

Relazioni fra storia deposizionale, crescita urbana e rischi ambientali nella città di Ferrara

M. STEFANI¹ e L. MINARELLI²

¹ Dipartimento di Architettura, Università di Ferrara

² INGV Roma1, L'Aquila

1. Introduzione

La città di Ferrara registra un'intima relazione fra evoluzione idrografico-sedimentaria, architettura stratigrafico-deposizionale, interventi antropici e storia urbana. La città si nucleò nell'Alto Medioevo, come piccolo *castrum* sull'argine naturale del Po e poi si espanse, prima in modo lineare lungo il fiume, poi con successive addizioni, rese possibili da opere di bonifica idraulica e dalla progressiva migrazione delle sponde del fiume, che rimase attivo fino alla fine del XVI secolo (Bondesan *et al.*, 1995; Stefani e Zuppiroli, 2010). Queste modalità di espansione urbana hanno generato una stretta correlazione fra i caratteri delle successive espansioni urbane, la variazione delle quote topografiche, le caratteristiche geotecniche dei sottostanti sedimenti e la distribuzione areale dei rischi indotti da inondazioni e da terremoti.

2. Il primo sviluppo dell'insediamento urbano

Le Figg. 1 e 2 illustrano la distribuzione spaziale delle diverse fasi di crescita della città e il loro rapporto con le sottostanti unità geologiche. In epoca romana, l'area di Ferrara era già attraversata dal Po ed era sede di diffusi insediamenti rustici, come quelli sulle sabbie di meandro di Cassana o su i depositi di argine naturale di Quacchio. L'inizio del medioevo fu caratterizzato da un diffuso riassetto idrografico. Nei pressi di San Giorgio, il Po incominciò ad aprirsi nei due canali distributori del Primario e del Volano (Stefani *et al.*, 2019). In epoca altomedievale, su un ventaglio di rotta rilevato (Fig. 3), nei pressi della divergenza dei due rami deltizi, si impiantò un primo nucleo abitato, fortificato da una palizzata lignea e tangente al percorso arginale. Data la mancanza di fonti storiche e di moderne indagini archeologiche, la datazione di questo *castrum* è incerta, ma è in ogni caso altomedievale. L'insediamento si sviluppò poi in modo lineare, su sabbie e limi di argine naturale, come ben visibile in Fig. 3. All'inizio del XII secolo, il nucleo urbano aveva raggiunto una lunghezza di circa 2200 m, ma una larghezza di soli 100-300 m. L'insediamento era infatti in buona parte limitato ai sedimenti sabbioso-limosi di argine, dato che essi, essendo permeabili e relativamente elevati (Fig. 3), permettevano il passaggio anche nei periodi piovosi e la costruzione di pozzi freatici. La cresta arginale era sede di un percorso sovraregionale, mentre la sponda fluviale era sede di attività portuali. A nord, l'insediamento era limitato da aree interfluviali più basse e allagabili, ricche di sedimenti argilloso-limosi. Anche all'interno dell'area insediata, permanevano aree allagabili repulsive, come la depressione intorno alla chiesa di Santa Agnese.

