

Cartografia geologica e storia deposizionale dei corpi sedimentari accumulati da Po e Reno nell'area di Ferrara

M. STEFANI¹, L. MINARELLI² e A. PAVANATI³

¹ *Dipartimento di Architettura, Università degli Studi di Ferrara*

² *INGV Roma1, L'Aquila*

³ *Studio Geologico Pavanati, Porto Tolle (RO)*

1. Introduzione

Il territorio di Ferrara è interamente formato da sedimenti fluviali affioranti, depositi nell'Olocene, attribuibili, secondo i criteri CARG, al Subsistema di Ravenna (AES8). Lo studio geomorfologico, geologico-stratigrafico e la cartografia geologica qui presentati permettono di ricostruire l'evoluzione deposizionale di questi corpi sedimentari. I depositi più antichi risalgono probabilmente al Secondo Millennio a.C., ma ampie parti del territorio sono formate da sedimenti molto recenti, del XVII secolo d.C. In queste aree, la sedimentazione è sostanzialmente terminata con la realizzazione di arginature continue, robuste ed efficaci, nel XIX secolo, ma l'accumulo sedimentario ha continuato negli alvei arginati e in occasione di alcune rotte. Il territorio è nettamente bipartito in una porzione nord-orientale, formata da sedimenti del Po, ed una meridionale, con depositi del Reno e di altri fiumi appenninici.

2. Metodologie di studio

La ricerca ha inizialmente riguardato la raccolta dei dati pregressi disponibili sulla superficie e sul sottosuolo. Sono stati raccolti e georiferiti documenti di cartografia storica, dati altimetrici e immagini aeree e satellitari, nel campo visibile e nell'infrarosso vicino. La cartografia storica fornisce infatti preziose informazioni sulle evidenze morfologiche dei corpi sedimentari, poi cancellate dalle ampie opere di bonifica idraulica, riorganizzazione agraria e urbanizzazione. Assai utili sono state le cartografie realizzate da Giovan Battista Aleotti, alla fine del XVI secolo, quelle sull'evoluzione idrografica del Fiume Reno a Sud di Ferrara, a partire dal 1616, le carte contenute nell'atlante di Antonio Penna nel XVII secolo e la Carta Napoleonica del 1814. Sono state inoltre raccolte e georiferite tutte le carte di superficie dei secoli XIX-XX. Si è anche tenuto conto delle numerose fonti storiche scritte, che descrivono in modo accurato l'evoluzione idrografica del territorio, a partire dal XV secolo. Sono state poi raccolte le immagini aeree e satellitari, a partire dalle immagini da dirigibile del 1911, a quelle dei ricognitori alleati del 1944, ai vari voli recenti, oltre alle immagini da satellite acquisite in diverse bande e in differenti momenti, da quelle LANSAT a quelle SPOT, oltre alla suite diacrona disponibile in Google Earth. I dati altimetrici derivano dai misure LIDAR ad alta precisione, acquisiti nel 2011, su incarico della Regione Emilia-Romagna (Figg. 1 e 3), e da livellazioni manuali nel centro storico, in un'area ove le tecniche di telerilevamento non sono affidabili, a causa della densità dell'edificato. Dopo l'analisi integrata di queste immagini, dati e strati informativi, si è quindi proceduto ad una campagna geologica di sopralluoghi e campionamenti di terreno. I dati di superficie sono



Fig. 1 - Modello altimetrico che mostra chiaramente l'espressione morfologica dei corpi sedimentari fluviali, ad oriente di Ferrara. Le tinte altimetriche di toni azzurri indicano quote fra -1 e + 1 m rispetto al livello del mare, la gamma cromatica poi descrive quote crescenti, fino al marrone scuro, che individua aree fra +9 e +10 m. Ben visibile è il tracciato del medievale del Po di Volano, che scorreva da Ferrara, per Fossalta, verso Medelana; da esso si stacca verso sud il dosso del coevo Po di Primaro, che serpeggia in direzione di Marrara. Il dosso più basso fra i due testimonia il principale corso di età classica, "Eridanus", abbassato dalla subsidenza.

stati poi confrontati con quelli disponibili nel sottosuolo, della relativa banca dati (Stefani *et al.*, 2019). Tutte le informazioni sono poi state sintetizzate per produrre la cartografia geologica di superficie, realizzata sotto forma di *shapefiles*, in ambiente ESRI ArcGIS ed illustrata qui da alcune immagini (Figg. 2 e 4).

