



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.



REGOLAMENTO URBANISTICO EDILIZIO

variante adottata con Delibera Consiliare PG 70378/18 del 25/06/2018

QC1.2.4 - CARTA GEOLOGICA DEL COMUNE DI FERRARA - Note illustrative



Il Comune

Il Sindaco

Avv. Tiziano Tagliani

Responsabile Ufficio di Piano

Ing. Antonio Barillari

Università degli Studi di Ferrara – Dipartimento di Architettura

Responsabile e coordinatore scientifico

Prof. Marco Stefani

Analisi geologica ed elaborazione cartografica

Dott. Luca Minarelli



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

Indice

1	Presentazione ed Obiettivi	3
1.1	Elaborati prodotti	4
2	Inquadramento dell'area	5
2.1	Lavori precedenti su area di studio	5
2.1.1	Cartografia geologica e geomorfologica	6
2.1.2	Stratigrafia di sottosuolo e cicli deposizionali quaternari	11
2.1.3	Tettonica	13
2.1.4	Studi idrostratigrafici	14
2.2	Inquadramento geografico	14
2.3	Inquadramento geologico e criteri stratigrafici	16
2.3.1	Supersintema Emiliano Romagnolo	18
2.3.1.1	Sintema Emiliano Romagnolo Inferiore (AEI)	19
2.3.1.2	Sintema Emiliano Romagnolo Superiore (AES)	20
2.4	Contesto strutturale e sismico	22
2.4.1	Sorgenti sismogenetiche	27
2.4.2	Sismicità storica	30
2.5	Assetto geomorfologico	34
2.6	Evoluzione storica dei sistemi fluvio-deltizi padani	38
3	Criteri e metodologie di studio	41
3.1	Indagini geognostiche	42
3.2	Banca dati di sottosuolo	44
3.3	Cartografia geologica di superficie	51
3.4	Profili di sottosuolo	52
4	Geologia di sottosuolo	53
4.1	Subsintema di Villa Verucchio (AES ₇)	54
4.1.1	Sabbie di riempimento di canale fluviale anastomizzato	56
4.1.2	Sabbie, limi e argille limose di piana alluvionale	58
4.2	Subsintema di Ravenna (AES ₈)	58
4.2.1	Sabbie di canale fluviale	59
4.2.2	Limi, limi sabbiosi, argille limose con paleosuoli ed argille di argine e piana alluvionale	60



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

5	Geologia di superficie	60
5.1	Piana a meandri del Po	61
5.1.1	Sabbie di riempimento di canale fluviale.....	62
5.1.2	Sabbie limose, limi e argille di piana alluvionale	63
5.1.3	Argille e argille organiche di depressione interalvea	64
5.2	Bassa piana alluvionale e deltizia del Po.....	65
5.2.1	Sabbie di riempimento di canale fluviale e sabbie e sabbie limose di riempimento di canale fluviale.....	66
5.2.2	Limi con sabbie di argine e ventaglio da rotta e Limi con sabbie di piana interalvea.....	67
5.2.3	Argille e argille limose di piana interalvea e Argille e argille organiche di depressione interalvea.	68
5.2.4	Sabbie limose di riempimento di canale in evoluzione del Po.	69
5.3	Piana alluvionale di fiumi appenninici	69
5.3.1	Sabbie limose di riempimento di canale fluviale, Sabbie limi di riempimento di canale fluviale e Limi sabbiosi di riempimento di canale fluviale.....	70
5.3.2	Limi con sabbie di argine e ventaglio da rotta.....	71
5.3.3	Argille e argille limose di piana interalvea e Argille e argille organiche di depressione interalvea.	71
5.3.4	Terreni contenenti resti di attività antropica.	72
6	Profili geologici.....	72
7	Sintesi dei caratteri geologici ed evolutivi.....	75
7.1	La zona nord-occidentale a meandri	75
7.2	La zona nord-orientale di bassa pianura	78
7.3	La zona meridionale dei fiumi appenninici.....	82
8	Rapporti fra evoluzione idrografico-deposizionale e crescita urbana.....	88
8.1	L'origine e il primo sviluppo dell'insediamento urbano.....	89
8.2	La crescita bassomedievale della città.....	91
8.3	Le addizioni rinascimentali.....	92
8.4	Dal XVII° al XX° secolo.....	93
9	Bibliografia.....	95
Allegato 1 - Profili geologici		103



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

Coordinamento scientifico degli elaborati:

prof. Marco Stefani

Redazione della relazione:

prof. Marco Stefani
dott. geol. Luca Minarelli

Creazione geodatabase dei dati geologici e geotecnici:

dott. geol. Luca Minarelli

Elaborazione tavole cartografiche:

dott. geol. Luca Minarelli

Analisi dei dati stratigrafici:

prof. Marco Stefani
dott. geol. Luca Minarelli



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

1 Presentazione ed Obiettivi

Questo lavoro ha come obiettivo il miglioramento del quadro conoscitivo geomorfologico e geologico, di superficie e dei primi 30 metri di sottosuolo, del territorio del Comune di Ferrara. Lo studio compiuto è stato finanziato dall'Amministrazione Comunale nell'ambito di una convenzione di ricerca, stipulata in data 26.09.2013, tra il Comune di Ferrara e il Dipartimento di Architettura dell'Università di Ferrara, con responsabile scientifico il Prof. Marco Stefani. Lo studio vuole fornire una base conoscitiva per una migliore gestione del territorio e per i futuri aggiornamenti di strumenti e piani urbanistici. I risultati ottenuti potranno, inoltre, fornire nuovi elementi utili alla comprensione ed alla mitigazione dei rischi ambientali che interessano il territorio di Ferrara, come effetti di sito dovuti a sismi, inquinamento delle falde idriche sotterranee ma anche pericoli da esondazione fluviale. I risultati raggiunti forniranno inoltre una base conoscitiva alle indagini interdisciplinari finalizzate alla gestione ambientale integrata con tecniche innovative, previste dal progetto CLARA Smart City (*CLoud pLATFORM and smart underground imaging for natural Risk Assessment*). Il presente lavoro, infine, offre i fondamenti per una migliore interpretazione ed interpolazione spaziale dei caratteri geologici, geotecnici e geofisici del sottosuolo e per la ricostruzione dell'evoluzione ambientale di questa area di bassa pianura alluvionale, sviluppata al contatto fra i depositi padani ed appenninici. Gli obiettivi del lavoro sono stati raggiunti attraverso un nuovo rilevamento geologico di dettaglio di tutto il territorio comunale e la ricostruzione di profili geologico-stratigrafici nei primi 30 m di sottosuolo. Le precedenti conoscenze geologiche disponibili sul territorio erano alquanto limitate e in buona parte legate ai rilievi geomorfologici del Prof. Marco Bondesan, compiuti nel 1975 nell'ambito dello "Studio geologico coordinato per la pianificazione territoriale del Comune di Ferrara". Commissionati più di 40 anni fa, tali studi indicano come l'Amministrazione Comunale si sia dimostrata, fin da allora, particolarmente attenta agli aspetti ambientali della gestione territoriale.

Il rilevamento geologico e geomorfologico si è basato su tecniche di telerilevamento, integrate da controlli di terreno. Le tecniche di telerilevamento hanno permesso l'analisi di un'ampia serie di immagini satellitari ed aeree, nel visibile ed vicino infrarosso, e l'interpretazione del



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

modello topografico digitale del terreno, elaborato a partire da accurati dati di telemetria laser aerotrasportata (LIDAR).

In una area sede di una lunga interazione fra azioni antropiche ed evoluzione del reticolo idrografico, l'interpretazione delle strutture geologiche e geomorfologiche si è potuta anche giovare di dati archeologici e fonti storiche e cartografiche antiche.

Le conoscenze sul sottosuolo, necessariamente più discontinue, sono essenzialmente derivate dall'interpretazione di prove puntiformi geotecniche e geognostiche. Tra queste sono risultate di primaria importanza le indagini commissionate dal Comune per lo studio delle falde idriche contaminate nel quadrante nord-occidentale del centro urbano, nei pressi di Via Caretti, oltre a quelle per la microzonazione sismica e il P.S.C.

1.1 Elaborati prodotti

Gli studi realizzati per l'approfondimento del quadro geologico del Comune di Ferrara, sono sintetizzati nella cartografia tematica prodotta.

Unitamente alla carta geologica è stata realizzata un'ampia banca dati di sottosuolo geoinformatizzata, contenente i dati geognostici utilizzati per la redazione degli elaborati di superficie e di sottosuolo, in conformità con gli standard del Servizio Geologico e Sismico della Regione Emilia-Romagna.

La relazione illustrativa, documento esplicativo degli elaborati cartografici, commenta i criteri adottati per studio, descrive le metodologie di analisi utilizzate, oltre ad inquadrare il territorio nel contesto geologico e sismotettonico locale.

Nell'ambito di questo studio è stato inoltre fornito il supporto per la realizzazione della parte geologica relativa alle schede d'ambito del P.O.C. (Piano Operativo Comunale), approvato con delibera PG. 20451/2014.

In sintesi lo studio è rappresentato dai seguenti elaborati:

- **Carta geologica** - scala 1:25.000 - prodotta in **due tavole** rispettivamente riferite al settore settentrionale e meridionale del territorio comunale;
- **Carta geologica** - scala 1:10.000 - prodotta in **tavola singola** per l'area urbana;



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

- **Carta altimetrico-morfologica** - scala 1:25.000 - ottenuta mediante classificazione del modello altimetrico L.I.D.A.R. e prodotta in **due tavole** rispettivamente riferite al settore settentrionale e meridionale del territorio comunale;
- **Banca dati** informatizzata e georeferenziata in ambiente GIS ESRI;
- **Profili geologici** di sottosuolo nell'area urbana;
- **Relazione illustrativa.**

2 Inquadramento dell'area

Nonostante una prima impressione di grande uniformità, la pianura di Ferrara rivela, ad un'analisi un po' più accurata, profonde differenze geologiche e geomorfologiche. Queste differenze di superficie riflettono la grande varietà stratigrafica di sottosuolo, che registra tassi di subsidenza e comportamenti tettonici molto diversi, fra zone di anticlinale e di sinclinale, in un contesto di attiva deformazione sismogenica.

Nei paragrafi seguenti verranno descritti i caratteri geologici, geomorfologici, tettonici ed evolutivi riguardanti il territorio in esame, fornendo dapprima un quadro sintetico dei principali studi precedenti, riferimento per le conoscenze pregresse sull'area.

2.1 Lavori precedenti su area di studio

Le conoscenze precedenti sulla geologia dell'area sono nel complesso relativamente scarse e derivano in buona parte da studi di carattere regionale. Questo capitolo non pretende di analizzare in modo esaustivo tutte le pubblicazioni sulla regione di Ferrara, ma intende fornire una discussione di alcuni contributi geologici più significativi. I precedenti lavori qui discussi hanno comunque fornito un utile punto di partenza per questo nuovo studio. Sui corpi geologici profondi, che non sono stati direttamente oggetto di questa ricerca, sono disponibili dati ENI-AGIP, raccolti per la ricerca di idrocarburi, dall'immediato dopoguerra, ma solo in parte tuttora accessibili ai ricercatori esterni. La geologia di superficie della pianura emiliano-romagnola è stata più recentemente cartografata su incarico del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna, ad eccezione di una fascia



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

allungata a sud del Po, che comprende gran parte del territorio comunale, fino a oggi privo di una cartografia geologica recente.

2.1.1 Cartografia geologica e geomorfologica

L'unico prodotto ufficiale della Carta Geologica d'Italia realizzata dal Servizio Geologico Nazionale di Roma, che interessa tutto il territorio comunale, è il Foglio 76 "Ferrara" in scala 1:100.000, rilevato con i criteri del tempo da Bruno Accordi fra 1952 e 1953 e pubblicato nel 1955 (Figura 2-1). Con criteri analoghi, furono cartografate alla stessa scala le aree di pianura dei contigui Foglio 87 "Bologna", Foglio 75 "Mirandola", Foglio 64 "Rovigo", Foglio 77 "Comacchio" e Foglio 88 "Imola". Il nome e il taglio di queste carte corrispondono a quelli dei Fogli topografici in scala 1:100.000, realizzati dall'Istituto Geografico Militare di Firenze. Nei fogli geologici, sono riportate sommarie indicazioni sulle litologie di superficie, descritte sulla base della prevalenza percentuale di sabbie o argille e della frazione organica, mentre non sono riportate indicazioni sulla distribuzione dei corpi di paleoalveo o su evidenze geomorfologiche. Sono invece fornite indicazioni sulla stratigrafia e le strutture tettoniche profonde, derivate dalle indagini geofisiche e da perforazioni esplorative per la ricerca di idrocarburi. Le informazioni strutturali sono indicate mediante la rappresentazione degli assi di pieghe anticlinali e sinclinali e delle principali linee di dislocazione. Infine, è schematicamente presentata la correlazione delle stratigrafie di pozzi per idrocarburi, distinte in unità cronostratigrafiche, non essendo stati all'epoca ancora adottati i criteri di nomenclatura litostratigrafica. Va inoltre tenuto presente che attualmente viene utilizzata una diversa suddivisione geocronologica e cronostratigrafica, con la presenza, ad esempio, del Paleocene e una diversa definizione di Pliocene e Pleistocene.



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

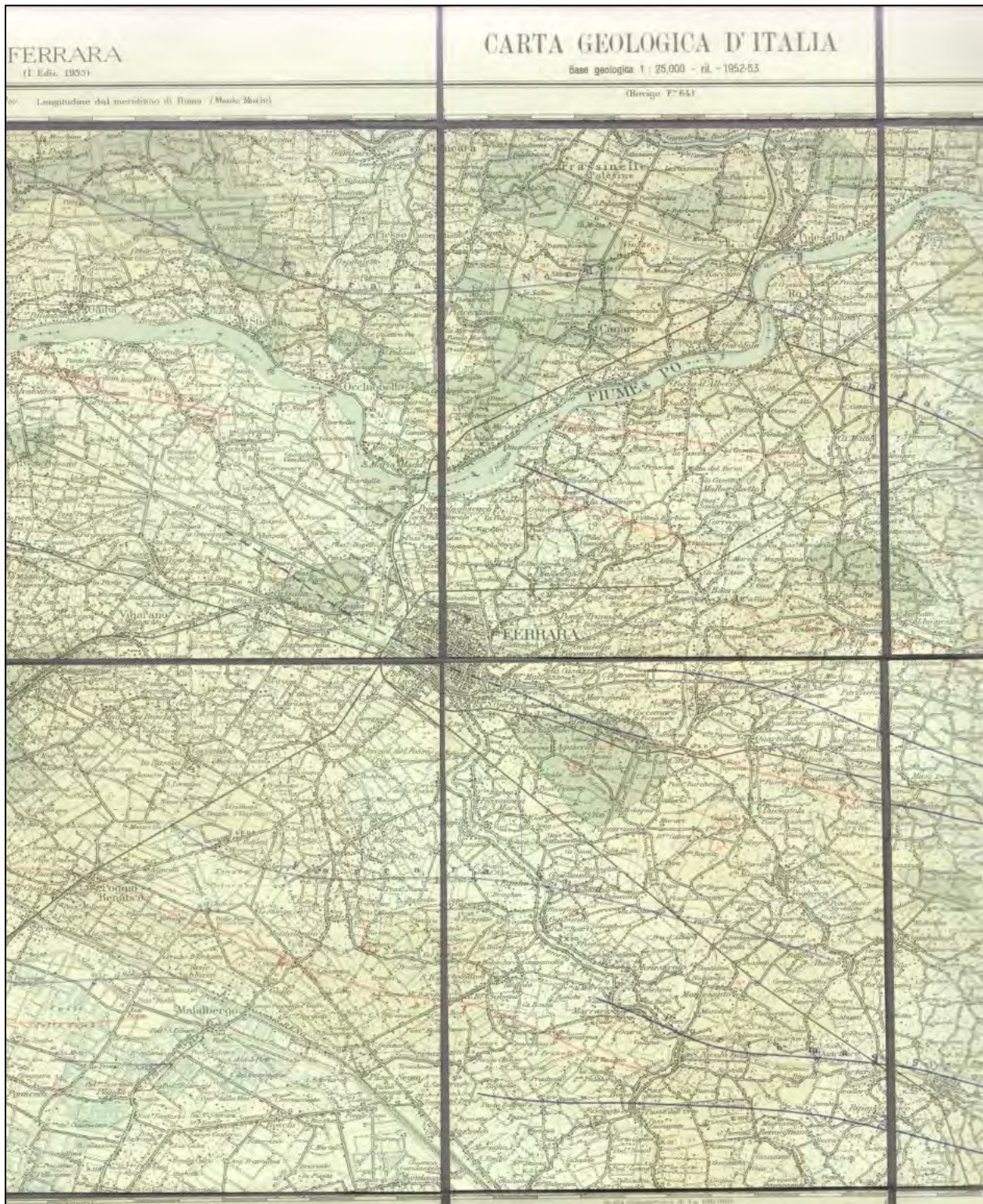


Figura 2-1 - Riproduzione della parte centrale del Foglio 76 "Ferrara" in scala 1:100.000 della Carta Geologica d'Italia, realizzata nel 1955 a cura del Servizio Geologico Nazionale.



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

Nella prima metà degli anni '70, l'Amministrazione Comunale di Ferrara incaricò alcuni ricercatori afferenti all'Istituto di Geologia e Paleontologia dell'Ateneo cittadino, diretto da Piero Leonardi, per lo "Studio geologico coordinato per la pianificazione territoriale del Comune di Ferrara", i cui risultati sono stati sintetizzati nell'omonimo articolo apparso sulle Memorie della Società Geologica Italiana (Bartolomei *et al.*, 1975). Particolarmente significativa è la Carta Geomorfologica Fondamentale, realizzata da Marco Bondesan e rappresentata nella Tavola I allegata all'articolo (Figura 2-2), in cui sono assai ben delineate le strutture dossive di paleoalveo, il cui andamento è stato pienamente confermato dai recenti rilievi LIDAR e dalla nuova cartografia qui presentata.

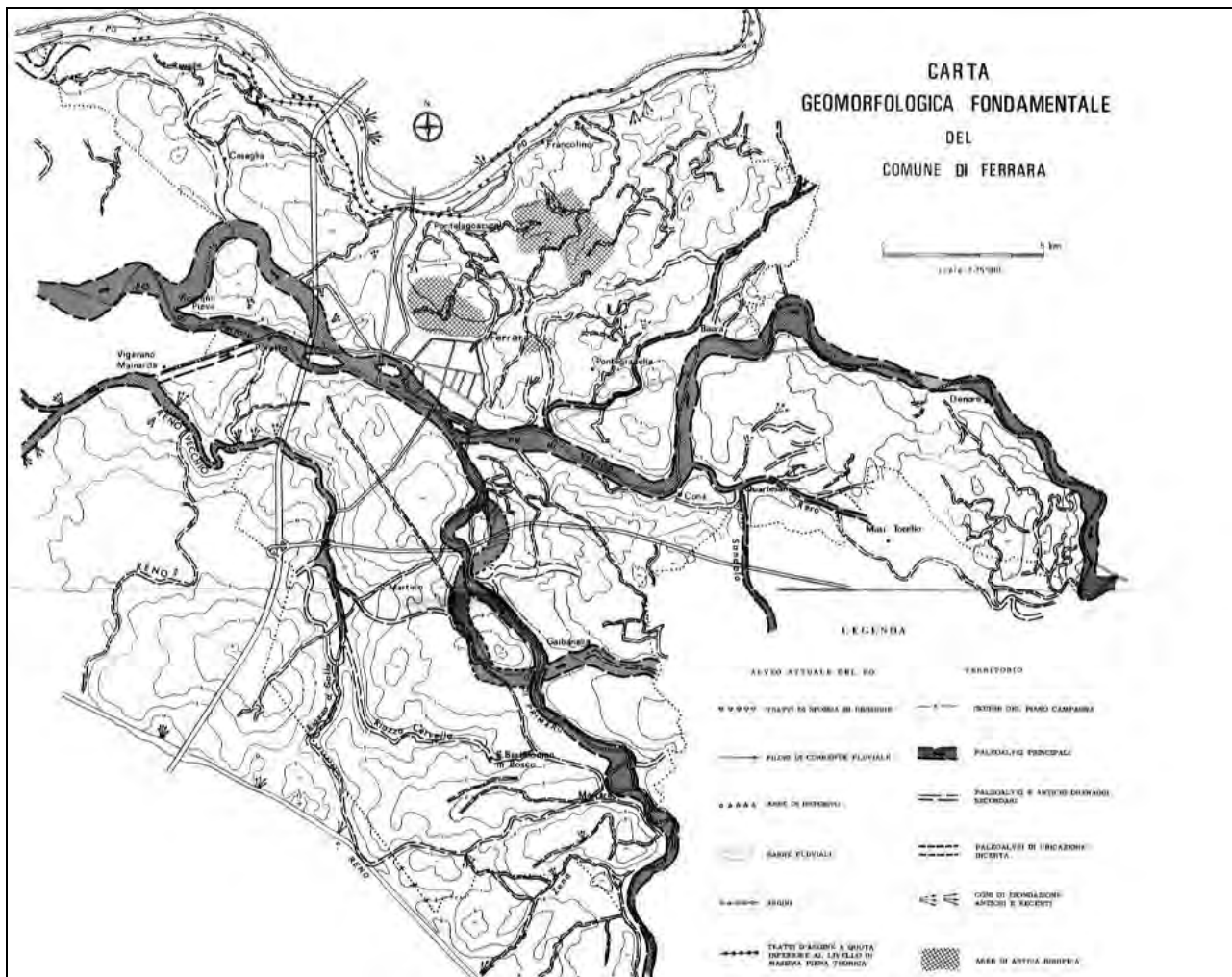


Figura 2-2 - Carta Geomorfologica Fondamentale derivate dallo "Studio geologico coordinato per la pianificazione territoriale del Comune di Ferrara" - Bartolomei *et al.*, 1975.



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

Interessanti sono anche la Tavola II sulle condizioni di drenaggio e le carte sulla storia delle inondazioni fluviali da Reno, sull'andamento areale della subsidenza e sull'evoluzione recente dell'alveo del Po, sintetizzate nelle figure 1, 2 e 3 del suddetto articolo. Le valide considerazioni idrogeologiche sono state redatte da Fiorenzo Vuillermin, ma sono oggi in parte superate da studi più recenti. Assai meno accurato è stato invece lo studio litologico, presentato dalla Tavola III, incompatibile con i dati presentati dalla Tavola I e in buona parte smentito dai rilevamenti successivi; in generale, le varie tipologie di studio appaiono fra loro poco coordinate, nonostante il titolo.

La Carta Geomorfologica della Pianura Padana scala 1:250.000 (Castiglioni *et al.*, 1998) fornisce un pregevole inquadramento generale di tutta la pianura padano-veneta e rimane uno strumento fondamentale per la comprensione di tutte le pianure dell'Italia settentrionale. La rappresentazione del territorio ferrarese, curata da Marco Bondesan (Figura 2-3), appare molto convincente, nonostante la necessità di una forte sintesi dovuta alla scala utilizzata e di una rappresentazione grafica non sempre intuitiva. In questa carta sono correttamente rappresentati tutti i corpi di paleoalveo principali affioranti, le depressioni interalvee, le zone di colmata artificiale, i ventagli da rotta ecc. Ovviamente, essendo una carta geomorfologica, l'enfasi è posta sulle forme del territorio e non sui corpi sedimentari; manca inoltre qualsiasi indicazione cronologica diretta.



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

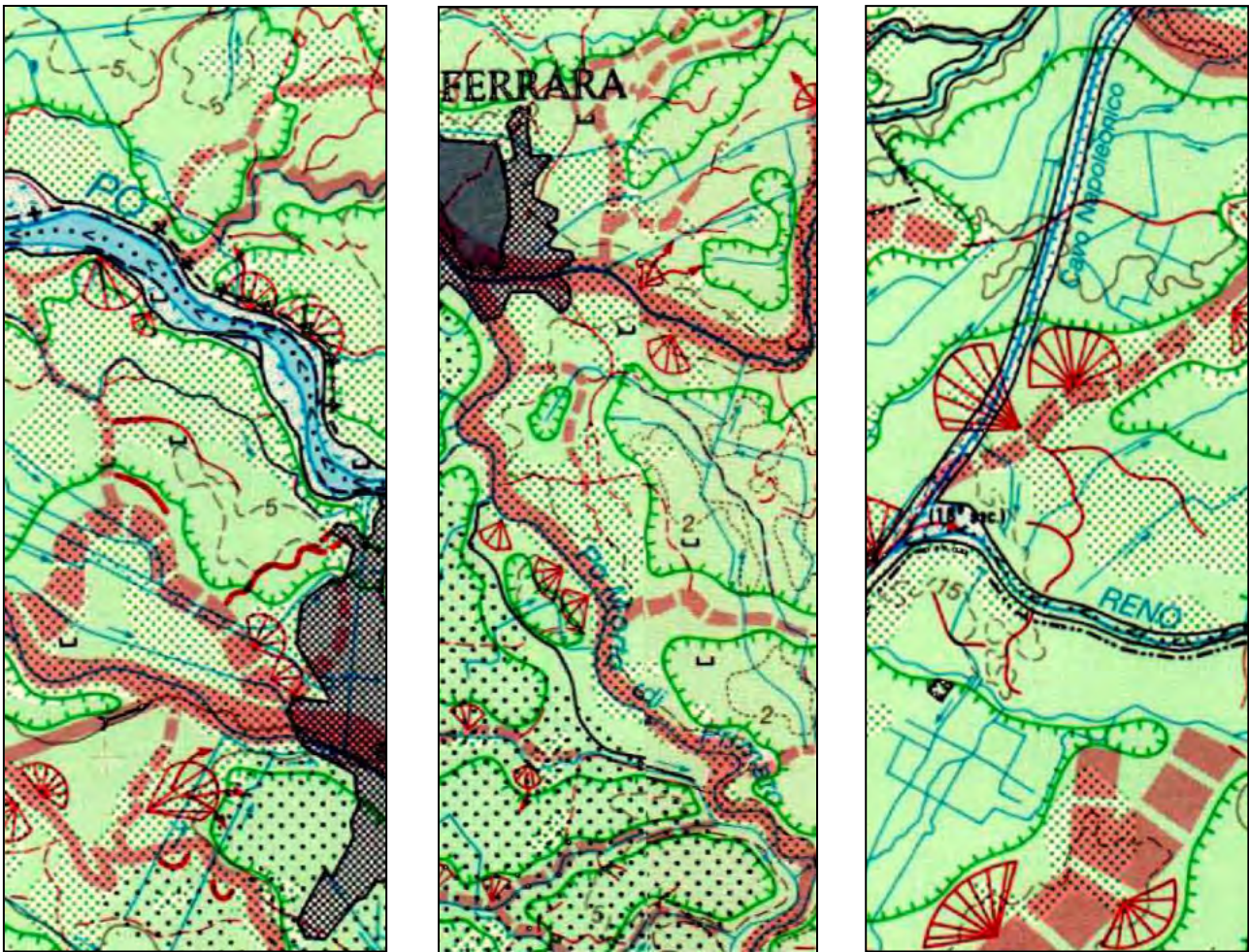


Figura 2-3 - Stralci della Carta Geomorfologica della Pianura Padana alla scala 1:250.000, rappresentanti aree ad ovest, sud-est e sud della città, in cui sono ben visibili dossi di paleoalveo di Po e di Reno.

I prodotti cartografici più recenti sono rappresentati dai fogli della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. Il progetto Nazionale di Cartografia Geologica (CARG) ha però interessato solo una porzione meridionale minoritaria del territorio comunale, ricadente nei pressi del bordo settentrionale dei fogli 203 "Poggio Renatico" e 204 "Portomaggiore", pubblicati entrambi nel 2009. Nell'ambito del progetto CARG, sono stati, infatti, rilevati tutti i fogli delle varie aree di pianura della Regione Emilia-Romagna, ad eccezione dei soli fogli 183 "Suzzara", 184 "Mirandola", 185 "Ferrara" e 186 "Copparo", sviluppati a cavallo del Po e comprendenti aree pertinenti alla Regione Lombardia e Regione Veneto. La sovrapposizione di competenze amministrative diverse ha probabilmente ritardato la realizzazione di questi fogli, lasciando ad oggi le aree epicentrali dei terremoti del 2012 prive di una moderna cartografia geologica.



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

Il foglio 187 “Codigoro” è invece stato rilevato nei primi anni 2000, perché la Regione Emilia Romagna ha qui finanziato anche le indagini nelle aree di pertinenza veneta. I sunnominati fogli geologici 203 “Poggio Renatico” e 204 “Portomaggiore” hanno adottato i moderni criteri di suddivisione stratigrafica, utilizzati in modo uniforme in tutta la cartografia geologica di pianura della Regione Emilia-Romagna, criteri illustrati nel capitolo stratigrafico di queste note. La rappresentazione cartografia è abbastanza sintetica e addotta una simbologia grafica quasi monocromatica diversa da quella utilizzata nella carta a scala maggiore qui illustrata, che però si è basata su criteri stratigrafici e geoinformatici pienamente congruenti con il prodotto ufficiale CARG.

2.1.2 Stratigrafia di sottosuolo e cicli deposizionali quaternari

Fino a dopo la seconda guerra mondiale, le conoscenze geologiche sul sottosuolo del Ferrarese e in generale della Pianura Emiliano-Romagnola erano quasi nulle. Molti dati furono invece raccolti nei decenni successivi, durante le campagne di ricerca di idrocarburi, rimanendo però a lungo coperti dal segreto industriale e riguardano solo strutture relativamente profonde. Qualche informazione sull'assetto di superficie, veniva invece perlopiù da contributi di storici, archeologici e geografi, come ad esempio quelli di Roberto Almagià sulla pianura costiera. Tra le unità profonde e la superficie, le successioni tardo quaternarie rimasero perciò quasi del tutto inesplorate, fino ad un'epoca assai recente. Un primo moderno inquadramento stratigrafico del Quaternario della regione è fornito da Ricci Lucchi *et al.*, (1982), nell'ambito dei lavori per le celebrazioni del Centenario della Società Geologica Italiana. Questo lavoro utilizza un criterio sequenziale per lo studio delle successioni quaternarie affioranti nel margine appenninico, suddividendole in due cicli sedimentari principali, uno marino (Qm) e uno continentale (Qc) (Figura 2-4). In seguito (Farabegoli *et al.*, 1997) furono riconosciuti, nel sottosuolo della pianura, dei cicli deposizionali a controllo glacio-eustatico, costituiti da alternanze, a scala pluridecimetrica, di depositi alluvionali grossolani e fini, correlabili, rispettivamente, a fasi glaciali e interglaciali. In questi lavori fu proposta anche una prima correlazione fra i cicli di sottosuolo e depositi terrazzati affioranti, classificati sulla base della loro posizione, tipo di alterazione superficiale ed età dei resti archeologici associati, pur non prendendo però in diretta considerazione la



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

regione di Ferrara. Tra gli altri lavori a scala regionale si ricordano Amorosi & Farina (1995), Amorosi *et al.*, (1996) e Amorosi *et al.*, (2000) per lo studio dei cicli deposizionali nel sottosuolo della pianura bolognese e per le ipotesi di correlazioni fra questi e i depositi terrazzati affioranti, oltre ad Amorosi *et al.*, (1999a, 1999b, 2003, 2004) per lo studio dell'evoluzione tardo pleistocenica e olocenica della pianura costiera romagnola. Sulla base di questi lavori regionali degli anni '90, il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli Regione Emilia-Romagna ha elaborato i criteri stratigrafici adottati in tutta la cartografia di pianura e quindi anche nella carta geologica del Comune di Ferrara qui presentata. Questi criteri sono stati pubblicati da Regione Emilia-Romagna ed ENI-AGIP (1998), con la proposta di uno schema stratigrafico regionale per l'intervallo Pleistocene-Olocene (Figura 2-4), che introduce il Supersintema Emiliano-Romagnolo, suddiviso in Sintema Superiore e Inferiore, ed i numerosi Subsintemi, corrispondenti a cicli glacio-eustatici con frequenze di circa 100.000 anni.



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

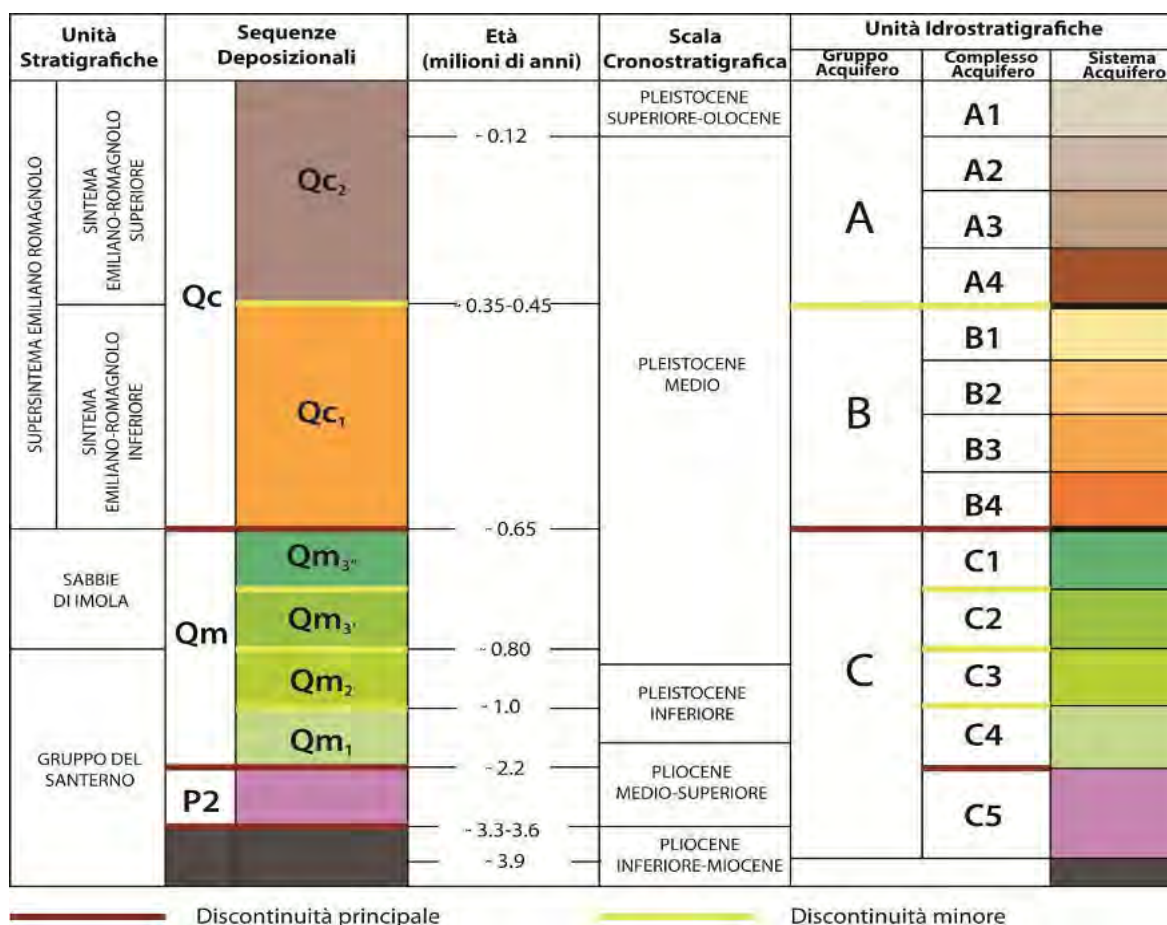


Figura 2-4 - Schema stratigrafico-sequenziale dei depositi plio-quaternari del bacino padano, con indicazione delle unità idrostratigrafiche. Regione Emilia-Romagna & Eni-Agip, 1998.