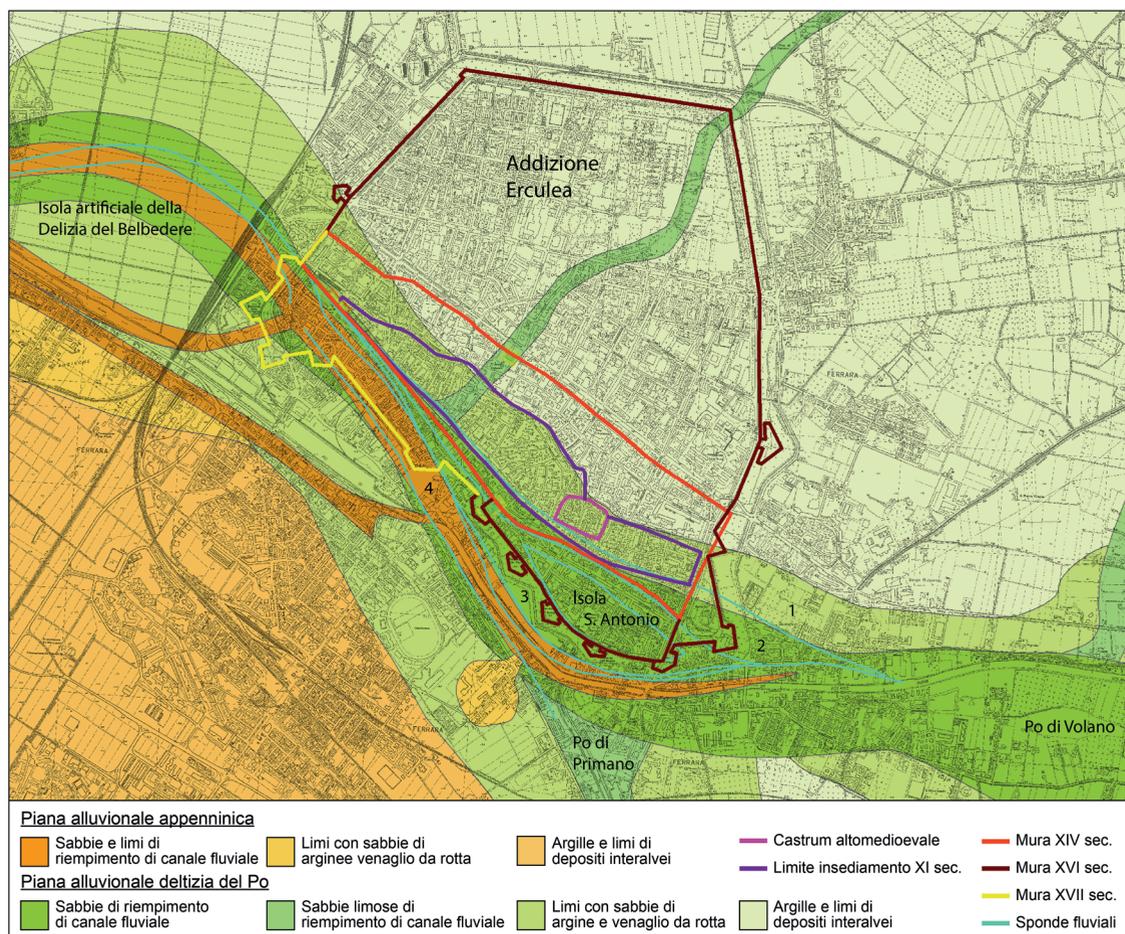


Fig. 1 - Carta geologica che mostra la distribuzione dei corpi sedimentari affioranti di Po e di Reno, con sovrapposte le varie fasi di espansione urbana di Ferrara. I numeri indicano la successione cronologica delle sponde del Po, dall'Alto Medioevo al XVI secolo. Notare la stretta relazione fra la geometria dei corpi sedimentari, la posizione delle successive sponde fluviali e lo sviluppo delle strutture urbane.



Fig. 2 - Immagine delle stesse strutture fluviali e urbane sovrapposte ad una foto zenitale di Ferrara che rende percettibile l'intima relazione fra evoluzione fluviale e i caratteri della città attuale.

