

PROVINCIA DI FERRARA



COMUNE DI CODIGORO PIANO STRUTTURALE COMUNALE

ADOTTATO CON Del. C.C. n°49 del 07/08/2008
APPROVATO CON Del. C.C. n°49 del 29/03/2011



SINDACO dott. RITA CINTI LUCIANI	
ASSESSORE ALL'URBANISTICA ALICE ZANARDI	DIRIGENTE DEI SERVIZI TECNICI E R.U.P. arch. ALESSANDRO GHIRARDINI
SEGRETARIO GENERALE dott. ROSARIA DI PAOLA	RESPONSABILE SERVIZIO URBANISTICA arch. RITA VITALI
PROGETTISTA E COORDINATORE arch. PIETRO PIGOZZI	
ANALISI E PROGETTAZIONE URBANISTICA U.T.E.C.O. arch. FRANCESCO VAZZANO dott. geol. ELENA BONORA dott. RITA BENETTI geom. MARCO PIGOZZI	ANALISI GEOLOGICA dott. geol. THOMAS VERONESE ANALISI AGRONOMICA dott. agr. GIUSEPPE DARBO dott. agr. LUIGI BENELLI
	ANALISI SOCIO-ECONOMICA CdS dott. ANDREA GANDINI dott. ANNA OCCHI dott. STEFANO CAPATTI dott. CHIARA BERTELLI
TAV.N° 0.15	OGGETTO: RELAZIONE GEOLOGICA

DATA CONSEGNA	AGGIORNAMENTO	DATA	MOTIVAZIONE
15/04/2011			

ANNO	PROGR. PROG.	SETTORE	LIVELLO PROG.	VARIANTE	ELABORATO	NUMERO ELAB.
05	002	PUA	D	0	RIL	04

INDICE:

1. PREMESSA	3
1.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	3
2. ASSETTO GEOMORFOLOGICO	4
2.1. EVOLUZIONE MORFOLOGICA COSTIERA	6
2.2. EVOLUZIONE MORFOLOGICA FLUVIALE	8
2.3. FORMAZIONE DEI BACINI INTERFLUVIALI.....	10
2.4. ANALISI GEOMORFOLOGICA DI DETTAGLIO.....	10
2.4. CARTA GEOMORFOLOGICA	15
3. ASSETTO STRATIGRAFICO DELLE SUCCESSIONI LITOLOGICHE E CARTA GEOLOGICA	17
3.1 CARTA DELLA LITOLOGIA DI SUPERFICIE	18
3.2 CARTA GEOLOGICA 1:50.000 FOGLIO CODIGORO	19
4. ASSETTO TOPOGRAFICO DEL TERRITORIO.....	21
4.1 CARTA ALTIMETRICA E DEI RILEVATI	22
4.2 CARTA DELLE AREE DI CATINO IDRAULICO	23
5. IL SISTEMA DELLA BONIFICA.....	25
5.1. CONSORZIO DI BONIFICA I CIRCONDARIO POLESINE DI FERRARA	28
5.2. CONSORZIO DI BONIFICA II CIRCONDARIO POLESINE DI S. GIORGIO	30
5.3. CARTA DEL SISTEMA DI BONIFICA.....	32
5.4 CARTA DEI BACINI DI SCOLO	32
5.5 CARTA DELLE ISOBATE	33
6. LA SUBSIDENZA	34
6.1. CARTA DEI PROCESSI GEODINAMICI.....	40
7. EVOLUZIONE GEOLOGICA DELL'AREA	44
7.1. GEOLOGIA REGIONALE	44
7.2. GEOLOGIA STRUTTURALE	44
8. CLASSIFICAZIONE SISMICA NAZIONALE	49
8.1 CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL COMUNE DI CODIGORO.....	56
8.2 CARTA SISMOTETTONICA.....	59
9. RISERVE IDRICHE SOTTERRANEE	61
9.1. ACQUIFERI UTILI	61
9.2. DISPONIBILITA' DI IDRORISORSE NEL TERRITORIO COMUNALE.....	62
9.3. CARTA DELLE RISERVE IDRICHE SOTTERRANEE	65
10. CONCLUSIONI.....	68
RELAZIONE GEOLOGICA E AMBIENTALE DOCUMENTO PRELIMINARE	69
1. CARTOGRAFIA DI SINTESI	70
1.1 CARTA DELLE UNITA' FISIOGRAFICHE DEL TERRITORIO.....	72
1.2. CARTA DELLE QUALITA' GEOTECNICHE DEI TERRENI	74
1.3 CARTA DELLE CRITICITA' IDRAULICHE.....	78
1.4 CARTA DELLA POTENZIALE DIFESA IDRAULICA DI CODIGORO	79
1.5 CARTA DELLA POTENZIALE DIFESA IDRAULICA DALL'INGRESSIONE MARINA	80
1.6 CARTA DEI FATTORI PREDISponentI PER I POTENZIALI EFFETTI DI SITO...80	
2. IL PRINCIPIO DELL'INVARIANZA IDRAULICA.....	84

1. PREMESSA

Il Comune di Codigoro, rappresentato dal proprio Dirigente ing. Michele Gualandi, con Contratto Rep. Seg. Com. n. 14882 del 28/07/2005, ha affidato al sottoscritto Dottor Thomas Veronese, l'incarico professionale per la redazione degli studi di settore a carattere specialistico in ambito geologico, idrogeologico e ambientale di competenza, tutto in conformità al dettato della legge regionale n°20/2000 e successive modifiche ed integrazioni e direttive applicative.

