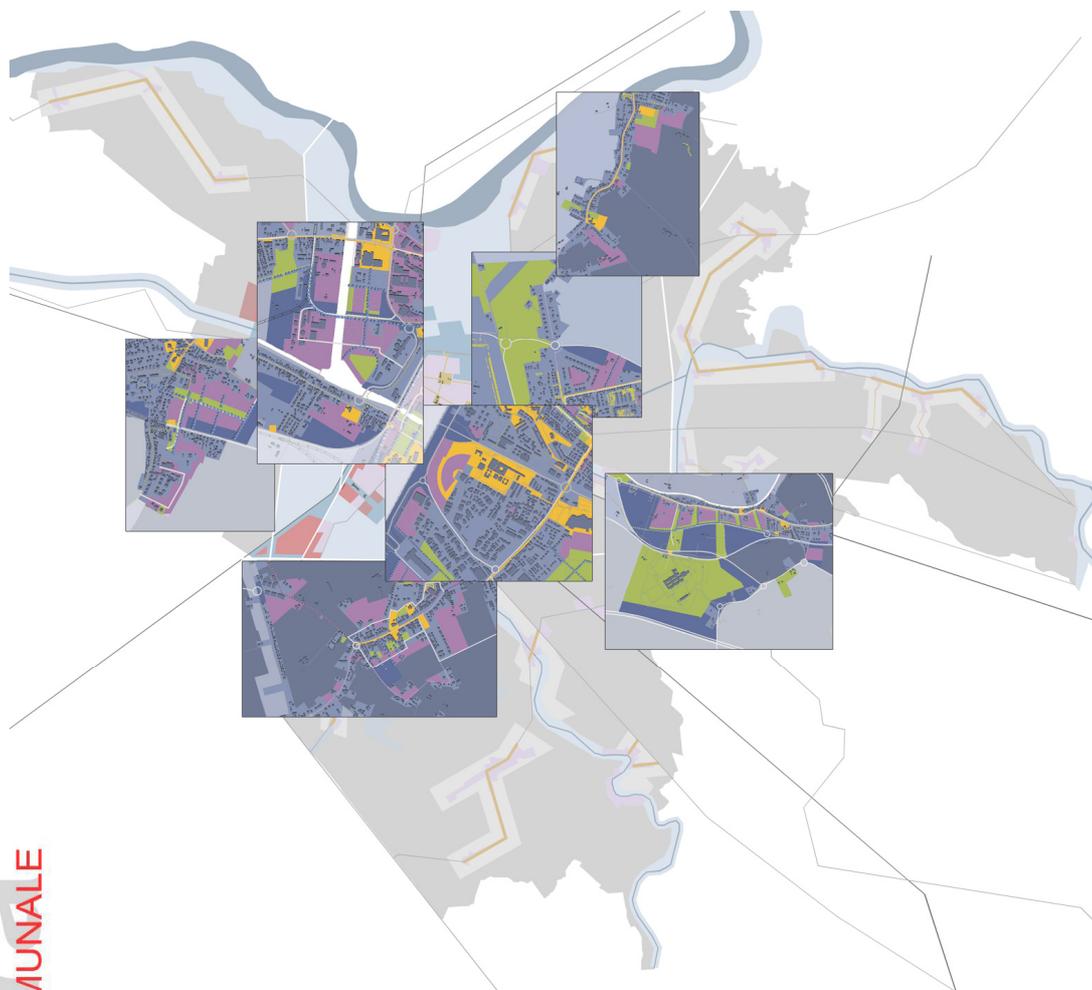




COMUNE DI FERRARA

Città Patrimonio dell'Umanità



POC ferrara
PIANO OPERATIVO COMUNALE

PIANO OPERATIVO COMUNALE Elaborato QC1.2.1 - RELAZIONE GEOLOGICA

adottato il 28/10/2013 con delibera consiliare PG. 82532/13

Università degli Studi di Ferrara
Dipartimento di Architettura

prof. Marco Stefani
dott. Luca Minarelli

Introduzione

Questo lavoro intende fornire un quadro inedito, sintetico ed aggiornato delle conoscenze geologiche disponibili, alla fine del settembre 2013, sui comparti analizzati dal Piano Operativo Comunale di Ferrara, a supporto della consapevolezza sociale, delle decisioni amministrative e delle scelte progettuali. Per ciascun comparto, vengono analizzati il contesto geomorfologico, i caratteri geologici di superficie e delle prime decine di metri di sottosuolo, le caratteristiche penetrometriche ed idrogeologiche e l'andamento delle velocità delle onde sismiche dei primi 30 m, in accordo con le normative vigenti. Queste informazioni vengono illustrate attraverso le schede di sintesi di ciascun comparto, strutturate in vari riquadri che riassumono i caratteri dell'intervento previsto, la localizzazione geografica, la geomorfologia e la geologia di superficie, la stratigrafia di sottosuolo, i caratteri idrostratigrafici, oltre ad una sintesi della pregressa microzonazione sismica, realizzata su incarico del Comune di Ferrara (Fiovante et Al.); vengono infine fatte alcune conclusioni applicative generali. Per ogni comparto, viene allegato un estratto del modello altimetrico derivato da dati LIDAR, forniti dalla Regione Emilia-Romagna, ed uno della nuova carta geologica del territorio comunale, in corso di realizzazione da parte degli autori di questo testo. Vengono inoltre illustrate graficamente una o più indagini di geognostiche, quali prove penetrometriche a piezocono acustico, o sondaggi a carotaggio continuo, scelti come i più rappresentativi del sottosuolo del comparto. Questa scelta non esclude che all'interno dello stesso comparto non possano sussistere notevoli variazioni stratigrafiche laterali, talvolta anche alla distanza di pochi metri. Le brevi conclusioni delle schede intendono presentare ai cittadini, agli amministratori ed ai progettisti un inquadramento qualitativo alle problematiche geologiche dei vari comparti, e non fornire stime numeriche o, tanto meno, imporre precise scelte progettuali. La coscienza della grande complessità dell'architettura stratigrafica del sottosuolo invita spesso alla prudenza interpretativa. Il quadro conoscitivo fornito è quindi aggiornato e, per quanto possibile, approfondito, ma non può da solo fornire tutte le informazioni