3. Corpi sedimentari di provenienza padana

I sedimenti del Fiume Po formano l'ampia area a nord e a est dei canali di Burana e del Primaro, dall'argine del Panaro fino al mare. Su di essi si fonda quindi il centro storico di Ferrara, la zona industriale e le periferie settentrionali e orientali (Figg. 1 e 2). In quest'area affiorano spesso sedimenti di età relativamente antica, formati fra il I-II millennio a.C. e l'età medievale, con rinvenimenti archeologici di età romana abbastanza frequenti.

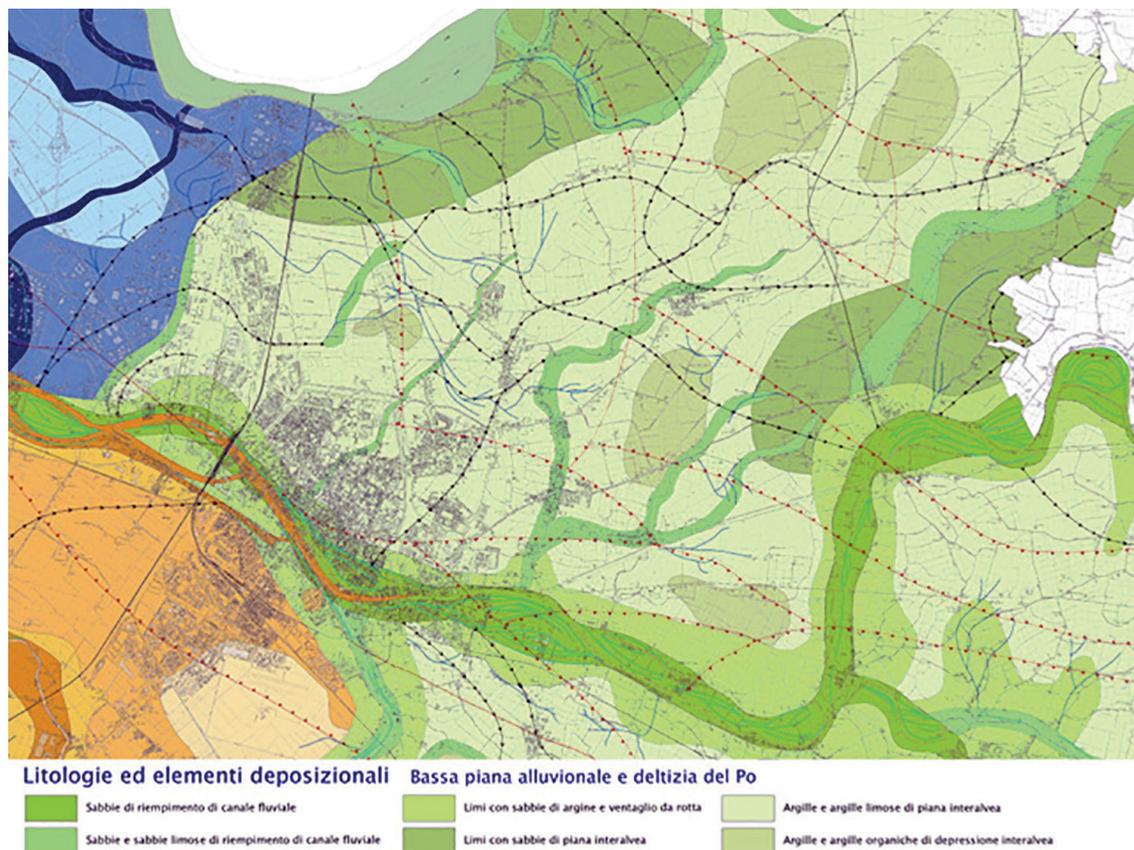


Fig. 2 - Stralcio della carta geologica comprendente l'area urbana di Ferrara. I toni di blu rappresentano i depositi della piana a meandri del Po, i verdi quelli della sua bassa pianura alluvionale. L'area è dominata dal corpo allungato delle sabbie del Po di Volano, affiancato dai suoi argini naturali. Nel corso del '500, depositi di Reno colmarono il precedente alveo del Po. Elementi lineari rappresentano la proiezione delle strutture fragili compressive, quelle a freccette il tracciato di corpi sepolti di alveo.

A NO della città, si sono accumulati ampi volumi di sabbie di meandro di Po, mentre i corpi arginali sono poco sviluppati. Queste sabbie (Subsintema AES8) sono spesso in contatto stratigrafico con le sottostanti sabbie singlaciali (AES7, vedi Figura 1 del nostro articolo sul Quaternario superiore nel sottosuolo in questo volume). Quest'area corrisponde all'alto strutturale di Casaglia, in cui la subsidenza è ridotta e i fiumi olocenici potevano quindi erodere e rimaneggiare le precedenti sabbie pleistoceniche.

La maggior parte del territorio di Ferrara è formato da depositi della bassa pianura alluvionale del Po, che sfuma verso est nella piana deltizia, solcata dai corpi sabbiosi di varie generazioni di canali distributori (Bondesan, 1990; Stefani e Vicenzi, 2005). Questi canali hanno formato corpi allungati di sabbie (Fig. 1), topograficamente pensili (Castiglioni, 1999), affiancati da corpi limoso-sabbiosi di argine naturale, che sfumano lateralmente in fanghi argillosi, frequentemente torbosi, sedimentati in ampie depressioni interalvee. Dal canale fluviale principale fuoruscivano ventagli e canali secondari, divaganti attraverso la piana inondabile, testimoniati da corpi sabbioso-limosi, come quello del Traversagno, che passa sotto il Polo Petrolchimico, e quello di via Borgo dei Leoni, che attraversa il centro storico (Fig. 2). L'attuale area urbana è stata percorsa,