In questo allegato si sviluppa la relazione geologico ambientale, con il reperimento dei dati per definire lo stato delle conoscenze aggiornato. Sono inoltre state fatte delle analisi che hanno comportato una acquisizione dati in campagna con relativa elaborazione. Tale relazione risulta descrittiva e sintetizzata nella cartografia prodotta generalmente in scala 1:25.000, con alcune eccezioni per tematismi riportati in scala 1:50.000.

Nella fase successiva al Quadro Conoscitivo verranno sviluppate soprattutto le indagini di campagna mirate nelle aree di particolare interesse per il PSC. Tali indagini saranno di carattere geognostico, geotecnico e idrogeologico.

1.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area in oggetto è compresa nella seguente cartografia:

- Scala 1: 50.000: Foglio 187 Codigoro, Foglio 205 Comacchio.

- Scala 1: 25.000: Foglio 187 NE Goro, Foglio 187 SE Goro, Foglio 187 SO Codigoro, Foglio 187 NO Serravalle, Foglio 205 NO Lagosanto.

Il comune di Codigoro confina a nord con il Comune di Mesola, ad est con il Comune di Goro, a sud con i Comuni di Comacchio e Lagosanto, ad ovest con i comuni di Massafiscaglia e Jolanda di Savoia.

2. ASSETTO GEOMORFOLOGICO

L'assetto geomorfologico di un territorio è desumibile dalle litologie in affioramento e/o subaffioramento, e dagli assetti altimetrici-topografici, che consentono, insieme, la lettura del territorio sia con i rilievi di campagna che con lo studio della fotointerpretazione aerea. Attraverso sondaggi geognostici, geofisici e trincee di scavo, è possibile definire gli spessori di queste strutture geomorfologiche in affioramento. Una volta uniti questi dati è possibile leggere l'evoluzione geomorfologica più recente del territorio di pianura.

Scendendo in profondità con le indagini geognostiche e geofisiche si riconoscono le strutture geomorfologiche di età diverse dalla nostre, che un tempo affioravano, e che poi sono state ribassate dalla subsidenza (fenomeno che porta all'abbassamento dei terreni per varie cause) e poi sono state ricoperte da spesse coltri di sedimenti successivi, legati alle mutate caratteristiche degli ambienti deposizionali soprastanti (che a volte potevano essere ambienti in cui prevaleva l'erosione con conseguente cancellazione di strutture geomorfologiche preesistenti).

Gli ambienti deposizionali cambiano in funzione di dinamiche tettoniche intense, di mutamenti climatici, di spostamento dei corsi dei fiumi (un tempo era molto frequente la "divagazione" dei fiumi, ora costretti dagli argini antropici).

Correlando i dati geologici profondi della Pianura, si ricostruiscono gli assetti geomorfologici dei tempi passati.

Laddove si rilevano sabbie in affioramento, testimoni di ambienti deposizionali di alta energia idrodinamica quali ambienti costieri o paleoalvei che hanno avuto riempimento attivo, è logico aspettarsi anche in profondità, per diversi metri, la presenza di sabbie. In corrispondenza di depositi di rotta, a ridosso di fiumi o paleoalvei, si possono rilevare sabbie in affioramento, che difficilmente possono avere in queste zone, spessori significativi, in quanto l'alimentazione di sedimenti nei paleoalvei e negli allineamenti di dune costiere si è protratta per molto tempo, mentre in corrispondenza dei depositi di rotta (o *crevasse*) l'alimentazione di sedimenti è stata occasionale.

Dove prevalevano ambienti topograficamente depressi, l'acqua dominava gli scenari della pianura del basso ferrarese, infatti sia all'interno del comune di Codigoro sia nei comuni adiacenti erano presenti ampi bacini vallivi. La caratteristica delle valli è di essere ambienti di bassa energia idrodinamica, per cui in essi prevalgono sedimenti argillosi, e laddove gli specchi vallivi erano dominati da acque dolci si rinvenivano anche sedimenti organici come le torbe (derivanti dallo sviluppo di vegetazione acquatica).

Ad ogni struttura geomorfologica corrisponde dunque, in linea di massima, una caratteristica classe litologica; la granulometria e la storia tensionale, strettamente legata alla storia geologica,

ne condizionano le caratteristiche meccaniche ed idrauliche. La topografia stessa dei nostri terreni è anch'essa condizionata dalle strutture geomorfologiche.

Le strutture geomorfologiche della bassa pianura padana sono molteplici ed oltre ad avere questa distribuzione così eterogenea in senso orizzontale sul territorio, ce l'hanno anche in senso verticale, cioè esistono nel sottosuolo strutture sepolte come possono essere depositi marini, deltizi, eolici, alluvionali, palustri, paleoalvei, ecc. con le tipiche caratteristiche granulometriche dei litotipi che costituiscono le strutture emerse che riconosciamo in campagna. Queste sono state ribassate e progressivamente ricoperte da sedimenti successivi per via della subsidenza.