necessarie ad una corretta progettazione. Compito del progettista e della committenza sarà acquisire gli ulteriori dati di sottosuolo eventualmente necessari, elaborare le strategie ed adottare le tecniche atte a costruire in modo sicuro e compatibile con i rischi a cui questo fragile territorio è soggetto, fra cui quello sismico e da allagamento, nel rispetto delle importanti preesistenze umane e naturali.

Rispetto a gran parte degli studi esistenti a supporto alla pianificazione territoriale di pianura, questo lavoro fornisce un maggiore approfondimento sull'organizzazione stratigrafico-sedimentologica, dato che nel territorio ferrarese appare evidente la stretta correlazione fra evoluzione ambientale ed idrografica, architettura stratigrafica, evoluzione dell'insediamento antropico, caratteristiche idrogeologiche, geotecniche e distribuzione del rischio sismico nelle varie porzioni dell'insediamento urbano. Le prove di sottosuolo possono essere spesso correttamente interpretate e correlate fra loro solo all'interno del contesto stratigrafico. Anche l'interpretazione delle proprietà idrogeologiche e geotecniche trae potenzialmente grande beneficio dalla conoscenza di questo contesto. La conoscenza dell'evoluzione tettonica, deposizionale, climatica ed eustatica dell'area permette di comprendere meglio i fattori necessari a mitigare i problemi ambientali locali, quali l'inquinamento delle falde idriche sotterranee, il rischio sismico ed idraulico.

Caratteri geologici.

Questo paragrafo non vuole essere una discussione esaustiva della geologia della regione di Ferrara, ma intende invece fornire un quadro generale sintetico, utile alla comprensione delle schede sui singoli comparti e le varie fondiarie. Dato il carattere sintetico della discussione, non vengono forniti i riferimenti bibliografici e la discussione dettagliata delle sorgenti di informazioni geologiche.

Il contesto geologico-strutturale.

Il territorio comunale si trova su parte della porzione frontale della Catena Appenninica, qui sepolta sotto i sedimenti quaternari dell'avanfossa subsidente, in via di progressivo coinvolgimento nell'attiva deformazione compressiva. Le strutture ereditate dal margine passivo mesozoico vengono deformate ed invertite, mentre si sviluppano faglie inverse e sovrascorrimenti nord-est vergenti, associati alle strutture plicative delle pieghe ferraresi. L'intenso campo di stress tettonico induce una forte attività sismica, associata anche a strutture fragili relativamente superficiali. L'attiva deformazione ed i variabili tassi di subsidenza hanno fortemente influenzato l'architettura stratigrafica, ma anche i caratteri dell'insediamento antropico.

