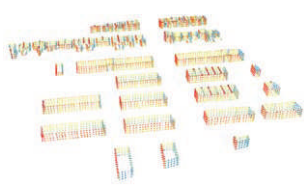
GL1



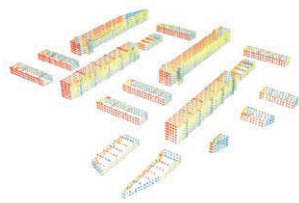
RW1



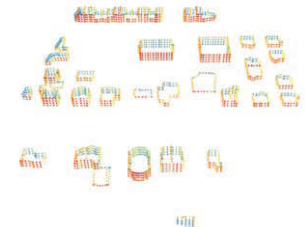
DT1



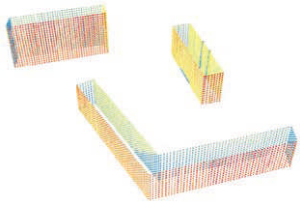
GL2



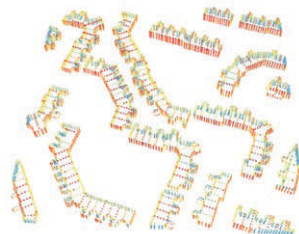
RW2



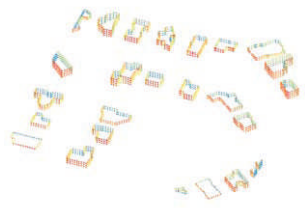
DT2



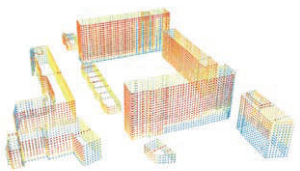
GL3



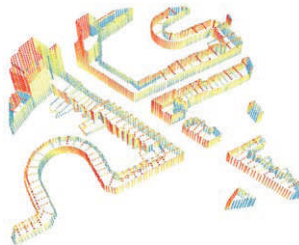
RW3



DT3



GL4



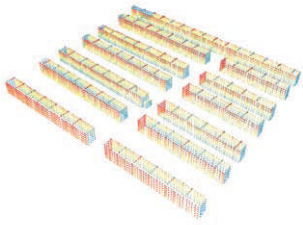
RW4



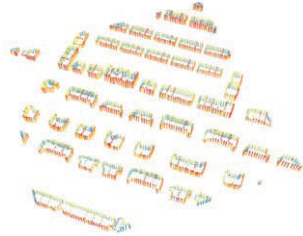
DT4

[T48] IRRAGGIAMENTO SOLARE

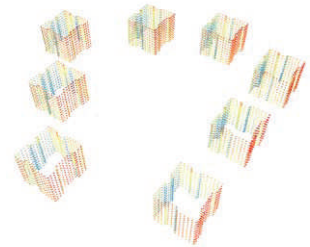
Analisi dell'irraggiamento solare per superfici verticali.



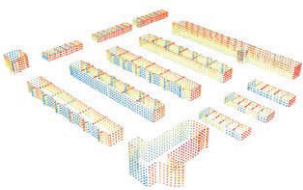
LN1



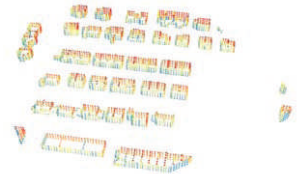
SD1



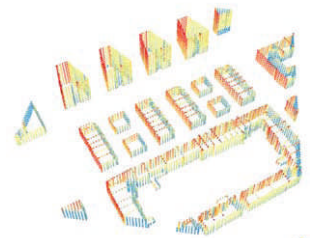
TW1



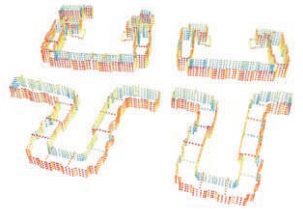
LN2



SD2



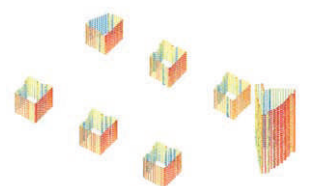
TW2



LN3



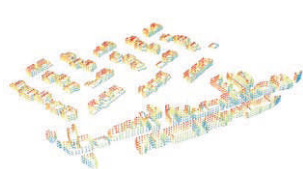
SD3



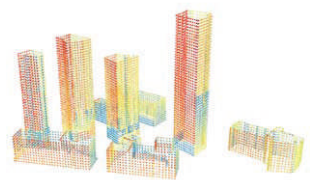
TW3



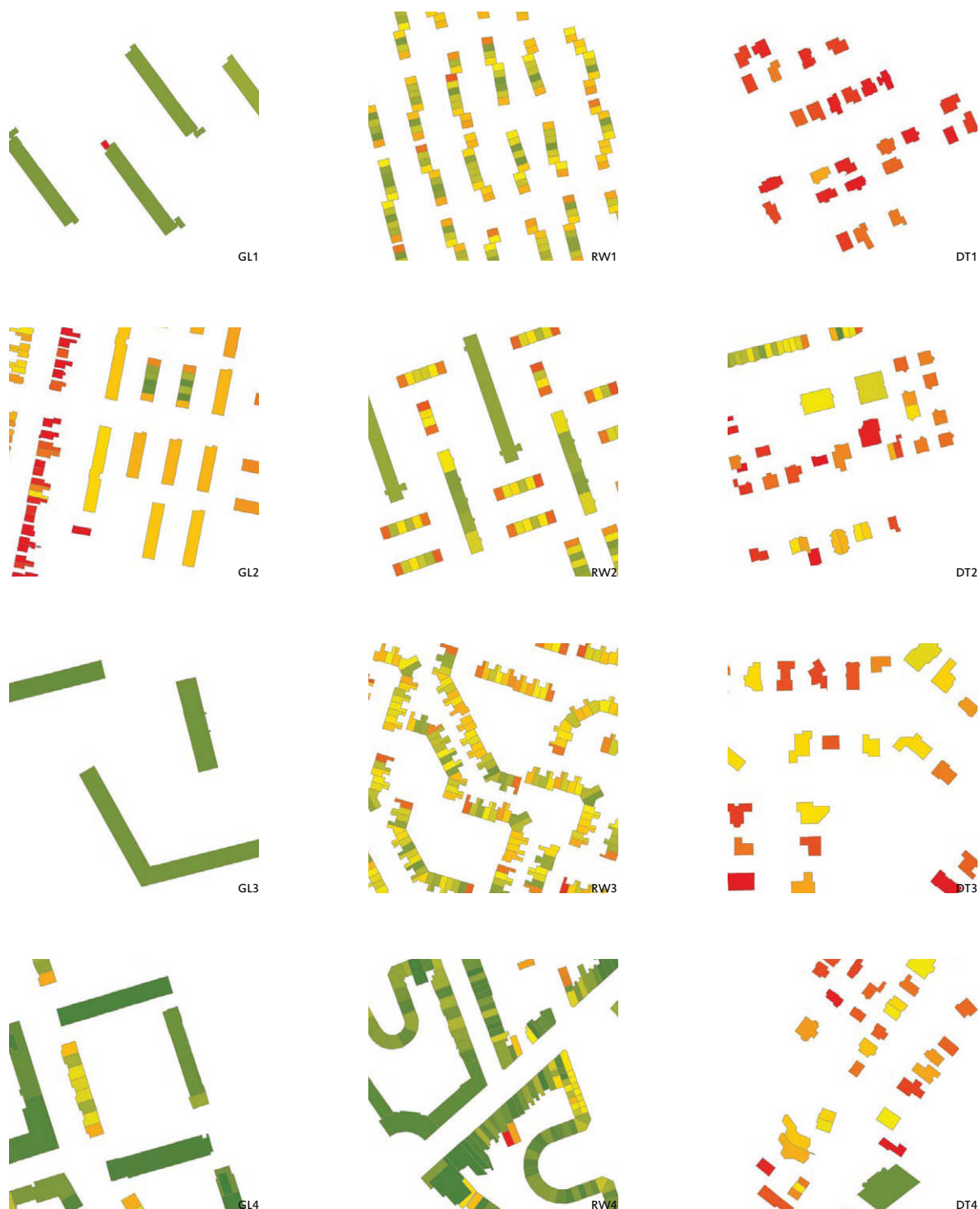
LN4



SD4

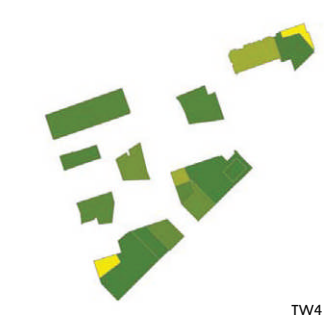
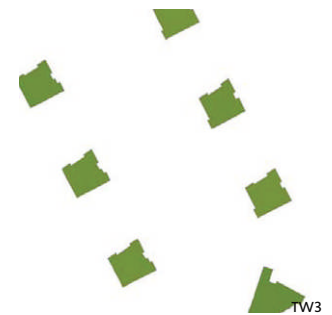
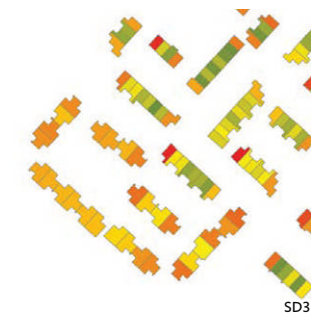
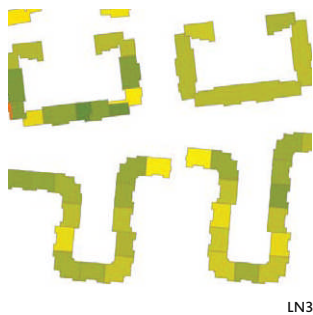
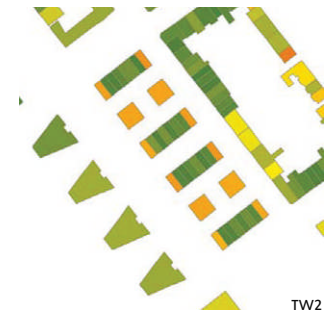
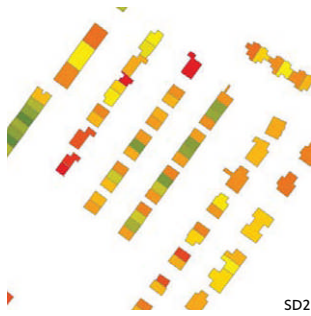
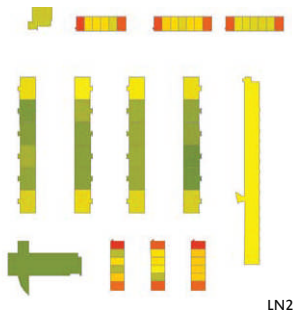
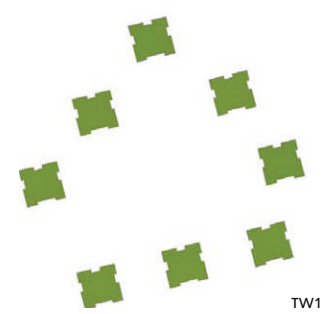
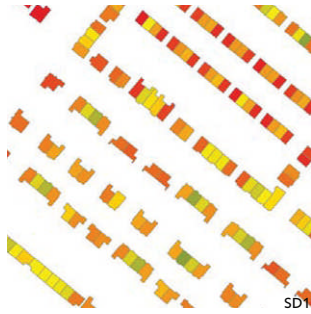
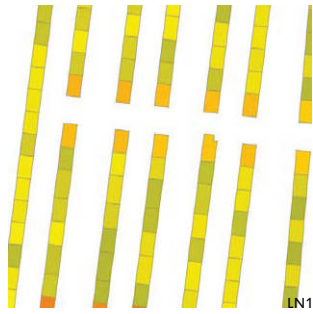


TW4



[T49] FABBISOGNO ENERGETICO

Matrice comparativa dei fabbisogni di energia per la climatizzazione invernale ed estiva.





PARTE III

Section III solar radiation. energy demand. discussion

Energy demand has been calculated for each building unit according to the ISO13790 standards. The consumption has been computed both for heating and cooling on a month temperatures base, assuming invariant values for the all the factors that are not influenced by the morphology of the urban texture. The energy for water heating has not been computed.

The solar radiation on vertical surfaces of the buildings has been simulated through the GIS integrated tool developed by the European Institute for Energy Research. The influence of urban texture on solar gains has been tested by comparing 3 different orientation of each sample [T52]. The results show lower levels of solar gains for hierarchical textures and not typologically uniform neighbourhoods. Moreover, the variation of solar gains is less affected by the mean buildings orientation if the typological uniformity and the seriality of the urban texture increase.

The final energy computation [T63][T72] suggests that the demand can vary up to a factor of 2.5x due only to morphological characteristics of urban textures. The differences in the prevailing housing types can correspond to a reduction of the 45% of energy demand between the worst performing configuration and the best one. The single family types present the highest levels of consumptions. The reduction of aggregation seriality can results in a decrease of 13% of the mean demand, while an increasing of the number of buildings types in the neighbourhood can correspond to a reduction of 5% of the mean energy demand.

ANALISI DELL'IRRAGGIAMENTO SOLARE

La stima dell'irraggiamento solare riveste particolare rilievo nell'analisi del comportamento energetico dell'edilizia in quanto le sue ricadute, in termini di guadagni energetici, sono direttamente influenzate dell'assetto morfologico dell'edilizia stessa e quindi controllabili in fase progettuale. In ambito urbano infatti l'irraggiamento solare dell'edilizia è funzione dell'angolo di esposizione delle facciate, della percentuale di occupazione del suolo e delle conseguenti distanze tra edifici che alterano le condizioni di ombreggiamento dell'aggregato.

Per la simulazione in ambiente GIS, a fronte di un potenziale di computazione simultaneo su numerosi oggetti grafici e database di notevoli dimensioni (quali quelli redatti per l'indagine sull'aggregato), esistono solo strumenti integrati (*tools*) per il calcolo dell'irraggiamento di superfici orizzontali¹, finalizzati all'analisi a scala urbano-territoriale.

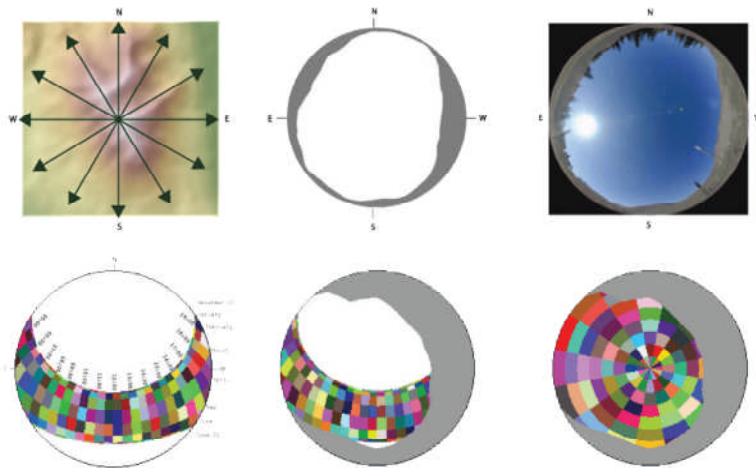
tool di simulazione
sviluppato da EIFER

Per andare in contro a tale potenziale, l'European Institute For Energy Research ha recentemente sviluppato un *tool* compatibile con applicativi ESRI ArcGIS, che consente la stima simultanea dell'irraggiamento solare incidente su piani verticali, permettendo quindi l'analisi di oggetti edilizi anche su scala aggregativo-urbana. Per quanto il *tool* non sia ancora commercializzato, è stato gentilmente messo a disposizione da EIFER per l'indagine qui presentata che costituisce una delle prime applicazioni del *tool* stesso a dati catastali reali.²

1 i.e. paralleli al suolo

2 I campioni di aggregato selezionati e le analisi condotte sono altresì servite per la verifica dei tempi di computazione del tool. I risultati relativi alle prestazioni di calcolo esulano dagli obiettivi di questa indagine e non vengono pertanto allegati al lavoro qui presentato. Per ulteriori specifiche si rimanda agli studi, non ancora pubblicati al momento di redazione di questo testo, dell'European Institute For Energy Research, proprietario di diritti relativi al tool utilizzato.

Il tool consente la quantificazione della radiazione solare diretta e diffusa incidente sulle superfici verticali³ dotate di diversi orientamenti (le facciate degli edifici), permettendo la restituzione delle reciproche influenze, in termini di ombreggiamento e guadagni solari, dei diversi assetti aggregativi.⁴



[T50] Esempificazione del processo di calcolo delle sunmaps e skymaps con relativi angoli di ostruzione utilizzati per il calcolo della radiazione solare diretta e diffusa - fonte ESRI ArcGIS v.9

assunti di calcolo
dell'irraggiamento solare

La stima dell'irraggiamento solare incidente sui campioni è stata pertanto computata annualmente, in ambiente ESRI ArcGIS v.9, per intervalli di calcolo di 14 giorni con una risoluzione di 2m. Gli intervalli di calcolo della posizione del sole invece, corrispondenti alla durata dei settori della *sunmap* (Hossain 2011), sono stati fissati pari a 1 ora.

Conformi con gli obiettivi d'indagine, per la stima dei fabbisogni energetici di ciascun edificio selezionato sono state applicate le seguenti specifiche di calcolo:

- sky size/resolution 200
- zenith division 8
- azimuth division 8
- diffuse model - uniform sky
- diffuse proportion 0.3
- transmittivity 0.5

³ Gli estremi delle facciate sezionate o coincidenti con i confini della maglia di selezione degli aggregati non sono computate nei calcoli di irraggiamento anche se compaiono nelle relative restituzioni grafiche planimetriche [T52].

⁴ Ulteriori specifiche metodologiche e di validazione circa l'algoritmo di calcolo integrato nel tool, sono riscontrabili in I.Hossain (2011), tesi non pubblicata al momento della stesura del presente testo. Per una trattazione completa circa le specifiche di calcolo si rimanda ai resoconti, di prossima pubblicazione, dell'European Institute For Energy Research.

[T45] che simulano una radiazione diffusa uniforme in tutte le direzioni. Per integrare nella computazione l'eventuale ombreggiamento di edifici contigui agli aggregati ma esterni all'area di campionamento, i Digital Elevation Models DEM⁵ utilizzate per il calcolo dell'ombreggiamento degli edifici. utilizzati nella simulazione sono stati individuati per aree quadrate di 500x500m concentriche alle maglie di selezione dei campioni di 200x200m, allargando quindi di 300m gli ambiti di influenza dell'edificato sugli aggregati.

Eventuali ombreggiamenti dovuti alla presenza di vegetazione non sono stati presi in considerazione e, data la totale assenza di rilievi montuosi o collinari nell'area urbana di Rotterdam e la contenuta pendenza dei dislivelli di suolo riscontrati nelle altezze assolute (s.l.m.) dei dati catastali campionati⁶, l'orografia della città non è stata computata nei calcoli di irraggiamento.⁷

5 Nella [T45] sono restituiti i DSM dei campioni a 200x200m che rappresentano una riduzione delle aree quadrate di 500x500m

6 fonte: uffici catastali Landmeten Rotterdam

7 Per ogni campione, le singole restituzioni vettoriali degli edifici sono state considerate 'appoggiate' al medesimo piano di suolo per la cui quota slm è stata assunta la misurazione minima riscontrabile tra gli edifici del campione.

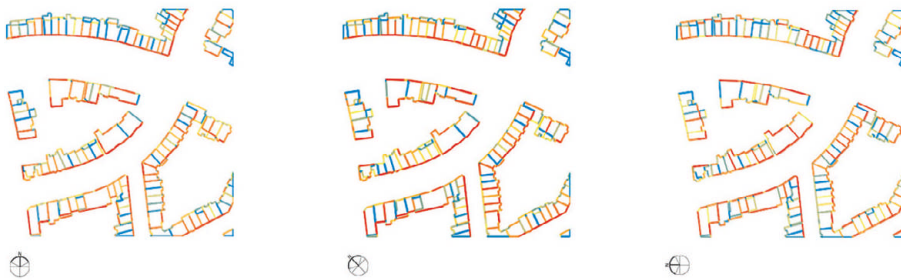
Incidenza dell'assetto aggregativo nell'irraggiamento solare

L'opportunità di applicare il nuovo tool sviluppato da EIFER al campione selezionato, ha consentito in oltre un'analisi dell'irraggiamento solare per differenti angoli di orientamento degli aggregati. Se infatti l'esposizione solare delle facciate di una aggregazione è funzione della struttura dell'impianto lottizzativo, i processi formativi di quest'ultimo, siano essi esito di una stratificazione storica oppure frutto di una comune intenzionalità progettuale, non sempre risultano finalizzati alla massimizzazione dei guadagni solari.

Si è pertanto deciso di analizzare l'irraggiamento solare delle facciate simulando per ciascun campione tre diversi angoli di orientamento,⁸ corrispondenti ad una rotazione degli aggregati pari a $+0^\circ$, $+45^\circ$ e $+90^\circ$, per un totale di 72 configurazioni risultanti, individuate per angolo medio di orientamento delle facciate α . L'analisi condotta rappresenta un approfondimento rispetto al complessivo calcolo dei fabbisogni energetici (cfr. cap.3.2), per i quali sono stati computati i guadagni per irraggiamento solare relativi alla sole configurazioni non ruotate.

simulazione dell'irraggiamento
solare per rotazione
degli aggregati campione

[T52]



[T51] Esempio di analisi dell'irraggiamento annuale delle facciate di un campione aggregativo per 3 angoli di rotazione.

L'indagine si è concentrata sul calcolo dell'irraggiamento medio di ciascun aggregato espresso in kWh/mq annui. Analogamente alle specifiche di calcolo utilizzate per la stima dei guadagni energetici, la simulazione è stata condotta per intervalli di calcolo di 14 giorni con una risoluzione di 3m. Le tavole [T52] restituiscono le analisi condotte sui 24 campioni e relative rotazioni.

⁸ La scelta del numero di rotazioni e della consistenza delle stesse è dovuta al compromesso tra risorse di computazione necessarie e varietà degli orientamenti risultanti. L'indagine è infatti finalizzata al computo dell'irraggiamento solare medio per mq per il quale le tre rotazioni proposte garantiscono un ampio spettro di configurazioni, specialmente per tipologie edilizie non compatte (cfr. ad es. le configurazioni 'a stecca' dei tipi a ballatoio).

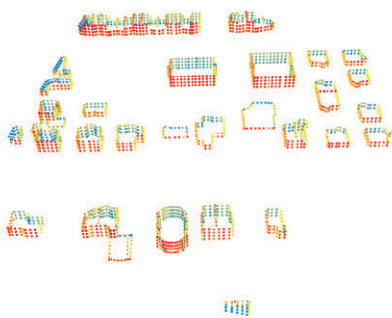
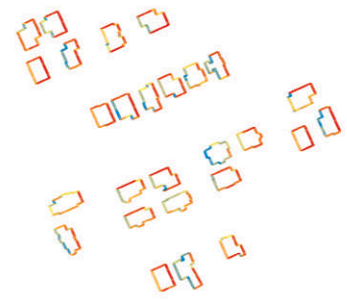
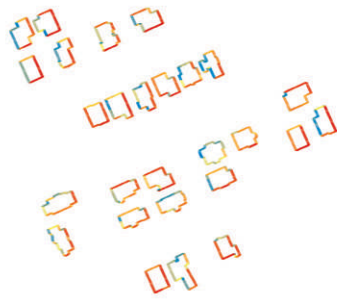
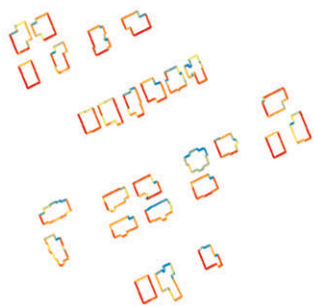
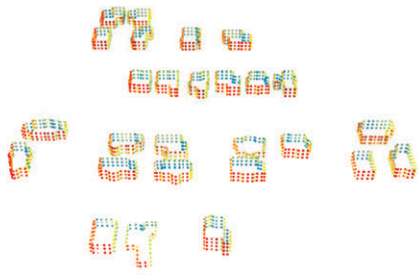
angolo medio
di orientamento
delle facciate [α]

L'angolo α , rappresentativo dell'orientamento medio delle facciate presenti nel singolo campione, è calcolato in ambiente GIS sui dati planimetrici catastali, come media per aggregato dell'angolo prevalente o 'dominante' (*main angle*) di ciascun poligono vettoriale, ovvero di ciascuna parcella edilizia. Tale inclinazione è misurata come angolo medio rispetto al vero nord dell'insieme di segmenti di maggior estensioni appartenenti al poligono considerato,⁹ ottenendo quindi un indice parametrico, facilmente verificabile e ripetibile, rappresentativo dell'orientamento medio dell'aggregato. Per praticità, l'orientamento è restituito in gradi decimali, con incremento in senso antiorario e angolo 0° corrispondente all'est geografico (vero nord -90°).

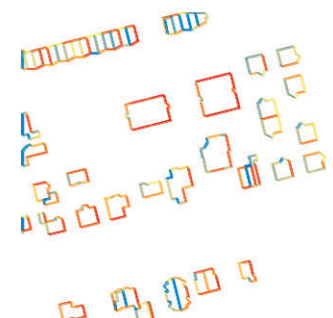
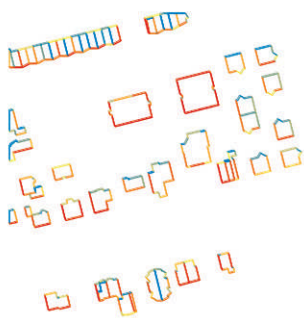
È interessante notare come per le tipologie edilizie *a ballatoio* e *in linea*, tale angolo corrisponda all'inclinazione delle facciate che, per le logiche distributive sintetizzate nei rispettivi tipi, ospitano gli affacci principali; mentre per l'edilizia *a schiera* tale corrispondenza venga a mancare. Essendo infatti calcolato rispetto ai segmenti di maggior estensione dei poligoni catastali, l'angolo dominante afferrisce in questo caso alle pareti d'ambito cieche predisposte per l'eventuale aggregazione a schiera e prive quindi di affacci principali. Per i rimanenti tipi edilizi *a torre*, *a casa binata* e *villa isolata*, l'ubicazione delle bucaure risulta invece indipendente dall'orientamento dell'edilizia e dell'aggregato, essendo questa distribuita su tutta la superficie d'involucro esterno. Di conseguenza per la sola tipologia a schiera l'angolo [α] è stato calcolato con una variazione di 90° rispetto all'angolo dominante. In questo modo il parametro [α] diventa rappresentativo non solo dell'assetto morfologico prevalente nei campioni ma anche dell'orientamento medio degli affacci di una aggregazione. In tale accezione è qui applicato per la rapida individuazione dei campioni.

⁹ Per ulteriori specifiche cfr. ad es. ESRI 2011 ArcGIS Resource Center Desktop 10 (resources.arcgis.com)

DT1



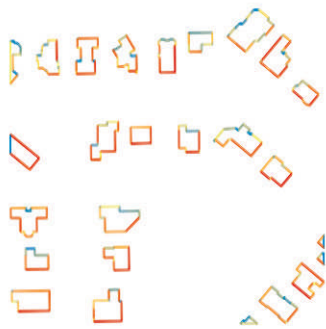
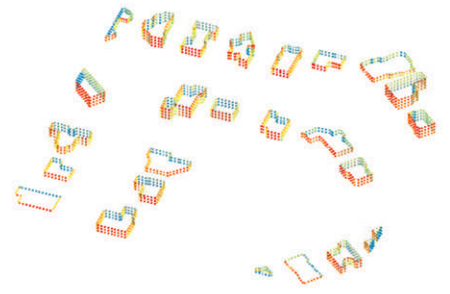
DT2



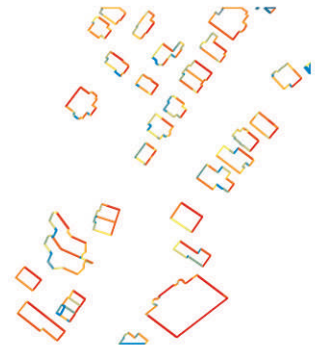
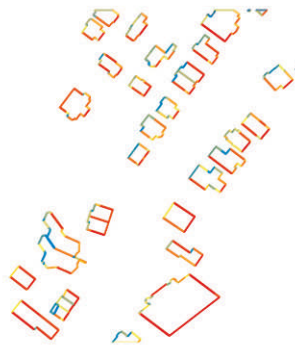
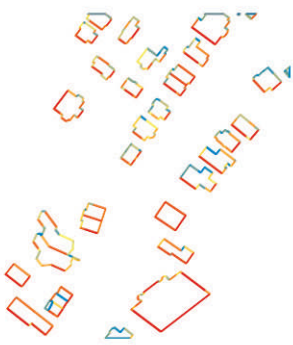
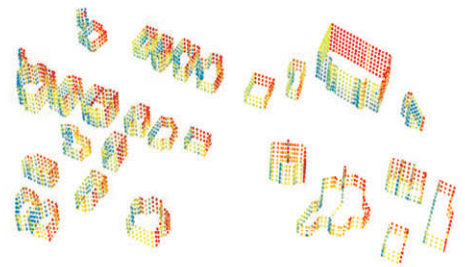
[T52] Analisi Irraggiamento Pareti Verticali

Stima dell'irraggiamento solare annuo delle pareti verticali al variare dell'orientamento degli aggregati campione
Calcolo condotto tramite tool integrato in ambiente GIS sviluppato da EIFER.