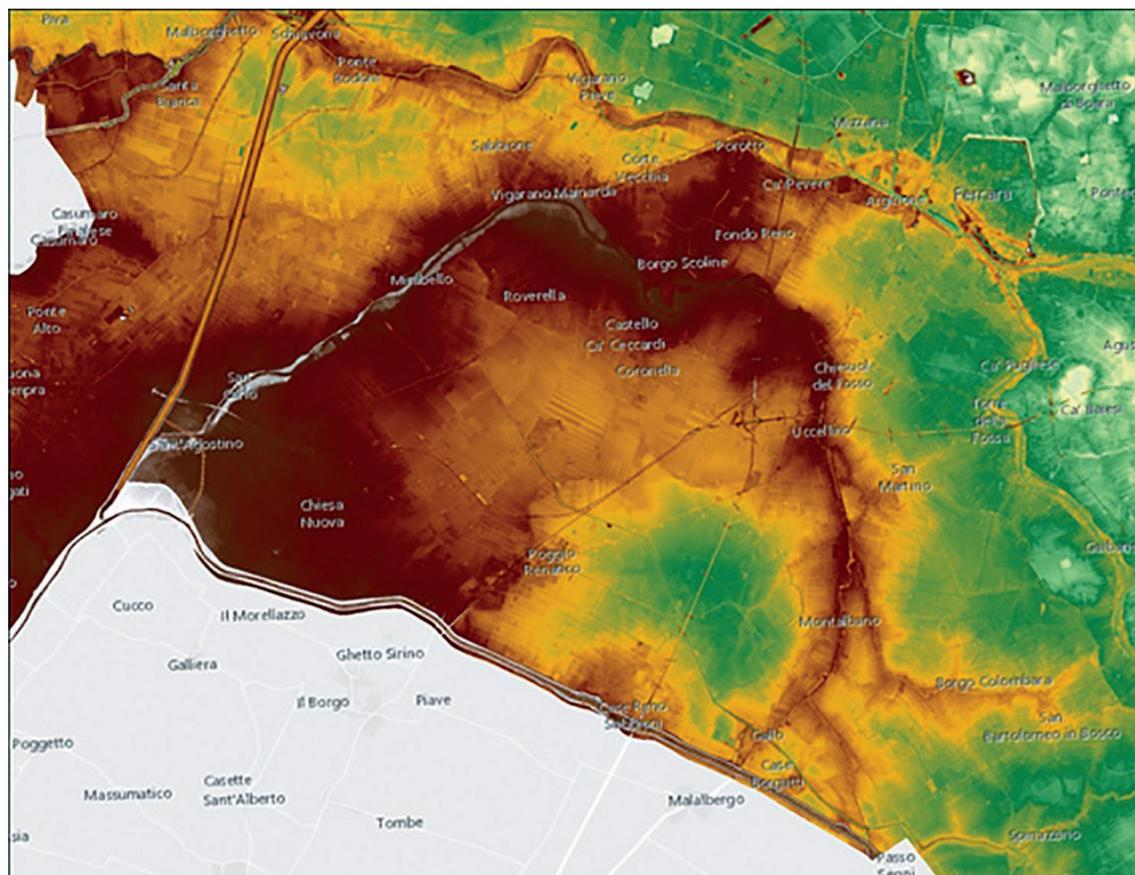


Fig. 3 - Modello altimetrico della pianura alluvionale formata dal Reno, in gran parte durante il XVII secolo. Ben visibile è il suo dosso che da Sant'Agostino si allunga verso Vigarano, per poi rigirarsi verso est e sud-est e aprirsi nei due rami di delta interno, circondando una vasta depressione interalvea. Tinte altimetriche come in Fig. 1. Si confronti questa espressione morfologica con la distribuzione dei corpi geologici della figura successiva.

fin dal primo millennio a.C., dal canale principale del Po, che usciva dalla fascia a meandri, in corrispondenza dell'attuale periferia occidentale della città (Cassana) e si apriva poco a valle nei suoi canali distributori deltizi. In età romana, poco a valle del futuro sito di Ferrara, si aprivano i canali distributori deltizi di Copparo e dell'Eridano (Bondesan, 1990; Stefani 2006). Ferrara si è sviluppata, in età medievale, sulle sponde del Po, prossimo a dividersi nel canale distributore principale, quello settentrionale, il Volano, e in quello meridionale, il Primaro (Stefani e Vincenzi, 2005). Nel secolo XII, a monte della città, nei pressi di Ficarolo, iniziò ad organizzarsi il nuovo ramo settentrionale del Po (Bondesan, 1990). Nel corso del Basso Medioevo, vennero attuate importanti opere idrauliche per preservare il flusso idrico anche nell'alveo meridionale, al fine di mantenere operoso il porto fluviale della città. Fra queste opere, in carta è visibile il canale che delimitò, poco a monte della città, l'Isola artificiale del Belvedere (Fig. 2). L'immissione forzata del Reno, a Porotto (1526), in assenza di un adeguato gradiente idraulico, determinò l'intasamento del ramo meridionale del Po, che fu definitivamente abbandonata dalle acque di provenienza padana alla fine del XVI secolo. Il riempimento da parte di limi e argille del Reno del canale di abbandono del Po è ben visibile in carta (Fig. 2). Da questo momento, la

sedimentazione di Po rimase attiva solo nell'attuale alveo settentrionale, sempre più solidamente arginato.