Certo è che, data l'estrema complessità dell'evoluzione ambientale di quest'area, questi tipi litologici si presentano per lo più frammisti, in miscele binarie o ternarie tra sabbie, limi e argille.

Nella **FIGURA 2.1.**, viene mostrato uno stralcio della *Carta Geomorfologica* della Provincia di Ferrara, dove si possono apprezzare le innumerevoli tracce geomorfologiche che si leggono sul territorio dalle foto aeree. In essa sono distinti paleoalvei di ubicazione sicura, paleoalvei di ubicazione incerta, i depositi di rotti, i cordoni litoranei affioranti e sepolti.

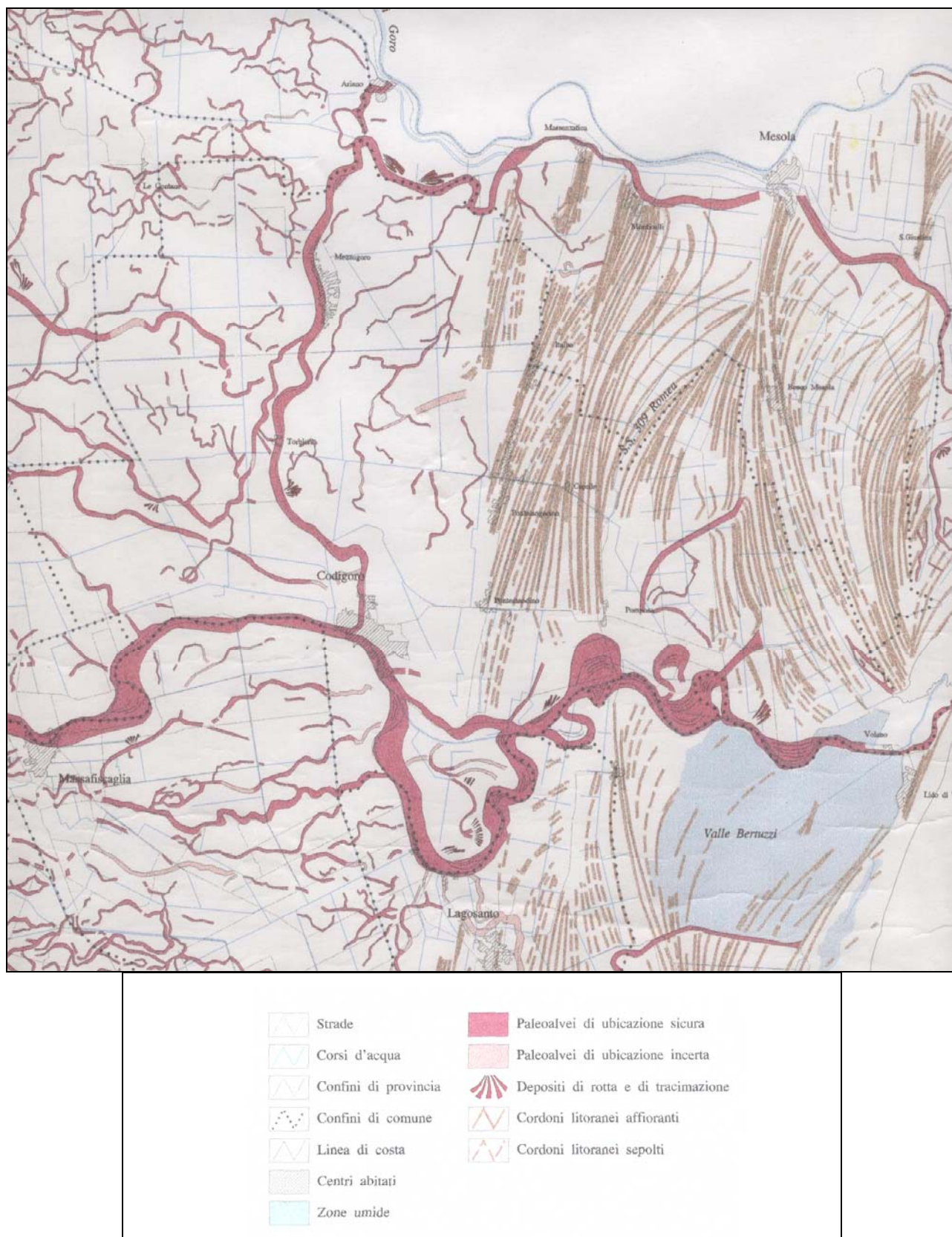


FIGURA 2.1– Stralcio della Carta geomorfologica della Provincia di Ferrara

2.1. EVOLUZIONE MORFOLOGICA COSTIERA

Le tappe dell'evoluzione geomorfologica delle aree costiere sono state ricostruite correlando gli allineamenti di paleodune a situazioni climatiche che hanno condizionato la velocità di crescita verso est della costa, inoltre i ritrovamenti archeologici ne hanno permesso una datazione certa. La sedimentazione nell'area deltizia è notevolmente influenzata dai fattori climatici; e può essere schematizzata come mostra la **FIGURA 2.2**.