Il territorio comunale può essere suddiviso in tre parti: (a) una porzione settentrionale, fra il Po attuale e il canale di Burana-Volano, corrispondente grosso modo all'Anticlinale di Casaglia; (b) una centro-meridionale, corrispondente alla Sinclinale di Coronella; (c) una meridionale, collocata sopra l'Anticlinale di Poggio Renatico.

(a) L'anticlinale di Casaglia è associata all'attuale sovrascorrimento frontale dell'Appennino Settentrionale, sviluppato in buona parte a nord del Po. Quest'area è caratterizzata da un substrato roccioso prossimo alla superficie e da tassi subsidenza contenuti, lo spessore dei corpi sedimentari è relativamente modesto, le lacune stratigrafiche frequenti ed importanti. L'area è articolata in senso longitudinale da una struttura trasversale di svincolo, grosso modo parallela al Canale Boicelli e sviluppata sotto il Polo Chimico. La parte occidentale della struttura è più elevata, culminando fra Casaglia e il casello autostradale di Ferrara Nord. Essa ospita il campo geotermico, sfruttato da tre pozzi AGIP, per conto dell'HERA. Ad oriente dello svincolo tettonico, la struttura anticlinale è meno elevata e mostra un'immersione assiale verso sud-est, continuando in direzione di Malborghetto.

(b) La Sinclinale di Coronella mostra nei profili sismici un profilo asimmetrico, legato alla sua vergenza settentrionale, con i massimi tassi di subsidenza presenti nella parte meridionale della struttura. Le successioni stratigrafiche sono meno lacunose e presentano i più elevati spessori. L'area subsidente ha costantemente richiamato la sedimentazione fluviale e ha registrato i più elevati tassi di sedimentazione.

(c) L'Anticlinale di Poggio Renatico si sviluppa in buona parte al di fuori del territorio comunale ed è anche essa caratterizzata da un substrato roccioso relativamente prossimo alla superficie, da minori tassi di subsidenza e da successioni stratigrafiche relativamente meno spesse. Nel complesso, questa struttura plicativa è qui meno pronunciata di quella di Casaglia. Verso occidente, essa si correla con le strutture attivate durante i sismi del maggio 2012. Allo stato attuale delle conoscenze sismiche e storiografiche, sembra probabile che siano stati movimenti lungo i sovrascorrimenti associati a questa struttura che abbiano generato il sisma del novembre 1570. Verso oriente, la piega si correla con strutture sede di giacimenti metaniferi e con significativo innalzamento delle temperature sotterranee.

Inquadramento Stratigrafico.

La **superficie** del territorio comunale è interamente formata da sedimenti fluviali del Po, Reno, Savena ed altri corsi appenninici, facenti parte della porzione più recente dell'Olocene. Questi sedimenti sono attribuibili al Subsistema di Ravenna (AES8), secondo i criteri della cartografia geologica della Regione Emilia Romagna e del Servizio Geologico Nazionale. La porzione più recente, di età post-romana, è ascritta all'Unità di Modena (AES8a). Sedimenti più antichi di 3000-4000 anni sono probabilmente assenti e la maggior parte del territorio è formata da sedimenti di età post-romana (Unità di Modena, secondo i suddetti criteri di suddivisione stratigrafica). A sud del centro storico dominano, invece, sedimenti decisamente recenti, in gran parte successivi al XVI secolo.