2.1.3 Tettonica

Le tecniche di esplorazione geofisica mediante misure gravimetriche e sismica a riflessione, utilizzate per la ricerca d'idrocarburi a partire dal dopoguerra, hanno reso possibile la mappatura degli elementi tettonici e la ricostruzione dell'andamento delle strutture sepolte. La grande mole di informazioni generata dalle prospezioni ENI-AGIP sono state sintetizzate, alla scala della Pianura padana, dai lavori Pieri e Groppi (1975; 1981) e nell'atlante sismico di Pieri (1983). Questi studi fondamentali forniscono tuttora la principale base conoscitiva sull'evoluzione tettonica dell'area. Lavori successivi, fra cui Bigi *et al.*, 1990; Boccaletti *et al.*, 2004; Cerrina Feroni *et al.*, 2002; Toscani *et al.*, 2009; Corrado *et al.*, 2010; propongano una serie di diverse interpretazioni tettoniche del sottosuolo della pianura padana, trattando indirettamente anche l'area di Ferrara. Ghieli *et al.* (2010) sulla base dei dati inediti AGIP, hanno pubblicato una ricostruzione molto dettagliata dei rapporti fra evoluzione tettonica e



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

storia deposizionale del sottosuolo di pianura, fra Appennini, Po ed Adriatico, nell'intervallo di tempo compreso fra l'inizio del Pliocene e il Quaternario medio. Questa evoluzione è stata caratterizzata dallo sviluppo di grandi fasci di sovrascorrimenti nord-ventanti, pieghe anticlinali e sincinali, che hanno indotto tassi di subsidenza fortemente variabili. Nel complesso, l'evoluzione ambientale registra un passaggio da condizioni di mare aperto e profondo ad ambienti di delta ed infine di pianura alluvionale francamente continentale.

2.1.4 Studi idrostratigrafici

I moderni concetti idrostratigrafici, associati a quelli stratigrafico sequenziali, hanno fornito un quadro concettuale per la sintesi di dati idrogeologici, idrochimici, geofisici, tettonici e geologico-stratigrafici forniti dalle ricerche ENI-AGIP, dalla ricerca di acque sotterranee e dalle prime fasi del progetto CARG nella Pianura Emiliano Romagnola. I risultati di questa sintesi interdisciplinare sono stati presentati nella ricca pubblicazione di Eni-Agip e Regione Emilia-Romagna (1998), in cui sono stati individuati una serie di corpi acquiferi sovrapposti, correlati con i Subsistemi utilizzati dalla cartografia ufficiale (Figura 2-4). I risultati sono illustrati attraverso un reticolo regionale di profilo idrostratigrafici. Per il Ferrarese, questi studi sono stati poi confermati e raffinati nella ricerca che ha condotto alla pubblicazione sulle "Risorse idriche sotterranee della Provincia di Ferrara" (Molinari *et al.*, 2007), in cui le condizioni idrostratigrafiche sono rappresentate attraverso una serie di carte delle isobate e isopache dei corpi acquiferi e di profili regionali. Questi profili mostrano chiaramente l'influenza della deformazione tettonica sindeposizionale sull'architettura stratigrafica del sottosuolo del Ferrarese.

2.2 Inquadramento geografico

Situato nella parte nord-orientale della Regione Emilia Romagna, il territorio del Comune di Ferrara si estende nella bassa pianura alluvionale del Po e ricade all'interno dei Fogli 185 "Ferrara", 186 "Copparo", 203 "Poggio Renatico" e 204 "Portomaggiore", prodotti dell'Istituto Geografico Militare in scala 1:50.000 (Figura 2-5).



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

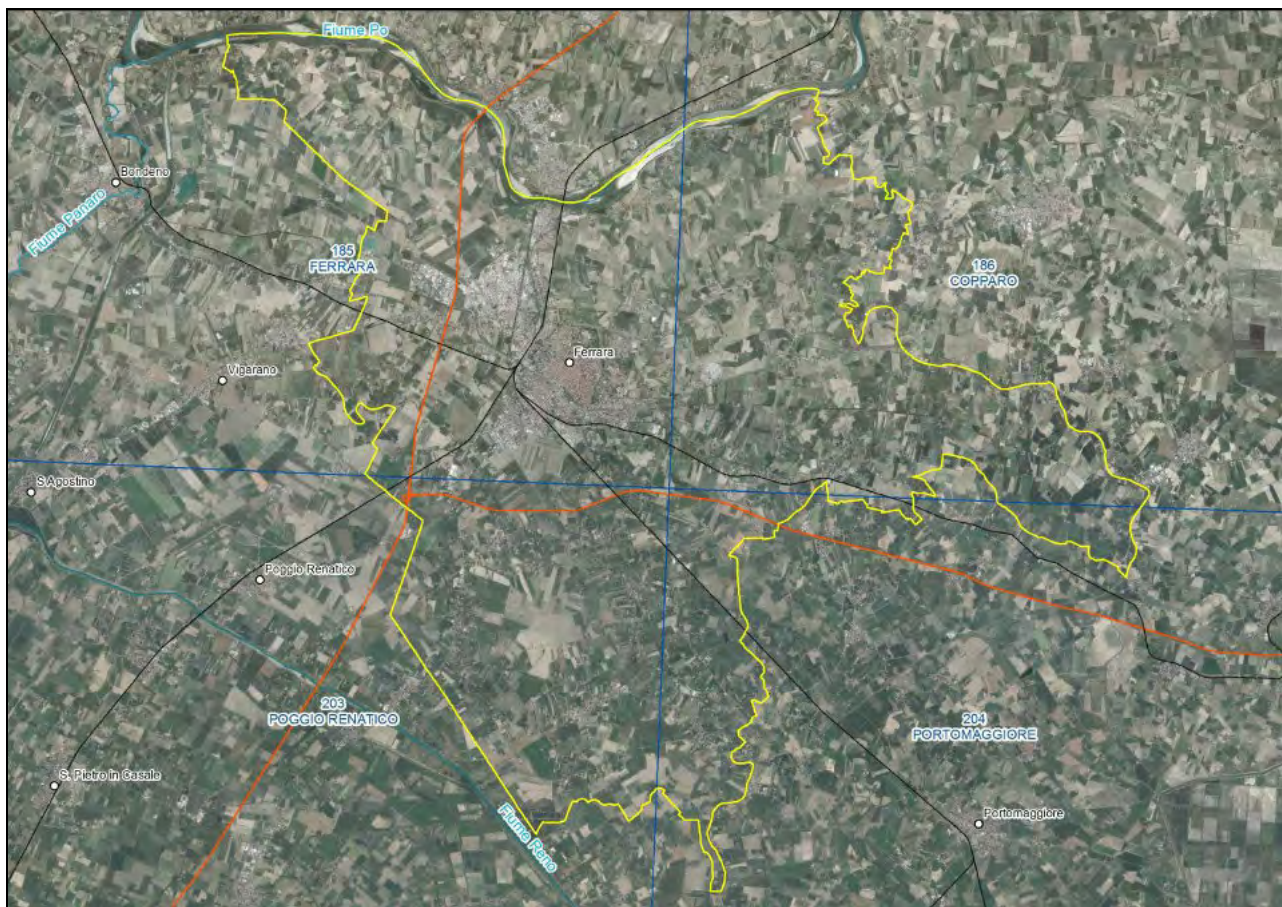


Figura 2-5 - Inquadramento geografico dell'area di studio su ortofoto AGEA 2011. In giallo il confine comunale, in rosso le principali arterie stradali ed in nero le linee ferroviarie. Sono riportati anche i quadranti topografici al 50.000 con i rispettivi codici.

Limitato a nord dal fiume Po, il territorio confina a sud con Baricella ed Argenta, ad occidente con Poggio Renatico, Vigarano Mainarda e Bondeno, mentre ad oriente con i comuni di Voghiera, Masi Torello, Ostellato, Tresigallo, Formignana, Copparo e Ro Ferrarese.

La città di Ferrara sorge sulle sponde del Po di Volano, che separa la città medioevale dal primitivo borgo di San Giorgio e segna il confine con i nuovi insediamenti a sud delle mura. Il nucleo storico della città nasce, infatti, lungo l'antico tracciato altomedioevale del Po di Ferrara, oggi ridotto a canale di bonifica e di scolo, e fin dalle origini si lega alla storia evolutiva del fiume Po e dei propri rami deltizi.



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

2.3 Inquadramento geologico e criteri stratigrafici

I processi e gli eventi che hanno portato all'attuale conformazione dell'area di studio sono registrati nella successione sedimentaria tardo-pleistocenica ed olocenica e sono legati all'evoluzione del reticolo idrografico del fiume Po e di quello di alcuni fiumi di origine appenninica, tra cui il Reno, che un tempo giungevano ad interessare queste aree. La riorganizzazione dei sistemi fluviali, avvenuta attraverso avulsioni, rotte e divagazioni dei fiumi influenzate da fattori eustatici, climatici o tettonici, ha lasciato segni evidenti nella successione sedimentaria. Il riconoscimento di superfici limite legate ad importanti cambiamenti ambientali è di fondamentale importanza per la gerarchizzazione dei corpi sedimentari e per la definizione di un inquadramento cronologico relativo.

L'attuale classificazione dei depositi quaternari di pianura in unità a limiti inconformi è basato sia sull'individuazione di superfici di discontinuità stratigrafica, sia su criteri litologico-sedimentologico-paleoambientali. Secondo la normativa, le UBSU (*Unconformity Bounded Stratigraphic Units* - Salvador, 1994) vengono, infatti, caratterizzate anche sulla base delle litologie e degli ambienti deposizionali (Pasquarè *et al.*, 1992; Servizio Geologico Nazionale, 2001; APAT, 2003).

Il ruolo delle superfici di discontinuità nella definizione delle unità stratigrafiche era già noto a Sloss *et al.*, (1949). Fu però Wheeler per primo (1958, 1959 a b, 1963) ad enfatizzare l'importanza di riconoscere – come a se stanti e distinte dalle altre tipologie di unità stratigrafiche – le unità delimitate da discontinuità. In seguito Chang (1975) fornì la definizione di queste unità a limiti inconformi come “corpi sedimentari delimitati alla base e alla sommità da discontinuità significative ed estese a scala regionale o interregionale”, introducendo il nuovo termine di “Synthem”. Infine Salvador (1994), con la Guida Internazionale alla Nomenclatura Stratigrafia, ne ratificò l'importanza.

Nell'ambito della cartografia geologica nazionale i corpi sedimentari quaternari sono stati suddivisi secondo due criteri paralleli: l'uno basato su unità a limiti inconformi, l'altro su criteri litologico-paleoambientali. Seguendo il primo criterio, i volumi di sedimento sono stati separati in unità cronologicamente omogenee (es. Subsistema di Ravenna AES8), delimitate da superfici di discordanza e lacuna di diverso ordine gerarchico che registrano eventi di tipo eustatico, climatico o tettonico. Con il secondo criterio, i sedimenti sono stati distinti in base ai



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

tipi litologici e alle diverse di associazioni di facies deposizionali riconosciute attraverso l'analisi sedimentologica e paleoecologica. All'interno di una stessa unità a limiti inconformi sono raggruppate varie associazioni di facies (Tabella 2-1) e litologie.

I criteri utilizzati per la classificazione dei depositi quaternari dalla Regione Emilia - Romagna sono sintetizzati nella tabella seguente.

DEPOSITI ALLUVIONALI	Terrazzo, conoide e pianura alluvionale	<ul style="list-style-type: none"> • ghiaie e sabbie di riempimento di canale fluviale; • sabbie e limi di argine, canale e rotta fluviale; • argille e limi di piana inondabile; • argille, limi e sabbie di tracimazione fluviale indifferenziata.
DEPOSITI DELTIZI E LITORALI	Piana deltizia	<ul style="list-style-type: none"> • sabbie e limi di canale distributore; argine e rotta; • argille e limi di area d'intercanale • argille e limi con sostanza organica di area interdistributrice.
	Fronte deltizia e piana di sabbia	<ul style="list-style-type: none"> • sabbie di cordone litorale e duna eolica; • argille e limi di retrocordone.
DEPOSITI MARINI	Depositi di prodelta e piattaforma	<ul style="list-style-type: none"> • argille, limi e sabbie di prodelta e transizione alla piattaforma.

Tabella 2-1 - Schema della classificazione di litologie ed ambienti deposizionali adottata dal Servizio Geologico della Regione Emilia Romagna.

Questo schema di classificazione consente di caratterizzare i sedimenti di pianura sia sulla base della loro composizione litologica, sia del contesto ambientale in cui si sono depositi.

I medesimi depositi sono anche classificati in unità a limiti inconformi che prevede l'inquadramento in *Supsintemi, Sintemi, Subsintemi ed Unità*.

Nei paragrafi seguenti è descritta l'organizzazione stratigrafica del sottosuolo attraverso l'uso delle unità a più alto ordine gerarchico utilizzate dalla Regione Emilia-Romagna.



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

2.3.1 Supersintema Emiliano Romagnolo

Il Supersintema Emiliano-Romagnolo comprende tutti depositi quaternari affioranti al margine appennino-padano (Ciclo Qc di Ricci Lucchi *et al.*, 1982 - Figura 2-4) ed i coevi sedimenti presenti nel sottosuolo della pianura Emiliano-Romagnola. L'unità si estende dal Pleistocene Medio all'Olocene (circa 700.000 anni B.P. - Attuale). Il Supersintema è limitato superiormente dall'attuale superficie topografica e raggruppa sedimenti di tipo marino-litorale, deltizio e continentale, che si sovrappongono in discordanza su prevalenti depositi marini del Miocene, Pliocene o Pleistocene inferiore che costituiscono la porzione inferiore della "Successione post-evaporitica del margine padano-adriatico". La discordanza basale affiora unicamente a ridosso del margine appenninico, in aree di innalzamento tettonico, e in settori intravallivi (es. Foglio 255 "Cesena"; Foglio 254 "Modigliana" v. Cremonini *et al.*, 2001); Foglio 239 "Faenza", (2009). Allontanandosi dalla catena appenninica, la superficie di discordanza basale si immerge rapidamente nel sottosuolo. Nelle unità sepolte, procedendo verso nord-est, essa sfuma lateralmente alla rispettiva superficie di continuità stratigrafica o di paraconcordanza. Nel sottosuolo dell'alta pianura il Supersintema appoggia su depositi ghiaioso-sabbiosi di mare basso, spiaggia e delta-conoide, correlati alle Sabbie Gialle di Imola (IMO, ciclo Qm3 di Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998). Allontanandosi dalla fascia pedeappenninica, la base corrisponde alla sovrapposizione di depositi fluviodeltizi su depositi marini mio-pliocenici. Nell'area ferrarese studiata, questo limite passa all'interno di sedimenti marini, prevalentemente fini, come documentato dai soli dati AGIP, in quanto nessuno dei sondaggi realizzati nell'ambito del progetto CARG si spinge a così elevate profondità.

Il Supersintema registra nel suo complesso un'evoluzione *shallowing* con un'evidente migrazione verso NE degli ambienti deposizionali ad esso associati. Questa evoluzione fu generata sia dal progressivo riempimento del Bacino Padano, sia il contemporaneo coinvolgimento di ampie porzioni dell'avanfossa.

Nelle porzioni più profonde, il Supersintema è caratterizzato dalla progradazione dei sistemi deposizionali alluvionali da SO verso NE ed il conseguente arretramento dei depositi fluviodeltizi e costieri. Questa progradazione mostra due fasi distinte, corrispondenti ai due sistemi in cui il Supersintema è suddiviso. A scala regionale, il Supersintema Emiliano-Romagnolo è, infatti, suddiviso in due unità, separate da una discordanza ben evidente nei profili sismici a



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

riflessione, realizzati per l'esplorazione petrolifera: il Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore (AEI) ed il Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES), riconosciuti sia nei settori intravallivi che nel sottosuolo della pianura Emiliano-Romagnola e del prospiciente Adriatico (Amorosi & Farina, 1995; Regione Emilia-Romagna & Eni-Agip, 1998; Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 Foglio 223 "Ravenna", (2002); Foglio 256 "Rimini", (2005); Foglio 240-241 "Forlì-Cervia", (2005); Foglio 205 "Comacchio" (2009); Foglio 187 "Codigoro" (2009). Tale discordanza, anche angolare, è prevalentemente legata agli eventi deformativi di tipo compressivo. Attraverso il sottosuolo di tutta fascia costiera e deltizia, l'insieme dei due sintemi è costituito da 8 cicli trasgressivo - regressivi, con spessori dell'ordine del centinaio di metri ciascuno. Questi cicli deposizionali sono il prodotto della ciclicità elementare glacio-eustatica di quarto ordine (Martinson *et al.*, 1987), come suggerito dalla loro estensione a scala sovregionale, dall'architettura deposizionale e dalla loro durata, nell'ordine dei 100.000 anni.

2.3.1.1 Sintema Emiliano Romagnolo Inferiore (AEI)

Il Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore (AEI) costituisce la parte più bassa del Supersintema Emiliano-Romagnolo e di norma si sviluppa a notevoli profondità. La caratterizzazione di quest'unità, è stata effettuata sulla base delle informazioni ottenute attraverso sondaggi stratigrafici profondi, realizzati nell'ambito del progetto CARG dalla Regione Emilia-Romagna, (Foglio 203 "Poggio Renatico", Foglio 204 "Portomaggiore"), oltre che di diversi log di pozzo per idrocarburi ENI-AGIP (Baura, Casaglia, Cona, Ferrara, Pavonara, Pontelagoscuro, Porotto).

Mai affiorante nell'area di studio, il Sintema è troncato superiormente dalla netta discordanza erosiva ed angolare costituente il tetto dell'unità.

Nei settori meridionali maggiormente subsidenti, il Sintema può raggiungere spessori di varie centinaia di metri, mentre può risultare del tutto assente nelle aree più nord-occidentali, in corrispondenza della Dorsale Ferrarese sepolta, come a esempio nei pozzi di Casaglia.

Ove presente, il Sintema è dominato da facies marine e deltizie, costituite da alternanze cicliche di depositi fini argilloso-limosi a foraminiferi marini e depositi prevalentemente sabbiosi, riferibili ad associazioni di facies di piana fluvio-deltizia, che superiormente possono



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

sfumare in depositi di piana alluvionale (sondaggio 203-S9 e campi pozzi per idrocarburi: Baricella, Cona, Marrana, Minerbio, Montalbano, Pieve di Cento, S. Pietro in Casale, La Selva, Spinazzino).

Sulla base della posizione stratigrafica, l'unità è attribuita al Pleistocene medio, cioè nell'intervallo temporale compreso tra i 650.000 e 350.000 anni. (Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998).

2.3.1.2 Sintema Emiliano Romagnolo Superiore (AES)

Il Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES) costituisce la porzione superiore del Supersintema Emiliano-Romagnolo. Al margine dell'Appennino ed in corrispondenza della Dorsale Ferrarese, la sua base corrisponde ad una discordanza erosiva ed angolare che taglia depositi marini mio-pliocenici. Nel sottosuolo di vasti settori di alta pianura, il limite inferiore è marcato dalla sovrapposizione di corpi ghiaiosi di conoide alluvionale su una discordanza erosiva, incisa in depositi fluviodeltizi di AEI. Procedendo verso NE, in porzioni più distali della pianura, il limite risulta meno marcato e paraconcordante. In queste aree, il limite fra i due sintemi corrisponde alla brusca sovrapposizione di sabbie alluvionali (AES) su depositi prevalentemente fluvio-deltizi ed argille marine (AEI).

Lo spessore di AES varia da poche decine di metri, nei pressi della fascia pedeappenninica (es. Foglio 240 "Forlì"), ai 70 m circa nell'area dell'anticlinale di Casaglia, fino ad oltre 500 m in corrispondenza del margine costiero (es. Foglio 187 "Codigoro"). Gli spessori medi si aggirano sui 200-300 m in corrispondenza delle zone di bassa pianura (es. Foglio 204 "Portomaggiore").

La base del Sintema è attribuita, per posizione stratigrafica, al Pleistocene medio (350-450.000 anni secondo Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998). Il limite superiore corrisponde invece all'attuale superficie topografica ed appartiene alla parte più recente dell'Olocene.

L'intero Sintema è organizzato in quattro o cinque cicli deposizionali trasgressivo- regressivi, ciascun avente uno spessore approssimativamente di un centinaio di metri. Le facies trasgressive marino-costiere non sembrano estendersi in AES più a sud dell'allineamento Molinella-Altedo-S.Pietro in Casale, avvicinandosi al limite sud-orientale dell'area di Ferrara



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

solo nella parte inferiore del Sintema AES. La porzione *trasgressiva* basale di ciascun ciclo è caratterizzata dalla frequente presenza di argille organiche di piana alluvionale, palude e piana costiera, con occasionali intercalazioni di sabbie litorali o fanghi salmastri. Il limite inferiore di ognuno di questi cicli rappresenta una superficie di disattivazione della sedimentazione fluviale grossolana singlaciale e si collega nel settore litorale con una superficie di ingressione marina. La porzione *regressiva* di ciascun ciclo è formata da depositi fini di piana alluvionale, in cui le sabbie di canale fluviale sono subordinate e presenti solo come corpi nastriformi isolati. Al tetto del ciclo, le sabbie di canale fluviale risultano più abbondanti, fino alla formazione di corpi sabbiosi composti, lateralmente estesi in tutto il sottosuolo della bassa Pianura ferrarese.

Nell'ambito del Progetto di Cartografia Geologica Nazionale, i cinque cicli che compongono il Sintema sono stati suddivisi in 2 cicli inferiori definiti rispettivamente Subsintema *di Liano* (AES₄) e Subsintema di *Torre Stagni* (AES₅) (cfr. AES indifferenziato - Foglio 204 Portomaggiore), ed in 3 cicli superiori, inquadrati nei Subsintemi di *Bazzano* (AES₆), *Villa Verucchio* (AES₇) e *Ravenna* (AES₈). Nella porzione più recente del Subsintema di Ravenna, è stata ulteriormente distinta l'Unità di Modena (AES_{8a}), un'unità di età post-romana, definita sulla base di eventi di riorganizzazione idrografica, accelerazione dei processi sedimentari e cambiamenti nei caratteri archeologici associati alla fine dell'Impero Romano.

I cicli più antichi, scarsamente noti nell'area in quanto solo raramente indagati da sondaggi geognostici di grande profondità, mostrano caratteri marini più pronunciati e registrano eventi trasgressivi maggiormente sviluppati verso l'entroterra, rispetto a quelli più recenti. Essi mostrano inoltre corpi sabbiosi fluvio-deltizi in aree più sud-occidentali rispetto a quelli dei 3 cicli più recenti. Questa evoluzione registra sia il progressivo riempimento del bacino sedimentario di Avanfossa, sia lo spostamento verso nord degli assi depocentrali e del reticolo fluviale padano, legato al prevalere degli apporti terrigeni rispetto alla creazione di spazio di accomodamento sedimentario.

I tre Subsintemi superiori (AES₆, AES₇, AES₈), presentano tra loro forti analogie nell'organizzazione stratigrafica. La base di ciascun ciclo, corrisponde ad una superficie erosiva incisa in sabbie fluviali singlaciali o – in aree più meridionali soggette a forti apporti appenninici – ad un paleosuolo carbonatico maturo, sviluppato su depositi continentali fini.



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

Nell'attuale regione costiera, la porzione inferiore trasgressiva di ciascun ciclo presenta spessori di alcuni metri ed è caratterizzata da argille di piana alluvionale e palude, ricche in sostanza organica e passanti a fanghi lagunari, troncate al tetto da una superficie di rimaneggiamento trasgressivo o *ravinement surface* (Bruun, 1962; Swift *et al.*, 1972; Swift, 1975; Dominguez & Wanless, 1991), a cui seguono sottili sabbie costiere e fanghi marini. In queste aree costiere, la parte regressiva è spessa fino al centinaio di metri ed è costituita da depositi marini con evoluzione *shallowing*, da fanghi di prodelta e sabbie fronte deltizio, seguiti da una spessa successione di piana alluvionale. La parte superiore del ciclo è formata da sabbie grossolane di media pianura alluvionale, che passano lateralmente a sedimenti fini di pianura fredda, diffusi soprattutto nelle porzioni meridionali. Spostandosi verso il piede dell'Appennino, nei cicli sedimentari scompaiono le intercalazioni marine e la parte superiore è dominata da corpi ghiaioso-sabbiosi di riempimento di canale fluviale, che registrano lobi di conoide alluvionale ad alimentazione certamente appenninica.

2.4 Contesto strutturale e sismico

L'assetto strutturale del sottosuolo è stato, in passato, indagato attraverso numerosi profili di sismica a riflessione, realizzati per la ricerca di idrocarburi da parte dell'ENI-AGIP, dalla cessata Società Petrolifera Italiana e di altre compagnie. Queste ricerche sismiche hanno permesso di riconoscere una complessa serie di pieghe e sovrascorrimenti a pianta arcuata e vergenza mediamente nord-nordest (Bigi *et al.*, 1990; Boccaletti *et al.*, 2004; Cerrina Feroni *et al.*, 2002; Pieri & Groppi, 1975, 1981). Nella porzione più esterna della catena appenninica, è possibile riscontrare la presenza di due grandi archi di pieghe anticlinali e sovrascorrimenti, con concavità rivolta verso il margine appenninico (Pieri & Groppi, 1975), denominati, ad ovest, "Arco delle Pieghe Emiliane" ed ad est "Arco delle Pieghe Ferraresi-Romagnole".



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

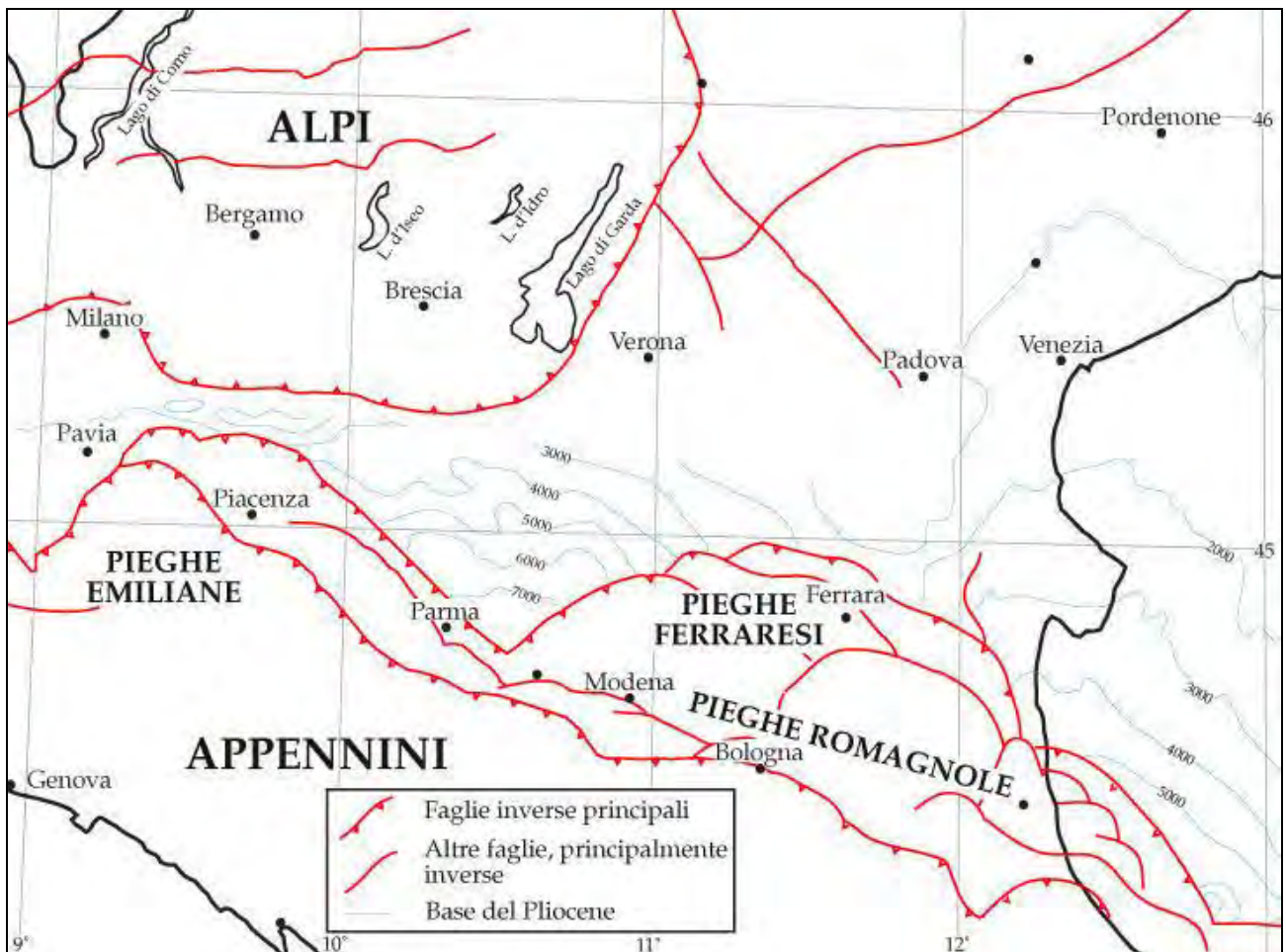


Figura 2-6 - Carta strutturale semplificata della Pianura Padana (Pieri & Groppi, 1975). Le isobate si riferiscono alla profondità della base dei sedimenti pliocenici. Modificata da Burrato *et al.*, 2003.

L'arco orientale può essere suddiviso in tre fasci strutturali minori, dette "Pieghe Ferraresi", "Pieghe Romagnole" e "Pieghe Adriatiche" (Bigi *et al.*, 1990); le Pieghe Ferraresi (Dorsale Ferrarese o "*Ferrara Folds*" di Pieri & Groppi, 1981) rappresentano le strutture più settentrionali (Figura 2-6). Le Pieghe Ferraresi si sviluppano a nord della direttrice S. Pietro in Casale - Pieve di Cento, (Figura 2-7) e verso sud sono limitate da una fascia di pieghe e sovrascorrimenti sepolti, più prossima al margine appenninico e sub-parallela ad esso ("Pieghe Romagnole" in Pieri & Groppi, 1981). Questo fascio di sovrascorrimenti e pieghe, con direzione assiale prevalente N 110°, è sviluppata fra l'allineamento San Giovanni in Persiceto, Minerbio e San Giorgio di Piano e l'Appennino affiorante.



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

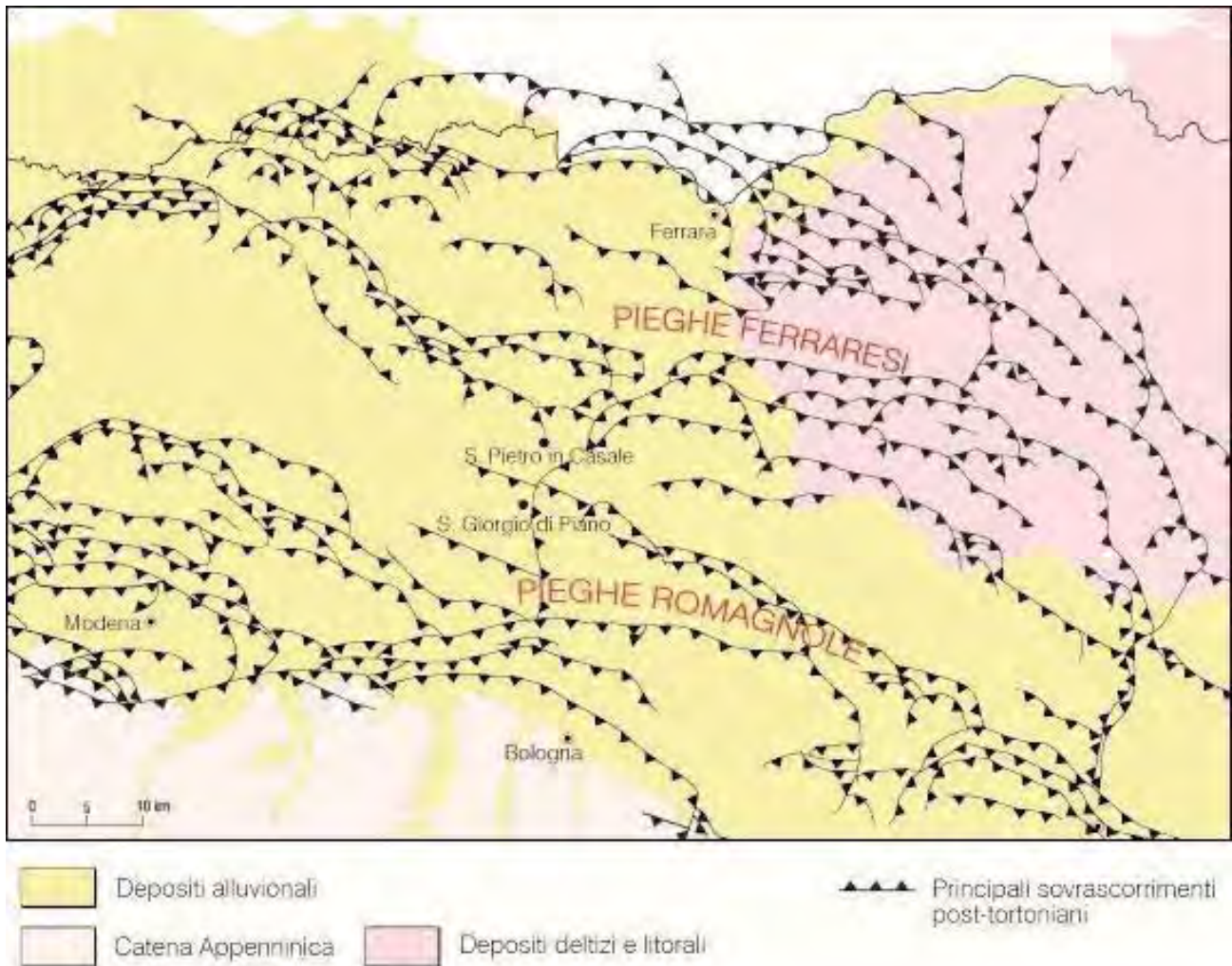


Figura 2-7 - Inquadramento tettonico illustrante la complessità delle strutture dell'arco delle Pieghe Romagnole e Ferraresi. Modificato dalle Note Illustrative del Foglio CARG 203, Poggio Renatico.

Le Pieghe Ferraresi a nord ed il fronte sepolto delle falde Liguridi prossimo alla Via Emilia, delimitano un ampio bacino satellite (*piggy-back* Ori & Friend, 1984), interessato da sovrascorrimenti e pieghe minori, all'interno del quale si sono depositi i grandi spessori sedimentari del Pliocene marino e Quaternario marino - continentale (Figura 2-9), coevi alla deformazione e all'avanzamento verso nord delle strutture tettoniche. Nell'area analizzata, le strutture dell'Appennino sepolto coinvolgono le unità della copertura meso - cenozoica e spesse successioni plio-pleistoceniche sindeformative.

L'evoluzione temporale di queste complesse strutture compressive ha registrato l'avanzamento verso l'avampaese della deformazione del margine appenninico attraverso fasi



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

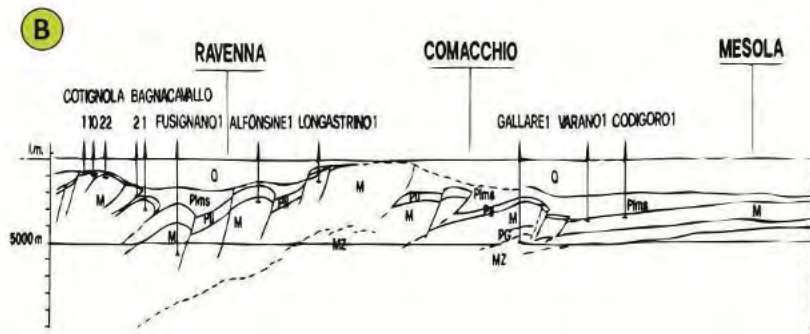
parossistiche (Farabegoli *et al.*, 1997; Ricci Lucchi, 1986; Ricci Lucchi *et al.*, 1982), della durata di poche centinaia di migliaia di anni (es. Tortoniano superiore, Messiniano superiore, Pliocene inferiore e medio, Pleistocene inferiore). Queste fasi hanno indotto superfici di discordanza e di riarrangiamento dell'architettura deposizionale, che permettono di suddividere i potenti corpi sedimentari in una serie di unità stratigrafiche a limiti in conformi.