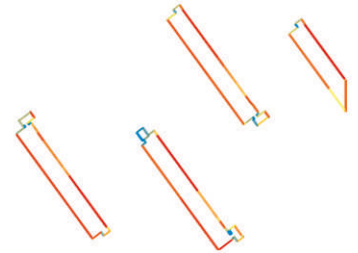
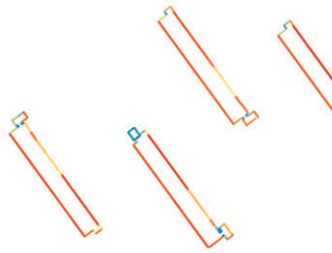
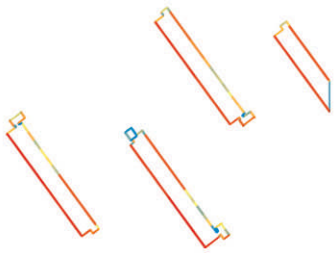
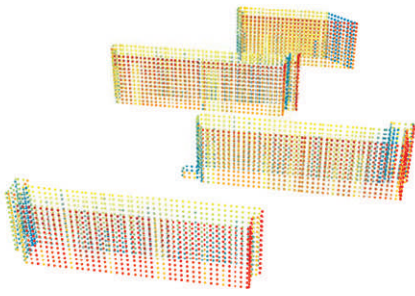
DT3



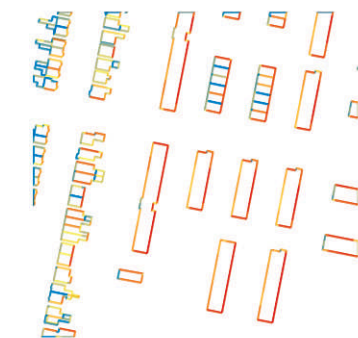
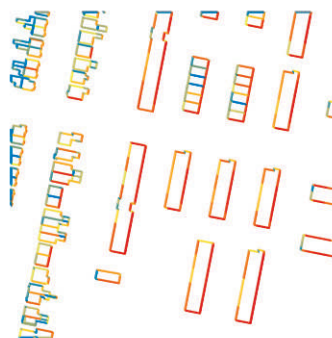
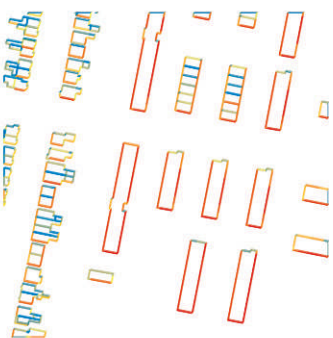
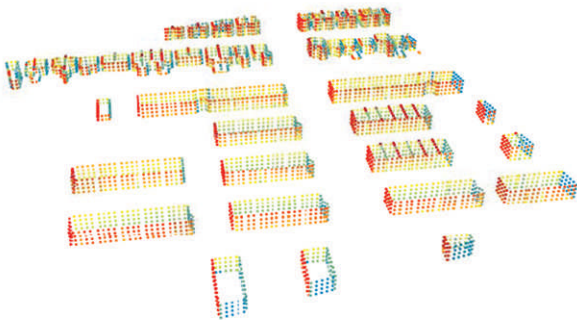
DT4



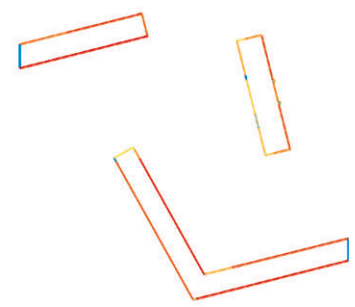
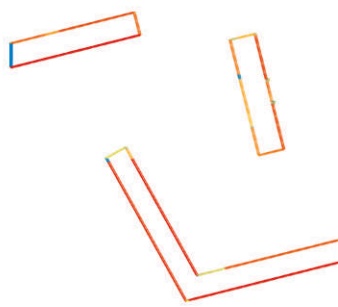
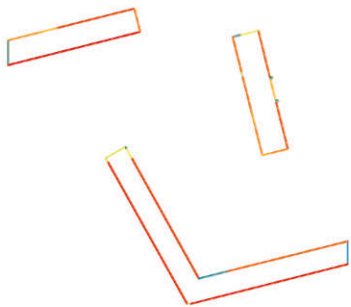
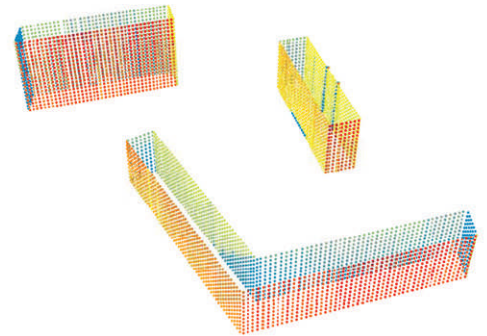
GL1



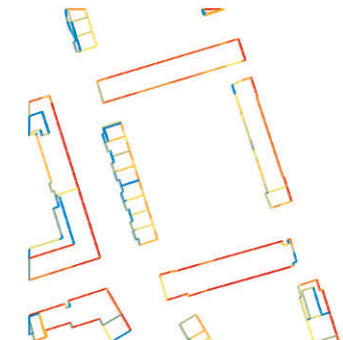
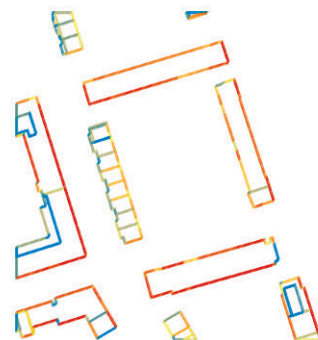
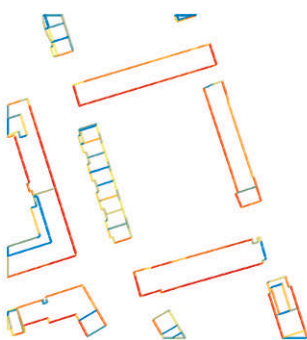
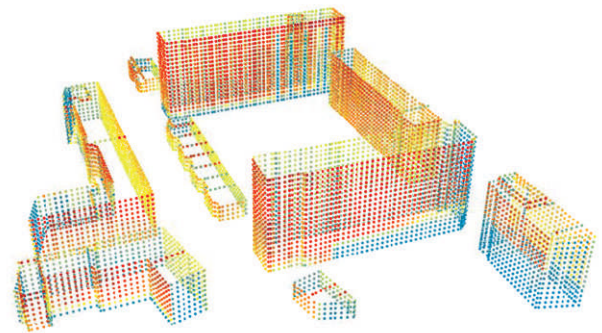
GL2



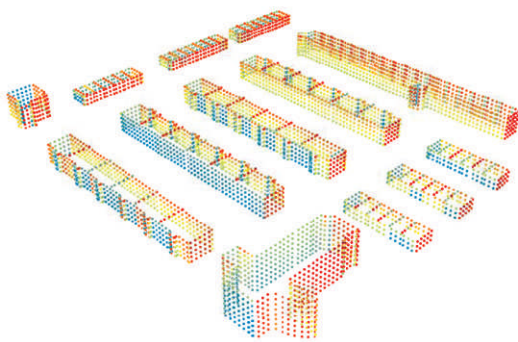
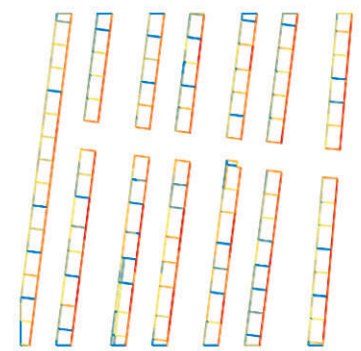
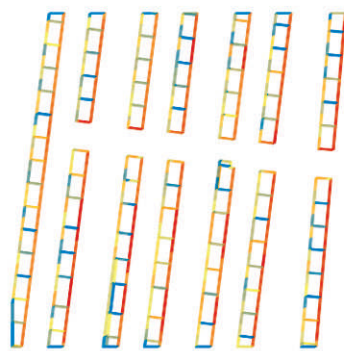
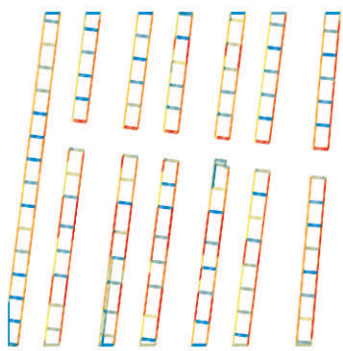
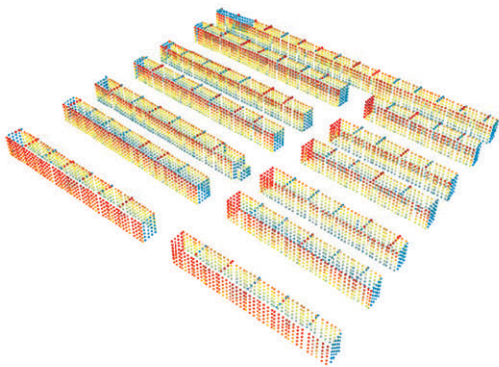
GL3



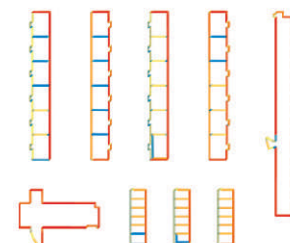
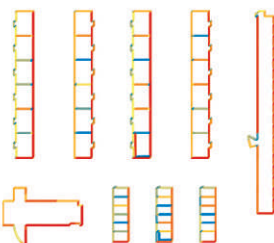
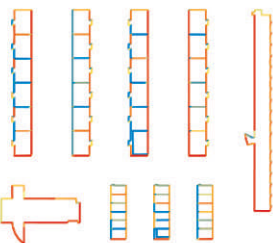
GL4



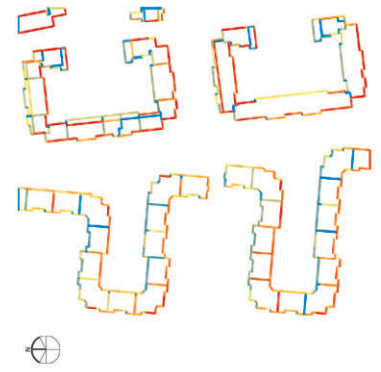
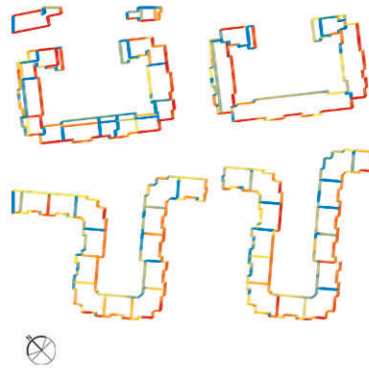
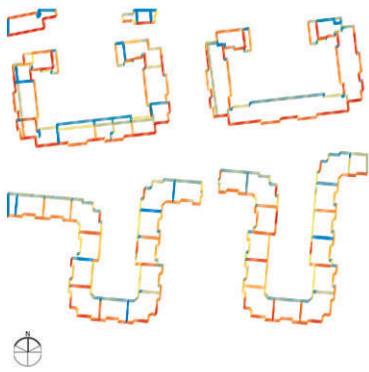
LN1



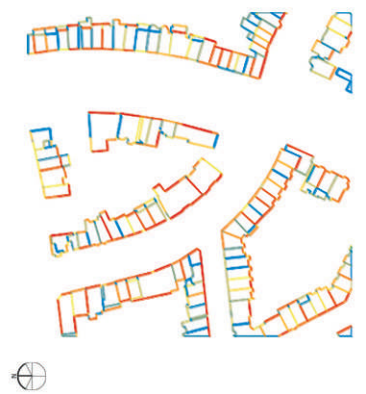
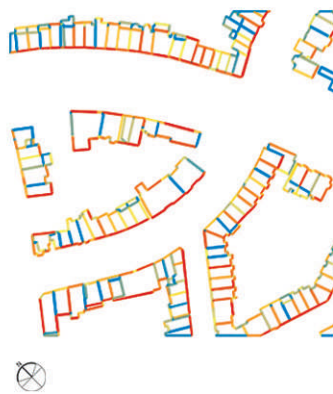
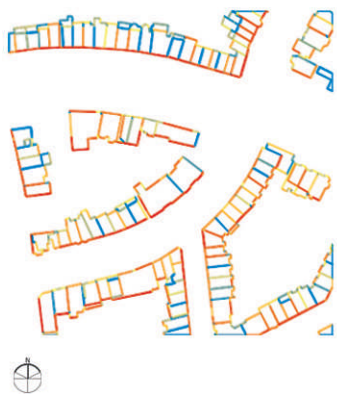
LN2



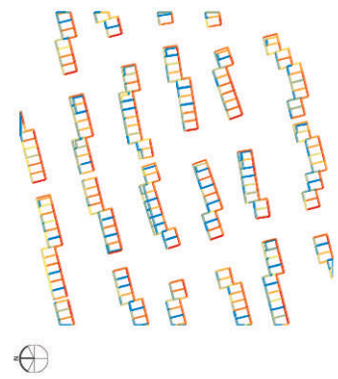
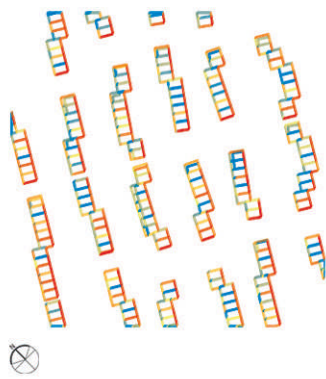
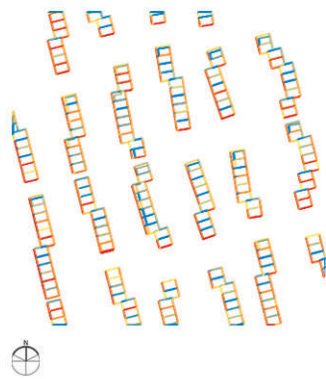
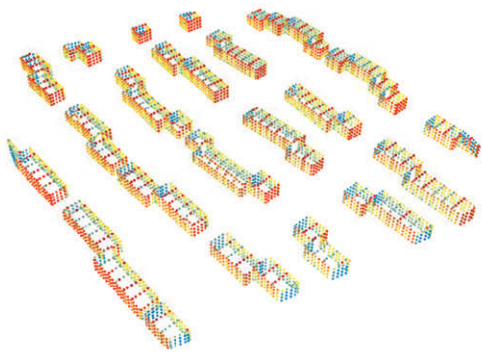
LN3



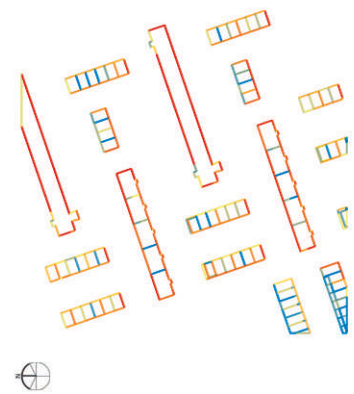
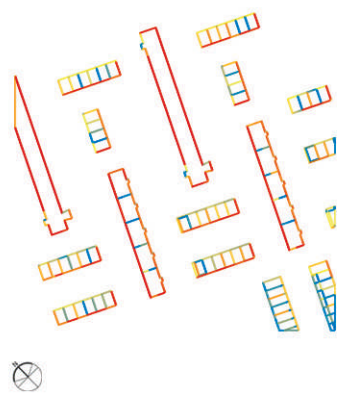
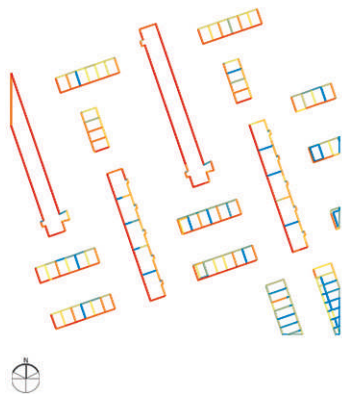
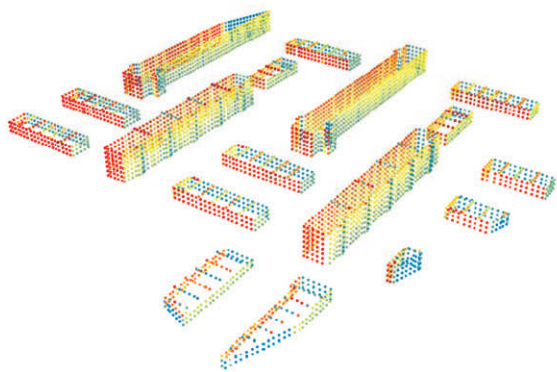
LN4



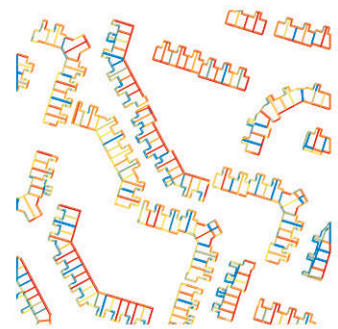
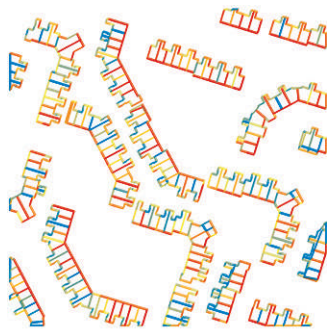
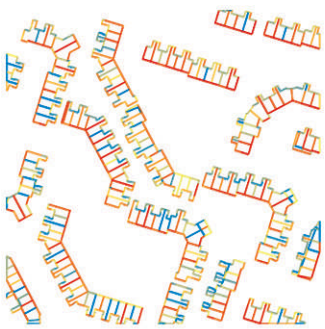
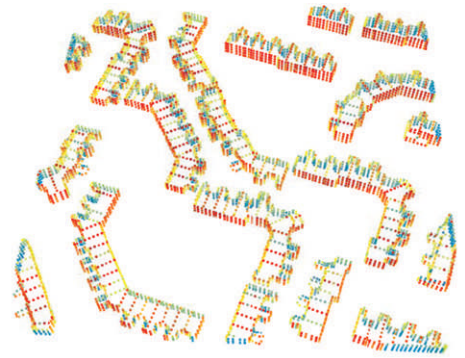
RW1



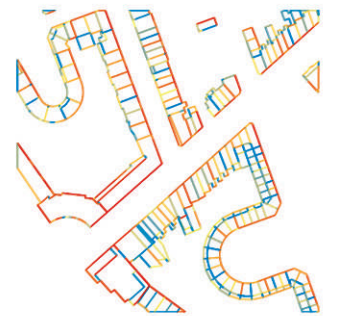
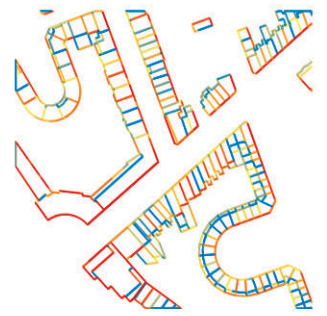
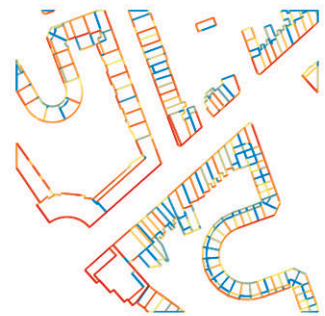
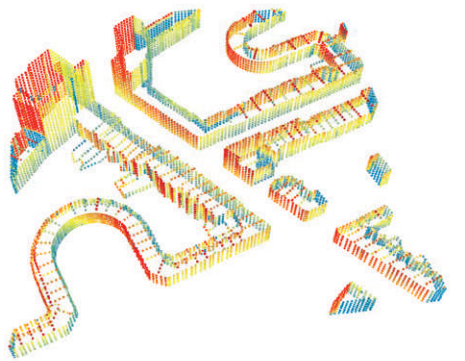
RW2



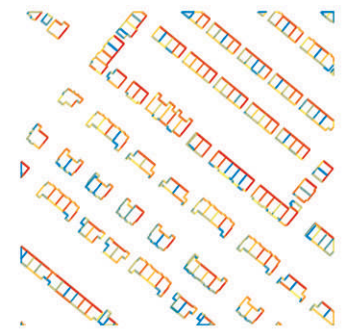
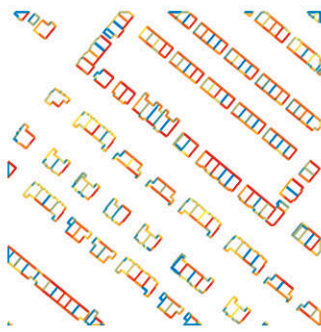
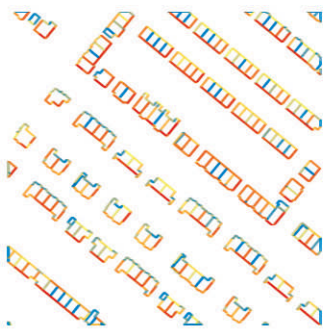
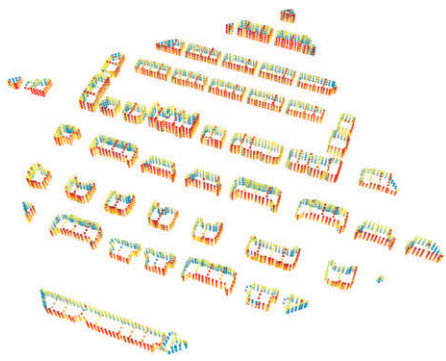
RW3



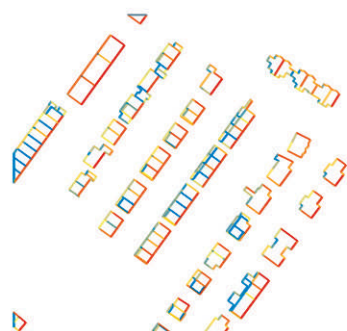
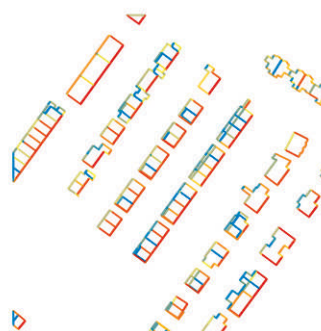
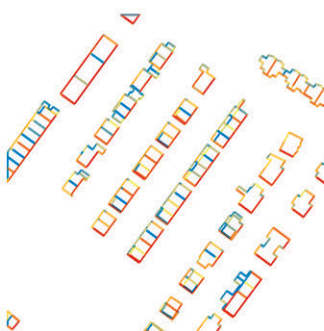
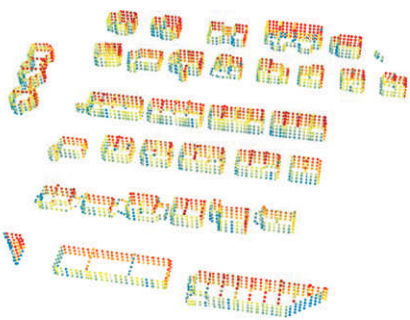
RW4



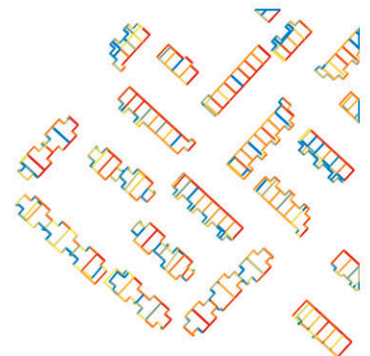
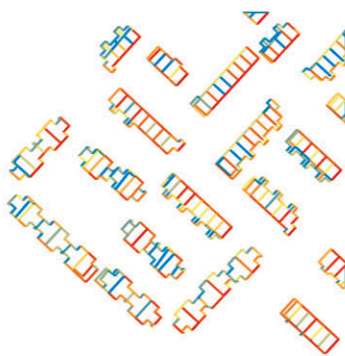
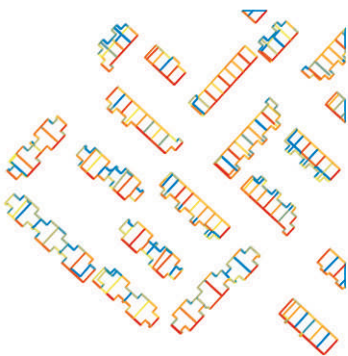
SD1



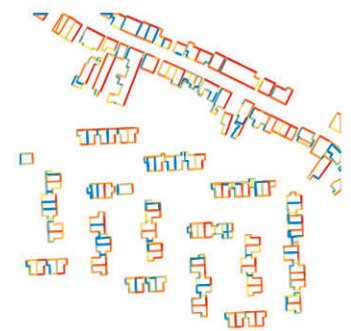
SD2



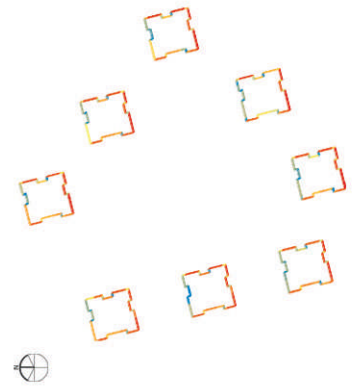
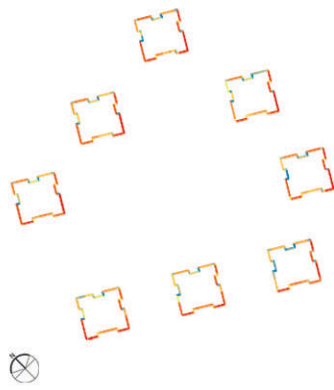
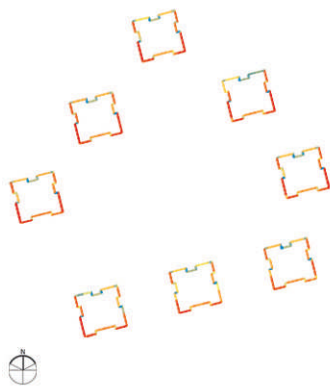
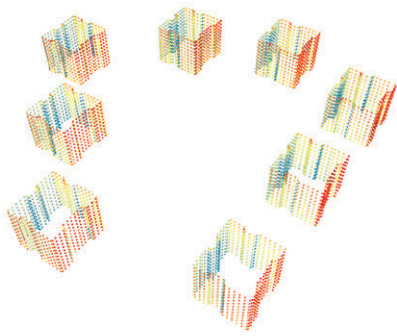
SD3



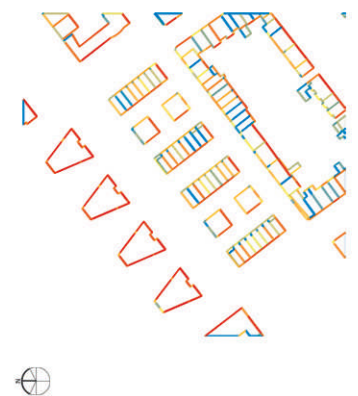
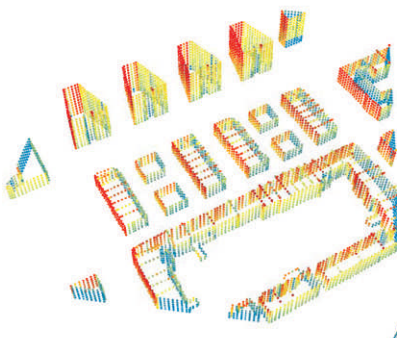
SD4



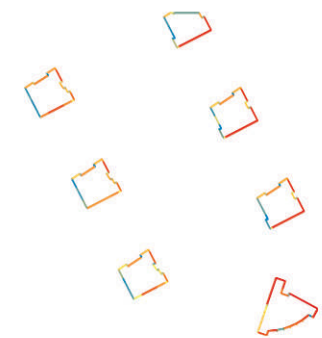
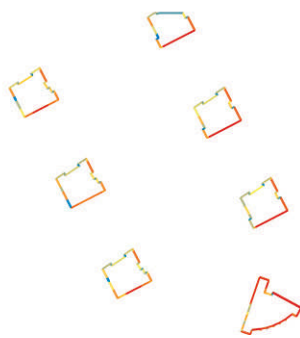
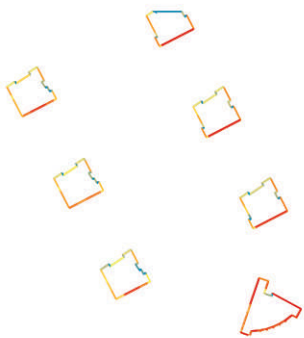
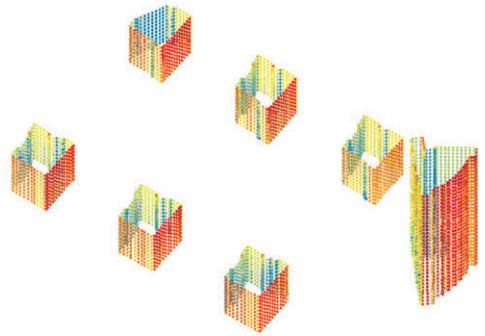
TW1



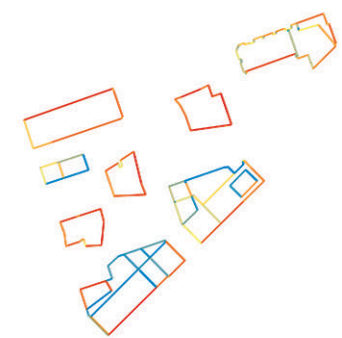
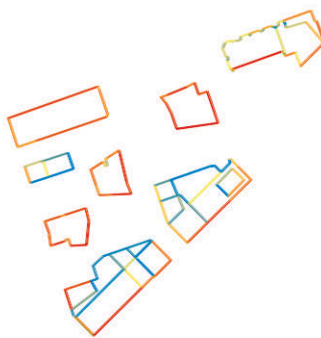
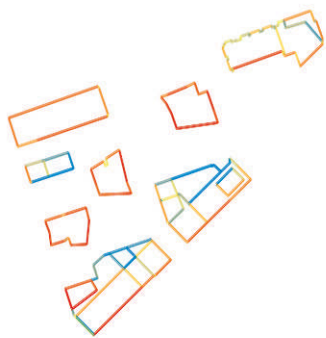
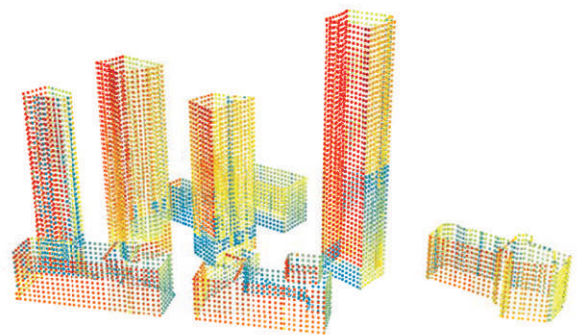
TW2