Nel **sottosuolo**, uno spessore variabile fra 10 e 30 m circa è sempre formato da sedimenti olocenici del Subsistema di Ravenna (AES8), di bassa pianura alluvionale e deltizia, che registrano prima un avvicinamento trasgressivo e poi un allontanamento regressivo della linea di costa, pur rimanendo sempre in condizioni continentali. Sedimenti salmastri sono però conosciuti ad oriente del territorio comunale. La fase di massima trasgressione è marcata dalla maggiore diffusione di fanghi palustri e torbe, caratterizzati da valori di resistenza all'avanzamento della punta penetrometrica e velocità delle onde sismiche particolarmente basse. Nella parte inferiore della successione trasgressiva, sono spesso diffusi limi pedogenizzati, di piana alluvionale drenata, caratterizzati da più elevate velocità V_s e da livelli di paleosuolo particolarmente resistenti alla penetrazione, a causa di concrezioni diagenetiche carbonatiche. L'Olocene si sovrappone, in genere con contatto netto e lacunoso, sui depositi pleistocenici di media pianura alluvionale singlaciale, risalenti all'ultima glaciazione (Wurm alpino), ricchi di resti di grandi mammiferi, come quelli rinvenuti a Settepolesini. Anche il sottosuolo registra il contatto fra apporti appenninici meridionali e quelli di origine padana. In alcune fasi potevano essere presenti anche apporti di Adige. Le successioni di origine appenninica sono assai più ricche di limi ed in genere contengono solo corpi metrici discontinui di sabbie. Questa porzione inferiore singlaciale è attribuita al Subsistema di Villa Verucchio (AES7) e mostra le più elevate velocità sismiche ed i maggiori valori di resistenza alla punta penetrometrica. Dal punto di vista idrogeologico-idrostratigrafico, il corpo acquifero delle sabbie singlaciali è stato classificato come A.1 dalla Regione Emilia Romagna (RER & ENI-AGIP, 1998) e A.1.1, dalla Provincia di Ferrara (Molinari et. al., 2007) .

L'evoluzione ambientale e deposizionale dell'area risente quindi della complessa evoluzione di questi sistemi fluviali, marcata dalla costante migrazione laterale dei canali,

sotto il controllo di fattori interni alla dinamica fluviale, ma anche di drastiche variazioni climatiche, del livello eustatico marino e della deformazione tettonica in atto.

Caratteri geologico-stratigrafici.

Anche su base geologico-stratigrafica, il territorio del Comune di Ferrara può essere suddiviso in tre aree distinte, dai caratteri anche molto diversi. In superficie si possono individuare: (1) un'area nord-occidentale di media pianura a meandri di Po; (2) una nord-orientale ed orientale, di bassa pianura con alvei pensili e canali deltizi di Po; (3) una meridionale dominata dai canali appenninici di Reno, ma anche Idice, Savena e Riolo; quest'ultimo, canale di un fiume oggi estino. Questa articolazione spaziale tripartita è riconoscibile anche nella variabilità stratigrafica del sottosuolo.

(1) Area nord-occidentale di piana a meandri poco subsidente.

Si sviluppa fra Bondeno, l'attuale corso del Po, il Canale Boicelli ed il Canale di Burana. Negli estratti della carta geologica presenti nelle schede, l'area è rappresentata con colori prevalentemente blu e azzurro.

In **superficie**, buona parte dell'area è formata da corpi di sabbie di meandri di Po altamente sinuosi, con sequenze sedimentarie molto sviluppate di barra migrante. Gli alvei tendono a non essere molto pensili. I corpi di argine naturale sono poco sviluppati o assenti, anche lungo l'attuale corso del Po, a valle di Ficarolo. Lateralmente, si sono accumulati depositi fini di piana inondabile e, talvolta, palude, particolarmente frequenti a nord della Diamantina, ma in genere non molto abbondanti. Altri depositi fini ed organici occupano gli alvei dei meandri abbandonati (mortizze). L'area è ampiamente dominata da depositi olocenici di età pre-medievale. Gli alvei del Po si sono tutti qui estinti in età antica, ad eccezione di quello medievale passante per Vigarano Pieve, Mizzana e Cassana.

Nel **sottosuolo**, le sabbie oloceniche di meandro (AES8) sono in genere "incastrate" dentro le sabbie grossolane singlaciali del Po pleistocenico (AES7). Verso oriente, in corrispondenza del Polo Chimico, i depositi di meandro tendono ad essere separati dalla sabbie singlaciali per l'interposizione di depositi fini di pianura alluvionale. Una continuità fra sabbie superficiali e depositi singlaciali più profondi è però ancora presente nell'area del Doro.