Clima		Effetti
Umido	Caldo	Intensa copertura vegetale che contribuisce a intrappolare il sedimento trasportato da correnti fluviali o di marea, produce bioturbazione (radici) e accumuli organici (torba)
	Freddo	
Arido	Caldo	Copertura vegetale sparsa; precipitazione evaportica, strutture da disseccamento, trasporto eolico
	Freddo	Copertura vegetale sparsa; il gelo invernale interrompe i processi fluviali; il disgelo stagionale favorisce processi particolari (come colate di fango e detriti) e una canalizzazione irregolare e instabile delle acque; importanti i processi eolici.

FIGURA 2.2. - Effetti del clima sui delta (da Morgan, 1970)

Nei periodi con clima umido e con conseguenti diffusi processi erosivi a monte nei bacini fluviali, dovuti alle intense e frequenti precipitazioni meteoriche, si verificavano frequenti piene con grandi quantità di sedimenti, portati come trasporto solido, alla foce dei fiumi ed in mare. Di conseguenza si verificava una veloce progradazione della linea di costa verso est, che non lasciava il tempo alla spiaggia di accumulare sabbie e soprattutto al vento di accumularle nei campi di dune.

Al contrario, nei periodi di clima arido (in modo particolare nei periodi aridi freddi), in corrispondenza di optimum climatici, rallentavano i processi erosivi a monte, diminuivano le piene del fiume, ed il suo trasporto solido; di conseguenza la velocità di crescita verso est della spiaggia diminuiva, e dunque un allineamento costiero si manteneva per più lungo tempo dando la possibilità al moto ondoso di distribuire, accumulare e rielaborare i sedimenti di spiaggia, allontanando la parte fangosa e concentrando selettivamente i materiali grossolani (granuli di sabbia e conchiglie), i quali, attraverso il trasporto eolico, andavano a costituire quelle strutture sedimentarie che sono le dune eoliche.

Con il progradare verso est della linea di costa i terreni sabbiosi emersi andavano via via ribassandosi per effetto della subsidenza; in questo modo altri tipi di sedimenti accumulatisi in nuove facies deposizionali continentali ricoprivano progressivamente le sabbie costiere.

Si riporta in **FIGURA 2.3**. un sistema costiero interdeltizio, tratto da Le Blanc, 1972.

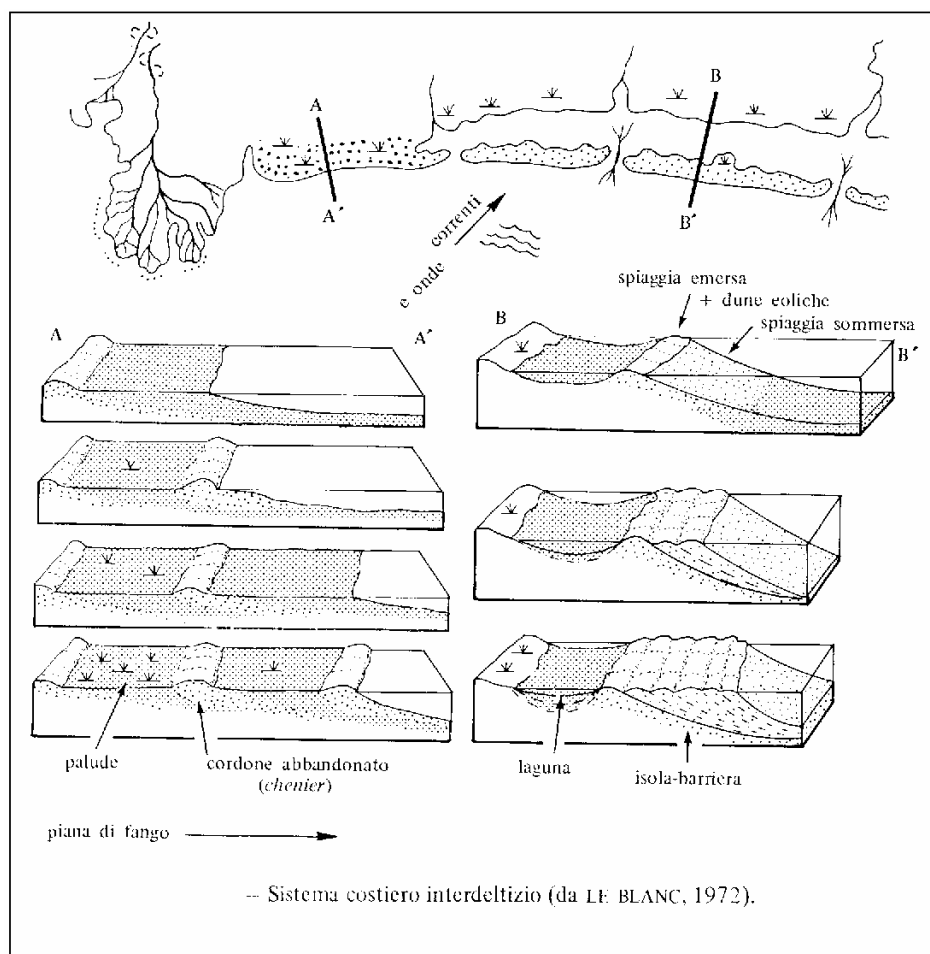


FIGURA 2.3. - sistema costiero interdeltizio, tratto da Le Blanc, 1972

2.2. EVOLUZIONE MORFOLOGICA FLUVIALE

La dinamica fluviale che si deve sempre considerare in stretta interazione con gli altri fattori morfodinamici più attivi, ha rappresentato e rappresenta un altro elemento determinante nell'evoluzione e nell'assetto attuale della pianura costiera.