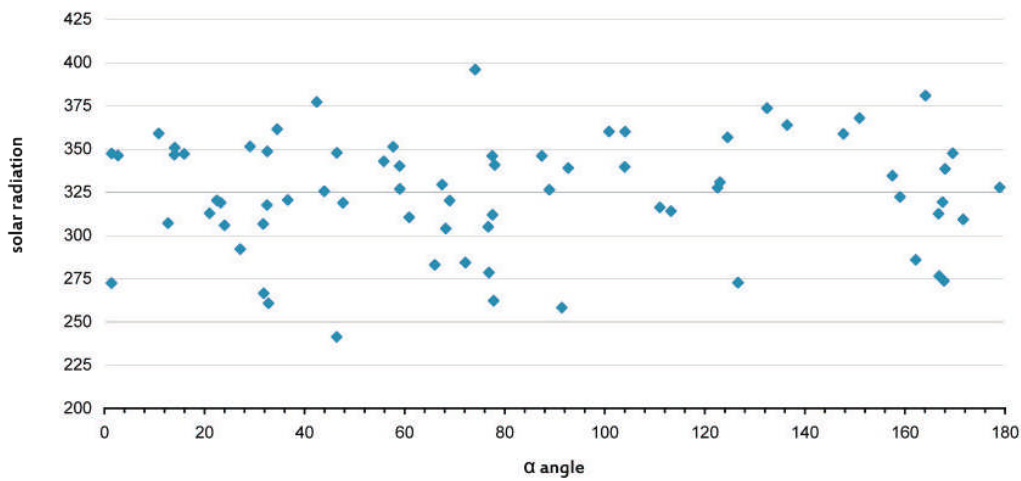


TW3

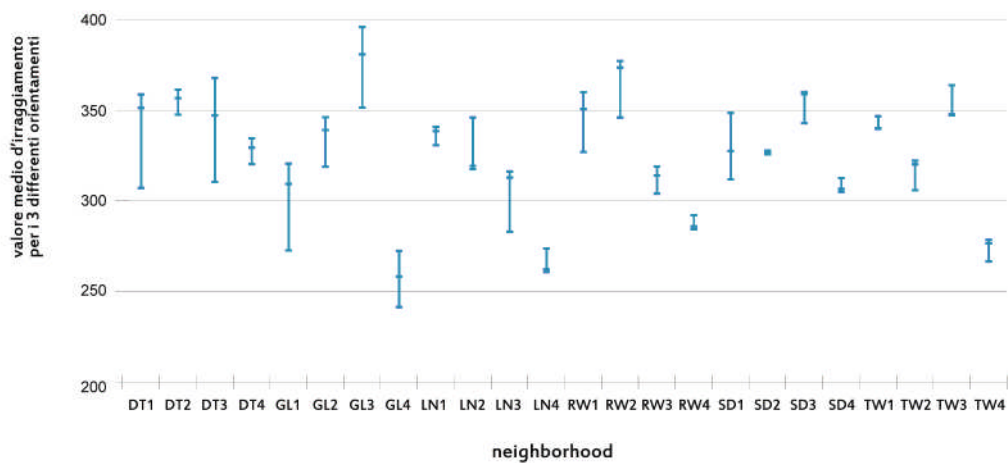


TW4

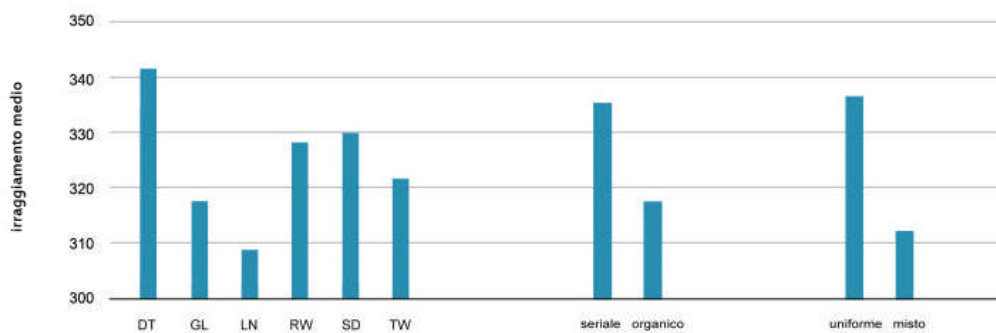




[T53] Irraggiamento e angolo medio delle facciate per aggregati ruotati



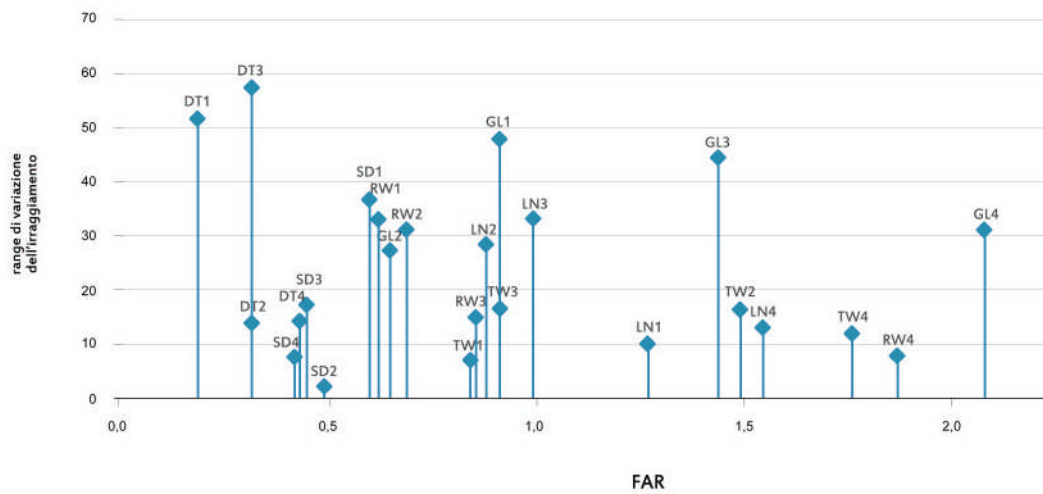
[T54] Irraggiamento medio annuale per 3 angoli di orientamento dei campioni



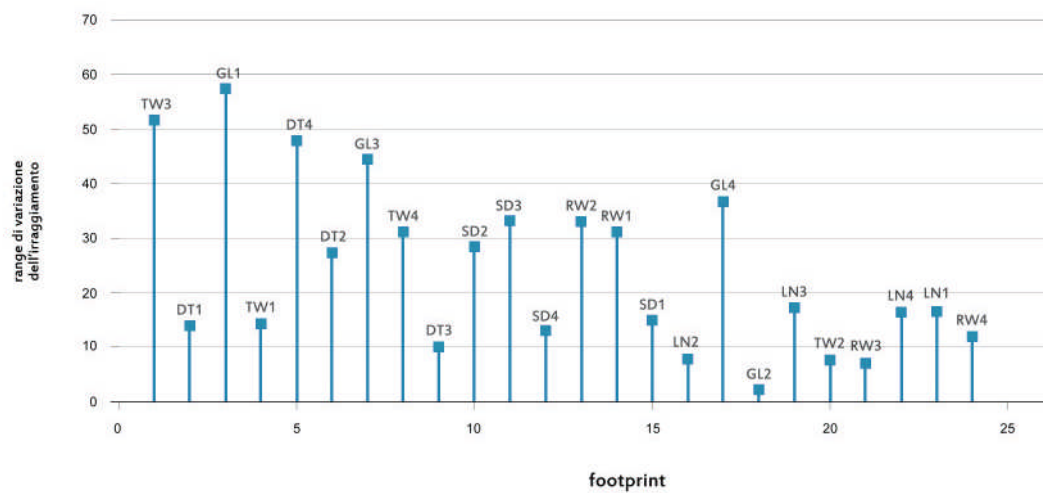
[T55] Irraggiamento medio delle rotazioni per categorie aggregative

Irraggiamento e Aggregato

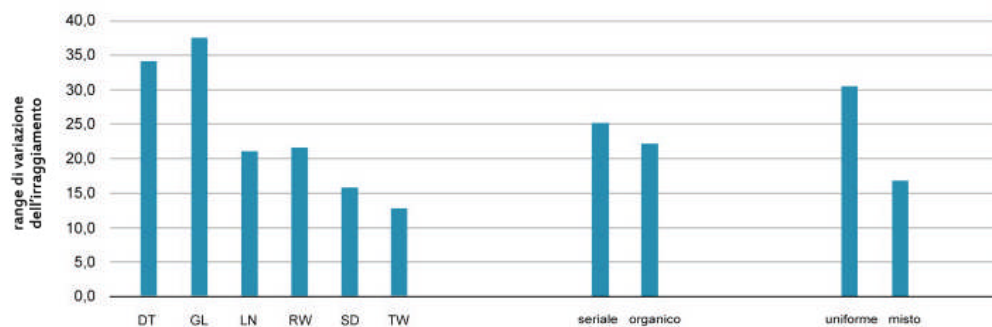
Stima dell'irraggiamento solare annuo delle pareti verticali al variare dell'orientamento degli aggregati campione.



[T56] Variazione dell'irrigamento tra le diverse rotazioni e densità edilizia dei campi



[T57] Variazione dell'irrigamento tra le diverse rotazioni e indice di occupazione del suolo



[T58] Variazione dell'irrigamento tra le diverse rotazioni per categorie aggregative

Lettura dei risultati

I guadagni solari annui dovuti alle diverse rotazioni sono restituiti nel grafico [T54] dove è possibile notare i diversi intervalli di variazione per aggregato edilizio. Ad una prima analisi dei guadagni energetici medi risulta interessante notare che la maggior parte dei campioni (15 su 24) presenti più alti livelli di irraggiamento per gli assetti morfologici non ruotati, corrispondenti alle configurazioni esistenti degli aggregati edilizi. Tale osservazione suggerisce che l'ottimizzazione dell'orientamento solare, anche quando non assunta esplicitamente come obiettivo progettuale, risulti essere parametro guida della maggior parte degli interventi residenziali analizzati.

A questa considerazione però non si accompagna una correlazione diretta tra orientamento medio delle facciate e guadagno solare. Confrontando infatti la radiazione solare annua di tutte le 72 rotazioni con l'angolo $[\alpha]$, non è possibile riscontrare un pattern di distribuzione dell'irraggiamento all'aumentare o al diminuire dell'angolo medio degli affacci principali. Il grafico [T53] suggerisce quindi che la variazione dei guadagni sia da ricercare in altri fattori caratterizzanti l'aggregazione .

[T53]

Aggregando i risultati di irraggiamento per categorie aggregative dei campioni è possibile ottenere un quadro più completo dei guadagni energetici. La radiazione media delle tre rotazioni infatti risulta influenzata dal variare del tipo edilizio prevalente nell'aggregazione, con una diminuzione del 10% ca. di guadagno tra campioni di *ville isolate* e gli aggregati di edilizia *in linea*, che rappresentano rispettivamente i picchi di maggior e minor irraggiamento solare medio. Analogamente, al diminuire dell'uniformità tipologica e della serialità degli aggregati corrisponde una riduzione della radiazione solare media sulle facciate.

aggregazione edilizia
e guadagno solare medio
[T55]

Alla tendente diminuzione della radiazione solare media corrisponde anche una riduzione della variazione d'irraggiamento osservata tra le tre diverse rotazioni. All'aumentare della varietà di tipi e dell'articolazione di un aggregato corrisponde infatti una minor differenza tra i 3 valori d'irraggiamento ottenuti. Una lettura dei risultati per tipi edilizi prevalenti suggerisce invece una maggiore incidenza dell'orientamento solare sull'irraggiamento medio delle facciate. Aggregati di edifici non compatti come case *a ballatoio* o *ville isolate* presentano maggior variazione dei guadagni solari, mentre aggregati di edilizia *a torre*, pur non essendo connotati da elevati livelli di irraggiamento, si caratterizzano per la massima indifferenza all'orientamento dell'aggregato.

orientamento dell'aggregazione
e variazione dell'irraggiamento
[T58]

[T56]
[T57]

Tali considerazioni trovano conferma anche nel confronto tra la variazione di radiazione solare e la densità di edificazione o di occupazione del suolo degli aggregati: all'aumentare infatti degli indici di densificazione [FAR] e di superficie edificata [S_{foot}] si assiste ad una tendenziale diminuzione della differenza di guadagni solari dovuti alla rotazione dei campioni.

L'applicazione del tool di EIFER ha messo in luce quindi come, in ambito urbano, l'assetto aggregativo sembra maggiormente incidente sui guadagni solari delle pareti verticali che non l'ottimizzazione dell'orientamento dei singoli affacci. Ad una progressiva articolazione dell'impianto lottizzativo e della varietà tipologica corrisponde una riduzione della radiazione solare media, in funzione dei tipi edilizi maggiormente diffusi nell'aggregazione. Al tempo stesso l'incremento di densificazione urbana si associa ad una progressiva minor incidenza dell'orientamento dell'aggregato che, a fronte di un guadagno solare più contenuto dei singoli manufatti, risulta meno affetto dalla variazione dell'angolo di esposizione delle facciate.

FABBISOGNI ENERGETICI PER LA CLIMATIZZAZIONE

Modello di calcolo assunti e invarianti

Il modello di calcolo qui presentato ha come obiettivo la stima dei fabbisogni energetici necessari per garantire il comfort interno dell'edilizia residenziale climatizzata. Tale procedimento assume come invarianti di calcolo tutte le variabili non dipendenti dall'assetto morfologico-aggregativo dell'edilizia. Vengono cioè considerati costanti tutti gli indici dipendenti dai sistemi costruttivi e impiantistici, mirando a mettere in evidenza l'incidenza della configurazione aggregativa dell'edilizia sul comportamento energetico del singolo manufatto. Analogamente, il modello non computa il fabbisogno energetico per la produzione di acqua calda sanitaria, così come eventuali perdite o recuperi dei sistemi impiantistici. Ad esclusione delle singole invarianti di calcolo, il procedimento è derivato dal modello di calcolo codificato a livello internazionale nella ISO13790 e recepito in ambito olandese nella sua versione più aggiornata nella NEN.EN.ISO13790:2008

definizione di unità edilizia climatizzata

Definizione di zona termica

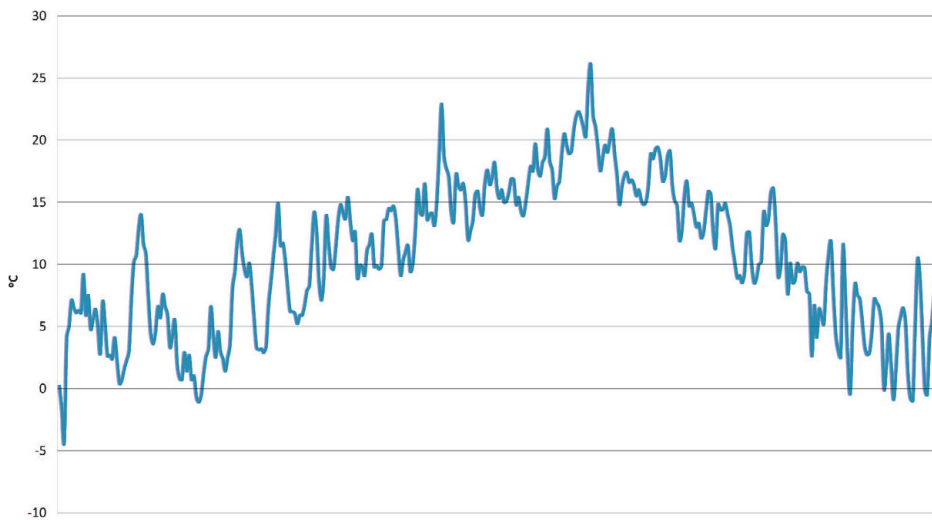
Il fabbisogno energetico è stato calcolato per unità edilizia identificata dal perimetro catastale e assunta come definizione del limite della zona termica (*thermal zone*) di calcolo. I confini dell'ambiente soggetto a riscaldamento e raffrescamento vengono quindi a corrispondere con i volumi edilizi che distinguono le singole unità catastali dall'ambiente esterno o da eventuali edifici confinanti. All'interno di tale ambito non sono state considerate ulteriori partizioni anche in presenza di distinte unità residenziali, come nel caso di tipologie edilizie plurifamiliari, coerentemente con il modello di analisi morfologica adottato. Si assume quindi che la temperatura di comfort interno di tutti gli ambienti sia uniforme.

Limiti di esercizio assunti

La temperatura di comfort interno degli ambienti climatizzati è assunta pari a 19°C per la stagione di riscaldamento e 26°C per la stagione estiva.

Il fabbisogno energetico annuale per il raffrescamento ed il riscaldamento è calcolato a regime stazionario come sommatoria del fabbisogno energetico mensile. Il funzionamento degli impianti di climatizzazione invernale ed estiva è assunto come costante nel tempo, considerando la durata giornaliera di accensione dell'impianto pari a 24 ore.

temperature
di comfort interno



[T59] Temperature medie giornaliere registrate a Rotterdam nel 2009. fonte KNMI Royal Netherlands Meteorological Institute.

La città di Rotterdam è contraddistinto da un clima marittimo che si caratterizza per estati fresche e inverni più temperati rispetto alle zone non costiere dei Paesi Bassi. Tramite le basi dati del software Meteonorm di Meteotest v.5.1 sono stati computati i gradi ora necessari a garantire il comfort interno degli ambienti residenziali. I dati sono restituiti mensilmente nella tabella [T60], mentre il grafico [T59] descrive l'andamento delle temperature medie giornaliere registrate a Rotterdam nel 2009.

dati climatici
e gradi-ora

Stagione riscaldamento

Date le caratteristiche climatiche dell'ambito urbano, i limiti di esercizio stagionali degli impianti di riscaldamento, coincidenti con il periodo di funzionamento dell'impianto stesso, sono estesi a tutto l'anno solare, essendo riscontrabili in ogni mese livelli di temperatura al di sotto della soglia di comfort interno, fissata a 19°C.

Month	CDH	HDH
01	0	10541.1
02	0	9103.7
03	0	9180.8
04	0	7299.5
05	6.8	4964.8
06	27.4	3139.9
07	115.6	1970.1
08	196.1	1512.4
09	24.0	2777.7
10	0	5151.1
11	0	8119.0
12	0	10158.8
TOT	369.9	73918.9

[T60] Gradi-ora calcolati nell'ambito urbano di Rotterdam per l'arco temporale annuale relativi alla stagione di raffrescamento (CDH) e riscaldamento (HDH); fonte Meteonorm v.5.1

Stagione di raffrescamento

La stagione di raffrescamento, definita come il periodo di funzionamento dell'impianto per la climatizzazione estiva, è calcolata per il periodo compreso da maggio a settembre corrispondente ai mesi in cui si registrano temperature medie giornaliere superiori a 26°C.

Fabbisogno energetico per il riscaldamento

Nel calcolo a regime stazionario codificato nella norma ISO13790, il fabbisogno energetico mensile per il riscaldamento è approssimabile alla differenza tra le perdite e i guadagni energetici che intercorrono tra edificio, ambiente circostante e sorgenti interne.

modello di calcolo
per la stagione
di riscaldamento

$$Q_H = Q_L - \eta_H \cdot Q_G$$

La quantità di energia per il riscaldamento di ogni unità edilizia (Q_H) è stata calcolata come differenza tra le perdite energetiche (Q_L), dovute alla ventilazione degli ambienti o alla trasmissione di calore attraverso l'involucro dell'edificio, e gli apporti di energia (Q_G) causati dall'irraggiamento solare o da sorgenti interne agli ambienti stessi. Analogamente alla procedura indicata dalla norma, anche nel modello qui presentato tale equilibrio energetico viene corretto tramite la stima di un fattore di utilizzazione η_H che simula l'incidenza comportamento dell'utenza.

Fabbisogno energetico per il raffrescamento

Il fabbisogno energetico mensile per il raffrescamento calcolato per ogni unità edilizia (Q_C) è definito come il bilancio tra i guadagni energetici dovuti agli apporti interni e alla radiazione solare (Q_{GC}) e le perdite di energia di energia scambiata per trasmissione e ventilazione (Q_{LC}).

$$Q_C = Q_G - \eta_C \cdot (Q_L - Q_{SO})$$

Rispetto alla stima d'esercizio invernale, le perdite per trasmissione e ventilazione (Q_L) vengono calcolate al netto dell'energia assorbita dalle strutture opache esterne per effetto della radiazione solare estiva (Q_{SO}). Se infatti le condizioni climatiche di Rotterdam rendono trascurabili gli apporti solari tramite pareti opache nella stagione invernale, la loro incidenza diventa più significativa durante la climatizzazione estiva e vengono per questo motivo inserite nel modello di calcolo.

Il coefficiente di utilizzo η_C , calcolato per l'intero periodo di raffrescamento, simula l'incidenza comportamento dell'utenza.

Sia per la stagione di riscaldamento invernale che per il raffrescamento estivo, il modello di calcolo non prende in considerazione eventuali apporti dovuti alla presenza di collettori solari, come serre o verande contigue agli ambienti climatizzati, in quanto la diffusione di tali strutture o sistemi risulta trascurabile nel parco edilizio selezionato.

I bilanci energetici tra perdite (Q_L) e guadagni (Q_G) intercorsi tra ambiente climatizzato e ambiente esterno sono quindi esplicitati rispettivamente come:

$$Q_L = Q_T + Q_V$$

$$Q_G = Q_I + Q_S$$

dove:

Q_T rappresenta l'energia mensile scambiata per trasmissione attraverso l'involucro edilizio tra l'ambiente climatizzato e l'ambiente circostante;

Q_V è la quantità di energia dispersa per ventilazione tra l'ambiente climatizzato e l'ambiente esterno;

Q_I rappresenta l'apporto termico interno all'ambiente climatizzato dovuto all'attività dell'utenza e alle apparecchiature elettriche presenti;

Q_S è il guadagno termico dovuto alla radiazione solare incidente sulle superfici trasparenti dell'involucro edilizio.

modello di calcolo
per la stagione
di raffrescamento

apporti e perdite

Energia scambiata per trasmissione

La quantità di energia mensile (Q_T) scambiata per trasmissione tra l'ambiente a temperatura controllata e l'ambiente circostante è stimata in funzione della dispersione dell'involucro, della differenza di temperatura tra ambiente esterno e interno, e del tempo di funzionamento degli impianti di climatizzazione.

$$Q_T = \sum (A_k \cdot U_k) \cdot \Delta T \cdot t$$

Il livello di definizione assunto per il calcolo del tempo di funzionamento dell'impianto (t) e della differenza di temperatura tra gli ambienti interno ed esterno (ΔT) è il grado-ora. In particolare, la differenza termica (ΔT) è calcolata come differenza tra le temperature di comfort interno (19°C invernali e 26°C estivi) ed il valore orario di temperatura esterna dell'ambito urbano.¹

Il coefficiente di dispersione termica per trasmissione ($\sum (A_k \cdot U_k)$) rappresenta la quantità di calore trasmesso dalle strutture opache e trasparenti che separano l'ambiente climatizzato dall'ambiente esterno ed è calcolato come sommatoria, per tutti gli elementi k -esimi costituenti l'involucro disperdente, del prodotto tra superficie di estensione del componente e la trasmittanza termica (U_k) dello stesso. Le perdite per trasmissione con il suolo sono state trascurate dalla computazione.

valori invarianti
di trasmittanza

Nella simulazione proposta, i diversi valori di trasmittanza termica U , usualmente dipendenti da materiali e tecniche costruttive di ciascun edificio, sono stati qui considerati invarianti per tutte le unità edilizie campionate. In particolare, sono stati assunti, rispettivamente per elementi opachi e trasparenti, i valori

$$U_o = 1.15 \quad \text{e} \quad U_t = 2.8$$

L'estensione superficiale dei diversi elementi dell'involucro (A_k) è stata stimata come percentuale di bucatura media per tipologia edilizia, non essendo possibile, vista la mole del campione selezionato, condurre il rilievo diretto di tutte le superfici opache/trasparenti oggetto d'analisi.

coefficiente di bucatura
e logica di affaccio

Nell'edilizia residenziale più che per altre destinazioni d'uso, la logica degli affacci e la relativa estensione potenziale è infatti funzione dell'assetto distributivo interno, il quale trova sintesi² nella definizione di *tipo edilizio* assunto per l'indagine. È stato pertanto possibile associare una stima media dell'estensione delle bucatore a famiglie di manufatti caratterizzate da pattern distributivi analoghi: i tipi edilizi.

¹ Per le specifiche circa i dataset Meteororm utilizzati per il calcolo dei gradi-ora si rimanda al paragrafo relativo ai Dati Climatici e ai Limiti di Esercizio Assunti.

² specialmente per famiglie tipologiche caratterizzate da bassi livelli di tipicità (Caniggia Maffei 2001) quali quelle utilizzate nell'indagine.

Il calcolo delle superfici è stato condotto tramite la digitalizzazione di un campione di 15 edifici per tipo edilizio, per un totale di 90 casi. I rilievi sono stati raccolti presso gli archivi storici e di licenze edilizie dS+V e Gemeentearchief di Rotterdam e successivamente integrati in ambiente GIS nella base dati catastale.

Si tratta pertanto un campionamento di progetti definitivi con scale di dettaglio variabili dal 1:200 al 1:50. Le facciate sono state selezionate in coerenza con le limiti temporali di indagine (1870-2004) e le fasi di accrescimento urbano. Data la mole dei dati raccolti non è stato possibile verificare direttamente eventuali variazioni in fase di realizzazione o intervenute successivamente sui manufatti realizzati, ma il livello di definizione dei progetti d'archivio è stato assunto coerente con le finalità dell'indagine statistica qui presentata. La tabella [T61] riassume le percentuali di bucatura media per tipologia edilizia riscontrata nei progetti raccolti e restituiti nella [T62].

tipo edilizio		% bucatura
a ballatoio	[GL]	31.91
in linea	[LN]	27.23
a torre	[TW]	26.89
a villa isolata	[DT]	25.53
a schiera	[RW]	22.35
a casa binata	[SD]	20.68

[T61] Percentuale di bucatura dell'involucro calcolata come media per tipo edilizio di 90 edifici realizzati a Rotterdam tra il 1870 e il 2004 cfr.[T62]

La prestazione energetica per trasmissione dell'involucro è ulteriormente vincolata alla presenza di ponti termici dovuti alle soluzioni costruttive adottate in ogni singola unità edilizia. Per quanto una ricognizione delle stesse esuli dal modello d'analisi adottata, è stata proposta una stima forfettaria dell'incidenza dei ponti termici tramite la ricognizione di precedenti esperienze di analisi energetica dell'edilizia (cfr.ad es. APUR 2007). Le perdite di calore per ponti termici sono state pertanto approssimate in funzione dei parametri morfologici a disposizione pari ad un incremento del 5% della superficie opaca disperdente (A_{ko}).

ponti termici

Energia scambiata per ventilazione

L'energia termica mensile scambiata per ventilazione e/o infiltrazione tra l'ambiente climatizzato e l'ambiente circostante è calcolata come il prodotto tra la differenza di temperatura tra i due ambienti (ΔT); il tempo di funzionamento dell'impianto di climatizzazione (t) e il coefficiente di dispersione termica per ventilazione ($\sum(V_k \cdot n \cdot \rho_a \cdot c_a)$). La presenza infatti di una portata minima di rinnovo d'aria, anche in assenza di impianti appositamente progettati a tale scopo, comporta un aumento di calore disperso che influisce sulle condizioni di comfort interne all'edificio.

$$Q_v = \sum(V_k \cdot n \cdot \rho_a \cdot c_a) \cdot \Delta T \cdot t$$

Tale coefficiente di dispersione termica è definito dalla relazione tra volume netto dell'unità edilizia (V_k), il numero di ricambi d'aria orari (n) e la capacità termica volumica dell'aria ($\rho_a \cdot c_a$). Mentre la variabile volumetrica è calcolata in ambiente GIS per ogni unità edilizia, la capacità termica dell'aria è definita pari a 0.34 Wh/mqK. La riduzione del volume netto riscaldato è stata approssimata per un fattore dello 0.8 del volume lordo catastale per tutto il campione edilizio. In oltre, assumendo la mancanza di ricambi d'aria controllati ed essendo i limiti d'indagine ristretti alla sola edilizia residenziale, il numero di ricambi d'aria orari (n) è stato fissato pari a 0.5.

Apporti di calore interni

Qualunque fonte di calore all'interno dell'ambiente climatizzato siano esse dovute a apparecchiature elettriche, di illuminazione o al metabolismo degli occupanti dovuto alla destinazione d'uso degli ambienti, è codificato per la procedura ISO13790 come apporto di calore interno gratuito. La computazione di tali guadagni energetici è altamente variabile tra le unità edilizie essendo funzione dei differenti comportamenti e scelte dell'utenza. È possibile tuttavia assumere una media statistica per la destinazione d'uso residenziale che, applicata all'intero campione, restituisca un'approssimazione coerente per ordine di grandezza, di tali apporti. A tale scopo l'Atelier Parisien d'Urbanisme assume per il suo lavoro di analisi del parco residenziale parigino (APUR 2007) una stima³ calcolata in rapporto all'estensione di superficie netta dell'ambiente climatizzato che descrive quindi l'apporto di calore interno come funzione di parametri morfologici.

³ L'approccio adottato da APUR non è il solo a proporre una stima in funzione di un parametro morfologico quale la superficie abitativa: cfr. ad es. nel contesto italiano Regione Lombardia decreto n.15833/2007

Assumendo tale approccio coerente con gli obiettivi d'analisi, gli apporti interni (Q_i) sono stati calcolati come

$$Q_i = 23 \text{ kWh/mq} \cdot A_f$$

dove l'estensione di superficie utile⁴ A_f è calcolata con un fattore di riduzione lordo/netto pari a 0.8.

Apporti dovuti a radiazione solare

L'energia dovuta agli apporti solari tramite le superfici trasparenti dell'unità edilizia è definita come rapporto tra la irradiazione globale mensile, la superficie di vetratura e il numero di giorni nel mese (n_d).

$$Q_s = \sum H_s \cdot (\sum A_{TL} \cdot F_T \cdot g) \cdot n_d$$

L'irradiazione globale giornaliera media mensile incidente sulle superfici verticali (H_s), comprendente luce radiazione diretta e diffusa, è stata calcolata direttamente tramite il *tool* di calcolo dell'irraggiamento sviluppato da EIFER per ambienti GIS con risoluzione di 2m e intervalli di tempo orari all'interno dei limiti annuali di calcolo.⁵

La superficie di vetratura è calcolata come superficie lorda del serramento vetrato (A_{TL}) corretta per il coefficiente di riduzione dovuto al telaio dell'infisso (F_T) assunto pari al 15% dell'area di estensione della bucatatura, e la trasmittanza dell'energia solare della superficie trasparente del telaio (g) definita pari a 0.5. Sistemi di oscuramento delle bucatature e relativi fattori di riduzione degli apporti per ombreggiamento sono stati esclusi dalla computazione.