Le **strutture antropiche** riflettono un contesto geologico abbastanza favorevole all'insediamento. I caratteri topografici e la contenuta subsidenza hanno storicamente consentito estese bonifiche idrauliche per gravità, in particolare quelle del XV, sotto Borso d'Este. Le quote topografiche relativamente elevate e la scarsa subsidenza hanno inoltre permesso un sostanziale mantenimento delle bonifiche estensi fino ad oggi. L'area scola principalmente a mare attraverso il Canal Bianco Ferrarese e la Botte del Betto. Gli impianti di sollevamento idraulico sono modesti e non sempre necessari. Questo contesto ha mantenuto continuità nell'insediamento antropico e la diffusione di siti archeologici, fra cui la villa romana di Cassana. Nella parte orientale dell'area nel basso medioevo fu costruito l'Argine del Traversagno, a proteggere le contigue depressioni interalvee.

Gli **aspetti applicativi** sono notevolmente influenzati dalla diffusione di sabbie superficiali, che rende il rischio di liquefazione cosismica molto elevato ed arealmente ampio. In alcune aree, le sabbie singlaciali sono sufficientemente prossime alla superficie per essere esse stesse potenzialmente interessate da fenomeni di liquefazione cosismica. Le proprietà geotecniche dei sedimenti granulari, abbastanza grossolani ed addensati, sono spesso buone, ma la natura sabbiosa rende frequentemente instabili le sponde dei canali troppo acclivi, come ad esempio accade lungo la Via Diamantina, particolarmente nei periodi secchi. L'organizzazione stratigrafica fa sì che vi sia molto spesso una diretta comunicazione idraulica fra le acque superficiali e l'acquifero delle sabbie singlaciali, qui facilmente ricaricato dalle acque del Po, ma anche da Panaro, Cavo Napoleonico e Canale Emissario di Burana. Le falde prossime alla superficie sembrano essere soggette ad importanti contributi di acque salate e riducenti, di origine più profonda, la cui migrazione è verosimilmente favorita dalla fratturazione tettonica. Questo è riflesso da valori localmente elevati di conducibilità elettrica. L'area appare spesso assai vulnerabile alla dispersione degli inquinanti di provenienza superficiale. In questo contesto, particolare attenzione va posta all'aspetto idrostratigrafico ed idrogeologico del Polo Chimico. Nell'area sono diffuse varie cave di sabbia, attive e dismesse, fra cui la maggiore è quella di Settepolesini, posta ad occidente dei limiti amministrativi del Comune di Ferrara.

(2) Area nord-orientale di bassa pianura con corpi pensili di canale.

Si estende a sud del Po attuale, ad oriente del Canale Boicelli, a nord del Canale Emissario di Burana e a nord-est del Canale di Primaro, oltre che, per breve tratto, a sud di questi ultimi due canali. Ad oriente del territorio comunale, sfuma in ampi depositi di

palude e piana deltizia, ben sviluppati oltre Copparo. Negli estratti della carta geologica, questi corpi sedimentari sono rappresentati con colori verdi e giallastri.

In **superficie**, l'area è dominata da corpi sabbiosi allungati, corrispondenti al riempimento di alvei del Po, ad andamento curvilineo, ma quasi mai meandriforme. Gli alvei recenti formano marcati dossi sopraelevati ed allungati, quelli precedenti sono progressivamente sepolti dalla sedimentazione. I corpi di alveo sono sempre affiancati da depositi sabbioso-limosi di argine naturale, associati a ventagli da rotta e cicatrizzazione arginale. Il contatto fra corpi di alveo e di argine è di tipo transizionale, ma su distanze relativamente brevi. I corpi di argine mostrano una larghezza abbastanza contenuta e passano rapidamente ai sedimenti fini delle depressioni interalvee, dominate da fanghi sedimentati in piane allagabili, paludi dolci e torbiere. In queste depressioni, si potevano sviluppare corpi granulari di canale minore di divagazione interalvea, come quello che attraversa il centro storico, da Via Ripagrande, attraverso Via Borgo Leoni, verso Via Calzolai.

I dossi meglio preservati corrispondono ai corsi medievali del Po di Volano e di quello di Primaro, e al corso antico dell'Eridano. Questi canali alimentavano in tempi diversi ampi apparati deltizi progradanti in Adriatico. A nord del centro storico, si sviluppa l'ampia depressione interalvea del Barco Estense – Parco Urbano, costituente parte del Polesine di San Giovanni. L'area topograficamente più depressa e subsidente è quella di Palmirano, parte del Polesine di San Giorgio, storicamente sede di acquitrini e vasti prati umidi (Pra ad Palmiran), in cui attualmente si trova il Nuovo Ospedale San Anna. Tutta la regione è dominata dai terreni di età antica, essendo i depositi di età post-romana (Unità di Modena, AES8a) limitati a fasce allungate, a sud, lungo i canali del Po di Ferrara, Volano e Primaro ed a nord, lungo l'attuale letto del Po. I rami meridionali del Po si sono sostanzialmente estinti durante il XVI secolo, anche a seguito dall'infelice tentativo di immissione artificiale del Reno in Po a Porotto.

