



**Finanziato  
dall'Unione europea**  
NextGenerationEU



**MINISTERO  
DELL'INTERNO**



## **COMUNE DI ARGENTA**

**Provincia di Ferrara**

44011 Argenta (FE) - Piazza Garibaldi, 1  
web: [www.comune.argenta.fe.it](http://www.comune.argenta.fe.it)  
[municipio@pec.comune.argenta.fe.it](mailto:municipio@pec.comune.argenta.fe.it)  
Tel. 0532 330111 - Fax 0532 330217



## **PROGETTO ESECUTIVO**

Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR)  
Missione 2 - Componente 4 - Investimento 2.2 (M2C4 - Inv. 2.2)  
"Interventi per la resilienza, la valorizzazione del territorio e l'efficienza energetica dei Comuni"  
Finanziato dai fondi dell'Unione Europea "NextGenerationEU"

## **INTERVENTI, RIPRISTRINI INFRASTRUTTURE DANNEGGIATE DA FRANE SPONDALI**

CUP C98H22001130001

# **RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA**

Data: **11/01/2024**

Elab.:

# **1.2**



### **IL PROGETTISTA**

(Geom. Andrea Gramigna)

### **I COLLABORATORI**

(Dott. Ing. Laura Montanari)  
(Dott. Ing. Giulia Farina)  
(Geom. Andrea Serio)  
(Geom. Stefano Succi)  
(Geom. Andrea Ferroni)



### **SETTORE OPERE PUBBLICHE E PATRIMONIO**




#### **IL DIRIGENTE**

(Ing. Leonardo Nascosi)

#### **IL RESPONSABILE UNICO DEL PROGETTO**

(Geom. Matteo Beccati)

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Codice Progetto
00	Emissione	Gramigna A.	11/01/2024	

 <p>Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU</p>  	<p>PROGETTO ESECUTIVO</p> <p>Interventi per la resilienza, la valorizzazione del territorio e l'efficienza energetica dei comuni –</p> <p>INTERVENTI RIPRISTINI INFRASTRUTTURE DANNEGGIATE DA FRANE SPONDALI”</p> <p>Comune di Argenta (FE) CUP: C98H22001130001</p>	<p>Elaborato 01.02.00 - REGG RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA</p>
--	--	---

## PREMESSA

In relazione ai tipi di interventi che il presente progetto intende realizzare, essendo essi di manutenzione e quindi di modesta rilevanza, non sono state effettuate specifiche indagini di tipo geologico, geotecnico, idrologico.

Il progetto riporta una relazione geologica-geotecnica sull'intero comparto, commissionata in passato dal Consorzio e svolta in vista di interventi analoghi a quelli ivi proposti, ossia di consolidamento ottenuto con l'infrissione di pali in legno, secondo la tradizione, o la posa di scogliere protettive, consentendo di risolvere la criticità legata a fenomeni di erosione e frane in maniera semplice e poco costosa, senza bisogno di verifiche geotecniche approfondite.

Nell'ambito del presente progetto non è prevista la risoluzione di problemi strutturali più importanti e che richiedano studi o interventi di particolare complessità. Per questo motivo si ritiene valida e pertinente la relazione geologica-geotecnica sull'intero comparto svolta in passato, riportata di seguito.

**LABORATORIO GOTECNICO Dr. ANTONIO MUCCHI**

**mucchilab@tin.it - www.mucchilab.it**

*Autorizzazione del Ministero Infrastrutture e Trasporti*

*Per prove di laboratorio sui terreni – ai sensi dell'art. 59 del DPR 380/01*

**Via Alberto Ascari, 8 – 44019 Gualdo di Voghiera (FE)**

**Tel. 0532/ 815681**



**LABORATORIO PROVE MATERIALI**

**Aut. Min. ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/01**

***Terre - Inerti - Riciclati - Asfalti***


**www.mucchilab.it - Tel. 0532.815681 Gualdo (FE)**

**COMMITTENTE: CONSORZIO DI BONIFICA PIANURA DI FERRARA**

**CANTIERE: Rete idraulica di bonifica del territorio ferrarese**

**PROGETTO: Ricalibratura della rete di bonifica ai fini del recupero della capacità di invaso e di portata – 1° stralcio**

## **RELAZIONE GEOLOGICA**

Dott. Geol. Antonio Mucchi	
	<p data-bbox="1050 1845 1246 1899">Ferrara, 31/07/2022 Prot. 965 / 2022</p>

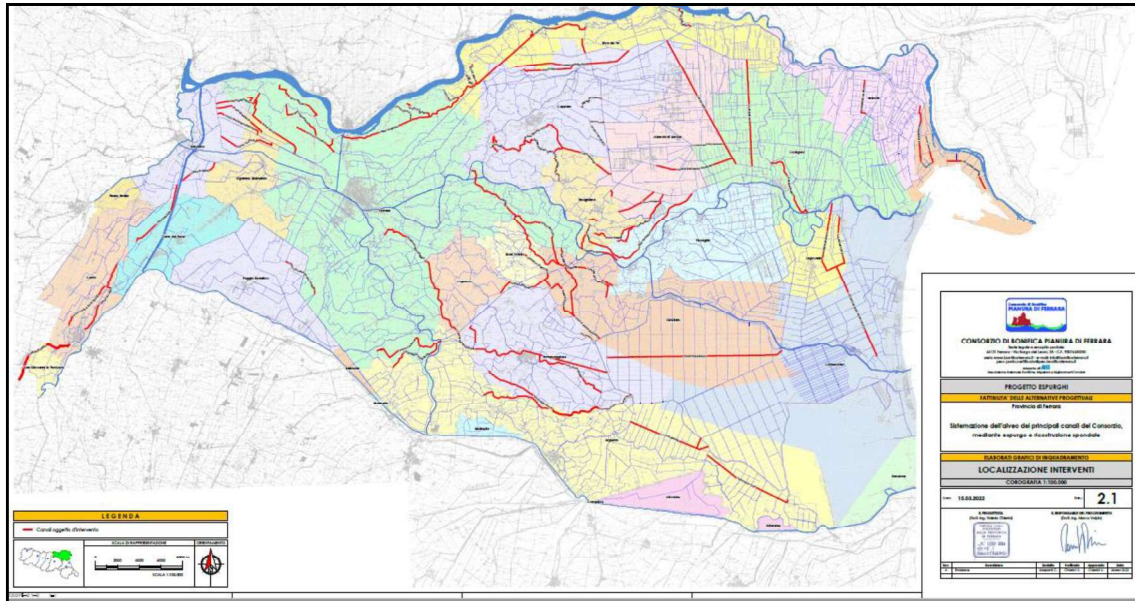
## SOMMARIO

Ferrara, 31/07/2022 .....	1
1   PREMESSA.....	2
2   DESCRIZIONE DEL PROGETTO.....	3
3   GEOLOGIA DELL'AREA FERRARESE.....	6
3.1   INQUADRAMENTO GEOGRAFICO TERRITORIALE .....	6
3.2   INQUADRAMENTO GEOLOGICO .....	7
3.3   ALTIMETRIA .....	11
3.4   SUBSIDENZA.....	14
3.5   INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO .....	18
3.6   IDROGRAFIA SUPERFICIALE .....	23
3.7   LA FALDA FREATICA E LE PRINCIPALI PROBLEMATICHE AD ESSA CONNESSE ..	27
3.8   RISCHIO IDRAULICO.....	29
4   CONSIDERAZIONI GEOTECNICHE DI MASSIMA .....	31
5   SISMICITA' NELLA PROVINCIA DI FERRARA .....	39
5.1   RISCHIO SISMICO .....	39
6   CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE .....	51



## 1 PREMESSA

Su incarico del Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara, è stata eseguita una indagine geologica finalizzata a definire le caratteristiche geologiche, geotecniche e sismiche di massima di tutto il territorio ferrarese interessato da un progetto di intervento di adeguamento e miglioramento funzionale finalizzato all'efficienza idraulica dei canali più importanti dei vari bacini del territorio consorziale.



*Canali evidenziati in rosso nell'elaborato riportato.*

## 2 DESCRIZIONE DEL PROGETTO

L'intervento consisterà nel ripristino dell'efficienza idraulica dei canali più importanti dei vari bacini del territorio consorziale, mediante espurgo dell'alveo ed eventuale contestuale ripresa di sponde franate e/o realizzazione di difese antierosive.

In linea di massima i canali oggetto di intervento saranno quelli più significativi per superficie servita, vicinanza ai centri abitati, presenza di siti sensibili, disponibilità di aree per la destinazione del materiale di risulta.

L'espurgo dei canali avverrà direttamente in alveo per i canali di maggiori dimensioni e dai cigli per i canali minori, con utilizzo di idonei mezzi meccanici, secondo tipologie standard:



*Draga*



*Drag line*



*Escavatore idraulico*



*Escavatore su pontone galleggiante*

Il materiale scavato verrà gestito secondo la vigente normativa, in generale come sedimento, ai sensi dell'art. 185 c. 3 del D.Lgs 152/2006, quindi riutilizzato nell'ambito delle pertinenze idrauliche della rete.

Qualora si rendesse necessario e, in virtù della caratterizzazione chimico-fisica, fosse possibile utilizzare il materiale escavato per miglioramento fondiario dei comparti agricoli serviti, parte dello stesso verrebbe steso a campagna, in accordo con i proprietari interessati e previa opportuna comunicazione agli enti competenti.

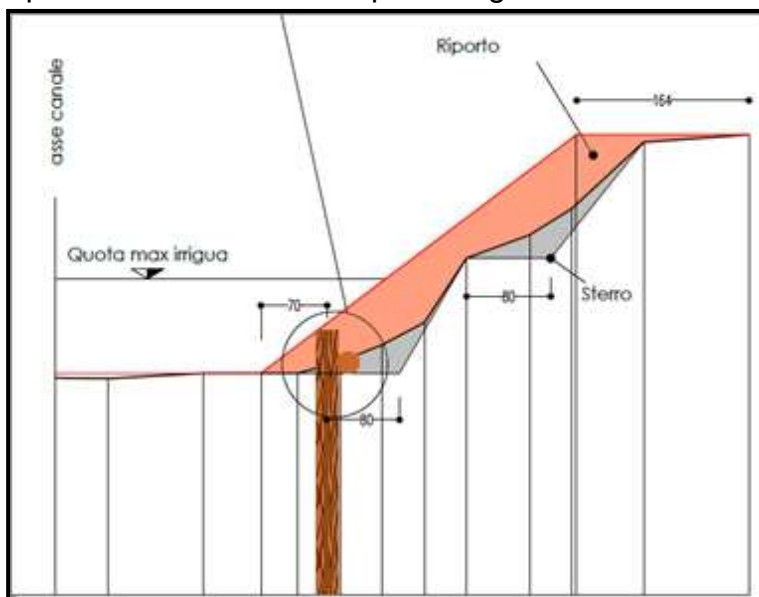
Laddove le sponde risultassero eccessivamente ammalorate, si procederà alla loro ricostruzione, con tecniche collaudate in ambito consorziale quali:



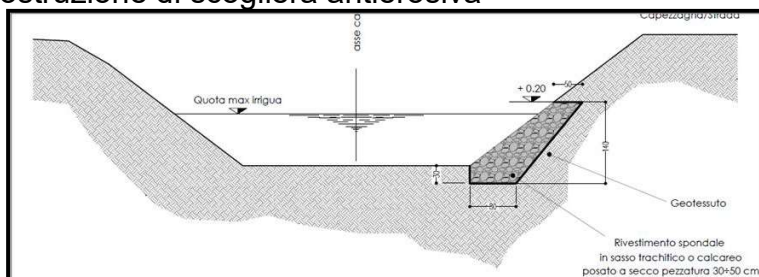
- Ricostruzione di sponda con materiale di risulta degli scavi:



- : Ripresa di frane mediante pali in legno:



- Costruzione di scogliera antierosiva



### 3 GEOLOGIA DELL'AREA FERRARESE

#### 3.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO TERRITORIALE

Il territorio ferrarese rappresenta la parte più orientale della Pianura Padana, confina infatti con il Mare Adriatico ed è un esempio mirabile del delicato equilibrio che esiste tra “terra ed acqua”. La sua superficie, interamente pianeggiante, si sviluppa a quote altimetricamente molto basse; si tratta dell'unico territorio completamente pianeggiante dell'intera regione e più del 40% si trova a quote inferiori al livello medio marino. I confini nord e sud della Provincia sono rappresentati da due importanti corsi d'acqua: rispettivamente Po e Reno. Tali fiumi sono pensili rispetto al territorio circostante, perciò tutte le acque dei canali interni alla provincia non vengono convogliate in essi, ma avviate al mare automaticamente attraverso il Po di Volano, antico ramo del Delta da secoli separato da esso.



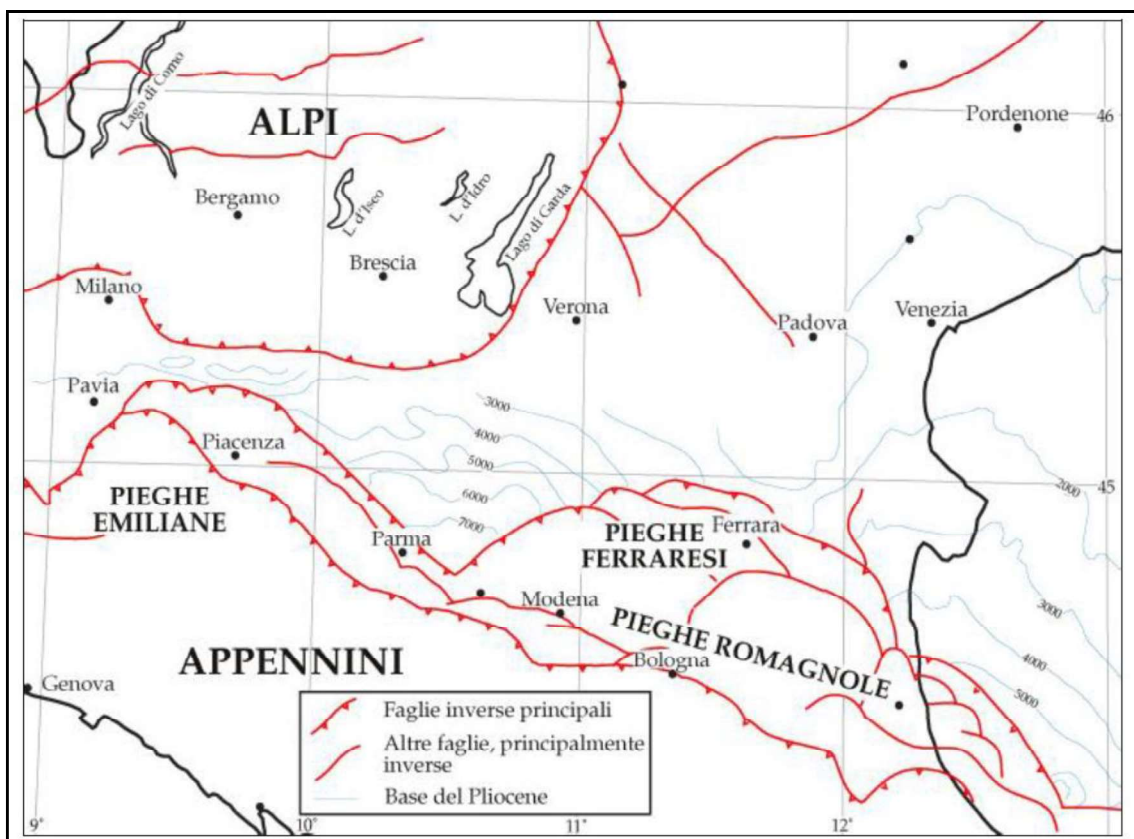
Un tempo caratterizzato da valli e paludi, il territorio ferrarese è oggi governato da un complesso sistema idraulico di bonifica, grazie al quale le acque vengono raccolte ed allontanate per permettere lo sviluppo delle attività agricole, degli insediamenti abitativi, produttivi e turistici.



### 3.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Verso la fine dell'era terziaria, nel Pliocene, l'insorgere della catena alpina da un lato e di quella appenninica dall'altro ha determinato il formarsi di un'ampia fossa subsidente più volte invasa e abbandonata dal mare nel corso della sua storia geologica.

Si è avuto quindi alternanza di emersioni e invasioni marine, totali o parziali dell'area, con erosione più accentuata nelle zone di alto strutturale e con deposizioni nelle zone di basso strutturale dei materiali detritici derivanti dallo smantellamento delle insorgenti catene montuose. Il fondo di questa fossa strutturale non è regolare ma articolato da dorsali longitudinali, che in determinati periodi del ciclo evolutivo emergevano dal mare, formando isole e arcipelaghi. Queste dorsali traggono le loro origini da un complesso meccanismo di spinte tangenziali unitamente a fenomeni di subsidenza differenziale, cioè di sprofondamento irregolare.

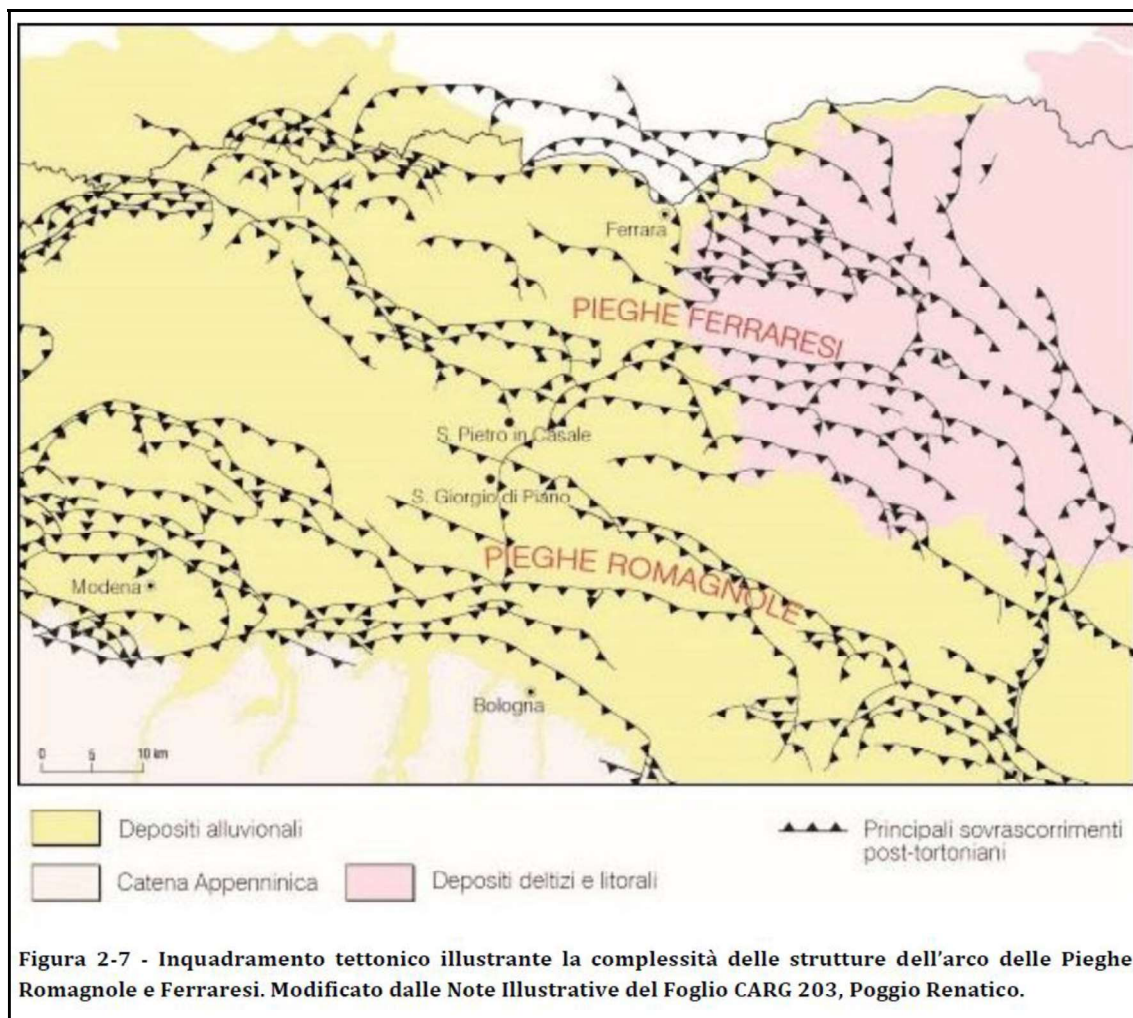


*Carta strutturale semplificata della Pianura Padana (Pieri e Groppi, 1975). Le isobate si riferiscono alla profondità della base dei sedimenti pliocenici. Modificata da Burrato et al., 2003.*

In conseguenza dell'assetto strutturale varia la natura e lo spessore dei sedimenti che si accumulano nei diversi settori del bacino sedimentario. Si attua

così un riempimento delle depressioni con materiali sabbiosi di rilevanti potenze, mentre sulle dorsali sedimentano le granulometrie più fini con progressive diminuzioni delle potenze.