Figura 2-8 - Domini tettonici dalla Dorsale Appenninica alla Pianura Veneta. Profilo geologico esemplificativo secondo l'interpretazione di Toscani *et al.*, 2009.

L'architettura stratigrafica dei depositi plio - quaternari fu quindi molto influenzata dalla deformazione di queste fasce di sovrascorrimenti sepolti e presenta quindi spessori massimi nelle depressioni strutturali e minimi sulle anticlinali sepolte (Correggiari *et al.*, 1992; Amorosi *et al.*, 1997 a; b; Di Dio & Caporale, 1998).

Nella fascia prossima all'attuale piede dell'Appennino affiorante, nessuna faglia sembra coinvolgere la base dei depositi quaternari che sigillano strutture fragili che paiono attive fino al tetto del Pliocene. Nelle strutture più avanzate, la base dei depositi quaternari risulta invece tagliata da strutture fragili e ciò testimonia un progressivo trasferimento dell'attività tettonica verso la parte più esterna dell'arco ed il margine frontale della catena appenninica sepolta (es. Picotti & Pazzaglia 2008; Toscani *et al.*, 2009).



Sezione Geologica
 Q Quaternario
 Plms Pliocene medio-sup.
 Pli Pliocene inferiore
 M Miocene
 PG Paleogene
 MZ Mesozoico

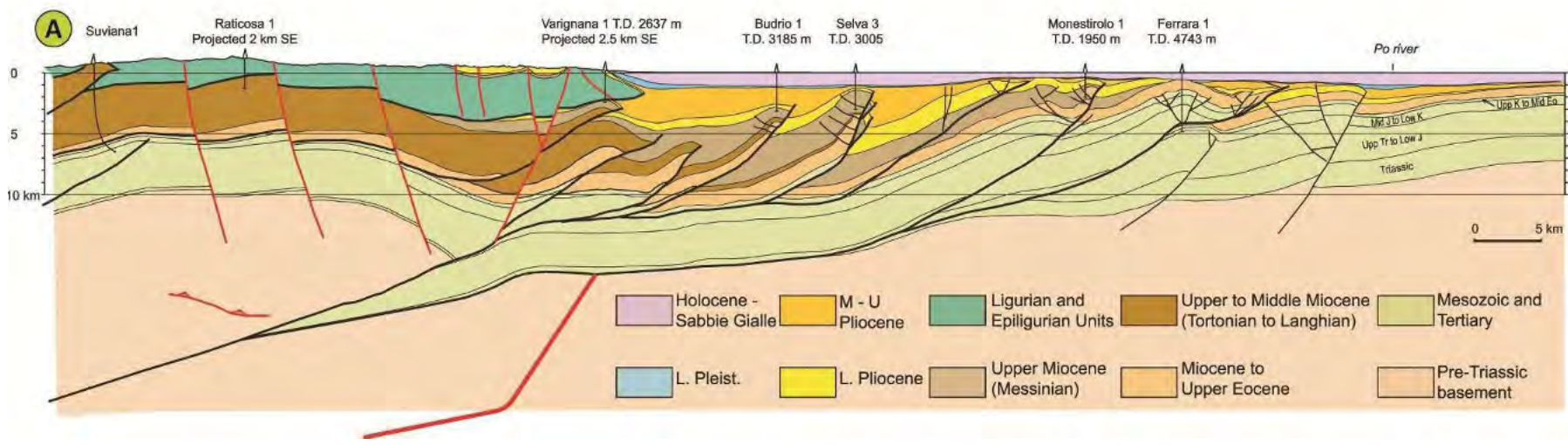


Figura 2-9 - Contesto strutturale della porzione emiliano-romagnola dell'Avanfossa Appenninica. La sezione superiore (B) da Pieri & Groppi, 1981 la sezione inferiore (A) da Toscani *et al.*, 2009.



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

2.4.1 Sorgenti sismogenetiche

La sismicità di un territorio è strettamente connessa al proprio assetto tettonico - strutturale, dunque alla presenza di quelle che vengono definite strutture “geologicamente attive”. Alla base di ogni stima della pericolosità sismica, oltre alle conoscenze legate all’evoluzione delle principali strutture deformative esistenti, risultano fondamentali anche quelle relative alla storia sismica dello territorio, vale a dire tutte le informazioni riguardanti i terremoti avvenuti in epoca storica e gli effetti ad essi associati.

Il territorio comunale di Ferrara è interessato dalla presenza di due strutture sismogenetiche composite, orientate approssimativamente ESE-WNW, definite rispettivamente dal database DISS (*DISS Working Group*, 2015) come Malalbergo-Ravenna (ITCS012) e Poggio Rusco-Migliarino (ITCS050) (Figura 2-10).

Queste strutture fragili, i cui lineamenti principali mostrano vergenza tendenzialmente nord-est, sono soggette ad un attivo campo di stress tettonico *compressivo*, che induce movimenti inversi o inverso - trascorrenti, associati ad una attività sismica relativamente frequente. Di tale attività esiste significativa documentazione storica (*Guidoboni et al.*, 2007), per sua natura ovviamente incompleta, in particolare prima del XVI secolo.

La fascia corrispondente alla sorgente composita ITCS050 delimita il settore esterno dell’Arco Ferrarese; in essa rientra la sorgente individuale di Ferrara (ITIS090) a cui è assegnata magnitudo massima pari a 5.5, profondità tra 1.4 e 4.5 km e slip-rate compreso tra 0.1 e 0.5 mm/anno.

L’esistenza della sorgente individuale è avvalorata sia da dati di sottosuolo (*Pieri e Groppi*, 1981; *Boccaletti e Martelli*, 2004; *Burrato et al.*, 2003; 2012), sia da attività tettonica “relativamente recente”, alla quale si riconduce il terremoto di Ferrara del 17 novembre 1570. L’ubicazione della sorgente è stata proposta anche sulla base di anomalie del reticolo idrografico, in particolare in relazione alla deviazione dell’alveo del fiume Po in prossimità di Stellata, interpretata come possibile conseguenza della deformazione cosismica indotta dall’attività tettonica di tale struttura sepolta.

Subito ad occidente dell’area in esame (Figura 2-10), il database DISS indica la presenza di altre due sorgenti sismogenetiche composite orientate anch’esse approssimativamente ESE-WNW e denominate rispettivamente Finale Emilia - Mirabello (ITCS103) e Carpi - Poggio



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

Renatico (ITCS051). Alla prima è associata la sorgente individuale di Finale Emilia (ITIS134), caratterizzata da una magnitudo massima pari a 6.1; la profondità della struttura è indicata tra 4 e 8.4 km, mentre lo slip-rate è compreso tra 0.25 e 0.5 mm/anno.

Alla seconda è, invece, associata la sorgente individuale di Mirandola (ITIS107), caratterizzata da una magnitudo massima pari a 6; in questo caso la profondità della struttura è indicata tra 4 e 7 km, mentre lo slip-rate è compreso tra 0.5 e 1.04 mm/anno.

Dette sorgenti individuali sono responsabili degli eventi sismici del maggio 2012; in particolare della scossa del 20 maggio, prodotta dalla sorgente di Finale Emilia, e di quella del 29 maggio, dovuta alla sorgente di Mirandola.

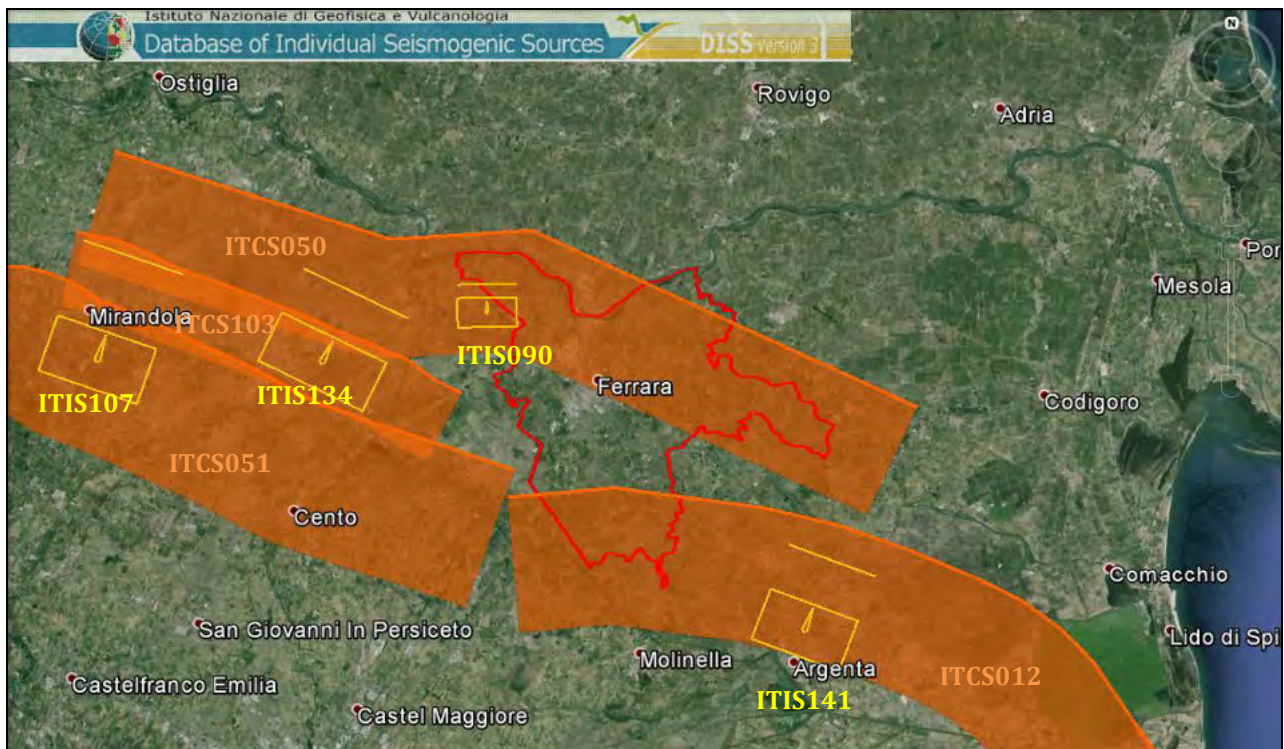


Figura 2-10 - Sorgenti sismogenetiche composite (poligoni arancioni) e individuali (rettangoli gialli) presenti nel database DISS 3.2.0, nell'intorno dell'area di studio. In rosso è riportata l'area occupata dal territorio del Comune di Ferrara.

I caratteri strutturali e sismogenetici di queste strutture fragili sepolte, i cui singoli lineamenti tettonici mostrano scarsa estensione areale, determinano – in caso di sisma – la liberazione di un quantitativo di energia normalmente moderato, in grado comunque di determinare effetti



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

significativi in superficie, data la ridotta profondità delle strutture e gli importanti fattori di focalizzazione e amplificazione sismica.

Nonostante siano tra le meglio documentate tra quelle presenti nel sottosuolo della pianura, per le strutture sismogenetiche appartenenti all'Arco Ferrarese permangono interrogati relativi ai tempi di ritorno degli eventi associati alle sorgenti individuali e alla magnitudo massima attesa per l'area sottesa alla sorgente composta.

Secondo la Zonazione sismogenetica del Territorio Italiano - ZS9, prodotta dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) nel 2004 (Meletti e Valensise, 2004), che rappresenta il riferimento per le valutazioni di pericolosità sismica nel territorio nazionale, il territorio occupato dal Comune di Ferrara ricade entro la Zona 912, caratterizzata da un valore di Mw_{max} pari a 6.14 (Figura 2-11).

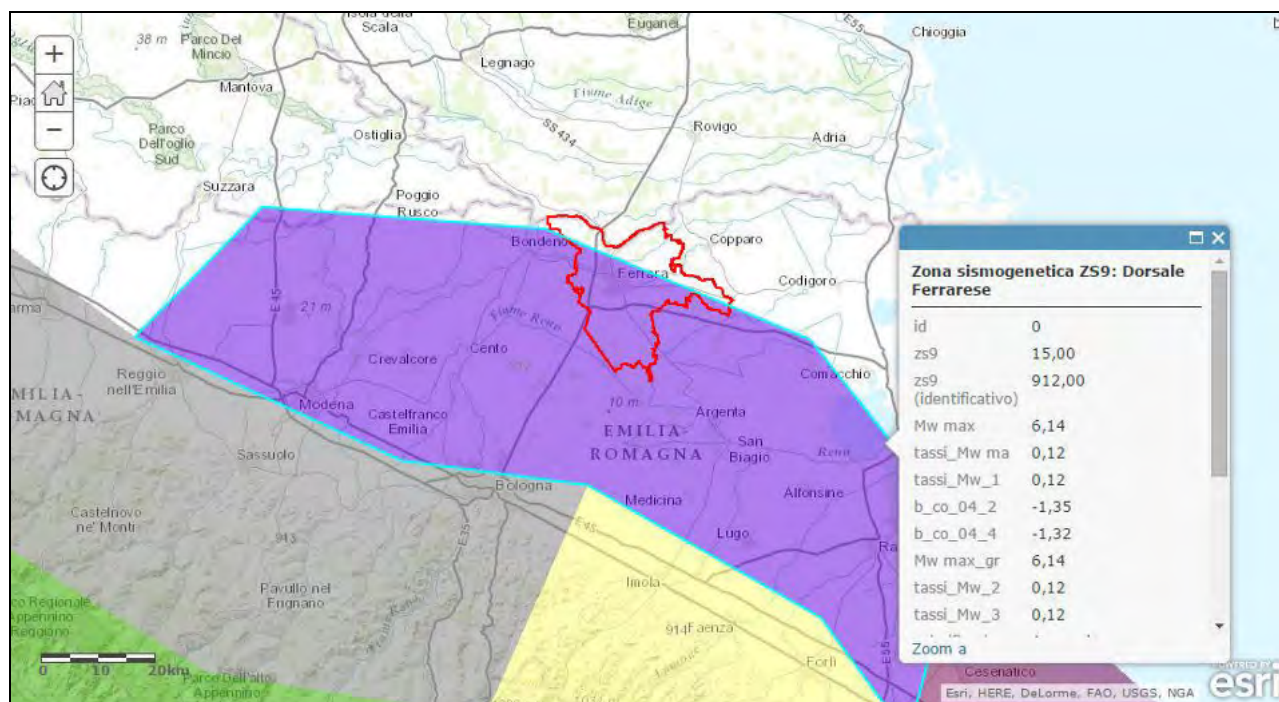


Figura 2-11 - Ubicazione del territorio del Comune di Ferrara (in rosso) rispetto alla zonazione sismogenetica ZS9 (Meletti e Valensise, 2004).



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

2.4.2 Sismicità storica

L'esame della la sismicità storica del Comune di Ferrara è stato principalmente basato su quanto contenuto nel database Macrosismico Italiano - DBMI11 (Locati *et al.*, 2011), il quale consente la consultazione online dei dati macrosismici di tutte quelle località a cui sono associate osservazioni di danno riferibili ad almeno 3 eventi sismici.

In relazione al Comune di Ferrara, il database contiene 124 record relativi ad eventi sismici storici. Data l'ampia mole di dati, si è deciso di riportare in Tabella 2-2 essenzialmente quelli relativi ai sismi prodotti dalle strutture tettoniche ferraresi a cui sono state associate intensità macrosismiche $IMCS \geq 5$. Per ciascun terremoto considerato sono quindi riportati i valori d'intensità (IMCS), l'epicentro macrosismico (Ax), il numero di località nelle quali il sisma è stato avvertito (Np), l'intensità epicentrale (Io) e la magnitudo momento (Mw) stimata mediante relazioni empiriche. I valori d'intensità sono espressi in accordo con la scala Mercalli-Cancani-Sieberg (Sieberg, 1930), come riportato sia in Tabella 2-2, sia in Figura 2-12.

In occasione del terremoto del:					Effetti
Data	Ax	Np	Io	Mw	I [MCS]
<u>1117 01 03 15:15</u>	Veronese	55	9-10	6.69 ±0.20	5-6
<u>1234 03 20</u>	Ferrara	5	7	5.14 ±0.34	7
<u>1285 12 13</u>	Ferrara	2	7	5.14 ±0.34	7
<u>1339 11 16 14:10</u>	Ferrara	1	6	4.72 ±0.34	6
<u>1346 02 22 11:00</u>	Ferrara	5	6-7	4.93 ±0.34	7-8
<u>1365 03 04</u>	Ferrara	4	5	4.79 ±0.72	5
<u>1409 08 17 00:35</u>	Ferrara	1	6	4.72 ±0.34	6
<u>1410 05 09 22:30</u>	Ferrara	3	6-7	4.93 ±0.34	6-7
<u>1411 01 09 02:00</u>	Ferrara	1	7	5.14 ±0.34	7
<u>1483 03 03 22:00</u>	Ferrara	1	5-6	4.51 ±0.34	5-6
<u>1561 11 24 01:25</u>	Ferrara	5	5-6	4.51 ±0.34	6-7
<u>1570 11 17 19:10</u>	Ferrara	60	7-8	5.46 ±0.25	8



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

1624 03 19 19:45	Argenta	18	7-8	5.47 ±0.49	6
1695 02 28	Ferrara	1	5-6	4.51 ±0.34	5-6
1743 05 29	Ferrara	1	6-7	4.93 ±0.34	6-7
1787 07 16 10:00	Ferrara	3	5-6	4.51 ±0.34	6-7
1787 07 26 07:15	Ferrara	1			6-7

Tabella 2-2 - Valori d'intensità macrosismica attribuiti al Comune di Ferrara, in occasione dei principali eventi legati alla strutture tettoniche ferraresi. Estratto da database DBMI11 (Locati *et al.*, 2011).

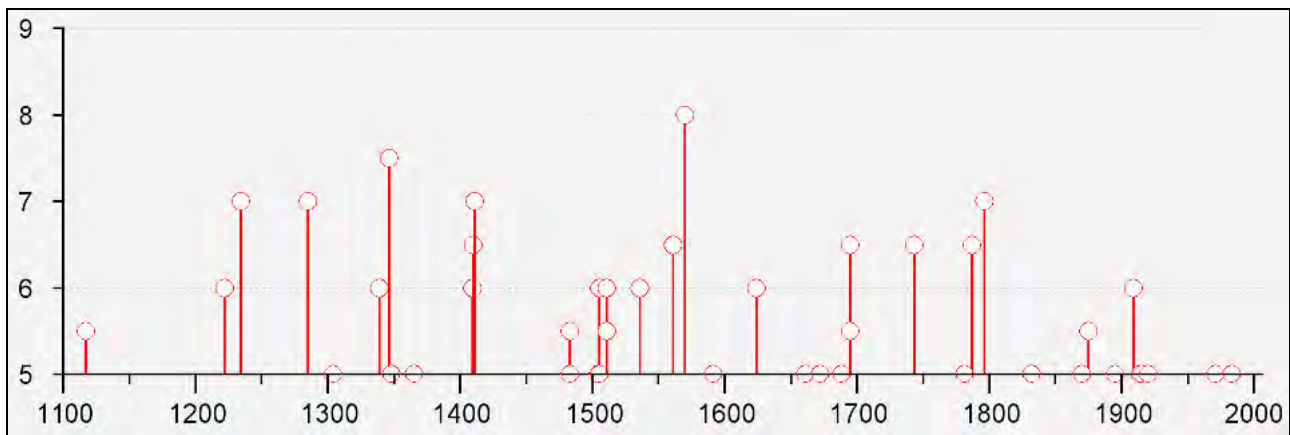


Figura 2-12 - Valori di intensità macrosismica $I_{MCS} \geq 5$ attribuiti al Comune di Ferrara, dall'anno 1000 al 2006, e legati essenzialmente ad eventi prodotti dalle strutture tettoniche ferraresi. Tratto dal database DBMI11 (Locati *et al.*, 2011).

I dati disponibili mostrano come il terremoto di Ferrara a più elevata intensità sia avvenuto il 17 novembre 1570, con intensità epicentrale pari al VIII grado (MCS) e magnitudo equivalente pari a 5.46.

Questo sisma è riportato anche nel catalogo CFTI4med, nel quale sono inoltre inserite le fonti storiche, di cui si riporta di seguito un estratto.

I maggiori effetti del sisma sono ampiamente riportati nelle fonti ferraresi *che ricordano concordemente una lunga serie di scosse iniziata nelle prime ore del 17 novembre e continuata per tutta la giornata. Le quattro più forti sono ricordate con precisione oraria: la prima avvenne alle ore 9:30 italiane (1:40 GMT ca.) e causò il crollo di molti merli, terrazzini e comignoli, che cadendo danneggiarono molti tetti. Numerose repliche si susseguirono durante la stessa notte e nella mattinata successiva; fra queste le più forti furono quella delle ore 20 italiane (12:10 GMT*



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

ca.), che scosse violentemente le case, lesionando leggermente le murature, e quella delle ore 24 (16:10 GMT ca.), che causò il crollo di comignoli e cornicioni e gravi lesioni nelle murature. La scossa principale avvenne alle ore 3 (19:10 GMT ca.), colpì edifici già notevolmente lesionati e sconnessi e causò i danni più gravi. A Ferrara fu danneggiata soprattutto la parte medievale della città, dove alcuni edifici crollarono totalmente e quasi tutti gli altri subirono caduta di muri e tetti, lesioni e sconnessioni di pareti, che resero in gran parte inagibili sia gli edifici pubblici, sia le abitazioni private. I danni maggiori riguardarono gli edifici sviluppati in altezza: chiese, campanili, palazzi con soffitti a volta. Le scosse colpirono soprattutto gli edifici posti all'estremità delle vie, che non erano sostenuti da altre costruzioni. Diversi dettagli si hanno anche sull'edilizia privata: risulta danneggiato circa il 40% delle abitazioni. Fuori dalla città, in un raggio di circa 15-20 km, notevoli danni subirono circa 30 paesi e villaggi della campagna, dei quali sono documentati soprattutto i danni agli edifici religiosi. La scossa fu sentita in una vasta area comprendente le principali città emiliane, Milano, Padova e Venezia a nord; Pesaro a sud. Il quadro complessivo degli effetti è cumulativo delle scosse del 17 novembre. Numerosissime e frequenti furono le repliche ricordate e descritte, fino ai primi mesi del 1572, dalle fonti, tra le quali molteplici lettere degli ambasciatori presenti a Ferrara rintracciate negli archivi di Firenze, Urbino, Mantova, Torino. Qualche scossa fu avvertita anche nel 1573 e nel 1574.

Le fonti storiche riportano anche evidenze di effetti geologici di sito legati al sisma, come i fenomeni di *liquefazione del terreno nell'area urbana di Ferrara e nelle immediate vicinanze (in alcuni casi con emissione di fumi o con fuoriuscita di sabbie bollenti) e apertura di fessure con fuoriuscita di "una schiuma nera"*. Tra gli effetti viene anche riportato come *presso Stellata il Po subì un temporaneo arresto del flusso delle acque; il loro innalzamento e il successivo rapido abbassamento causarono danni ai mulini*.

In Figura 2-13 è riportata in mappa la distribuzione degli effetti macrosismici relativi al terremoto del novembre 1570, rispetto all'area del Comune di Ferrara.



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA



Figura 2-13 - Distribuzione degli effetti del sisma del 17 novembre 1570. Dati DBMI11. In rosso è rappresentata l'area del Comune di Ferrara.

Oltre all'evento appena citato, il catalogo DBMI, così come il CFTI4med, riporta anche un altro terremoto con localizzazione epicentrale all'interno dell'area comunale. Di questo evento, verificatosi il 9 gennaio 1411, che ha prodotto effetti pari al VII° grado della scala MCS (Figura 2-14), i commenti storico-critici e le descrizioni degli effetti locali sono al momento in fase di elaborazione.

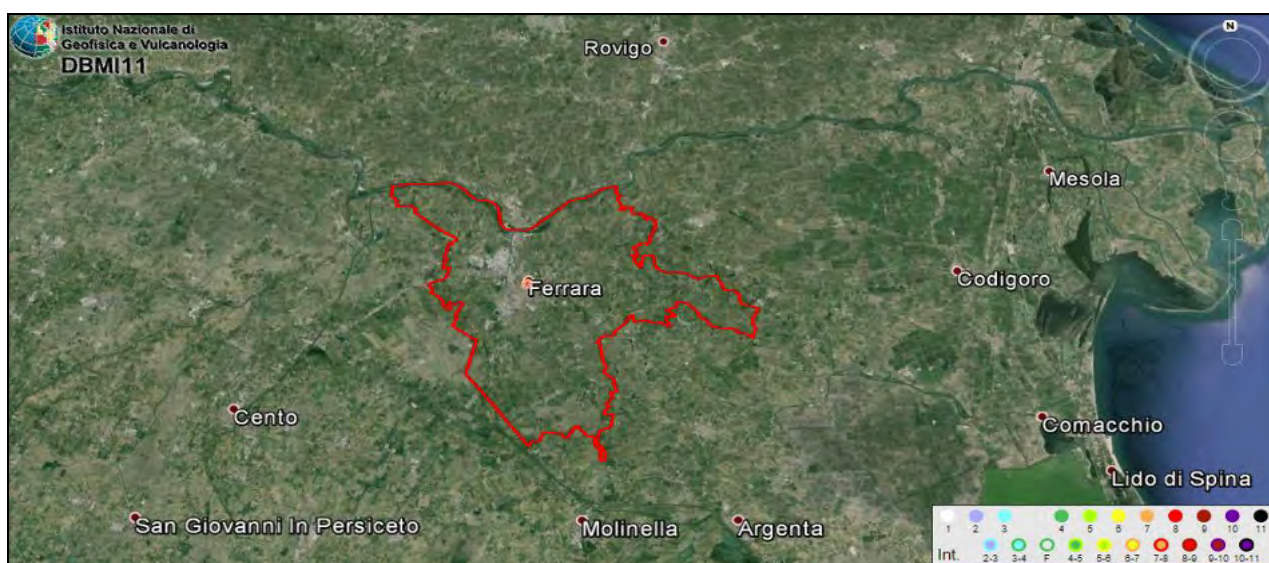


Figura 2-14 - Effetti del sisma del 9 gennaio 1411. Dati DBMI11. In rosso è rappresentata l'area del Comune di Ferrara.



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

2.5 Assetto geomorfologico

Dal punto di vista geomorfologico, il territorio di Ferrara può essere suddiviso in tre grandi settori con caratteristiche distintive nette: (a) pianura a meandri del fiume Po, in gran parte di età pre-romana, (b) bassa pianura alluvionale e deltizia del Po, accumulatasi in età pre-romana, romana e medievale, (c) pianura alluvionale di fiumi appenninici, di età moderna.

a) Pianura a meandri del fiume Po.

L'area mostra caratteri assai peculiari, dato che le ampie fasce di alvei a meandro che la caratterizzano non presentano le morfologie dossive allungate tanto diffuse e caratteristiche della bassa pianura fluviale circostante e della piana deltizia, ma al contrario mostrano morfologie arcuate e poco accentuate. Prima delle arginature artificiali di età storica, in questa area non si svilupparono fiumi pensili veri e propri, anzi, alvei più recenti presentano relazione di intersezione erosiva "a livello", tanto che alvei di diversa età si ritrovano alla stessa quota, se non addirittura debolmente incassati e terrazzati. Subito ad occidente del territorio comunale, infatti, i depositi meandriiformi recenti del Panaro risultano topograficamente più bassi di quelli del Po medievale ed antico. L'alveo romano e medievale del Po di Ferrara, posto al limite meridionale di tale settore, presenta invece una netta sopraelevazione morfologica, in buona parte legata alle massicce arginature artificiali di età storica. Totalmente arginato appare anche l'attuale corso del Po, che però, fra Ficarolo e Pontelagoscuro, presenta una pensilità sulla piana circostante assai ridotta o addirittura assente e comunque di origine assai recente.

Le uniche vere aree morfologicamente depresse corrispondono alla Diamantina, situata appena ad occidente del limite comunale, ed alla zona circostante l'area di servizio "Po", lungo l'Autostrada A13 Bologna - Padova.

Tali caratteristiche morfologiche risultano estremamente evidenti grazie alle tecniche di telerilevamento laser (LIDAR), che permettono una ricostruzione di elevato dettaglio dell'altimetria al suolo (Figura 2-15).



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

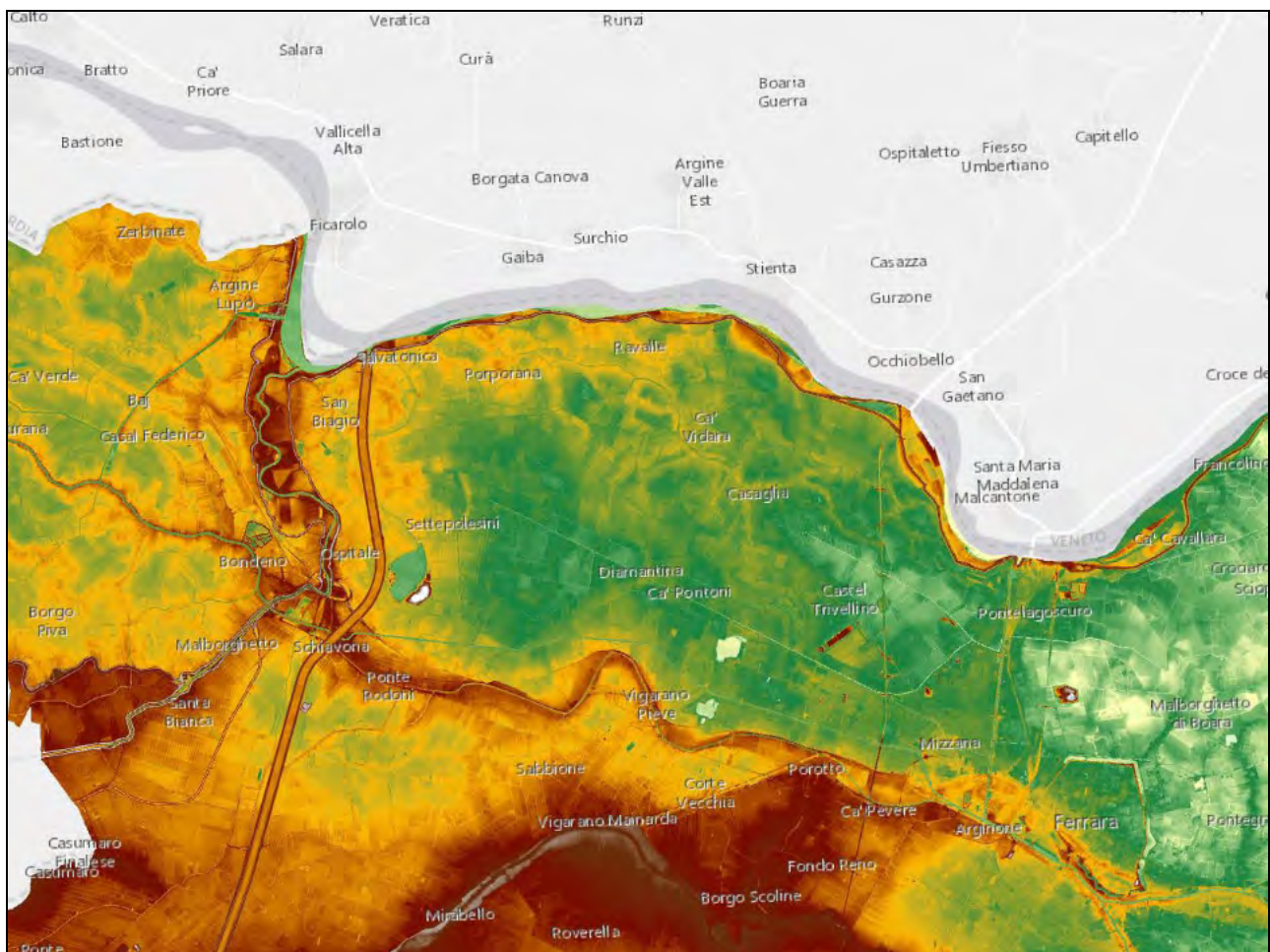


Figura 2-15 - Pianura a meandri a nord-ovest della città di Ferrara. I corpi di alveo meandriciforme non generano dossi pensili e presentano quindi una ridotta espressione morfologica. Forme planimetriche curvilinee, legate a meandri preistorici del Po, sono ben visibili fra Casaglia e Vigarano Pieve e nei pressi di Salvatonica, subito ad occidente del confine comunale.

b) Bassa pianura alluvionale e deltizia del Fiume Po

A valle di Pontelagoscuro e Cassana l'area di studio mostra i classici caratteri distintivi della bassa pianura alluvionale. I corpi di paleoalveo, formati negli ultimi 2000 anni, costituiscono pronunciati dossi allungati, decisamente sopraelevati sulle ampie depressioni interalvee circostanti, che corrispondono a forme morfologiche chiuse, in buona parte sede di ristagno di acque fino a prima delle bonifiche idrauliche dell'epoca industriale. Nella parte sud-orientale del Comune, a sud di Cona e nella zona dei Prati di Palmirano, queste depressioni si trovano attualmente anche al di sotto del livello del mare. I corpi fluviali più antichi sono progressivamente livellati e sepolti da sedimenti successivi, soprattutto di piana interalvea,



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

tanto da perdere progressivamente la propria espressione morfologica, fino a scomparire nel sottosuolo.

Ben evidente, appena ad est del nucleo cittadino, appare l'apertura del delta padano con la separazione dei due maggiori canali distributori del Primaro, a sud, e del Volano, a nord.

Questi canali, il cui sviluppo avvenne in epoca altomedievale, rappresentano ancora oggi gli elementi morfologici più rilevanti di questo settore orientale del Comune di Ferrara. Anche se meno rilevato risulta ancora ben visibile l'alveo dell'Eridano di ordine pre-romana.



Figura 2-16 - Bassa pianura alluvionale e deltizia, ad oriente di Ferrara, dominata dai dossi allungati dei paleoalvei del Po, fortemente pensili sulle circostanti depressioni interalvee. Ben visibile il paleoalveo del Po di Volano, che scorre da Ferrara verso Medelana; da esso si stacca verso sud il dozzo del Po di Primaro che serpeggia in direzione di Marrara.



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

c) Pianura alluvionale di fiumi Reno, Savena e Zena.

A meridione dell'alveo del Po di Ferrara, si sviluppa la grande piana costituita interamente da depositi di fiumi appenninici di epoca molto recente, formatasi in gran parte nel XVII secolo.

L'area è caratterizzata dai dossi formati dal riempimento degli alvei del Reno e dei fiumi appenninici minori, e dagli estesi corpi di argine naturale che sfumato in depressioni interalvee, particolarmente sviluppate a sud di Coronella. Data la larghezza della strutture dossive, le pendenze sono minori di quelle che contraddistinguono gli argini naturali del Po.

Questo settore sud-occidentale è costituito dai terreni topograficamente più rilevati di tutto il territorio comunale, dove le quote più elevate si raggiungono lungo il dosso del vecchio Reno in località Borgo Scoline.