4. Corpi sedimentari di provenienza appenninica

L'area a sud e a ovest del Canale di Burana e del Po di Primaro è interamente formata da sedimenti deposti dal Reno e da altri fiumi minori, provenienti dall'Appennino Bolognese, quali Zena, Savena e Idice. Nonostante le dimensioni relativamente minori di questi quattro fiumi, il loro apporto sedimentario è stato molto elevato, a causa della forte erodibilità dei sedimenti terrigeni affioranti nel bacino idrografico. In tutta l'area fra il centro storico di Ferrara e l'attuale corso del Reno, affiorano quasi solo sedimenti estremamente recenti, sedimentati durante il XVII e XVIII secolo. Il corpo principale del Reno del '600 conserva un'ottima espressione geomorfologica (Fig. 3). Esso si segue da Vigarano Mainarda, con tracciato arcuato, fino a Chiesuol del Fosso e poi verso sud, ove forma un dosso allungato, su cui corre la Strada Statale Porrettana.

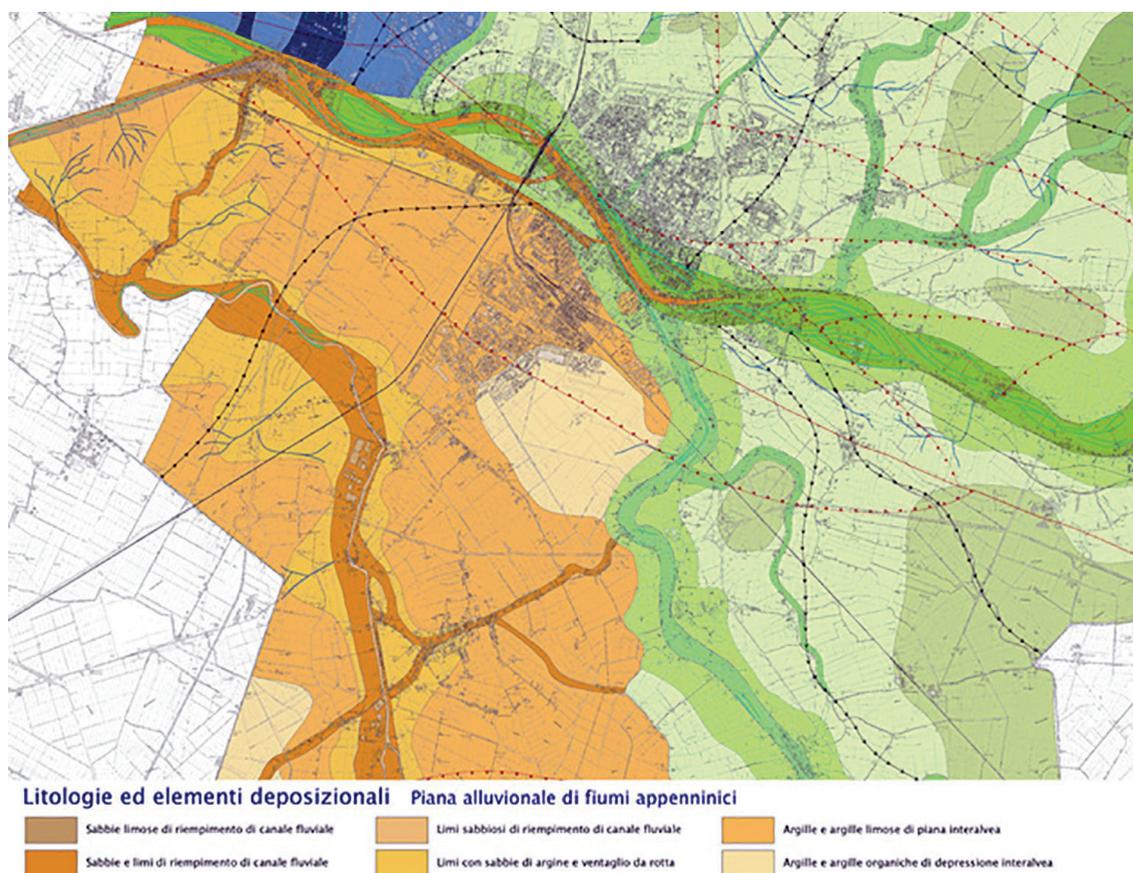


Fig. 4 - Estratto della carta geologica che mostra il corpo di alveo del Reno, formatosi nel '600 nell'ampia area a sud del centro storico di Ferrara, affiancato dai coevi fanghi interalvea. A est, sono evidenti i paleoalvei dei precedenti Po di Ferrara e Po di Primaro. Si nota anche il corpo limoso che registra l'ultimo canale di abbandono.