3. La crescita bassomedievale della città

Nel corso del XII secolo, si sviluppò il corso attuale del Po, che iniziò a passare anche a nord di Pontelagoscuro. Questo mutamento idrografico indusse una progressiva diminuzione del flusso nel canale che bordava a sud la città e l'insediamento si poté quindi limitatamente espandere verso meridione. Confinato a sud dal fiume, il centro urbano poté espandersi maggiormente solo verso nord, su terreni coesivi poveri di sabbie, su cui si insediò la cattedrale. Nei secoli successivi, una serie di interventi di drenaggio permisero ulteriori contenute espansioni dell'area urbana nelle parti prossimali della piana interalvea, finché, nel corso del XIV secolo, la città fu circondata da fortificazioni continue, ma conservava una pianta assai allungata, che si sviluppava ancora in buona parte su sedimenti arginali (Fig. 3). Il tracciato delle mura meridionali duecentesche è chiaramente controllato dalla geometria concava della sponda fluviale, particolarmente nel tratto fra Via Cammello e Via Formignana (Fig. 3). Al limite meridionale della città, la progressiva riduzione del flusso aveva nel frattempo permesso l'insediamento del Monastero di Sant'Antonio in Polesine sulla omonima isola, formata da sabbie fluviali.

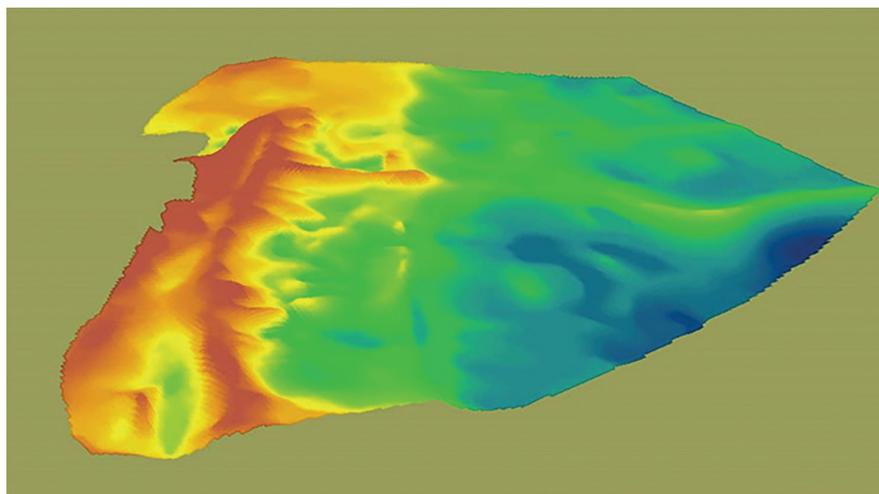


Fig. 3 - Modello altimetrico del centro storico di Ferrara. Il suo bordo corrisponde al tracciato delle mura urbane. Le quote variano da 3,2 m sul livello del geoido, colore blu, a 9,8 m, marrone scuro. Nord a destra. Si noti il corpo rilevato dell'argine naturale sinistro del Po, con quote superiori agli 8 m, affiancato dai corpi di argine, che degradano verso la zona depressa della piana interalvea. Dal dosso arginale del Po si diparte il dosso allungato di un alveo minore, che passa per il Castello Estense e si dirige verso l'angolo nord-est delle mura. Si confronti questa morfologia con la carta geologica di Fig.1.

4. Le addizioni rinascimentali e la fine del ramo meridionale del Po

Durante l'ultimo quarto del XIV secolo, il flusso idrico a nord dell'Isola di Sant'Antonio cessò, anche a causa della costruzione di argini artificiali, e l'area fu interessata dai primi insediamenti, che si svilupparono poi, alla metà del XV secolo, nell'Addizione di Borso, che portava le mura sud nella loro posizione attuale, inglobando nell'area urbana la precedente isola monastica (Stefani e Zuprioli, 2010). Nell'area di questa addizione, è ancora ben visibile la depressione topografica

del ramo del Po che fluiva a nord dell'isola (Fig. 3). Grandi lavori di bonifica consentirono poi, a partire dal 1492, l'espansione urbana dell'Addizione Erculea, a nord di Viale Cavour e Corso Giovecca. Questa parte della città si sviluppò in buona parte su argille, argille limose e argille torbose di depressione interalvea, associate a proprietà geotecniche scadenti e a lenti processi di consolidamento, che hanno indotto deformazioni particolarmente spettacolari nelle grandi strutture architettoniche, come ad esempio visibile nelle chiese di Santa Maria della Consolazione e di San Cristoforo della Certosa.