La sedimentazione fluviale, prodotta dai principali fiumi italiani, ha regolato per tutto il Pleistocene e per buona parte dell'Olocene fino all'Attuale il processo di avanzamento della pianura verso il mare. Tale processo interagendo con altri elementi della dinamica evolutiva, non ultima l'azione di trasformazione antropica, ha condizionato l'assetto litostratigrafico e geomorfologico del retroterra, differenziandolo all'interno della Pianura Padana Ferrarese.

La bassa pianura padana è densamente attraversata da strutture geomorfologiche quali paleoalvei spesso abbandonati e alvei attuali impostati ancora sui paleoalvei storici. Tra le strutture geomorfologiche dei paleoalvei intercorrono significative differenze, che verranno di seguito specificate.

Inoltrandosi nelle pianure, il trasporto solido dei corsi d'acqua è in grado di trascinare sul fondo o in carico alla corrente, sedimenti sempre meno grossolani, per cui maggiore è il tragitto percorso

dalle acque in tratti di pianura e meno probabile è il ritrovamento di granulometrie grossolane (ghiaiose).

La sezione riportata in **FIGURA 2.4.** rappresenta la situazione più tipica del tratto di pianura della provincia di Ferrara, dove gli alvei ed i paleoalvei presentano soprattutto sedimenti sabbiosi.

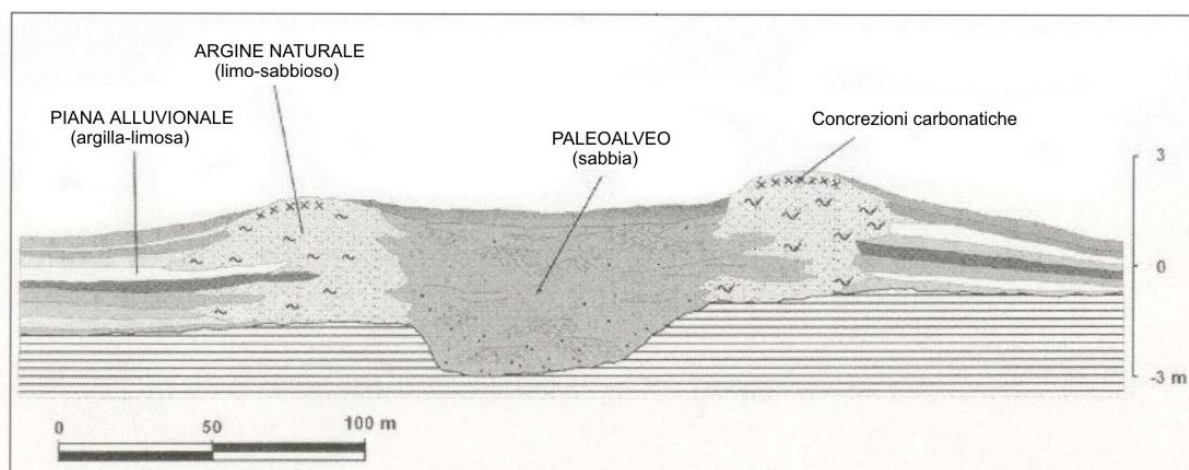


FIGURA 2.4. – Sezione schematica di un paleoalveo

Da distinguere è comunque il tipo di riempimento. Il “riempimento attivo” è quello che il fiume si procura per autosedimentazione in alveo di sedimenti tipici di energie idrodinamiche piuttosto alte. Il fiume si intasa di sedimenti fino al punto che cambia percorso, seguendo topografie più basse. Il “riempimento passivo” è quello che l'alveo del fiume ormai abbandonato riceve a valle del punto di rotta da un altro fiume. Si tratta in questo caso di sedimenti distali, portati dalle alluvioni provenienti da punti lontani. In questo caso arrivano acque a bassa energia idrodinamica con in carico solo sedimenti fini quali argille e limi. Se l'area, per via della subsidenza generalizzata, si abbassa, diventando acquitrinosa e paludosa, nel fondo degli alvei preesistenti si accumulano, in ambiente acquatico, sedimenti organici e argillosi. Questi due tipi di riempimento per i paleoalvei, offrono risposte molto diverse alla riflessione della luce, per cui sono ben identificabili dalla foto-interpretazione aerea. La foto-interpretazione aerea comparata all'analisi del microrilievo fornisce una buona distinzione tra i due tipi di paleoalvei, ai quali sono associati tipi di sedimenti diversi per caratteristiche geotecniche.