⁴ Al fine di evitare equivoci con i parametri morfologici precedenti utilizzati, è opportuno precisare che per superficie utile A_f (floor-area) si intende la superficie calpestabile interna agli edifici, pari alla precedentemente citata superficie d'impronta dell'edilizia S_{foot} (footprint surface) moltiplicata per il numero di piani (H_{str}) e corretta per un fattore di riduzione lordo/netto pari a 0.8.

⁵ Per le specifiche di calcolo si rimanda direttamente al capitolo 4 relativo all'analisi dell'irraggiamento solare.

Fattore di utilizzazione degli apporti energetici per il riscaldamento

Il fattore di utilizzazione dei guadagni energetici per la stagione di riscaldamento (η_H) è definito grazie al parametro a_H relativo all'inerzia dell'edificio, e al rapporto tra apporti e perdite energetiche (γ_H).

$$\text{Per } \gamma_H = \frac{Q_I + Q_S}{Q_T + Q_V} \neq 1 \qquad \eta_H = \frac{1 - \gamma_H^{a_H}}{1 - \gamma_H^{a_H + 1}}$$

$$\text{Per } \gamma_H = \frac{Q_I + Q_S}{Q_T + Q_V} = 1 \qquad \eta_H = \frac{a_H}{a_H + 1}$$

Nel caso di funzionamento continuo dell'impianto di climatizzazione sulle 24 ore e con calcolo mensile dei fabbisogni, la normativa ISO13790 consente un'approssimazione del parametro a_H in funzione della costante di tempo a_H pari a:

$$a_H = 1 + \frac{\tau_H}{15}$$

dove τ_H è calcolabile come rapporto tra la capacità termica del volume edilizio e la sommatoria di delle perdite di calore per trasmissione e ventilazione.

$$\tau_H = \frac{c \cdot V_k}{(A_k \cdot U_k) + (V_k \cdot n \cdot Q_a \cdot c_a)}$$

il coefficiente di capacità termica (c) che compare come moltiplicatore del volume lordo (V_k) è funzione delle tecnologie costruttive applicate. Per l'analisi è stato assunto come parametro invariante per l'intero campionamento per un valore di 36.1 Wh/m³K (pari ad un involucro con tamponamenti in muratura forata).

Apporti solari dovuti alle superfici opache

L'energia assorbita mensilmente dalle strutture opache esterne per effetto della radiazione solare (Q_{SO}) ed incidente sul bilancio energetico del raffrescamento estivo è stata stimata come il prodotto tra la irradiazione globale mensile, la superficie opaca assorbente ed il numero di giorni nel mese (n_d).

$$Q_{SO} = (\sum H_s \cdot (\sum \alpha_o \cdot A_{OL} \cdot F_{re} \cdot \frac{U_o}{h_c})) \cdot n_d$$

Analogamente al calcolo relativo alle superfici trasparenti, l'irradiazione media mensile (H_s) è stata calcolata per le superfici verticali tramite il tool sviluppato da EIFER direttamente ambiente GIS, mentre per le superfici orizzontali di copertura ci si è avvalsi degli algoritmi integrati da ESRI nella versione 9.0 di ArchGIS.

L'estensione degli elementi opachi è calcolata come superficie lorda (A_{OL}) corretta del fattore di assorbimento solare medio dell'involucro (α_o), del coefficiente di riduzione (F_{re}) e dal rapporto tra trasmittanza termica dell'involucro opaco (U_o) e il coefficiente di scambio termico superficiale (h_c). Mentre quest'ultimo è fissato pari 25W/mqK, gli altri indici variano in funzione del materiale d'involucro. Pertanto, analogamente agli altri assunti del modello di calcolo proposto, il fattore di assorbimento solare medio (α_o) è stato definito come invariante di calcolo per un valore pari a 0.65 corrispondente ad un colore di finitura esterna medio-scuro.

In coerenza con la normativa, il coefficiente di riduzione (F_{re}), dovuto all'incidenza del flusso radioattivo emesso dalla superficie esterna, è stato approssimato per pareti verticali pari a 1.0 e per pareti orizzontali in copertura pari a 0.8 .

Fattore di utilizzazione degli apporti energetici per il raffrescamento

Analogamente a quanto enunciato per l'indice η_H , il fattore di utilizzazione dei guadagni energetici per la stagione di raffrescamento (η_C) è calcolato in funzione della variabile a_C , relativo all'inerzia dell'edificio, e al rapporto tra apporti e perdite energetiche (γ_C).

$$\text{Per } \gamma_C = \frac{Q_I + Q_S}{Q_T + Q_V} \neq 1 \quad \eta_C = \frac{1 - \gamma_C^{-a_C}}{1 - \gamma_C^{-(a_C+1)}}$$

$$\text{Per } \gamma_C = \frac{Q_I + Q_S}{Q_T + Q_V} = 1 \quad \eta_C = \frac{a_C}{a_C + 1}$$

dove, visto gli assunti di calcolo, a_C è stato stimato pari a

$$a_C = 1 + \frac{\tau_C}{15} \quad \text{con } \tau_C = \frac{c \cdot V_k}{(A_k \cdot U_k) + (V_k \cdot n \cdot \rho_a c_a)}$$

L'indice τ_C è calcolato come rapporto tra la capacità termica del volume edilizio e la sommatoria di delle perdite di calore per trasmissione e ventilazione, dove il coefficiente di capacità termica (c) è fissato pari a 36.1 Wh/m³K.

medie risultanti

I fabbisogni energetici risultanti per la climatizzazione estiva e invernale sono restituiti come sommatoria dei fabbisogni mensili per ogni unità edilizia. Il confronto tra i diversi campioni di edilizia aggregata è basato sulla media del fabbisogno annuale per aggregato, espressa in kWh/mq, ponderata rispetto ai mq di superficie netta dei singoli edifici compresi nel campione.

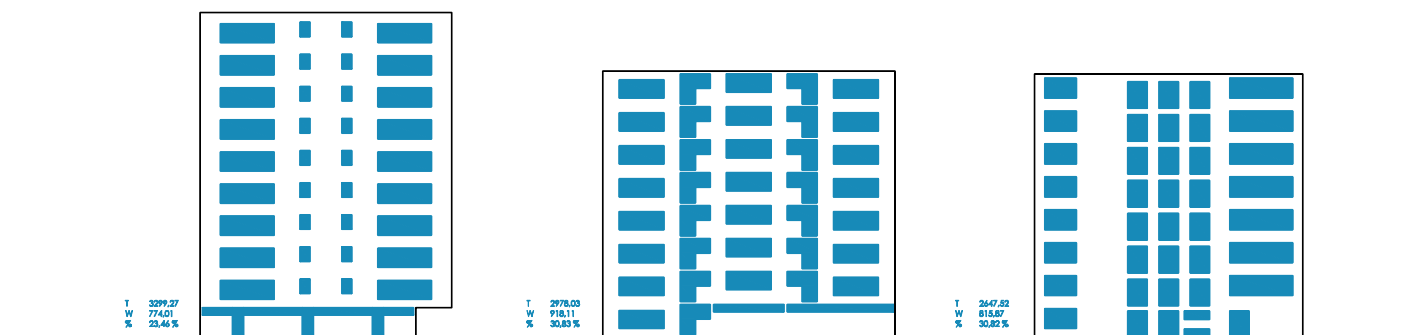
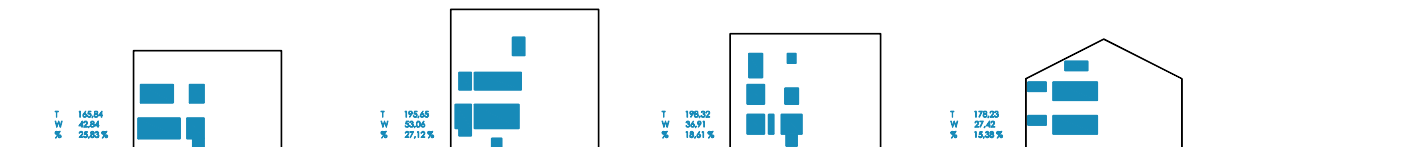
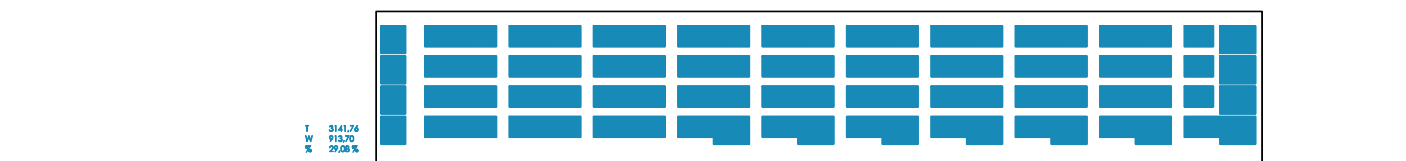
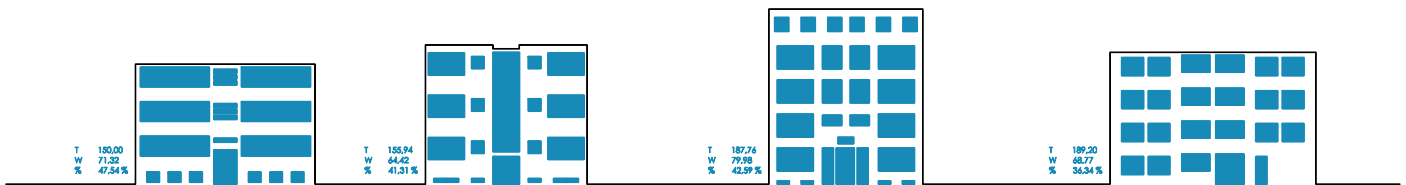


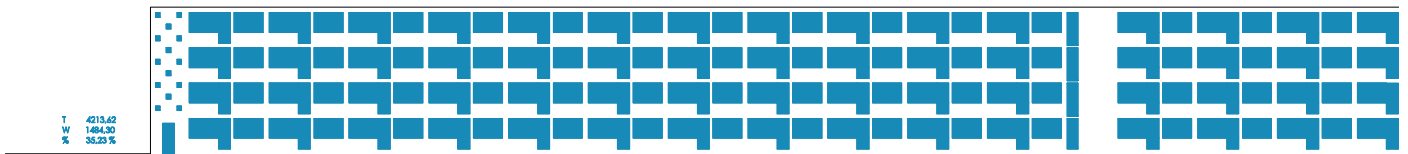
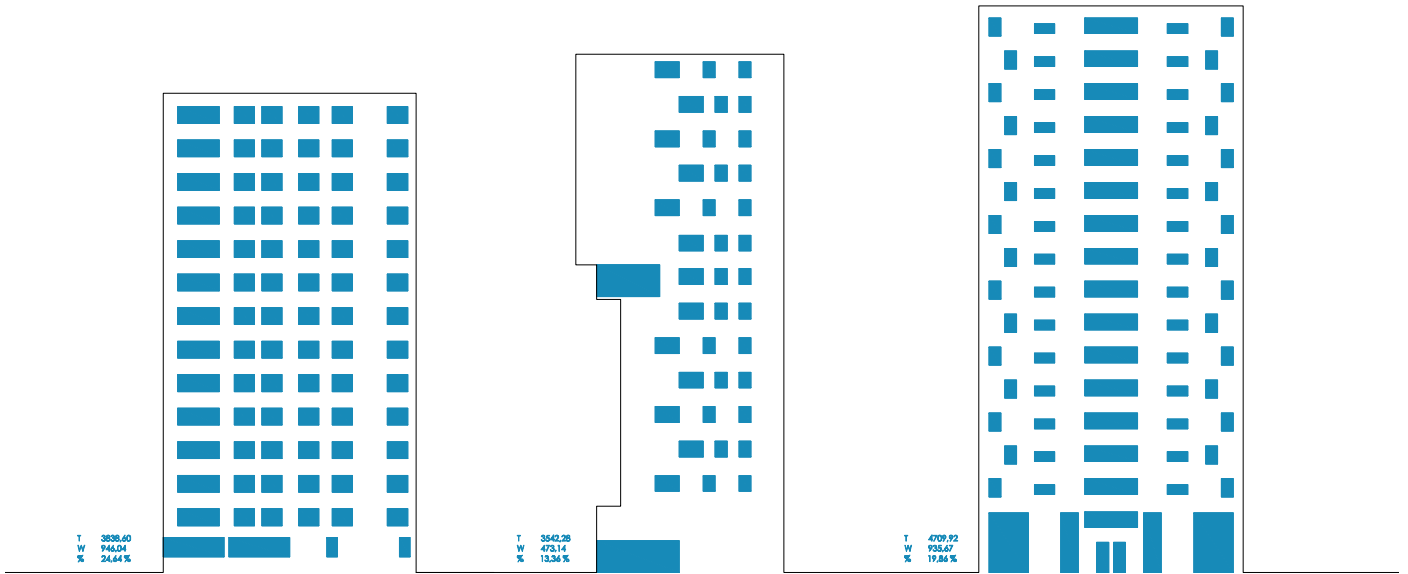
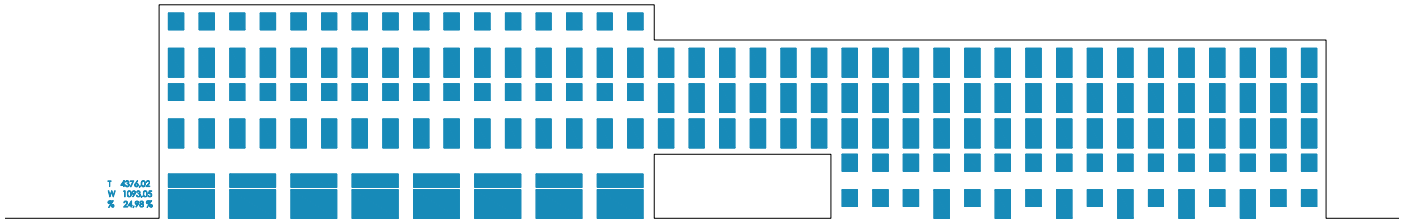
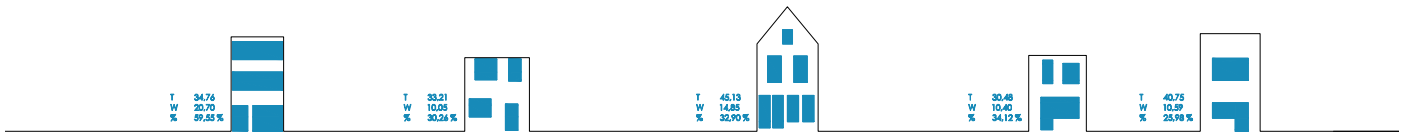
[T62] % DI FINESTRATURA

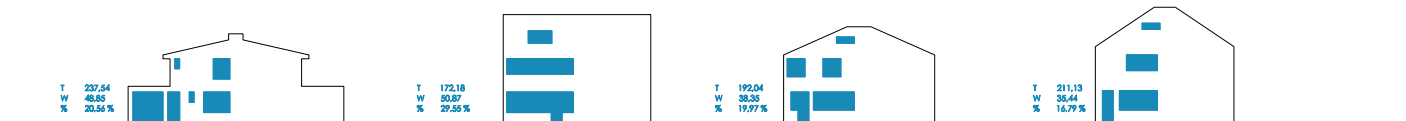
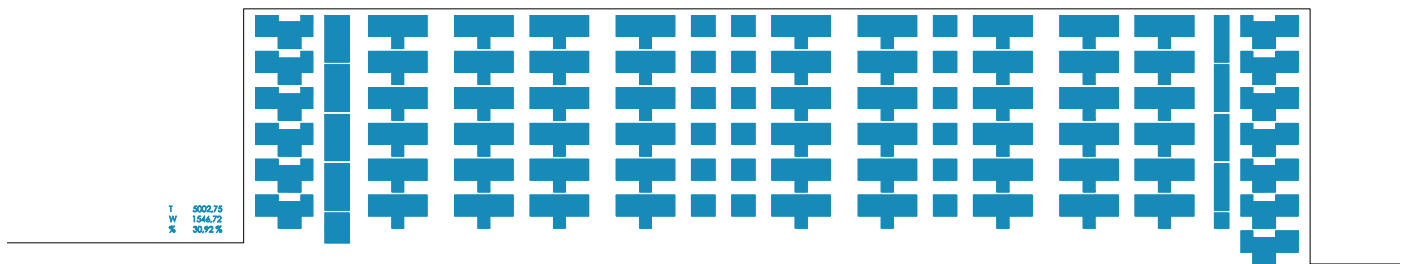
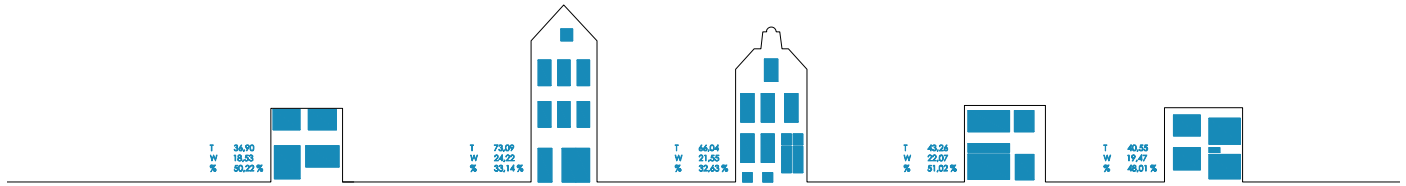
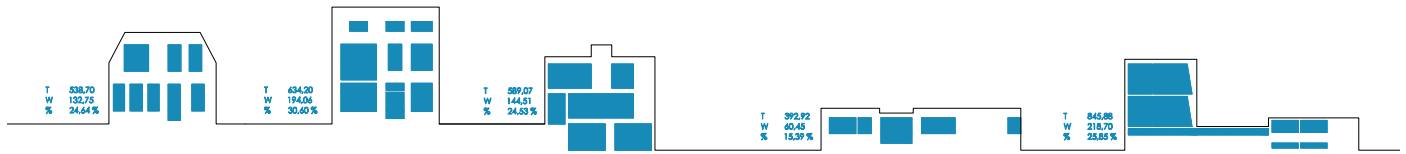
Proporzione di bucatura dell'involucro per tipologia edilizia: diagramma riassuntivo.

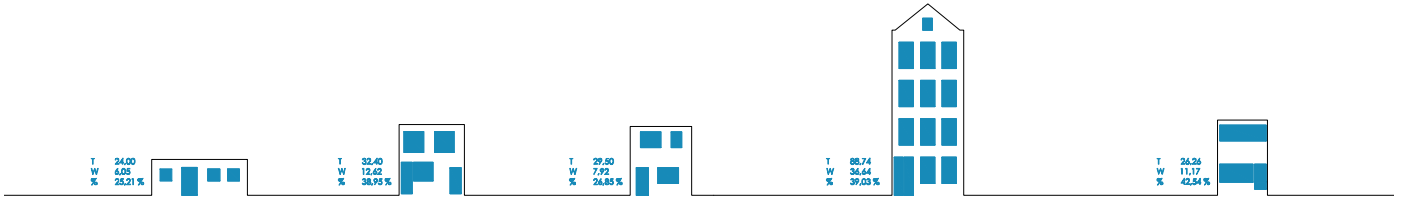
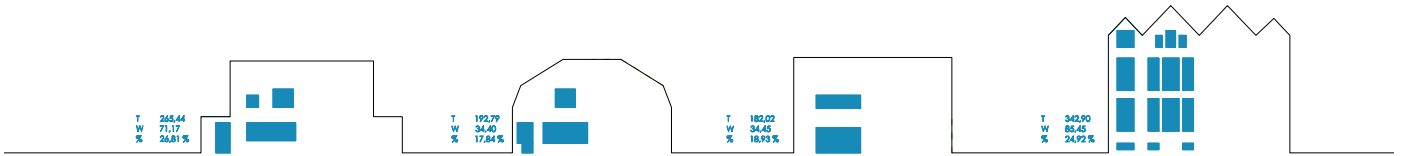
Calcolo basato su un campione di 15 edifici per tipologia.

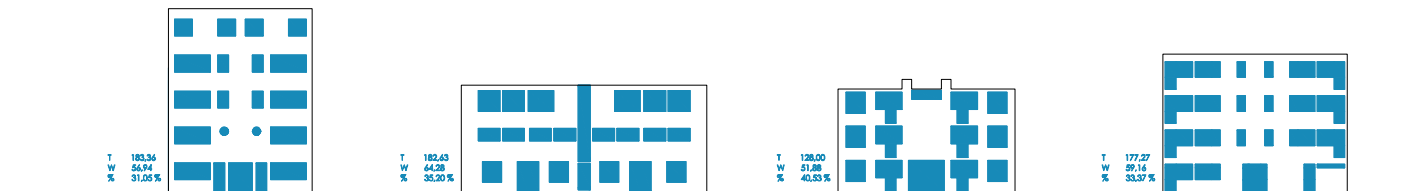
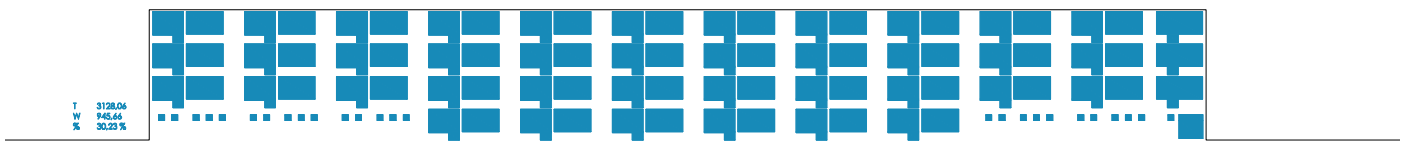
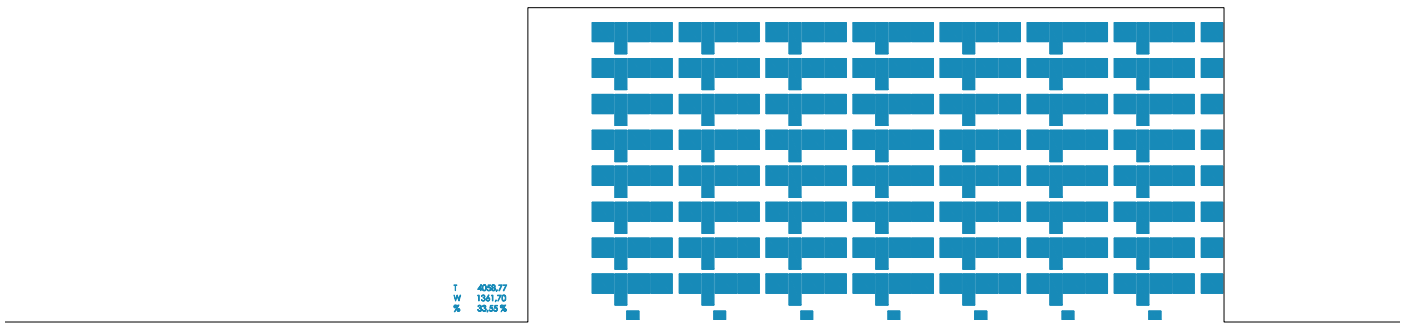
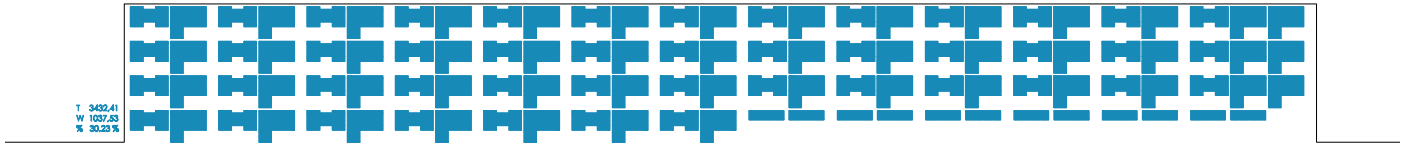
Le cifre riportate si riferiscono alle superfici totali degli involucri.

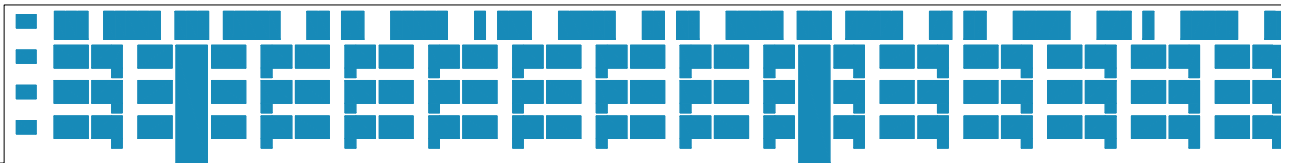
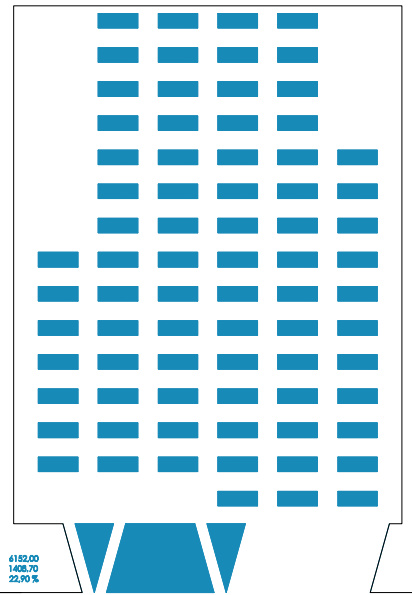
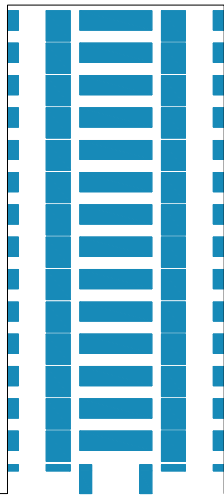
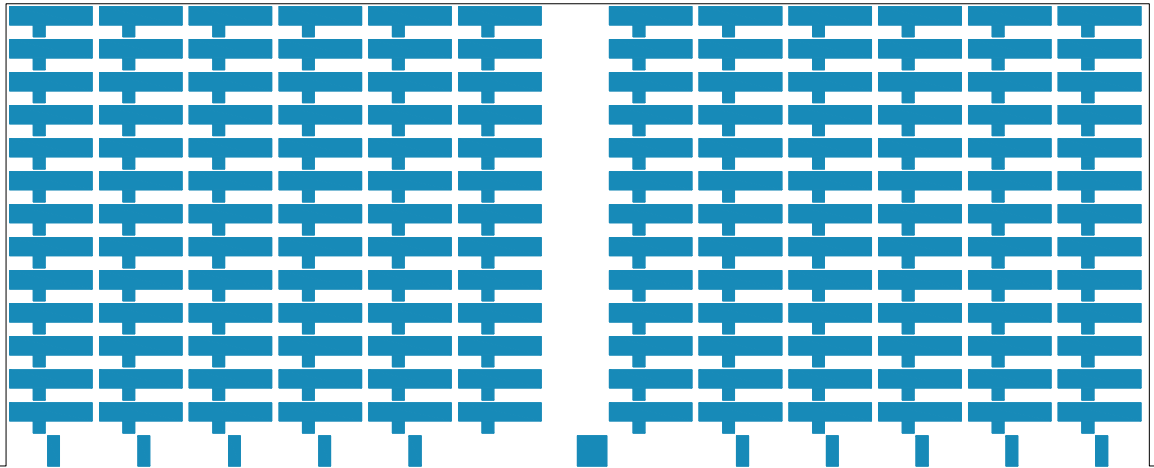


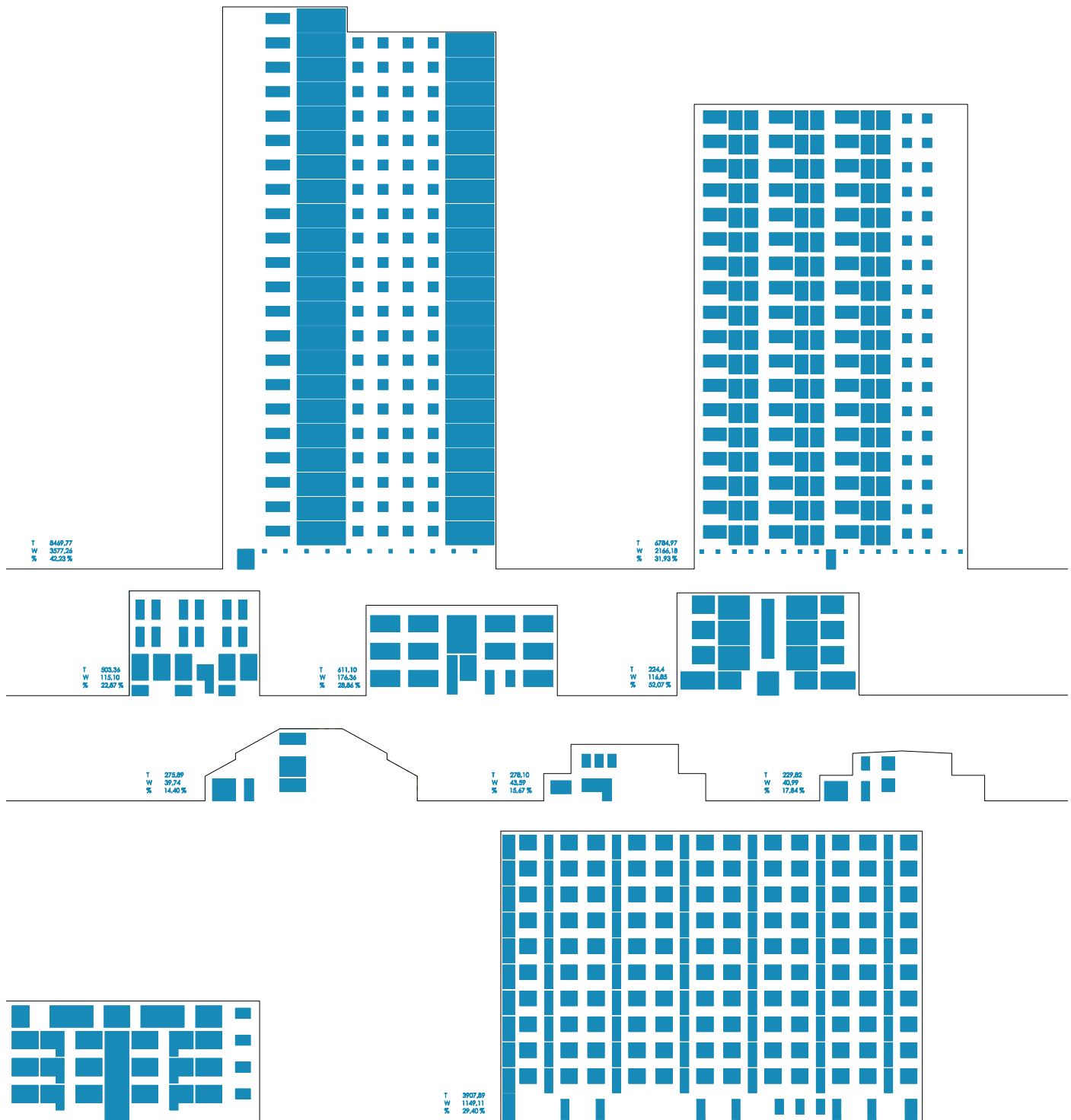












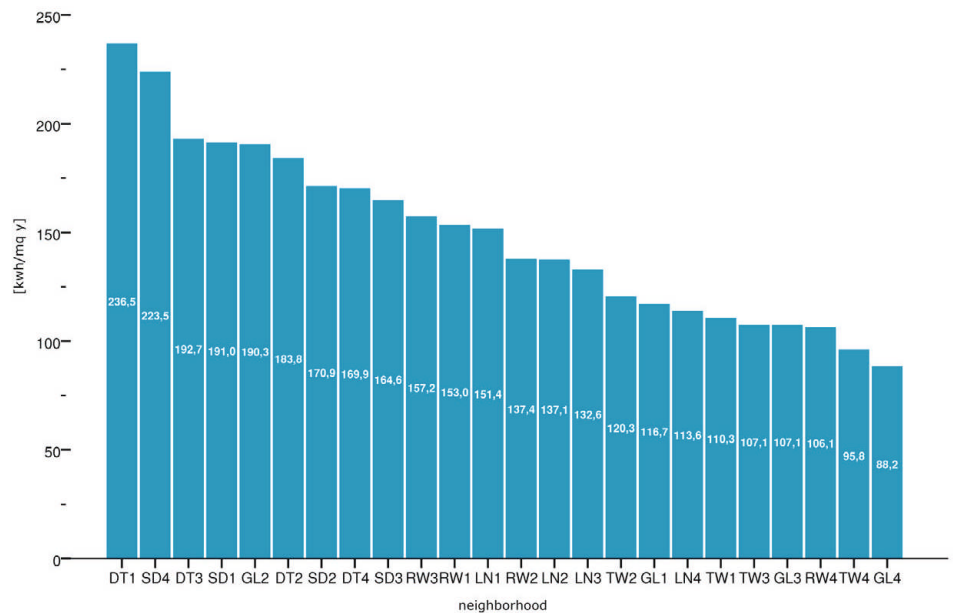
LETTURA DEI RISULTATI

La ricerca ha confrontato il fabbisogno energetico per il riscaldamento e il raffrescamento di 24 campioni di edilizia aggregata della città di Rotterdam. Per la selezione di quest'ultimi è stato impostato un modello di analisi dell'aggregato basato su famiglie tipologiche residenziali. L'individuazione dei tipi edilizi è stata condotta tramite analisi per raggruppamenti omogenei applicando l'algoritmo di clusterizzazione Two-step di SPSS Inc. sull'intero parco edilizio della città. I diversi campioni sono stati selezionati in base all'uniformità tipologica e alla serialità aggregativa degli edifici componenti.