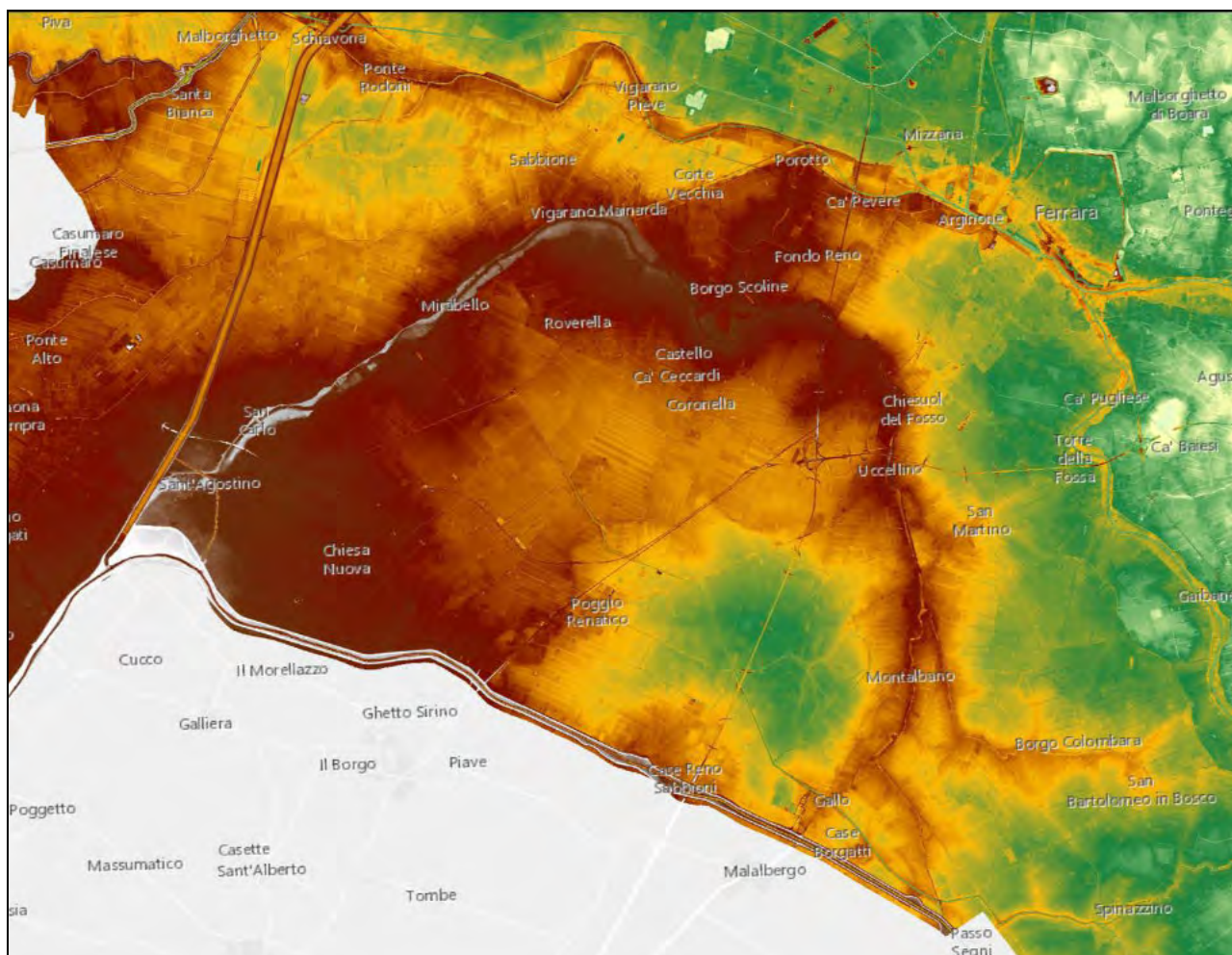


Figura 2-17 - Pianura formata dal Reno in età moderna, in gran parte durante il XVII secolo. Molto ben visibile il dosso del Reno, che da Sant'Agostino si allunga verso Vigiarano Mainarda, per poi rigirarsi verso sud est ed aprirsi nei due rami del Gallo e della Cervella, a sud di San Martino.



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

2.6 Evoluzione storica dei sistemi fluvio-deltizi padani

L'evoluzione deposizionale della parte più recente delle successioni indagate, corrispondente all'intervallo di stazionamento alto marino, è strettamente legata alla storia idrografica dell'area deltizia padana, che fu profondamente influenzata sia da fattori tettonici sia dalle ampie fluttuazioni climatiche.

I sedimenti più antichi affioranti attraverso significative porzioni della bassa pianura alluvionale risalgono a circa 3000 anni fa. Intorno a quest'epoca, il Po depose i sedimenti di due rami principali (Figura 2-18 A), che divergevano nella zona di Guastalla, nei pressi della parte più occidentale dell'arco tettonico delle pieghe ferraresi. La scarsità di dati cronologici affidabili non permette di chiarire per quanto tempo questi due alvei abbiano coesistito. Il ramo settentrionale coincideva all'incirca con quello attuale, fino a Sermide e s'inoltrava poi nel Polesine rodigino, toccando Adria, importante centro dell'età del Bronzo. Quello meridionale, apparentemente secondario, si staccava all'altezza di Guastalla e Gualtieri, passava a nord di Concordia sulla Secchia e di Mirandola, proseguendo per Bondeno, Ferrara e Voghenza con diramazioni, verosimilmente diacrone, per Copparo, Portomaggiore e Ostellato. In questo corso meridionale, presso Porotto, pare confluire il Panaro. Probabilmente anche il Reno a tratti confluiva nei rami meridionali del Po, ma la grande estensione dei depositi appenninici più recenti rende assai difficile la ricostruzione precisa di questa idrografia antica. Intorno al VIII secolo a.C., a seguito di una rotta presso Sermide, le acque del ramo settentrionale si aprirono un nuovo corso verso Bondeno, immettendosi poi nel ramo meridionale (Ferri, 1985) che divenne il principale. Il ramo settentrionale entrò in crisi e, forse anche per tale causa, iniziò la decadenza del porto paleo veneto di Adria, mentre alla foce del principale canale deltizio del ramo meridionale, nel VI secolo a.C., cominciò lo sviluppo di quello etrusco di Spina, nuovo porto destinato a sostituire Adria. Più a monte, sullo stesso ramo meridionale, probabilmente nel IV secolo a.C., nacque Voghenza (*Vicus Aventiae*). Nella fase climatica fredda e umida che caratterizzò quasi tutta l'età del Ferro, furono frequenti le rotte fluviali, che formarono altri rami minori, sia a sud sia a nord del corso principale del Po. Nell'area di studio le sabbie deposte durante questa fase sono in buona parte conosciute solo nel sottosuolo.



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

In età romana, con l'instaurarsi di un clima più caldo e asciutto, si produsse un miglioramento delle condizioni di abitabilità della piana inondabile, seppur ancora interessata da numerosi specchi palustri. Il ramo principale del Po era sempre costituito dall'Eridano (Figura 2-18 B), da cui si staccava il ramo minore per Copparo, all'altezza di Cona e Codrea (l'antica Trigaboli). Nell'area urbana di Ferrara, il Po ancora indiviso correva fra il Doro e Quacchio, in corrispondenza dell'attuale nucleo medievale della città.

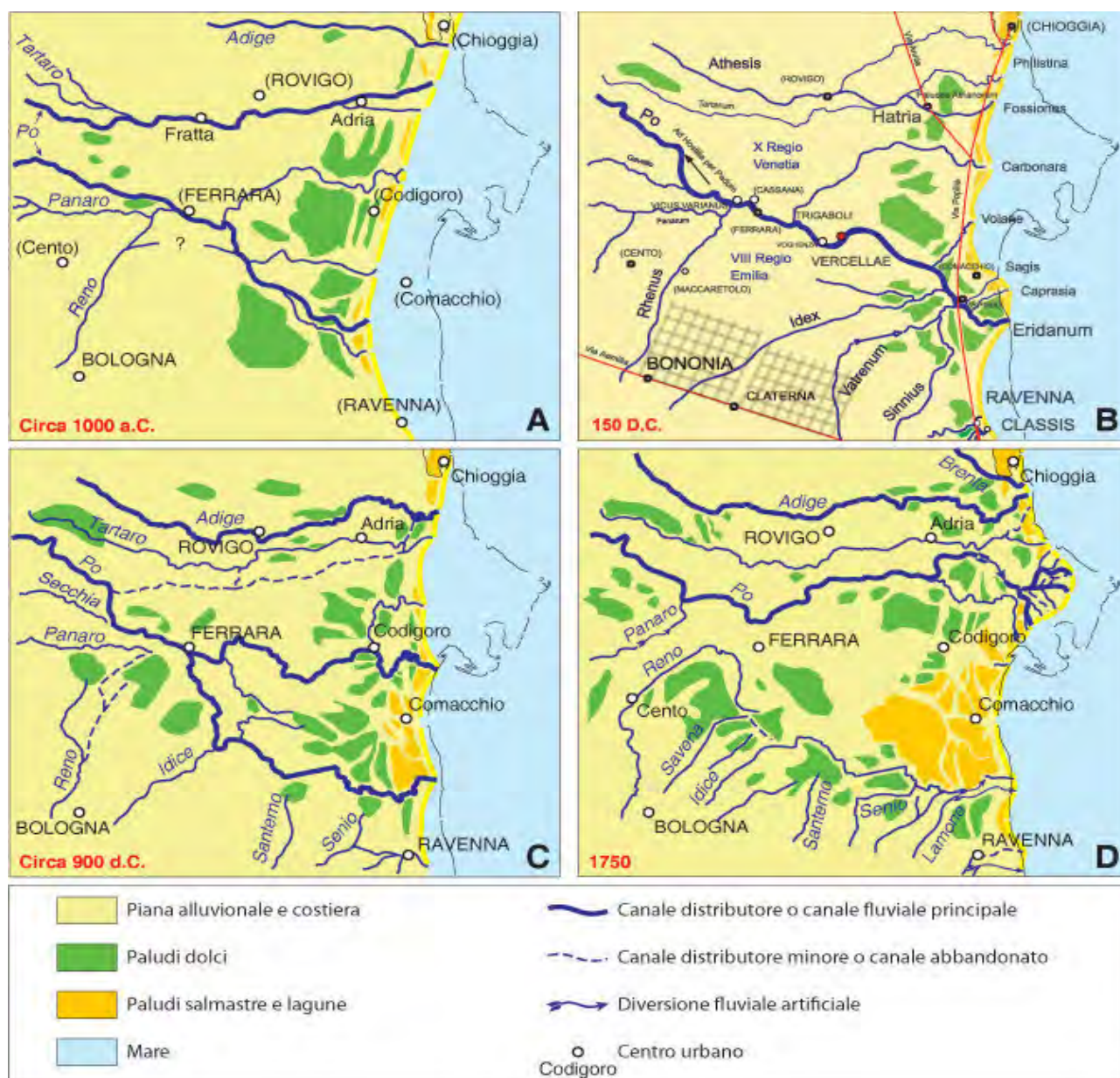


Figura 2-18 - Evoluzione del reticolo idrografico della fascia costiera negli ultimi 3000 anni. Da Bondesan, (1990) come modificate in Stefani & Vincenzi (2005).



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

Il ramo del Po di Copparo mantenne per qualche tempo una certa importanza, mentre nel rodigino si consolidava una rete di rami dell'Adige (Bondesan, 1985, 1990; Veggiani, 1985). In età romana si formava quindi un piccolo delta cuspidato, in corrispondenza del Po di Copparo, che sfociava non lontano da Mesola; a sud dell'attuale Comacchio progradava, invece, il grande lobo deltizio dell'Eridano, che si apriva in una serie di canali distributori, i cui nomi ci sono strati tramandati, da sud a nord Eridanum, Caprasia, Sagis e Volaniae (Stefani, 2006). Verso sud, il Reno passava per Castel Maggiore, San Pietro in Casale, Maccaretolo, fino a Poggio Renatico. Il tracciato più settentrionale del fiume appenninico è profondamente sepolto da sedimenti più recenti, sebbene verosimilmente dovesse confluire nel Po all'interno dell'attuale area urbana di Ferrara. I corpi di riempimento degli alvei romani sono in parte sepolti e in parte ancora ben affioranti, come per esempio il ramo dell'Eridano da Cona alle Valli di Comacchio.

Nell'alto Medioevo, periodo caratterizzato da un'elevata piovosità (Panizza 1985; Veggiani, 1994), il Po subì una totale riorganizzazione, aprendosi nei due nuovi canali distributori deltizi del Volano e del Primaro in corrispondenza di Ferrara.

I mutamenti nella rete idrografica determinarono la scomparsa del ramo di Copparo, e una rapida perdita di efficienza del ramo di Voghenza e la crisi di tutto il sistema dell'Eridano, a vantaggio del Volano (Figura 2-18 C).

Negli ultimi secoli del primo millennio, mentre Ferrara nasceva sull'argine naturale sinistro del fiume, le condizioni climatiche migliorarono, favorendone l'insediamento. Durante il basso Medioevo però, si verificò un nuovo cambiamento climatico, con aumento della piovosità (Veggiani, 1986, 1994): infatti, a partire dal XII-XIII secolo, il Po cominciò a riversare buona parte delle sue acque nell'alveo a nord di Ferrara (l'alveo attuale), risalente secondo la tradizione storica alla grande rotta di Ficarolo del XII sec.

In seguito a questo evento cominciò la decadenza del Po di Ferrara, tanto che nel XIV secolo esso era ormai divenuto meno importante del corso settentrionale. La sedimentazione nei rami meridionali del Volano e del Primaro rimase però elevata a causa del contributo dei torrenti appenninici. L'interramento della rete scolante meridionale fu aggravato da errati interventi idraulici, in particolar modo dall'allacciamento del Reno a Porotto nel 1527 (Graziani *et al.*, 1992), che comportò numerose rotte e l'allargamento di grandi stagni e paludi



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

nel ferrarese meridionale. Alla fine del XVI secolo, il Po di Ferrara fu definitivamente escluso dalla rete attiva padana, molto probabilmente anche in conseguenza dei movimenti di innalzamento associati al terremoto del 1570. Con il taglio di Porto Viro, operato nel 1604 su ordine del governo veneto, il Po cominciò a costruire l'attuale apparato deltizio (Figura 2-18 D); il tratto inferiore dell'alveo relitto del Primaro venne, infine, destinato a condurre a mare il Reno. A partire dagli inizi del XVII secolo la sedimentazione fluviale si mantenne molto attiva nella porzione meridionale dell'attuale area urbana di Ferrara e a sud di essa, a causa dei massicci apporti di Reno, Savena ed Idice. La sedimentazione di Po rimaneva, invece, attiva solo nei pressi dell'attuale alveo, come fra Pontelagoscuro e Francolino. A partire dal XVIII secolo l'assetto idrografico dell'area di Ferrara arrivò ad essere completamente artificiale, con il progressivo inalveamento dei fiumi, l'immissione forzata delle acque del Reno nell'antico alveo del Po di Primaro, e con i grandi lavori di bonifica per innalzamento meccanico delle acque. In questo contesto si ridusse progressivamente la sedimentazione fluviale, rimanendo confinata all'interno degli stretti alvei arginati.

3 Criteri e metodologie di studio

La carta geologica rappresenta certamente uno strumento ideale, potente e consolidato per la sintesi delle conoscenze geologiche di una determinata area. La rappresentazione cartografica consente, infatti, di restituire una visione bidimensionale del modello geologico di un dato territorio, che per poter rappresentare la terza dimensione, deve però essere integrata da sezioni geologiche di supporto o da una loro composizione (diagrammi a recinto).

I dati che generalmente concorrono alla costruzione di una carta geologica derivano essenzialmente da osservazioni di superficie e da indagini di sottosuolo, eseguite attraverso differenti metodologie. Sempre più frequentemente i dati ricavati dal rilevamento geologico (es. limiti stratigrafici, elementi strutturali e morfologici, giaciture, ecc.), vengono integrati con quelli provenienti dal telerilevamento. Mediante l'utilizzo di sensori installati su supporti aerei o satellitari è, infatti, possibile ottenere immagini o mappe numeriche della superficie terrestre, che consentono di evidenziarne, ad esempio, i caratteri altimetrici o definirne l'uso del suolo.



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

I dati di sottosuolo sono invece di tipo geotecnico o geofisico, come ad esempio stratigrafie di sondaggio, curve penetrometriche, linee sismiche o prospezioni geofisiche e vengono utilizzati per la definizione del modello geologico concettuale e sono qui parzialmente restituiti nelle sezioni geologiche a supporto della cartografia.

I limiti intrinseci legati alla possibilità di rappresentare mediante mappe cartacee, alle diverse scale, l'elevata mole di dati geologici disponibili sono oggi superati tramite l'utilizzo dei Sistemi Informativi Territoriali (SIT o GIS), che consentono di associare ai diversi elementi cartografati molteplici contenuti informativi raccolti in specifiche banche dati.

Ai fini di poter archiviare e restituire cartograficamente l'insieme dei dati utilizzati per la definizione del modello geologico dell'area di studio, si è dunque ricorsi alla costruzione di un'ampia banca dati geo-informatica in ambiente GIS ESRI.

Nei paragrafi seguenti verranno descritte le tecniche di acquisizione e analisi dei dati geologici utilizzati, le metodologie che hanno guidato la costruzione dell'archivio informatico che li contiene e quelle che hanno condotto alla realizzazione della carta geologica del Comune di Ferrara.

3.1 Indagini geognostiche

I dati di sottosuolo utilizzati per la definizione del modello geologico sono stati ottenuti sia da indagini geognostiche di tipo diretto, cioè basate su osservazione del materiale proveniente dal sottosuolo, sia di tipo indiretto, cioè derivate da misure di caratteristiche fisiche del terreno indagato.

Per quanto concerne i **metodi di analisi diretta del sottosuolo**, sono state esaminate numerose stratigrafie provenienti sia da sondaggi a carotaggio continuo, sia da sondaggi a distruzione di nucleo, realizzati principalmente per la perforazione dei pozzi per acqua e dei pozzi per esplorazione e sfruttamento di giacimenti di idrocarburi.

I carotaggi continui costituiscono il metodo d'indagine più preciso per l'identificazione stratigrafica del sottosuolo, poiché permettono l'osservazione di campioni di terreno integri e indisturbati. Quelli a distruzione di nucleo, invece, pur consentendo una descrizione più approssimativa del suolo attraverso l'esame dei *cuttings* (ovvero dei frammenti che risalgono in superficie durante la perforazione) risultano comunque sufficientemente affidabili per la



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

definizione dei trend a più grande scala e spesso consentono di recuperare informazioni a profondità maggiori rispetto ai carotaggi continui.

In relazione ai **sistemi d'indagine indiretta**, sono stati analizzati molteplici log parametrici derivanti da prove penetrometriche statiche (CPT) e con piezocono digitale (CPTU e SCPTU), oltre ad alcune prove penetrometriche di tipo dinamico (SCPT) disponibili nell'area di studio. Le prove penetrometriche di tipo statico consentono di risalire, mediante consolidate correlazioni empiriche, alla natura dei corpi sedimentari presenti nel sottosuolo analizzando il rapporto tra resistenza alla penetrazione (q_t) ed attrito laterale (f_s) prodotto da una punta conica spinta nel terreno a velocità costante.

A differenza delle CPT, le CPTU sono ottenute tramite un penetrometro dotato di punta conica che permette l'istallazione di misuratori della pressione interstiziale (u) del fluido presente tra i pori dei sedimenti. Questa tecnica consente di discriminare meglio i terreni a scarsa permeabilità e bassa resistenza, oltre a fornire un maggior dettaglio stratigrafico dovuto all'acquisizione in automatico del dato ad ogni centimetro di avanzamento.

Al piezocono digitale possono essere applicati anche dei geofoni (SCPTU) in grado di rilevare, oltre ai parametri già descritti, anche la velocità delle onde di taglio (V_s) nel terreno attraversato, una volta che queste siano indotte tramite dispositivo energizzatore (martello) montato su di un supporto a lato del penetrometro ed infisso nel terreno.

Nelle prove penetrometriche dinamiche (SCPT), invece, le caratteristiche litologiche dei terreni vengono empiricamente derivate dalla resistenza alla penetrazione di una punta infissa nel terreno mediante i colpi di un maglio di 63,5 kg, in caduta libera da un'altezza di 76 cm. La resistenza alla penetrazione del terreno è caratterizzata in questo caso dalla somma del numero di colpi per il secondo e terzo avanzamento, cioè $N=N_2+N_3$.

Anche se in grado di fornire indicazioni di tipo esclusivamente puntuale, le prove penetrometriche sono generalmente più abbondanti rispetto ad altre tecniche geognostiche, specialmente in contesti deposizionali di pianura alluvionale ove possono essere utilizzate per correlazioni sedimentologiche e stratigrafiche (Amorosi & Marchi, 1999; De Mio & Giacheti, 2007).



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

Per una più accurata definizione del modello geologico di sottosuolo sono stati consultati ed archiviati anche rapporti di prova provenienti da prospezioni di tipo geofisico come HVSR, MASW, ESAC, ReMi, e di tipo geoelettrico.

3.2 Banca dati di sottosuolo

Gran parte dei dati geognostici utilizzati sono stati forniti dagli archivi informatici del Comune di Ferrara e del Servizio Geologico e Sismico della Regione Emilia-Romagna.

Le banche dati acquisite sono state verificate, rimuovendo da esse i dati duplicati. Complessivamente sono state ricavate ben 4.071 indagini suddivise per tipologia come in Tabella 3-1, di cui 3.530 provenienti dagli archivi regionali e 541 da quelli comunali.

Tipologia di prova	RER	Comune
Affioramento naturale o scavo	6	-
Prove penetrometriche con cono sismico (SCPTU)	-	180
Prove penetrometriche statiche con punta meccanica (CPT)	1279	258
Prove penetrometriche statiche con punta elettrica (CPTE)	4	-
Prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU)	196	37
Prove penetrometriche in foro (SPT)	-	1
Prove penetrometriche dinamiche (non S.C.P.T.)	81	-
Prove penetrometriche dinamiche (S.C.P.T.)	1	-
Prove dilatometriche (DMT)	4	-
Sondaggi a carotaggio continuo (S)	883	6
Sondaggi a distruzione di nucleo (SD)	297	-
Pozzi per acqua (PA)	444	-
Pozzi per idrocarburi (PI)	12	8
Indagini Sismiche (HVSR, MASW, ReMi, ESAC ecc.)	122	43
Sondaggio Elettrico Verticale	203	-

Tabella 3-1 - Numero delle indagini geognostiche disponibili nell'area di studio, suddivise per tipologia e archivio di provenienza.

I diversi metodi di archiviazione in uso presso gli Enti fornitori, hanno reso necessario definire standard comuni per la realizzazione di un unico database contenente tutti i dati di sottosuolo acquisiti.



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

Si è dunque deciso di adottare i criteri utilizzati presso il Servizio Geologico e Sismico della Regione Emilia-Romagna, visto il maggior quantitativo di informazioni già disponibili in questo formato ed anche considerando che tali standard possiedono valenza a scala regionale. Le indagini sono state quindi organizzate ed archiviate in una banca dati informatizzata e georeferenziata in ambiente GIS ESRI. Un archivio informatizzato consente, infatti, di strutturare e sistematizzare il patrimonio informativo disponibile, al fine di renderlo più facilmente consultabile, fruibile ed aggiornabile. La struttura della banca dati consente, inoltre, di associare al dato geografico (sito d'indagine) degli attributi alfanumerici relativi alle diverse prove realizzate come, ad esempio, profondità indagata, livello della falda, spessore degli orizzonti rilevati, ed altro. Oltre a ciò, ad ogni prova archiviata è possibile associare i propri parametri tecnici come, ad esempio, lettura di resistenza alla punta, valori di Vs misurati o frequenze di risonanza.

Per agevolare l'archiviazione, e la conversione dei dati al formato regionale, si è ricorso all'utilizzo di un applicativo basato su Microsoft Access sviluppato dal Servizio Geologico e Sismico della Regione Emilia Romagna nell'ambito del progetto CARG.

Il software consente la memorizzazione dei dati in tabelle costituite da insiemi di record mediante maschera di inserimento, personalizzabile a seconda della tipologia di dato trattato. Tale maschera è suddivisa in due sezioni distinte: la prima consente di immettere informazioni di carattere geografico e generale, come ad esempio localizzazione dell'indagine, modalità esecutive, archivio di provenienza, attendibilità e riservatezza del dato (Figura 3-1), mentre la seconda permette di memorizzare le caratteristiche "geologiche" relative ai terreni indagati (Figura 3-2).

CTR	185160	PROGRESSIVO	P4080	SIGLA	185160P4080	COMUNE	FERRARA	Nuova
TIPO PROVA	carotaggio continuo	QUOTA	7	PROFONDITA'	20	COMMITTENTE	SIG. MONTI ALBERTO	Clona
AVANZAMENTO	carotaggio continuo	PROVA RER	<input type="checkbox"/>	TETTO GHIAIE		DITTA ESEC.	GEOL. TADDIA	Trova Prova
DATA ESECUZIONE	13/07/2002	RISERVATEZZA	pubblico	PRECISIONE UBICAZIONE	alta	PROPR. ARCHIVIO	COMUNE DI FERRARA	Trova Progr.

Figura 3-1 - Sezione I - "Anagrafica e dati generali" della maschera d'inserimento MS Access. In questa sezione sono inserite le informazioni di carattere generale sull'indagine geognostica.

All'interno della prima sezione il campo "sigla" rappresenta l'identificativo univoco della prova geognostica, che viene costruito mediante la concatenazione del numero della sezione



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

“CTR” nella quale ricade la prova e del codice alfanumerico che identifica sia la tipologia di prova geognostica, che il “progressivo” della stessa all’interno della sezione CTR in esame.

Il prefisso (lettera) del codice “progressivo” serve a discriminare il tipo di prova da inserire, ad esempio:

- A → affioramento significativo;
- B → penetrometria statica con cono sismico;
- C → penetrometria statica con punta meccanica;
- D → penetrometria dinamica non S.C.P.T.;
- E → penetrometria statica con punta elettrica;
- G → pozzo AGIP per idrocarburi;
- L → dilatometria;
- P → sondaggio o pozzo di cui si dispone di log litologico;
- R → indagine sismica;
- S → penetrometria dinamica S.C.P.T.;
- U → penetrometria statica con piezocono;
- V → sondaggio elettrico verticale;

La parte numerica del codice, invece, oltre a fornire indicazione del progressivo, delimita anche degli intervalli entro i quali le diverse tipologie di prove devono essere contenute; nella fattispecie:

- 001 – 399, penetrometrie, trivellazioni a secco, sondaggi a distruzione;
- 400 – 499, sondaggi a carotaggio continuo;
- 500 – 599, sondaggi o penetrometrie eseguiti dalla Regione Emilia Romagna;
- 600 – 899, pozzi per acqua;
- 900 – 950, sondaggi elettrici verticali;
- 951 – 999, indagini sismiche.

Il codice può prevedere un suffisso (lettera) che indica la compresenza di una dato numero di indagini sulla medesima verticale, come:



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

- A → Z (esclusa la X), presenza di più indagini sulla stessa coordinata xy (es: C001D = quattro penetrometrie statiche ubicate nello stesso punto xy);
- X, sondaggio RER coincidente con penetrometria RER ma ubicati su CTR in due punti differenti.

L'accesso alla seconda parte della maschera d'inserimento di MS Access è consentito solamente per le indagini di tipo diretto, cioè per tutte le tipologie di sondaggio geognostico, identificate dalla lettera "P" nel codice alfanumerico.

Tramite questa sezione è possibile inserire e memorizzare le informazioni di carattere litologico e sedimentologico riferite ai singoli "strati" individuati nelle stratigrafie di sondaggio.

Per questi strati la maschera consente l'inserimento delle caratteristiche litologiche principali ("litologia di strato" (Figura 3-2) ed intercalate ("litologia delle intercalazioni"

Figura 3-2), nonché quelle dei componenti accessori (resti vegetali, resti fossili, concrezioni calcaree) e caratterizzanti (colorazioni) eventualmente indicati nei log originali.

Figura 3-2 - Sezione II - "Dati generali e composizione litologica del singolo strato" della maschera d'inserimento MS Access. In questa sezione sono inserite le informazioni generali e composizionali relative ai singoli strati individuati dall'indagine geognostica.



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

L'inserimento della descrizione del log originario avviene strato per strato, fissando dapprima i limiti degli stessi (base e tetto

Figura 3-2) e successivamente selezionando le caratteristiche sedimentologiche e litologiche identificative tra le diverse voci predefinite disponibili nei corrispondenti menu a tendina.

Le frecce di colore blu (

Figura 3-2) permettono di spostarsi all'interno della stratigrafia del terreno indagato, consentendo di visualizzare quanto già inserito o di proseguire nell'inserimento delle caratteristiche degli strati sottostanti.

Poiché la litologia di uno strato può essere composta da un insieme di tipi litologici elementari, la maschera contempla l'inserimento di n. campi litologici ("litologia 1, litologia 2, ecc.) e consente d'impostare tra loro relazioni di ordine gerarchico, basate sul principio dell'abbondanza relativa ("ordine della litologia").

Nel caso di uno strato la cui litologia sia composta da più tipi litologici elementari (es. argille limoso-sabbiose), la litologia di ordine 1 è rappresentata dall'argilla, la litologia di ordine 2 dal limo, mentre la litologia di ordine 3 dalla sabbia. Per stabilire le percentuali del rapporto di abbondanza tra le varie litologie vengono, quindi, suggeriti criteri basati su prefissi e suffissi che consentono di attribuire dei valori numerici indicativi (nell'esempio il suffisso -oso indica una presenza di limo compresa tra il 10 e il 25%).

Nel caso in cui lo strato contenga delle intercalazioni litologiche queste vengono descritte con le stesse modalità già viste per le litologie principali, utilizzando i campi dedicati alla "litologia delle intercalazioni". Al fine di dettagliare maggiormente le caratteristiche delle litologie intercalate, la maschera di Access permette l'inserimento di spessore e frequenza delle stesse, selezionando le voci predefinite nei campi dedicati.

Sia per quanto concerne le litologie sia per le intercalazioni, la maschera fornisce la possibilità di inserire le rispettive colorazioni, attraverso l'utilizzo di due campi colore a scelta predefinita ("principale" e "secondario").

Se lo strato appare monocromatico si procede all'inserimento del solo colore principale. Se invece lo strato presenta sfumature o coppie di colori, è necessario compilare anche il colore secondario. Infine, per quanto riguarda l'archiviazione di componenti accessori degli strati



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

(“resti vegetali”, “resti fossili”, “concrezioni calcaree”) questa avviene selezionando, nell'apposito campo, una delle voci predefinite che ne indicano la relativa abbondanza.

Ogni prova raccolta è stata archiviata nel database sotto forma di dato numerico, quando disponibile, oppure attraverso copia in formato .pdf del documento originale.

L'ubicazione geografica della prova è stata inserita in uno *shapefile* puntuale georeferenziato, contenente il codice identificativo alfanumerico regionale che è stato poi utilizzato come chiave primaria (*primary key*) per effettuare il collegamento (*lookup*) al database in MS Access, contenete tutte le informazioni geologico-stratigrafiche delle indagini disponibili (Figura 3-3).

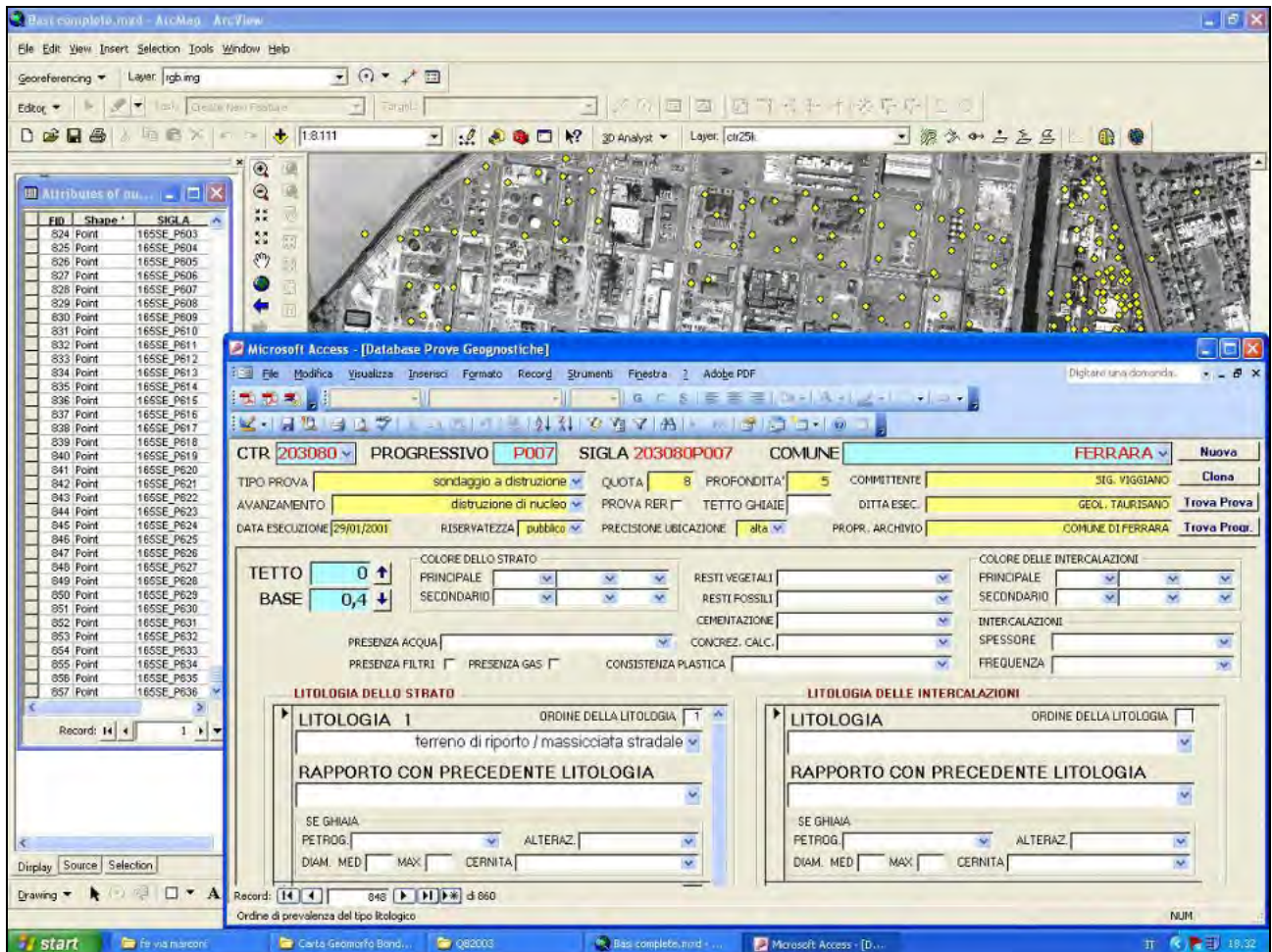


Figura 3-3 - Esempio di link tra il database in formato Microsoft Access e lo *shapefile* contenente la ubicazione geografica delle indagini geognostiche.



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

La distribuzione geografica delle indagini geognostiche nel territorio comunale è rappresentata in Figura 3-4, dove le diverse colorazioni dei siti indicano rispettivamente la provenienza del dato dagli archivi comunali (in giallo) o da quelli regionali (in rosso).

In merito alle indagini della banca dati geognostica regionale, si sottolinea che non sempre queste sono state fornite corredate dalla copia in formato .pdf del documento originale. Questo comporta che le ubicazioni geografiche contenute in banca dati siano in numero maggiore rispetto ai file .pdf in essa archiviati, e che le informazioni geologiche ad esse precedentemente associate non siano ad oggi più verificabili.