Uno degli elementi strutturali più importanti del sottosuolo padano è la così detta dorsale ferrarese, che si localizza tra Ferrara e le Valli di Comacchio con direzione NW-SE, ai lati delle quali si sono impostate due zone a forte subsidenza, a nord nella regione del Delta e nel Ravennate a sud.



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

La storia delle alterne vicende geologiche in questo settore della Pianura Padana può essere schematizzato come segue: Il Pliocene inf. è caratterizzato da una forte subsidenza, particolarmente attiva nelle strutture negative del bacino, che viene in parte compensata dalla deposizione di sedimenti grossolani.

Con la fine del Pliocene inf. inizia una nuova fase di sollevamento, si accentuano le vecchie pieghe e se ne creano di nuove, conseguentemente l'erosione intacca le strutture più elevate.

Nel Pliocene medio-superiore si avvia un nuovo ciclo di subsidenza e sedimentazione che prosegue fino al Quaternario, con la stessa modalità del precedente, cioè sedimenti con termini grossolani nelle strutture negative ed argillose su quelle positive.

Anche all'inizio del Quaternario la subsidenza continua e si accentua ed il dominio del mare raggiunge la sua massima espansione. Tuttavia con il passare del tempo la subsidenza generale del bacino prende il sopravvento su quella differenziata tra gli alti e bassi strutturali. Ne consegue che i sedimenti di questo periodo sono caratterizzati da frequenti variazioni litologiche; i depositi a granulometria maggiore perdono in continuità e si formano corpi sabbiosi isolati. Parallelamente si instaurano radicali mutamenti nei rapporti relativi intercorrenti fra le varie strutture, infatti le pieghe al margine appenninico in origine più basse di quelle a nord, risultano ora più elevate in conseguenza dello sprofondamento della parte centrale del bacino e dell'innalzamento dell'Appennino; così come si ha un abbassamento della zona di foce del Po rispetto alle pieghe ferraresi.

Con il Quaternario continentale invece, predominano le sedimentazioni sulla subsidenza, si ha un progressivo ritiro del mare dalla Pianura Padana con deposito di alluvioni sui sedimenti marini.

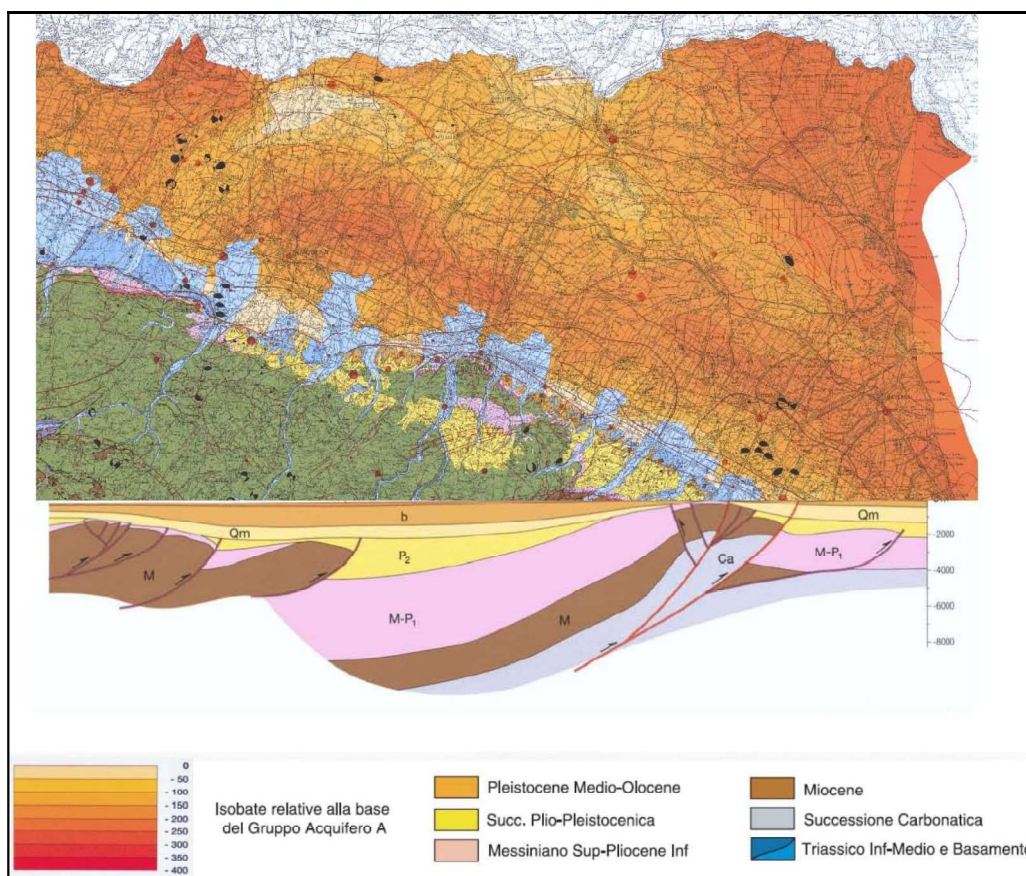
Al margine orientale della pianura lo stabilizzarsi della linea di costa è complicato da variazioni eustatiche del livello marino in corrispondenza di glaciazioni, la più importante delle quali fu quella wurmiana, che abbassò il livello di un centinaio di metri.

Poi 17.000 anni fa inizia la grande trasgressione postglaciale, quella Flandriana in cui l'ingressione marina ha probabilmente raggiunto i 40 Km per il Delta Padano e i 20 Km per il ravennate.

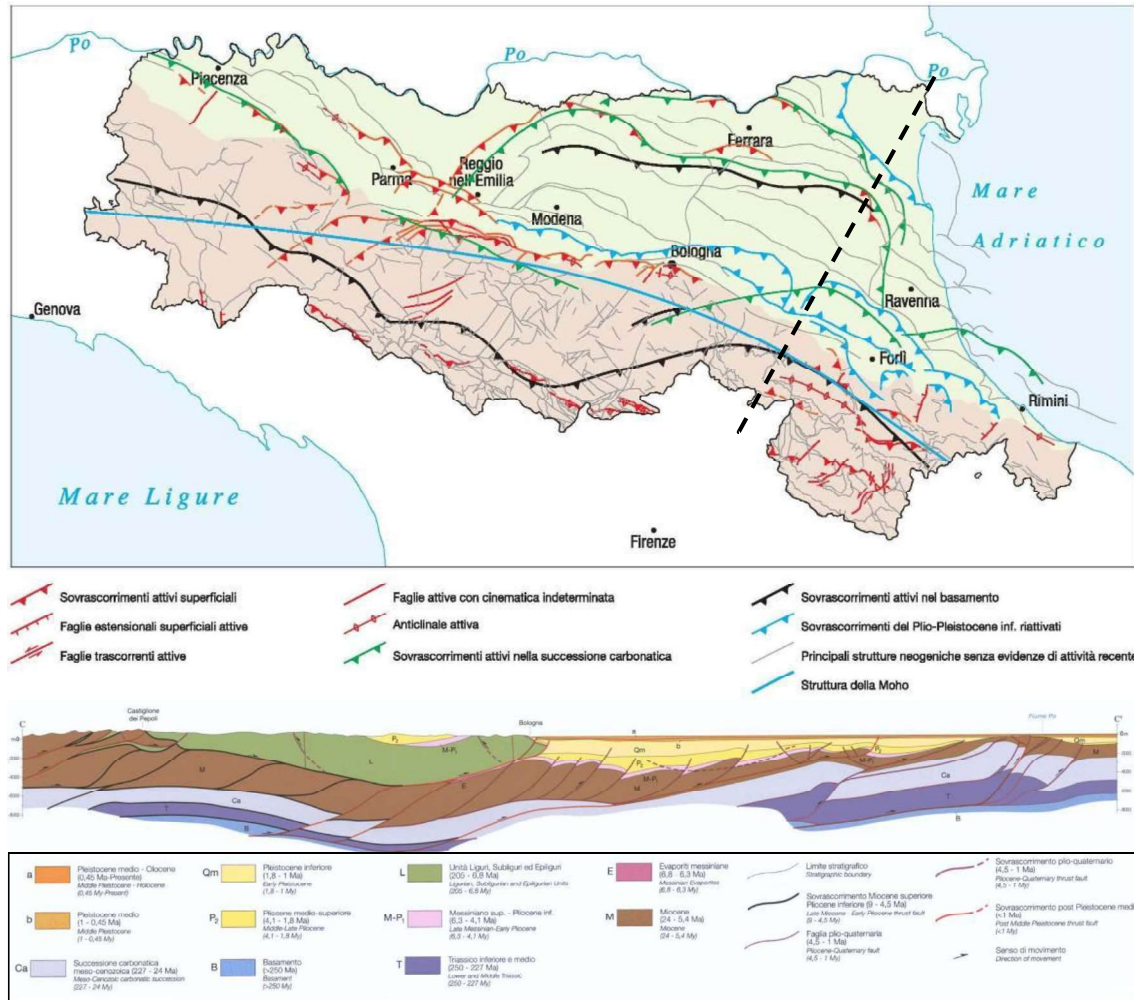
A partire dal I - II secolo d.C. ha avuto inizio un lento ma graduale ritiro del mare con migrazione verso est della linea di costa sino all'interno della sua posizione attuale.



I diversi litotipi, depositati in ambiente subacqueo, malgrado il costipamento derivante dall'incremento della pressione geostatica tenderanno a trattenere nei pori residui l'originaria acqua del bacino di sedimentazione; ne deriva per quanto sopra esposto, che si avrà in zona coesistenza di livelli con acqua di strato salata o salmastra o dolce in relazione all'ambiente deposizionale originario.



*Schema geologico di sottosuolo nel settore delle Pieghe Ferraresi. Sono riportate le tracce dei principali sovrascorrimenti sepolti e la sezione geologica attraverso la pianura modenese (Sezione geologica senza esagerazione verticale). Estratto dalla Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna in scala 1:250.000 (Regione Emilia-Romagna-CNR, 2004). L'insieme di queste pieghe sepolte (Pieghe Emiliane-Ferraresi-Adriatiche) costituisce il vero fronte della catena appenninica; infatti le unità e le strutture che costituiscono la catena appenninica proseguono nel sottosuolo ben oltre il limite morfologico tra catena e pianura (margine appenninico-padano) e sono attualmente sepolte dai sedimenti quaternary padani. I fronti di queste strutture sepolte hanno vergenza verso nord e si accavallano sulla piattaforma padano-veneta.*



Schema geologico profondo esemplificativo della Pianura Padana e relativa Sezione geologica esplicativa. Sono riportati gli andamenti delle pieghe e delle faglie del substrato e la traccia della medesima sezione.

### 3.3 ALTIMETRIA

Il modello altimetrico del territorio costituisce un documento fondamentale per la pianificazione territoriale e per la gestione idraulica del territorio.

Le quote del territorio risultano comprese fra +23 m e -4 m rispetto al livello medio marino, con una generale diminuzione da ovest a est, e con situazioni di notevole complessità specie nella parte est del comprensorio, ove sono ancora ben riconoscibili le dune delle antiche linee di costa.

L'evoluzione geomorfologica avvenuta in età olocenica ha determinato la situazione altimetrica del Ferrarese, le cui principali caratteristiche sono



costituite da basse pendenze, condizioni di pensilità dei fiumi e soggiacenza di gran parte del territorio al livello del mare.

Il territorio provinciale essendo composto da zone che per millenni hanno costituito aree di bassa pianura alluvionale, aree deltizie, lagune e altri ambienti di transizione che si trovano a quota assai prossima al livello marino, presenta dislivelli altimetrici minimi. Queste basse pendenze comportano basse velocità di deflusso, sia nei fiumi, sia nei canali preposti all'allontanamento delle acque interne ai territori, e determinano la necessità di impiegare impianti di sollevamento per fornire artificialmente le pendenze di deflusso verso il mare.

A causa della subsidenza, oggi il 38,7% del territorio provinciale, detratte le zone umide (ossia il 48% della superficie agricola) è a quota inferiore rispetto al livello del mare. E' stato perciò necessario costruire difese a mare lungo la costa e altri argini più arretrati per evitare l'ingresso delle acque del mare, nonché dotare i fiumi di argini anche nei tratti di foce, raccordandoli direttamente alle dighe costiere.

Le acque di queste aree di depressione non possono, ovviamente, essere portate a mare se non previo sollevamento meccanico.

Il contesto morfologico-altimetrico nel quale si trova il territorio provinciale impone un equilibrio assai delicato all'intero assetto idraulico, che viene fortemente influenzato dall'azione antropica posta in essere dagli enti sia in fase ordinaria che al verificarsi di eventi avversi.

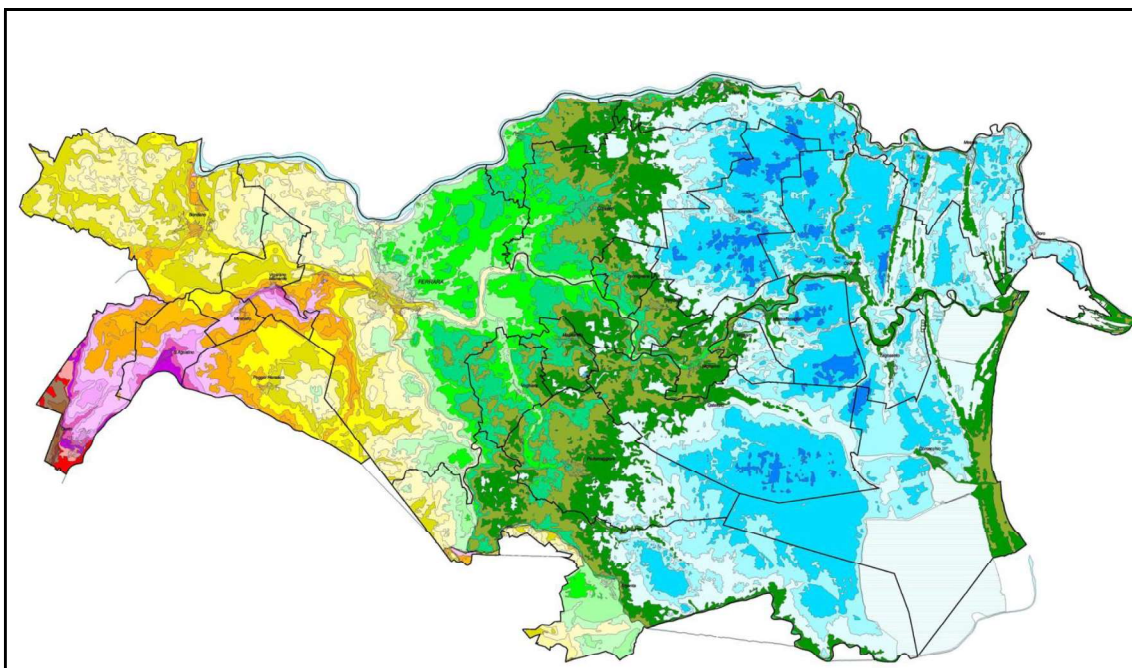


Tavola QC 0.2 Altimetria – PTCP Ferrara

### **3.4 SUBSIDENZA**

Si tratta di fenomeni di abbassamento del suolo dovuti sia a fenomeni naturali sia a cause antropiche.

#### **La subsidenza naturale**

Tale fenomeno è riconducibile prevalentemente ai grandi fenomeni di dinamica delle placche litosferiche che hanno causato la nascita delle Alpi e degli Appennini ed al costipamento dei sedimenti che, provenendo dall'erosione di tali catene montuose, si sono accumulati nella depressione interposta, il «bacino padano-adriatico».

La subsidenza naturale cambia, da zona a zona, ed è ragionevole pensare che la sua variazione spaziale sia legata alla differente natura litologica dei sedimenti non ancora costipati, alle loro differenze di spessore nonché alle tensioni ed ai movimenti tuttora presenti, ossia a movimenti di neotettonica (Zanferrari et al., 1982; Bartolini et al., 1983; Arca e Beretta, 1985). Si può comunque ritenere che, nel territorio della provincia di Ferrara, le velocità di abbassamento riconducibili a fenomeni naturali siano variabili da meno di 0,5 mm/anno a circa 2 mm/anno nelle zone di depressione strutturale dell'Appennino sepolto.

Nella pianura ferrarese sono d'altronde presenti anche fenomeni di subsidenza artificiale, che in genere sono assai maggiori, e proprio questo fatto rende difficile definire con maggior precisione la variazione spaziale della subsidenza naturale.

#### **La subsidenza artificiale**

Attraverso determinazioni ripetute delle quote del terreno è stato possibile vedere che la componente antropica del fenomeno della subsidenza, nel ferrarese è stata soprattutto causata:

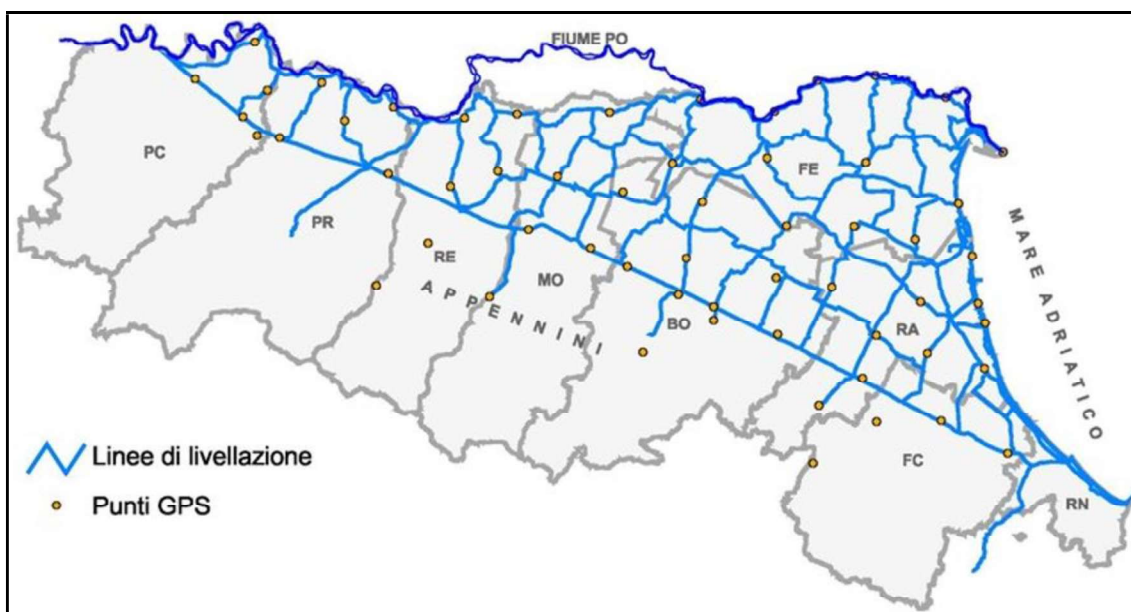
- dalle bonifiche per scolo, iniziate su vasta scala fin dal secolo XVI e fortemente intensificatesi fra il 1860 e il 1970; nel ferrarese, la maggior parte delle paludi e delle lagune presenti a metà del XIX secolo sono state bonificate mediante idrovore; le bonifiche per scolo, però, abbassando il livello delle acque nella falda freatica, producono un più rapido costipamento

dei sedimenti superficiali e una notevole riduzione di volume delle torbe, per essiccamento ed ossidazione;

- da emungimenti di acqua e di idrocarburi dal sottosuolo ed in particolare dalla estrazione di metano (misto ad acqua), attuato, fra il 1938 e il 1964, da strati del Quaternario di profondità generalmente inferiori ai 200 m.