I fabbisogni energetici sono stati calcolati mensilmente per ogni unità edilizia e quindi restituiti come fabbisogno energetico annuale. I risultati sono presentati per ogni campione come media delle unità edilizie pesata per mq di superficie abitativa.

**prestazioni energetiche
dell'assetto morfologico
aggregativo**

I fabbisogni energetici osservati non corrispondono quindi al consumo reale dell'edilizia ma rappresentano i differenti livelli di domanda energetica dovuti ai soli assetti morfologico-aggregativi.



[T63] Fabbisogno energetico per la climatizzazione dei 24 campioni: media per aggregato

□ Le migliori performance energetiche sono riscontrabili per i campioni TW4 e GL4 corrispondenti ad aggregati di impianto gerarchizzato non seriale caratterizzati rispettivamente da tipi a torre e a ballatoio in cui sono riscontrabili inserzioni di altre tipologie.

□ È interessante notare che altri cinque campioni presentano contenuti fabbisogni energetici medi di poco superiori ai picchi menzionati di TW4 e GL4 [T63]. Tra di essi si inseriscono oltre alle già citate tipologie a torre e ballatoio anche campioni di schiere ed edifici in linea. La maggior parte degli assetti morfologici a minor domanda energetica (6 su 7) presentano un impianto aggregativo non seriale.

□ La media del fabbisogno energetico annuo dei 24 campioni è pari a 148.2 kWh/mq.

□ I valori più alti di fabbisogno annuale sono registrati per i campioni DT1 e SD4 che raggiungono una domanda energetica di 2.5 volte superiore rispetto alla migliore performance osservata. Entrambi gli aggregati non presentano analoghe caratteristiche di serialità o uniformità tipologica. Il picco di

consumi è quindi da ricondurre ai contenuti livelli di compattezza edilizia e di densità dei due campioni⁶: gli aggregati menzionati infatti corrispondono rispettivamente ai valori minimi di densificazione (FAR_{DT1} 0.18) e di compattezza (S/V_{SD4} 0.58).

▫ Tra i 6 campioni che superano i 180kWh/mq annui, corrispondenti ad una domanda energetica superiore del 25% rispetto alla media dei 24 aggregati, il tipo edilizio più frequente è rappresentato dalla casa isolata [DT], mentre a scala aggregativa si nota una contenuta prevalenza di campioni caratterizzati da serialità aggregativa.

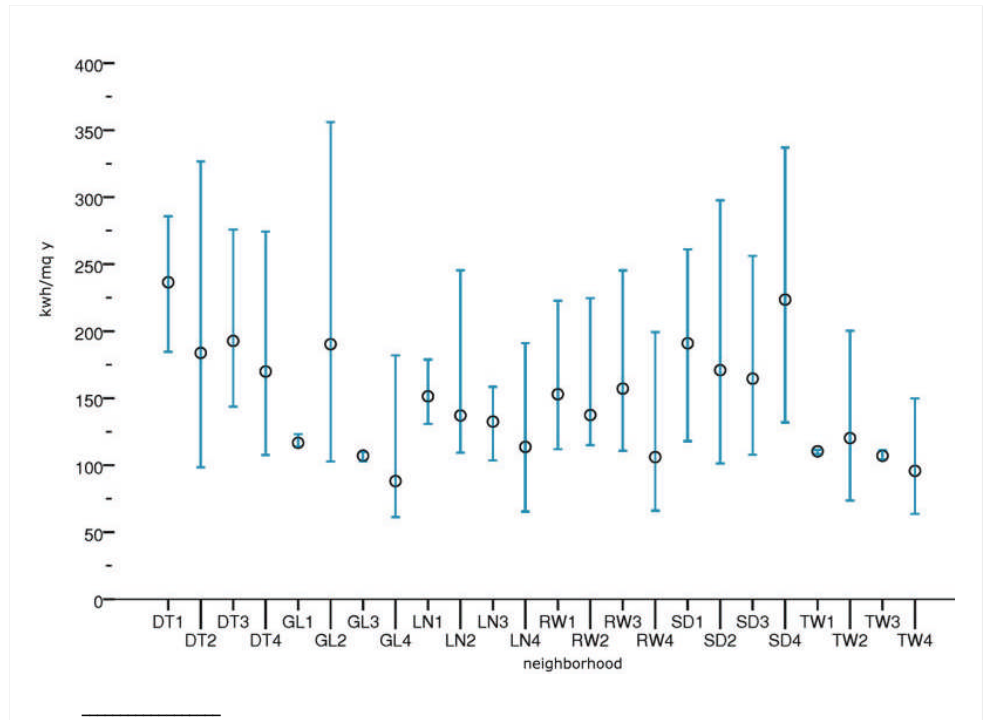
▫ Confrontando i fabbisogni energetici con l'indice di contiguità dell'edilizia [S_{shrd}/S]⁷, è possibile distinguere due differenti distribuzioni dei risultati corrispondenti a due clusters dei campioni. La maggior parte degli aggregati presenta infatti una diminuzione proporzionale del fabbisogno energetico all'aumentare della superficie d'involucro condivisa con fabbricati contigui, a cui corrisponde una minor soluzione di continuità nell'aggregazione e nei fronti stradali. A questo primo raggruppamento (maggioritario) fa eccezione un cluster di 4 campioni chiaramente distinto. Questi presentano uniformemente una contenuta domanda energetica alla quale però corrispondono basse, se non nulle, superfici d'involucro condivise. Si tratta di aggregati caratterizzati in prevalenza da edilizia ad alta densità abitativa, tendenzialmente isolata, formata da tipi a torre o a ballatoio. Il consistente sviluppo in altezza dei manufatti consente di compensare la maggiore superficie disperdente con migliori indici di compattezza e quindi di ottenere un contenimento dei consumi energetici. Nel primo raggruppamento invece, i minori livelli di fabbisogno non sono raggiunti esclusivamente da tipi ad alta densità, come la già citata edilizia a torre e a ballatoio, ma anche da aggregati di tipi a schiera e in linea. È interessante notare come ai fabbisogni energetici più contenuti di entrambi i due clusters corrisponda una netta distinzione di uniformità tipologica: mentre nel raggruppamento maggioritario di aggregati progressivamente più contigui una minore domanda energetica è raggiunta da campioni ad elevata varietà tipologica, per il secondo cluster di edilizia isolata l'uniformità tipi edilizi è invece dominante. Per quest'ultimo quindi il miglior contenimento energetico è riconducibile alle qualità performanti dei singoli tipi costituenti.

[T67]

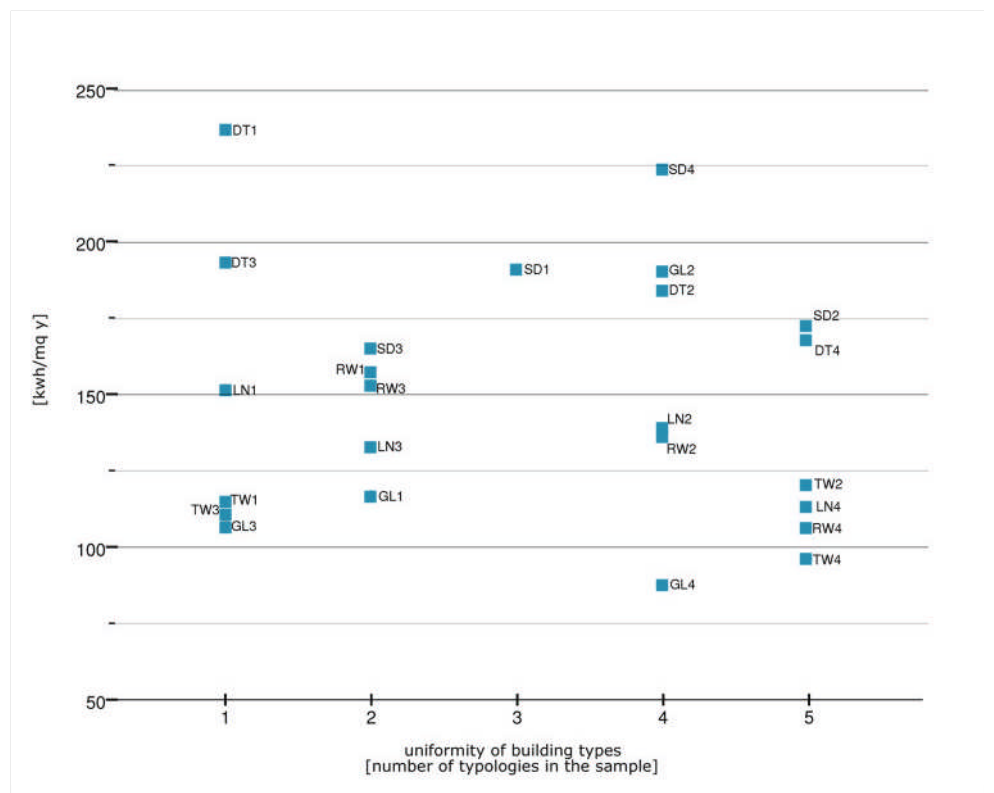
▫ Una analoga distinzione in due clusters è riscontrabile nella distribuzione dei risultati energetici posti a confronto con la superficie di occupazione del suolo [S_{foot}]. All'aumentare infatti dell'estensione di terreno edificato corrisponde linearmente una riduzione dei fabbisogni energetici a cui fa eccezione

⁶ cfr. Schede riassuntive dei campioni, in allegato al volume.

⁷ corrispondente al rapporto tra superficie di involucro condivisa con edilizia contigua [S_{shrd}] e superficie disperdente [S_{env}]



[T64] Intervallo di variazione della domanda energetica per la climatizzazione dei 24 campioni



[T65] Domanda energetica e numero [τ] di tipologie nell'aggregato

serialità aggregativa
 [1] [2] aggregati seriali
 [3] [4] aggregati gerarchizzati

uniformità tipologica
 [1] [3] aggregati uniformi
 [2] [4] aggregati misti

tipologia prevalente nell'aggregato
 [TW] a torre
 [GL] a ballatoio
 [LN] in linea
 [RW] a schiera
 [SD] a casa binata
 [DT] a villa isolata

un gruppo minoritario di campioni tendenzialmente sovrapponibile, per caratteristiche e casi individuati, al secondo cluster menzionato per la [T67]. Tale correlazione tra le distribuzioni per parametri $[S_{foot}]$ e $[S_{shrd}/S]$, che non risulta scontata per elevati livelli di densità edilizia (Bæk Pedersen 2009), mette in evidenza le proprietà dei due clusters: la distinzione tra le migliori performance dei due raggruppamenti infatti non corrisponde soltanto a tipi edilizi maggiormente compatti e a un incremento della densità abitativa, ma implica anche una netta differenza di occupazione del suolo.

[T68]

□ Confrontando i fabbisogni energetici di climatizzazione con gli indici di compattezza $[S/V]$, densità edilizia $[FAR]$ e altezza media $[H_{mean}]$ è possibile notare una distribuzione proporzionale dei risultati. Ad un incremento di compattezza e densità risulta correlata una diminuzione della domanda energetica. Mentre la prima è riconducibile all'incidenza dell'assetto morfologico dei tipi edilizi, il secondo indice è associabile ad una maggiore articolazione dell'aggregato. In entrambi i casi è interessante notare che i maggiori livelli di densificazione e compattezza media, e di conseguenza di minor domanda energetica, sono registrati per aggregazioni non seriali. In particolare, i maggiori livelli di FAR corrispondono anche ad una minore uniformità tipologica negli aggregati. I minori guadagni per irraggiamento solare dovuti all'incremento di densità edilizia [T55] sembrano quindi compensati dalla riduzione delle superfici disperdenti e da un aumento di compattezza medio che l'aggregazione gerarchizzata (ovvero non seriale) consente. Una riduzione lineare del fabbisogno è riscontrabile in oltre in corrispondenza dell'aumento dell'altezza media degli aggregati.

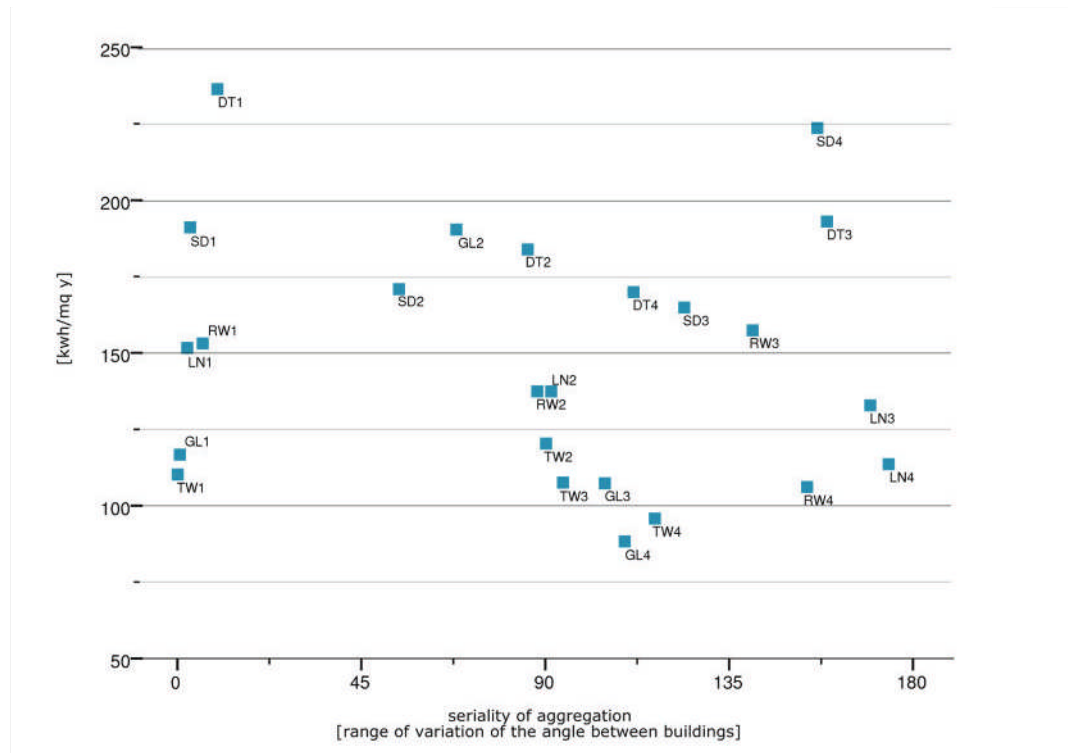
[T69]
[T70]
[T71]

[T43]

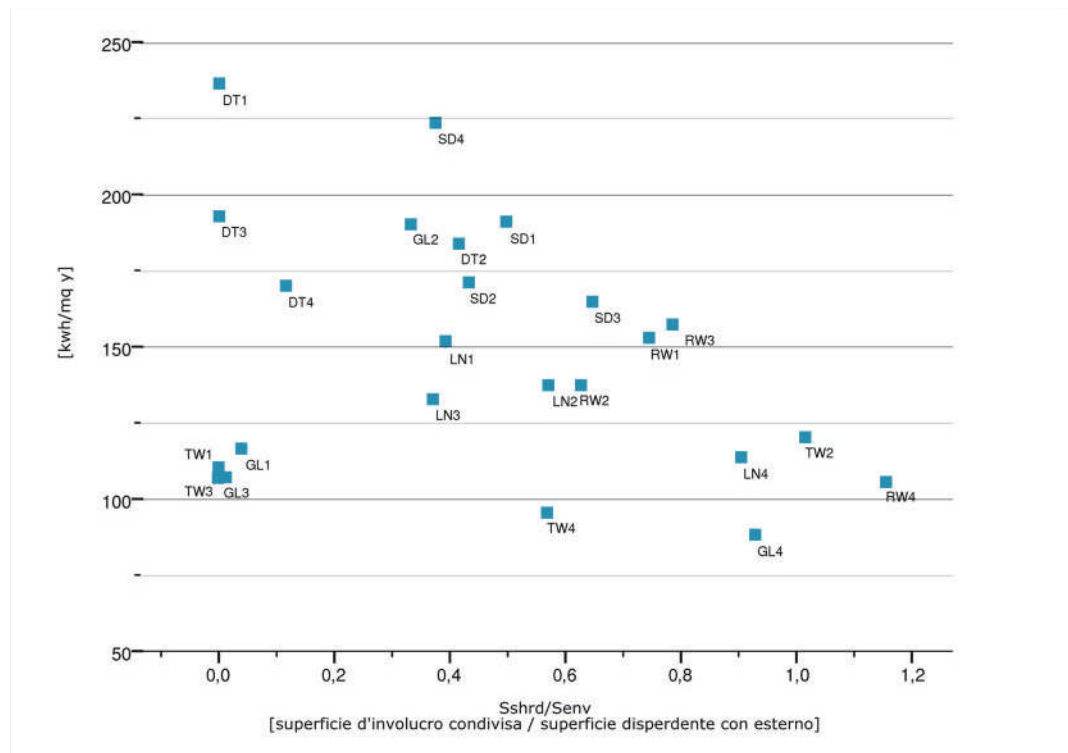
Fabbisogno e categorie aggregative

La lettura sin qui condotta è relativa al confronto dei risultati dei 24 campioni, intesi come media dei fabbisogni energetici delle unità edilizie componenti ciascun aggregato. È possibile condurre un'ulteriore analisi della domanda energetica aggregando i dati ottenuti per proprietà costitutive dell'aggregazione stessa, confrontando cioè i risultati con le categorie utilizzate per la selezione dei campioni: tipo edilizio prevalente, serialità aggregativa e uniformità tipologica. Pertanto per ogni campione sono stati raccolti i valori di domanda energetica massima $[Mmax]$ e minima $[Mmin]$ riscontrabili tra le unità edilizie componenti, il relativo intervallo di variazione tra i due picchi $[range]$ e la già menzionata media del fabbisogno energetico dell'intero aggregato $[Mmeans]$. Di tali valori è stata quindi calcolata la media per categoria di aggregazione, consentendo una comparazione delle proprietà distintive dei campioni.

[T72]



[T66] Domanda energetica e angolo $[\Delta]$ massimo tra edifici



[T67] Domanda energetica e indice di contiguità dell'edilizia [Sshrd/S]

serialità aggregativa
 [1] [2] aggregati seriali
 [3] [4] aggregati gerarchizzati

uniformità tipologica
 [1] [3] aggregati uniformi
 [2] [4] aggregati misti

tipologia prevalente nell'aggregato
 [TW] a torre
 [GL] a ballatoio
 [LN] in linea
 [RW] a schiera
 [SD] a casa binata
 [DT] a villa isolata

▫ Aggregando i risultati per aggregati seriali o gerarchizzati è possibile notare una tendenza di riduzione della domanda energetica media [Mmeans] all'aumentare dell'articolazione dei campioni. Ad impianti lottizzati più complessi o gerarchizzati corrisponde infatti una diminuzione sia dei picchi massimi [Mmax] che dei minimi [Mmin] di fabbisogno. La conseguente riduzione anche dell'intervallo di variazione [range] suggerisce un miglior comportamento energetico distribuito tra tutte le unità edilizie. A tale tendenza non corrisponde però una correlazione lineare tra fabbisogni e angolo massimo tra edifici Δ . Le ragioni di tale miglioramento energetico è quindi da ricondurre agli incrementi, per quanto non sempre consistenti, di contiguità dell'edificato e di densità edilizia riscontrabili per gli aggregati non seriali. Tali caratteristiche sembrano infatti compensare anche le inferiori prestazioni riscontrate in termini di guadagno solare delle facciate edilizie (cfr. T55).

**fabbisogni energetici
e serialità aggregativa**
[T72]

[T43]

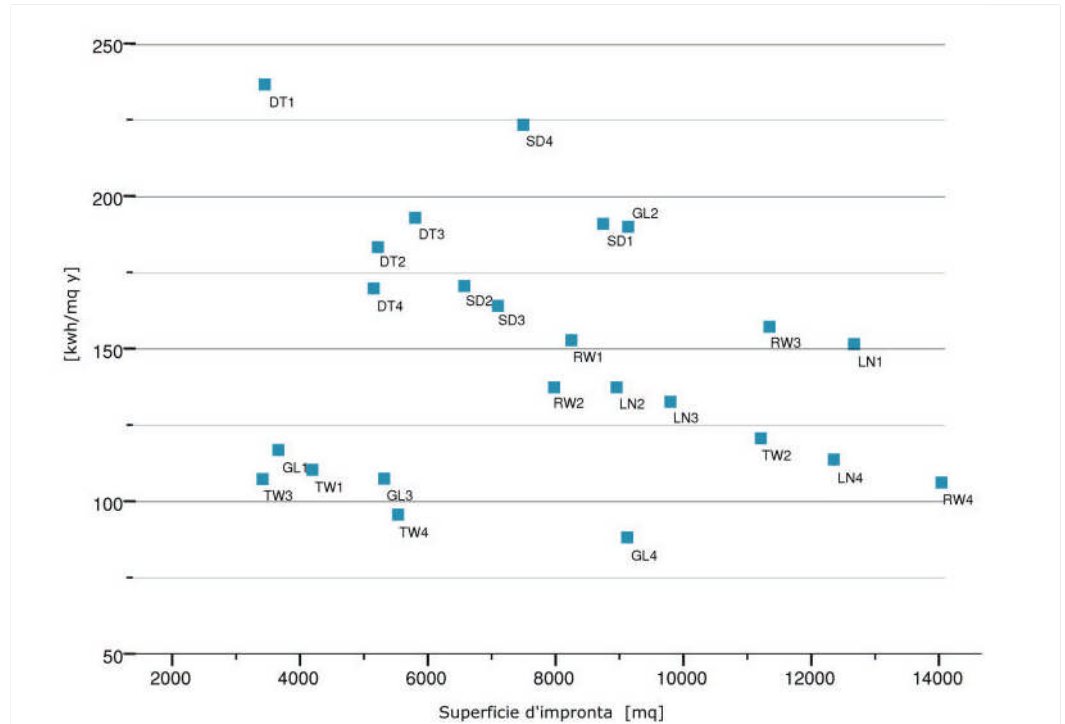
▫ Le medie dei fabbisogni per categorie di uniformità tipologica mostrano una minima riduzione della domanda energetica all'aumentare della varietà di tipi presenti nell'aggregato, nonostante a quest'ultima si accompagnino peggiori condizioni di irraggiamento medio [T55] Tale tendenza di riduzione del fabbisogno si manifesta a parità di compattezza media degli edifici appartenenti alle due categorie [T43], ma risulta meno consistente rispetto alle diverse prestazioni degli aggregati seriali precedentemente descritte. Le ragioni di tale debole miglioramento sono probabilmente da ricondurre quindi alla maggior contiguità dell'edilizia [S_{shrd}/S] che compone aggregati tipologicamente misti. Per campioni caratterizzati da tipi prevalentemente isolati⁸ infatti, l'aumento della varietà tipologica corrisponde ad un incremento della presenza di tipologie edilizie contigue, causando quindi una riduzione media delle superfici disperdenti della categoria. Tale diminuzione di domanda è accompagnata però da un incremento dell'intervallo di variazione [range] tra i valori massi e minimi degli aggregati misti. Pertanto ad un lieve miglioramento della comportamento energetico medio, si assiste ad una maggior differenza nella domanda delle singole unità edilizie.