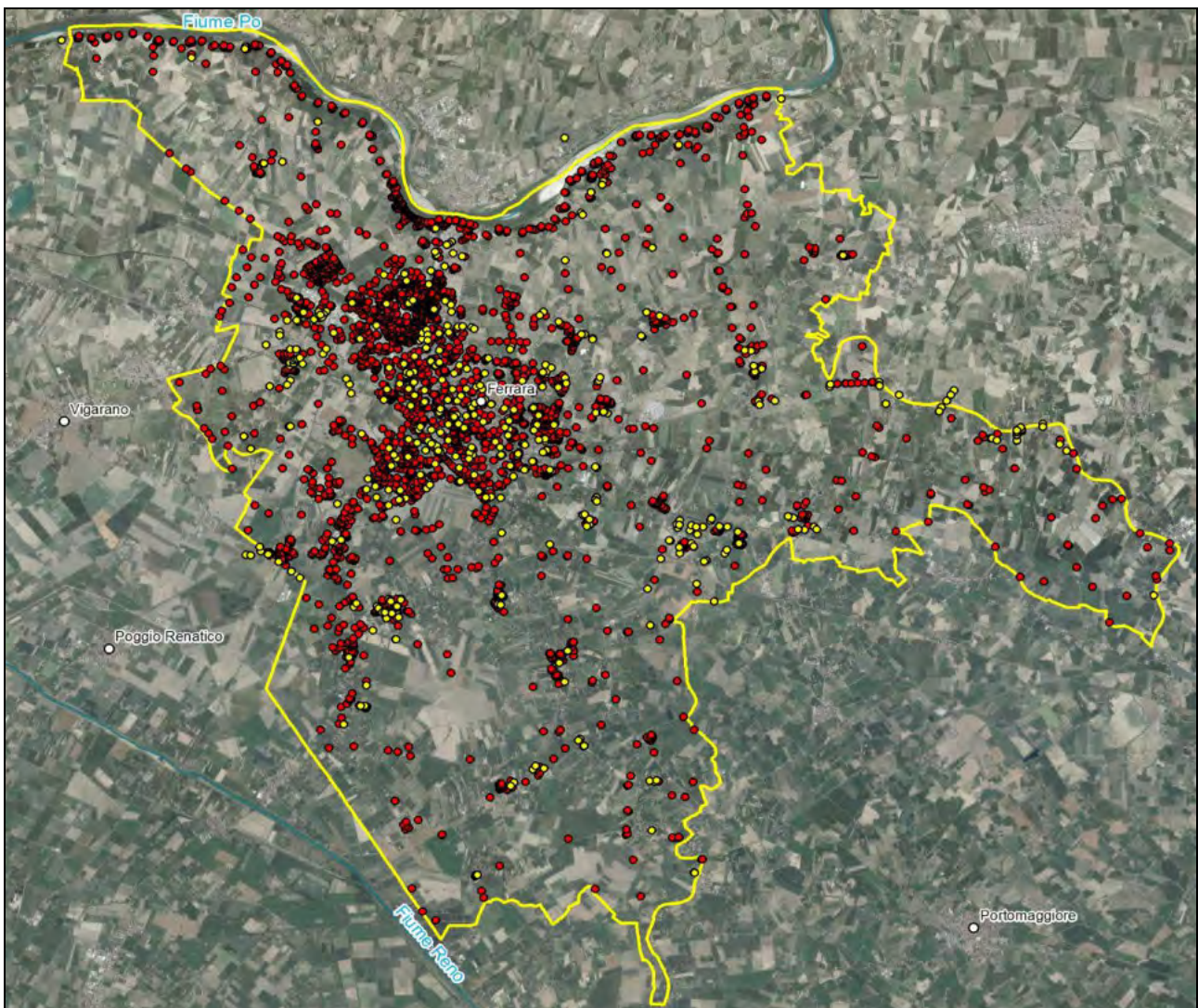


Figura 3-4 - Distribuzione geografica delle indagini geognostiche. In rosso sono indicate quelle provenienti dalla banca dati regionale, mentre in giallo quelle provenienti da quella comunale.



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

3.3 Cartografia geologica di superficie

La realizzazione della carta geologica del territorio comunale si è basata sull'analisi di immagini telerilevate, modelli topo-altimetrici del terreno ed informazioni derivanti da cartografia storica, integrate da puntuali rilevamenti di terreno e confronti con indagini geognostiche sul sottosuolo prossimo alla superficie.

Tutte le informazioni acquisite sono state georiferite ed archiviate in un database, e i risultati sono stati restituiti cartograficamente come *shapefiles* all'interno di una piattaforma ArcGIS ESRI.

La cartografia è stata redatta con modalità congruenti con quelle adottate, per i contesti di pianura alluvionale, dalla cartografia geologica ufficiale del progetto C.A.R.G., scala 1:50.000.

In modo analogo sono stati adottati i complessi criteri di suddivisione stratigrafica regionale in Sintemi, Subsintemi ed unità. Nel pieno rispetto di questa congruenza, i criteri grafici e la precisione cartografica sono stati però adattati alle peculiarità geologiche del territorio e alla maggiore scala cartografica di rappresentazione, al 25.000 e 10.000.

Le tecniche di telerilevamento hanno permesso l'analisi d'immagini aeree e satellitari ad alta risoluzione, acquisite sia nel visibile sia nell'infrarosso vicino. Per ciascuna porzione del territorio comunale, sono state consultate svariate immagini, acquisite in anni e stagioni diverse, in modo da poter verificare la risposta dei terreni e della vegetazione al variare delle condizioni climatiche e vegetative.

L'analisi di carte storiche è stata particolarmente importante in quanto l'area di studio ha subito, nel tempo, estesi fenomeni di antropizzazione ed espansione urbana che hanno obliterato molti segni geologici, geomorfologici e storico-archeologici.

Lo studio delle immagini satellitari si è basato soprattutto sulle immagini ad alta risoluzione *QuickBird*, acquisite nel 2003, confrontate poi con altre immagini più recenti (anni 2012-2014) pubblicamente consultabili anche su *Google Earth*. Per l'infrarosso vicino, sono state consultate anche immagini LANSAT NASA. Le indagini sulle foto aeree sono state principalmente basate su ortofoto AGEA 2008 e 2011, disponibili sia nel visibile che nell'infrarosso, e ortofoto AIMA 1996 e 1999. Ove disponibili, sono state anche utilizzate immagini aeree precedenti, a partire dalle foto da dirigibile del centro urbano del 1911 e



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

quelle da ricognizione aerea RAF e USAAF, scattate durante la seconda guerra mondiale, fra il 1943 ed il 1945.

Per l'interpretazione delle forme del terreno e delle geometrie dei soggiacenti corpi sedimentari è stata di fondamentale importanza l'analisi del rilievo altimetrico ad alta risoluzione ottenuto con telemetria laser aviotrasportata (LIDAR), commissionato dalla Regione Emilia-Romagna nel 2008. Questo modello digitale del terreno rappresenta di gran lunga il più accurato ed affidabile disponibile per l'area di studio, con risoluzione areale dell'ordine del metro, ed errore verticale del centimetro.

Nelle aree densamente edificate, l'affidabilità dell'interpolazione al suolo dei dati di telemetria laser si riduce fortemente, in quanto gran parte delle misure si riferiscono alle coperture degli edifici. Entro le mura urbane è stato quindi considerato il modello altimetrico realizzato dagli scriventi, ottenuto interpolando quote misurate con tecniche di livellazione manuale, a cura del Professor Paolo Russo, della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Ferrara.

L'analisi della ricca cartografia storica ha utilizzato le importanti carte del Ducato Estense di Marcantonio Pasi, 1571 e 1580; la carta di Fra Egnazio Danti, nella Galleria Vaticana, realizzati intorno al 1582; la carta di Giovanni Battista Aleotti, del 1603; le dettagliate cartografie di Bartolomeo Gnoli, collazionate nei due atlanti di Alberto Penna, del 1658 e 1662; la dettagliatissima carta "napoleonica" del 1814, conservata in Vienna e le varie edizioni delle tavolette al 25.000 dell'Istituto Geografico Militare. Carte più antiche hanno fornito solo dati schematici e simbolici, ma comunque utili all'interpretazione della storia del territorio, come le due carte trecentesche di Fra Paolino Minorita. Anche per l'area urbana sono state consultate varie carte, da quelle dell'Aleotti alle diverse edizioni della pianta urbana di Andrea Bolzoni. L'analisi delle fonti cartografiche è stata poi integrata da uno studio delle principali fonti storiche scritte sulla storia territoriale e di dati archeologici.

3.4 Profili di sottosuolo

L'interpretazione geologica - stratigrafica del sottosuolo si è basata sull'interpolazione di dati puntuali, quali stratigrafie di sondaggio, prove penetrometriche e prospezioni geofisiche di sito. Queste informazioni sono state derivate dalla raccolta ed organizzazione in ambiente ArcGIS di un'ampia banca dati geognostica, così come descritto nel paragrafo 3.2,



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

comprendente oltre 4.000 indagini di sottosuolo, archiviate secondo i criteri utilizzati presso il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna.

Tra i molteplici dati a disposizione, sono risultati di particolare importanza alcuni accurati sondaggi stratigrafici a carotaggio continuo e le numerose prove penetrometriche e piezometriche, fatti realizzare dall'Amministrazione del Comune di Ferrara nell'ambito degli studi di microzonazione sismica, del progetto dell'Idrovia Ferrarese e, da vari committenti, per il Piano Operativo Comunale. L'interpretazione concettuale e la ricostruzione geometrica delle facies sedimentarie nel sottosuolo si è basata, quindi, sulla correlazione e il confronto fra le osservazioni stratigrafiche sui carotaggi continui e l'analisi dei parametri delle prove penetrometriche. Nelle prove penetrometriche e nei sondaggi stratigrafici sono state identificate classi con caratteristiche granulometriche comparabili.

La maggior densità di prove recenti di buona qualità, ha consentito un'interpretazione particolarmente accurata dei dati di sottosuolo in due settori appartenenti all'ambito urbano. Il grado di accuratezza ha permesso la costruzione di due profili stratigrafici continui, della profondità di circa 35 m, uno sviluppato lungo il Canale Boicelli, da sud della Conca di Navigazione di Pontelagoscuro a sud di Via Arginone, e uno allungato lungo Via Darsena e Via Volano, da sud del Doro fino a Quacchio.

4 Geologia di sottosuolo

Come accennato al paragrafo 2.3.1.2, mediante rapporti geometrici e continuità fisiche con i corpi ghiaiosi di terrazzo e di conoide alluvionale affioranti al piede dell'Appennino, i 3 cicli deposizionali più superficiali del Quaternario sono stati correlati con i tre Subsintemi di Bazzano (AES₆), Villa Verucchio (AES₇) e Ravenna (AES₈).

Nel sottosuolo studiato i Subsintemi sono stati riconosciuti sulla base di due marcati contatti stratigrafici, che segnano il tetto di altrettanti corpi di sedimenti grossolani singlaciali.

Per le applicazioni di carattere geotecnico e di microzonazione sismica, risulta però particolarmente rilevante l'organizzazione stratigrafica delle prime decine di metri di sottosuolo. Come noto, infatti, la legislazione vigente impone la valutazione della velocità V_s delle onde sismiche nei primi 30 m di sottosuolo, che nel caso specifico sono interamente



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

costituiti da sedimenti depositi in ambienti continentali durante il Pleistocene terminale e l'Olocene, intervalli di tempo che corrispondono a fasi dell'ultima glaciazione ed al periodo post-glaciale. La porzione singlaciale è ascritta qui al Subsistema di Villa Verucchio (AES₇), mentre la parte più recente è attribuita al Subsistema di Ravenna (AES₈).

4.1 Subsistema di Villa Verucchio (AES₇)

I depositi di questa unità affiorano limitatamente nella fascia pedeappenninica romagnola ed emiliana, mentre sono sempre sepolti nel sottosuolo nelle restanti aree di pianura.

Nell'area di studio ed in quelle limitrofe, l'unità mostra forti variazioni di spessore e di profondità. La base del Subsistema, infatti, è localizzata a circa 60 m in corrispondenza delle aree subsidenti, per poi risalire a circa 50 m nei pressi di Montalbano. La superficie discende, invece, marcatamente presso Coronella fino ai 70 m di profondità, per poi risalire rapidamente verso la città, raggiungendo i 50 m sotto l'area urbana e meno di 40 verso la periferia ovest e la Diamantina.

Gli spessori di AES₇ sono nell'ordine dei 60-70 m nelle porzioni meridionali del Foglio 203 "Poggio Renatico", mentre si osserva una progressiva diminuzione di potenza in corrispondenza della culminazione strutturale di Corporeno-Malalbergo, dove l'unità presenta spessori minimi di circa 40-45 m. Sull'anticlinale di Casaglia, infine, l'unità si riduce a spessori intorno ai 15 m.

Le datazioni radiometriche ¹⁴C eseguite al limite meridionale dell'area urbana di Ferrara, indicano, per l'intervallo stratigrafico sommitale di AES₇, età comprese fra 18.200±2.390 e 32.940±810 anni (cfr. Foglio 203 "Poggio Renatico").

Il Subsistema di Villa Verucchio può dunque essere correlato con il ciclo glacio-eustatico compreso fra gli stadi 5e (Tirreniano *Auct.*) e 2 (Wurmiano alpino), della curva isotopica dell'ossigeno di Martinson *et al.*, (1987). Sulla base di queste considerazioni, il Subsistema è attribuito all'intervallo compreso fra c.a. 125.000 anni e c.a. 17.000 anni BP (Pleistocene superiore).

In chiave deposizionale i corpi sedimentari inquadrati in questa unità rappresentano un intero ciclo Trasgressivo-Regressivo (T-R).



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

Nell'area di studio, la base di AES₇, che corrisponde alla porzione trasgressiva del ciclo, è costituita da depositi fini da tracimazione fluviale e piana inondabile, contenenti livelli metrici di argille e limi, localmente ricchi di sostanza organica, poggianti con contatto netto sulle sabbie fluviali del tetto di AES₆.

La porzione intermedia è invece costituita da fitte alternanze di sabbie limose, limi sabbiosi e argille di argine, rotta e piana inondabile, con frequenti paleosuoli parzialmente o totalmente decarbonatati.

La porzione regressiva sommitale è composta da depositi sabbiosi di riempimento di canale fluviale che formano corpi composti a geometria nastriforme, spessi fino a 13 metri, di composizione petrografia riferibile sia al fiume Reno che al Po.

Lateralmente questi depositi grossolani passano a depositi fini di tracimazione fluviale che, al tetto, sono generalmente ossidati e pedogenizzati, riferibili ad ambienti di pianura bene drenata.

I sedimenti della parte superiore di AES₇, sono stati depositi in ambienti di media pianura alluvionale, in condizioni climatiche fredde ed in presenza di un basso livello eustatico. Essi rappresentano l'espressione sedimentaria di ambienti fluviali sviluppati durante fasi dell'ultima glaciazione Würmiana. Nella parte settentrionale del territorio comunale, questi depositi sono costituiti da estesi corpi di sabbie grossolane di canale, deposti prevalentemente in sistemi fluviali a treccia (*braided rivers*). A sud della città, le conoscenze divengono più scarse, sia a causa della minor disponibilità di prove, sia per il fatto che i corpi singlaciali si collocano a profondità superiori rispetto ai settori settentrionali a causa della maggiore subsidenza, e quindi solo raramente vengono raggiunte dalle indagini geognostiche disponibili.

Il contatto laterale tra le sabbie grossolane singlaciali del Po ed i depositi più fini, prevalentemente limoso-argillosi, di provenienza appenninica, è ben riconoscibile nel sottosuolo, poco ad occidente del territorio comunale, fra Vigarano Mainarda e Mirabello. Nei profili geologico-stratigrafici allegati alle note viene analizzata solo la parte superiore dell'unità, l'unica raggiunta da un significativo numero di indagini geognostiche. In questi profili, l'unità è suddivisa in corpi sabbiosi di riempimento di canale e corpi di argine naturale e piana interalvea.



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

4.1.1 Sabbie di riempimento di canale fluviale anastomizzato

Sabbie da fini a molto grossolane, talvolta ghiaiose, ma prevalentemente medio-grossolane, di colore grigio chiaro, in genere prive di bioclasti e frammenti di legno, con scarse evidenze di alterazione e pedogenesi. I clasti di taglia superiore ai 2 mm sembrano concentrati su livelli residuali da rimaneggiamento (*residual lags*), talvolta associati a frammenti ossei di mammiferi continentali. La matrice limosa è spesso assente, la classazione da media a buona. Le intercalazioni fini argilloso-limose sono rare o assenti. La composizione dei clasti indica una provenienza di Po; contributi dei fiumi veneti, oggi non più affluenti del Po, sono molto probabili. Osservazioni granulometriche preliminari realizzate su alcuni carotaggi continui (comunicazione personale Prof. Saccani, Università di Ferrara) hanno evidenziato come i grani maggiori siano costituiti da frammenti litici di rocce metamorfiche, e subordinati dolomie e calcari, arenarie e serpentiniti, quarzo policristallino, selci sedimentarie; frequenti anche foraminiferi mesozoici e terziari rimaneggiati. Nelle prove penetrometriche, si osservano valori di resistenza alla punta particolarmente elevati, spesso organizzati in sequenze asimmetriche di progressivo aumento della resistenza verso l'alto, seguite da una rapida riduzione; questi picchi mostrano quindi un andamento molto diverso da quello caratteristico dalle sabbie fluviali oloceniche. I valori di velocità delle onde sismiche (V_s) sono particolarmente elevati (Figura 4-1). Valori negativi di pressione interstiziale sono comuni, almeno nella parte superiore dell'unità stratigrafica, caratterizzata da una elevata permeabilità e conducibilità idraulica.



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

SCPTU 18

RUE - Regolamento Urbanistico Edilizio Comune di Ferrara

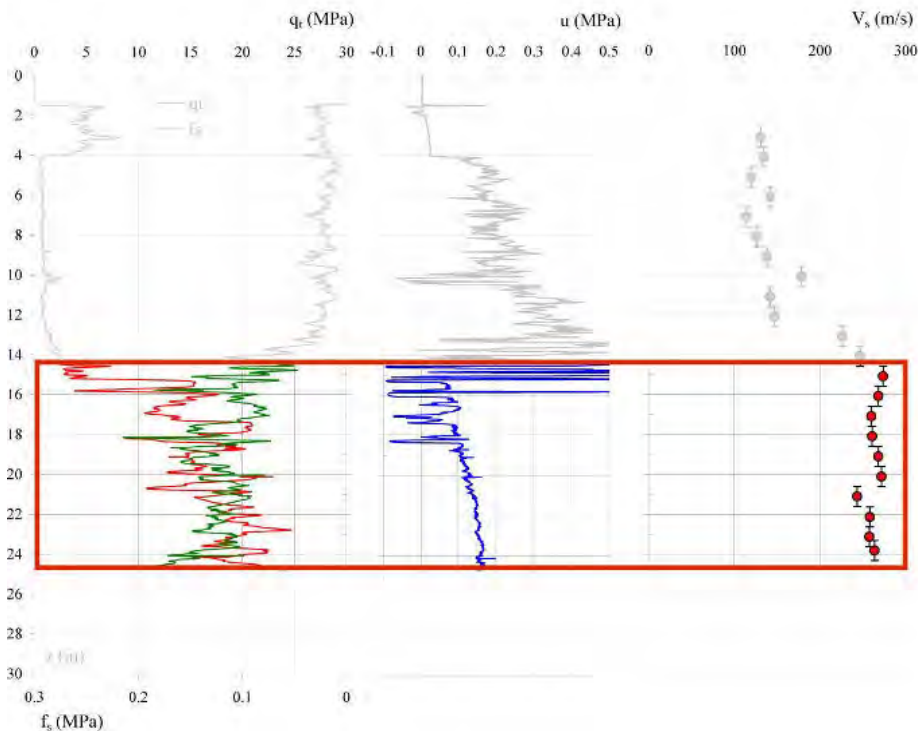


Figura 4-1 - Log parametrici di resistenza alla punta (q_t), attrito laterale (f_s), pressione neutra (u) e velocità delle onde sismiche seconde (V_s) relativi al piezocono sismico realizzato presso la scuola materna di Pontelagoscuro (FE). La porzione inferiore del grafico corrisponde alle sabbie singlaciali. Prova eseguita per la realizzazione del R.U.E. -Regolamento Urbanistico Edilizio di Ferrara.

Le sabbie descritte costituiscono corpi lateralmente estesi a stratificazione suborizzontale, che si saldano fra loro a formare il potente corpo di sabbie grossolane sede del primo acquifero confinato, denominato A1 nella terminologia idrostratigrafica della Regione Emilia Romagna (Molinari *et al.*, 2007). Normalmente confinato dai fanghi impermeabili del Subsistema di Ravenna (AES₈), altrove esso risulta in diretto contatto con sabbie superficiali di canale olocenico e con l'attuale alveo del fiume Po.

Le sabbie sommitali di AES₇ sono ampiamente sviluppate attraverso tutto il settore nord-occidentale del territorio comunale fra Ravalle, Porporana, Casaglia e il polo petrolchimico, e costituiscono la parte inferiore del profilo B-B' lungo il Canale Boicelli. Sotto l'area urbana tali sabbie tendono invece a sfrangiarsi nel riempimento di singoli corpi di canale,



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

apparentemente incisi, all'interno dei sedimenti circostanti più fini, come visibile lungo il profilo stratigrafico meridionale (Sezione A-A') e nell'area di Via Caretti.

4.1.2 Sabbie, limi e argille limose di piana alluvionale

Sabbie, sabbie fini limose, limi sabbiosi e limi accumulati da prevalenti fenomeni di trascinamento, in ambienti di piana inondabile ben drenata. Assai diffusi sono i livelli limosi, mentre le argille limose sono nel complesso volumetricamente subordinate. Picchi di resistenza alla punta corrispondono a livelli di sabbia a base netta, correlabili ad eventi di trascinamento arealmente estesi. Potrebbero essere presenti anche limi eolici di tipo loess, ma la mancanza di carote indisturbate impedisce un'analisi di facies accurata. Al momento, non si possiedono dati composizionali sufficienti, ma è molto probabile che questi corpi di sabbie fini e limi registrino la transizione fra apporti alpini di Po e quelli del Reno e di altri fiumi appenninici. Nel complesso, le successioni mostrano un'evoluzione granulometrica *fining upward* (tendenza negativa), con i livelli di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi diffusi prevalentemente nella parte bassa dell'unità, soprattutto attorno ai 30 m di profondità. Verso l'alto la maggior parte della successione è formata da limi, con qualche intercalazione limoso-sabbiosa. I sedimenti più fini sono soprattutto presenti nelle porzioni meridionali del territorio comunale, soggette ad influenze appenniniche. Facies limose sono inoltre presenti anche più a nord-est, come nella zona di Via Caretti. Dato il numero limitato di indagini di sottosuolo, risulta complesso determinare l'estensione di questa unità in aree meridionali distanti dal centro urbano.

4.2 Subsistema di Ravenna (AES₈)

Il Subsistema forma la parte sommitale del Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore e comprende gran parte dei sedimenti affioranti e formanti le prime decine di metri di sottosuolo della Pianura Emiliano-Romagnola. Esso è attraversato dalla maggioranza delle indagini geognostiche contenute nella Banca Dati Regionale ed è quindi l'unità di gran lunga meglio caratterizzata fra i depositi quaternari della pianura.



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

Sulla base dei dati radiometrici ^{14}C , l'età del Subsistema è compresa fra c.a.13.450 anni (B.P. non calibrata) e l'attuale, e corrisponde all'ultima fase di rapida risalita eustatica e di miglioramento climatico che si sviluppa a partire dal tardo Pleistocene fino a tutto l'Olocene.

I depositi di AES₈ poggiano in contatto netto sui depositi di canale e di tracimazione fluviale del ciclo sottostante e costituiscono la porzione trasgressiva e quella iniziale regressiva di un ciclo simile ai precedentemente descritti, anche se incompleto in quanto ancora in corso di evoluzione deposizionale.

Nel sottosuolo di pianura questi depositi sono generalmente costituiti ad argille, limi ed alternanze limoso-sabbiose da tracimazione fluviale, alternate a sabbie di riempimento di canale fluviale.

La porzione superiore e regressiva del ciclo è formata da depositi di piana alluvionale mal drenata, mentre quella inferiore e trasgressiva è frequentemente costituita da sedimenti fini di piana alluvionale ben drenata, con frequenti paleosuoli decarbonatati.

I depositi costituenti la parte inferiore del ciclo, distinti nelle unità sedimentologiche descritte in seguito, si sono accumulati dopo la fine dell'ultima glaciazione e prima della fase di massima trasgressione marina.

Quando al termine dell'ultima glaciazione il livello marino eustatico era ancora basso, nella regione permanevano ambienti di media pianura alluvionale ben drenata, ma in condizioni climatiche più miti, sia pure intervallati da episodi freddi, come quello della fase climatica "Younger Dryas". Successivamente, nel corso della prima parte dell'Olocene, ripetuti episodi di innalzamento del livello marino eustatico generarono l'Adriatico Settentrionale, determinando nella regione di Ferrara lo sviluppo di ambienti di bassa pianura alluvionale e costiera, sempre più umidi e mal drenati, anche se condizioni marine o salmastre non si svilupparono mai all'interno del vasto territorio comunale.

4.2.1 Sabbie di canale fluviale

Sabbie medie e fini, organizzate in sequenze plurimetrie *fining upward*, associate ad un brusco aumento dei valori di resistenza alla punta alla base, seguito da una graduale riduzione verso l'alto. Questi corpi registrano il riempimento del ramo principale del Po, con lo sviluppo di facies granulari simili a quelle che caratterizzano le parti recenti dell'Olocene. Per una più



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

approfondita descrizione di questo tipo di sedimenti, si rimanda quindi alla descrizione delle sabbie di riempimento di canale fluviale affiorante, meglio conosciute.

4.2.2 Limi, limi sabbiosi, argille limose con paleosuoli ed argille di argine e piana alluvionale.

Prevalenti limi, di colore giallo brunastro, con intercalazioni di sabbie medio-fini e subordinate argille. I bioclasti, di norma costituiti di gasteropodi pulmonati, sono molto rari, come sporadici sono anche i frammenti di legno e resti di altre sostanze organiche. Nelle non numerose carote disponibili, sono visibili gradazioni dirette e lamine pianoparallele, oltre che tracce di bioturbazione e d'apparati radicali. Si riconoscono indizi di processi pedogenetici ed associate concrezioni carbonatiche millimetriche e centimetriche, di forma irregolare, sia in posto, sia rimaneggiate. Nella parte sommitale dell'unità, compaiono limitati livelli di limi argillosi scuri, arricchiti in carbonio organico, e qualche livello torboso.

Considerando le geometrie deposizionali, la parte inferiore limoso-sabbiosa dell'unità appare costituita da corpi discontinui, che in parte sembrano corrispondere al riempimento di depressioni incise al tetto terrazzato delle più antiche sabbie di media pianura alluvionale. I corpi discontinui hanno spessori variabili che possono giungere anche ai 10 m, e larghezze dell'ordine delle centinaia di metri o più. In livelli più alti, questi sedimenti limosi formano corpi non incassati, con contatti laterali apparentemente sfumati, che sembrano legati a strutture arginali da tracimazione fluviale.

5 Geologia di superficie

La parte superiore delle unità stratigrafiche indagate è formata da sedimenti depositati in condizioni ambientali e con livello del mare prossimo all'attuale. Il tetto di questi corpi è ovunque affiorante ed è stato quindi possibile cartografarlo con precisione. Anche i corpi sepolti a debole profondità presentano un'espressione morfologica in superficie, che permette di suddividere il territorio comunale in tre porzioni dai caratteri geologico-stratigrafici molto diversi: una nord-occidentale, con meandri fluviali ben sviluppati, una centro-orientale, con alvei pensili ed ampie depressioni interalvee, ed una meridionale, formata da depositi di fiumi di origine appenninica.



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

Oltre alle unità litologico-sedimentologiche e agli elementi deposizionali rilevati, nella cartografia geologica sono riportati alcuni elementi lineari che corrispondono a:

- **Strutture fluviali da accrezione laterale**, che rappresentano le strutture di sponda associate alla migrazione di un canale fluviale attivo;
- **Canale da rotta fluviale**, le cui tracce indicano canali minori generati in occasione dei maggiori episodi di sfondamento dei corpi arginali.
- **Asse di paleoalveo sepolto**, indicante la posizione approssimativa dell'asse mediano di corpi allungati di sabbie di riempimento di alveo fluviale, sepolti a debole profondità;
- **Traccia di sezione geologica**, indicante la posizione del piano di proiezione delle indagini di sottosuolo, interpolate per la ricostruzione dei profili geologici;
- **Sovrascorrimento e faglia inversa**, la cui traccia indica la proiezione sulla superficie topografica della posizione approssimativa dei fronti di sovrascorrimento e delle principali faglie inverse nord-vergenti, talvolta con componenti trascorrenti, che interessano la copertura sedimentaria rigida meso-cenozoica.
- **Retroscorrimento**, la cui traccia indica la proiezione della posizione approssimativa dei retroscorrimenti che interessano la copertura sedimentaria rigida meso-cenozoica.

5.1 Piana a meandri del Po

Come accennato in precedenza, questi depositi formano la parte nord-occidentale del territorio comunale, ove affiorano ampi corpi di sabbie a meandro o di paleoalveo fortemente sinuoso, alternati a depositi più fini di interalveo. Affiorano qui i sedimenti più antichi di tutto il territorio comunale, ascritti al Subsistema di Ravenna (AES₈). La presenza di queste strutture meandriche è in parte legata al rimaneggiamento di precedenti sabbie singlaciali (AES₇); ciò ha permesso lo svilupparsi, anche in questa fascia di bassa pianura, di morfologie simili a quelle di aree poste molto più a monte lungo il corso del Po, come ad esempio fra Piacenza e Sabbioneta.



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

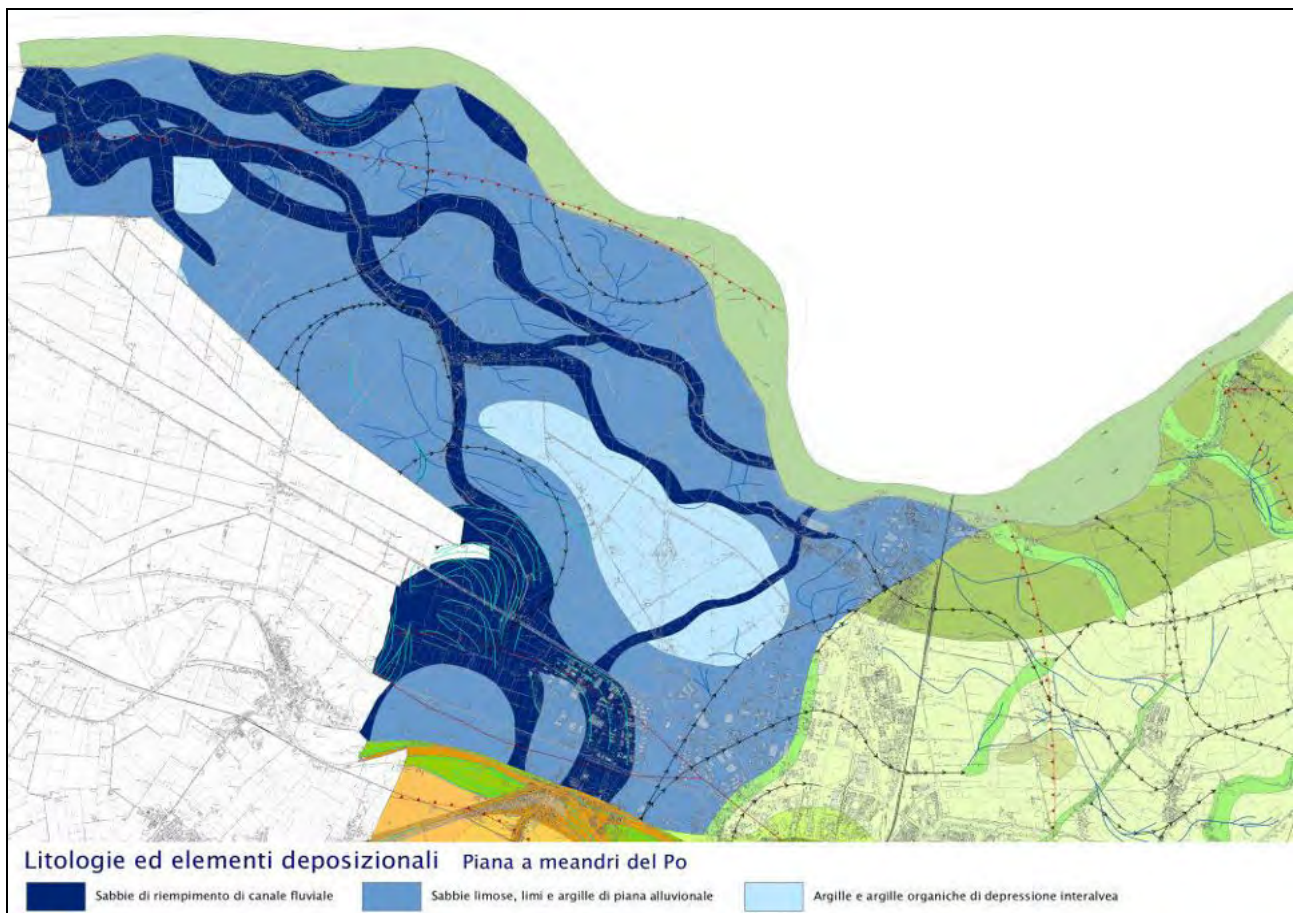


Figura 5-1 - Stralcio della carta geologica qui presentata, rappresentante la parte nord-occidentale del territorio comunale, dominata dalle sabbie di riempimento di canali a meandro del Po.

5.1.1 Sabbie di riempimento di canale fluviale

Prevalenti sabbie medie, talvolta sabbie grossolane, organizzate in corpi passanti verso l'alto a sabbie fini e sabbie limose. Questi corpi registrano strutture da barra di meandro (*point bar*), con una successione *fining upward* (sequenze positive) da accrezione laterale. Soprattutto nella parte inferiore del corpo sono abbastanza frequenti intraclasti, sia spigolosi che arrotondati, formati da argille ed argille limose, di colore scuro. Queste successioni hanno uno spessore paragonabile a quello originario del canale fluviale e sono quindi in relazione anche con il raggio della sua curvatura planimetrica. I sedimenti granulari sono talvolta seguiti da un corpo limoso-argilloso legato al riempimento di un laghetto generato dall'abbandono del meandro (mortizza o lanca). Per ragioni di scala di rappresentazione, i corpi da abbandono non sono stati distinti in cartografia. Queste sequenze possono essere riconosciute anche



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

dall'andamento dei diagrammi dei parametri penetrometrici, che mostrano spesse sequenze asimmetriche, caratterizzate dai massimi valori di resistenza alla punta alla base della sequenza, seguite da una graduale riduzione dei valori (Figura 5-2). Questi corpi di sabbie di meandro presentano in genere elevati valori di permeabilità e, sul confine nord-occidentale del territorio comunale, sono in diretta comunicazione con l'attuale alveo del Po. Gli esempi più evidenti di strutture da meandro si possono osservare fra Vigarano Pieve, Ponti Sette e il tracciato autostradale. Altre strutture complesse d'aspetto pseudo-meandriforme derivano dalla sovrapposizione eterocrona di diverse generazioni di canali sinuosi, come visibile nei pressi di Ravalle.