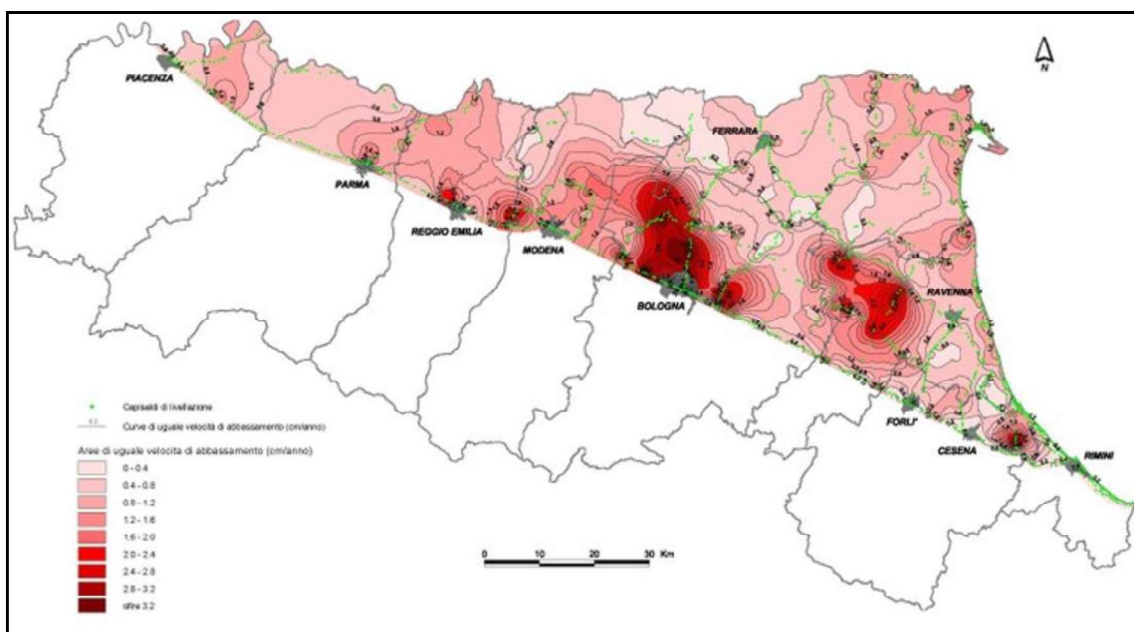
Nella pianura padana orientale questi abbassamenti per subsidenza hanno avuto ed hanno anche attualmente una grande importanza. E' evidente, ad esempio, che soprattutto i fenomeni di subsidenza artificiale sono stati la causa principale dell'attuale assetto altimetrico della fascia orientale, che comprende un'area di 2400 Km<sup>2</sup> al di sotto del livello medio del mare, e del fatto che, come si è detto, quasi il 40% del territorio provinciale sia in queste stesse condizioni. Anche variazioni del chimismo delle acque sono considerate capaci di determinare abbassamenti del suolo, sia pur limitati, quando sono in grado di indurre per fenomeni elettrochimici riduzione di volume dei minerali argillosi molto abbondanti nel territorio ferrarese.

L'ARPA, su incarico della Regione e in collaborazione con il DISTART dell'Università di Bologna, ha progettato ed istituito nel 1997-98 una rete regionale di monitoraggio della subsidenza costituita, in particolare, da una rete di livellazione geometrica di alta precisione con oltre 2300 capisaldi e una rete di circa 60 punti GPS (vedi figura di seguito riportata).



*La rete regionale di monitoraggio della subsidenza-ARPAE EMILIA ROMAGNA*

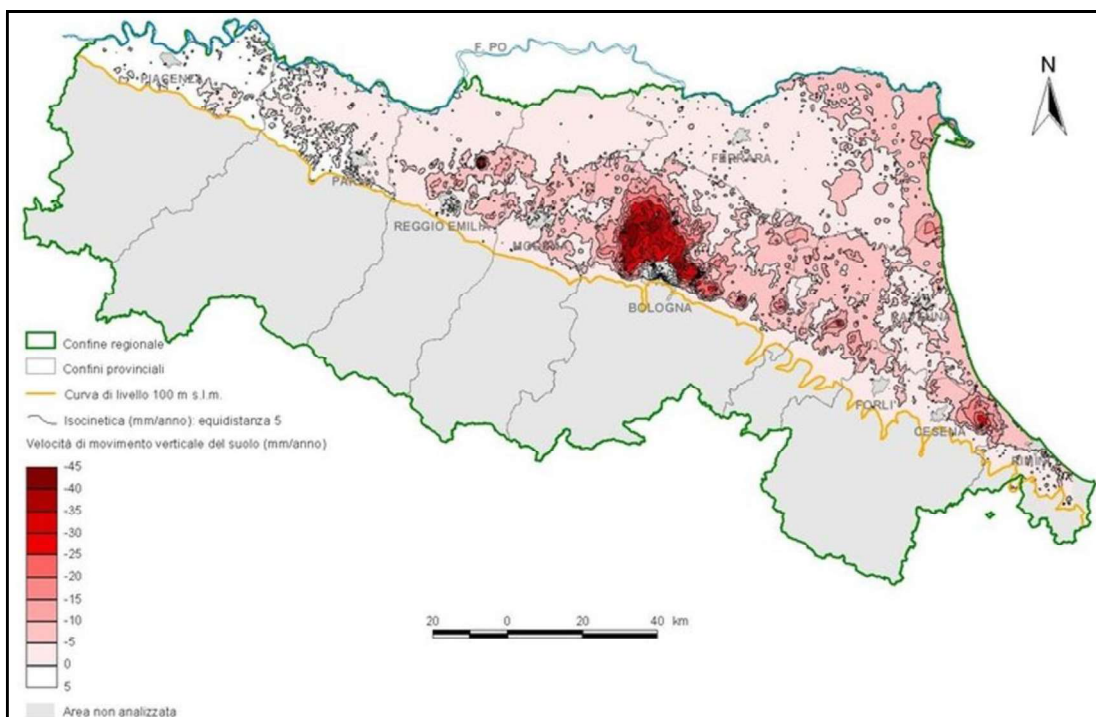
Nel 1999 è stato così possibile realizzare la prima carta a isolinee di velocità di abbassamento del suolo relativa al periodo 1970/93-1999, che costituisce il primo tentativo di restituire un quadro complessivo dei movimenti verticali del suolo sull'intera area di pianura della regione. Tale rappresentazione, tuttavia, risulta inevitabilmente lacunosa, relativamente o parzialmente aggiornata e, comunque, fortemente disomogenea data la diversa copertura spaziale e temporale dei dati storici, non essendo ancora possibile realizzare un confronto a tappeto sull'intera rete, bensì solo su circa il 50% dei capisaldi, distribuiti neppure uniformemente. In particolare, le velocità di movimento indicate sulla carta sono riferite a periodi diversi, a seconda delle linee di livellazione, compresi tra il periodo più lungo 1970- 1999 e il periodo più breve 1993-1999 (vedi figura seguente).



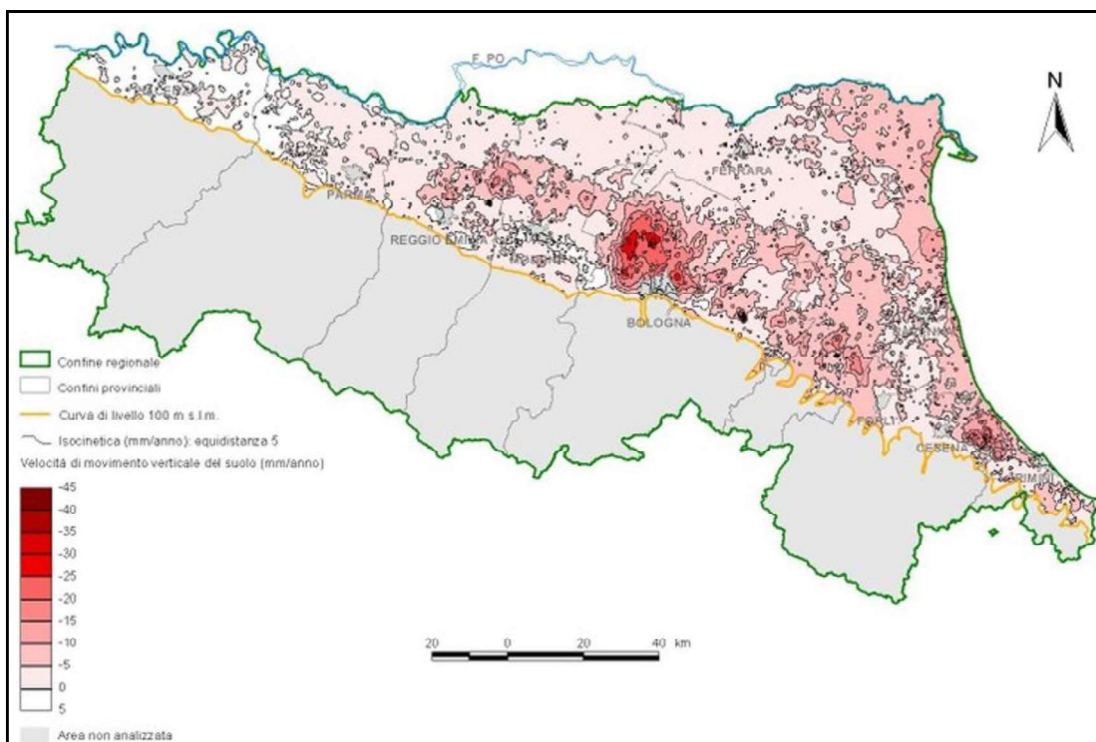
*Prima carta delle velocità di movimento verticale del suolo nel periodo 1970/93-1999 -ARPAE EMILIA ROMAGNA*

Nel 2002, su incarico della Regione, è stato ripetuto il rilievo della sola rete GPS aggiornando così le conoscenze sui movimenti del suolo nel periodo 1999-2002 relativamente ai punti della rete stessa. Nel 2005-07 ARPA ha realizzato l'aggiornamento delle conoscenze geometriche relative al fenomeno della subsidenza realizzando due diverse cartografie a curve isocinetiche: la prima, relativa al periodo 1992-2000 e la seconda riguarda il periodo più recente 2002-2006 (vedi figure di seguito riportate).





*Carta delle velocità di movimento verticale del suolo nel periodo 1992-2000, realizzata sulla base di analisi interferometrica radar effettuata da T.R.E. – Tele-rilevamento Europa mediante la tecnica dei Permanent Scatterers (PSInSARTM) sviluppata e brevettata dal Politecnico di Milano-ARPAE EMILIA ROMAGNA*



*Carta delle velocità di movimento verticale del suolo nel periodo 2002-2006, realizzata sulla base di analisi interferometrica radar effettuata da T.R.E. -Tele-rilevamento Europa mediante la tecnica dei Permanent Scatterers (PSInSARTM) sviluppata e brevettata dal Politecnico di Milano -ARPAE EMILIA ROMAGNA*

Dall'analisi delle cartografie sopra riportate si evince che la Pianura deltizia del Po e la costa emiliano romagnola sono interessate da tassi di subsidenza che arrivano sino a 0,8-1,6 cm/anno; i numerosi studi eseguiti negli ultimi decenni sulla subsidenza in Pianura Padana hanno consentito di capire che, in questa zona, valori di subsidenza così elevati sono certamente da attribuire al massiccio prelievo di fluidi dal sottosuolo che si è protratto per tutto il secondo dopoguerra

### **3.5 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO**

L'evoluzione geomorfologica della pianura ferrarese è avvenuta interamente nel periodo olocenico, ossia nei millenni successivi all'imponente risalita del mare, dopo l'ultima glaciazione. Gli agenti di tale evoluzione sono stati i fiumi, prevalentemente in condizioni di sedimentazione, nonché il mare e il vento, che hanno ridistribuito lungo la costa i sedimenti fluviali e, come ultimo nel tempo, l'uomo (ultimi due millenni). Tra i fattori che hanno avuto grande influenza va citata la subsidenza, che da millenni è fortemente sensibile in questa regione, prodotta sia dallo spontaneo costipamento dei sedimenti incoerenti (limi, argille e torbe), causato dal peso di quelli sovrastanti e dai movimenti del substrato roccioso, che da cause antropiche quali l'eccessivo emungimento di acque sotterranee o la realizzazione di pozzi metaniferi. Le condizioni sono state rappresentate dalle variazioni climatiche che hanno caratterizzato l'Olocene: i periodi freddi e piovosi hanno infatti prodotto frequenti esondazioni e mutamenti del corso dei fiumi, nonché rapidi accrescimenti degli apparati deltizi.

Il territorio comprende, in effetti, gran parte dell'area che è stata sede delle divagazioni e delle foci del Po nell'Olocene; i tratti terminali del Po hanno mutato spesso la loro posizione, catturando talora quelli di vari torrenti appenninici, e gli apparati deltizi hanno costruito la fascia più orientale della provincia, rubando spazio al mare (Castiglioni, Pellegrini, 2001).

Le principali strutture geomorfologiche presenti nel nostro territorio e rappresentate nella "Carta geomorfologia della Provincia di Ferrara", riportata di seguito, sono le seguenti:

- i paleoalvei principali e secondari;

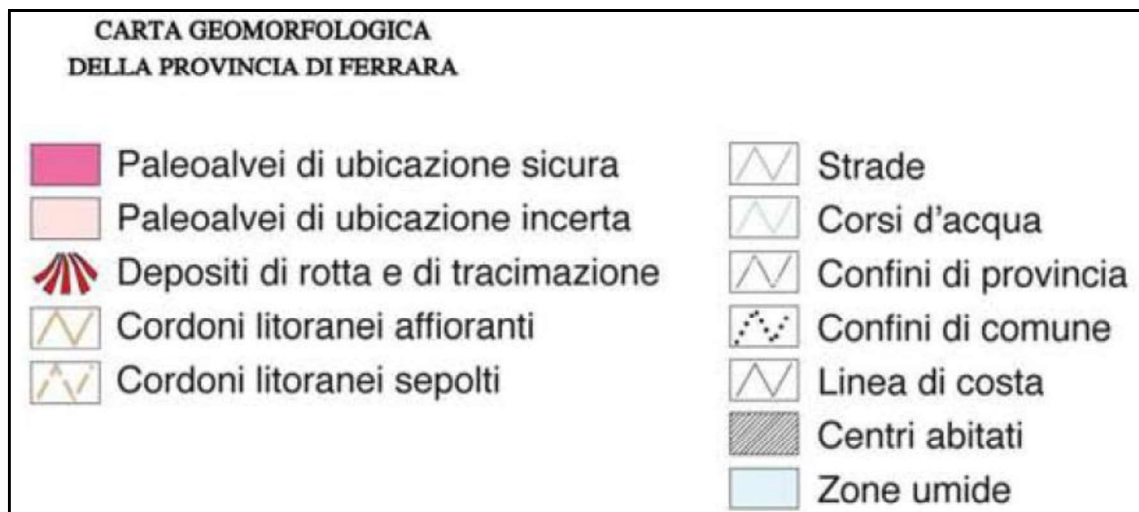
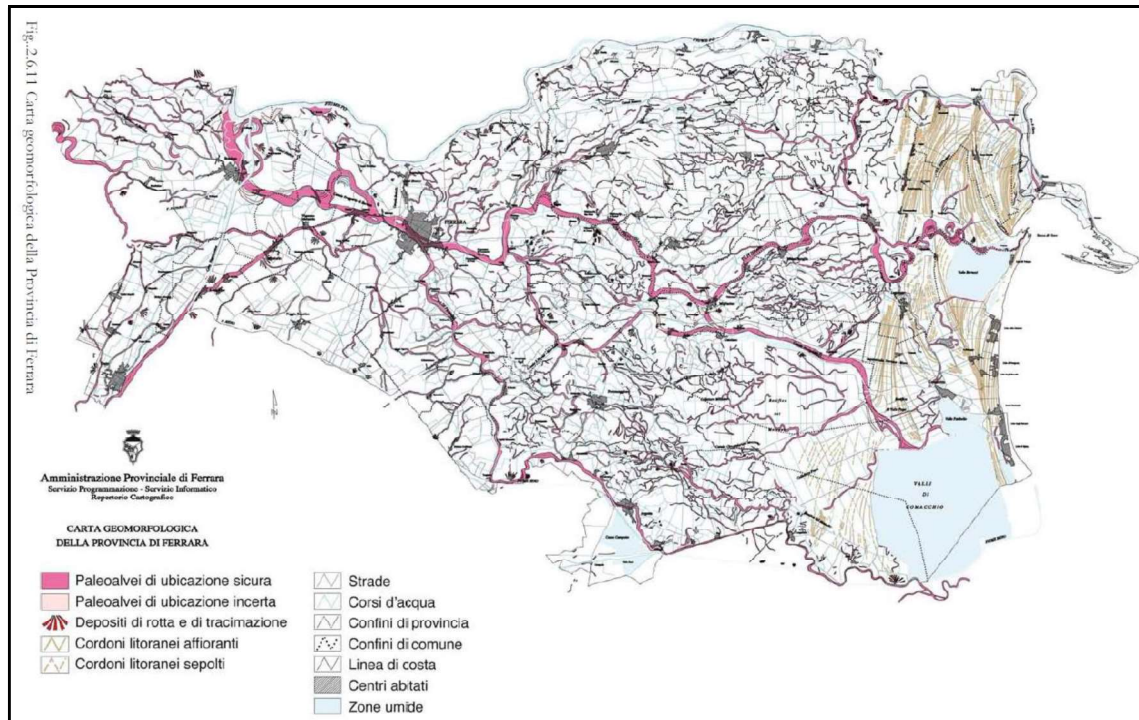
- le conoidi di rotta o di esondazione;
- i principali cordoni litoranei affioranti, ossia ancora riscontrabili sul terreno;
- i principali cordoni litoranei sepolti da materiali alluvionali depositatisi dopo la loro costruzione.

**I paleoalvei principali** corrispondono agli antichi alvei fluviali abbandonati e sono oggi rappresentati da strisce più elevate del territorio. Nei fiumi della bassa pianura padana, infatti, è sempre prevalsa l'azione di sedimentazione rispetto a quella erosiva; durante le esondazioni, non essendo gli alvei confinati da arginature, i sedimenti più grossolani, come le sabbie ed i limi, venivano depositati in prossimità dell'alveo, mentre i più fini, come le argille, raggiungevano zone più distanti. Questi ultimi sedimenti, molto più compressibili degli altri, con il tempo, hanno creato zone di basso strutturale, i cosiddetti "catini interfluviali". A questo meccanismo, si è poi sovrapposta l'azione dell'uomo, il quale, per evitare le inondazioni, ha rafforzato ed innalzato gli argini dei fiumi, "fossilizzando" così la rete idrografica fino a portare alcuni fiumi come il Po, il Reno ed il Panaro, in condizioni di pensilità.

**Le conoidi di rotta o di esondazione** sono complesse strutture di sedimentazione che si formano a seguito di importanti esondazioni fluviali; sono spesso caratterizzate dalla tipica forma a ventaglio e presentano grande variabilità litologica sia orizzontale che verticale. Gli esempi nel territorio ferrarese sono innumerevoli; i dossi fluviali derivano del resto, in larga misura, proprio dalla fusione di conoidi di esondazione adiacenti.