L'accumulo di questa vasta plaga di sedimenti appenninici iniziò solo nel 1604, quando fu tagliato l'argine destro del canale artificiale cinquecentesco del Reno, che era stato costruito fra Sant'Agostino e Porotto. Come detto, il tentativo di immissione in Po fallì, per cui ci si risolse, per tentare di riscavare il canale, ad immettere "temporaneamente" le acque del Reno nella vasta area della San Martina, bonificata, all'inizio del secolo precedente, a sud di Ferrara. Già pochi anni dopo, il Reno aveva cominciato a costruire il suo delta interno nell'ampia palude (Fig. 5), progradando rapidamente e dividendosi nei due canali distributori del Gallo, a ovest, e della Zervela. I fiumi Zena, Savena e Idice nel frattempo avanzavano da sud, fino ad interferire con i sedimenti di Reno, provenienti da nord. L'enorme allungamento dei canali del delta interno del Reno, all'inizio del XVIII secolo, aveva quasi annullato i gradienti di pendenza longitudinale, ostacolando il deflusso di acque e sedimenti. Questo indusse un gran numero di rotte, che rimontavano sempre più verso monte. Dopo quella del 1731, fra Mirabello e Sant'Agostino, il flusso verso l'area di Ferrara cessò quasi completamente, interrompendo la sedimentazione. In poco più di un secolo, si erano sedimentati anche 3-4 m di sedimento, su molti chilometri quadri, a sud della città e fino alle sue porte. La sedimentazione cessò definitivamente nel 1795, quando le acque del Reno vennero artificialmente incanalate nell'antico alveo del Po di Primaro, a sud-est di Ferrara.