Caratteristico degli ambienti deposizionali fluviali sono anche i depositi di tracimazione e di rotta. I depositi di tracimazione sono tipici di lunghi tratti di argine fluviale, e raccordano morfologicamente i paleoalvei in rilievo (dossi) con le basse pianure circostanti. Sono generalmente strutture geomorfologiche costituite da sabbie limose, limi, limi argillosi, a seconda della distanza dagli argini da cui sono tracimate le acque. I depositi di rotta fluviale (depositi di crevasse, o ventagli di rotta) sono la tipica struttura sedimentaria che si forma in corrispondenza di un punto di rotta, il quale costituisce il vertice della geometria a “ventaglio” che si apre sulla pianura; le litologie che costituiscono i depositi di rotta variano in funzione della distanza dal vertice, a causa del brusco

calo dell'energia idrodinamica delle acque che trasportano le torbide del fiume, una volta che si sono aperte un varco nel sistema arginale. Si troveranno principalmente sabbie e sabbie limose a ridosso del punto di rotta e argille limose nei punti più distali. Nei tratti intermedi prevalgono le granulometrie limose.

2.3. FORMAZIONE DEI BACINI INTERFLUVIALI

Durante le fasi di avanzamento della pianura si sono spesso verificate delle accelerazioni nella subsidenza dei sedimenti non sufficientemente compensate dall'apporto solido fluviale. La conseguenza è stata la formazione di ampie zone paludose (valli), oggi ampiamente bonificate, dove i terreni affioranti presentano spiccate caratteristiche argilloso - torbose ad elevata compressibilità associata spesso ad un più difficoltoso drenaggio verticale (Bondesan, 1990).

Il territorio del comune di Codigoro è caratterizzato da diverse aree di bacino interfluviale, racchiuse tra le tracce dei due paleoalvei principali (Po di Volano e Gaurus) e minori che ne disegnano i dossi morfologici, quasi sempre ben rilevati tra i piani campagna circostanti.

Dove prevalevano ambienti topograficamente depressi, l'acqua dominava gli scenari della pianura del basso ferrarese. La caratteristica delle valli è quella di essere degli ambienti di bassa energia idrodinamica, per cui in essi prevalgono sedimenti argillosi e organici come le torbe (derivanti dallo sviluppo di vegetazione acquatica).

Alcuni ambienti (*distali*) erano solo occasionalmente allagati dalle rotte fluviali, le cui acque arrivavano con in carico sedimenti fini come argille e anche limi; una volta ritirate le acque rimanevano sul terreno nuovi sedimenti ad accrescere lentamente il piano campagna.

Nelle aree di catino interfluviale, prevalgono sedimenti di bassa energia idrodinamica, quali argille e argille limose. In queste aree le acque di esondazione arrivavano con bassa energia ed erano capaci di un trasporto solido limitato alle frazioni più fini di terreno quali appunto le argille e le argille limose

2.4. ANALISI GEOMORFOLOGICA DI DETTAGLIO

I paleoalvei principali che caratterizzano il territorio comunale sono il paleoalveo del fiume Po di Volano, ed il paleoalveo del fiume Gaurus.

Il paleoalveo del Po di Volano ha direttrice ovest-est, attraversa gli abitati di Massafiscaglia e Codigoro per poi dirigere verso Volano e terminare nella sacca di Goro. L'area posta sia a nord che a sud dell'abitato di Codigoro è dominata dalla presenza di diverse tracce di paleoalvei che si sviluppano con un percorso sub-parallelo rispetto al tracciato principale del Po di Volano, in particolare le tracce poste a nord del paese si sviluppano orizzontalmente fino all'altezza del dosso del fiume Gaurus, mentre quelle poste a sud si dirigono verso l'ansa del Varano.

Il paleoalveo del fiume Gaurus (utilizzato dai romani per far scorrere la Fossa Flavia) si stacca dal Po di Volano all'altezza di Codigoro e poi dirige verso nord passando per gli abitati di Torbiera,

Mezzogoro e Ariano Ferrarese, dove piega bruscamente verso est, passando per Massenzatica, Monticelli e Mesola, sotto il cui abitato se ne perdono le tracce.

Importante viene ritenuto nel rilevamento effettuato dallo scrivente il dosso morfologico di origine fluviale su cui si snoda la strada che congiunge il paese delle Contane con la Strada Statale Consandolo-Adria. E' un dosso rilevato sul piano campagna che non compare sulla carta del microrilievo redatta dall'Amministrazione Provinciale in quanto sulla C.T.R. sono veramente poche le quote prese su di esso. Tale dosso fluviale sembrerebbe avere stretta parentela con il tratto di Gaurus che piega da Ariano in direzione Monticelli verso Mesola.

Per quanto riguarda gli allineamenti di paleodune si nota ad ovest un primo allineamento di dune retroflesso nel suo margine meridionale, asseribile all'età del bronzo (allineamento "c" nella carta geomorfologica di **FIGURA 2.5**).