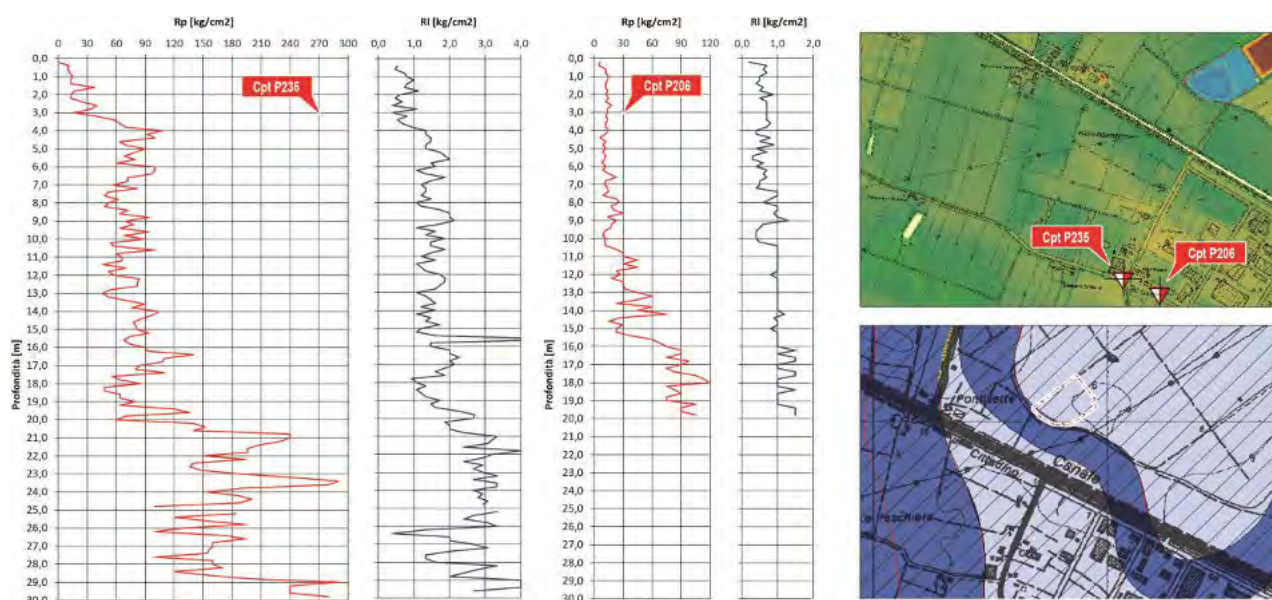


Figura 5-2 - Log parametrici di resistenza alla punta (R_p) e attrito laterale (R_l), relativi a due prove Cpt realizzate in prossimità del comparto 17ASPCN-01 del Piano Operativo Comunale di Ferrara. I grafici a sinistra descrivono la facies penetrometrica di corpi di riempimento di un meandro, quelli a destra i caratteri della piana interalvea adiacente.

5.1.2 Sabbie limose, limi e argille di piana alluvionale

Sabbie fini, sabbie fini limose, limi sabbiosi, passanti lateralmente a corpi di limi argillosi, argille limose e limi, frequentemente di estensione più ridotta. I bioclasti sono rari, come sporadici sono anche i resti vegetali ben conservati. Nelle prove penetrometriche si osservano frequentemente successioni plurimetrie con base netta seguita da una progressiva riduzione dei valori di resistenza alla punta, associati ad una riduzione della granulometria



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

media del sedimento. In superficie, questi corpi mostrano andamenti debolmente ondulati, senza mai sviluppare corpi dossivi allungati o corpi convessi associati a ventagli da rotta. Assai diffuse sono, invece, le strutture a canali ramificati da rotta, talvolta con caratteri erosivi, sviluppati nelle diverse direzioni geografiche, ma prevalentemente da sud-ovest e nord-est. Questi corpi in genere registrano il sovrapporsi di una lunga serie di eventi sedimentari e geomorfologici in assenza di una significativa aggradazione deposizionale del piano campagna. In molti casi i corpi sabbiosi appaiono chiaramente derivare dalla complessa intercalazione ed amalgamazione di varie generazioni di canali fluviali ondulati o francamente meandriiformi. In superficie tali corpi risultano spesso rimaneggiati da ripetuti episodi di rotta fluviale. Lateralmente le litologie più fini sono associate ad episodi di tracimazione fluviale verso le aree interfluviali topograficamente più depresse, senza che si sviluppassero comunque fasce continue di corpi di argine naturale ai lati degli antichi alvei. Queste sabbie affiorano attraverso un'ampia fascia che fiancheggia l'argine meridionale del Po, tra Porporana, Ravalle e Casaglia; esse sono presenti anche più a sud, a settentrione di Mizzana e Cassana e verso il Polo Chimico.

5.1.3 Argille e argille organiche di depressione interalvea

Si tratta di argille plastiche nerastre, subordinate argille limose, argille torbose e torbe, con stratificazione poco evidente, bassi o bassissimi valori di resistenza alla punta penetrometrica, bassissimi valori di permeabilità nelle argille organiche, leggermente superiori nei livelli torbosi. Frequenti e ben preservati i resti di foglie e piante superiori, talvolta associati a bioclasti di gasteropodi continentali e lamellibranchi di acqua dolce, che possono mostrare tracce di dissoluzione. I sedimenti sono in genere amalgamati dalla bioturbazione, ma sono anche presenti livelli sottilmente laminati, di aspetto varvato, che verosimilmente registrano ambienti d'acqua dolce fortemente disossici o anossici. Alcuni corpi di argille limose e limi sono associati a piccoli canali intrapalustri curvilinei, come quelli sviluppati nell'area a sud di Via delle Bonifiche e a nord-ovest del Polo Chimico e in via Antonio Battistella. Questi sedimenti coesivi non formano aree particolarmente vaste, ma sono frequenti nella fascia compresa fra il casello autostradale di Ferrara Nord e via Vallelunga a Pontelagoscuro.



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

5.2 Bassa piana alluvionale e deltizia del Po

Costituisce un'ampia porzione del territorio comunale, a est del Canale Boicelli e a nord-est del Canale di Primaro. A scala regionale, si estende ampiamente verso oriente, ove sfuma nell'area deltizia vera e propria, più prossima al mare. Questa zona è dominata dai grandi corpi sabbiosi dei canali del Po, di età preistorica, romana e medievale, che qui iniziavano a divergere nei canali distributori che a valle alimentavano i vari lobi deltizi.

I corpi di paleoalveo di età medievale appaiono tuttora decisamente sopraelevati sulle ampie depressioni interalvee circostanti (Figura 2-16).

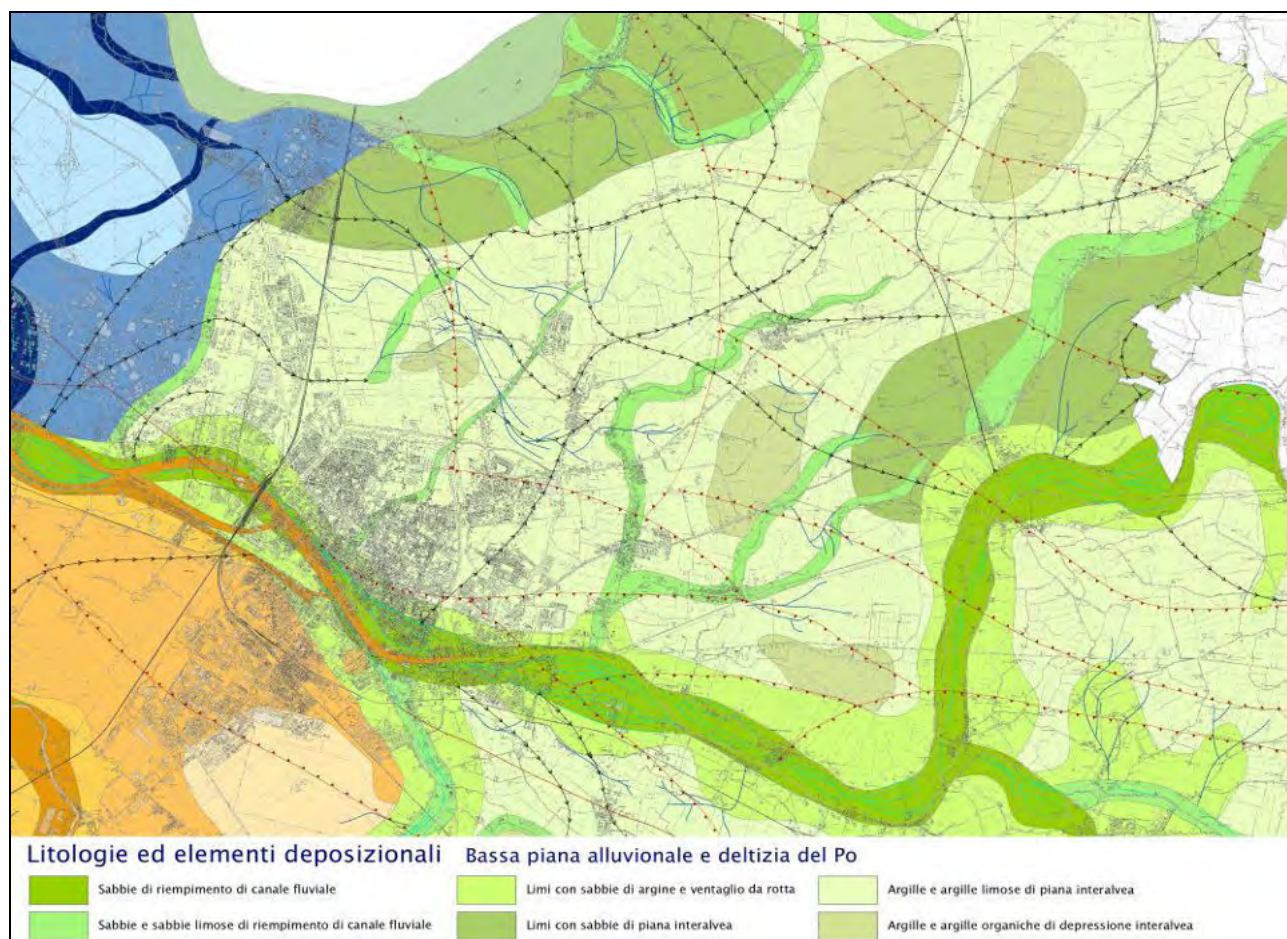


Figura 5-3 - Stralcio della carte geologica rappresentante il centro storico e la parte centro-orientale del territorio comunale, dominata da grandi corpi allungati di sabbie di canale di Po, fiancheggiati dai relativi corpi di argine naturale e da aree interalvee, ricchi di fanghi e torbe.



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

5.2.1 Sabbie di riempimento di canale fluviale e sabbie e sabbie limose di riempimento di canale fluviale.

Sabbie da medie a fini, discretamente classate, registrano la fase principale dei canali maggiori di Po, come ad esempio quello del Volano. Le fasi di riduzione del flusso nei canali maggiori ed i canali minori, come ad esempio il Primaro, sono invece testimoniati da corpi di sabbie fini e sabbie fini limose. L'abbandono dei canali è, invece, documentato da argille e argille organiche, spesso laminate.

Per ragioni di scala di rappresentazione, in cartografia sono stati distinti esclusivamente i corpi sabbiosi più grossolani di alveo maggiore e quelli granulometricamente più fini di alveo minore, mentre non è stato possibile rappresentare quelli fangosi legati all'abbandono del corso fluviale.

All'interno dei corpi sabbiosi, sono talvolta presenti intraclasti di argille limose o torbose, frequentemente arrotondati e rivestiti di sabbia grossolana ("palle armate"). Abbastanza frequenti sono anche frustoli carboniosi o frammenti arborei fluitati, valve di lamellibranchi dulcicoli, gasteropodi polmonati e più rari frammenti ossei di vertebrati continentali. Le sabbie sono caratterizzate da una composizione petrografica di Po. Ne rari sondaggi indisturbati e in molte prove penetrometriche a piezocono, si riconoscono livelli da piena fluviale, amalgamati e mal definiti, a gradazione diretta, spesso organizzati in sequenze positive (*fining upward*), con granulometrie che passano da sabbia media a finissima e limo. In vari scavi fondali, in particolare quelli del complesso edilizio Darsena City, sono state osservate laminazioni concave pluridecimetriche da correnti trattive, assai ben conservate. Questi corpi possono chiudersi bruscamente verso l'alto con una superficie netta da abbandono fluviale o sfumare in limi ed argille, talvolta assai sviluppate (es. paleoalveo del Volano a valle di San Giorgio). Nelle penetrometrie, questi corpi sono caratterizzati da alti valori di resistenza alla punta, da un basso rapporto fra attrito laterale e resistenza alla punta e da valori anche negativi di pressione interstiziale. La base di questi corpi è caratterizzata da un brusco aumento della resistenza alla punta, seguita dalla progressiva diminuzione verso l'alto: questa organizzazione riflette l'andamento granulometrico *fining up* (Figura 5-4). Le sabbie formano corpi nastriformi di riempimento di canale, a sezione lenticolare biconvessa, base più o meno nettamente erosiva, spessori da 3-4 ad oltre 10 m e larghezze anche di



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

parecchie centinaia di metri. In pianta, i paleoalvei mostrano uno sviluppo ondulato, con complesse relazioni d'intersezione fra canali del Po d'età diversa (Figura 5-3). I corpi sedimentari di paleoalveo, ed i contigui rilevati arginali, formavano spesso fasce emerse anche prima delle bonifiche idrauliche, divenendo quindi sedi privilegiate per vie di comunicazione e insediamenti antropici. Su questi corpi si sviluppa anche una porzione rilevante del centro storico di Ferrara.

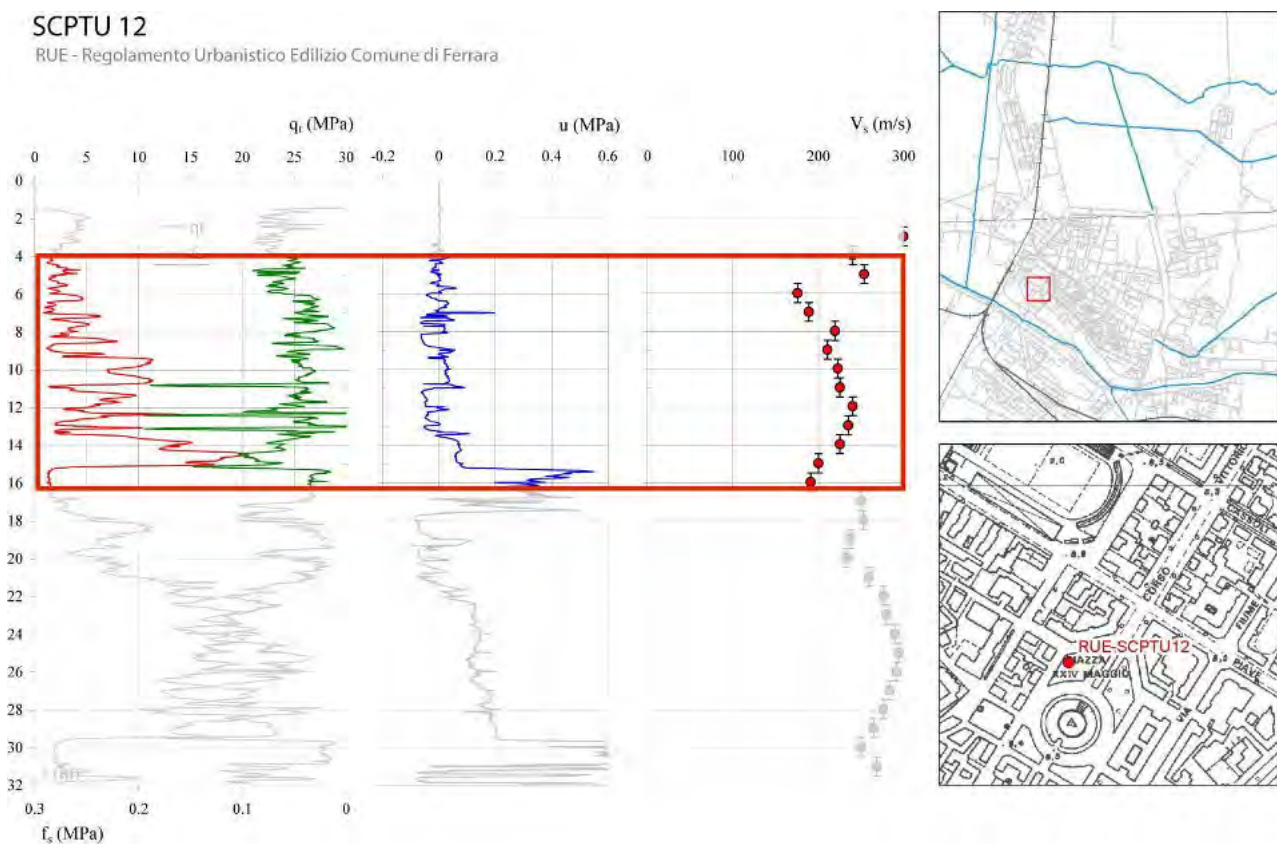


Figura 5-4 - Log parametrici di resistenza alla punta (q_t), attrito laterale (f_s), pressione neutra (u) e velocità delle onde sismiche secondarie (V_s) relativi al piezocono sismico realizzato in Piazza XIV Maggio, nell'ambito dei lavori per il R.U.E. -Regolamento Urbanistico Edilizio. L'andamento della resistenza alla punta ben riflette la sequenza positiva (finning up) delle sabbie e sabbie limose di riempimento del canale principale del Po di età antica e medioevale. Parte sommitale della successione corrisponde ad un riporto antropico.

5.2.2 Limi con sabbie di argine e ventaglio da rotta e Limi con sabbie di piana interalvea.

Sabbie da medie a finissime, frequentemente limose, talvolta ricche d'intraclasti argillosi, che sfumano lateralmente in alternanze limoso-argillose. Frammenti legnosi possono essere



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

abbondanti, mentre i bioclasti sono normalmente assenti. All'interno di scavi artificiali realizzati per la posa di tubazioni e fondazioni, sono stati osservati strati sottili o medi, frequentemente gradati, con base netta od erosiva, depositi da eventi di tracimazione. Localmente, sono presenti sabbie medio-grossolane od intercalazioni argillose. Gli strati sono organizzati in sequenze plurimetriche, con evoluzione granulometrica *fining up*, ben riflessa dall'andamento dei valori di resistenza alla punta delle prove penetrometriche. I corpi da rotta e di argine mostrano contatti laterali transizionali, sia verso sabbie di canale distributore, sia verso sedimenti fini di piana interdistributrice. I depositi di rotta hanno forma di ventaglio. La sovrapposizione di un gran numero di eventi di tracimazione e sfondamento ha generato i corpi nastriformi d'argine naturale, con spessori fino ai 10 m. e larghezze da alcune decine a parecchie centinaia di metri. I corpi arginali sono stati spesso sede di percorsi storici e d'insediamento antropico, come nel caso del nucleo urbano di Ferrara.

5.2.3 Argille e argille limose di piana interalvea e Argille e argille organiche di depressione interalvea.

Argille, argille limose e subordinati limi, spesso arricchite in sostanza organica di colore scuro, passanti ad argille torbose e torbe.

La sostanza organica di origine vegetale può essere diluita all'interno della matrice argillosa o concentrata in lamine e strati a costituire accumuli torbosi che possono raggiungere spessori anche plurimetrici, particolarmente sviluppati nella parte sud-orientale dell'area cartografata (es. Prati di Palmirano, a sud di Cona). Si osservano, inoltre, parsi bioclasti di molluschi continentali, quali gasteropodi polmonati (*Helix sp*) e lamellibranchi d'acqua dolce (es. *Limnea palustris*), frustoli carboniosi e foglie di piante arboree e ninfee, talvolta in buono stato di conservazione. Le argille mostrano frequenti tracce d'apparati radicali o di intensa bioturbazione da organismi limivori, che spesso obliterano le originarie strutture sedimentarie. In altri casi, invece, è preservata una fitta laminazione piano-parallela in sottili strati gradati sabbioso-limosi a base netta, con intraclasti argillosi e frammenti legnosi, generati da episodi di tracimazione fluviale. Nelle prove penetrometriche, i valori di resistenza alla punta sono da bassi a estremamente bassi e mostrano un alto rapporto fra



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

attrito laterale e resistenza alla punta, unitamente a sovrappressioni interstiziali, caratteristiche di questi sedimenti coesivi a bassa permeabilità. Sporadici picchi di maggiore resistenza alla punta sono legati a strati sabbiosi da rotta fluviale o a superfici sovraconsolidate da disseccamento, mal correlabili lateralmente. In superficie, questi sedimenti si ritrovano nelle aree depresse fra i rilievi dei canali fluviali, argini naturali e ventagli da rotta. Nel sottosuolo essi costituiscono corpi tabulari lateralmente molto estesi, con spessori fino a 15 m. Questi depositi sfumano lateralmente in depositi d'argine, canale distributore e rotta. Questi sedimenti fangosi si sono depositi nelle ampie depressioni interalvee, come ad esempio nell'area del Barco, fra Pescara e Boara e a sud di Cona.

5.2.4 Sabbie limose di riempimento di canale in evoluzione del Po.

La deposizione di sabbie fluviali continua attualmente nell'alveo in attiva evoluzione del Po, che segna il limite settentrionale del territorio comunale, provinciale e regionale. Oggi la dinamica idrografica e deposizionale è certo molto alterata dalle attività antropiche.

5.3 Piana alluvionale di fiumi appenninici

Costituisce una vasta area meridionale del territorio comunale, dominata da spessi depositi del fiume Reno e, nella sua porzione più sud-occidentale, da quelli del Savena oltre a quelli dello Zena, in gran parte posti subito ad est del confine comunale. Gran parte di questi sedimenti sono stati depositi in epoca storica molto recente, specialmente durante il XVII secolo. A scala regionale, la bassa pianura alluvionale appenninica, storicamente ricca di acquitrini e con canali fluviali molto instabili, si estende fin poco a nord della Via Emilia, ove passa ad una stretta fascia di depositi pedecollinari.



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

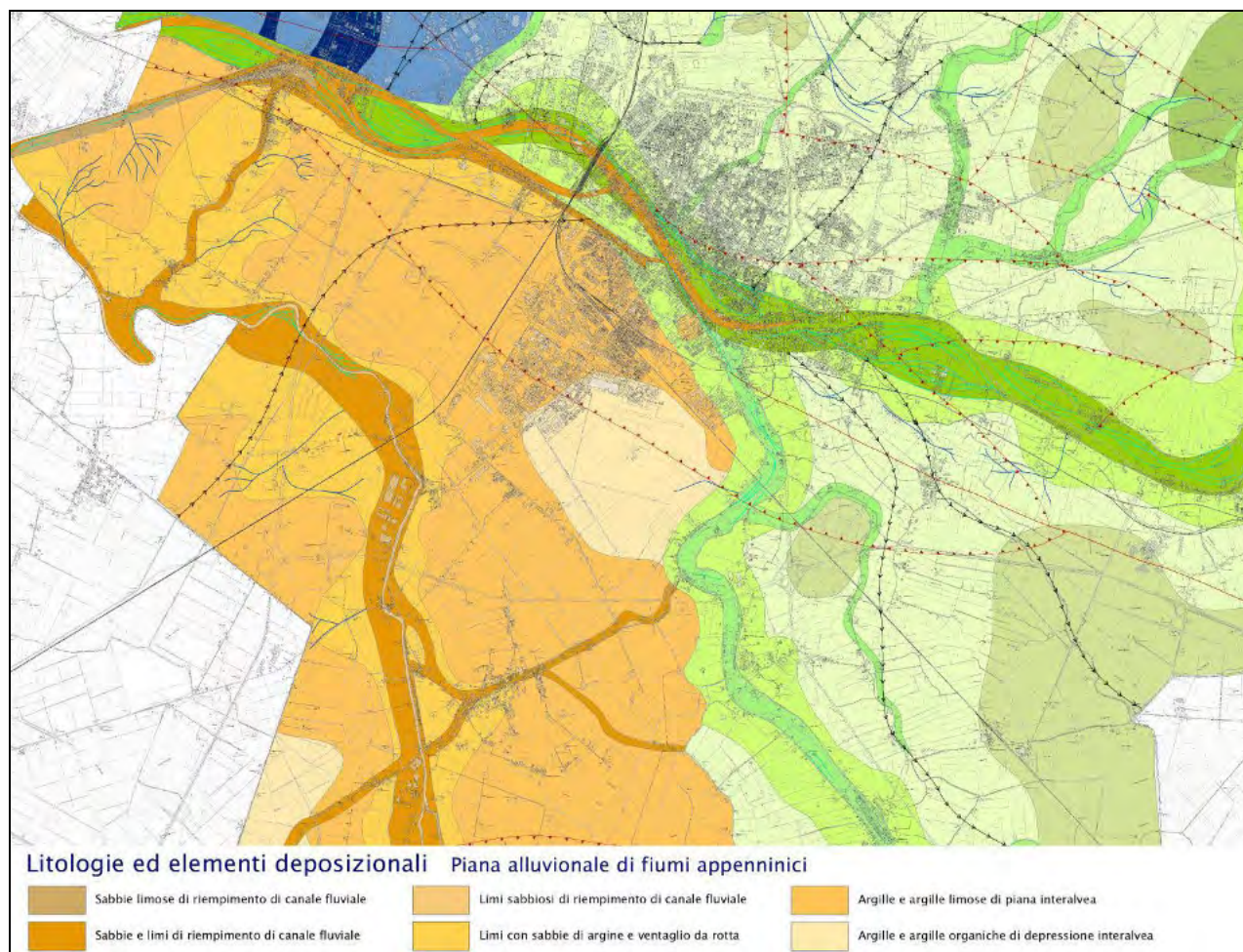


Figura 5-5 - Stralcio della carta geologica a sud del centro storico che illustra il grande corpo di paleoalveo del Fiume Reno, in gran parte deposto durante il XVII secolo. Notare l'accumulo di sedimenti di Reno entro l'precedente alveo del Po a sud e sud-ovest del centro storico.

5.3.1 Sabbie limose di riempimento di canale fluviale, Sabbie limi di riempimento di canale fluviale e Limi sabbiosi di riempimento di canale fluviale.

Sabbie medio fini, sabbie fini limose, limi sabbiosi e limi, generalmente organizzati in sequenze plurimetrie *fining upward*, ben riconoscibili anche dall'andamento asimmetrico dei valori penetrometrici di resistenza alla punta e di attrito laterale. Al tetto di questi cicli sono presenti strati limosi e, in alcuni casi, pacchi di argille organiche scure. Questa unità rappresenta quindi il riempimento di canali fluviali. Gli corpi di maggiori dimensioni corrispondono ad alvei del fiume Reno, spesso di età molto recente, e possono raggiungere spessori di 8-10 m. I depositi dell'alveo del Reno sono rappresentati in cartografia da due



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

differenti classi, che identificano una diminuzione della portata ed un conseguente restringimento dell'alveo avvenuto durante il XVIII secolo, quando, a seguito delle continue rotte presso Mirabello e Sant'Agostino, il fiume ha modificato sensibilmente l'apporto sedimentario. La porzione più antica dei depositi di alveo è costituita da sabbie medie con granulometria poco assortita, mentre quella più recente da sabbie limose, limi sabbiosi e subordinati limi. Corpi minori, con spessori di alcuni metri e granulometrie mediamente più fini, sono invece associati a paleoalvei del Savena e dello Zena.

5.3.2 Limi con sabbie di argine e ventaglio da rotta.

Fitte alternanze di sabbie fini e sabbie limose, in strati sottili gradati, e limi da sabbiosi ad argillosi in strati da molto sottili a medi, mal definiti, spesso amalgamati dalla bioturbazione. Sono presenti anche limi inorganici, sabbie fini limose, limi argillosi a bassa plasticità, in cui talvolta si osservano gradazioni dirette o abbondanti intraclasti fangosi o resti organici. I sedimenti sono organizzati in sequenze *coarsening upwards* o, più raramente, *coarsening and fining* (tendenza negativo-positiva). Localmente sono presenti sabbie medio-grossolane alla base delle sequenze che possono sfumare in livelli di argille ed argille organiche, al tetto. Questi corpi di geometria allungata hanno spessore massimo di 7-8 m e passano lateralmente a depositi di piana inondabile con contatti gradualmente. Si tratta di corpi di argine naturale depositi fra le vaste aree interalvee ed i corpi fluviali. Sono formati da limi inorganici, sabbie fini limose, limi argillosi a bassa plasticità, in cui talvolta si osservano gradazioni dirette o abbondanti intraclasti fangosi o resti organici. Questi corpi sono caratterizzati da una permeabilità media, che aumenta in genere avvicinandosi ai corpi di paleoalveo. Questi corpi sedimentari fiancheggiano le sabbie di riempimento di alveo e sono particolarmente sviluppati lungo l'ampio corpo arcuato del paleoalveo del Reno, da Vigarano Mainarda, fino a Via Bologna, in direzione di Gallo.

5.3.3 Argille e argille limose di piana interalvea e Argille e argille organiche di depressione interalvea.

Argille, argille limose e limi a plasticità generalmente medio-bassa con resti vegetali e rare tracce di alterazione pedogenetica. Sono presenti anche livelli di argille e limi ricchi in sostanza organica. Le argille e i limi sono frequentemente bioturbati, tanto da risultare



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

obliterate le originarie strutture sedimentarie; altrove è invece presente una fitta laminazione piano-parallela. Questi depositi, che spesso conservano le originarie colorazioni scure, si sono accumulati in ambienti di piana inondabile e palude dolce, soggetti ad importanti apporti sedimentari durante episodi di piena e tracimazione fluviale. Di spessore variabile da 1 a 3 m, questi sedimenti presentano, in genere, bassa permeabilità e passano lateralmente a depositi di argine, canale e rotta fluviale con contatti graduali.

5.3.4 Terreni contenenti resti di attività antropica.

Corpi caratterizzati da resti di attività umane sono presenti nel territorio comunale, sia associati ad attività storiche, di età medievale o moderna, sia, più diffusamente, indotte da attività industriali del XX secolo. Una descrizione di questi corpi richiede perciò qualche cenno sui rapporti fra evoluzione idrografico-deposizionale dei fiumi che hanno interessato l'area di Ferrara e la crescita urbana della città (vedi capitolo 8).

6 Profili geologici

Come accennato al paragrafo 3.4, per indagare il sottosuolo, con una profondità di 35 m circa, sono stati disegnati due profili stratigrafici, derivanti dall'interpolazione di un notevole numero di dati puntuali, quali prove penetrometriche e sondaggi stratigrafici. La localizzazione dei profili è indicata dalle tracce visibili nella carta geologica del centro urbano. Il profilo A-A' è posto a meridione del centro storico, quello B-B' a occidente di esso. I due profili si incrociano nei pressi di Via Arginone. Più in dettaglio, il profilo A-A' si allunga in direzione nord-ovest – sud-est, dall'ex distilleria, a occidente del Canale Boicelli, lungo la Darsena e il tratto meridionale delle mura urbane, fino a Quacchio. Il profilo B-B' si sviluppa in direzione quasi meridiana, lungo la sponda occidentale del Canale Boicelli, da Pontelagoscuro, fino a sud di Via Arginone, in direzione di Viale Krasnodar. In entrambi i profili, si osserva un'unità più profonda sabbiosa, attribuibile alla parte superiore del Subsistema di Villa Verucchio (AES₇), deposta in condizioni prevalentemente singlaciali e di stazionamento basso del livello eustatico, e una parte superiore, ricca di fanghi e riferibile al Subsistema di Ravenna (AES₈), che registra un livello marino e condizioni climatiche simili alle attuali.



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

Nel **profilo meridionale A-A'** (Allegato 1), i sedimenti del Subsistema di Villa Verucchio sono caratterizzati da un'architettura deposizionale molto complessa. Due corpi di sabbie medio-grossolane di canale fluviale di Po sono visibili nella parte occidentale e centrale del profilo, con spessori di 10-15 m. Questi corpi mostrano un rapido contatto laterale con sedimenti più fini, che registrano un'evoluzione *fining upwards* e probabili orizzonti pedogenizzati. Le relazioni geometriche laterali ricostruite tramite la sola interpolazione di dati puntuali non permettono di interpretare con certezza i rapporti cronologici fra i vari corpi stratigrafici. Vari fattori tendono, però, a far escludere rapporti laterali eterodini fra corpi di canale, argine e pianura, quali la rapidità dei passaggi laterali di facies, la mancanza d'interdigitazioni fra i corpi stratigrafici, le caratteristiche generali della dinamica sedimentaria dei fiumi a treccia sin glaciali, che produceva corpi sabbioso-ghiaiosi molto piatti e lateralmente estesi. L'ipotesi più probabile è quindi che i corpi grossolani di canale riempiano profonde valli incise nei sedimenti più fini e antichi.

Il Subsistema di Villa Verucchio è limitato superiormente da una superficie netta e ondulata, che corrisponde a una discordanza, in parte erosiva. A questa superficie, seguono i depositi di pianura alluvionale. Ascrivibili al Subsistema di Ravenna. Questa unità contiene un importante corpo di sabbie di alveo di Po, fra la Darsena e il Bastione di San Pietro, ed un corpo fluviale alla longitudine di Via Saragat. Questi corpi di sabbie passano lateralmente ad ampi volumi di limi, limi sabbiosi e argille di argine e piana alluvionale, con paleosuoli. La parte superiore del profilo si è certamente deposta durante una fase recente dell'Olocene ed è di più sicura interpretazione, perché affiorante al tetto e che una parte di essa si è sedimentata in età storica. La porzione superiore, fra Via Bologna e Quacchio, è interamente formata da sabbie dei canali del Po di età protostorica e storica, corrispondenti all'Eridano e al Po di Ferrara, prossimo a dividersi nei rami di Volano e Primaro. Le fasi più recenti, cinquecentesche, di abbandono dell'alveo del Po sono testimoniate da sedimenti di Reno, riconosciuti in varie prove, ma troppo discontinui nel piano del profilo per essere disti. Le vicende di età moderna sono registrate da grandi volumi di riporto antropico, diffusamente presenti nell'area fra il Ponte della Pace; la Darsena Fluviale e lungo l'ex fossato meridionale e sotto i contigui bastioni; particolarmente spesso è il riporto sotto il Bastione di San Antonio in



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

Polesine, ove supera i 5 m di spessore. Unità con resti di attività antropiche si estendono poi attraverso la parte centrale del profilo, fino al.

Il **profilo occidentale B-B'** (Allegato 1), è inferiormente interamente formato da sabbie fluviali grossolane, talvolta ghiaiose, da attribuirsi alla porzione superiore del Subsistema di Villa Verucchio (AES₇). Queste sabbie mostrano valori di resistenza alla punta e di permeabilità particolarmente elevate. Lo spessore del corpo di sabbie supera ovunque i 15 m, ma non può essere determinato con precisione, poiché nessuna prova raggiunge la sua base. A nord dell'estremità settentrionale del profilo, questo corpo sabbioso continua nell'acquifero emunto dai pozzi dell'acquedotto di Pontelagoscuro. La regione a sud del profilo mostra il contatto laterale fra queste sabbie e facies limoso-argillose più fini, di provenienza appenninica, ma la scarsità di prove non permette di porre con precisione questo limite.