Il **sottosuolo** presenta un'articolazione stratigrafica molto complessa, con lo sviluppo di corpi nastriformi di sabbie di canale fluviale, immersi in sedimenti fini. L'area può essere suddivisa in due parti: a nord, i sedimenti olocenici di bassa pianura alluvionale (AES8), di spessore relativamente contenuto, si sovrappongono a sottili limi di piana alluvionale drenata e quindi ad un esteso corpo di sabbie grossolane di media pianura alluvionale singlaciale (AES7), deposte in ampi alvei fluviali a treccia (*braided rivers*), in cui la frazione fine è quasi assente, mentre può essere presente del ghiaino di provenienza alpina; a sud,

L'Olocene aumenta di spessore e le sabbie pleistoceniche singlaciali sono spesso sostituite da successioni prevalentemente limose, con intercalazioni metriche e plurimetriche di sabbie fluviali. In alcuni punti dell'area settentrionale, le sabbie singlaciali sono sepolte a debole profondità, come ad ovest di Malborghetto, nell'area di Ca Grande, e verso Fossalta. Parte del centro storico di Ferrara, l'area di Cona ed il Polesine di San Giorgio, fra Volano e Primaro, ricadono prevalentemente nella zona meridionale povera di sabbie singlaciali sepolte.

Le **strutture antropiche** storiche sono concentrate lungo le antiche sponde dei fiumi e sui dossi fluviali. Queste zone erano infatti le meno allagabile e presentavano dei terreni relativamente compatti e drenati, in cui si potevano scavare pozzi freatici, mentre le zone depresse e fangose erano sede di ristagno di acque. L'area è stata oggetto di molti tentativi di bonifica storica per gravità, fin dall'età antica, poi nel medioevo e da parte degli Estensi. Le depressioni interalvee chiuse e la subsidenza, particolarmente attiva in aree meridionali, hanno però spesso reso effimeri questi tentativi di bonifica. Solo nell'area di anticlinale meno subsidente a nord del centro storico, qualche porzione del Barco Estense è riuscita a rimanere asciutta con continuità. Buona parte dell'area oggi dipende fortemente dal sollevamento meccanico delle acque, da parte degli impianti idrovori, appartenenti a due bacini scolanti del tutto indipendenti, gli ex Polesini di San Giovanni e di San Giorgio ed ex I e II Circondario di Bonifica. Spesso elevato è il rischio da piena fluviale da Po, particolarmente nelle zone a nord del centro urbano.

Gli insediamenti antropici si sono sviluppati quasi esclusivamente lungo i percorsi arginali e dossivi. Lungo uno di questi si è poi accresciuta la città di Ferrara. Il nucleo medievale della città si è sviluppato lungo l'argine sinistro del coevo Po, per poi espandersi verso nord, su depositi di depressione interalvea, mediante ripetuti episodi di bonifica ed addizione urbana, ma più limitatamente verso sud, sulle sabbie di alveo, inglobando la precedente isola fluviale di San Antonio. Attraverso tutta l'area, abbastanza diffusi sono i resti archeologici di età antica e medievale.

Gli **aspetti applicativi** dell'area sono molto vari. I dossi sabbiosi allungati sono in genere soggetti ad un elevato rischio di liquefazione cosismica, i cui effetti potenziali sono esacerbati dai gradienti topografici, che possono facilmente ingenerare fenomeni gravitativi e di espansione laterale, come testimoniato anche dagli effetti delle scosse del 1570. Dato che i millenari processi di insediamento antropico e di sviluppo della rete viaria