Con lo stesso andamento nel suo tratto meridionale si presenta l'allineamento passante per Massenzatica di età intermedia tra quella del Bronzo e quella del Ferro; probabilmente contemporaneo è quello che sembra essere il suo prolungamento leggermente sfasato (contenente le dune affioranti della Riserva Naturale Orientata "Le Dune di Massenzatica") che prosegue a sud per Italba, Pontelangorino e Pontemaodino. La discontinuità ed il leggero sfasamento tra questi due allineamenti di dune, nonché l'andamento retroflesso del corpo passante per Massenzatica, fa presupporre che la discontinuità sia singenetica, dovuta con ogni probabilità ad una foce fluviale. Successivamente questa bocca idraulica inserita tra i complessi di dighe naturali formate dai cordoni di dune, ha avuto per molti secoli la funzione di sezione forzata per lo sfogo delle acque derivate dalle alluvioni del Fiume Gaurus e del Po, nel loro percorso a scolarsi in mare. Il passaggio delle acque di alluvione del bacino di destra del Gaurus (compreso tra il suo alveo con andamento nord-sud tra Codigoro ed Ariano, e gli allineamenti di dune passanti per Pontemaodino, Pontelangorino e Italba), che sfogavano in mare da questa stretta "bocca", creavano delle veloci correnti dovute alla stretta sezione di deflusso capaci di dar luogo ad azioni di erosione degli apparati dunosi esistenti e capaci di rielaborare i sedimenti esistenti. Le tracce di paleoalvei visibili dalle foto aeree sono riconducibili alla fase terminale dei processi di abbandono dell'alveo da parte del Gaurus per l'insabbiamento con i propri sedimenti, e possono avere rivestito un ruolo di canali sublagunari negli ultimi secoli in cui l'area era allagata perennemente, essendosi ribassata per effetto della subsidenza fin sotto il livello del mare.

Lo sfasamento tra gli allineamenti di nord e sud nei cordoni dunosi dell'area è probabilmente riconducibile all'azione delle correnti marine di lungo costa (long shor-current) che ancora oggi condizionano la creazione degli apparati di foce del fiume Reno, o dei Canali Bellocchio, Gobbino e Logonovo. Queste correnti orientate sud-nord intercettano quelle fluviali di direzione ovest-est, stoppando per prima le componenti più meridionali delle correnti di foce, provocandone il rilascio del trasporto solido più pesante, e consentendo alla riva meridionale della foce un accrescimento più veloce. L'azione di spinta delle correnti marine verso nord fa piegare nella stessa direzione la

foce, dando alla linea di costa e quindi ai successivi cordoni di dune l'andamento arcuato con concavità nord-ovest.

I cordoni di paleodune che si sviluppano con andamento generalmente sud-nord, ma vistosamente arcuati verso il paleoalveo che ne ha provocato la più veloce crescita verso est, si succedono per tutto il territorio comunale da Monticelli fino al confine con il comune di Goro.

Laddove la progradazione verso est è stata troppo veloce, impedendo ai cordoni di dune di ricevere sufficiente alimentazione di sabbie dal mare per opera del vento, essi non hanno avuto modo di svilupparsi in altezza; la subsidenza le ha ribassate fin sotto il livello della superficie di falda, sommergendole perennemente. Il progressivo ribassamento di questi territori consentiva l'accumulo di sedimenti di palude, costituiti principalmente da torbe e argille torbose. La Bonifica della Vallona testimonia questo processo evolutivo. Non ci si faccia ingannare dalle diffuse sabbie in affioramento con sottili spessori presenti a ridosso della S.S. Romea, poiché successivamente alla bonifica furono smantellate molte dune dell'apparato su cui corre la strada, per distribuire le sabbie sulle campagne e rendere più facilmente calpestabili e lavorabili le terre di questa bonifica.