La città fu quindi gravemente danneggiata dalle scosse sismiche del novembre 1570 che costrinsero a diffuse opere di restauro e ricostruzione, senza però mutare l'assetto urbanistico (Guidoboni, 1987). Le fasi finali di crisi del Po di Ferrara ebbero un impatto determinante sulla storia della città. Il tentativo di far scolare il Reno a mare attraverso il Po, tramite la sua immissione a Porotto (1526), produsse il rapido interrimento dell'alveo nella zona urbana. Il nostro rilevamento geologico ha rivelato che i depositi di Reno sono sviluppati fino ad oriente di San Giorgio e fuoriescono verso sud con ventagli da rotta (Fig. 3). L'interrimento del fiume indusse la crisi irreversibile delle attività portuali a Ferrara e il venir meno della protezione militare offerta dal canale fluviale che ostacolava gli assalti e il posizionamento delle artiglierie. Questo rese necessario fortificare meglio le mura meridionali, con la costruzione, su depositi di riempimento di alveo fluviale, dei grandi bastioni rinascimentali e poi delle mura e della fortezza pontificia.

5. Dal XVII al XX secolo

La definitiva interruzione del flusso fluviale, alla fine del XVI secolo, insieme al passaggio dalla signoria estense al governo papale, portarono alla costruzione della grande fortezza pentagonale, in gran parte sorta sul riempimento sedimentario dell'alveo del Po, ma anche su depositi di argine naturale. Nei secoli successivi, la crisi economica e demografica indusse una notevole contrazione dell'edificato. A partire dal 1605, l'area a sud della città fu allagata dalle acque del Reno, Zena e Savena, il che, insieme alla costruzione della fortezza, portò alla distruzione di gran parte dei borghi medievali sorti sulla sponda meridionale del fiume. Durante il XVIII secolo, l'apporto sedimentario di origine appenninica aveva già in buona parte colmato le paludi a sud della città (Fig. 4).

L'assetto territoriale del Ferrarese mutò poi profondamente con l'avvento delle estese bonifiche idrauliche per innalzamento meccanico delle acque, a partire dalla seconda metà del XIX secolo. Lo sviluppo economico e demografico della città fu però molto lento, per cui essa non si espanse in modo significativo prima del XX secolo. Dopo la Seconda Guerra Mondiale, iniziò invece una fase molto rapida di espansione dell'area urbana, che per la prima volta si allontanò decisamente dai corpi sedimentari di alveo. Il polo industriale petrolchimico si è sviluppato all'estremità occidentale della pianura a meandri del Po (Vedi Stefani et al., sulla geologia di superficie, questo volume). Il quartiere settentrionale del Barco fu costruito sui depositi fini di depressione interalvea. Molto ampia è stata l'espansione urbana verso sud, lungo Via Bologna, su depositi argilloso-limosi, di provenienza appenninica, in buon parte depositi solo durante il XVII secolo. Gli eventi sismici del 20 e 29 maggio 2012 hanno ricordato quale sia il livello di rischio sismico a cui è soggetto la città, un rischio che è arealmente fortemente modulato dai caratteri stratigrafici locali.