**fabbisogni energetici
e uniformità tipologica
dell'aggregato**
[T72]

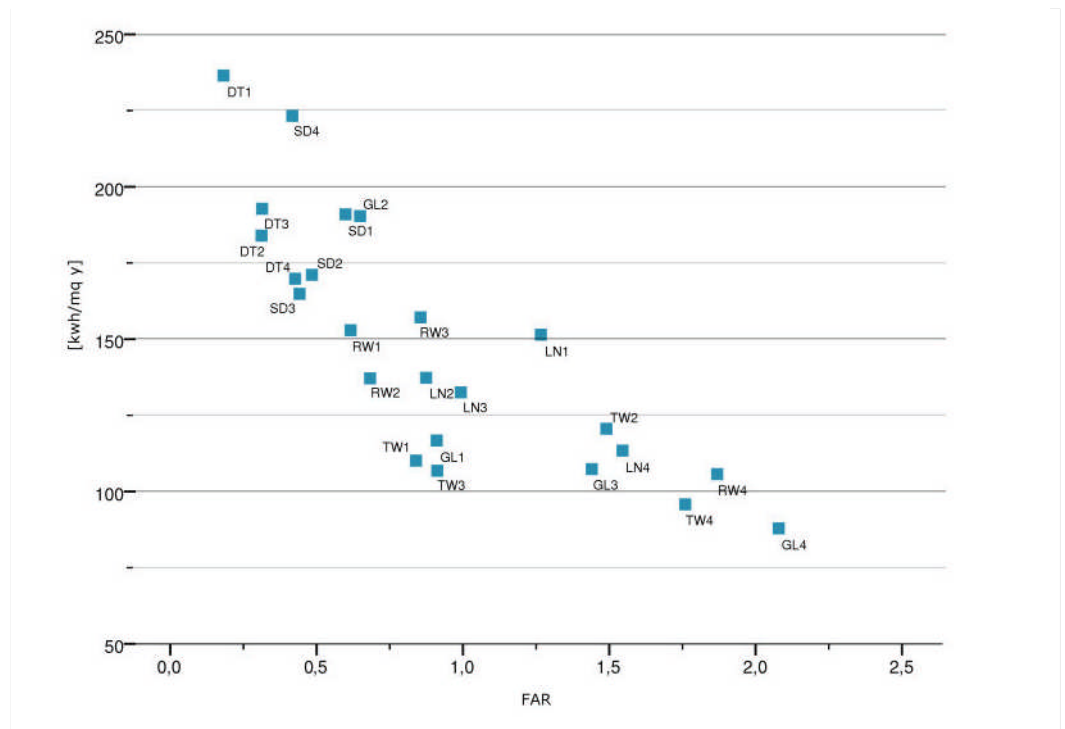
▫ Raggruppando i campioni per tipi edilizi prevalenti, i fabbisogni medi mostrano notevoli soglie di variazione, rivelando un'incidenza maggiore dell'assetto morfologico degli edifici rispetto alle proprietà dell'aggregazione stessa. Da una domanda media di 195.7 kWh/mq per campioni caratterizzati da ville isolate, si raggiungono infatti i 108,4 kWh/mq per aggregati di edilizia prevalentemente a torre. Campioni connotati da tipi ad alta densità edilizia, quali torri e ballatoi, presentano i livelli più contenuti di fabbisogno medio,

**Fabbisogni energetici
e tipo edilizio prevalente**
[T72]

⁸ come ad esempio aggregati di ville, di case binate o di edilizia a torre



[T68] Domanda energetica e indice di occupazione del suolo [Sfoot]



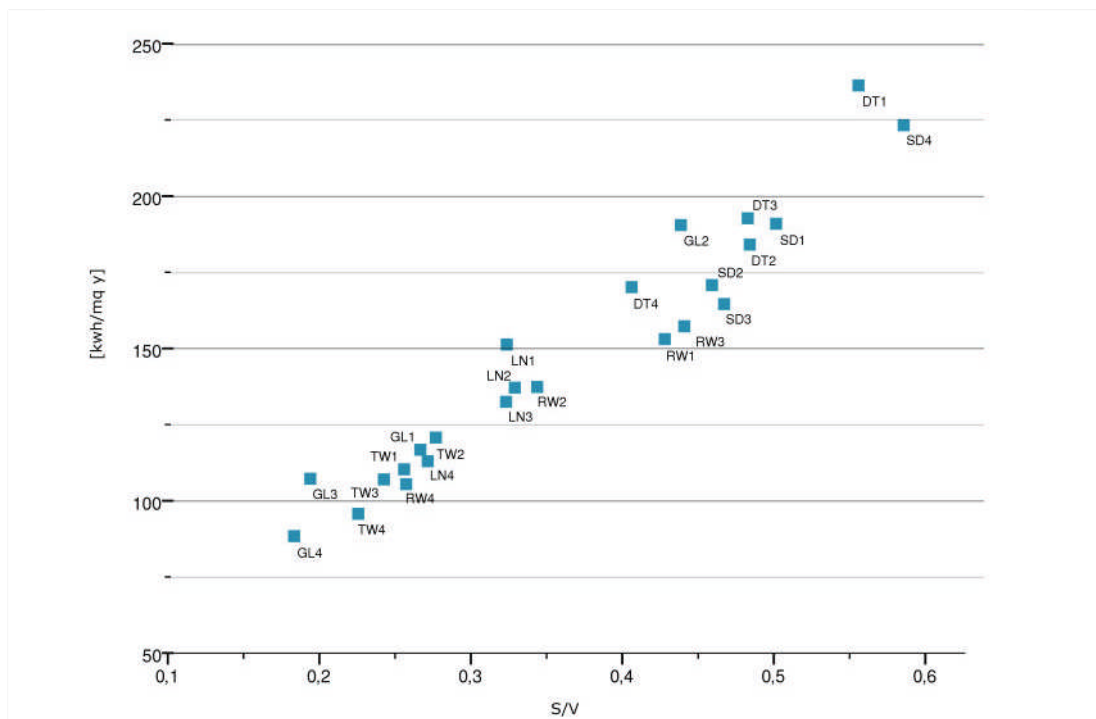
[T69] Domanda energetica e densità edilizia

serialità aggregativa
 [1] [2] aggregati seriali
 [3] [4] aggregati gerarchizzati

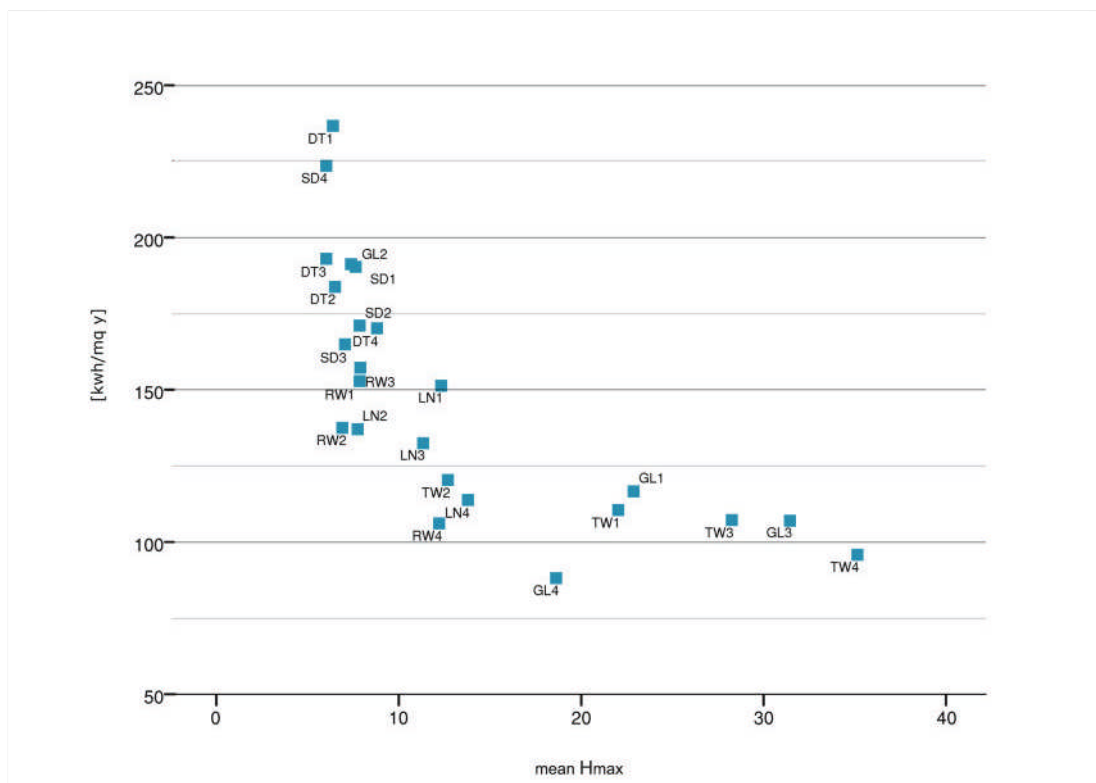
uniformità tipologica
 [1] [3] aggregati uniformi
 [2] [4] aggregati misti

tipologia prevalente nell'aggregato
 [TW] a torre
 [GL] a ballatoio
 [LN] in linea
 [RW] a schiera
 [SD] a casa binata
 [DT] a villa isolata

ma mentre i primi si distinguono per un ridotto range di variazione tra picchi massimi e minimi di domanda, suggerendo una aggregazione uniformemente performante; per i secondi tale intervallo è paragonabile ai valori dei campioni di edilizia *in linea*. Ad aggregati di case bifamiliari e ville corrispondono i più consistenti fabbisogni osservabili, sia in termini di domanda media, che di variazione tra massimi e minimi. In particolare, tra i campioni di ville isolate si raggiunge la media più elevata di massima domanda delle unità edilizie. Gli aggregati di tipi a schiera rappresentano l'unica tipologia mono-familiare a presentare picchi di domanda minima paragonabili a campioni di tipi più performanti.



[T70] Domanda energetica per la climatizzazione e indice di compattezza [S/V]



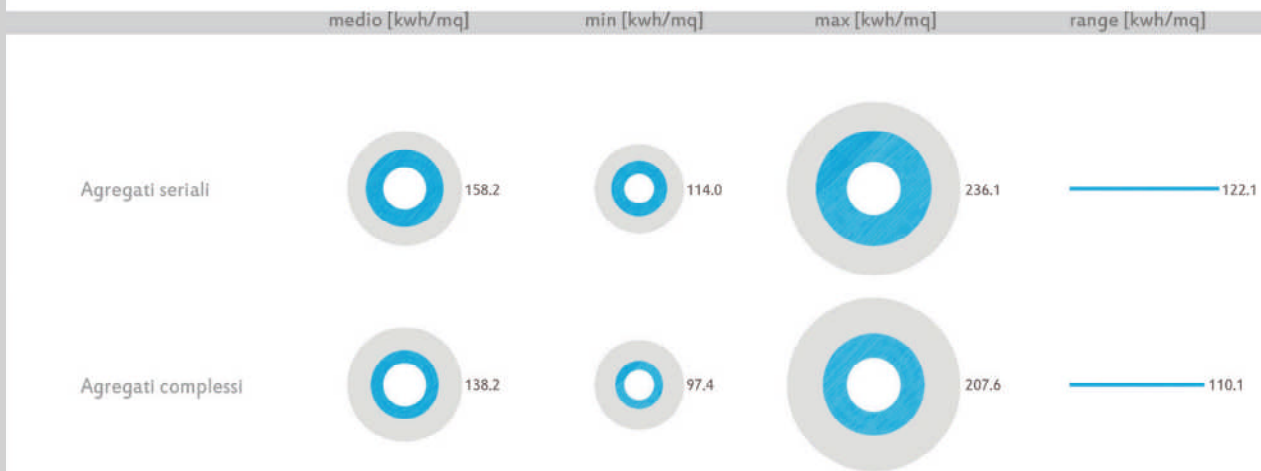
[T71] Domanda energetica per la climatizzazione e altezza media dell'aggregato

serialità aggregativa
 [1] [2] aggregati seriali
 [3] [4] aggregati gerarchizzati

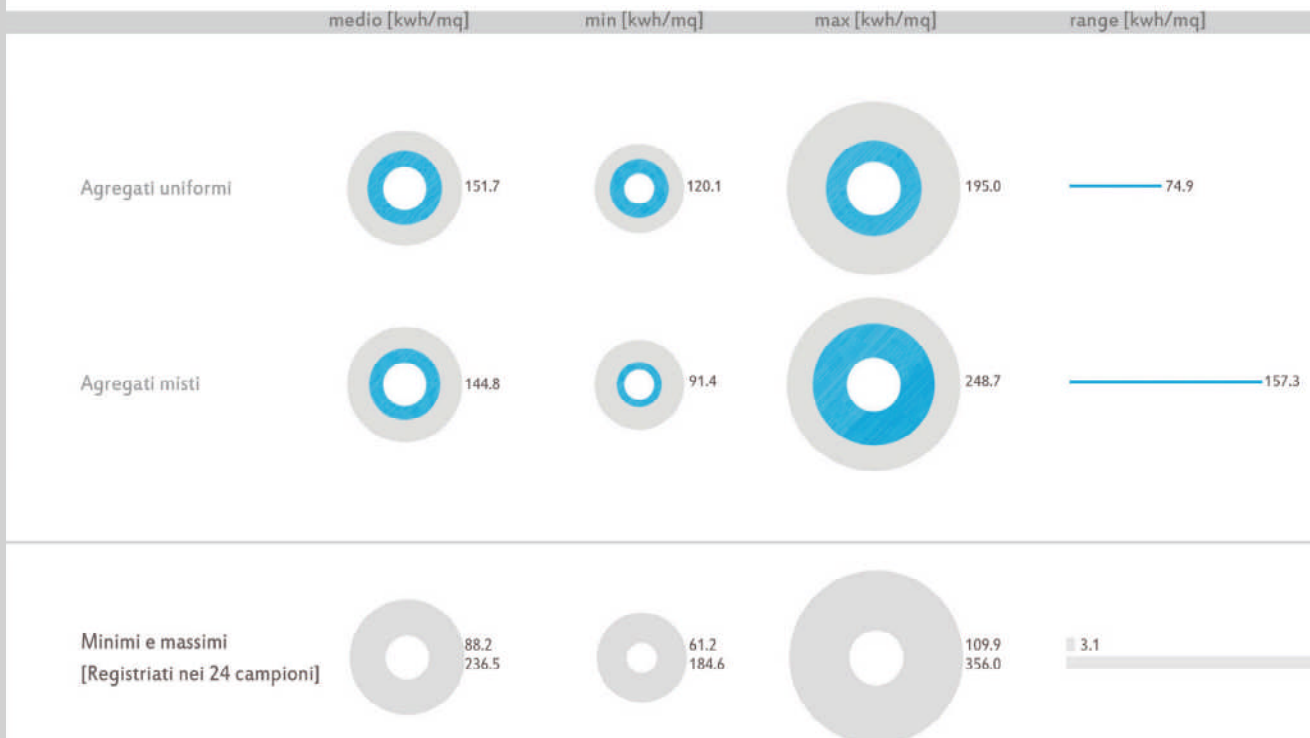
 uniformità tipologica
 [1] [3] aggregati uniformi
 [2] [4] aggregati misti

 tipologia prevalente
 nell'aggregato
 [TW] a torre
 [GL] a ballatoio
 [LN] in linea
 [RW] a schiera
 [SD] a casa binata
 [DT] a villa isolata

FABBISOGNO E SERIALITÀ AGREGATIVA



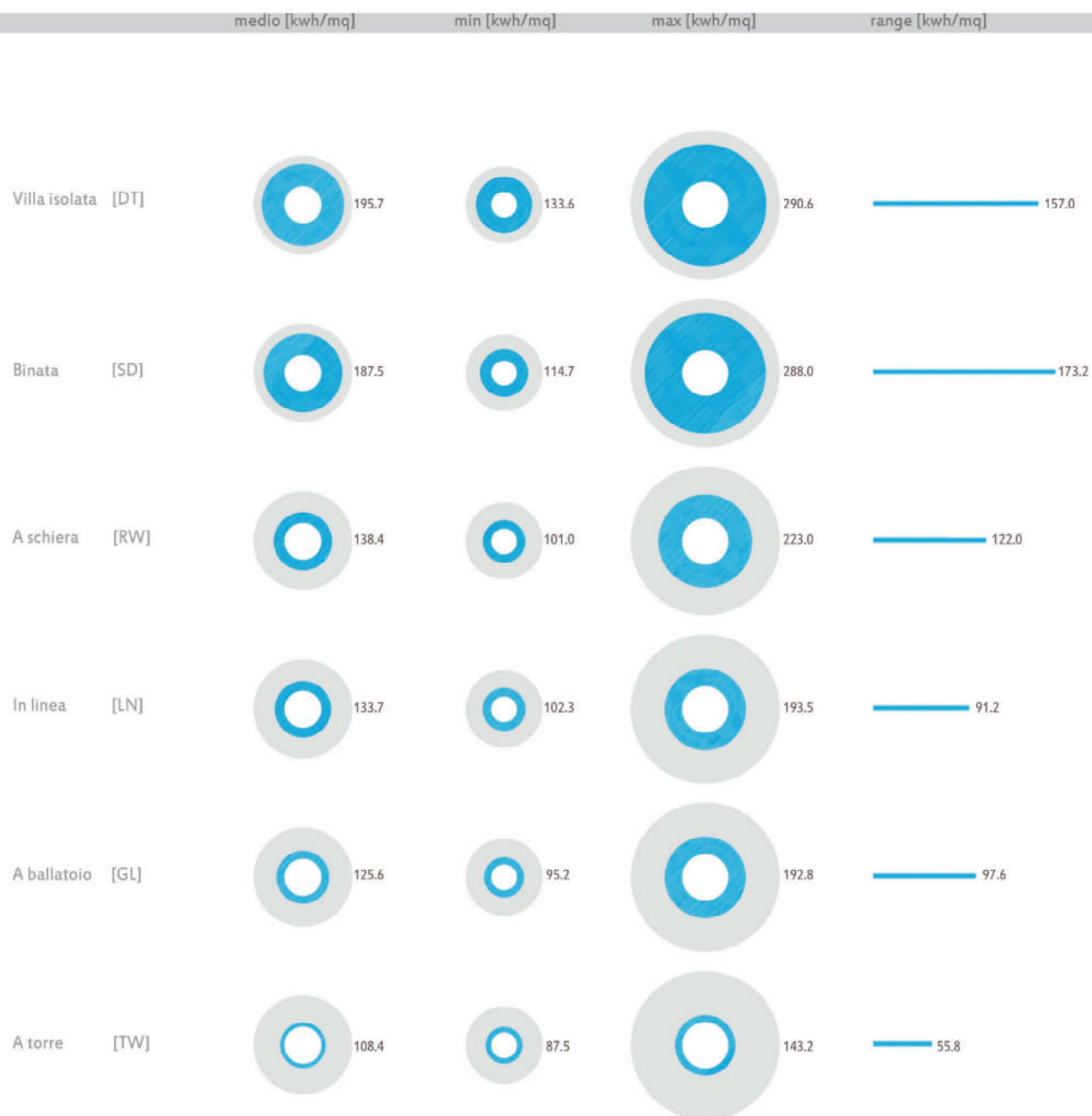
FABBISOGNO E UNIFORMITÀ TIPOLOGICA



[T72] FABBISOGNO ENERGETICO E AGGREGATO

Aggregazione dei risultati energetici per serialità aggregativa, uniformità tipologica e tipi edilizi prevalenti. La domanda energetica è stata calcolata mensilmente per ogni unità edilizia e quindi restituita come fabbisogno energetico annuale in kWh/mq. Per ogni campione è stata calcolata la media del fabbisogno per aggregato, i valori massimi e minimi riscontrabili tra le unità edilizie componenti e il relativo intervallo di variazione. In grigio (sopra) sono riportati i range di oscillazione di tali valori sui 24 campioni, in azzurro le loro medie calcolate per le diverse categorie di aggregazione. Nella lettura per serialità aggregativa e per uniformità tipologica, le medie si riferiscono quindi a 2 gruppi di 12 campioni. Nell'analisi per tipi edilizi prevalenti, le medie sono calcolate per 6 gruppi di 4 campioni aggregativi.

FABBISOGNO E TIPO EDILIZIO



Simulazione di incremento dei livelli prestazionali degli involucri

L'analisi dell'incidenza dell'aggregato è stata condotta assumendo come invarianti di calcolo tutti i parametri non influenzati dal contesto aggregativo dell'edilizia. Come illustrato precedentemente, i valori di trasmittanza degli elementi opachi e trasparenti degli involucri sono stati assunti come costanti per tutti gli edifici campionati. In fase conclusiva è interessante notare la variazione del comportamento energetico dell'edilizia aggregata al variare anche di tali parametri, simulando quindi un'eventuale operazione di retrofit sui campioni. A tale scopo sono stati individuate dieci soglie progressive di valori di trasmittanza per gli involucri. L'incremento proporzionale dell'efficienza di isolamento è stato considerato proporzionale sia per gli elementi opachi che per gli elementi vetrati delle bucaure.

simulazione di retrofit
energetico

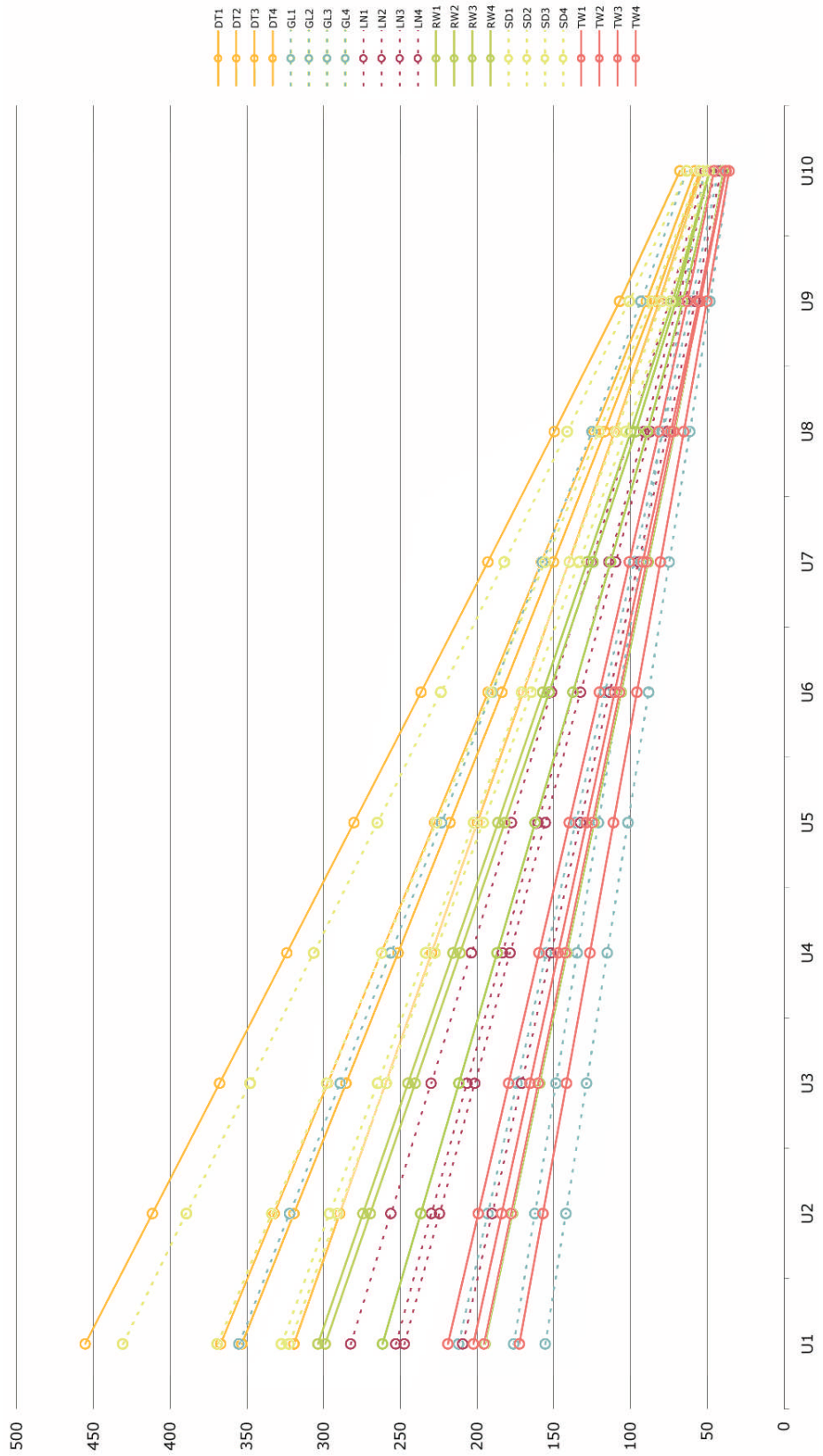
	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	U9	U10
U _o	2.40	2.15	1.90	1.65	1.40	1.15	0.90	0.65	0.45	0.15
U _t	4.30	4.00	3.70	3.40	3.10	2.80	2.50	2.20	1.19	1.60

[T73] valori di incremento progressivo di trasmittanza delle porzioni opache [U_o] e trasparenti [U_t] degli involucri applicati nella simulazione di retrofit sui campioni di aggregato

La tabella [T73] riassume i valori progressivi di trasmittanza degli involucri applicati nella simulazione. I nuovi dati sono stati quindi inseriti nel database e, per ciascuna soglia di trasmittanza, sono stati ricalcolati i fabbisogni di energia mensile sia per il riscaldamento che il raffrescamento estivo. Gli altri parametri di calcolo non sono stati alterati.

I risultati ottenuti, riassunti nella tabella [T74], illustrano la lineare riduzione dei fabbisogni espressi in kWh/mq annuo rispetto alla progressiva incremento delle prestazioni dell'involucro.

È interessante notare come, pur non presentando evidenti punti di flesso, la diminuzione dei fabbisogni non risulti proporzionale per tutti i campioni. Le tipologie con maggior fabbisogno energetico, case isolate (DT) e binate (SD), riducono maggiormente i propri fabbisogni al diminuire della trasmittanza d'involucro; mentre per altre tipologie più performanti per compattezza media, la riduzione è minore e il miglioramento delle condizioni d'isolamento sembra incidere meno marcatamente. In particolare alcuni campioni, tra cui due dei quattro aggregati di case a ballatoio (GL2 e GL3) e il campione di in linea seriali (LN1) presentano una riduzione dei fabbisogni non marcata rispetto agli altri aggregati. Non si nota una particolare differenza nella diminuzione dei fabbisogni per diversa serialità aggregativa o per mix tipologico coinvolto: al progressivo miglioramento dell'isolamento dell'involucro le differenze tra i campioni si riducono, lasciando intuire una generale riduzione dell'incidenza degli assetti morfologico-aggregativi.



[T74] Variazione della domanda energetica per soglie di incremento prestazionale degli involucri

L'incidenza dell'aggregato nel fabbisogno energetico

I risultati dell'indagine mostrano l'incidenza del contesto aggregativo sul comportamento energetico dell'edilizia, evidenziando i diversi livelli di prestazioni ottenibili dalla variazione degli assetti morfologici. Se infatti Ratti, Baker e Steemers (2005) avevano ipotizzato un margine di raddoppio dei fabbisogni energetici dovuto al solo assetto morfologico dell'aggregato edilizio, la ricerca non solo conferma tale stima, ma individua un intervallo più esteso tra i picchi massimi [DT1] e minimi [TW4] delle configurazioni analizzate, pari ad un incremento 2.5 volte maggiore della domanda energetica.

La componente più significativa di tale incidenza risulta essere la variazione del tipo edilizio prevalente nell'aggregazione, in quanto tale distinzione presenta maggiori ricadute nella definizione dei livelli di densità edilizia, compattezza, altezza media dei manufatti e contiguità degli involucri.

La scelta del tipo edilizio consente infatti una possibile riduzione della domanda energetica di circa il 45% rispetto al picco massimo riscontrato per gli aggregati di ville isolate. I campioni caratterizzati da impianto lottizzativo gerarchizzato invece presentano in media un fabbisogno inferiore del 13% rispetto ad configurazioni seriali, mentre tra aggregati tipologicamente uniformi e misti si osserva una riduzione più contenuta del 5% ca., corrispondente a soluzioni a maggior varietà di tipi edilizi.

incidenza delle
caratteristiche
aggregative

Per i campioni di edilizia a torre si sono osservati i livelli più contenuti di domanda energetica associati ad un ridotto intervallo di variazione dei fabbisogni che suggerisce una aggregazione uniformemente performante. Analogamente, il comportamento energetico di aggregati di edifici a ballatoio, in linea e a schiera, dimostrano che analoghi picchi di fabbisogni contenuti sono raggiungibili da edilizia ad aggregazione contigua, a fronte però di una maggior occupazione di suolo.

domanda energetica
e tipologia

In generale si assiste ad una netta distinzione tra tipi mono e multi familiari, dai quali i primi si distinguono per la maggiore domanda energetica. Gli aggregati di edifici a schiera rappresentano l'unica tipologia monofamiliare che può raggiungere, in alcune configurazioni, un rendimento energetico dell'aggregato paragonabile agli altri tipi multi-familiari più performanti.

Il miglioramento energetico riscontrabile al diminuire della serialità aggregativa e dell'uniformità tipologica è riconducibile ad una maggiore occupazione del suolo e contiguità dell'edilizia. A queste caratteristiche si associano livelli inferiori di irraggiamento medio delle facciate e una minore incidenza dell'orientamento delle stesse. Se puntualmente quindi un singolo edificio può risultare sfavorito dall'articolarsi dell'aggregato, il rendimento energetico dell'aggregazione risulta mediamente più performante, per quanto la riduzione di domanda energetica risulti più contenuta.

In oltre, rispetto agli alti livelli di densità analizzati dalla Aarhus Arkitektenschoolen (Bæk Pedersen 2009) i risultati suggeriscono l'esistenza per FAR<2 di un rapporto di correlazione tra densificazione ed incremento dell'efficienza energetica.

L'incidenza dell'aggregato edilizio risulta pertanto maggiormente correlata alle proprietà morfologiche sintetizzate dai tipi edilizi prevalenti. Nonostante questo, è interessante notare che le tipologie maggiormente diffuse nell'ambito urbano di Rotterdam, le case *a schiera e in linea*, corrispondano alle aggregazioni edilizie che non presentano né i più alti né i più contenuti livelli di domanda energetica. Tale considerazione riporta in evidenza i connotati economico-culturali sottesi (se non prevalenti) alla scelta del tipo edilizio. Pertanto è preferibile intendere la lettura dei risultati ottenuti come spunto per una diversificazione delle politiche energetiche in ambito aggregativo più che una metodologia di elezione di un tipo edilizio energeticamente performante.

La simulazione di retrofit energetico [T74] suggerisce inoltre una riduzione dell'incidenza degli assetti morfologico-aggregativi all'aumento delle prestazioni di isolamento dell'involucro. Per futuri approfondimenti o ricerche sul comportamento energetico della morfologia edilizia, i risultati suggeriscono quindi un'analisi per elevati livelli di trasmittanza. L'edilizia ad alta efficienza energetica, infatti, presenta differenze più contenute o di difficile lettura dell'incidenza dei parametri morfologici.