si sono polarizzati su dossi sabbiosi, vi è una forte correlazione fra insediamento storico e aree ad elevato rischio sismico. I corpi di sabbie fluviali sono anche esposti a diffusi fenomeni di erosione sotterranea per dispersione di acque da condutture interrato. Le situazioni più critiche si trovano ove rilevati antropici insistono su sabbie liquefabili sature d'acqua, come ad esempio lungo il rilevato di Via Piangipane o in corrispondenza di alcuni punti dell'attuale argine del Po. Le ampie aree interalvee, ricche di sedimenti coesivi, presentano invece frequentemente condizioni di relativa stabilità sismica, con locali fenomeni di amplificazione. Attenzione va posta però alla locale presenza di sabbie singlaciali a debole profondità, come a nord-est del centro storico. Queste aree sono anche le più favorevoli alla risalita di umidità per capillarità nelle murature. Le più ampie aree interalvee, dominate da spesse successioni di sedimenti coesivi, spesso organici e ricchi di torbe, presentano caratteri geotecnici assai più scadenti.

I caratteri idrostratigrafici sono anch'essi molto complessi, con corpi permeabili a trasmissività fortemente anisotropa, legati alle sabbie di alveo, confinate entro corpi di acquicludo, con livelli di argille organiche a bassa permeabilità. Nella parte settentrionale dell'area, si sviluppa in profondità un ampio corpo acquifero (A.1.1) in sabbie singlaciali, ad elevate permeabilità e trasmissività idrauliche, superiormente confinato dall'acquicludo olocenico. Lateralmente, verso ovest e nord, questo corpo A.1.1 è in diretta comunicazione con le acque del Po e con gli acquiferi non confinati della fascia a paleo meandri (1). La dinamica idrologica è perturbata dai pompaggi attivi, in particolare a nord-ovest del centro urbano, associati a locali richiami di acque salinizzate. Acque ad elevata attività ionica si incontrano in particolare lungo una fascia allungata in direzione di Copparo. Attenzione va anche qui posta alla dispersione degli inquinanti, ad esempio quella degli idrocarburi clorurati, presenti in forti concentrazioni nelle ex discariche tombate, nei pressi di Via Caretti.

(3) Area Meridionale con sedimenti di bassa pianura di provenienza appenninica.

L'area è limitata a nord dai corpi di paleoalveo del Po di Ferrara e di Primaro e a sud dall'attuale corso del Reno; ad occidente continua nella pianura di Reno estesa fin al Modenese. Negli estratti della carta geologica, questi corpi geologici sono indicati con colori prevalentemente marrone e giallo.

In **superficie**, l'area è dominata dagli ampi corpi di sabbie deposte dagli alvei recenti del Reno e da quelli minori dell'Idice e del Savena, fra Santa Maria Codifiume e San Martino,

e, a sud di Porotto, del Riolo, fiume oggi estinto, collegato a rilievi sviluppati ad occidente del Reno. Le sabbie hanno una granulometria generalmente fine ed una forte componente limosa. I corpi di alveo sfumano lateralmente in ampi corpi d'argine naturale, prevalentemente limosi, dai contatti transizionali e mal definiti. L'andamento planimetrico dei corpi di alveo mostra una sinuosità abbastanza bassa, tranne ove il Reno rimaneggia precedenti depositi sabbiosi, nei pressi di Borgo Scoline. I corpi di alveo progradavano all'interno di ampi acquitrini e laghi poco profondi, formando veri e propri delta interni, per cui si osservano canali distributori deltizi ramificati e lobi frontali di foce. Molto diffusi anche i lobi da rotta, talvolta contenuti da opere antropiche come la coronella da cui trae nome l'omonima località (Coronella). I dossi fluviali recenti hanno una chiara espressione morfologica, con forme molto ampie e le pendenze trasversali abbastanza ridotte, ove i fiumi non siano stati arginati artificialmente. I corpi di argine naturale sfumano lateralmente nei sedimenti di estese depressioni interalvee, ricche di argille, ma con un frazione limosa in genere superiore a quella dei sedimenti di Po; assai diffuse sono le argille organiche ed i livelli di torba. I sedimenti sono ovunque di età molto recente e sono tendenzialmente tutti attribuibili all'Unità di Modena (AES8a). La maggior parte dell'area è anzi formata da sedimenti depositi nel XVII e XVIII secolo, a seguito dell'immissione del Reno nelle depressioni a sud di Ferrara, a partire dal 1604.