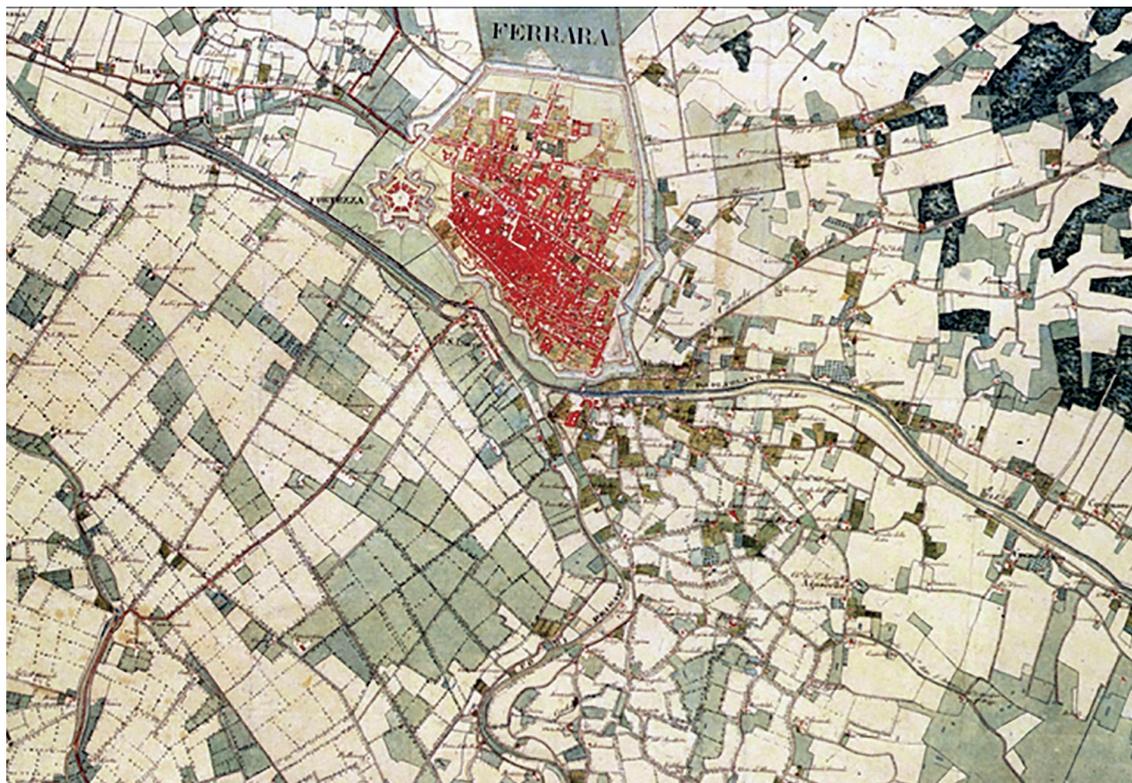


Fig. 4 - Carta a colori del 1814 che rappresenta con grande precisione i caratteri del territorio periurbano, dopo la conclusione dell'accumulo sedimentario, ma prima dell'avvento delle bonifiche idrauliche per sollevamento meccanico, per cui permanevano aree permanentemente allagate, subito a est della città. La carta è attraversata dalle forme fluviali medievali del Po di Volano e Primaro; a SO si osserva l'alveo abbandonato del Reno seicentesco.

6. Conclusioni

La storia urbana qui brevemente riassunta spiega bene perché le varie parti della città, insediate in fasi successive, presentino caratteri geologici diversi e siano sottoposte a differenti livelli di rischi ambientali, fra cui spiccano quelli da allagamento o liquefazione cosismica. Nelle aree depresse è evidentemente più elevato il rischio di potenziali rotte fluviali, di Po o Reno. Allagamenti possono verificarsi anche in occasione di eventi pluviometrici intensi, come ad esempio nella depressione chiusa, nel centro cittadino, fra Castello Estense e San Domenico o quelle dell'Addizione Erculea, in particolare il punto più depresso nei pressi del Cimitero Ebraico. La liquefazione cosismica è ben attestata in diversi corpi di paleoalveo del Ferrarese, sia in occasione del recente terremoto del 2012 (Caputo *et al.*, 2012), che durante quello del 1570 (Guidoboni 1987). Essa è ovviamente controllata dalla presenza di sabbie sature di acqua in tutti i primi 20 m di sottosuolo, ma il contributo dei sedimenti prossimi alla superficie è particolarmente rilevante. La propensione alla liquefazione è stata stimata analizzando centinaia di prove penetrometriche a piezocono, con le metodologie CLiq, ma i risultati vengono qui sintetizzati in modo sintetico e qualitativo, dato lo spazio concesso da una pubblicazione come questa.