Parte III bibliografia

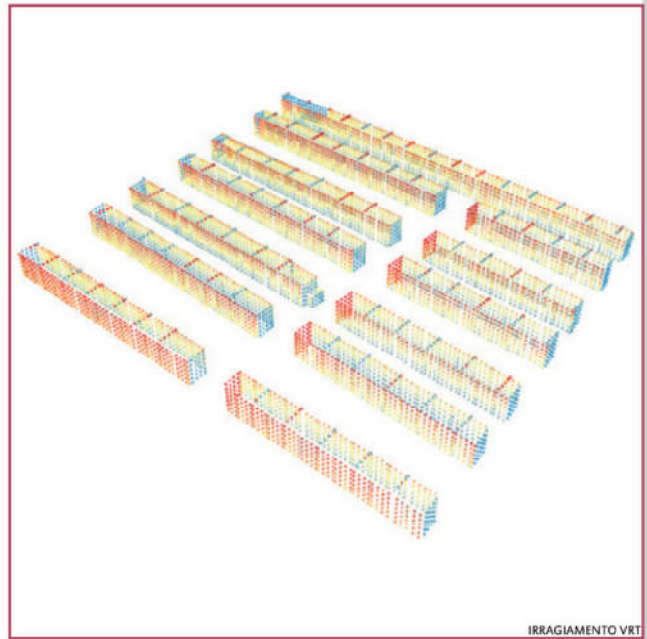
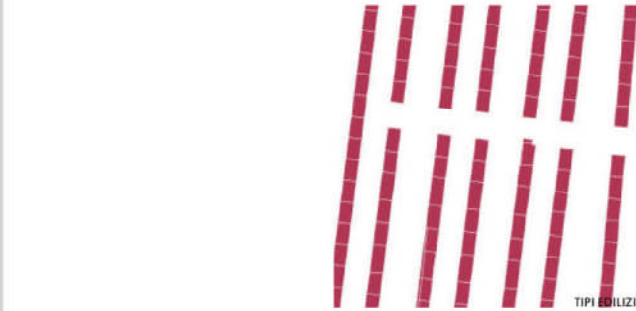
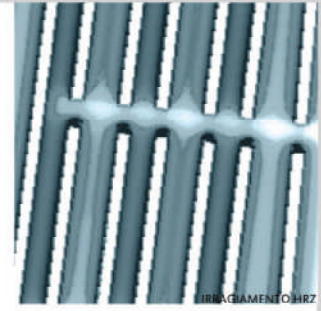
- Andeweg M.T., Koopman F.W.A.,
2007. State of the Art: The Netherlands. in M.T.Andeweg, S.Brunoro, L.G.W.Verhoef (eds.). Cost C16: improving the quality of existing urban building envelopes. State of the art. Amsterdam: IOS Press.
- APUR Atelier parisien d'urbanisme.
2007. Consommations d'énergie et émissions de gaz à effet de serre liées au chauffage des résidences principales parisiennes. Paris: APUR.
- Bæk Pedersen P.
2009. Sustainable compact city. Bæredygtig kompakt. Århus: Arkitektskolens Forlag.
- Bahu J.M.
2010. Simulation de la consommation d'énergie finale dans le résidentiel grâce à une modélisation orientée-objet. Cas de Paris. Thèse non publiée. Compiègne: Université de Technologie de Compiègne - European Institute For Energy Research
- Baker N., Steemers K.
1998. Energy and environment in architecture. London: E. & F. N. Spon.
- Butera F.
1995 Architettura e ambiente. Manuale per il controllo della qualità termica, luminosa e acustica degli edifici Milano: Etas Libri
- EN.ISO.6946.
Building components and building elements. Thermal resistance and thermal transmittance. Calculation method.
- EN.ISO.10077.
Thermal performance of windows, doors and shutters.Calculation of thermal transmittance.
- Golany, S.G. 1995 Urban design morphology and thermal performance. in Atmospheric Environment. vol30 n3 pp455-465
- Hossain I.
2011. Development of an Insolation Calculation Method for 3D Urban Objects. Unpublished thesis. Hochschule für Technik Stuttgart.
- NEN.EN.ISO.13790:2008
Energy performance of buildings. Calculation of energy use for space heating and cooling.
- Ratti C., Baker N., Steemers K.
2005. Energy consumption and urban texture. in Energy and Buildings. n37 pp762-776.
- Ratti C., Richens P.
2001. Urban Texture Analysis with Image Processing Techniques. Sensable City lab, MIT
- Salat S.
2009. Energy loads, CO₂ emissions and building stocks: Morphologies, typologies, energy systems and behaviour. in Building Research and Information. n37 pp598-609.
- Steadman J.P.
1979. Energy and patterns of land use. In D.Watson (ed.) Energy conservation through building design. McGraw-Hill pp246-260
- Steemers K., Baker N., Crowther D., Dubiel J., Nikolopoulou M., Ratti C.
1997. City texture and Microclimate. in Urban Design Studies. n3 pp25-49
- Szokolay S.V.
2004 Introduction to architectural science: the basis of sustainable design Oxford: Architectural Press

Acknowledgments In conclusion I want to express my gratitude to L.Mezquita Gonzalez and F.Orsini for the competences and the constant feedback they provided me during all the this work and to my colleagues dipl.Ing.G.LaStanza, prof.Dr.D.Cargo and Dipl.M.A. C.Buden to whom I am indebted for their support.

My personal thank go to the Karlsruhe research team of EIFER, in particular to C.Keim, J.M.Bahu, I.Hossain, P.Viejo, S.M.Murshed and A.David for providing me the opportunity to work in an extremely stimulating research environment.

I would also like to thank M.Konrad, M.Lanna, M.Papa, R.Gilio, S.Santos, N.Vos, P.Faleschini, B.Schümmer, V.Panhuysen and J.T.ten Kate for helping me in getting familiar with the complexity of Rotterdam, and my colleagues in Italy, F.Raco, C.Vannucci, M.Zuppiroli, L.Belatti, A.Pasquato and M.V.Giordano.

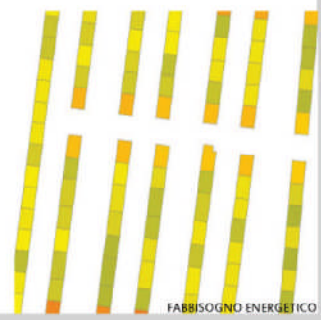
SCHEDA CAMPIONI



LN1
CARNISSE

FAR1.27
occupazione suolo
% 31.7
S/V 0.32
Sshrd/S
0.39

tipo prevalente
in linea
N.di tipologie presenti
 $\tau 1$
angolo tra edifici
 $\Delta 2.4$
energy demand
kWh/m²y 151.4



LN2

110-MORGEN

tipo prevalente
in linea

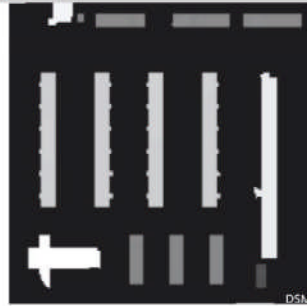
N.di tipologie presenti

$\tau 4$

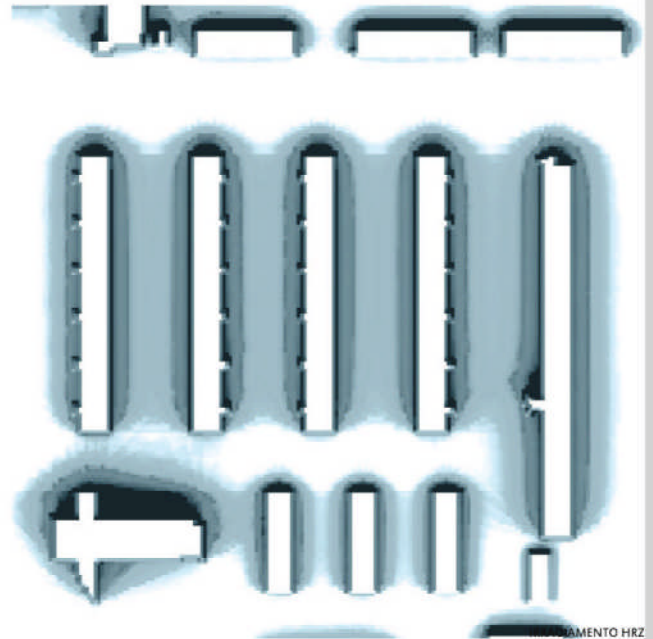
angolo tra edifici
 $\Delta 90.9$

energy demand

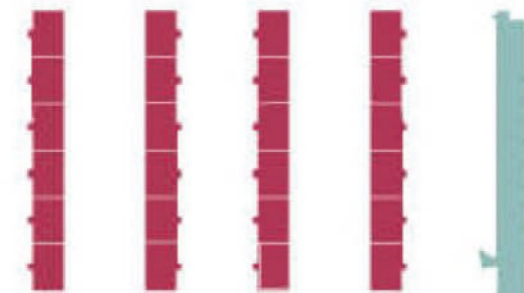
kWh/m²y 137.1



DSM



RENDERING HRZ



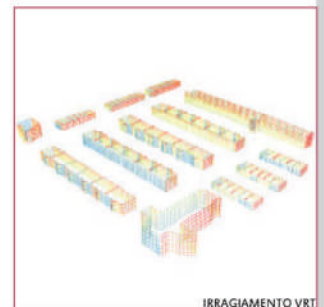
CATASTALE

FAR0.88

occupazione suolo
% 22.4

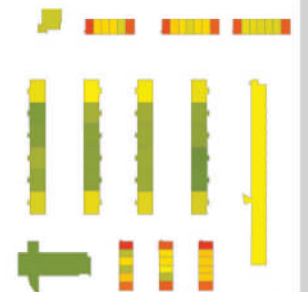
S/V 0.33

Sshrd/S
0.57



IRRAGIAMENTO VRT

TIPI EDILIZI



FABBISOGNO ENERGETICO



IRRAGIAMENTO HRZ

LN3

RUBROEK



DSM

tipo prevalente
in linea

N.di tipologie presenti

$\tau 2$

angolo tra edifici
 $\Delta 169.6$

energy demand

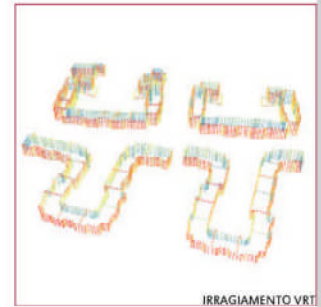
kWh/m²y 132.6

FAR0.99

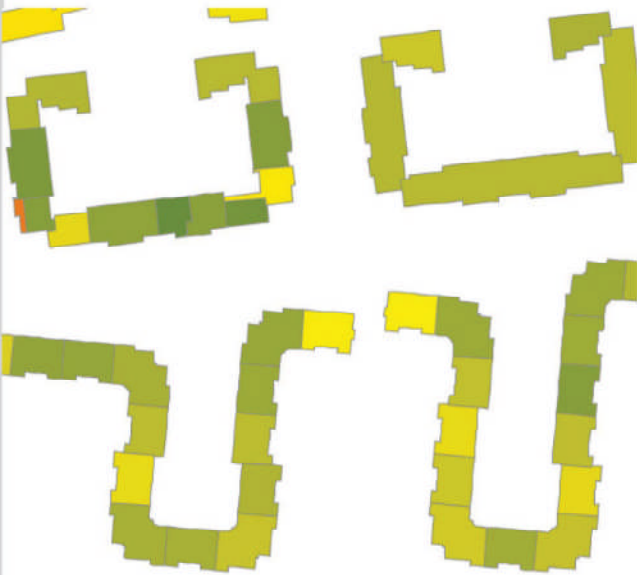
occupazione suolo
% 24.5

S/V 0.32

Sshrd/S
0.37



IRRAGIAMENTO VRT



FABBISOGNO ENERGETICO



CATASTALE

TIPI EDILIZI





FAR1.54

occupazione suolo
% 30.9
S/V 0.27
Sshrd/S
0.90



tipo prevalente
in linea
N.di tipologie presenti

$\tau 5$

angolo tra edifici
 $\Delta 175.5$

energy demand
kWh/m²y 113.6



CATASTALE



IRRAGIAMENTO VRT



FABBISOGNO ENERGETICO

UTILIZZI



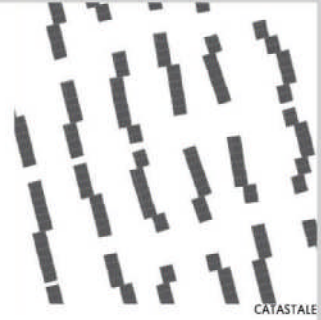


FAR0.62

occupazione suolo
% 20.6

S/V 0.43

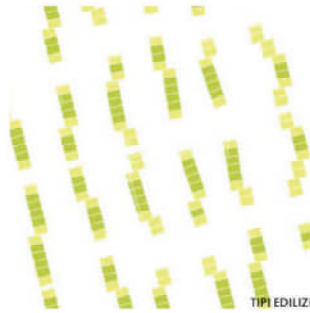
Sshrd/S
0.65



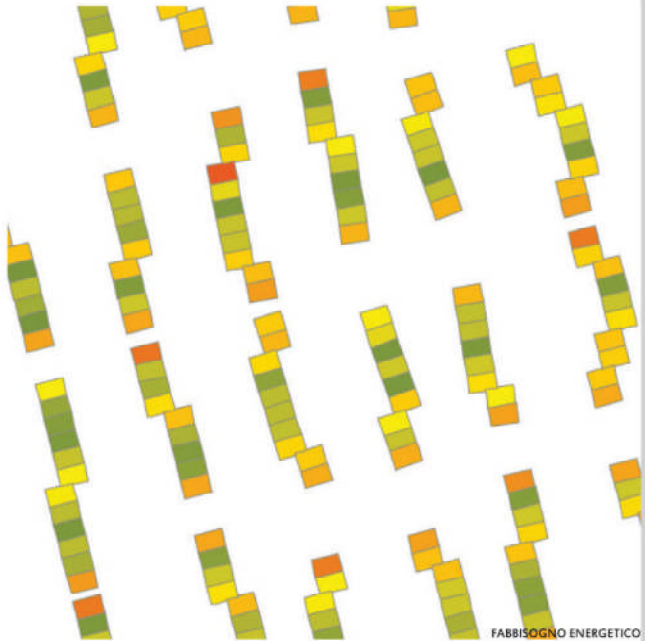
CATASTALE



IRRAGIAMENTO VRT



TIPI EDILIZI



FABBISOGNO ENERGETICO

RW1
BINNENHOF

tipo prevalente

a schiera

N.di tipologie presenti

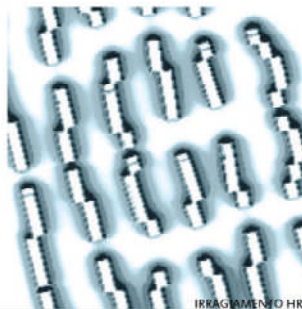
$\tau 2$

angolo tra edifici

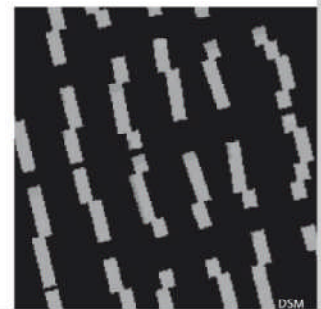
$\Delta 6.2$

energy demand

kWh/m² 153.0

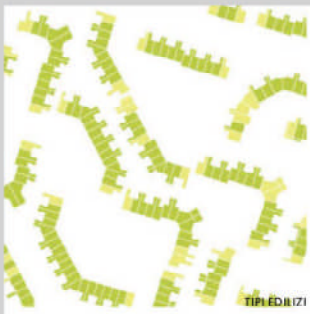


IRRAGIAMENTO HRZ



DSM



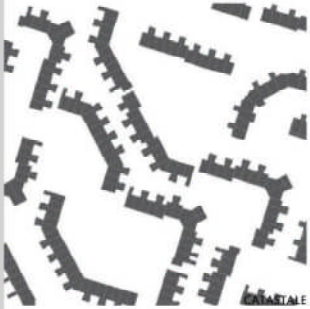


FAR0.85

occupazione suolo
% 28.4

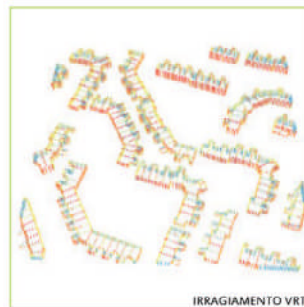
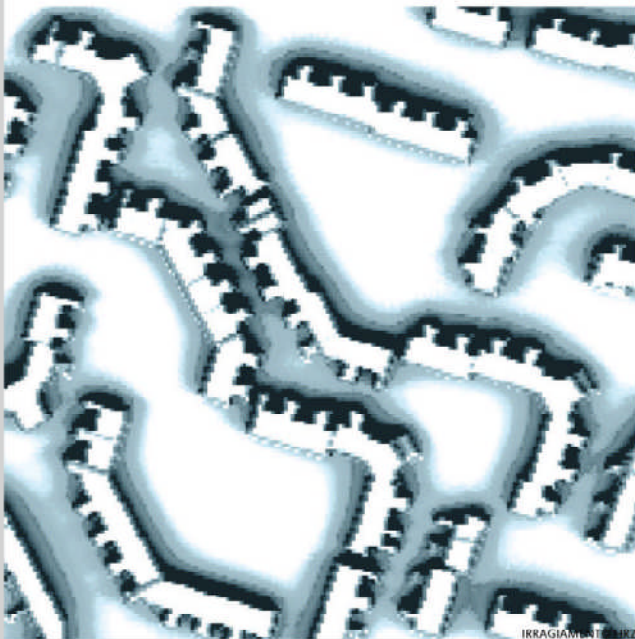
S/V0.44

Sshrd/S
0.79



RW3
HOOGVLIET

tipo prevalente
a schiera
N.di tipologie presenti
 $\tau 2$
angolo tra edifici
 $\Delta 140.8$
energy demand
kWh/m²y 157.2



RW4

DELFSHAVEN



FAR1.87

occupazione suolo
% 35.2

S/V0.26

Sshrd/S
1.16



TIPI EDILIZI

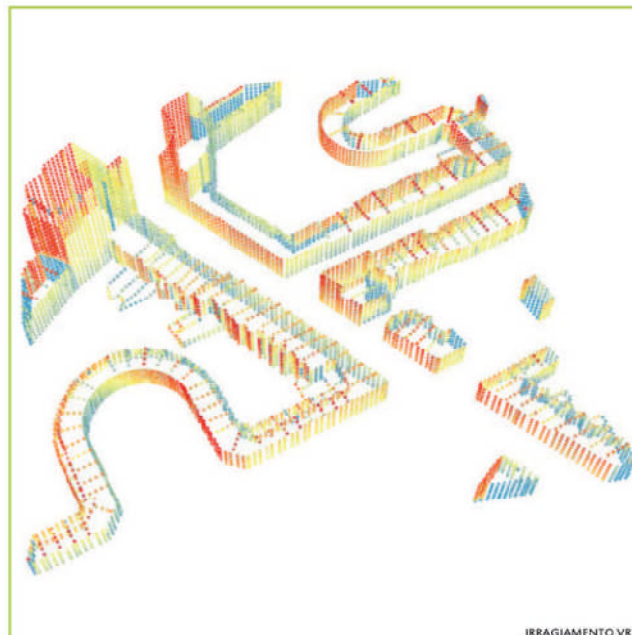


CATASTALE



ABBISOGNO ENERGETICO

tipo prevalente
a schiera
N.di tipologie presenti
τ5
angolo tra edifici
 $\Delta 154.1$
energy demand
kWh/m²y 106.1



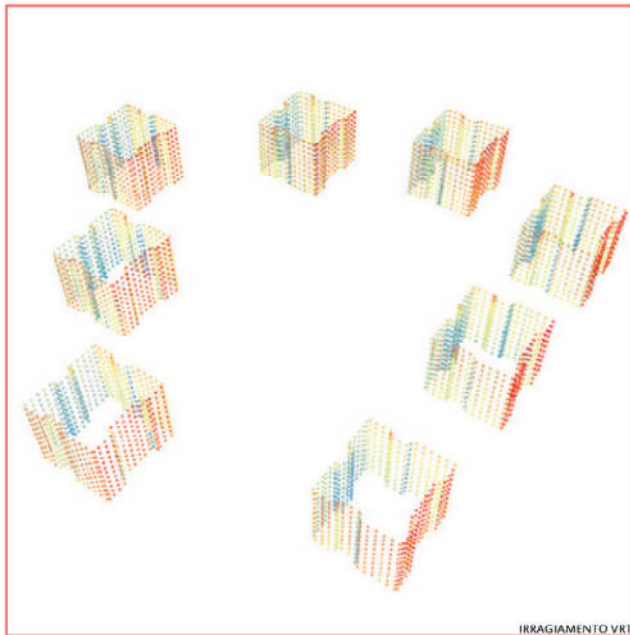
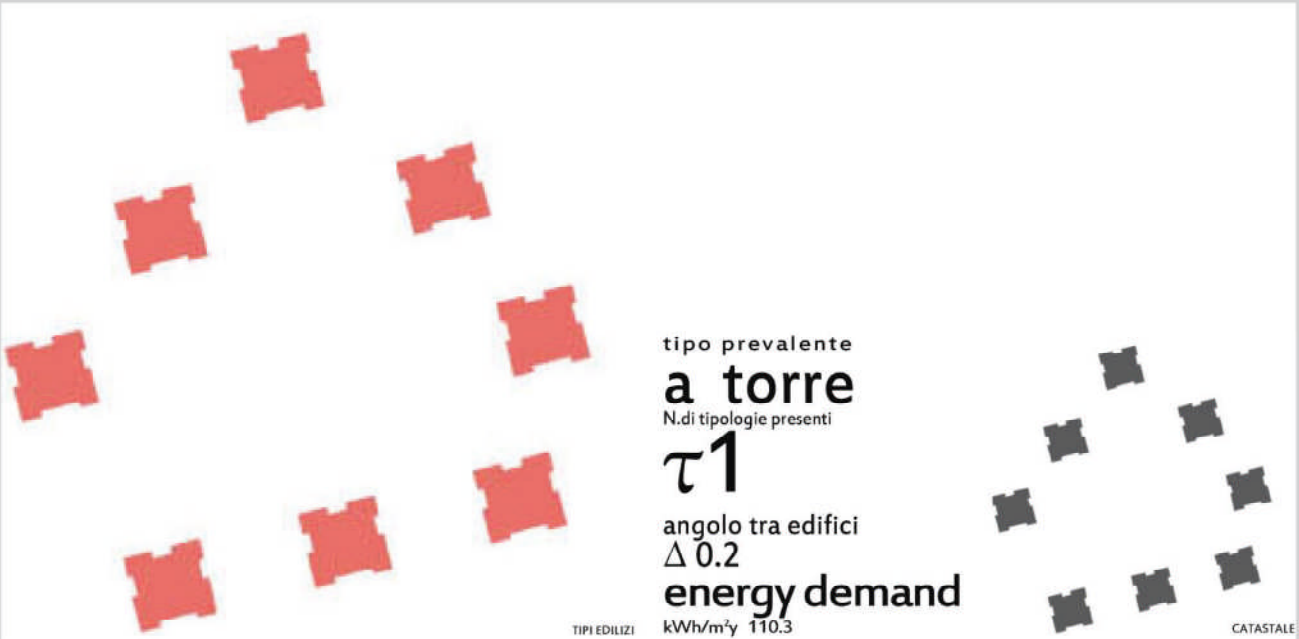
IRRAGIAMENTO VRT



IRRAGIAMENTO BR

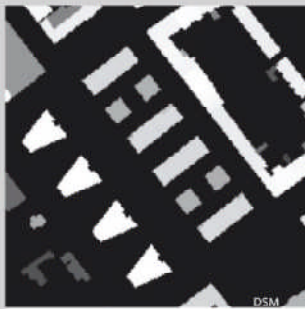


DSM



FAR0.84
occupazione suolo
% 10.5
S/V 0.26
Sshrd/S
0.00



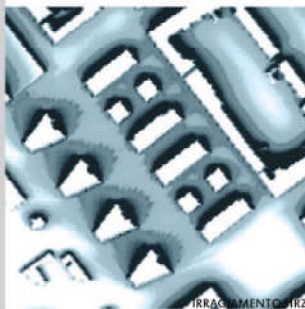


TW2

AFRIKAANDERWIJK

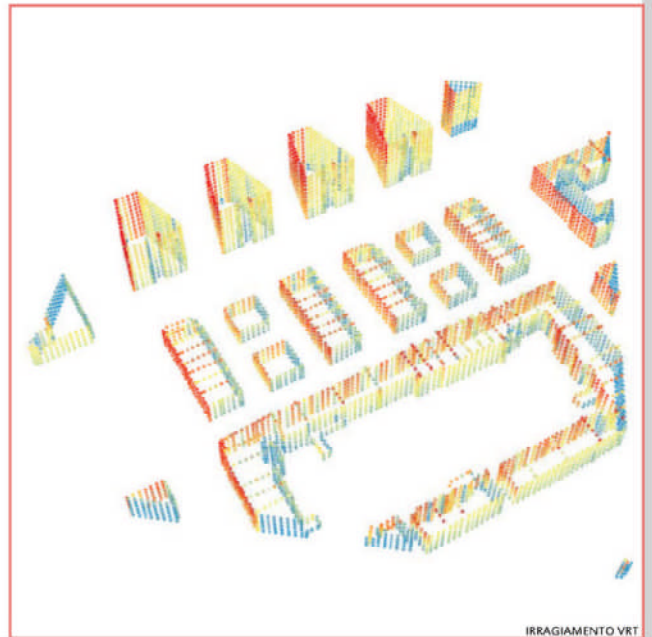


tipo prevalente
a torre
N.di tipologie presenti
 τ 5
angolo tra edifici
 Δ 90.2
energy demand
kWh/m²y 120.3



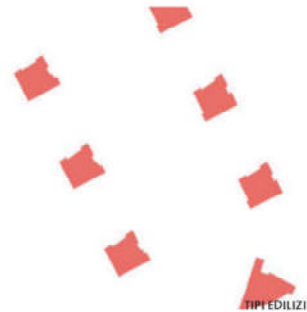
FAR1.49

occupazione suolo
% 28.1
S/V 0.28
Sshrd/S
1.01



TW3

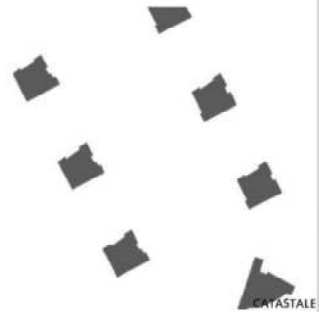
DE ESCH



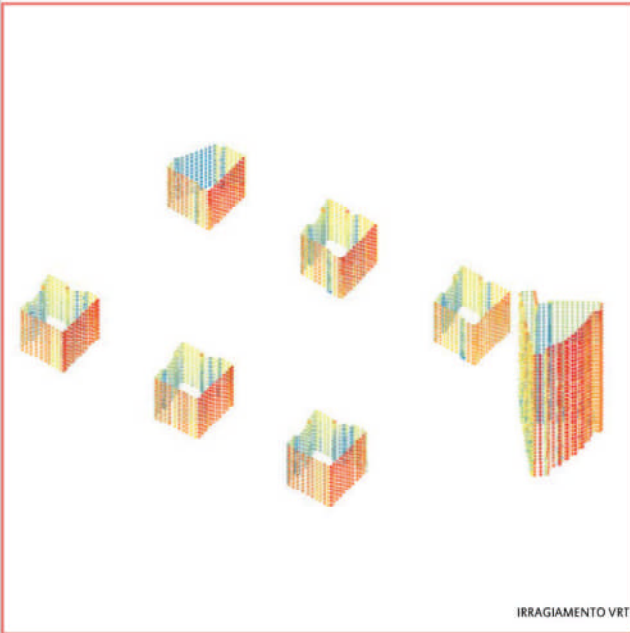
TIPEDILIZI



FABBISOGNO ENERGETICO



CATASTALE



IRRAGIAMENTO VRT

tipo prevalente
a torre

N.di tipologie presenti

$\tau 1$

angolo tra edifici
 $\Delta 0.2$

energy demand
kWh/m²y 94.2



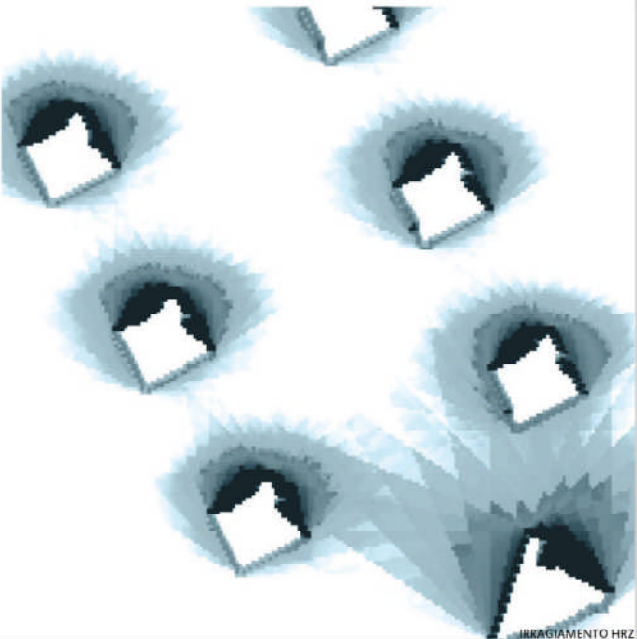
FARO.91

occupazione suolo

% 8.6

S/V 0.24

Sshrd/S
0.00

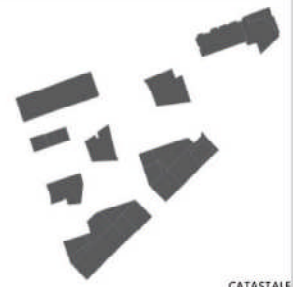


IRRAGIAMENTO HRZ



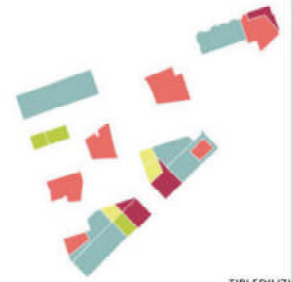
TW4

STADSDRIEHOEK

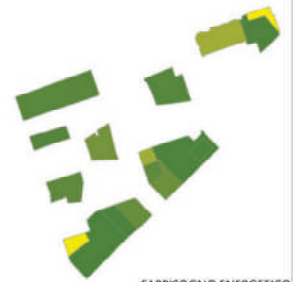


CATASTALE

tipo prevalente
a torre
N.di tipologie presenti
 $\tau 5$
angolo tra edifici
 $\Delta 117$
energy demand
kWh/m²y 95.8



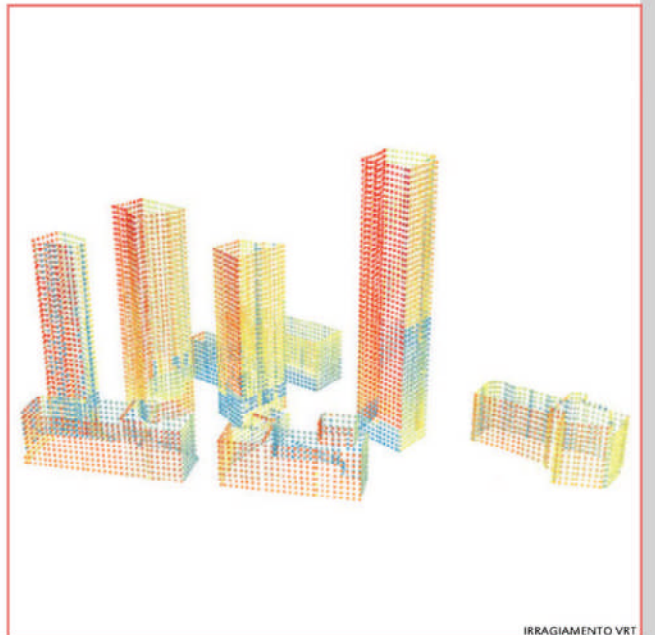
TIPI EDILIZI



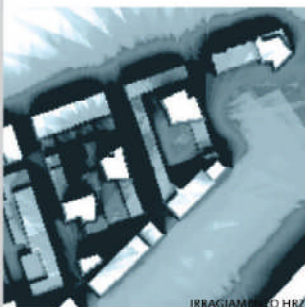
FABBISOGNO ENERGETICO

FAR1.76

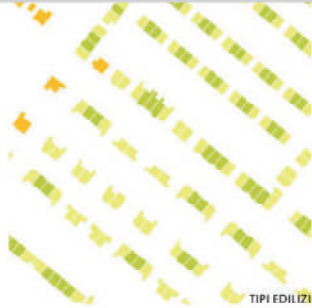
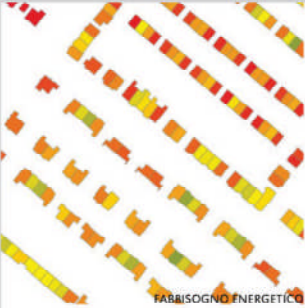
occupazione suolo
% 13.8
S/V 0.23
Sshrd/S
0.57