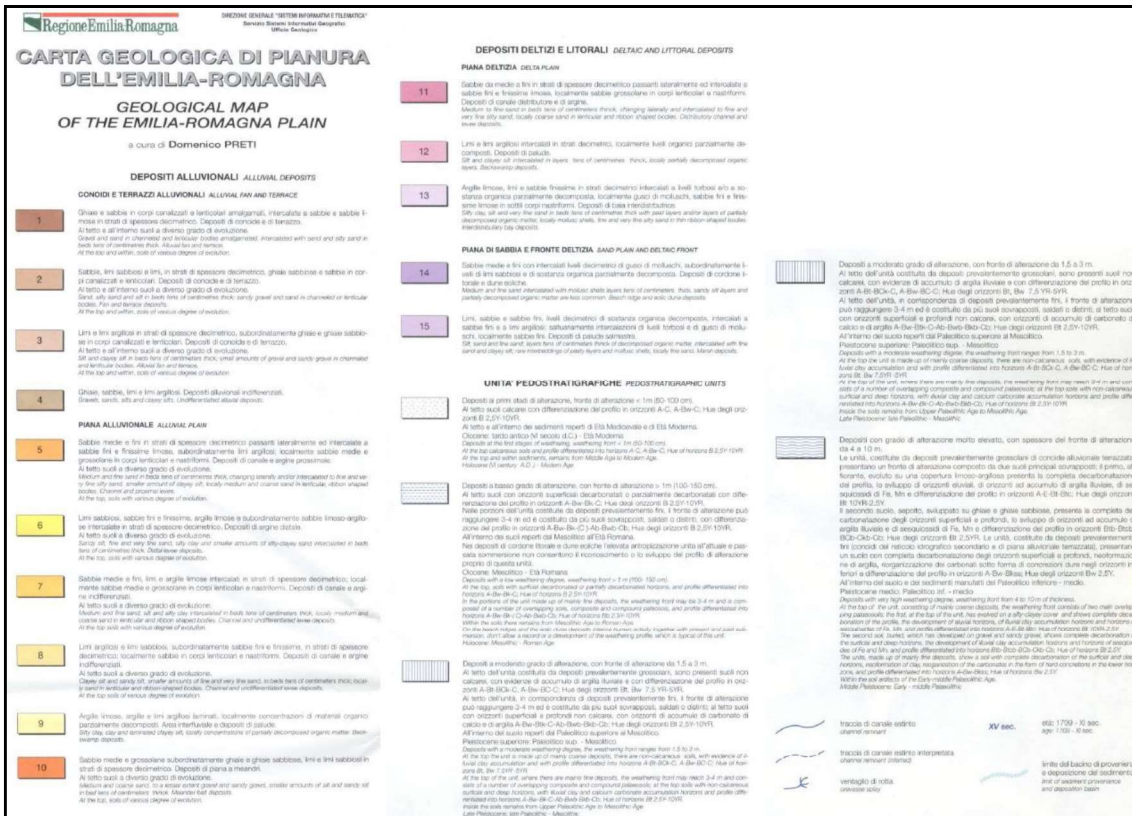
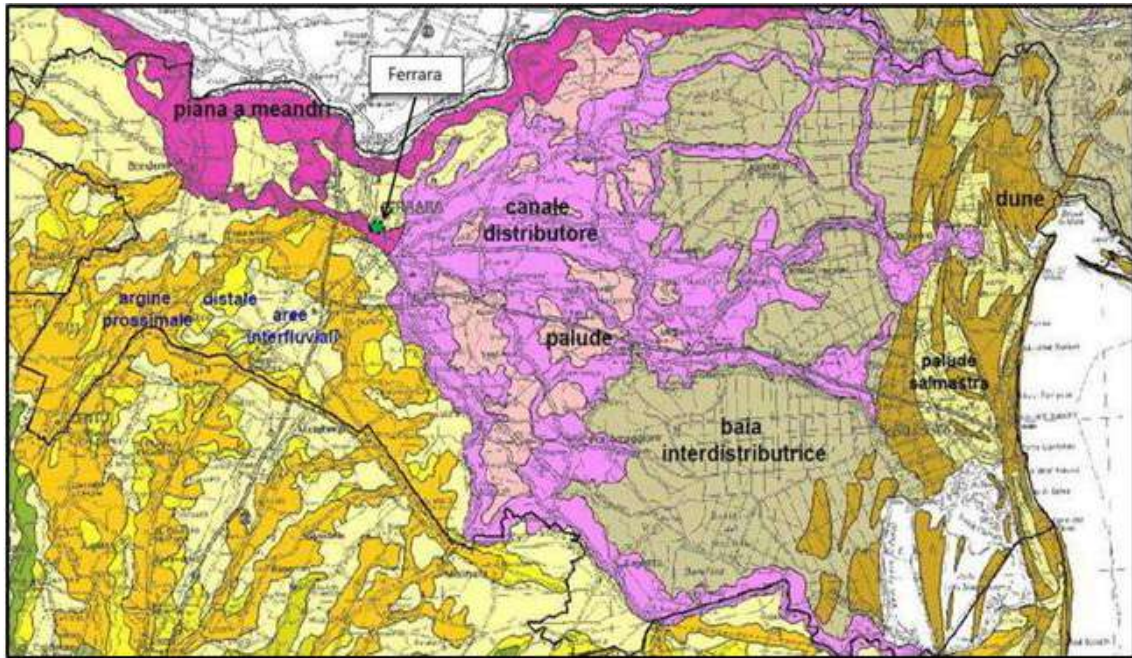
**I cordoni litoranei**, infine, corrispondono alle dune di retrospiaggia delle antiche linee di costa. I cordoni più imponenti, in particolare, corrispondono alle linee di costa che hanno mantenuto una posizione stabile per un maggior lasso di tempo, oppure a quelle individuatesi nei momenti in cui il livello marino era più alto; quelli più antichi, sui quali la subsidenza ha agito più a lungo, si trovano oggi sepolti a qualche metro di profondità. Il rinvenimento di tali forme è piuttosto difficile in quanto l'uomo, negli anni, ha compiuto una intensa azione di "spianamento". Tra un cordone dunoso e l'altro si rinvencono depositi a matrice prevalentemente fine molto ricchi di sostanza organica; tali sedimenti corrispondono ad ambienti deposizionali a bassissima

energia che nel caso specifico della nostra provincia corrispondono ad aree un tempo occupate da acque stagne quali paludi.



Carta geomorfologica della Provincia di Ferrara – Amministrazione Provinciale



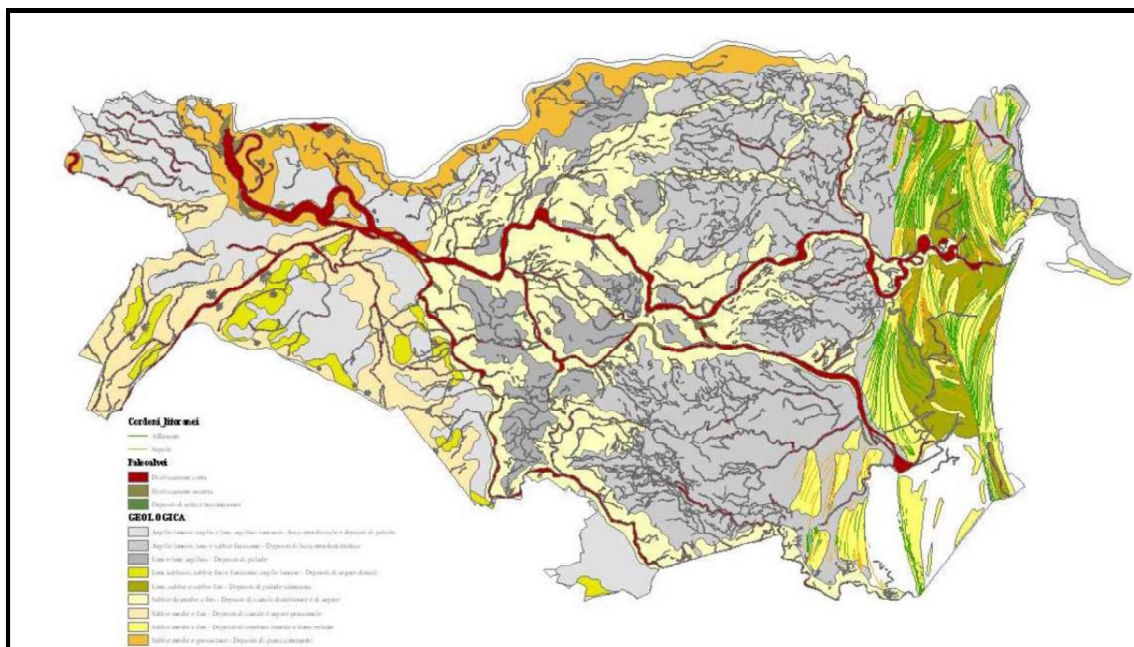


Stralcio della Cartografia Geologica e Pedologica del Servizio Geologico Regionale scala 1:250.000 in cui vengono schematizzati i principali ambienti deposizionali

La sovrapposizione delle carte geologica a scala 1:250.000, della CARG a scala 1:50.000 e della carta geomorfologia provinciale (realizzata alla scala 1:25.000) consente di osservare come la distribuzione dei terreni appartenenti alle varie classi granulometriche e' testimonianza dei meccanismi deposizionali

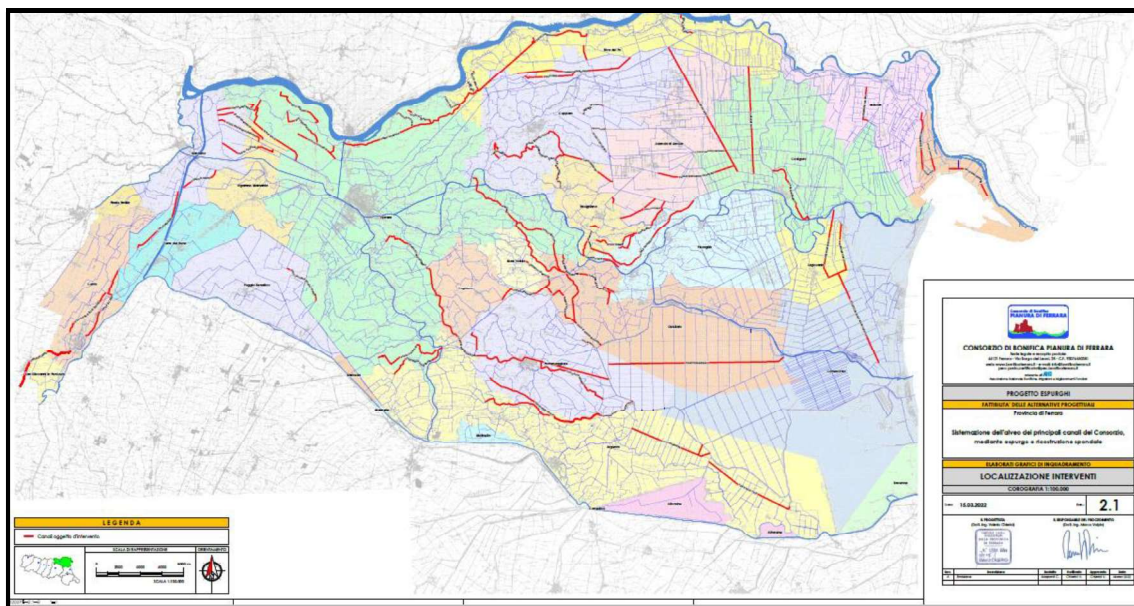


verificatisi nel territorio ferrarese. I materiali più grossolani (sabbie) sono concentrati nelle immediate vicinanze dei paleoalvei principali e nelle zone costiere, in relazione rispettivamente alla elevata energia di trasporto delle correnti di esondazione ed ai meccanismi di deposizione marina ed eolica, avvenuta principalmente in forma di cordoni litoranei. I terreni a grana fine si sono depositati nelle zone più distanti dai paleoalvei (bacini inter fluviali); la loro deposizione è da porsi in relazione con acque di esondazione caratterizzate da bassa energia di trasporto. In superficie le argille rappresentano la classe granulometrica a maggior diffusione anche nelle aree prossime ai paleoalvei a causa del progressivo esaurimento dell'energia di trasporto delle acque di esondazione della fitta rete idrografica che nel passato interessava la zona.



*Carta Geologica e Geomorfologica del territorio della Provincia di Ferrara (sovrapposizione carta geologica e geomorfologica)*

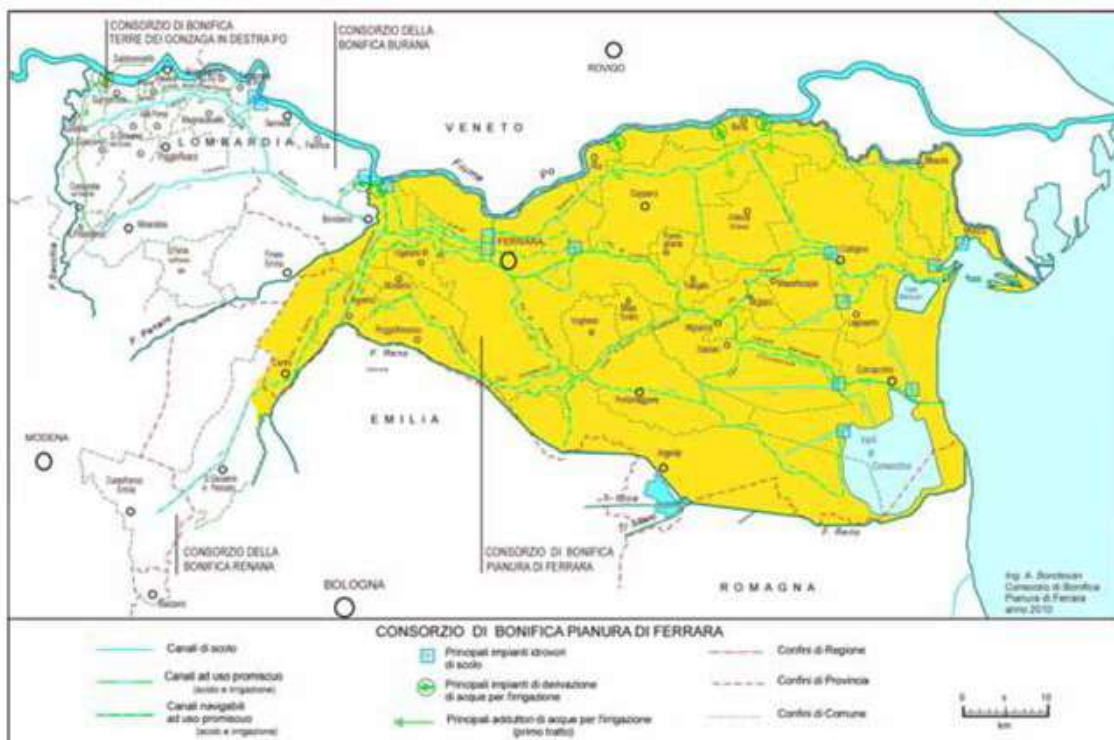
Immaginando a sua volta di sovrapporre la carta con la localizzazione degli interventi di seguito riportata alla carta Geologica e Geomorfologica si intuisce subito i diversi ambienti deposizionali che i canali consorziali (segnati in rosso) intersecano con tutte le diverse complessità geomorfologiche del caso.



*Carta localizzazione degli interventi di progetto sui principali canali Consorziali*

### 3.6 IDROGRAFIA SUPERFICIALE

Il Bacino Idrografico Burana-Volano è definito da quella parte di territorio le cui acque trovano recapito a mare nel tratto costiero compreso fra la foce del Po di Goro e la foce del Reno. I principali corsi d'acqua preposti a tale recapito a mare sono, da nord a sud, il Canal Bianco (che sbocca nella Sacca di Goro), il sistema Po di Volano-Canale Navigabile (il primo in Sacca di Goro e il secondo direttamente in mare) e il canale Logonovo di collegamento delle Valli di Comacchio con il mare. Sempre fra la foce del Po di Goro e la foce del Reno riversano acque in mare anche l'Impianto Idrovoro Bonello (in Sacca di Goro), l'Impianto Idrovoro Giralda (in Sacca di Goro), la vecchia foce del Po di Volano (che consente rapporti idraulici tra Sacca di Goro, Valle Bertuzzi e Lago delle Nazioni) e il Canale Gobbino (che - assieme al Navigabile e al Logonovo - mette in comunicazione con il mare le Valli di Comacchio).



L'estensione totale del bacino è di 324.000 ha, tutti in pianura; di questi, oltre 130.000 ha, sono situati a quota inferiore al livello del mare, le pendenze sono generalmente minime spesso inferiori allo 0,05 per mille. Nella figura di seguito riportata si può vedere la parte della provincia di Ferrara posta sotto il livello medio marino, dove l'azione della bonifica è stata particolarmente importante per l'antropizzazione del territorio.





Il sistema dei canali interni al territorio ferrarese è ricompreso quasi interamente nel bacino idrografico Burana-Volano-Canal Bianco.

Il territorio del Bacino Burana Volano si può suddividere, a grandi linee, in cinque aree ben caratterizzate altimetricamente.

La prima, più alta, è quella compresa fra Bazzano, Castelfranco Emilia e S. Giovanni in Persiceto, che si può paragonare ad un piano degradante verso nord nord-est da 70 a 30 m di quota.

Le altre quattro aree sono tutte conformate a catino e sono:

- L'area compresa fra i tratti terminali del Secchia e del Panaro. Questo territorio misura 66.500 ettari, recapita le sue acque nel Po di Volano attraverso la Botte Napoleonica, che sottopassa il fiume Panaro e porta le acque verso est con il Canale Emissario di Burana. A sua volta è costituito dai territori altimetricamente più bassi appartenenti al Consorzio di Bonifica di Burana (52.800 ettari) e del Consorzio di Bonifica Terre dei Gonzaga in Destra Po (13.700 ettari). Complessivamente appartiene al Bacino un'area lombarda di circa 30.000 ettari e un'area di circa 25.700 ettari ricadenti nella provincia di Modena. L'area è alta fino a 20 m s.l.m. degradante verso est;
- L'area a Sud-Ovest di Ferrara, discretamente alta e irregolarmente degradante verso levante, sbarrata dal Po di Primaro, che costituisce l'ex Consorzio di Bonifica Valli di Vecchio Reno, con una estensione di 413.200 ettari;
- L'area "polesine", a nord del Po di Volano (91.100 ettari), con i margini rilevati costituiti dalla fascia costiera e dai corsi d'acqua ad essi esterni (Panaro, Po, Poatello-Volano, Po di Goro), con vaste depressioni interne (circa la metà del territorio consortile) che si spingono fino a 4 m al di sotto del livello del mare. Questa area costituisce l'ex Consorzio di Bonifica I Circondario Polesine di Ferrara.
- L'area "polesine", a sud del Po di Volano (119.500 ettari), con i margini rilevati costituiti dalla fascia costiera e dai corsi d'acqua ad essi esterni (Panaro, Po di Primaro, Reno), con vaste depressioni interne (circa la metà del territorio consortile) che si spingono anche in questo caso fino a 4 m al di sotto del livello del mare. Questa area costituisce l'ex Consorzio di Bonifica II Circondario Polesine di S. Giorgio.