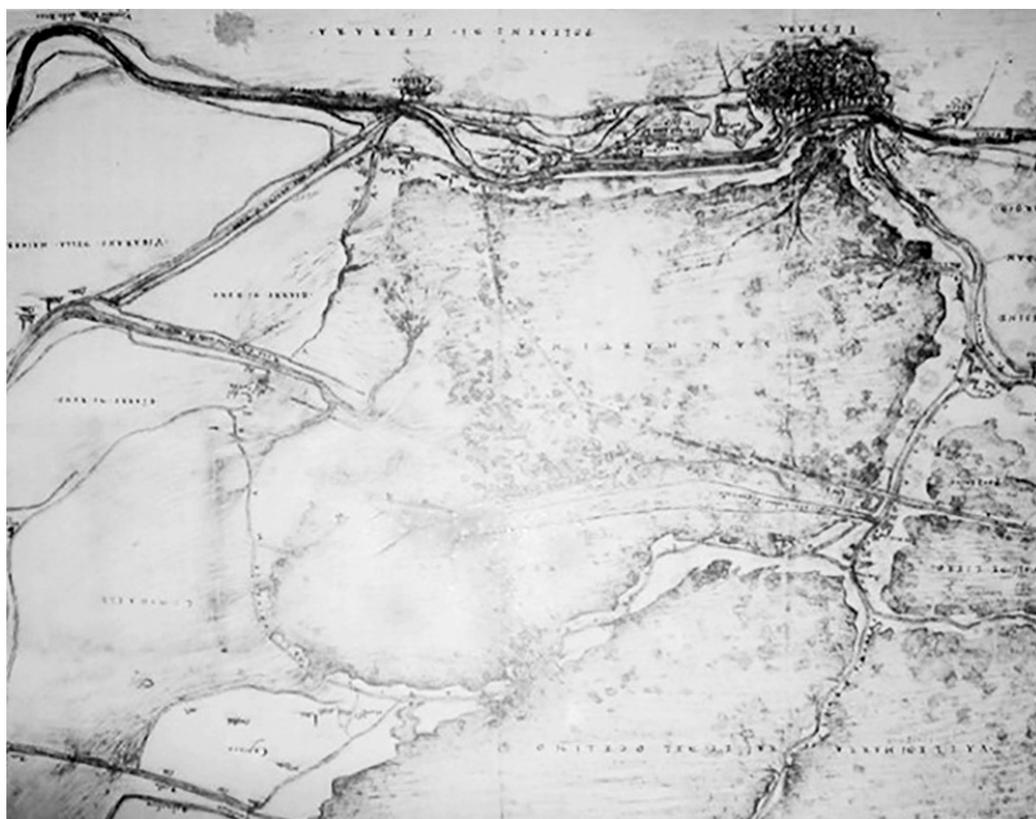


Fig. 5 - Disegno del 1616 che descrive accuratamente l'area della San Martina, a sud del centro murato di Ferrara, completamente invasa dalle acque del Reno, in conseguenza del taglio del suo argine nel 1604. In alto, a destra, è visibile il canale per Porotto, completamente abbandonato, mentre il Reno già deposita un corpo di canale progradante, che nel corso del secolo successivo colmerà completamente di sedimenti l'area inondata. Notare i ventagli terminali del neofornato delta interno.

5. Conclusioni

Un approccio interdisciplinare ha permesso di ricostruire le geometrie dei corpi sedimentari e la loro storia deposizionale. La parte settentrionale del territorio di Ferrara è formata da sedimenti di Po, mentre la parte meridionale è costituita da sedimenti di origine appenninica. In entrambe le aree, i sedimenti granulari sabbiosi e permeabili sono confinati ai corpi allungati di alveo, spesso pensili, affiancati dai sedimenti di argine e da più vaste aree di sedimenti interalvei coesivi, spesso organici, tendenzialmente impermeabili. La distribuzione dei diversi tipi di sedimento controlla le proprietà geotecniche, più scadenti nelle ampie aree interalvee, ancora oggi più facilmente allagabili, relativamente migliori sui corpi di paleoalveo, relativamente meno allagabili, su cui si concentra gran parte degli insediamenti e della rete viaria storica. Il potenziale di liquefazione sismica dei sedimenti prossimi alla superficie è quindi essenzialmente limitato ai corpi di sabbie fluviali. Sia corpi di canale fluviale di Po che di Reno sono già stati soggetti a fenomeni di liquefazione sismica, durante il terremoto del 2012, come in quello del 1570 (es. Caputo *et al.