Le parti più antiche della città sono sviluppate sul corpo arginale che a tratti contiene certamente sedimenti granulari liquefacibili che passano però rapidamente a corpi coesivi, il potenziale

di liquefazione è inoltre qui ridotto dalla depressione del livello freatico, legata alle quote topografiche relativamente elevate, fattore morfologico che riduce anche in modo significativo il potenziale di allagabilità. Alcune depressioni chiuse presentano però secolari problemi di scolo, come la citata depressione intorno a Santa Agnese o di fronte a San Domenico.

L'espansione tardomedievale sorta sulle sabbie dei canali del Po e dell'Isola di Sant'Antonio sembra presentare ovunque in elevato potenziale di liquefazione cosismica e le fonti storiche (Guidoboni, 1987) vi testimoniano effettivamente eventi di liquefazione e crolli catastrofici, come ad esempio nella zona di Castel Nuovo, nei pressi dell'attuale Piazza Verdi (Guidoboni, 1987). Le quote topografiche sono relativamente elevate e il pericolo di allagamento moderato, ma esistono depressioni chiuse che possono localmente allagarsi durante eventi pluviometrici intensi, come in Via XX Settembre, nei pressi di Via Porta d'Amore.

Le espansioni medievali e rinascimentali sui sedimenti coesivi della piana interalvea a nord del Po di Ferrara sono assai povere di sedimenti granulari prossimi alla superficie, per cui i rischi da liquefazione vi possono derivare solo da eventuali sedimenti sepolti a una certa profondità. Condizioni analoghe si manifestano in genere anche nelle periferie meridionali, fondate sui sedimenti fini di provenienza appenninica e di età recente, coesivi e poco consolidati. Vi sono presenti però corpi sepolti di paleoalvei di provenienza appenninica.

Sedimenti sepolti granulari e potenzialmente liquefacibili sono principalmente legati alle sabbie deposte durante fasi dell'ultima glaciazione. Esse sono molto diffuse nella parte settentrionale e occidentale del territorio comunale, assai più sparse nella parte meridionale, anche se nel Pleistocene superiore era soggetta ad apporti sedimentari fini di provenienza appenninica. Il contatto fra depositi sabbiosi e fini passa proprio sotto il centro storico. In tutte le aree è presente un significativo fattore di amplificazione sismica, legata alla presenza di sedimenti sciolti, con bassa velocità delle onde sismiche. Una discussione approfondita su questo argomento evidentemente travalica il limite di questo contributo, teso ad illustrare l'intimo legame fra evoluzione fluviale, accumulo sedimentario, storia urbana e distribuzione areale dei notevoli rischi ambientali a cui è sottoposta la città.

BIBLIOGRAFIA

- Bondesan M., Ferri R., Stefani M. (1995). *Rapporti fra lo sviluppo urbano di Ferrara e l'evoluzione idrografica, sedimentaria e geomorfologica del territorio*. In Visser, A.M., Ed., Ferrara nel Medioevo: topografia storica ed archeologia urbana, 27-42.
- 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
- Guidoboni E. (1987) *I terremoti del territorio ferrarese*. F. Bocchi. Ed., Storia di Ferrara AIEP 40:625-640.
- Stefani M., Zuppiroli M. (2010) *The interaction of geological and anthropic processes shaping the urban growth of Ferrara and the evolution of the surrounding plain*. Il Quaternario Italian Journal of Quaternary Sciences, 23(2bis), 355-372.
- Stefani M., Minarelli L., Pavanati A. (2019) *Cartografia geologica e storia deposizionale dei corpi accumulati da Po e Reno nell'area di Ferrara*. Boll. Geof. Teor. Appl., 60, Suppl. 2, s112-s118.