Il bacino idrografico Burana-Po di Volano può essere suddiviso dal punto di vista idraulico in tre sistemi principali:

**1) Sistema delle acque esterne**, composto dai cinque grandi ambienti di contorno dell'intero bacino:

- Fiume Po Grande –Po di Goro (a Nord)
- La sacca di Goro
- Fiume Panaro, fiume Secchia (a Ovest)
- Fiume Reno (a Sud) e Cavo Napoleonico
- Mare Adriatico

**2) Sistema delle acque interne** composto dal reticolo principale del bacino (la cui gestione è di competenza in parte del Servizio Tecnico di Bacino ed in parte dei Consorzi di Bonifica)

- il Canale Burana e il suo prolungamento oltre il Panaro, chiamato Canale Emissario di Burana
- il Canale Pilastresi, tra Bondeno e Stellata, che, come si dirà in seguito, in fase di scolo può recapitare parte delle acque del Collettore di Burana al Po, tramite l'Idrovoro Pilastresi
- il Canale Boicelli, che in condizioni ordinarie scola da nord a sud ed è tributario del Po di Volano
- il Po di Volano, che per la funzione scolante può esser considerato suddiviso in tre tronchi: quello tra Ferrara e Migliarino (località Fiscaglia), con flusso da ovest a est; quello tra Migliarino e la Chiusa di Tieni, che attualmente, in condizioni di scolo ordinarie scorre prevalentemente da ovest a est; quello a valle della Chiusa di Tieni, che scorre da ovest a est e sbocca nella Sacca di Goro
- Po di Primaro, risulta suddivisibile in due tratti: il primo, compreso tra Ferrara e S.Nicolò, mentre il secondo si estende da S.Nicolò fino a Traghetto.
- In prossimità della località S.Nicolò il Po di Primaro riceve l'apporto di maggiore entità proveniente dalla fossa Cembalina
- il Canale Navigabile, che scorre da ovest a est, tra Migliarino e il mare, convogliando soprattutto le acque dei primi due tronchi del Po di Volano

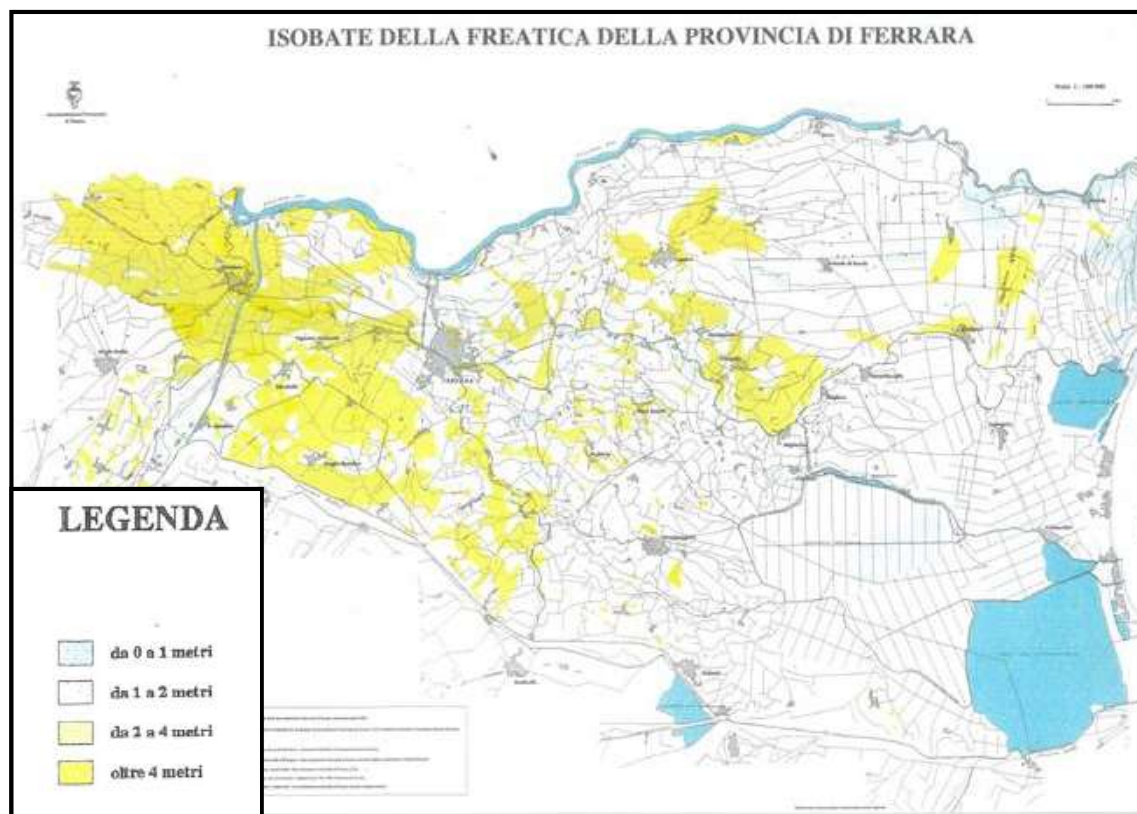
- il Canale Fosse-Foce, che avvia al mare le acque di aree poste a sud-ovest delle Valli di Comacchio
- il Canale Logonovo che recapita in mare le acque del precedente Canale Fosse Foce ed agevola, in casi di piena, il deflusso delle acque del Canale Navigabile
- il Canale Gobbino, che mette in comunicazione diretta le Valli di Comacchio e le Vene di Bellocchio col mare.

**3)Sistema delle acque interne** rappresentato dal reticolo idrografico di bonifica (di competenza dei Consorzi di Bonifica), costituito dalla restante parte dei canali interni preposti sia allo scolo che alla irrigazione, in prevalenza connessi con il sistema del reticolo principale del bacino

### ***3.7 LA FALDA FREATICA E LE PRINCIPALI PROBLEMATICHE AD ESSA CONNESSE***

I terreni del Ferrarese hanno una notevole fertilità grazie soprattutto alla presenza di una falda freatica continua, ricca e generalmente situata a profondità ridotta, decrescente da ovest verso est (Bondesan A., Dugoni, Freddi, Montani, Osti, 1995). Nella zona dell'Alto Ferrarese si raggiungono profondità di circa 4 metri rispetto al piano di campagna, mentre lungo la costa la profondità diminuisce notevolmente e si attesta su medie di circa 0-2 metri dal suolo.





Nel bilancio delle acque freatiche gli ingressi sono costituiti non solo dalle precipitazioni palesi (pioggia, neve e grandine) ed occulte (fenomeni di condensazione al suolo), ma anche dalle acque cedute al terreno dai fiumi e, soprattutto, dall'irrigazione.

Gioca un ruolo notevole, in questo quadro, anche la presenza di paleoalvei, di antichi cordoni litoranei e di altri corpi sedimentari ad alta permeabilità, che costituiscono delle fasce di alimentazione, ossia di ingresso in falda delle acque superficiali, nonché di distribuzione delle stesse alle aree adiacenti.

E' evidente che la superficialità della falda può dar luogo a fenomeni di allagamento: infatti, se la superficie freatica supera il livello del suolo, ad esempio in momenti di forte piovosità, si produce un allagamento, che persiste fintanto che rimane tale questa condizione geometrica; se si prescinde dall'evaporazione, solo l'azione di drenaggio esercitata da una efficiente rete di scolo può variare tale condizione e risolvere, o addirittura prevenire l'allagamento. E' prevalentemente questa la problematica che entra in gioco nel cosiddetto "allagamento da canali". Per lo più, infatti, non si tratta di allagamenti prodotti da esondazione di canali, quanto di squilibri, più o meno duraturi, in determinate parti del territorio tra gli afflussi meteorici e l'azione di

deflusso esercitata dal sistema di scolo.

La suddetta relazione tra superficie freatica e livello del suolo è importante anche come possibile causa di allagamenti fluviali.

Uno degli aspetti più complessi della situazione delle acque sotterranee in un territorio di bassa pianura, come quello ferrarese, è infatti costituito da fenomeni di sortumazione e fontanazzi a fianco dei fiumi (Bondesan A., Dugoni, Freddi, Montani, Osti, 1995). Entrambi i fenomeni sono legati al fatto che, in corrispondenza di alti livelli idrometrici nei fiumi, il livello piezometrico delle acque freatiche nelle campagne adiacenti si innalza fino a superare il livello del suolo: quando i terreni presentano una permeabilità abbastanza uniforme si producono progressivi ma limitati allagamenti, i cosiddetti fenomeni di sortumazione; quando invece la permeabilità non è uniforme e si individuano linee di flusso preferenziale delle acque, si verificano i fontanazzi.

Fra questi possiamo distinguere i cosiddetti fontanazzi bianchi, nei quali affiora solo acqua, e fontanazzi scuri o neri, nei quali l'acqua appare torbida. Questi ultimi sono evidentemente i più pericolosi perché indicano che l'acqua, fluendo, sta già esercitando un'azione erosiva entro o sotto l'argine, il che potrebbe comprometterne la stabilità.

### **3.8 RISCHIO IDRAULICO**

L'intero territorio ferrarese, caratterizzato da un delicato equilibrio idraulico, non di rado evidenzia marcate criticità in concomitanza di abbondanti precipitazioni, associate a condizioni di scarsa ricettività del Mar Adriatico (innalzamento del l.m.m. e forti venti di Scirocco). In queste circostanze, il rischio di alluvione per sormonto o cedimento arginale del Po di Volano (tratti critici in corrispondenza di Massafiscaglia e Codigoro) e del Navigabile, è stato evitato grazie ad alcuni interventi specifici e gestione coordinata delle aperture ai sostegni di Valpagliaro, Tieni e Valle Lepri ed il severo controllo degli scarichi meccanici dagli adiacenti bacini di scolo. La rete delle acque interne presenta un insieme di criticità causate dalla compresenza di diversi fattori:

- il sempre più esteso uso promiscuo dei canali consortili, con riduzione del volume utile di invaso della rete di scolo;
- l'ampliamento delle aree urbanizzate e di conseguenza della impermeabilizzazione del comprensorio provinciale, con relativo aumento delle portate e riduzione dei tempi di corrivazione nei collettori di bacino;

- la subsidenza, a cui è soggetto il territorio, i cui terreni in molti casi sono caratterizzati da spessi strati torbosi; minore efficienza dei fossi interpoderali, in gran parte eliminati e carenti di manutenzione, l'espansione del drenaggio sotterraneo.

A quanto appena descritto, si aggiungono diffuse tracimazioni ed allagamenti che spesso interessano alcune aree abitate, a causa dell'interconnessione del reticolo fognario con quello consortile. Tale problematica è a prevalente carattere stagionale (primavera ed estate), in corrispondenza dei periodi di maggiore irrigazione, quando precipitazioni brevi ed intense da convezione, non vengono drenate dalla rete di scolo, in quanto l'invaso risulta parzialmente riempito dalle acque per uso irriguo. Similmente, ma con conseguenze meno significative, il problema ha interessato anche le campagne, ove sono venuti progressivamente a mancare quei volumi diffusi di invasore, costituiti da ampie "affossature", da maceri onnipresenti e dalla stessa baulatura dei campi, che un tempo conferivano al territorio una grande capacità di deflusso degli apporti meteorici. Si somma a quanto esposto, un progressivo logoramento delle numerose opere idrauliche esistenti, spesso vetuste e non più adeguate alla maggiore richiesta di sicurezza idraulica; non ultime le modificazioni climatiche, che sembrano proporre con sempre maggiore frequenza eventi meteorici di grande intensità, con punte estreme relativamente circoscritte nel tempo e nello spazio. Risulta necessario quindi sviluppare una sempre maggior interazione, collaborazione e coordinamento fra Comuni, Consorzi di Bonifica ed Enti Gestori dei sistemi fognari che si basi sugli strumenti di pianificazione territoriale (PTCP, PSC, RUE e POC), che contengano contenere previsioni, vincoli e opportunità relativi al problema idraulico.

**Il progetto di intervento del Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara oltre a prevedere il ripristino dell'efficienza idraulica dei canali più importanti dei vari bacini del territorio consorziale, mediante espurgo dell'alveo ed eventuale contestuale ripresa di sponde franate e/o realizzazione di difese antierosive, è finalizzato anche a mitigare il rischio idraulico a seguito delle considerazioni sopra illustrate**



## 4 CONSIDERAZIONI GEOTECNICHE DI MASSIMA

Come ampiamente illustrato, i terreni presenti sul territorio provinciale ferrarese possono andare dalle deposizioni granulari d'origine eolica e fluviale (dune, cordoni sabbiosi, ventagli di rotta, paleo alvei) alle deposizioni fini di piana alluvionale, depressione interalvea, valle/palude. Si riscontrano sabbie, limi, argille, argille organiche e tutte le miscele possibili fra questi termini, si riscontrano anche ampie deposizioni di argille organiche e/o torbose e torbe tipiche di ambienti vallivi.

Dal punto di visto geotecnico, le maggiori penalizzazioni derivano dalla presenza dei termini fini e organici. È possibile affermare che, poichè i corpi sabbiosi si dispongono in lenti festonate sospese, che normalmente denota spessori inferiori alle deposizioni fini, saranno le attitudini di queste ultime deposizioni a regolare l'interazione di qualsiasi tipo di intervento con i terreni di fondazione.

I terreni granulari sabbiosi sono generalmente caratterizzati da buona portanza e scarsa cedevolezza.

I terreni fini/coesivi sono normalmente caratterizzati dalle seguenti caratteristiche:

- scarsa portanza/alta compressibilità/cedevolezza.

- maturazione di cedimenti di grande entità e prolungata durata nel tempo della loro maturazione. Ciò è dovuto anche al fatto che tali terreni sono, in larghissima misura, in condizioni sature non drenate e tali condizioni non consentono la dispersione delle sovrappressioni (causate dall'immissione di carichi superficiali, derivanti dalle realizzazione delle opere) data la natura petrografica dei terreni stessi. La dispersione delle sovrappressioni può avere durate temporali che si protraggono anche per anni.

I terreni coesivi sono poi sensibili alle variazioni di umidità naturale in essa contenuti, la variazione del livello della falda freatica (di cui si dirà più oltre) può far variare in maniera anche notevole le loro caratteristiche geotecniche ed il loro volume. Il medesimo suolo argilloso può passare dalla condizione sovra consolidata in assenza di umidità/acqua di falda, alla condizione plastica (o peggio) in condizioni sature/non drenate.

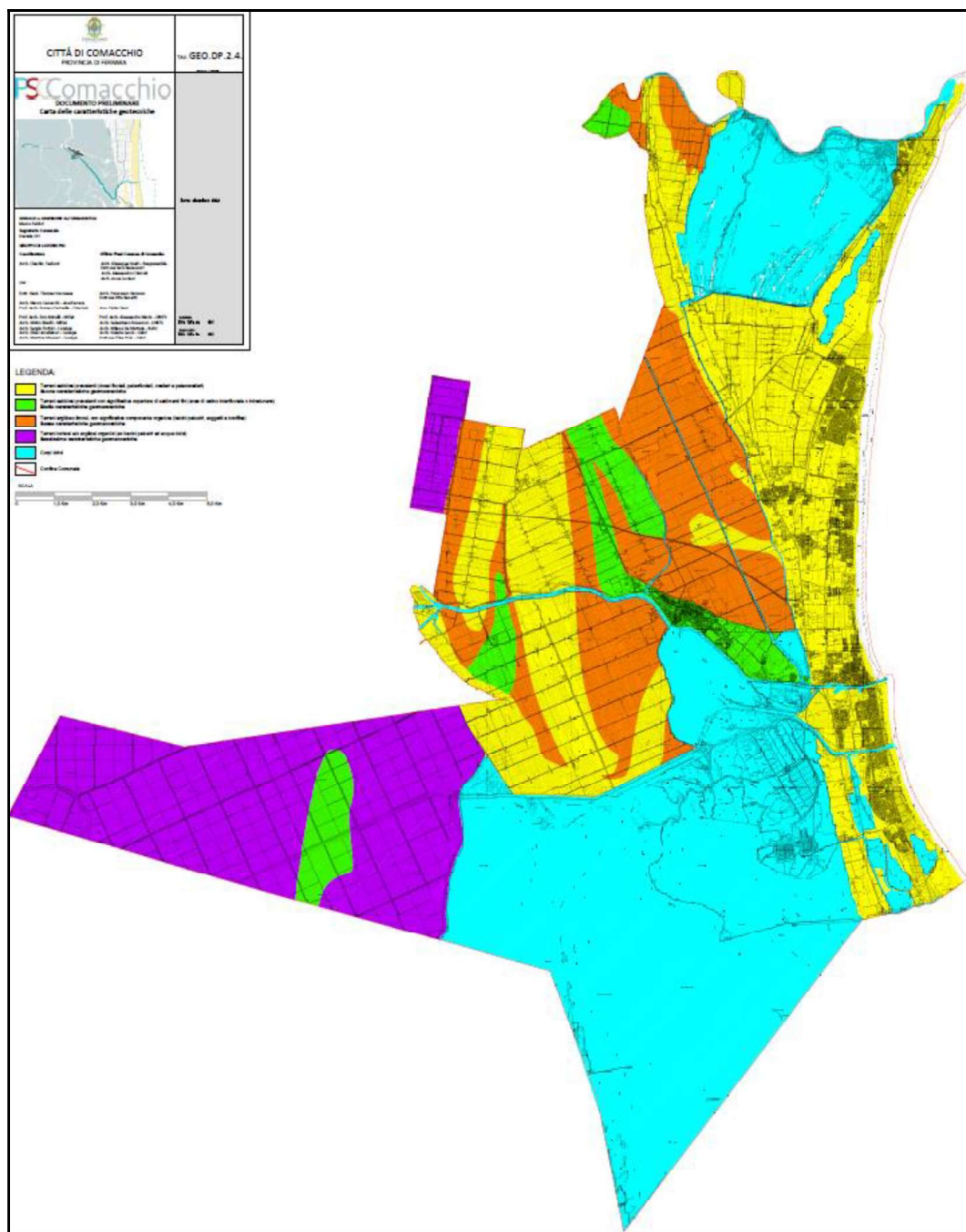
Tutte queste caratteristiche portano a penalizzazioni edificatorie che dovranno essere tenute in attenta considerazione in fase progettuale. Nelle argille organiche/torbose/torbe dette caratteristiche geotecniche sono ulteriormente penalizzanti in quanto terreni a forte componente organica hanno la spiacevole caratteristica di esser fortemente anisotropi sia in senso spaziale che temporale. Ovvero la maturazione dei cedimenti non segue uno schema prevedibile e può essere fortemente influenzato rispetto alle argille inorganiche dalla maggior presenza della componente acqua e dai suoi meccanismi e tempi di variazione. Naturalmente poi la componente organica cede maggiormente di quella “semplicemente” argillosa (che già cede molto).

All'atto di un eventuale scuotimento sismico le argille particolarmente soffici possono causare cedimenti post- sismici, le sabbie monogranulari e sature possono liquefarsi e quindi causare anche loro cedimenti sismici e post- sismici. Questi due temi sono molto più complessi di quanto qui brevemente riportato e richiederebbero una trattazione ampiamente più estesa che affronteremmo successivamente.

Di seguito vengono riportati stralci di carte geotecniche ricavate dai PSC dei Comuni più importanti che ricoprono quasi totalmente il territorio provinciale ferrarese.

Si può chiaramente osservare che le parti di territorio caratterizzate da terreni argillosi, terreni argillo limosi e terreni argillso organici/torbosi sono le più penalizzate dal punto di vista geotecnico rispetto a quelle parti di territorio in cui si hanno terreni granulari sabbiosi che evidenziano un miglior comportamento geomeccatico.

Naturalmente la presenza della falda freatica superficiale in relazione alle condizioni altimetriche del territorio possono influire in modo da rendere tali terreni più o meno penalizzati geomeccanicamente.