Anche in questo profilo, il tetto del Subsistema AES₇ è netto ed ondulato. La parte superiore del Profilo, corrispondente al Subsistema di Ravenna (AES₈), è dominata da sedimenti fini, limi, argille e argille torbose di argine e depressione interalvea. Anche qui si osserva una parte inferiore più ricca di limo e con probabili paleosuoli, e una parte superiore molto ricca di argille, argille torbose e torbe, che registra prevalenti condizioni di depressioni interalvee. Nella parte settentrionale del profilo, a nord del Ponte di Confortino, nei pressi del Polo Chimico, vi è un corpo plurimetrico di riempimento di un canale secondario. Nella parte centro-meridionale è invece spettacolarmente registrata la sovrapposizione di varie generazioni di corpi sabbiosi del Po. Questo corpo meridionale di sabbie è sviluppato a cavallo di Via Modena, fra il Ponte di Mizzana e il ramo ferroviario merci, a sud di Via Ugo Tognazzi. La densità delle prove permette qui di identificare le geometrie deposizionali interne e di ipotizzare l'andamento planimetrico del Po, nelle diverse epoche. La parte più profonda delle sabbie forma un corpo spesso fino a 13-14 m, con strutture interne che registrano un alveo con convessità verso nord. Questo alveo è di datazione incerta, ma, almeno in parte, pre-romana e potrebbe correlarsi con la parte profonda delle sabbie di alveo visibili a sud delle mura, nel profilo A-A'. La parte superiore delle sabbie è affiorante al tetto e registra l'alveo del Po di Ferrara di età medievale; le strutture spondali immergono verso nord e registra l'alveo con concavità verso sud, ben documentato, da Mizzana al Rione Giardino. La parte sommitale del corpo è lateralmente limitata da argini artificiali di età basso medievale e moderna e



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

registra la fase finale cinquecentesca di abbandono del Po di Ferrara, favorita dall'immissione artificiale del Reno a Porotto. I depositi cinquecenteschi di Reno hanno qui uno spessore di vari metri e si sono potuti distinguere sia in pianta sia in profilo.

7 Sintesi dei caratteri geologici ed evolutivi

Come già ampiamente discusso, la pianura di Ferrara rivela profonde differenze geologiche e geomorfologiche che riflettono la grande varietà stratigrafica di sottosuolo, in un contesto che registra tassi di subsidenza e comportamenti tettonici arealmente molto diversi.

Sulla base di queste differenze il territorio di Ferrara può essere suddiviso in tre grandi settori, con caratteri evolutivi così distinti da potere essere trattati in modo parallelo ed indipendente. Questa evidente tripartizione ha guidato il rilevamento e la rappresentazione cartografica delle unità descritte dalla carta geologica del territorio comunale. Questo capitolo si propone di inquadrare le unità cartografate nel loro contesto regionale e storico-evolutivo.

7.1 La zona nord-occidentale a meandri

Questa zona è interamente formata da sedimenti deposti da canali di Po, in buona parte in sistemi meandrici, e dai relativi sedimenti di piana interalvea, in gran parte in età preromana e preistorica. **Dal punto di vista geologico strutturale**, questa area corrisponde alla marcata culminazione dell'Anticlinale di Casaglia, caratterizzata da una subsidenza molto ridotta, rispetto a quella delle aree limitrofe fortemente subsidenti. Se consideriamo i **caratteri sedimentologici**, i corpi di canale sono formati da sabbie relativamente ben cernite, medio grossolane, frequentemente organizzate in vere e proprie sequenze positive (*fining upward*) di barra da meandro.

Complessi di argine naturale sono in genere poco sviluppati, se non del tutto assenti, a causa della natura non pensile dei canali fluviali sulla pianura circostante.

I corpi di canale sono quasi sempre in contatto erosivo con corpi di sabbie grossolane, talvolta ghiaiose, inquadrati nel Subsistema di Villa Verucchio (AES₇) e deposte durante le ultime fasi glaciali o, probabilmente, anche in fasi più antiche. Dalla cava di Settepolesini, posta ad occidente del territorio comunale di Ferrara, provengono infatti resti di grandi mammiferi di



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

ambiente continentale freddo, campionati in sabbie fluviali sottostanti i corpi di meandro olocenici e datati a 34 - 40 ka cal. BP (Sala e Gallini, 2002; calibrazione della datazione cortesia di Alessandro Fontana, 2015), il che suggerisce la mancanza, almeno locale, di depositi risalenti all'ultimo massimo glaciale.

Una significativa porzione dei sedimenti sabbiosi accumulati negli alvei fluviali olocenici di questa porzione di territorio, deriva dal rimaneggiamento "cannibalistico" delle sabbie sottostanti del Subsistema di Villa Verucchio (AES₇). La complessità del quadro stratigrafico e la mancanza di datazioni al radiocarbonio non permette in genere la datazione delle unità sottostanti. Solo al bordo orientale di questo settore, in corrispondenza del Polo Chimico e in direzione del Barco e Pontelagoscuero, i corpi di alveo tendono a perdere il contatto erosivo diretto con le sabbie di AES₇, per la parziale interposizione di sedimenti fini olocenici di piana alluvionale interalvea. In generale l'area è caratterizzata da una scarsa aggradazione deposizionale, per cui le generazioni successive di corpi di canale mostrano con grande frequenza complesse relazioni di erosione ed intersezione reciproca. I sedimenti affioranti, inquadrati dal Subsistema di Ravenna (AES₈), sono stati depositi durante lo stazionamento alto del livello marino eustatico, in età storicamente antica, in gran parte preromana, se non francamente preistorica.

Data l'età preistorica di buona parte dei corpi sedimentari indagati, la ricostruzione della complessa **evoluzione deposizionale e paleoambientale** deve basarsi quasi esclusivamente sulle evidenze fisiche, in genere prive di un accurato quadro cronologico. Le età relative dei vari corpi geologici e il quadro evolutivo generale sono comunque chiare. Gli alvei post-glaciali più antichi, sepolti a debole profondità, corrispondono a corpi sabbiosi a contatto con il Subsistema AES₇, e presentano un andamento planimetrico curvilineo, indicato in carta con tracce lineari approssimate, nella zona fra Ravalle e Casaglia e a nord di Ca' Pontoni. Questi alvei sepolti conservano comunque una certa espressione della morfologia di superficie, come visibile nel rilievo LIDAR ad alta risoluzione (Figura 2-15). I sedimenti più antichi affioranti nella regione di Ferrara sono da ricercare in questo settore, nei tronconi di paleoalveo tagliati da corpi più recenti, nel complesso intreccio di depositi fluviali sviluppato nell'area attorno a Ravalle. Allo stato attuale delle ricerche non è possibile datare con precisione questi corpi di



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

età preistorica, probabilmente attribuibili al III o IV millennio avanti Cristo. Assai antichi sono anche i due corpi di paleoalveo più continui, che attraversano la fascia di alvei meandriformi “intrecciati”, lungo cui in parte corre la strada da Ravalle a Casaglia e Castel Rivellino. Verso est questi corpi perdono la propria espressione morfologica, in quanto ricoperti dai sedimenti relativamente più recenti della zona di bassa pianura alluvionale od essendo troncati dall'alveo attuale del Po. Ad epoca relativamente più recente, ma comunque preromana, sembrano attribuibili i corpi sabbiosi sviluppati nella parte meridionale dell'area, che mostrano evidenti strutture generate dalla migrazione laterale delle barre di meandro, come fra Vigarano Pieve e Ca' Pontoni. Un altro corpo di alveo con strutture di accrezione laterale ben caratterizzate è invece oggi parzialmente obliterato dallo sviluppo della zona produttiva, fra Cassana e Mizzana, a sud, e il Canale della Diamantina, a nord. Corpi di alveo di Po più recenti bordano, invece, a sud questo settore. Di età romana e medievale, questi corpi sono stati depositi dal Po di Ferrara, che, scendendo da Stellata per Bondeno, si dirigeva dove ora sorge il nucleo cittadino. Lungo il suo tracciato era probabilmente posto il sito romano di *Vicus Varianus*, noto dalle fonti itinerarie antiche e verosimilmente corrispondente a Vigarano Pieve. Anche in questi depositi si possono osservare strutture da accrezione laterale, visibili però prevalentemente subito ad occidente del territorio comunale, nei pressi di Vigarano Pieve. L'alveo del Po di Ferrara rimase il tracciato principale del Po in età romana ed altomedievale, ma poi il suo flusso decrebbe progressivamente attraverso il basso medioevo, a partire dalla così detta “Rotta di Ficarolo”, mal documentata, tradizionalmente posta nel 1152, ma da considerarsi conseguenza di una serie di eventi, scaglionati lungo il XII secolo. Il flusso nel ramo meridionale cessò poi alla fine del XVI secolo, soprattutto in conseguenza del fallito tentativo di immissione del Reno in Po a Porotto (vedi paragrafo successivo).

Nell'area della Diamantina non si accumularono mai, durante l'Olocene, depositi sabbiosi di alveo e si sedimentarono quindi lentamente fanghi argillosi organici o torbosi, in ambienti umidi, sopra gli antichi depositi sabbiosi singlaciali. Un'area meno estesa di depositi fini interalvei è sviluppata anche più a nord, intorno all'Area di Servizio Po, dell'Autostrada Bologna-Padova. La fotointerpretazione di immagini satellitari mostra, in queste aree depresse, le tracce di una serie di canali di scolo artificiali, tracciati in epoche diverse, molto



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

probabilmente anche in età romana. Con il Medioevo l'area ritornò in condizioni diffusamente allagate. Nel corso del XV secolo essa venne prosciugata con successo dai grandiosi lavori di bonifica per gravità, fatti realizzare da Borso d'Este ed accompagnati da una nuova ripartizione agraria e dalla costruzione delle Delizie della Diamantina. Nel 1456, a nord del Po di Ferrara, iniziano i lavori estensi della Grande Bonificazione della Diamantina. Nel 1460, risulta già abitata la Castalderia della Diamantina, con chiesa e case coloniche annesse, ma solo nel 1471, fu completata, su ordine di Borso d'Este, lo scavo dei canali principali della Diamantina. Furono drenati oltre 1600 ettari, in buona parte rimasti asciutti fino ad oggi. Originariamente, il Canale della Diamantina scolava nel Po di Ferrara, con un emissario nella zona degli attuali binari della stazione ferroviaria di Ferrara, alla longitudine di Largo Castellina. Nel secolo successivo, la crisi irreversibile del Po di Ferrara (vedi paragrafo successivo) fece sì che le acque furono fatte scolare nel Po Grande, a nord-est di Ferrara, nei dintorni di Alberone e successivamente, attraverso il Canal Bianco, nella Sacca di Goro, tramite sollevamento idraulico. La bonifica per gravità della Diamantina ebbe quindi un ottimo successo immediato e riuscì a mantenersi efficiente nel tempo, nonostante ripetute ingenti inondazioni da Po. Al contrario molte altre bonifiche estensi per gravità, dopo un successo iniziale, subirono estesissimi riallagamenti, come ad esempio quelle della Sammartina, a sud della città (vedi paragrafo successivo) o la Grande Bonificazione del Polesine di San Giovanni, effettuata sotto Alfonso II. Questo fu certamente dovuto alla scarsa subsidenza di questa area di anticlinale, che non poco ha contribuito a mantenere nei secoli un minimo di gradiente idraulico, necessario allo scolo delle acque, oggi aiutato da modesti sollevamenti per pompaggio meccanico. Affianco ai segni geomorfologici lasciati dagli alvei meandriformi di questa porzione di territorio, sono tuttora ben visibili le tracce delle antiche opere di bonifica, in particolare il Canale della Diamantina, lungo l'omonima via.

7.2 La zona nord-orientale di bassa pianura

Dal punto di vista geologico strutturale, la porzione settentrionale dell'area indagata corrisponde al fascio di sovrascorrimenti ed anticlinali delle Pieghe Ferraresi, che prosegue verso oriente la struttura di Casaglia, da cui è svincolata da una struttura trascorrente



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

trasversale, sviluppata all'incirca lungo il Canale Boicelli e Via Padova. La prosecuzione orientale delle pieghe è meno pronunciata della culminazione di Casaglia e mostra una progressiva virgazione assiale in direzione di Copparo e Tresigallo, ad oriente del territorio comunale. La parte meridionale dell'area corrisponde invece ad aree sinclinali più subsidenti. Se esaminiamo i **caratteri sedimentologici**, l'area è dominata da grandi corpi allungati di sabbie di riempimento di canali del Po. Questi alvei qui iniziavano a divergere nei canali distributori che a valle alimentavano i rispettivi lobi deltizi. Questi alvei tendevano ad essere sopraelevati sulla piana alluvionale circostante ed erano affiancati da stretti corpi di argine naturale ben caratterizzati, passanti lateralmente ad estesi depositi di fanghi di depressione interalvea, frequentemente depositi in ambienti mal drenati e ricchi di carbonio organico e torbe. Questi corpi di paleoalveo di intersecano fra loro frequentemente, ma non sono quasi mai in contatto con i corpi sabbiosi pleistocenici del Subsistema di Villa Verucchio (AES₇).

L'evoluzione deposizionale e paleoambientale può essere ricostruita con un crescente grado di accuratezza, dalle incertezze cronologiche delle fasi preromane alle dettagliate conoscenze a partire dall'epoca rinascimentale. Gli alvei olocenici più antichi sono ovunque sepolti e solo in parte ricostruibili. Alcuni di essi sono rappresentati in carta, con una certa approssimazione, attraverso simboli lineari. Questi corpi sabbiosi sepolti, poco compattabili, influenzano dolcemente la morfologia superficiale modulando la compattazione differenziale dei sedimenti. Due sono le direzioni preferenziali di allungamento di questi corpi fluviali: una, principale, in direzione nord-ovest sud-est, ed una, meno frequente, all'incirca perpendicolare. L'età di questi corpi non è determinabile con precisione, ma è certamente preistorica. Alcuni corpi fluviali assai antichi sono poi sub affioranti a nord e nord-est del centro storico di Ferrara, nell'area fra Pontelagoscuro e Francolino. A causa dei minori tassi di subsidenza e sedimentazione, a nord del centro storico affiorano corpi sedimentari più antichi di quelli sepolti a sud della città. Un importante corpo di alveo è, sepolto a debole profondità, da San Giorgio, per San Bartolo, verso Voghenza.

Assai meglio visibili e caratterizzati sono invece gli alvei di età storica. Per un lungo intervallo di tempo, almeno dagli inizi del I millennio avanti Cristo, il ramo principale del Po passava per gli attuali siti di Stellata, Bondeno e Ferrara, in una posizione relativamente stabile per



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

almeno 2500 anni, a sud dell'alto strutturale di Casaglia. Durante il I millennio avanti Cristo, certamente in epoca etrusca, ma probabilmente anche in epoca precedente, il ramo principale del Po seguiva già il corso da Stienta e Ficarolo, per Bondeno a Ferrara e Cona e poi, a valle del territorio comunale, seguiva il corso dell'Eridano, per Voghenza, Gambulaga, San Vito, Spina. Già in epoca preromana, da questo canale principale il Paddà (Παδόα) si staccava un altro importante ramo deltizio, l'Olana (Ολανα) in direzione nord-orientale, nel punto ricordato da fonti letterarie greche come Trigaboli (Τριγάβολοι), Polibio 2,16,119. Questo punto è ben visibile nella carta geologica del territorio comunale, fra Codrea e Borgo Sostegno, anche se l'assetto stratigrafico e geomorfologico dell'area è stato pesantemente modificato dalle successive fasi medievali. In epoca romana, l'organizzazione fluviale rimase stabile e simile a quella di epoca etrusca, certamente anche a causa delle ingenti opere di arginatura e regimentazione idraulica, attuate a partire almeno dal I secolo avanti Cristo. Il ramo fluviale principale, a valle di Codrea, continuava quindi ad essere il Padus Eridanus, sulla cui sponda si sviluppò l'importante centro di *Vicus Aventiae* e la necropoli dei Fadieni. Molto probabilmente, in epoca romana gran parte dei fiumi appenninici veniva fatta confluire nell'alveo del Po: il Reno nella zona di Ferrara e gli altri fiumi romagnoli a valle, anche grazie ad importanti opere di bonifica idraulica, oggi in gran parte sepolte e mal individuabili, ad eccezione del grande canale di Filo d'Argenta. Il canale distributore dell'Olana rimase attivo per tutta l'età antica, passando per Copparo ed alimentando un ramo deltizio ad occidente di Mesola. All'interno del territorio comunale, esso corrisponde all'evidente corpo di sabbie di canale che da Baura si allunga per Correggio e Corlo, mentre fra Codrea, Contrappò e Baura anche esso è rimaneggiato e sepolto dai depositi medievali.

Fra l'età tardo-antica ed quella altomedievale, si ebbe una fase di estese rotte, sfondamenti arginali, diffusi allagamenti e rapido avanzamento dei delta fluviali interni. Questa fase è ampiamente registrata alla scala del bacino padano e nella cartografia geologica della Regione Emilia Romagna, marca la base dell'Unità di Modena (AES8a). Il cambiamento nella dinamica idraulica e sedimentaria fu causato da una variazione climatica in senso freddo umido (Veggiani, 1982; 1984) e dal venire meno della manutenzione al reticolo idraulico, alla caduta dell'Impero Romano. Durante la fase di instabilità idrografica si svilupparono i grandi



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

ventagli e i canali deltizi interni della zona di Quartesana, ma molto probabilmente anche quelli al bordo orientale della zona urbana, da Quacchio a Boara.

Dopo questa fase di vasti allagamenti si svilupparono, in **epoca altomedievale**, due nuovi alvei ben strutturati e stabili, il Volano ed il Primaro, destinati a dominare il quadro geografico di Ferrara. Questi due rami del Po hanno controllato la nucleazione e lo sviluppo urbano della città. La progressiva aggradazione degli alvei fluviali, favorita dalle arginature continue medievali, rese sempre più difficile lo scolo delle aree interfluviali, che nel basso medioevo ripresero ad impaludarsi. I fiumi appenninici, fra il Secchia e il mare, rimasero invece quasi sempre scollegati dal collettore padano, spagliandosi in amplissime aree umide a sud del Po. Per tutto il medioevo, il Po continuava, quindi, a scendere da Stellata, per Bondeno e Vigarano Pieve, formando il ramo detto appunto Po di Ferrara e, in corrispondenza della Punta di San Giorgio, si divideva nel ramo settentrionale del Volano e in quello meridionale del Primaro. Il canale principale era il Volano, che alimentava il delta a valle di Pomposa, mentre il secondario era il Primaro che fluiva verso Argenta, per sboccare a mare a nord di Casal Borsetti. Come accennato in precedenza, a partire dal XII secolo, il flusso del Po di Ferrara decrebbe progressivamente, per cessare definitivamente alla fine del XVI secolo.

Il ramo del Po di Primaro rimase quindi attivo solo come scolmatore delle paludi formate dai fiumi appenninici, ricevendo a tratti i fiumi Savena e Zena nel territorio comunale di Ferrara e vari altri a valle, come ad esempio il Santerno. Il ramo del Po di Volano rimase invece quasi del tutto inattivo, fino alle grandi opere di bonifica idraulica del XIX secolo, che, a valle di Ferrara, che lo riutilizzarono come scolmatore a mare. Il corpo del Po di Ferrara appare oggi mal visibile all'interno dell'area urbana, a causa delle massicce trasformazioni subite dall'area. Il dosso del Po di Volano, invece, conserva un'ottima espressione morfologica, da San Giorgio, Cona, Baura, Viconovo. Il corpo di paleoalveo del Primaro è pure visibile, da San Giorgio, Fossanova San Marco, Torre Fossa, Gaibanella, Marrara, San Nicolò, per proseguire, a sud del territorio comunale, verso Ospitale Monacale e scomparire sotto le possenti arginature dell'attuale Reno, a Traghetto. Il segno dell'antica divergenza dei canali deltizi nei pressi di San Giorgio è infine ancora visibile al ponte di Via Putinati, poco ad est dell'intersezione con Via Giuseppe Fabbri.



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

7.3 La zona meridionale dei fiumi appenninici

Dal punto di **vista geologico strutturale**, buona parte di questa porzione del territorio comunale corrisponde alla zona fortemente subsidente della sinclinale di Coronella. Se consideriamo i **caratteri sedimentologici** i corpi granulari di riempimento dei canali di Reno, formati da sabbie limose passanti a limi, appaiono nel complesso assai fini ed ancora più fini sono quelli accumulati da Savena e Zena. I corpi di canale si sovrappongono molto spesso a depositi fangosi impermeabili di età olocenica, mentre solo in alcuni punti entrano in contatto con sabbie fluviali di età precedenti, come fra Madonna Boschi e Borgo Scoline. Questi canali non sono però mai in contatto con i depositi singlaciali del Subsistema di Villa Verucchio (AES₇).

L'insieme dei dati geologico-stratigrafici, geomorfologici e storici permette una ricostruzione **della storia deposizionale ed ambientale**, particolarmente accurata a partire del XVI secolo. La storia dei sedimenti affioranti può giovare di abbondanti fonti scritte e cartografiche, in gran parte disponibili presso la Biblioteca Ariostea di Ferrara.

In età romana l'area era attraversata dal Reno, che molto probabilmente confluiva in Po nell'attuale area urbana. Questo corpo di paleoalveo è ben visibile in affioramento da Casalecchio di Reno, Castel Maggiore e San Pietro in Casale, fino a San Vincenzo, a nord del quale è troncato dall'attuale corso del Reno. Il corpo di riempimento del Reno antico è sepolto a debole profondità sotto Poggio Renatico, ma la sua profondità di seppellimento cresce verso nord, ove perde qualsiasi evidenza di superficie. Anche se non visibile in superficie, il corpo di paleoalveo conserva comunque una qualche espressione morfologica, dato che il suo decorso corrisponde al limite occidentale della depressione topografica posta a nord di Via Coronella. Il paleoalveo doveva quindi proseguire fino a Via Arginone, più o meno in corrispondenza dello sbocco del Canale Boicelli. Le prove di sottosuolo disponibili in questa porzione meridionale del territorio comunale sono assai sparse e non sempre di qualità soddisfacente, per cui non è stato possibile ricostruire nel dettaglio il tracciato sotterraneo dell'importante corpo di sabbie di paleoalveo del Reno, la cui traccia è comunque stata indicata in carta, con una certa approssimazione, come elemento lineare sepolto.



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

Le informazioni sull'assetto in età medievale dell'area sono scarse, data la mancanza di insediamenti rilevanti ed il seppellimento dei livelli antichi e medievali sotto sedimenti più recenti. In più punti erano certamente sviluppate aree acquitrinose e palustri, ma lungo l'antico tracciato del paleoalveo romano vi era un tracciato viario, suggerito da fonti storiche, come la "*Chronica Parva Ferrariensis*" del Riccobaldo e le carte trecentesche di Paolino Minorita, ma testimoniata ancora in carte del XVI secolo, come quella di Ignazio Danti (Par. 3.3). Questo percorso collegava Bologna e Ferrara, passando per Poggio Renatico e nei pressi di Borgo Scoline, entrando poi per Borgo San Giacomo verso il Ponte di Castel Tedaldo, all'incirca nell'area dell'attuale Darsena City. A Porotto si gettava in Po un alveo minore, il Lavino, che fino al Rinascimento scolava bassi terreni di pianura, provenendo dall'area di Castel Maggiore e Argelato.

In epoca rinascimentale, la parte settentrionale di questa area fu interessata da estesi lavori di bonifica idraulica. Sotto Borso d'Este, nel 1460, il Savena viene artificialmente immesso nel Po Primario, che ne risulta interrato, mentre vi sono polemiche con i Bentivoglio di Bologna per la gestione delle acque del Reno che, a nord di Sant'Agostino, vengono dirette verso Ferrara, anche su pressione dei bolognesi. Successivamente, altri interventi interessano il corso dello Zena e, nuovamente, del Savena. Nonostante le reiterate opere di regimentazione idraulica, questi fiumi di provenienza bolognese subirono poi frequenti divagazioni laterali ed avulsioni e solo a tratti rimanendo immessi nel canale di Primario. Nel 1471, il Duca Borso acquista diritti su ampie aree vallive alla San Martina, fra il Primario e Vigarano ed iniziano opere di bonifica idraulica per gravità e costruzione di argini per la protezione di piene di provenienza appenninica. Queste opere furono compiute sotto Ercole I d'Este, che fece compiere estese bonifiche idrauliche per gravità nell'area a sud di Ferrara, scolando le acque nel canale del Po di Primario, a valle di Ferrara. Le opere iniziarono da Occidente, nella zona della Torre del Fondo e poi continuano verso oriente. Nel 1494, era compiuta buona parte della bonifica e messa a cultura dell'ex valle di San Martino della Pontonara. Nel 1501 la bonificazione fu estesa nella parte orientale della Valle della San Martina ad est, verso San Egidio e Marrara. Nel 1505 era termina la fase principale degli ampi lavori di bonifica della San Martina, a sud di Ferrara, protetti dal grande *Grande Argine Estense della Santa Martina*, che raccorda Osteria



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

Nuova a nord di Mirabello, con Torre Fossa. Nell'area bonificata si tracciò una rete di strade rettilinee, in parte sopravvissuta agli ingenti sconvolgimenti ambientali subiti dall'area nel secolo successivo. A sud, il canale navigabile del Navile collegava Bologna con Ferrara, passando per Malalbergo, San Martino ed immettendosi nel Po di Primaro, in corrispondenza dell'opera idraulica, militare e daziaria conosciuta come Torre Fossa. Anche se la superficie rinascimentale è spesso sepolta, si possono ancora riconoscere in primis il tracciato di Via Bologna, fin poco a nord di Chiesuol del Fosso, ma anche, più a ovest, Via Pelosa e Via Catena. I lavori di bonifica culminarono, fra 1523 e 1530, con l'immissione artificiale del Reno in Po, a Porotto. Il grande canale artificiale estense è ancora ben visibile lungo la strada fra Porotto e Vigarano Mainarda. Il deflusso delle acque del Reno in Po fu però ostacolato dal grande carico sedimentario portato dalle piene del Reno, dai bassissimi gradienti topografici, insufficienti per garantire lo smaltimento delle acque a mare, e dalla sfavorevole distribuzione spaziale della subsidenza, più accentuata a sud, verso Mirabello, che a nord, cosa che ostacolava ulteriormente il mantenimento di un minimo di gradiente idraulico. Già nel 1542, si ebbe la grande rotta di Porotto, poco a monte della confluenza del Reno in Po e vi furono estesi allagamenti di Borgo San Giacomo, Borgo San Luca e della Bonificazione della Sammartina, che solo in parte potrà essere poi recuperata. Il ristagno delle acque fu più grave ad oriente di Via Pelosa e nella zona dell'attuale Aeroporto. Fra 1575 e 1580, le acque tendono a rifluire verso sud lungo il canale fra Vigarano Mainarda e Porotto di cui si tenta ripetutamente di riscavare e risezionare la parte settentrionale. Il flusso tende a concentrarsi sul lato sinistro del canale. Nel frattempo, si tentava di portare a valle l'immissione del Reno in Po, con opere non ben note in letteratura, ma di cui gli argini di Via Arginone e Argine Ducale portano evidente testimonianza. Nel 1592, il canale di Primaro rimase scollegato dal residuo flusso del Po di Ferrara, che scolava ancora una piccola parte delle acque del Reno, verso il canale di Volano. Questo contesto idraulico rese sempre più difficoltoso lo smaltimento delle acque del Reno a mare e contribuì all'interrimento definitivo dell'alveo del Po a Ferrara. Nella carta geologica sono ben visibili i grandi corpi di sedimento di Reno che riempiono il precedente alveo del Po ed una serie di canali cinquecenteschi, fra l'immissione a Porotto, San Giorgio a Ferrara e oltre. I depositi del Reno risalirono inoltre parzialmente l'alveo del Po di Ferrara, verso Vigarano Pieve, provocarono una serie di rotte nel precedente argine meridionale del



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

Po, come il grande sfondamento al Borgo di San Luca, all'altezza dell'attuale Via del Campo. Alla fine del XVI secolo gran parte dei precedenti alvei del Po di Volano e Primaro erano quindi intasati di sedimenti, l'Isola del Belvedere era sostanzialmente saldata alle due sponde ed il flusso idrico a sud della città era sostanzialmente cessato, come dimostrato, fra le altre cose, dai pregevoli disegni di Giovanni Battista Aleotti.

In età moderna, durante XVII secolo, si depose la quasi totalità dei sedimenti affioranti in questa area, durante una fase di estesi allagamenti e di un completo riassetto idrografico, legato a massicci interventi antropici, ma influenzato anche da un'evoluzione paleo climatica in senso freddo umido (Veggiani, 1982; 1984). La storia idrografica e deposizionale dell'area può quindi essere ricostruita con grande dettaglio, grazie alle ottime evidenze geomorfologiche e sedimentologiche, integrate da una dovizia di fonti storiche scritte e cartografiche. Nel 1605, il Po a Ferrara risulta del tutto interrto dai sedimenti di Reno e del tutto cessata la navigazione fluviale. Inizia la costruzione della pentagonale Fortezza di Ferrara, in parte sul vecchio alveo del Po, in parte sull'Isola del Belvedere e vengono definitivamente distrutti il Borgo di San Giacomo e buona parte di quello di San Luca. Nella primavera dello stesso anno 1605, il Fiume Reno viene fatto spagliare verso sud est, sfondando il suo argine sinistro a Vigarano Mainarda, su ordine di Papa Clemente VIII Aldobrandini e su suggerimento di "idraulici" gesuiti. Il canale artificiale estense del Reno, fra Vigarano Mainarda e Porotto, rimane quindi definitivamente abbandonato, ben preservando fino ad oggi le sue morfologie cinquecentesche. Anche il canale del Lavino rimase definitivamente interrotto. Questa "temporanea" diversione doveva durare quasi due secoli ed era stata attuata per facilitare la realizzazione di un grandioso progetto di inalveamento del Reno, da Sant'Agostino a Bondeno e Stellata, progetto iniziato nel 1604, ma rapidamente interrotto. Le attuali conoscenze sul contesto geologico fanno del resto pensare che ben difficilmente l'opera idraulica di progetto avrebbe potuto funzionare a lungo. Le acque del Reno allagano quindi amplissime aree a sud di Ferrara, fra il centro storico e Malalbergo, sommergendo la Bonificazione Estense della San Martina e parte del borgo di San Luca, giungendo a lambire il centro urbano e le mura. Rimane emersa un'isola intorno a Madonna Boschi. Il canale Navile di Bologna entrò rapidamente in crisi, venendo bruscamente investito dal nuovo corso del Reno. Nel 1618, la Valle della San Martina è totalmente allagata, e l'argine



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

omonimo sfondato, il Reno ha già progradato di 2-3 km, passando nei pressi di Borgo Scoline, verso Chiesuol del Fosso. Nel 1645, l'alveo del Reno era già avanzato di una dozzina di chilometri dal 1604, in media 4-500 m per ciascun anno, da Vigarano Mainarda fino a San Martino di Ferrara e, sfondato l'Argine della San Martina, iniziava a dividersi nei due futuri canali distributori del delta interno, il ramo della Cervella (al *Riaz dla Zarvela*), a est, ed il ramo del Gallo (al *Riaz dal Gal*), a ovest, a sud dell'incrocio fra Via Bologna e Via Buttifreddo. Nel frattempo, i canali di Savena e Zena avanzavano rapidamente verso nord, giungendo ad interessare Spinazzino, fin verso Marrara, e oltre Santa Maria Codifiume, in direzione di San Nicolò. L'accumulo sedimentario del Reno e degli altri fiumi appenninici procedette con incredibile velocità, tanto che nel 1675, gran parte delle paludi a sud di Ferrara sono colmate. Il Canale del Gallo aveva preso il sopravvento, avanzando verso Montalbano e Gallo e scontrandosi quindi contro il Fiume Savena, che progradava da sud verso nord. Ciascun canale distributore di Reno aveva avanzato di oltre 8 km in 30 anni, accumulando in pochissimi anni spessori di sedimento di anche di 5-10 m. Il rapidissimo, allungamento dei canali, insieme ai bassissimi gradienti topografici e all'elevato carico sedimentario rendevano il deflusso delle acque appenniniche sempre più difficoltoso, facendo quindi rapidamente scemare il flusso delle acque di Reno a sud di Ferrara e causando una serie di catastrofiche rotte di Reno, sempre più verso monte. Nel 1705, il nuovo canale settentrionale del Reno alla periferia sud dell'attuale area urbana era ormai in piena crisi, intasato di limi, mentre si verificano molte rotte intorno a Mirabello, con ampi allagamenti permanenti verso est. Nel 1714 Rotta alla Cremona, poco a monte di Sant' Agostino, inaugura la fase di crisi definitiva dell'alveo del Reno. Il 10 febbraio 1731, la grande Rotta delle Pradine, fra San Carlo e Mirabello. Il fiume rimane disalveato fra Sant' Agostino e Mirabello per 64 anni. Se l'alveo del Reno a sud di Ferrara non è più alimentato, enormi quantità di acque, provenendo da Mirabello, allagano ancora più profondamente le valli fra Coronella, Poggio Renatico, Malalbergo e Molinella. Intorno al 1768, l'allagamento della pianura fra Ferrara e Bologna raggiunge il suo massimo, con un forte innalzamento del livello delle acque rispetto all'inizio del secolo. Nel 1769, le ampie paludi fra Bologna e Ferrara incominciano però ad essere efficacemente drenate attraverso il riaperto Cavo Benedettino, voluto da papa Benedetto XIV dei Lambertini, feudatari di ampie aree intorno a Poggio. La critica situazione idraulica a sud di Ferrara trovò



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

poi una sua sistemazione artificiale per ora definitiva fra 1790-95, con l'inallveamento del Reno nel Cavo Benedettino e nel Po di Primaro. Il Reno viene costretto in una curva di 100 gradi circa alla Panfilia, nei pressi di Sant' Agostino, in cui viene creata la cassa di espansione, che si interra ed aggrada molto rapidamente, così come, a valle, quella di Consandolo. In conseguenza a questi grandiosi lavori idraulici, la parte meridionale del territorio comunale ritornò stabilmente in condizioni subaeree e fu diffusamente accatastato ed insediato, come in parte visibile nella bella carta "napoleonica" del 1814, anche se alcune aree depresse dovettero attendere le bonifiche idrauliche per sollevamento meccanico.

Questi corpi di paleoalveo sabbioso-limosi, di deposizione molto recente, conservano un'ottima espressione morfologica e sono chiaramente visibili nei territori comunali di Vigarano Mainarda e Ferrara, ove è denunciato anche da una toponomastica stradale molto espressiva. Il corpo di paleoalveo seicentesco del Reno si stacca dal tracciato della strada Ferrara-Modena, a Vigarano Mainarda, fuori dal territorio comunale, e poi è seguita da Via Fondo Reno. Subito a Sud di Borgo Scoline, interseca il tracciato antico del Lavino e l'importante copro sepolto del Reno antico, sviluppando alcune complesse anse, che tuttora segnano il confine del territorio comunale. L'alveo poi prosegue, all'interno del territorio del Comune di Ferrara, per Borgo Fondo Reno, lungo la Via Vecchio Reno, fino a Chiesuol del Fosso, per poi proseguire lungo il pronunciato rilevato della Strada Statale 64 Ferrara Bologna, continuando, a sud del territorio comunale, fino a Gallo e l'attuale argine del Reno, lungo il Riazzo del Gallo. In corrispondenza di San Martino e Via Buttiferro, il paleoalveo taglia il precedente canale Navile di Bologna, qui ricolmo dei sedimenti seicenteschi del Reno, più a sud, l'incrocio con la Strada Provinciale 25 corrisponde al confine fra Ducato Estense e Territorio Bolognese, qui tracciato in modo convenzionale e rettilineo, dai pressi della Torre dell'Uccellino a Molinella e oltre, verso alla scomparsa Torre dei Cavalli. Questo confine corrisponde tuttora a quello del Comune di Ferrara, che qui sviluppa un tratto perfettamente rettilineo. Come accennato, in corrispondenza dell'antico Argine della San Martina, all'altezza di Via Buttiferro, si stacca il corpo di paleoalveo minore del Riazzo della Cervella, sviluppato totalmente all'interno del territorio comunale. Questo corpo di paleoalveo si segue, lungo strade minori, per Borgo Ricovero, Borgo Sgarbata, Borgo Colombara, Borgo Bossi, fino a San Bartolomeo in Bosco, oltre cui l'alveo residuo si congiungeva con il canale l'abbandonato Po di



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

Primario. I corpi di paleoalveo dei fiumi bolognesi minori hanno minore evidenza morfologica, ma si possono comunque seguire agevolmente, il Savena, da Passo Segni, per Spinazzino e Marrara, fino al sito dell'intermittente immissione nel Po di Primaro. Anche il corso dello Zena è segnato da una serie di suggestivi toponimi in gran parte localizzati a sud-est dei confini comunali, che marcano le sue divagazioni e progressive progradazioni, da Mondonuovo, a Santa Maria Codifiume (capo del fiume), verso Bova. Come appena descritto, questi corpi di paleoalveo sono tuttora sede di buona parte della rete stradale ed hanno attirato molti nuclei insediativi, durante la ricolonizzazione umana dell'area, nel XVIII e XIX secolo. Ai corpi sabbioso-limosi di paleoalveo sono interposte ampie aree depresse, ricche di argille, argille organiche e torbe, tendenzialmente repulsive all'insediamento umano. La depressione argillosa più ampia e con le minori quote topografiche si sviluppa fra Poggio Renatico, Coronella e Uccellino ed è oggi attraversata dall'Autostrada Bologna-Padova, a meridione del Casello Ferrara Sud. Una significativa depressione topografica, ricca di terreni argilloso-torbosi, si sviluppa però anche all'interno dell'area urbana, subito ad est di Via Bologna, a nord di San Martino, ovest del Canale di Primaro e a sud di Borgo San Luca, comprendendo l'area dell'aeroporto e Via Wagner. In quest'area si conserva il toponimo di località e via Sammartina, a ricordo delle vaste paludi che la dominavano, ancora agli inizi del XVIII secolo.