Il **sottosuolo** è caratterizzato da varie generazioni di corpi di sabbie di Reno e di altri fiumi appenninici che verso nord ed est si interdigitano con sedimenti di Po. I corpi allungati di sabbie sono immersi in ampi volumi di fanghi di piana interalvea e palude dolce, spesso ricchi di limo. Anche qui, la fase di massimo avvicinamento della linea di costa è marcato dall'abbondanza di torbe. La parte bassa della successione è formata da limi di piana drenata, pedogenizzati e con valori abbastanza alti di resistenza alla punta e velocità Vs. Il contatto con i sedimenti singlaciali è poco marcato e meno facilmente individuabile che nella regione settentrionale, dato che i sedimenti di media pianura fredda sono pure dominati da grandi volumi di limi, intercalati a sottili corpi di sabbie fluviali. La frazione fine diminuisce fortemente in questi sedimenti, così come il contenuto in torba e resti legnosi.

Le **strutture antropiche** storiche sono state marcatamente influenzate dall'evoluzione idrografica e deposizionale dell'area. Fin dall'età antica, l'area fu spesso sede di paludi, acquitrini e laghi poco profondi. Numerosi tentativi di bonifica si sono scontrati con il drammatico quadro idraulico del Reno, sistemato, in modo del tutto artificiale, a partire dalla seconda metà del XVIII secolo. Varie aree di sono però potute rapidamente

bonificate per colmata, convogliando l'enorme afflusso di sedimenti appenninici. L'attuale natura pensile del Reno rende in ogni caso l'area ampiamente dipendente dal sollevamento meccanico delle acque. Le ampie porzioni depresse dell'area sono soggette ad elevato rischio di alluvione da Reno.

Data l'età molto recente dei sedimenti, scarse sono le informazioni ambientali ed archeologiche sulle fasi antiche. Fonti archivistiche e di cartografia antica testimoniano di interi paesi medievali scomparsi in età moderna e di un reticolo di strade e canali realizzati in concomitanza della vasta bonifica operata su ordine di Ercole I d'Este. Tutte queste strutture antropiche scomparvero a seguito dei vastissimi allagamenti prodotti dalle acque del Reno, del Savena ed dell'Idice, soprattutto all'inizio del XVII secolo, e sono state poi sepolte da parecchi metri di sedimento. Solitario testimone delle strutture medievali rimane la Torre dell'Uccellino, parzialmente sepolta, a marcare l'antico confine fra territori bolognesi e ferraresi. La ricolonizzazione antropica dell'area, nel XVIII e XIX secolo si è strutturata lungo i paleoalvei di recente formazione.

Gli **aspetti applicativi** sono anche qui assai vari e fortemente condizionati dal contesto stratigrafico. I dossi sabbiosi di Reno e degli altri fiumi appenninici presentano caratteri analoghi a quelli delle sabbie di Reno interessate da diffusi fenomeni di liquefazione cosismica del 20 maggio 2012, come a San Carlo Sant'Agostino e Mirabello. Fonti storiche ricordano anche analoghi fenomeni di "sabbie ribollenti" durante il sisma del 1570. Appare quindi evidente che i dossi fluviali sopraelevati presentino un grado decisamente elevato di rischio sismico. Anche corpi di sabbie fluviali oloceniche sepolte a debole profondità possono indurre rischio di liquefazione, anche se meno evidente e meno facilmente individuabile. Le sabbie singlaciali sono probabilmente sempre sepolte a profondità tali da non indurre invece pericoli da liquefazione. Anche qui esiste una decisa correlazione fra fasce ad alto rischio di liquefazione e la distribuzione delle sedi storiche e della rete stradale, come ampi tratti meridionali di Via Bologna o quella di San Martino. L'architettura idrostratigrafica è particolarmente complessa, essendo caratterizzata da molte generazioni di corpi permeabili allungati, immersi in ampi volumi di acquitardi limosi, con orizzonti di argille organiche di acquicludo. Non esiste qui un vasto corpo acquifero confinato e continuo, ad elevata permeabilità e trasmissività idraulica. Il Pleistocene superiore è invece caratterizzato da corpi permeabili allungati, a trasmissività fortemente asimmetrica, dispersi in un vasto acquitardo limoso. Le proprietà geotecniche dei terreni prossime alla superficie sono abbastanza buone sulle sabbie di alveo, assai più scadenti

nelle vaste aree con sedimenti coesivi, frequentemente torbosi. La subsidenza è spesso importante, attraverso buona parte dell'area.