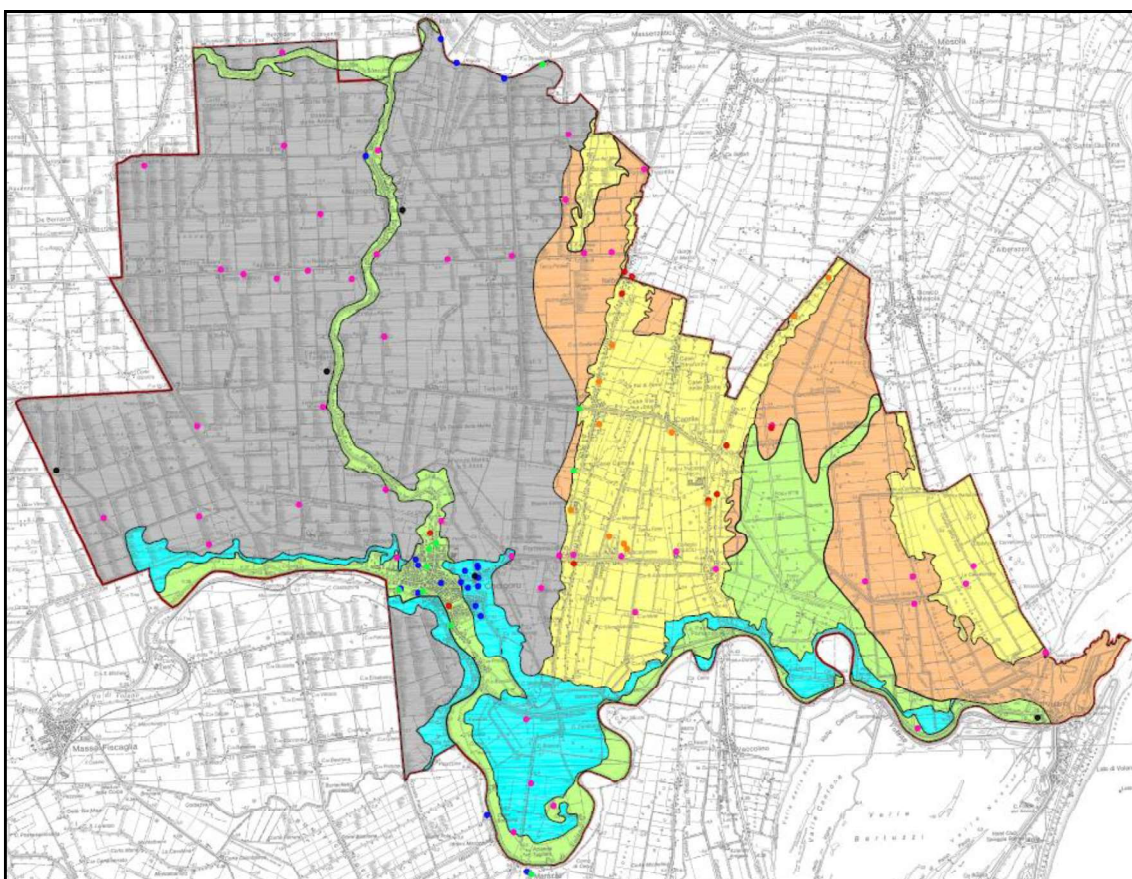






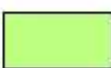
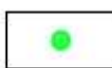




### LEGENDA:

- Terreni sabbiosi prevalenti (dossi fluviali, paleofluviali, costieri e paleocostieri)  
Buone caratteristiche geomeccaniche
- Terreni sabbiosi prevalenti con significativa copertura di sedimenti fini (aree di catino interfluviale o intradunare)  
Medie caratteristiche geomeccaniche
- Terreni argilloso limosi, con significativa componente organica (bacini palustri, soggetti a bonifica)  
Basse caratteristiche geomeccaniche
- Terreni torbosi e/o argillosi organici (ex bacini palustri ad acque dolci)  
Bassissime caratteristiche geomeccaniche
- Corpi idrici
- Confine Comunale

*Carta delle caratteristiche geotecniche- PSC Comune di Comacchio*

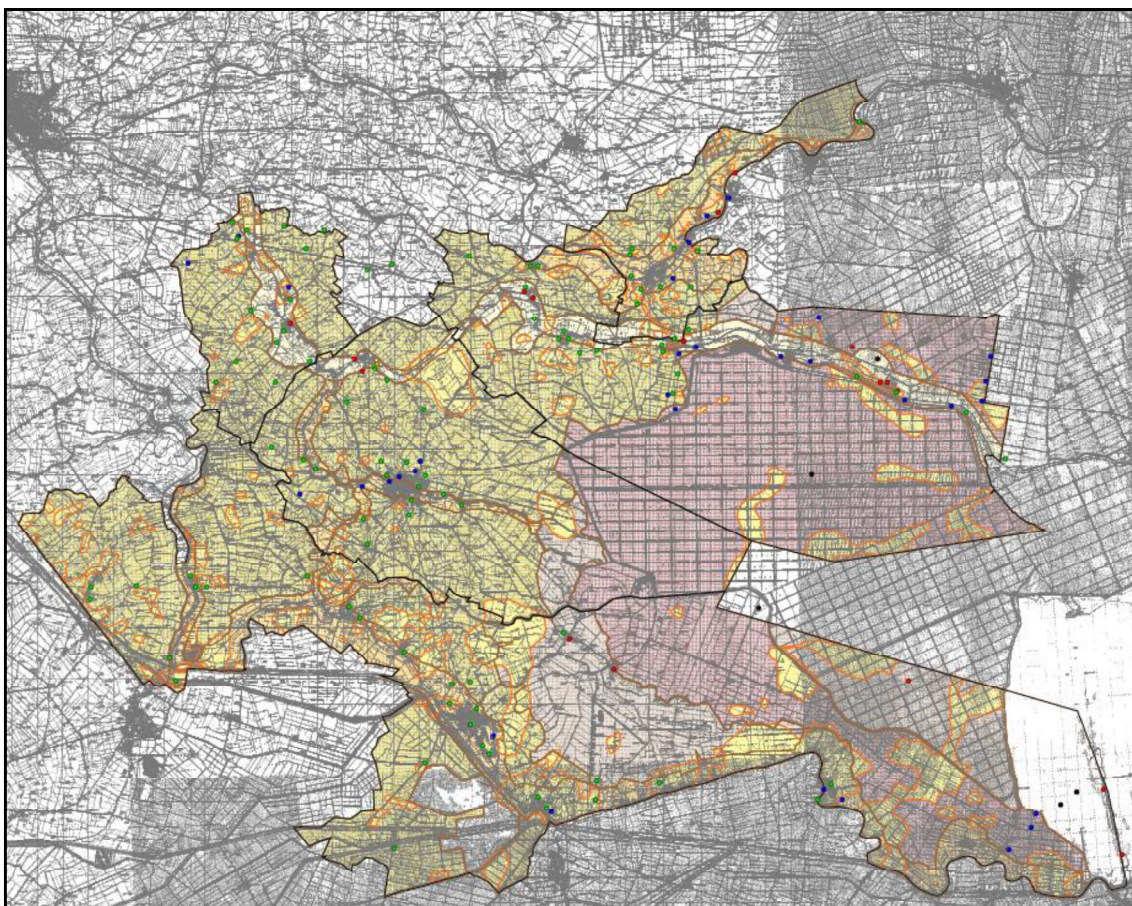




Classificazione dei terreni		Classificazione CPT	
	Molto scarse		CPT Molto Scarsa
	Scarse		CPT Scarsa
	Medie		CPT Media
	Buone		CPT Buona
	Molto buone		CPT Molto Buona

Carta delle qualità geotecniche – Allegato N.1 PSC Comune di Codigoro





#### Legenda

□ Confini comunali

Classificazione delle prove penetrometriche statiche in funzione dei valori di resistenza alla punta

- Molto basse
- Basse
- Medie
- Alte
- Molto alte

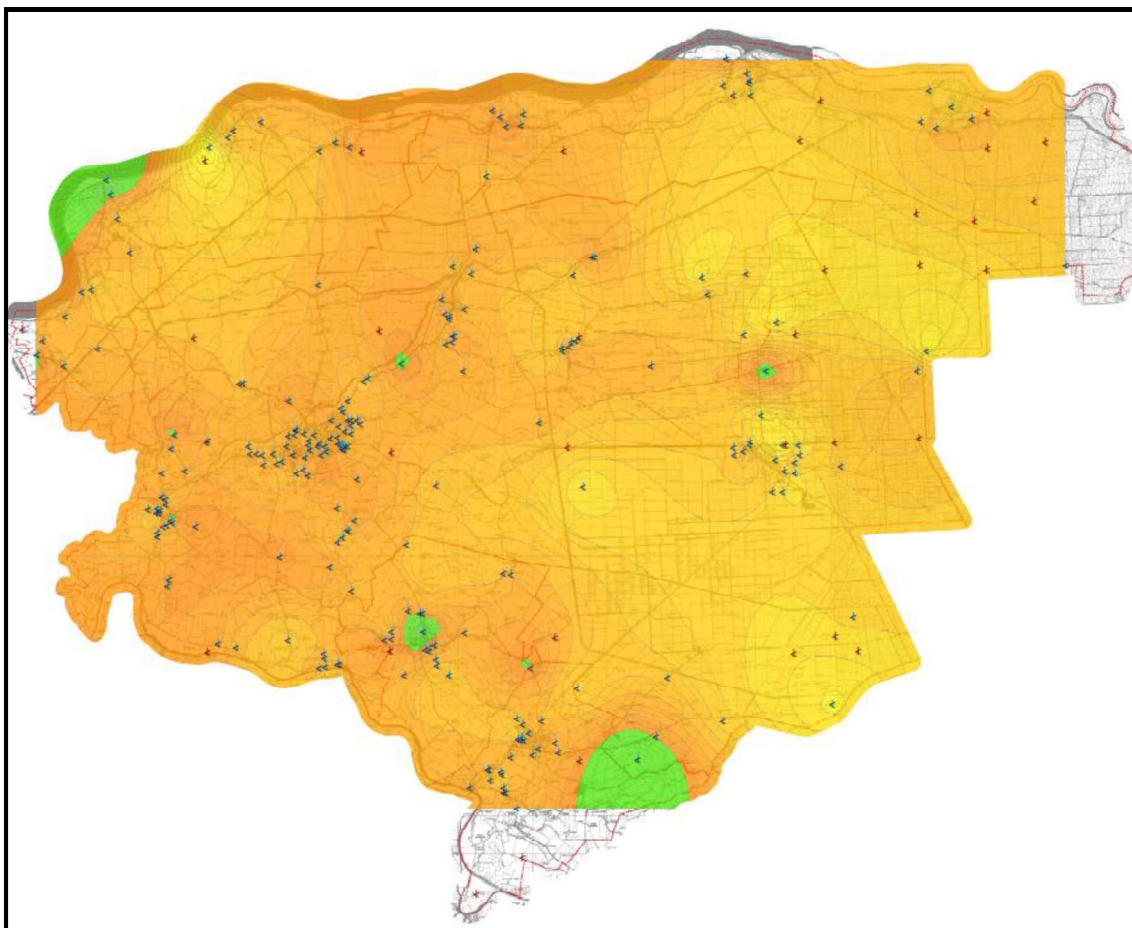
■ Litologie di superficie a componente sabbiosa

Caratteristiche geotecniche indicative

- Molto scarse
- Scarse
- Medie
- Buone
- Molto buone

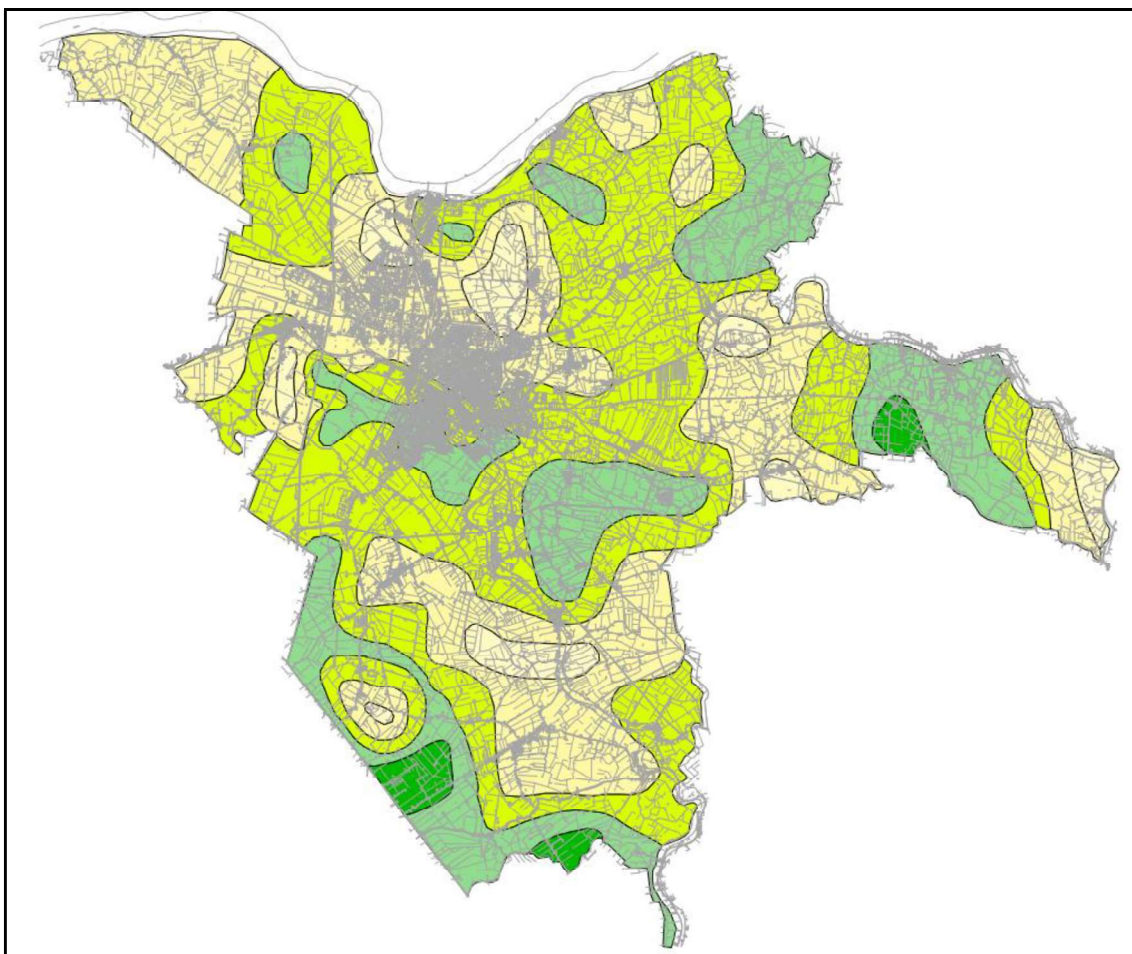




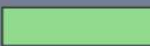

*Carta delle qualità geotecniche- Tav B.2.8 PSC Comuni di Argenta, Migliarino, Ostellato, Portomaggiore, Voghiera (Unione dei Comuni Valli e Delizie)*



Carta delle caratteristiche geotecniche – TAV. 12A PSC Unione dei Comuni Terre e Fiumi

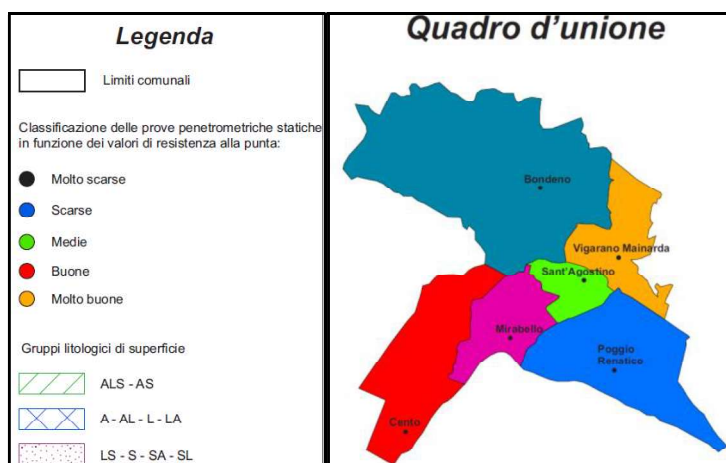
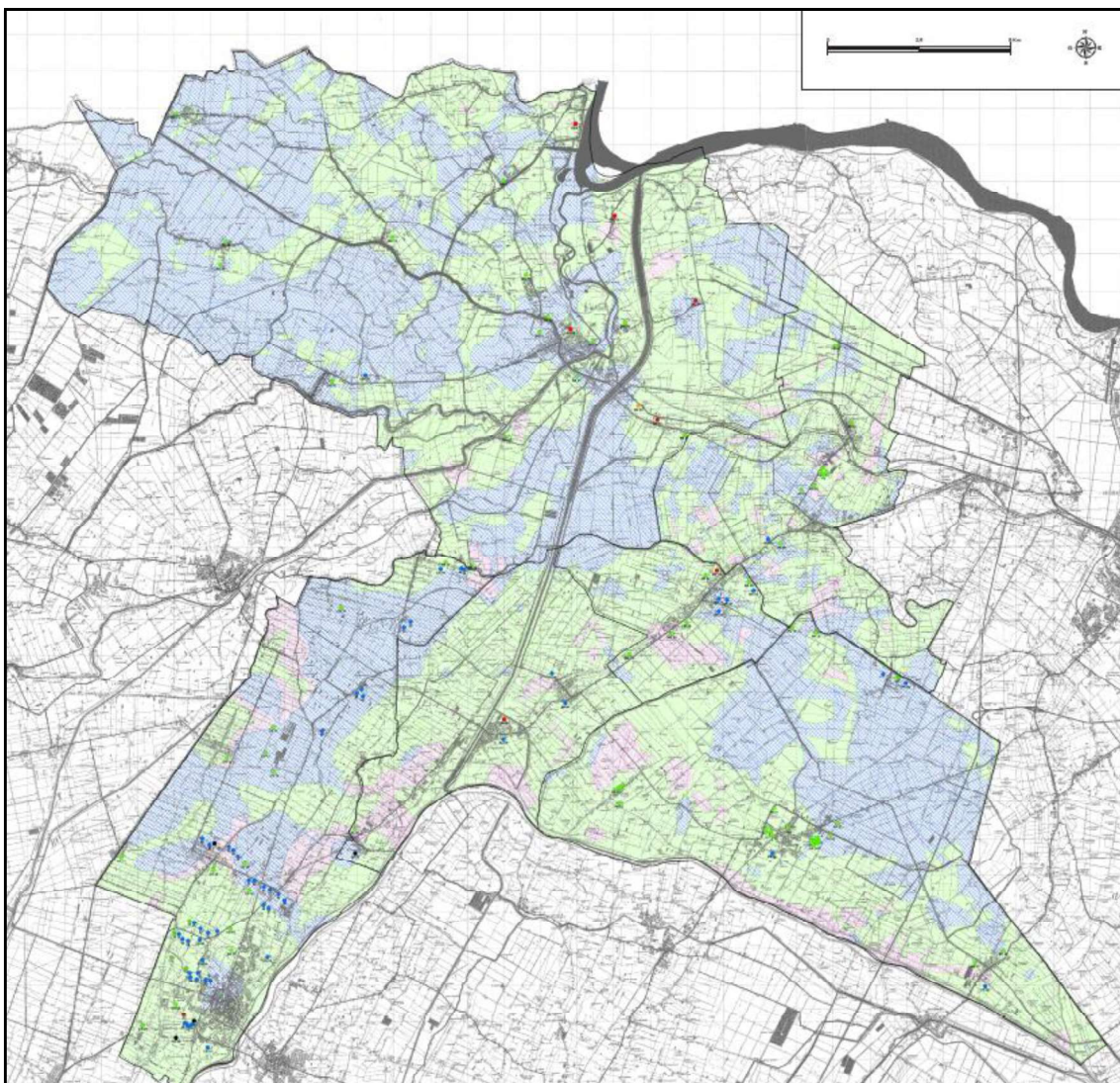




COMPRESSIBILITA'	CONSISTENZA	
bassa	compatta	
medio - bassa	media	
media	molle	
alta	molto molle	
altissima	inconsistente	

*Carta Geotecnica schematica- Tav. 1/02.13 PSC del Comune di Ferrara*





*Carta delle qualità geotecniche Geotecnica – Tav. N° B2.8 Comuni del PSC Unione dei Comuni Alto Ferrarese*

## 5 SISMICITA' NELLA PROVINCIA DI FERRARA

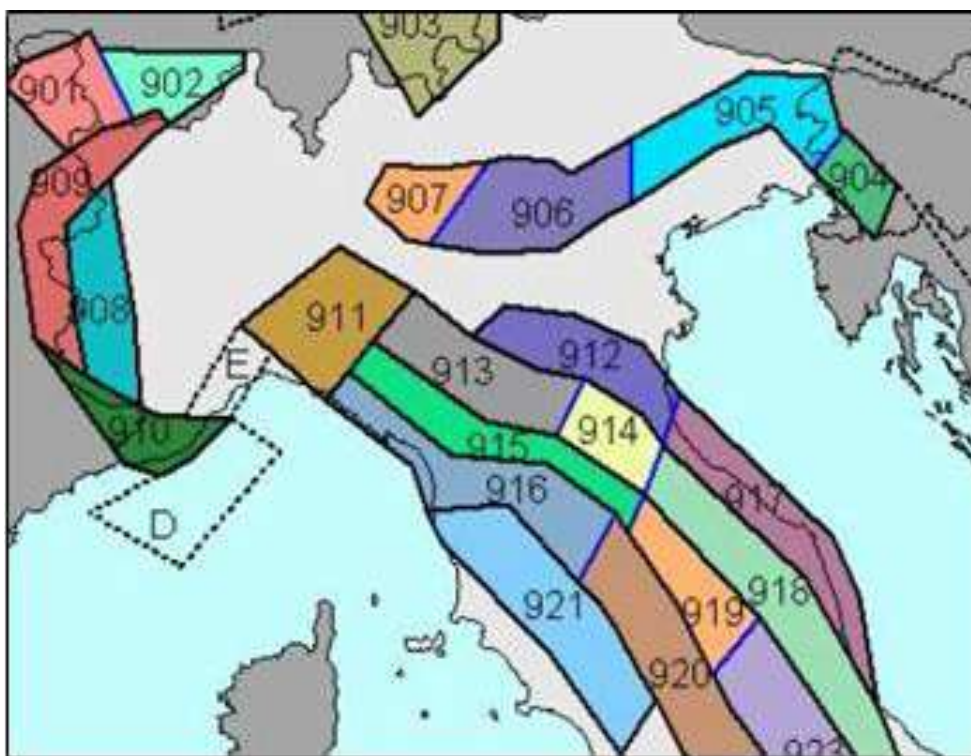
### 5.1 RISCHIO SISMICO

Con il termine “rischio sismico” si intende la stima dei danni attesi in un dato intervallo di tempo, in base al tipo di sismicità, di resistenza delle costruzioni e grado di antropizzazione e viene convenzionalmente espressa dalla relazione:

$$\text{Rischio} = \text{Pericolosità} \times \text{Vulnerabilità} \times \text{Esposizione}$$

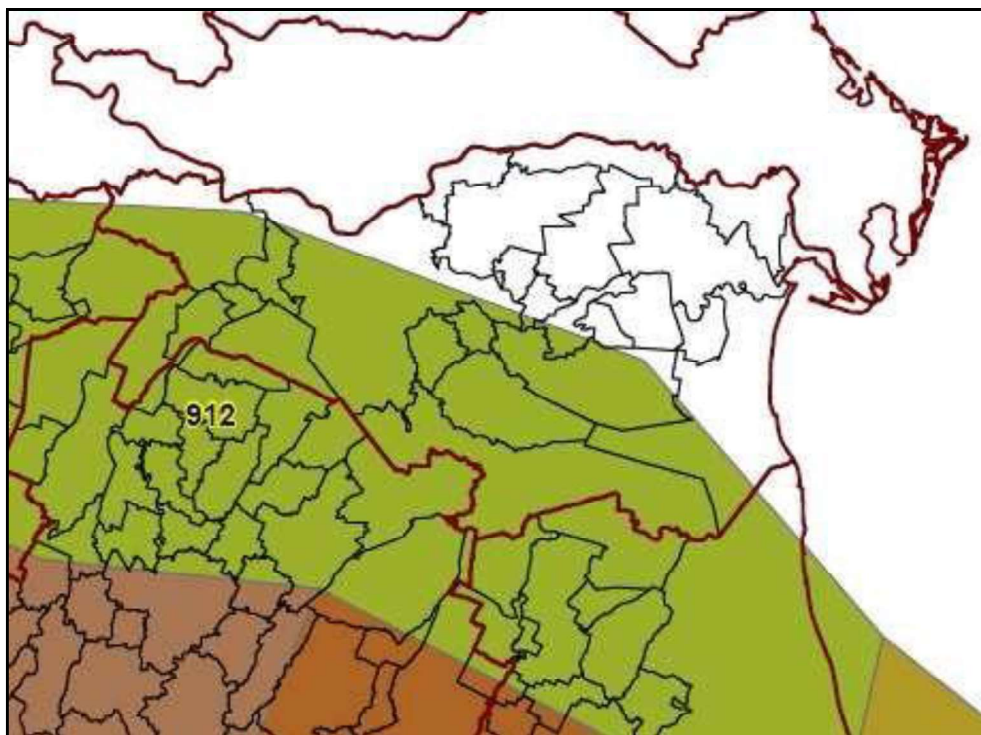
La valutazione del rischio sismico nel territorio provinciale oltre ad essere uno degli adempimenti previsti dalla normativa nazionale e regionale per quanto concerne le procedure di formazione ed approvazione degli strumenti di pianificazione territoriale, si rende necessaria vista la presenza di strutture sismogenetiche che interessano il sottosuolo ferrarese.