8 Rapporti fra evoluzione idrografico-deposizionale e crescita urbana

Il centro urbano e in particolare il centro storico di Ferrara, è ovviamente la porzione di territorio ferrarese in cui si addensa la maggiore concentrazione di valori economici e sociali, oltre a quelli storico artistici che ne hanno permesso l'iscrizione al patrimonio Unesco, 20 anni fa. Lo studio e la cartografia geologica del territorio, forniscono quindi informazioni significative anche per una migliore comprensione della storia della città. La stretta relazione fra elementi geologico-stratigrafici e le strutture urbane, è altresì rilevante per una migliore comprensione dei rischi da inondazione, terremoto ed inquinamento sotterraneo a cui è soggetto il centro urbano.



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

In epoca romana, l'attuale area urbana era già attraversata dall'alveo de Po, che, come abbiamo visto, nell'area di Codrea si divideva nel ramo principale dell'Eridano, che scorreva verso Voghenza, ed un ramo secondario che fluiva verso Copparo e Mesola. In questa fase, il reticolo idrografico mantenne a lungo una certa stabilità, grazie a massicci interventi di arginatura, scolo artificiale e regimentazione idraulica operati dall'amministrazione romana. All'epoca, l'area di Ferrara era certamente luogo di un diffuso insediamento rustico, come testimoniato dalla villa rinvenuta su sabbie di meandro nei pressi di Cassana e numerosi altri ritrovamenti, come quelli su depositi di area interalvea nei pressi di Via della Canapa o su depositi di argine naturale nell'area di Quacchio. Era inoltre presente un percorso arginale lungo la sponda sinistra del Po, corrispondente *all'Hostilia per Padum* della Tabula Peutingeriana, che probabilmente attraversava l'attuale porzione meridionale del centro storico, all'altezza dell'odierna di Via Ragno. L'area, non era in ogni caso sede di un centro urbano vero e proprio.

8.1 L'origine e il primo sviluppo dell'insediamento urbano

La fase tardo-antica e l'inizio dell'alto medioevo furono caratterizzati da un periodo di diffuso riassetto idrografico, accompagnato da frequenti rotte, diffusi allagamenti, crescita di delta fluviali interni alle aree continentali allagate, ed infine, dall'emergere di un nuovo reticolo idrografico continuo. Tale riassetto interessò anche il tratto del Po in area urbana, come visibile nella ricostruzione delle strutture sepolte sotto il Doro, visibili anche nei profili stratigrafici, mentre i cambiamenti più significativi avvennero subito a valle, nei pressi di San Giorgio, dove il Po instaurò una diramazione in due canali distributori principali, a sud il Primario ed a nord il ramo principale del Volano. In epoca altomedievale, su un ventaglio di rotta sabbioso particolarmente rilevato, a nord del punto di divergenza dei rami di Primario e Volano, si impiantò un primo nucleo urbano, fortificato da una palizzata lignea e tangente al percorso arginale che lungo la sponda nord del Volano dirigeva ed est verso l'Abbazia di Pomposa fino al mare. L'area rilevata, conosciuta nella storiografia come "*castrum bizantino*", attribuita al VII secolo, è ancora ben riconoscibile nel tessuto fra Via Belfiore e Fondobanchetto. La datazione esatta e l'origine etnico-politica di questo nucleo appare



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

relativamente incerta, di presumibile origine longobarda od anche successiva, in ogni caso altomedievale.

Successivamente, si individuarono altri piccoli nuclei, in particolare nei pressi di Via del Turco, al bivio fra il percorso arginale e quello sviluppato sul corpo di paleoalveo secondario passante per Via Borgo dei Leoni. L'insediamento si sviluppò quindi in modo lineare, lungo il percorso arginale, su sabbie e limi di argine naturale. All'inizio del XII° secolo, il nucleo urbano più consolidato si estendeva fra Boccacanalè di Santo Stefano e Via Ghisiglieri, raggiungendo un'ampiezza di circa 2200 m, fra l'area di Castel Tedaldo, nei pressi dello stadio e delle attuali Via Monte Grappa e Corso Vittorio Veneto, e Via Formignana, ma con una larghezza di soli 100-200 m. I depositi arginali rappresentavano un sito particolarmente adatto all'insediamento in quanto, i depositi sabbioso-limosi permeabili e relativamente elevati permettevano il transito anche nei periodi piovosi, oltre che la costruzione di pozzi freatici per acqua. La cresta dell'argine era invece generalmente sede di un tracciato di importanza sovra regionale, mentre la sponda era luogo d'elezione per le attività portuali. La struttura urbana era quindi estremamente allungata, limitata nella parte meridionale dalla linea netta del corso del Po, la cui sponda correva a sud delle vie Ripagrande e Carlo Mayr, su cui si allineavano una serie di case, fondaci e nuclei sempre più turrati e fortificati, al cui retro si insediarono le vie Coperta, Volte e Capo delle Volte, strettamente parallele alla sponda fluviale. L'area portuale risulta verosimilmente collocabile nell'area depressa, riempita da sedimenti fangosi presenti sotto la Chiesa di San Giuseppe e Santa Tecla, in Via Carlo Mayr, prospiciente alla più antica piazza del mercato, posta subito a monte dell'antico *castrum*, intorno all'attuale Piazzetta Corelli. A nord l'insediamento colonizzava solo le parti prossimali, più elevate e sabbiose del corpo di argine naturale, confinato da aree interfluviali più basse ed allagabili, ricche di sedimenti argilloso-limosi. L'area insediata era limitata nel settore settentrionale da un sistema di canali di scolo tuttora ben identificabili negli isolati che bordano Via Garibaldi, attraverso Piazza Trento-Trieste, lungo Via Contrari, Via Zemola, Borgo di Sotto. Anche all'interno di questa area rimanevano aree repulsive, più depresse ed allagabili, come la depressione "della Gatta Marcia", intorno alla chiesa di Santa Agnese, fra Via Vittoria e Via Gioco del Pallone, fino ad epoca recente soggetta a frequenti allagamenti.



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

8.2 La crescita bassomedievale della città

Nel corso del XII° secolo, si sviluppò l'attuale corso del Po, che incominciò a divergere dal ramo principale di allora all'altezza di Stellata-Ficarolo, per passare a nord di Pontelagoscuro. Il tracciato di questo ramo segna tuttora il limite settentrionale del territorio comunale. Questo cambiamento idrografico indusse nei secoli successivi un progressiva diminuzione del flusso del canale che bordava a sud la città medievale. A seguito di una serie di bonifiche idrauliche, il centro sperimentò una prima fase di espansione verso nord, con l'insediamento della cattedrale romanica di San Giorgio, adiacente ad un canale di scolo ricordato dal toponimo di Via Gorgadello, l'attuale Via Adelardi. Nei secoli bassomedievali successivi, una serie di interventi di canalizzazione e drenaggio, permisero limitate espansioni dell'area urbana nelle parti distali dei corpi arginali e in quella prossimale dei sedimenti di piana interalvea, finché nel corso del XIV° secolo, la città fu circondata finalmente da fortificazioni continue, da Castel Tedaldo a Via Formignana, attestandosi lungo un fossato che correva subito a sud di Viale Cavour e Corso Giovecca. Il riempimento di questo fossato ha originato un significativo corpo di riporto, cartografato nella carta geologica al 10 000 del centro urbano. Nelle aree di nuova espansione, si insediarono i grandi conventi degli ordini mendicanti di San Francesco e San Domenico, quest'ultimo associato a notevoli spessori di materiali di riporto. Il deflusso delle acque dalla città, avveniva attraverso i canali che seguivano la Via Garibaldi e via Cisterna del Follo. Al limite meridionale della città, la riduzione progressiva del flusso consentì lo sviluppo della grande isola nei pressi della biforcazione dei canali deltizi, dove venne costruito il Monastero di San Antonio in Polesine, nell'area nei pressi di Via Beatrice d'Este e Via Baluardi. In una prima fase, il progressivo accumulo di sedimenti sabbiosi sulla sponda sinistra del fiume, permise una modesta espansione urbana verso sud che venne a formare una sottile striscia fra l'estremità sud di Via Boccacane di Santo Stefano, Via Pescherie Vecchie e Via Carri. Nel frattempo, sulla sponda opposta del Po, vennero a svilupparsi gli importanti borghi di San Giacomo, ad occidente, e San Luca, ad oriente, che proseguiva con il Borgo di San Giorgio – Misericordia, a valle della biforcazione del Po di Primaro. Questi borghi sono stati poi in parte coinvolti da allagamenti derivanti dal Reno e quindi in gran parte distrutti, fra il XVI° e il XVII° secolo.



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

8.3 Le addizioni rinascimentali

Durante l'ultimo quarto del XIV° secolo, il flusso idrico a nord dell'Isola di San Antonio cessò del tutto, anche a causa della costruzione di argini artificiali e l'area fu interessata dai primi insediamenti, che culminarono nella metà del XV° secolo, con l'espansione urbana dell'Addizione di Borso, che portava le mura meridionali nella loro attuale posizione, incorporando nella città tutta l'area sui due lati di Via Ghiara e Via XX Settembre. Nel frattempo, ebbero inizio i grandi lavori di bonifica che portarono al prosciugamento di ampie aree della piana a meandri a nord-ovest della città, con la Bonifica della Diamantina e la creazione dell'ampio Barco di Caccia, in gran parte sviluppato a nord dell'attuale cerchia di mura. Questi grandi lavori di bonifica consentirono, a partire dal 1492, la parziale realizzazione del grandioso progetto di espansione urbana dell'Addizione Erculea, estesa attraverso tutta l'area storica a nord di Viale Cavour e Via Giovecca, che incorpora la parte sud del precedente Barco Estense di Caccia e la Delizia di Belfiore, nei pressi dell'attuale Via Leopardi. Questa parte della città si sviluppò in buona parte su argille, argille limose e argille torbose di depressione interalvea, associate alla presenza di caratteri geotecnici particolarmente scadenti e a lenti processi di consolidamento, che hanno indotto deformazioni particolarmente evidenti di grandi strutture architettoniche, come visibile nelle chiese di Santa Maria della Consolazione e di San Cristoforo della Certosa. Il deflusso delle acque da queste aree caratterizzate da bassi gradienti morfologici, risultava difficoltoso ed avveniva totalmente attraverso il canale di scolo di Fossato di Mortara. Nello stesso tempo, a sud della città, Ercole I° d'Este promosse vaste bonifiche idrauliche, protette dal lungo Argine della San Martina ed innervate da un sistema di grandi tracciati rettilinei in parte sopravvissuti fino ad oggi, come Via Pelosa, Via Catena o il tratto urbano di Via Bologna.

La città fu quindi particolarmente danneggiata dalle scosse sismiche del novembre 1570, che costrinse a diffuse opere di radicale restauro e ricostruzione che cambiarono in parte il volto della città, senza però mutare il suo assetto urbanistico. La fase finale di crisi del Po di Ferrara ebbe invece un impatto determinante sulla storia della città. Come abbiamo visto, il tentativo di far scolare il Reno a mare attraverso il Po, tramite la sua immissione a Porotto, ha prodotto il rapido interrimento dell'alveo nella zona urbana. Questo nuovo rilevamento geologico ha mostrato come i depositi di Reno siano ben sviluppati fino ad oltre San Giorgio e hanno quasi



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

completamente riempito l'alveo a sud della città. L'interramento del fiume, indusse una crisi irreversibile delle attività portuali a Ferrara e perse anche la funzione militare protettiva del fiume, che in precedenza rendeva ostico l'avvicinamento di grosse artiglierie e macchine ossidionali alle mura. Questo, portò alla necessità di meglio fortificare le mura meridionali, con la costruzione, su depositi di riempimento di alveo fluviale, dei tre grandi bastioni rinascimentali meridionali (Bastione di San Pietro, di San Antonio, della Madonna dell'Amore) e del terrapieno su cui corre Via Piangipane, oggi sede di significativi dissesti gravitativi.

8.4 Dal XVII° al XX° secolo

La definitiva interruzione del flusso finale del Po di Ferrara, alla fine del XVI° secolo, congiuntamente al passaggio dalla signoria Estense al governo Papale, portarono alla decisione di erigere la grande fortezza pentagonale, in gran parte sorta sul riempimento sedimentario dell'alveo del Po. Nei secoli successivi, la contrazione economica e demografica della città impedirono ulteriori espansioni, anzi, portarono ad una notevole riduzione dell'edificato e "alveolizzazione" di porzioni del tessuto urbano. A partire dal 1605, tutta l'area a sud della città fu allagata dalle acque del Reno e rapidamente sepolta sotto metri di sedimenti appenninici, che hanno in parte cancellato i segni delle bonifiche dell'epoca di Ercole I. Durante il XVIII° secolo, l'apporto sedimentario di origine appenninica colmò in buona parte le paludi a sud della città.

Nel complesso, l'assetto territoriale di Ferrara rimase relativamente stazionario fino all'avvento delle bonifiche idrauliche mediante l'innalzamento meccanico delle acque, permesso dall'impiego nella seconda metà del XIX° secolo delle macchine a vapore e che vide anche l'arrivo della linea ferroviaria. Lo sviluppo economico e demografico della città rimase comunque piuttosto lento, limitando anche l'espansione delle zone esterne alle mura. Fra le due guerre mondiali invece, venne a svilupparsi il modello della così detta "Città Giardino", in corrispondenza dell'area della distrutta fortezza, su sedimenti di alveo ed argine di Po. I caratteri geotecnici dell'area sono però spesso fortemente influenzati dalla grande diffusione di corpi di riporto e sedimenti rimaneggiati con tracce di attività antropiche, che riempiono i precedenti grandi fossati. Dopo la Seconda Guerra Mondiale, iniziò invece una fase di espansione molto rapida dell'area urbana, che per la prima volta si allontanò decisamente dai



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

corpi sedimentari di alveo. Il polo industriale petrolchimico si è sviluppato all'estremità occidentale della pianura a meandri del Po, a contatto con i sedimenti di bassa pianura alluvionale, ad oriente del Canale Boicelli, mentre il quartiere del Barco fu costruito sui depositi fini di depressione interalvea. Molto ampia è stata l'espansione urbana verso sud, lungo Via Bologna, costruita su depositi molto recenti di provenienza appenninica. Le fasi più recenti di espansione sono arrivate a colonizzare il corpo principale dei depositi di Reno, nell'area della Fiera e del nuovo Ospedale San Giorgio. Fra XX° e XXI° secolo la crescita urbana nel complesso è rallentata, ma un'importante e controversa scelta strategica è rappresentata dalla costruzione del nuovo Polo Ospedaliero a sud di Cona, su depositi di depressione interalvea prossima al livello del mare, non lontano dai corpi di paleoalveo dell'Eridano e del Po di Volano. Gli eventi sismici del 20 e 29 maggio 2012 hanno ricordato quale sia il livello di rischio e pericolo sismico a cui è soggetta la città, fortemente modulato dai caratteri stratigrafici locali.



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

9 Bibliografia

- Amorosi, A., (1997a) - *Detecting compositional, spatial, and temporal attributes of glaucony: a tool for provenance research*. *Sedimentary Geology*, 109: 135-153.
- Amorosi A., Asioli A., Bondesan M., Cibin U., Colalongo M.L., Correggiari A., Pasini G., Preti D., Roveri M., Sarti G., Severi P., Stefani M., Trincardi F., Vaiani S.C. & Vincenzi S., (2000) - *Dalle conoidi pedemontane al mare aperto: l'architettura stratigrafica tardo-quadernaria dell'Adriatico settentrionale e della pianura costiera emiliano-romagnola*. Atti del convegno: Le Pianure Conoscenza e salvaguardia, 191-194.
- Amorosi A., Centineo M.C., Colalongo M.L., Pasini G., Sarti G. & Vaiani S.C., (2003) - *Facies architecture and latest Pleistocene-Holocene depositional history of the Po Delta (Comacchio area), Italy*. *Journal of Geology*, 111: 39-56.
- Amorosi A., Colalongo M.L., Fiorini F., Fusco F., Pasini G., Vaiani S.C. & Sarti G., (2004) - *Palaeogeographic and palaeoclimatic evolution of the Po Plain from 150-ky core records*. *Global and Planetary Change*, 40: 55-78.
- Amorosi A., Colalongo M.L., Fusco F., Pasini G. & Fiorini F., (1999b) - *Glacio-eustatic control of continental-shallow marine cyclicity from Late Quaternary deposits of the south-eastern Po Plain (Northern Italy)*. *Quaternary Research*, 52: 1-13.
- Amorosi A., Colalongo M.L., Pasini G. & Preti D., (1999a) - *Sedimentary response to Late Quaternary sea-level changes in the Romagna coastal plain (Northern Italy)*. *Sedimentology*, 46: 99-121.
- Amorosi A. & Farina M., (1995) - *Large-scale architecture of a thrust-related alluvial complex from subsurface data: the Quaternary succession of the Po Basin in the Bologna area (Northern Italy)*. *Giornale di geologia*, 57: 3-16.
- Amorosi A., Farina M., Severi P., Preti D., Caporale L. & Di Dio G., (1996) - *Genetically related alluvial deposits across active fault zones: an example of alluvial fan-terrace correlation from the upper Quaternary of the southern Po Basin, Italy*. *Sedimentary Geology*, 102: 275-295.



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

- Amorosi A. & Marchi N., (1999) - *High-resolution sequence stratigraphy from piezocone tests: an example from the Late Quaternary deposits of the SE Po Plain*. *Sedimentary Geology*, 128: 69-83.
- APAT, (2003) - *Guida italiana alla classificazione e alla terminologia stratigrafica*. Quaderni, Serie III, 9/2003.
- Bigi G., Cosentino D., Parotto M., Sartori R., Scandone, P., (1990) - *Structural model of Italy - Sheet n. 1*, in: Castellarin A., Coli M., Dal Piaz G.V., Sartori R., Scandone P., Vai G.B. (Eds.), *Structural model of Italy*. CNR, Progetto Finalizzato Geodinamica, Roma.
- Boccaletti M., Bonini M., Corti G., Gasperini P., Martelli L., Piccardi L., Tanini C. and Vannucci G., (2004) - *Seismotectonic Map of the Emilia-Romagna Region, 1:250.000*. Regione Emilia-Romagna - CNR.
- Bondesan M., (1985) - *Quadro schematico dell'evoluzione geomorfologica olocenica del territorio costiero compreso tra Adria e Ravenna*. Atti Tav. Rot. Il Delta del Po, Acc. Sc. Dell'Ist. Di Bologna: 23-36.
- Bondesan M., (1986) - *Lineamenti di geomorfologia del basso ferrarese*. In: La civiltà comacchiese e pomposiana dalle origini preistoriche al tardo medioevo. Atti del Convegno nazionale di studi storici, Comacchio, 1984, 17-28.
- 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.
- Bruun P., (1962) - *Sea-level rise as a cause of shore erosion*. American Society of Civil Engineers Proceedings, Journal of the Waterways and Harbors Division 88, 117-130.
- Burrato P., Ciucci F., Valensise G., (2003) - *An inventory of river anomalies in the Po Plain, Northern Italy: evidence for active blind thrust faulting*. ANNALS OF GEOPHYSICS 46.
- Burrato P., Vannoli P., Fracassi U., Basili R., Valensise G., (2012) - *Is blind faulting truly invisible? Tectonic-controlled drainage evolution in the epicentral area of the May 2012, Emilia-Romagna earthquake sequence (Northern Italy)*. ANNALS OF GEOPHYSICS 55.



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

- Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000 (1956) - *Foglio 75-Mirandola*. Servizio Geologico Nazionale.
- Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000 (1955) - *Foglio 76-Ferrara*. Servizio Geologico Nazionale.
- Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000 (1963) - *Foglio 87-Bologna*. Servizio Geologico Nazionale.
- Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 (2009) - *Foglio 201-Modena*. ISPRA-Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna.
- Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 (2009) - *Foglio 202-San Giovanni in Persiceto*. ISPRA - Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna.
- Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 (2009) - *Foglio 203-Poggio Renatico*. ISPRA- Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna.
- Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 (2009) - *Foglio 204-Portomaggiore*. ISPRA-Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna.
- Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 (in stampa) - *Foglio 222-Lugo*. ISPRA-Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna.
- Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 (2009) - *Foglio 239-Faenza*. ISPRA-Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna.
- Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 (2005) - *Foglio 240-241 Forlì-Cervia*. APAT-Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna.
- Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 (in stampa) - *Foglio 255-Cesena*. ISPRA-Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna.
- Castaldini D. & Raimondi S., (1985) - *Geomorfologia dell'area di pianura padana compresa fra Cento, Finale Emilia e S. Agostino*. Atti Soc. Nat. Mat. Di Modena, 116: 147-176.
- Castiglioni G.B. (Ed.), (1999) - *Carta Geomorfologica della Pianura Padana al 1:250.000*. MURST, SELCA, Firenze.
- Cerrina Feroni A., Ottria G., Martinelli P., Martelli L., Catanzariti R., (2002) - *Carta geologico-strutturale dell'Appennino Emiliano-Romagnolo, 1:250.000*. SELCA, Firenze.



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

- Chang K.H., (1975) - *Unconformity Bounded Stratigraphic Units*. Geol. Soc. Amer. Bull., 86, 11: 1544-1552. International Subcommission on Stratigraphic Classification (ISSC) (1987) - *Unconformity-Bounded Stratigraphic Units*. Geol. Soc. America Bull., 98, 2: 232-237.
- Ciabatti M. & Veggiani A., (1990) - *Caratteri ed evoluzione del litorale emiliano-romagnolo*. In: Il Mondo della Natura in Emilia-Romagna: la Pianura e la Costa. Federazione Casse Risparmio e Banche del Monte dell'Emilia-Romagna, Milano, 77-94.
- Corrado S., Aldega L., Zattin M., (2010) - *Sedimentary vs. tectonic burial and exhumation along the Apennines (Italy)*. Journal of the Virtual Explorer 36.
- Correggiari A., Field M.E., Bortoluzzi G., Ligi M., and Penitenti D., (1992b) - *Ridge and swale morphology on the North Adriatic epicontinental shelf*. Rapport CIESM 33:125.
- Correggiari A., Field M.E. & Trincardi F., (1996a) - *Late Quaternary transgressive large dunes on the sediment-starved Adriatic shelf*. In: De Bati st M., Jacobs P., Eds., *Geology of Siliciclastic Shelf Seas*. Geol. Soc. Spec. Pub., 117: 155-169.
- Correggiari A., Roveri M. & Trincardi F., (1996b) - *Late-Pleistocene and Holocene evolution of the North Adriatic Sea*. In: *Late-Glacial and early Holocene climatic and environmental changes in Italy*. Il Quaternario: Italian Journal of Quaternary Sciences, 9: 697-704.
- Cremonini G., Antolini P. & Piali G., (2001) - *Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000, Foglio 254-Modigliana*. Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna.
- De Mio G., Giacheti H.L., (2007) - *The use of piezocone tests for high-resolution stratigraphy of Quaternary Sediment Sequences in the Brazilian coast*. Annals of the Brazilian Academy of Sciences, 2007: 79 (1): 153-170.
- DISS Working Group, (2015) - *Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.0: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas*. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>. INGV 2015 - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.
- Di Dio G. & L. Caporale - *"Un modello fisico tridimensionale della conoide alluvionale del Fiume Reno per la gestione degli acquiferi e lo studio della subsidenza."* BRIGHENTI G. & MESINI E. (a cura di), *Problemi di Geoingegneria: estrazione di fluidi e subsidenza*, GEOfluid 98 (1998): 67-76.



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

- Farabegoli E., Onorevoli G., Ruffino C., Costantini B., (1997) - *Subsurface structure of southern Po Plain Quaternary deposits (Ravenna Province, Italy)*. Special publication, Bologna University-Agip (Eds.) 12.
- Ferri R., (1985) - *Geomorfologia antica del territorio di Sermide (MN) attraverso lo studio del microrilievo*. Annali Università di Ferrara, (9), 1-17.
- Ghielmi, M., Minervini, M., Nini, C., Rogledi, S., Rossi, M., Vignolo, S., 2010. *Sedimentary and tectonic evolution in the eastern Po-Plain and northern Adriatic Sea area from Messinian to Middle Pleistocene (Italy)*. Rendiconti Lincei, 21, Suppl., 131-166
- Graziani S., Ferri R. & Bondesan M., (1992) - *Aspetti geomorfologici e problemi paleogeografici della zona fra Bondeno, Finale Emilia e Mirabello nel quadro degli antichi domini idrografici del Secchia, del Panaro e del Reno*. In: S. Gelichi (ed.), Un mito e un territorio: Ansalaregina e l'Alto Ferrarese nel Medioevo, All'Insegna del Giglio, Firenze, 13-44.
- Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Comastri A., Tarabusi G., Valensise G., (2007) - CFTI4Med, *Catalogue of Strong Earthquakes in Italy (461 B.C.-1997) and the Mediterranean Area (760 B.C.-1500)*. INGV-SGA; <http://storing.ingv.it/cfti4med/>.
- Locati M., Camassi R. & Stucchi M. (eds.), (2011) - *DBMI11, the 2011 version of the Italian Macroseismic Database*. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>.
- Martinson D.G., Pisias N.G., Hayes J.D., Imbrie J., Moore T.C. & Shackleton N.J., (1987) - *Age dating and the orbital theory of the ice ages-development of a high-resolution 0 to 300.000 year chronostratigraphy*. Quat. Res., 27: 1-29.
- Meletti C. & Valensise G. (a cura di), (2004) - *Zonazione sismogenetica ZS9 - App.2 al Rapporto conclusivo. Gruppo di lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica (Ordinanza PCM 3274/2003)*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.
- Molinari F. C., Boldrini G., Severi P., Dugoni G., Rapti Caputo D. & Martinelli G., (2007) - *Risorse idriche sotterranee della Provincia di Ferrara*. In: Dugoni G. & Pignone R. (Eds.), Risorse idriche sotterranee della Provincia di Ferrara. DB-MAP, Firenze, 7-61.
- Montevecchi G. & Novara P., (2000) - *In agro decimano: per un catalogo del patrimonio storico archeologico del territorio a sud di Ravenna*. Comune di Ravenna, Soprintendenza per i Beni Archeologici dell'Emilia-Romagna. Danilo Montanari Editore, 222 pp.



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

- Ori G., Friend P., (1984) - *Sedimentary basins formed and carried piggyback on active thrust sheets*. *Geology* 12, 475-478.
- Ortalli J., (1995) - *Bonifiche e regolamentazioni idriche nella pianura emiliana tra l'età del ferro e la tarda antichità*. Atlante tematico di topografia antica, 4, l'Erma di Bretschneider Ed.
- Panizza M., (1985) - *Schemi cronologici del Quaternario*. *Geogr. Fisica Dinamica Quaternaria* 8, 44-48.
- Pasquarè G, Abbate E., Castiglioni G.B., Merenda L., Mutti E., Ortolani F., Parotto M., Pignone R., Polino R., Premoli Silva I. & Sassi F.P., (1992) - *Guida al rilevamento e all'informatizzazione della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000*. Quaderni SGN, serie III, 1, pp. 203.
- Picotti V., Pazzaglia F.J., (2008) - *A new active tectonic model for the construction of the Northern Apennines mountain front near Bologna (Italy)*. *Journal of Geophysical Research*, 113(B8), pp.1-24.
- Pieri, M., (1983) - *Three seismic profiles through the Po Plain*. In: Bally AW (ed.) *Seismic Expression of Structural Styles. A Picture and Work Atlas*. Am. Assoc. Pet. Geol. *Studies in Geology*, 15: 3.4.1/8-3.4.1/26.
- Pieri M. & Groppi G., (1975) - *The structure of the base of the Pliocene-Quaternary sequence in the subsurface of the Po and Veneto Plains, the Pedepennine Basin and the Adriatic Sea*. Structural model of Italy, Quaderni de "La Ricerca Scientifica" 90, 409-415.
- Pieri M. & Groppi G., (1981) - *Subsurface geological structure of the Po Plain (Italy)*. C.N.R., Prog. Fin. Geodinamica, Pubbl., **414**, 1-13.
- Regione Emilia-Romagna, (1999) - *Carta Geologica di pianura dell'Emilia-Romagna, scala 1:250.000*. Bologna.
- Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, (1998) - *Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna*. A cura di G. M. Di Dio. Regione Emilia-Romagna, ufficio geologico - ENI-Agip, Divisione Esplorazione & Produzione. S.EL.CA., Firenze, pp 120.
- Ricci Lucchi F., (1986) - *The Oligocene to Recent foreland basins of the northern Apennines*. In: Allen, P., Homewood, P. (Eds.), *Foreland basins*. Blackwell Scientific, Oxford, pp. 105-139.



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

- Ricci Lucchi F., Colalongo M.L., Cremonini G., Gasperi G., Iaccarino S., Papani G., Raffi S., Rio D., (1982) - *Evoluzione sedimentaria e paleogeografica nel margine appenninico*. In: Cremonini G., Ricci Lucchi F. (Eds.). Guida alla Geologia del margine appenninico-padano Pitagora-Technoprint, Bologna, pp. 17-46.
- Robertson P.K., Campanella R.G., Gillespie D. & Rice A., (1986) - *Seismic CPT to Measure In-situ Shear Wave Velocity*. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 112(8), pp. 791-803.
- Salvador A., (1994) - *International stratigraphic guide: a guide to stratigraphic classification, terminology, and procedure*. Geological Society of America.
- Servizio Geologico Nazionale, (2001) - *Indicazioni per il rilevamento del Quaternario continentale*. Circolare CARG: SGN/2155/U1CARG - 11 maggio 2001.
- SLOSS L.L., KRUMBEIN W.C., DAPPLES E.C., (1949) - *Integrated facies analysis*. In: Longwell, C.R. (Ed.), Sedimentary Facies in Geologic History, vol. 39. Geological Society of America Memoir, pp. 91-124.
- 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.
- Swift D.J.P., (1975) - *Barrier-island genesis: evidence from the central Atlantic shelf, eastern USA*. Sedimentary Geology 14, 1-43.
- Swift D.J.P., Kofoed J.W., Saulsbury F.B., Sears P.C., (1972) - *Holocene evolution of the shelf surface, central and southern Atlantic shelf of North America*. In: Swift, D.J.P., Duane, D.B., Pilkey, O.H. (Eds.), Shelf Sediment Transport: Process and Pattern, Stroudsburg, Pennsylvania. Dowden Hutchinson & Ross, Stroudsburg, PA, pp. 499-574.
- Toscani G., Burrato P., Di Bucci D., Seno S., Valensise G., (2009) - *Plio-Quaternary tectonic evolution of the Northern Apennines thrust fronts (Bologna-Ferrara section, Italy): seismotectonic implications*. Bollettino della Società Geologica Italiana 128.



COMUNE DI FERRARA
città patrimonio dell'umanità



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

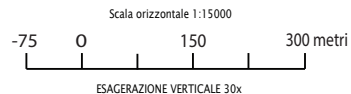
NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA

- Trincardi F. & Argnani A., (2001), con contributi di Asioli A., Bortoluzzi G., Cattaneo A., Correggiari A., Fabri A., Gamberi F., Ligi M., Penitenti D., Roveri M. & Taviani M. - *Note Illustrative della Carta Geologica dei Mari Italiani Foglio NL 33-10 Ravenna, alla scala 1:250.000*. S.EL.CA., Firenze, 108 pp.
- Veggiani A., (1965) - *Trasporto di ciottoli ghiaiosi per correnti di riva dall'area marchigiana all'area emiliana durante il Quaternario*. Boll. Soc. Geol. It., 84: 315-328.
- Veggiani A., (1982) - *La piccola età glaciale e gli impaludamenti tra Conselice e Alfonsine*. Studi Romagnoli, 33: 1-18.
- Veggiani A., (1985) - *Il Delta del Po e l'evoluzione della rete idrografica padana in epoca storica*. Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna, pp. 37- 68.
- Veggiani A., (1986) - *L'ottimo climatico medievale in Europa: Testimonianze lungo la fascia costiera padano-adriatica*. Studi Romagnoli 37, 1- 26
- Veggiani A., (1987) - *Stratigrafie archeologiche e abbassamento del suolo nella pianura emilianoromagnola*. Studi Romagnoli, 38: 331-352.
- Veggiani A., (1994) - *I deterioramenti climatici dell'Età del Ferro e dell'Alto Medioevo*. Boll. Soc. Torriceliana di Scienze e Lettere, Faenza, 45, 3 -80.
- Wheeler H.E., (1958) - *Time stratigraphy*. American Association of Petroleum Geologists Bulletin 42, pp. 1047-1063.
- Wheeler H.E., (1959a) - *Note 24 (of Am. Com. Strat. Nomen.)-Unconformity bounded units in stratigraphy*. AAPG Bull., 43, 8: 1975-1977.
- Wheeler H.E., (1959b) - *Stratigraphic unit in space and time*. Amer. Journ. Sci., 257, 10: 692-706.
- Wheeler H.E., (1963) - *Post-Sauk and pre-Absaroka Paleozoic stratigraphic patterns in North America*. AAPG Bull., 47, 8: 1497-1526.

Allegato 1 - Profili geologici



NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE DEL COMUNE DI FERRARA



riporto antropico

Depositi di bassa pianura alluvionale (AES8 e AES8a)

- ▭ sabbie di canale fluviale di Po
- ▭ sabbie e limi di argine
- ▭ argille, argille limose e argille organiche di piana inondabile e palude

Depositi di pianura alluvionale prevalentemente ben drenata (AES8)

- ▭ argille e argille limose con palossuoli di piana alluvionale postglaciale
- ▭ prevalenti limi di piana alluvionale di argine postglaciale
- ▭ sabbie di canale fluviale postglaciale

Depositi singlaciali di media pianura alluvionale (AES7)

- ▭ limi e argille limose di media piana alluvionale singlaciali (Pleistocene)
- ▭ sabbie e limi di media piana alluvionale singlaciali (Pleistocene)
- ▭ sabbie medio grossolane di canale di media piana alluvionale singlaciali (Pleistocene)

— superficie di massima trasgressione in successioni continentali
— base dell'Unità di Modena - AES8a
— base del Substema di Ravenna - AES8