*, 2012). Per la corretta valutazione del rischio di liquefazione cosismica occorre ovviamente considerare anche i corpi di sabbie sepolte nei primi 20 m circa di sottosuolo, di età olocenica o pleistocenica.

BIBLIOGRAFIA

- Bondesan M., (1990) - *L'area deltizia padana: caratteri geografici e geomorfologici*. In: Bondesan, M. (Ed.), Il Parco dei delta del Po: studi ed immagini, vol. II. Spazio Libri, pp. 10-48.
- Castiglioni G.B. (Ed.), (1999) - *Carta Geomorfologica della Pianura Padana al 1:250.000*. MURST, SELCA, Firenze.
- Caputo R, Iordanidou K, Minarelli L, Papathanassiou G, Poli M.E, Rapti-Caputo D, Sboras S, Stefani M, Zanferrari A (2012) Geological evidence of pre-2012 seismic events, Emilia-Romagna, Italy. *Annals of Geophysics* 4:743-749 doi: 10.4401/ag-6148
- Stefani M. (2006) - *Il contesto paleogeografico e sedimentologico-stratigrafico della necropoli romana del Verginese*. In Mors immatura. I Fadieni e il loro sepolcreto, a cura di F. Berti, Firenze, pp. 16-41.
- Stefani M., Vincenzi S., (2005) - "The interplay of eustasy, climate and human activity in the late Quaternary depositional evolution and sedimentary architecture of the Po Delta system". *Marine Geology*, 222-223, 19-48.
- Stefani M., Minarelli L., Pavanati A., (2019) - *Cartografia geologica e storia deposizionale dei corpi sedimentari accumulati da Po e Reno nell'area di Ferrara*.