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 in Italia, il territorio in esame ricade all'interno della Zona 912 che rappresenta la fascia più esterna dell'arco appenninico settentrionale, dove la sismicità è correlabile alla tettonica attiva del fronte compressivo del margine appenninico sepolto, che giunge fino all'attuale Po come già anticipato precedentemente nell'inquadramento geologico.



Zonazione sismogenetica ZS9



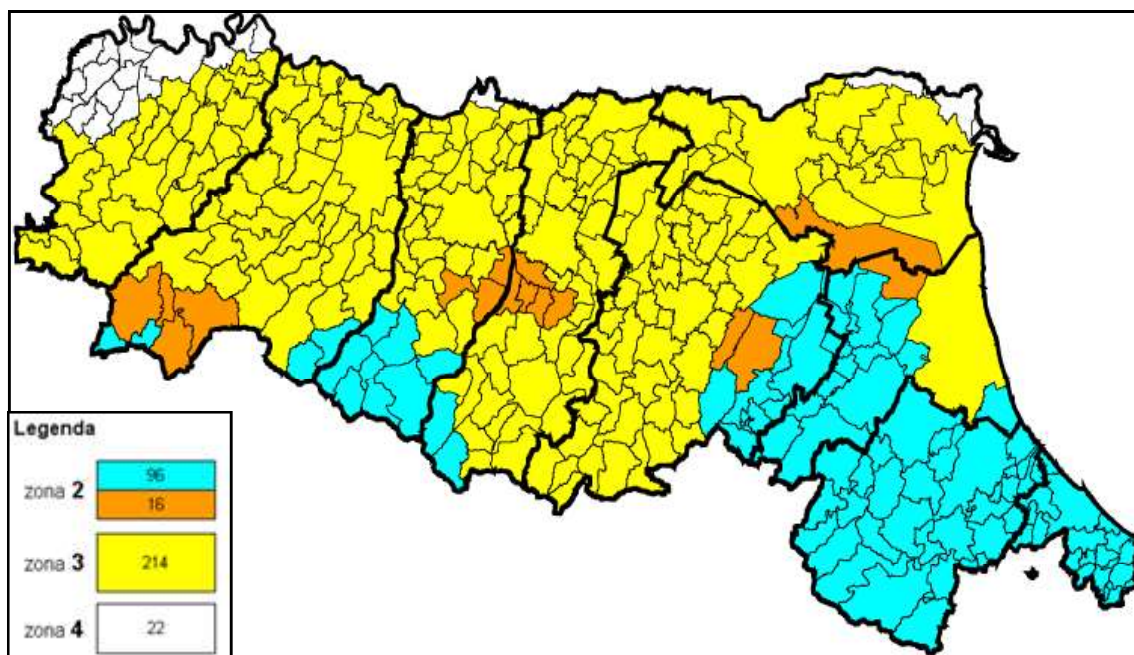


*Stralcio della Zona Sorgente 912 tratta dalla Zonazione Sismigenetica ZS9, relativo all'area ferrarese*

All'interno di questa zona, vengono distinte le fasce ITCS012 Malalbergo-Ravenna, ITCS050 Poggio Rusco-Migliarino e ITCS051 Novi-Poggio Renatico, queste ultime due, individuate come sorgenti degli eventi sismici del Maggio 2012 oltre che all'origine dei terremoti che in passato hanno determinato il sollevamento delle dorsali di Ferrara e Mirandola.

Per quanto concerne la classificazione sismica, con la DGR n. 1677/2005, la Regione Emilia Romagna ha riconosciuto la classificazione di tutti i 341 Comuni del territorio regionale, distinguendo 105 Comuni in "zona 2 a sismicità media", 214 Comuni in "zona 3 a sismicità bassa" ed i restanti 22 in "zona 4 a sismicità molto bassa".

Nella Provincia di Ferrara, precedentemente classificata come non sismica, il Comune di Argenta è stato inserito in zona 2, quelli di Berra, Goro e Mesola in zona 4 ed i restanti 22 comuni in zona 3.



COMUNE	Categoria secondo la classificazione precedente	Categoria secondo la proposta del GdL del 1998	Zona ai sensi dell'OPCM 3274 (2003)	
ARGENTA	N.C.	II	2	
BONDENO	N.C.	III	3	
CENTO	N.C.	III	3	
CODIGORO	N.C.	III	3	
COMACCHIO	N.C.	III	3	
COPPARO	N.C.	III	3	
FERRARA	N.C.	III	3	
FORMIGNANA	N.C.	III	3	
JOLANDA DI SAVOIA	N.C.	III	3	
LAGOSANTO	N.C.	III	3	
MASI TORELLO	N.C.	III	3	
MASSA FISCAGLIA	N.C.	III	3	
MIGLIARINO	N.C.	III	3	
MIRABELLO	N.C.	III	3	
OSTELLATO	N.C.	III	3	
POGGIO RENATICO	N.C.	III	3	
PORTOMAGGIORE	N.C.	III	3	
RO	N.C.	III	3	
SANT'AGOSTINO	N.C.	III	3	
VIGARANO MAINARDA	N.C.	III	3	
VOGHIERA	N.C.	III	3	
TRESIGALLO	N.C.	III	3	
MIGLIARO	N.C.	III	3	
BERRA	N.C.	N.C.	4	



MESOLA	N.C.	N.C.	4	
GORO	N.C.	N.C.	4	

La pericolosità sismica di un territorio dipende essenzialmente da due componenti:

- **PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE** legata alle caratteristiche sismiche dell'area, ovvero alle sorgenti sismiche, all'energia ed alla frequenza dei terremoti attesi
- **PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE**, che dipende dalle caratteristiche geologiche e morfologiche del territorio, in quanto alcuni depositi e forme del paesaggio possono influire sulla propagazione delle onde sismiche in superficie e dar luogo ad “effetti di sito” o “effetti locali”, quali fenomeni di amplificazione o di instabilità dei terreni

La prima componente, di cui si è già precedentemente parlato, viene valutata sia attraverso lo studio degli eventi sismici del passato, sia attraverso un continuo monitoraggio del territorio mediante la rete sismometrica e accelerometrica nazionale e locale.

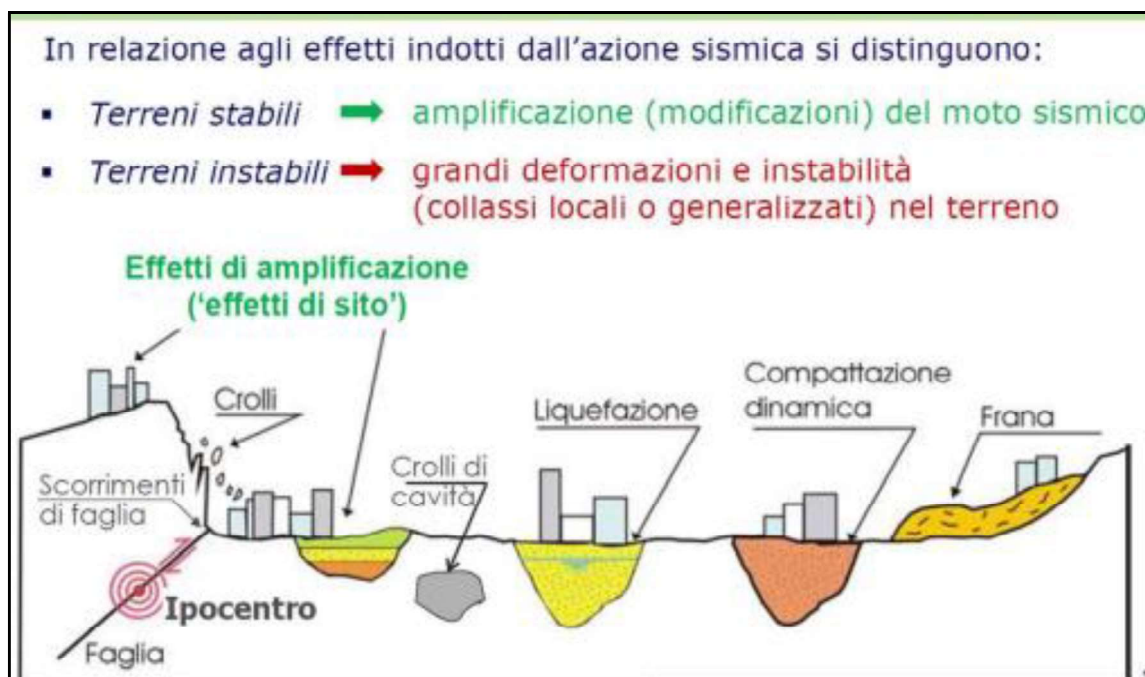
Gli studi della pericolosità sismica locale, particolarmente utili ai fini della pianificazione urbanistica e per la localizzazione di strutture strategiche, vengono invece condotti a livello locale al fine di individuare le aree in cui, in occasione di eventi sismici, possono verificarsi effetti locali (microzonazione sismica del territorio).

Lo studio della pericolosità sismica locale è condotto a scala di dettaglio, partendo dai risultati degli studi di base ed analizzando i caratteri geologici, geomorfologici, geotecnici e geofisici del sito, permette di definire le amplificazioni locali (F.A.) e la possibilità di accadimento di fenomeni di instabilità del terreno. Il prodotto più importante di questo genere di studi, particolarmente utili ai fini della pianificazione territoriale e per la localizzazione di strutture strategiche, è la carta di microzonazione sismica.

A questo proposito la Regione Emilia Romagna, con i D.G.R. n. 112 del 2 maggio 2007 e successiva D.G.R. n. 630 del 29 Aprile 2019 “ Atto di indirizzo e coordinamento tecnico per gli studi di microzonazione sismica e valutazione della risposta sismica locale del territorio”, fornisce i criteri per migliorare, secondo livelli successivi di approfondimento, la conoscenza delle componenti

che determinano il rischio sismico e per effettuare scelte di pianificazione territoriale e di Protezione Civile finalizzate alla prevenzione e alla riduzione del rischio stesso.

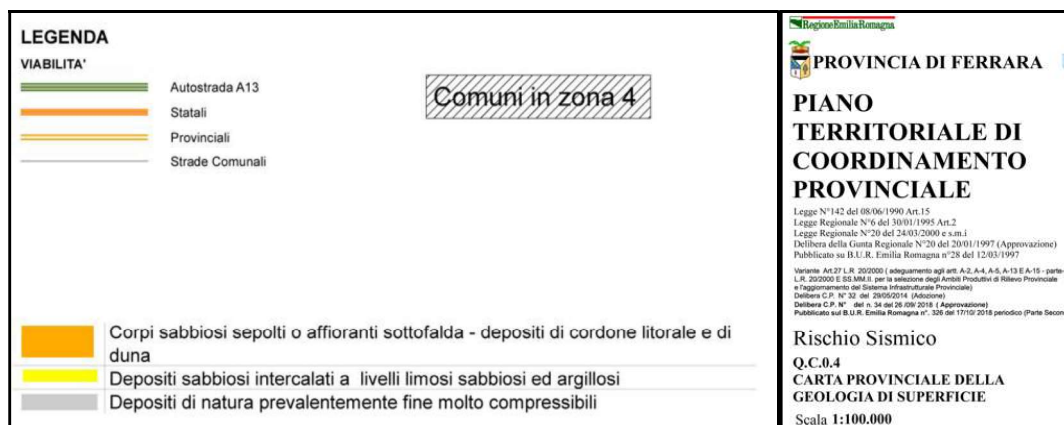
Dati e studi pregressi confermano nel territorio della provincia di Ferrara la presenza di sedimenti che lo rendono particolarmente soggetto a effetti locali in caso di sisma, come è stato diffusamente constatato durante gli eventi del maggio 2012.



Queste considerazioni di carattere qualitativo circa il comportamento dei terreni ferraresi sottoposti a sollecitazioni dinamiche, hanno permesso nel PTCP di Ferrara la redazione della Carta Provinciale delle aree suscettibili di effetti locali (Tav.QC 0.5) nella quale sono evidenziate le parti di territorio che presentano particolare comportamento sotto sollecitazione dinamica, in relazione alle caratteristiche litologiche derivati dai diversi ambiente morfologico-deposizionali.

La prima fase di analisi finalizzata all'identificazione delle parti di territorio suscettibili di effetti locali, è stata svolta attraverso lo studio, l'interpretazione e l'elaborazione delle informazioni di tipo geologico, geomorfologico e litologico contenute nelle carte tematiche presenti nel PTCO di Ferrara, sintetizzate nella carta Geologica e Geomorfologica della Provincia di Ferrara e dalla Carta geologica di superficie (Tav. QC 0.4 PTCP), secondo le indicazioni fornite dalla

[illegible]



Tav. QC 0.4 PTCP di Ferrara - Carta provinciale della geologia di superficie

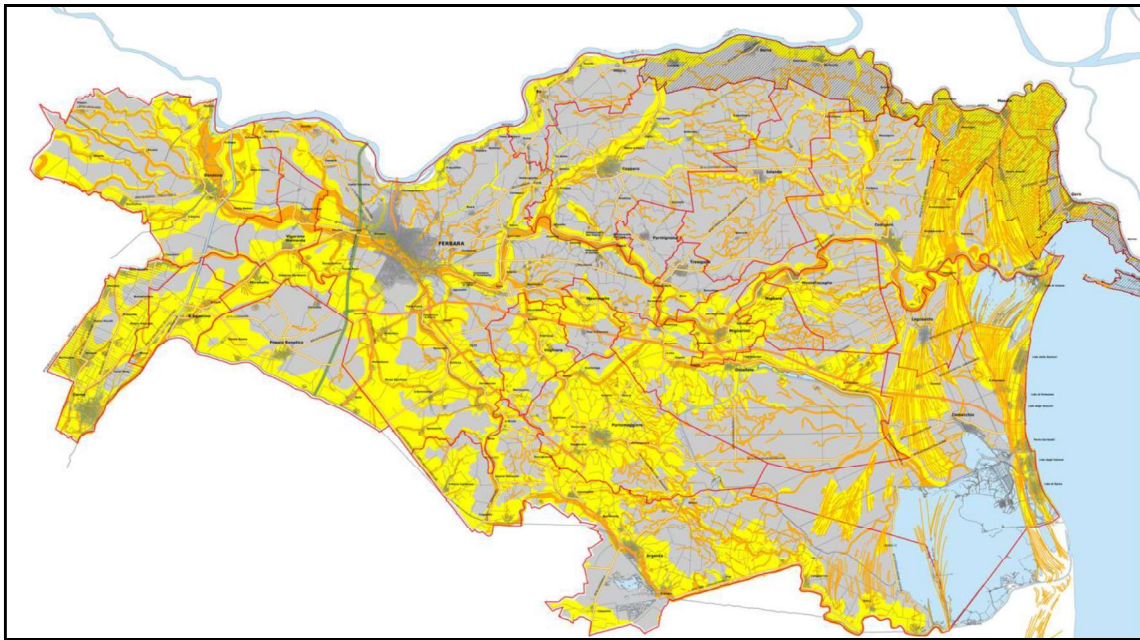
L'area ferrarese è un bacino sedimentario caratterizzato da presenza di strati di terreno molto deformabili (depositi fluvio-deltizi e costieri) sovrastanti un substrato di più elevata rigidità (Dorsale Ferrarese): in queste condizioni il moto sismico risultante in superficie può differire notevolmente dal moto di ingresso al basamento roccioso, a causa dell'azione filtrante esercitata dai depositi di terreni sciolti, con possibilità di esaltazione dell'ampiezza e della durata del moto sismico. Tutta l'area è dunque potenzialmente suscettibile di effetti stratigrafici di amplificazione delle sollecitazioni e del moto sismico. Anche gli effetti topografici di amplificazione delle sollecitazioni e del moto sismico potrebbero interessare le porzioni del territorio provinciale attraversate da argini di corsi d'acqua e rilevati. In corrispondenza dei paleoalvei principali, dei paleoalvei secondari, dei ventagli e depositi di rotta e tracimazione, dei depositi di cordone litorale e di dune eoliche, sono presenti, a partire da profondità variabili, corpi di materiale prevalentemente granulare sottofaldati di spessore variabile. Questi corpi sabbiosi risultano potenzialmente liquefacibili e addensabili in caso di sisma, anche se l'occorrenza di tali fenomeni è fortemente condizionata dall'entità dello scuotimento sismico. I terreni fini entro i quali i depositi sabbiosi sono spesso inglobati sono potenzialmente soggetti a cedimenti per riconsolidazione indotti da sisma.

Nelle zone di transizione le lenti sabbiose sono potenzialmente liquefacibili e addensabili, gli strati fini possono manifestare fenomeni di riconsolidazione e cedimenti. Nell'ambiente dei bacini interfluviali prevalgono depositi di terreni di natura fine molto compressibili a rischio di cedimenti per riconsolidazione indotti da sisma.