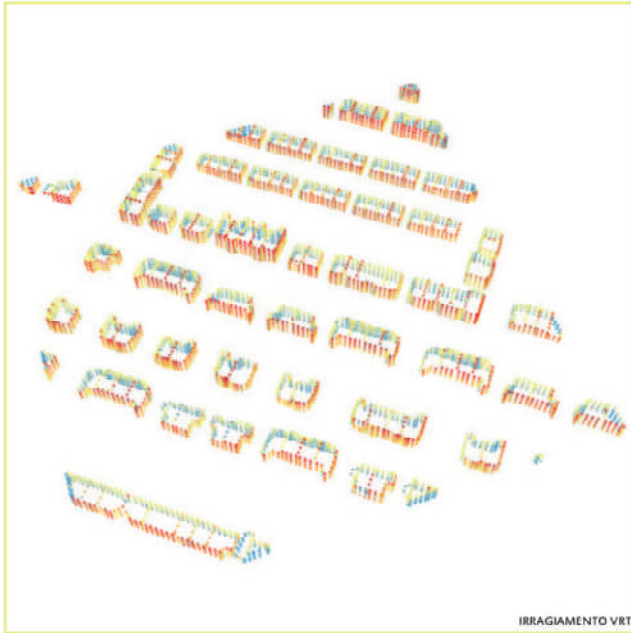
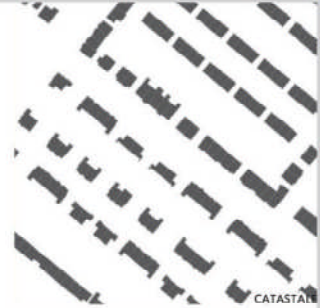
IRRAGIAMENTO VRT



IRRAGIAMENTO HRZ



SD1
SCHIEBROEK



FAR0.60

occupazione suolo
% 21.9

S/V 0.50

Sshrd/S
0.50

tipo prevalente

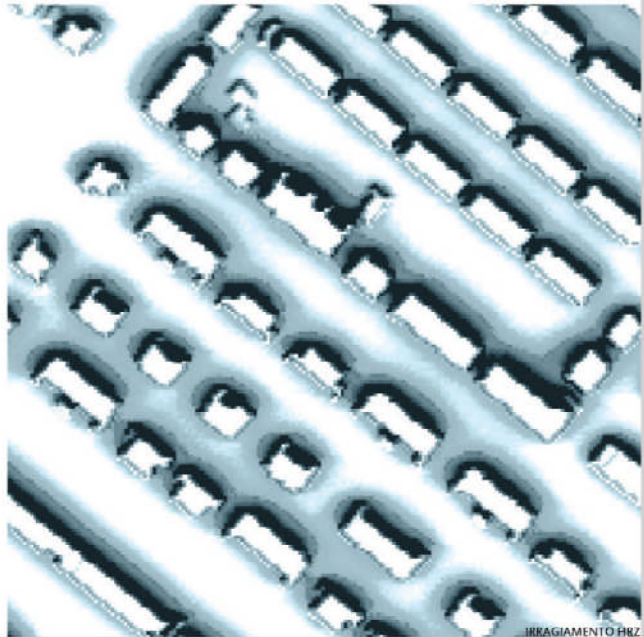
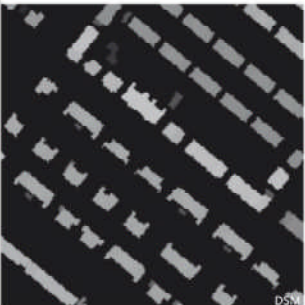
binata

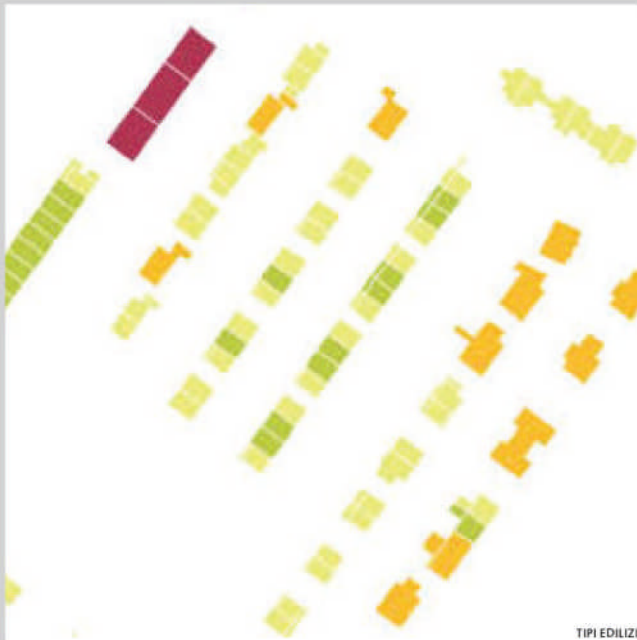
N.di tipologie presenti

$\tau 3$

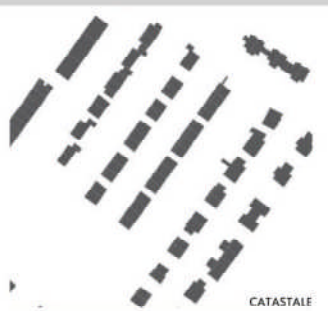
angolo tra edifici
 $\Delta 3.2$

energy demand
kWh/m²y 191.0





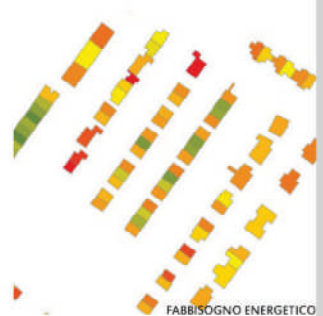
TIPI EDILIZI



CATASTALE



SD2
OUDELAND



FABBISOGNO ENERGETICO



IRRAGIAMENTO VRT

FARO.49

occupazione suolo
% 16.6

S/V 0.46

**Sshrd/S
0.43**

tipo prevalente

binata

N.di tipologie presenti

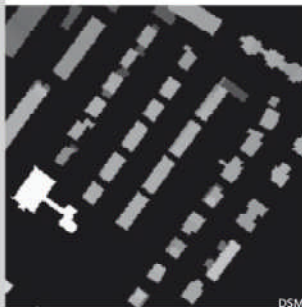
$\tau 5$

angolo tra edifici

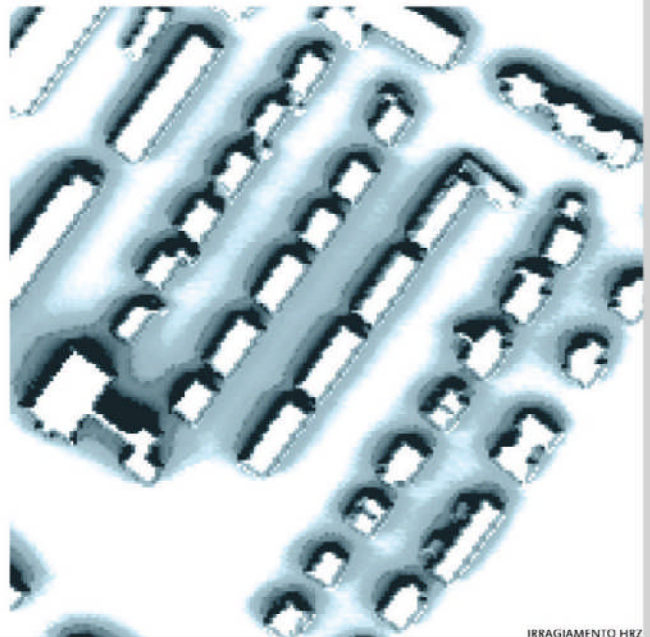
$\Delta 54.2$

energy demand

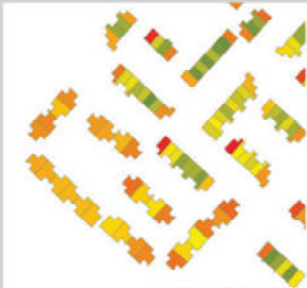
kWh/m²y 170.9



DSM



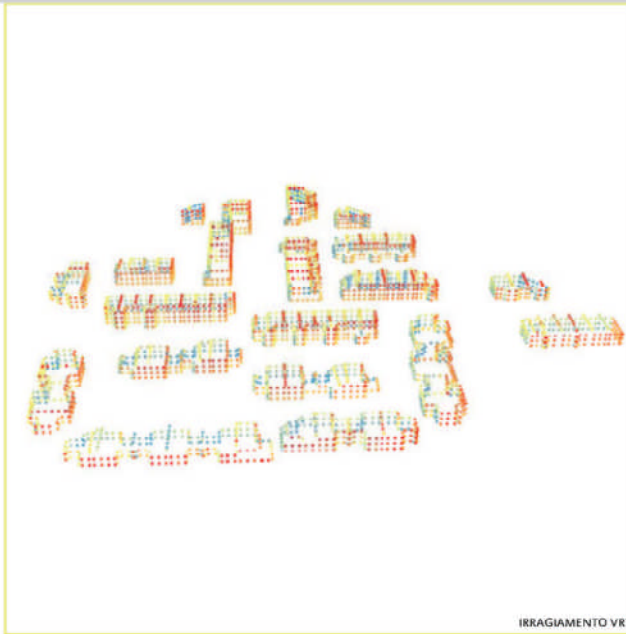
IRRAGIAMENTO HRZ



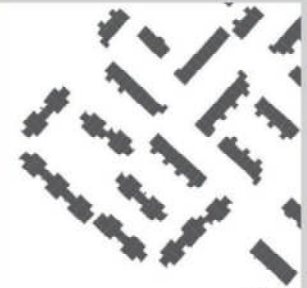
FABBISOGNO ENERGETICO



DSM



IRRAGIAMENTO VRI



CATASTALE

FARO.44

occupazione suolo
% 17.7

S/V 0.47

Sshrd/S
0.65

tipo prevalente

binata

N.di tipologie presenti

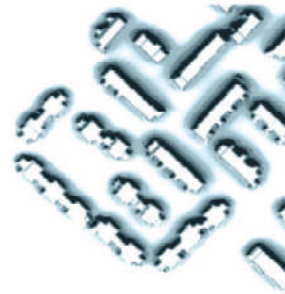
$\tau 2$

angolo tra edifici

$\Delta 124$

energy demand

kWh/m²y 164.6



IRRAGIAMENTO HRZ



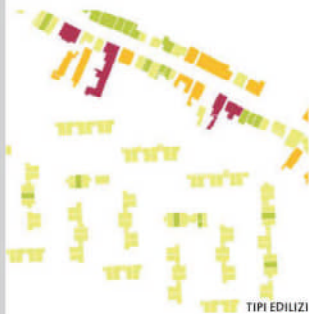
TIPI EDILIZI

SD3

NIEUWVERLAAT



CATASTALE



TIPI EDILIZI



IRRAGIAMENTO VRT



FABBISOGNO ENERGETICO

SD4
PERNIS

tipo prevalente
binata
N.di tipologie presenti
 $\tau 4$
angolo tra edifici
 $\Delta 54.2$
energy demand
kWh/m²y 156.7



DSM

FARO.44

occupazione suolo
% 17.7

S/V 0.47

Sshrd/S
0.65



IRRAGIAMENTO



DSM

tipo prevalente
villa isolata

N.di tipologie presenti

$\tau 1$

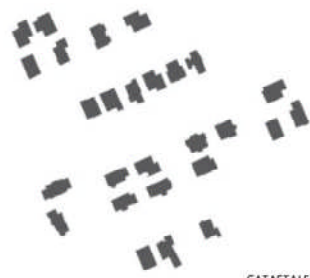
angolo tra edifici
 $\Delta 9.8$

energy demand

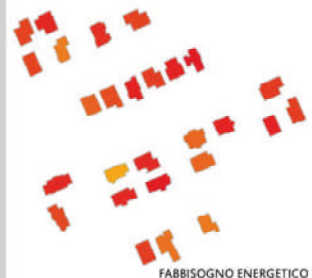
kWh/m²y 236.5



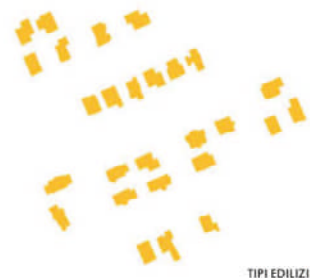
IRRAGIAMENTO HRZ



CATATALE



FABBISOGNO ENERGETICO



TIPI EDILIZI

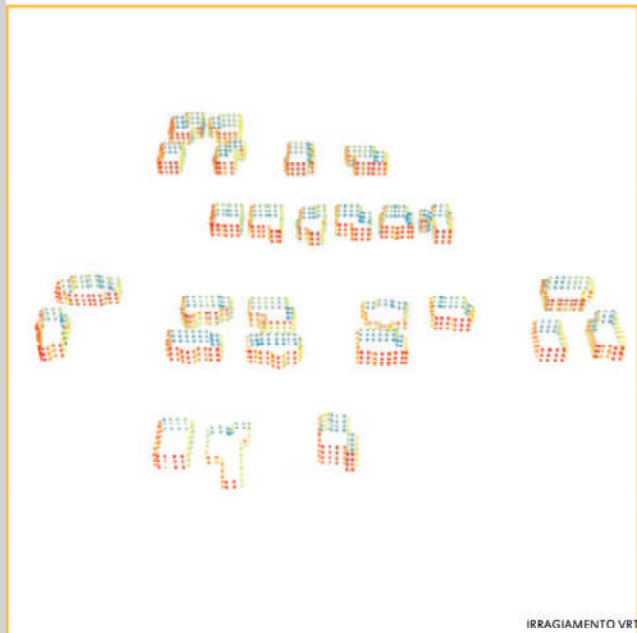
FAR0.18

occupazione suolo

% 8.6

S/V 0.56

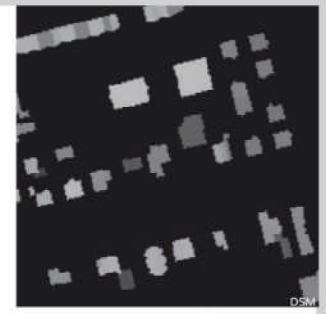
Sshrd/S
0.00



IRRAGIAMENTO VRT

DT1

NESSELANDE



DT2

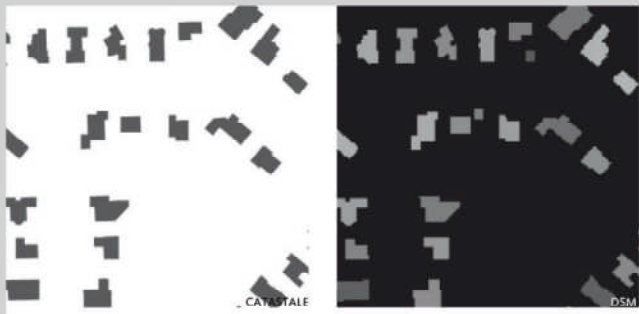
'S- GRAVENLAND

tipo prevalente
villa isolata
 N.di tipologie presenti
 $\tau 4$
 angolo tra edifici
 $\Delta 85.4$
energy demand
 kWh/m²y 183.8

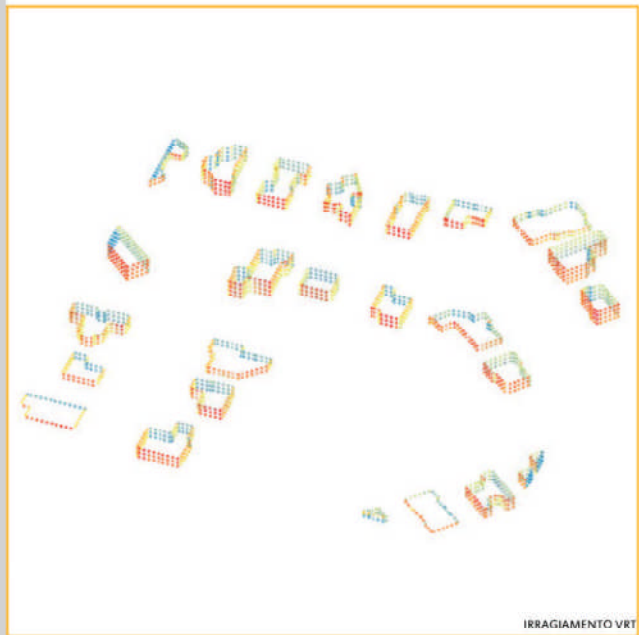
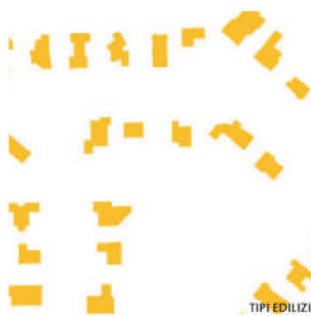


FAR0.31

occupazione suolo
% 13.0
 S/V 0.48
 Sshrd/S
 0.42



tipo prevalente
villa isolata
 N.di tipologie presenti
 $\tau 1$
 angolo tra edifici
 $\Delta 159.1$
energy demand
 kWh/m²y 192.7



FAR0.31

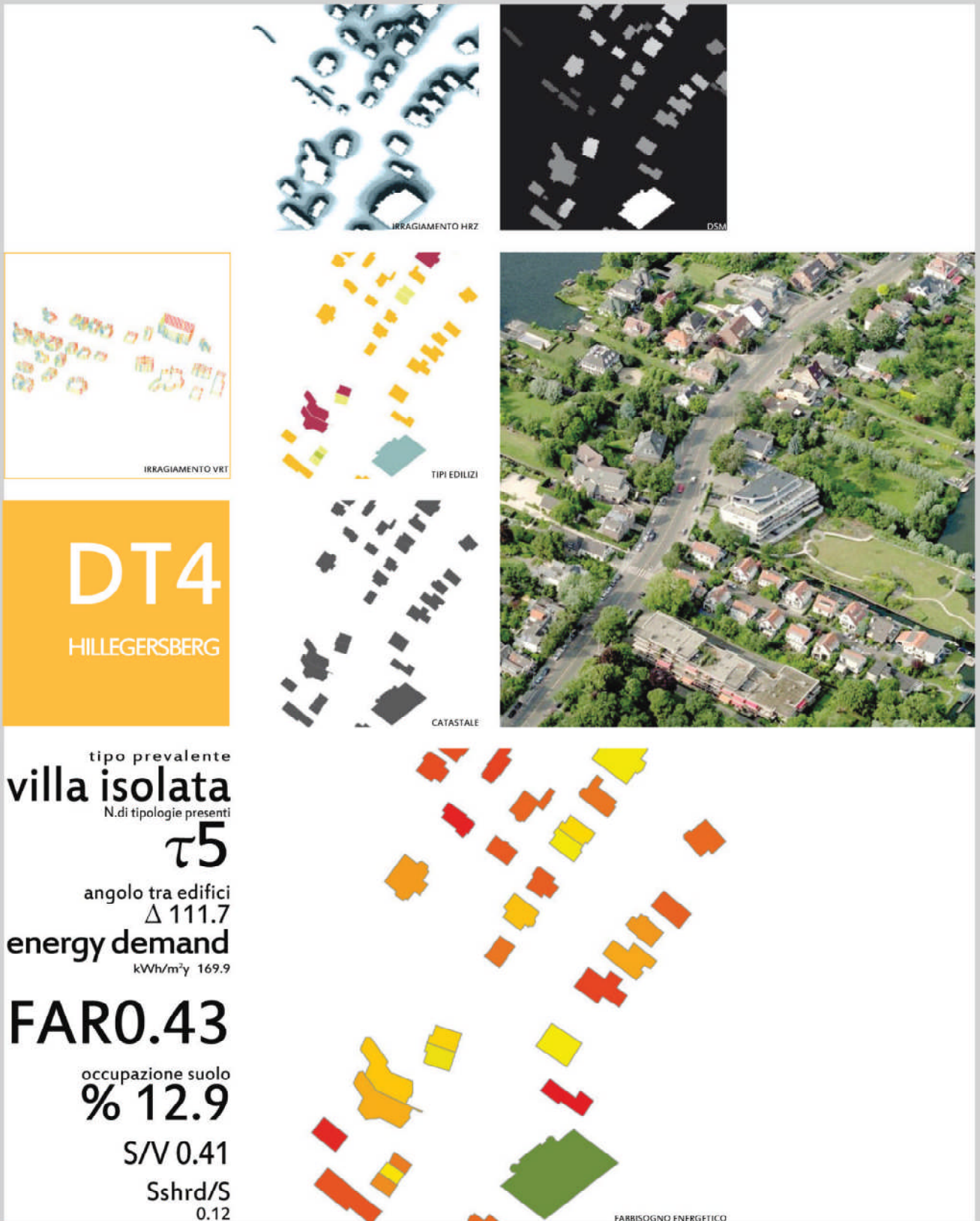
occupazione suolo
% 14.5

S/V 0.48

Sshrd/S
 0.00

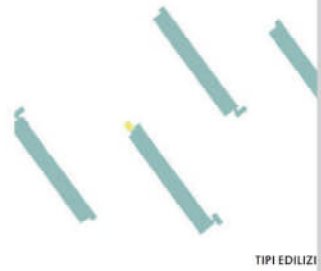
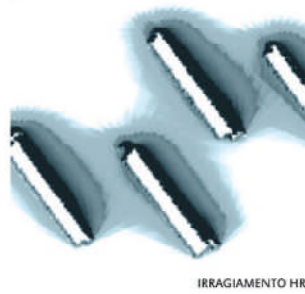
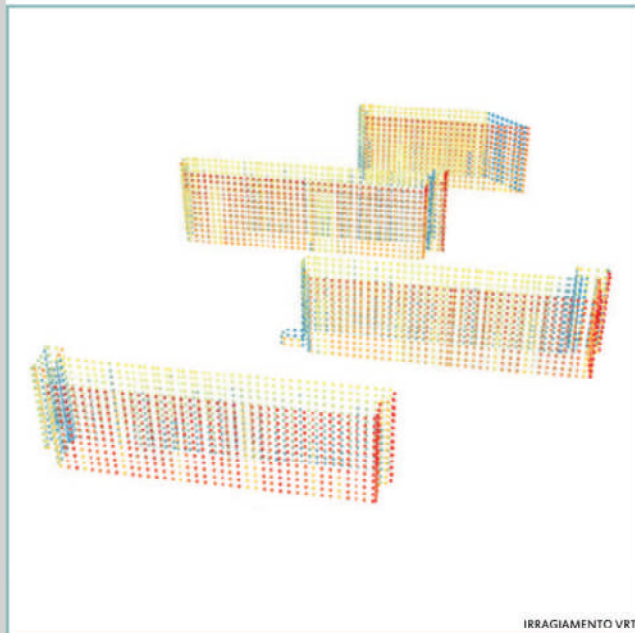
DT3

MOLENLAANKWARTIER





tipo prevalente
a ballatoio
 N.di tipologie presenti
 $\tau 2$
 angolo tra edifici
 $\Delta 0.5$
energy demand
 kWh/m²y 116.7



FAR0.91
 occupazione suolo
% 9.2
S/V 0.27
Sshrd/S
0.04

GL1
 KLEINPOLDER

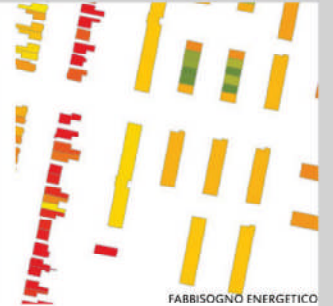
GL2
OUD IJSELMONDE

FAR0.65

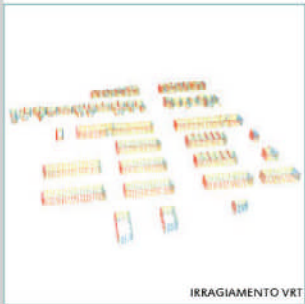
occupazione suolo
% 22.8

S/V 0.44

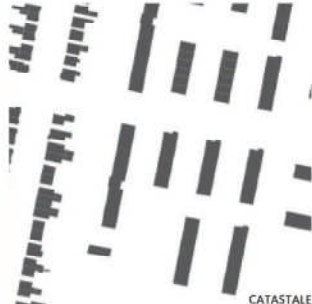
Sshrd/S
0.33



FABBISOGNO ENERGETICO

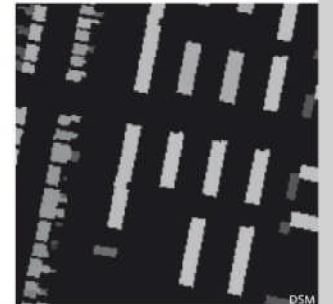


IRRAGIAMENTO VRT



CATATALE

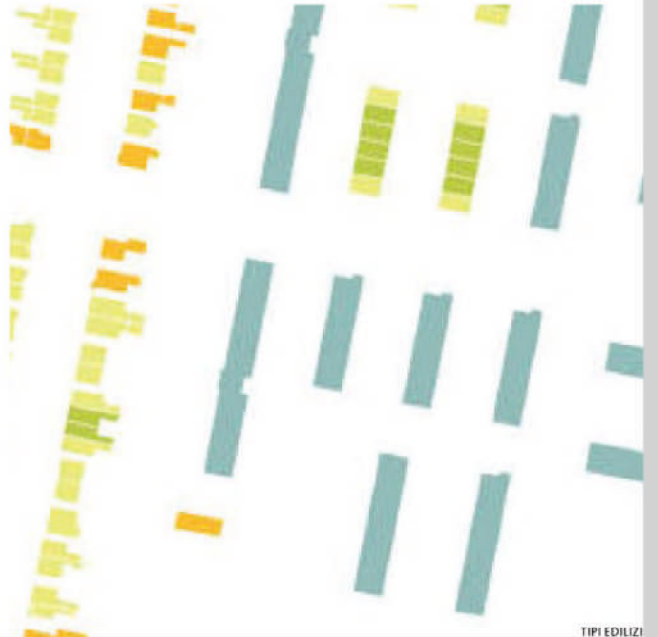
tipo prevalente
a ballatoio
N.di tipologie presenti
 $\tau 4$
angolo tra edifici
 $\Delta 68.7$
energy demand
kWh/m²y 190.3



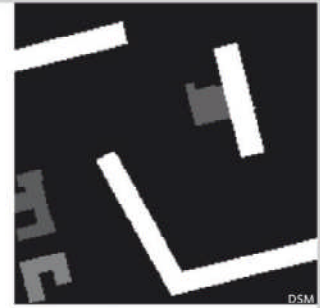
DSM



IRRAGIAMENTO HRZ



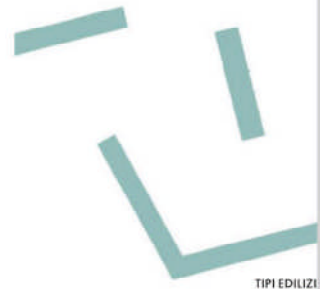
TIPI EDILIZI



tipo prevalente
a ballatoio
 N.di tipologie presenti
 $\tau 1$
 angolo tra edifici
 $\Delta 140.8$
energy demand
 kWh/m²y 107.1

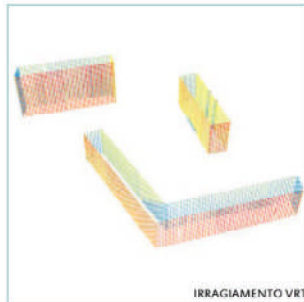


FABBISOGNO ENERGETICO



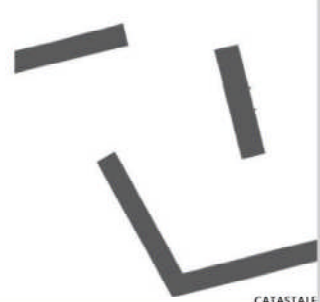
TIPI EDILIZI

GL3
 OMMOORD



IRRAGIAMENTO VRT

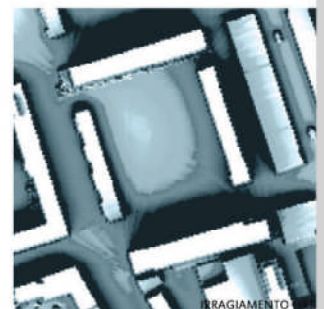
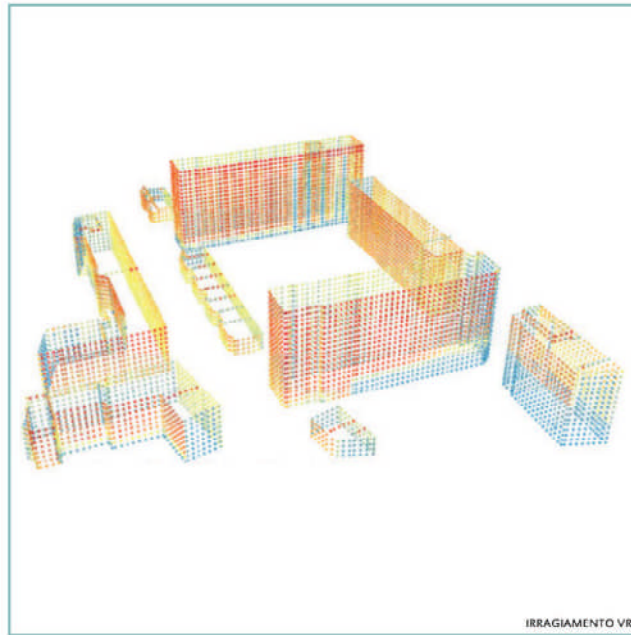
FAR1.44
 occupazione suolo
% 13.3
 S/V 0.19
 Sshrd/S
 0.00



CATASTALE

GL4

LIJNBAAN



tipo prevalente
a ballatoio

N.di tipologie presenti

$\tau 4$

angolo tra edifici
 $\Delta 109.8$

energy demand
kWh/m²y 88.2

FAR2.08

occupazione suolo
% 22.8

S/V 0.18

Sshrd/S
0.93