Queste considerazioni di carattere qualitativo circa il comportamento dei terreni ferraresi sotto l'effetto di sollecitazioni dinamiche hanno condotto alla redazione della Carta provinciale delle aree suscettibili di effetti locali (Tav QC 0.5), nella quale sono evidenziate le parti di territorio che presentano comportamento diverso sotto sollecitazione dinamica, in relazione alle caratteristiche litologiche presenti (derivate dai diversi ambiente morfologico-deposizionali):

- per le aree appartenenti all'ambiente dei paleoalvei, caratterizzate dalla presenza di corpi sabbiosi sottofalda e indicate in colore arancione gli effetti di sito attesi indotti da sisma sono l'amplificazione stratigrafica, la liquefazione e i cedimenti per addensamento dei corpi sabbiosi, cedimenti per consolidazione dei terreni fini presenti;
- per le aree appartenenti all'ambiente dei bacini interfluviali, caratterizzati da sedimenti fini e rappresentate in carta in colore grigio gli effetti di sito indotti da sisma attesi sono l'amplificazione stratigrafica, cedimenti per consolidazione;
- per le aree appartenenti all'ambiente di transizione, caratterizzato dall'alternanza di corpi sabbiosi e di materiale fine, rappresentate in carta in colore giallo, gli effetti di sito indotti da sisma attesi sono l'amplificazione stratigrafica, la liquefazione e i cedimenti per addensamento delle lenti sabbiose, i cedimenti per consolidazione degli strati di terreno fine;
- per le aree appartenenti all'ambiente costiero in cui sono presenti depositi di cordone litorale e di duna e depositi di palude, rappresentate in carta in colore giallo, gli effetti di sito indotti da sisma attesi sono l'amplificazione stratigrafica, la liquefazione, i cedimenti per addensamento dei corpi sabbiosi e i cedimenti per consolidazione dei terreni fini presenti;

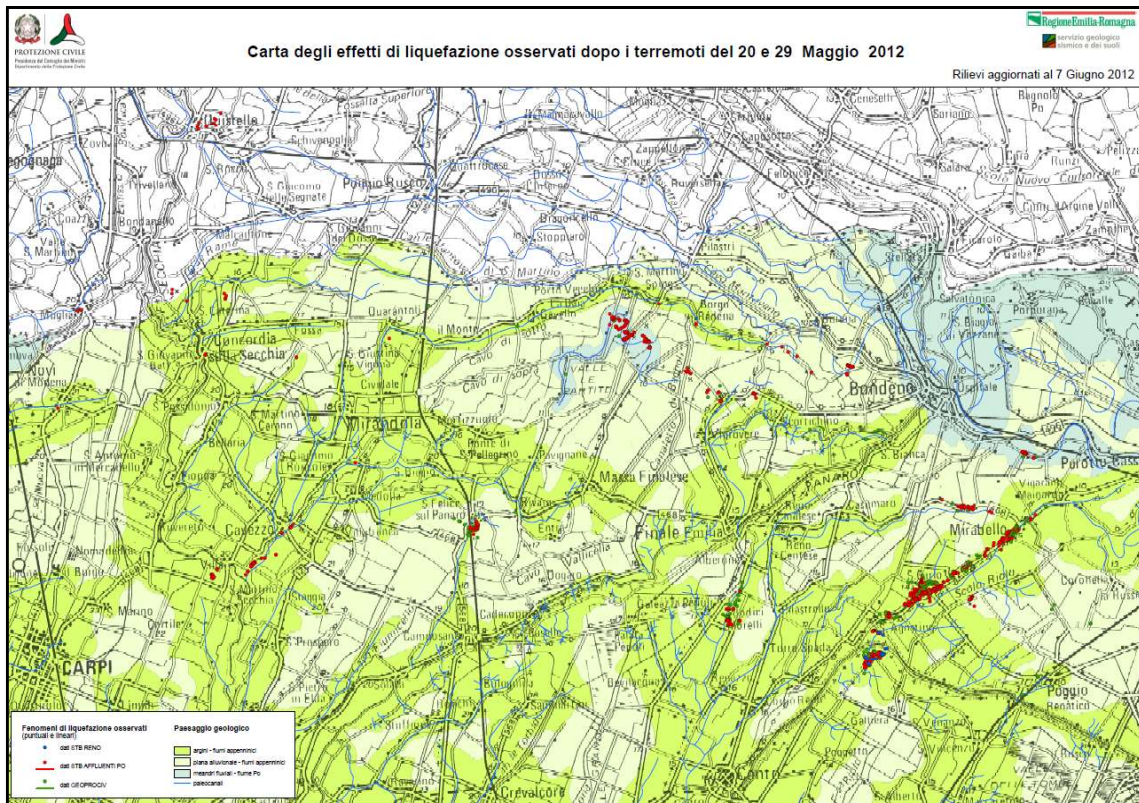


*Tav. QC 0.5 PTCP di Ferrara - Carta provinciale delle aree suscettibili di effetti locali*

Da quanto sin ora menzionato appare evidente che Il territorio della provincia presenta delle peculiarità che lo rendono particolarmente soggetto a effetti locali in caso di sisma, come purtroppo è stato constatato durante gli eventi sismici del Maggio 2012.

Nella carta di seguito riportata vengono evidenziati ad esempio i fenomeni di liquefazione osservati dopo i terremoti del 20 e 29 Maggio 2012 che hanno colpiti i territori dell'alto ferrarese.

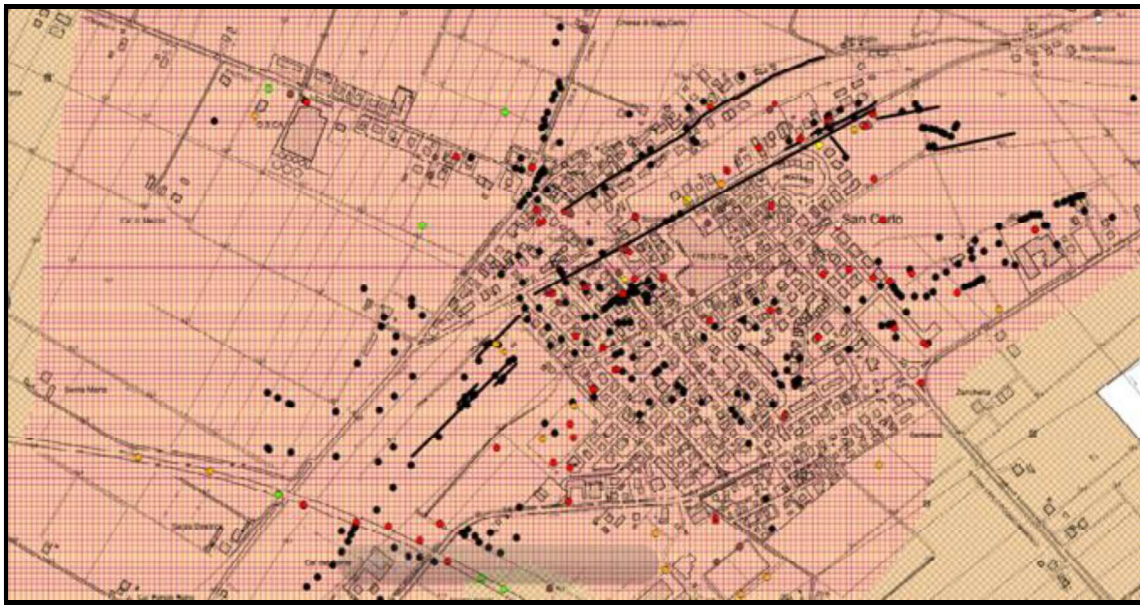




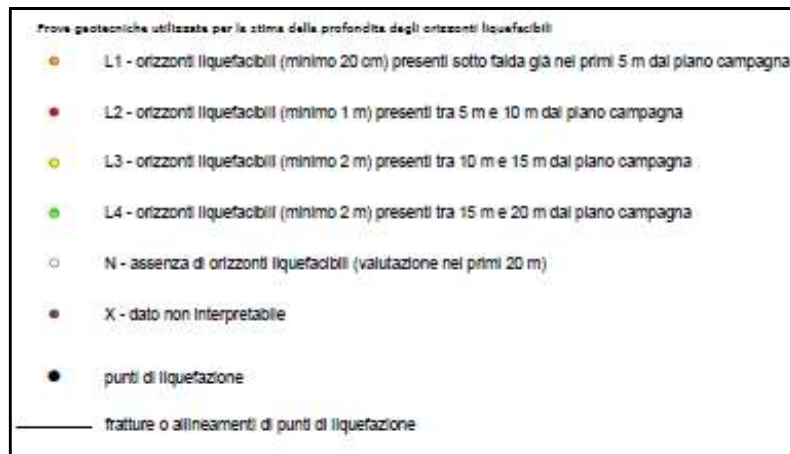
*Carta degli effetti di liquefazione osservati dopo i terremoti del 20 e 29 maggio 2012*

Nella successiva figura sono indicati i siti nel centro abitato di San Carlo (FE) dove si sono verificati fenomeni di liquefazione puntuali (vulcanelli, fuoriuscite di acqua e sabbia, rigonfiamenti) o lineari (fratture nel terreno). Nelle aree dove si è manifestata liquefazione dei terreni, è stato riscontrato un grado di danneggiamento degli edifici civili variabile, ma complessivamente inferiore a quello che ci si sarebbe attesi in base all'estensione areale del fenomeno e del volume di sabbia e limo fuoriusciti. Alcuni edifici hanno subito cedimenti per traslazione rigida, talvolta, per rotazione; si sono verificati distacchi e conseguenti danneggiamenti di costruzioni minori rispetto al fabbricato principale, e numerosi casi di danni alle pavimentazioni del piano terra, ai tramezzi, alle tubazioni.





Centro abitato San Carlo

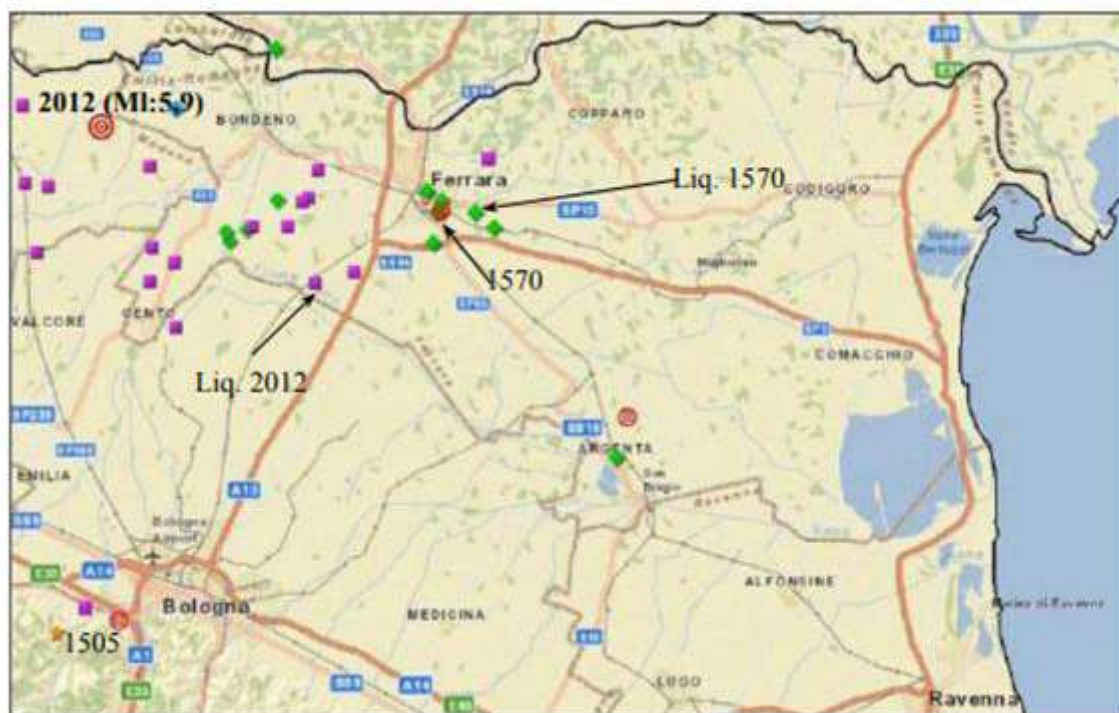


Sotto il profilo storico, anche in occasione del terremoto di Ferrara del 17 novembre 1570 e di quello di Argenta del 1624 furono osservati fenomeni di liquefazione, riportati da diverse fonti documentali.

Epicentral parameters of the seismic events							Sites with indication of liquefaction							
Ref.	Date	Latitude	Longitude	$I_s$	$M_s$	$M_w$	Area	Site*	Latitude	Longitude	$d$ (km)	$I_s$	Type	
1	1117.01.03	45.330	11.200	9.5	6.56	6.4	Verona area	Venezia	45.26	12.20	89	7.0	A2	
2	1505.01.03	44.480	11.250	7.0	5.30	5	Bologna	Zola Predosa	44.30	11.13	3	7.0	A1 A3-5	
3	1542.06.13	44.000	11.380	9.0	5.85	6.2	Scarperia	Borgo S. Lorenzo	43.57	11.23	6	8.0	A2	
4	1542.12.10	37.230	14.920	9.5	6.4		Sortino	Siracusa and neighbour [2]	37.04	15.16	36	8.0	A1-2	
5	1545.06.09	44.498	9.844	7.5	5.00	5.2	Borgo V. Taro	Pontremoli [1]	44.23	9.53	13	6.0	A1-2	
6	1561.08.19	40.520	15.480	9.5	6.45	6.4	Vallo di Diano	Muro Lucano	40.45	15.29	26	9.0	A1 A3 D	
7	1570.11.17	44.820	11.630	7.5	5.30	5.5	Ferrara	Beani	44.52	11.41	00	7	7.5	A3-5
8	1570.11.17	44.820	11.630	7.5	5.30	5.5	Ferrara	Ferrara (P.te S.Paolo, S.Pietro)	44.49	11.37	00	1	8.0	A1-5 B C D
9	1570.11.17	44.820	11.630	7.5	5.30	5.5	Ferrara	Ficarolo	44.57	11.26	21	7.0	A1 A4-5	
10	1570.11.17	44.820	11.630	7.5	5.30	5.5	Ferrara	Giara del Po	44.08	11.41	30	5	7.0	A1
11	1570.11.17	44.820	11.630	7.5	5.30	5.5	Ferrara	La Punta	44.49	11.40	00	3	7.5	A1 A4
12	1570.11.17	44.820	11.630	7.5	5.30	5.5	Ferrara	Località indefinita	-	-	-	-	A1 A3 A4	
13	1570.11.17	44.820	11.630	7.5	5.30	5.5	Ferrara	Polesino di S.Giovanni Battista	44.50	11.38	20	3	8.0	A1 A4 B
14	1570.11.17	44.820	11.630	7.5	5.30	5.5	Ferrara	Polesino di San Giorgio	44.49	11.37	00	0	8.0	A1 A4 B
15	1570.11.17	44.820	11.630	7.5	5.30	5.5	Ferrara	Torre della Fossa	44.47	11.37	00	3	7.5	A1 A4 B
16	1624.03.18	44.650	11.850	7.5	5.30	5.5	Argenta	Argenta	44.37	11.50	-	4	9.0	A1-4 C D
17	1627.07.30	41.730	15.350	10.0	6.78	7	Capitanata	Foci del Fortore	41.55	15.17	21	8.5	A1 A4-5 D	
18	1627.07.30	41.730	15.350	10.0	6.78	7	Capitanata	Lesina	41.52	15.21	15	10.0	C	
19	1627.07.30	41.730	15.350	10.0	6.78	7	Capitanata	Ripalta	41.51	15.17	14	10.0	C	
20	1627.07.30	41.730	15.350	10.0	6.78	7	Capitanata	Località indefinita	-	-	-	-	A4	
21	1627.07.30	41.730	15.350	10.0	6.78	7	Capitanata	Serra-S.Agata (Valle d. Fortore)	41.50	15.14	15	9.5	A1 A4	
22	1627.07.30	41.730	15.350	10.0	6.78	7	Capitanata	Troia	41.22	15.19	40	7.5	A5	

Estratto del catalogo dei fenomeni di liquefazione dopo 1117 AD (Galli 2000)





*Distribuzione degli effetti sismici del terremoto storico di Ferrara (1570) e del terremoto dell'Emilia (2012). Contrassegnati con punti verde gli effetti di liquefazione del terremoto storico 1570 e in viola gli effetti della liquefazione di quello del 2012*

## 6 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Da quanto precedentemente esposto appare evidente che il territorio ferrarese pur essendo completamente pianeggiante con dislivello massimo di circa mt. 30 sul l.m. presenta complessità geologiche/geomorfologiche/geotecniche e sismiche che lo rendono molto particolare.

L'evoluzione geomorfologica del territorio è in gran parte dovuta alle divagazioni dei fiumi, prevalentemente in condizioni di sedimentazione, nonché il mare e il vento che hanno ridistribuito lungo la costa i sedimenti fluviali e come ultimo nel tempo l'uomo. Tra i fattori che hanno avuto grande influenza va citata la subsidenza, da sempre fortemente sensibile in questa regione, prodotta sia dallo spontaneo costipamento dei sedimenti incoerenti (limi, argille e torbe) causato dal peso di quelli sovrastanti, che da cause antropiche quali l'eccessivo emungimento di acque sotterranee o la realizzazione di pozzi metaniferi. Le variazioni climatiche caratterizzate da periodi freddi e piovosi hanno poi prodotto frequenti esondazioni e mutamenti del corso dei fiumi, nonché rapidi accrescimenti degli apparati deltizi.

Le principali strutture geomorfologiche che ne derivano, rappresentate nella “Carta geomorfologia della Provincia di Ferrara”, sono le seguenti:

- i paleoalvei principali e secondari;
- le conoidi di rotta o di esondazione;
- i principali cordoni litoranei affioranti, ossia ancora riscontrabili sul terreno;
- i principali cordoni litoranei sepolti da materiali alluvionali depositatisi dopo la loro costruzione.

Le litologie presenti sul territorio variano dalle deposizioni granulari d'origine eolica e fluviale (dune, cordoni sabbiosi, ventagli di rotta, paleo alvei) alle deposizioni fini di piana alluvionale e depressione interalvea, si riscontrano anche ampie deposizioni di argille organiche e/o torbose e torbe tipiche di ambienti vallivi aventi diverso comportamento geomeccanico fra loro.

Dal punto di visto geotecnico, le maggiori penalizzazioni derivano dalla presenza dei terreni fini e organici. È possibile affermare che, poichè i corpi sabbiosi si dispongono in lenti festonate sospese, che normalmente denota spessori inferiori alle deposizioni fini, saranno le attitudini di queste ultime

deposizioni a regolare l'interazione di qualsiasi tipo di intervento con i terreni di fondazione.

I terreni granulari sabbiosi sono generalmente caratterizzati da buona portanza e scarsa cedevolezza.

I terreni fini/coesivi sono normalmente caratterizzati dalle seguenti caratteristiche:

- scarsa portanza/alta compressibilità/cedevolezza.
- maturazione di cedimenti di grande entità e prolungata durata nel tempo della loro maturazione.

Ciò è dovuto anche al fatto che tali terreni sono, in larghissima misura, in condizioni sature non drenate che non consentono la dispersione delle pressioni neutre.

I terreni coesivi sono poi suscettibili alle variazioni di umidità naturale in essa contenuti, la variazione del livello della falda freatica può far variare in maniera notevole le loro caratteristiche geomeccaniche. Il medesimo suolo argilloso può passare dalla condizione sovra consolidata in assenza di acqua di falda, alla condizione plastica in condizioni sature.

Nelle argille organiche/torbose/torbe dette caratteristiche geotecniche sono ulteriormente penalizzante in quanto terreni a forte componente organica hanno la spiacevole caratteristica di esser fortemente anisotropi sia in senso spaziale che temporale senza seguire uno schema prevedibile.

Tutte queste caratteristiche portano a forti penalizzazioni nell'interazione terreno struttura che dovranno essere tenute in attenta considerazione in fase progettuale.

All'atto di un eventuale scuotimento sismico le argille particolarmente soffici (che già presentano in condizioni statiche scarsa portanza e alta compressibilità) possono subire riconsolidazione originando ulteriori assestamenti (cedimenti post- sismici).

Le sabbie a sua volta che normalmente presentano buone caratteristiche geomeccaniche possono anche loro in condizioni sature liquefarsi e causare anche cedimenti post- sismici.

Considerato che l'intervento di progetto prevede una ricalibratura di numerosi canali consorziali presenti sull'intero territorio provinciale mediante espurgo e scavi dei sedimenti senza intaccare il fondo alveo, al fine di recuperare capacità



e portata di invaso sulla rete mantenendo l'assetto originale, si ritiene non vi siano particolari controindicazioni in quanto non si vada ad alterare in maniera sostanziale l'equilibrio raggiunto.

Resta comunque inteso che se in corso d'opera si vengono a manifestare situazioni di forte degrado in tratti di canale fortemente interessati da frane o erosione delle sponde che richiedano un intervento massiccio di manutenzione si renderà necessario procedere a indagini mirate per un opportuno progetto di ripristino

**Dr. Geol. Antonio Mucchi**