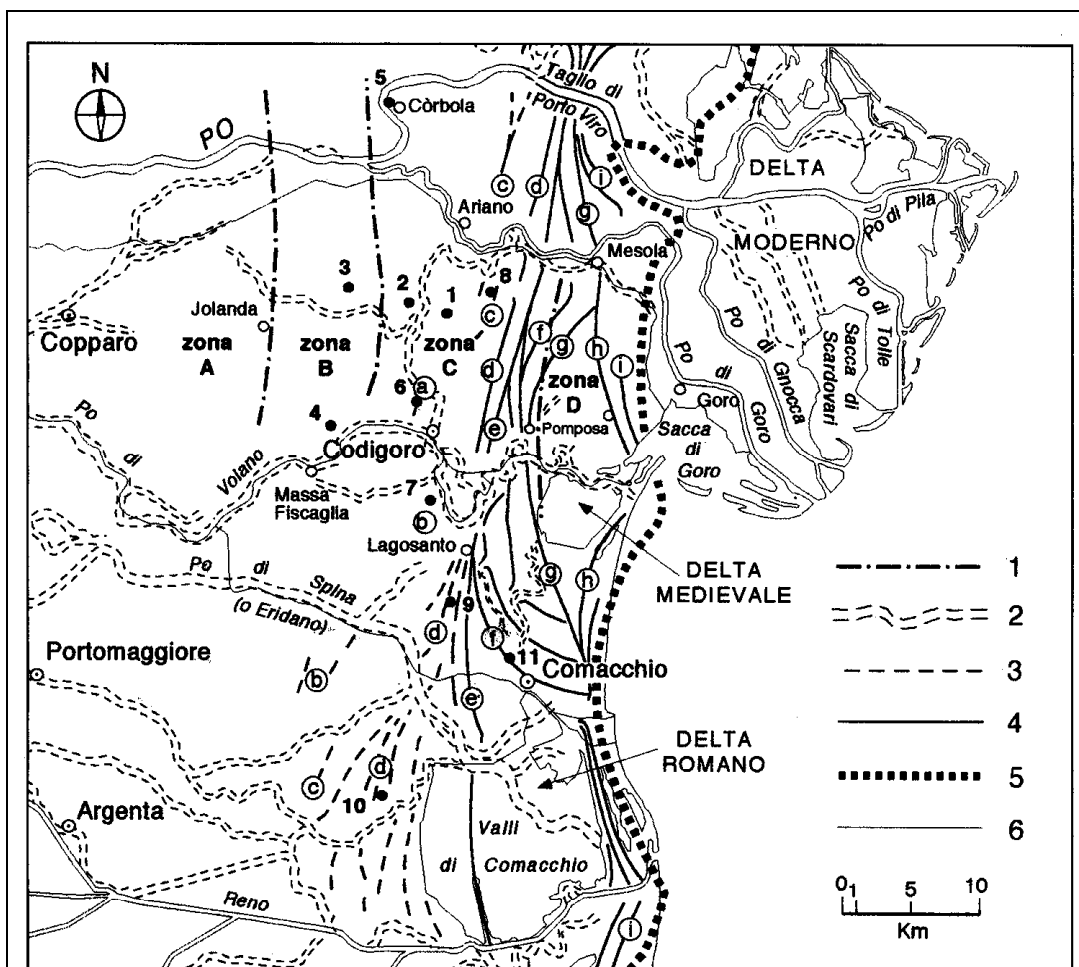


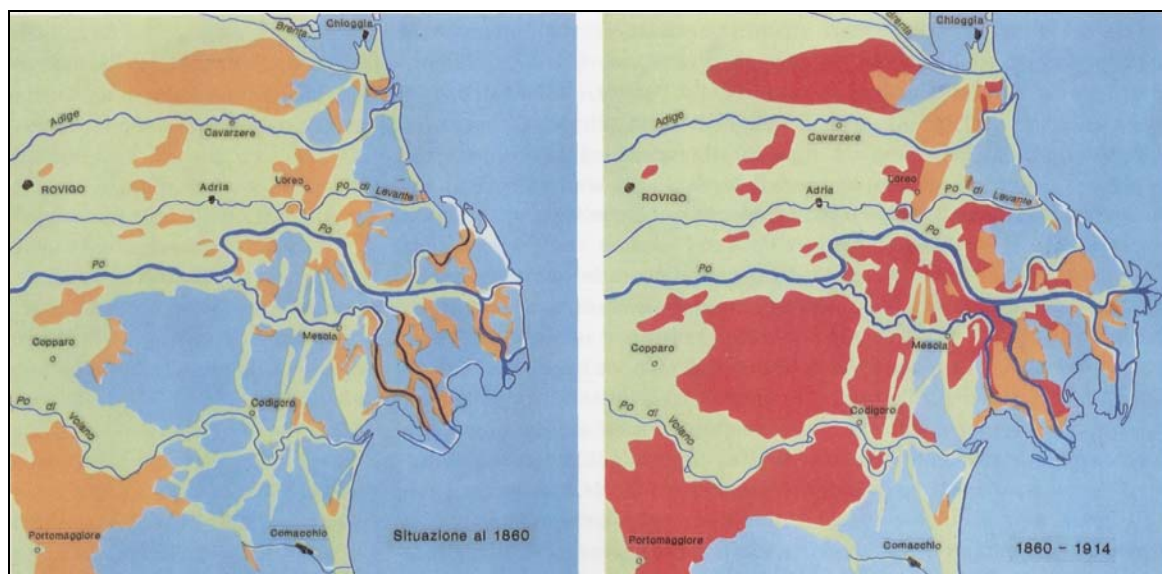
Fig. 2 - Carta geomorfologica del territorio compreso fra il Po e le Valli di Comacchio.
 Legenda: 1) limiti fra le zone di sedimentazione olocenica; 2) principali paleoalvei; 3) strutture litoranee sepolte o semisepolte; 4) strutture litoranee affioranti; 5) posizione della linea di costa alla fine del XVI secolo; 6) linea di costa attuale.
 Età delle strutture litoranee: a) Atlantico / transizione Atlantico-Subboreale; b) Subboreale; c) Subboreale; d) Subboreale: tarda età del Bronzo; e) Subatlantico: età del Ferro; f) età romana; g) Alto Medioevo; h) X secolo; i) XIV secolo.
 Siti (come in fig. 1): 1) sondaggio Mezzogoro 1; 2) sondaggio Mezzogoro 2; 3) sondaggio Mezzogoro 3; 4) sondaggio Massa Fiscaglia; 5, 6, 7, 8, 9) scavi per scopi tecnici; 10) scavo archeologico: insediamento palafitticolo; 11) scavo archeologico: nave romana di Comacchio.

FIGURA 2.5 – Carta geomorfologica del territorio compreso fra il Po e le valli di Comacchio

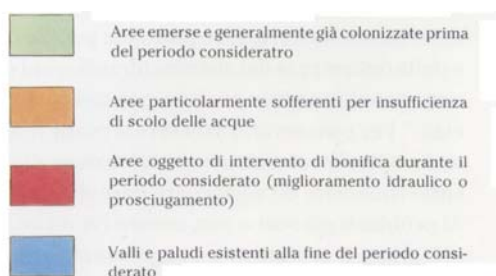
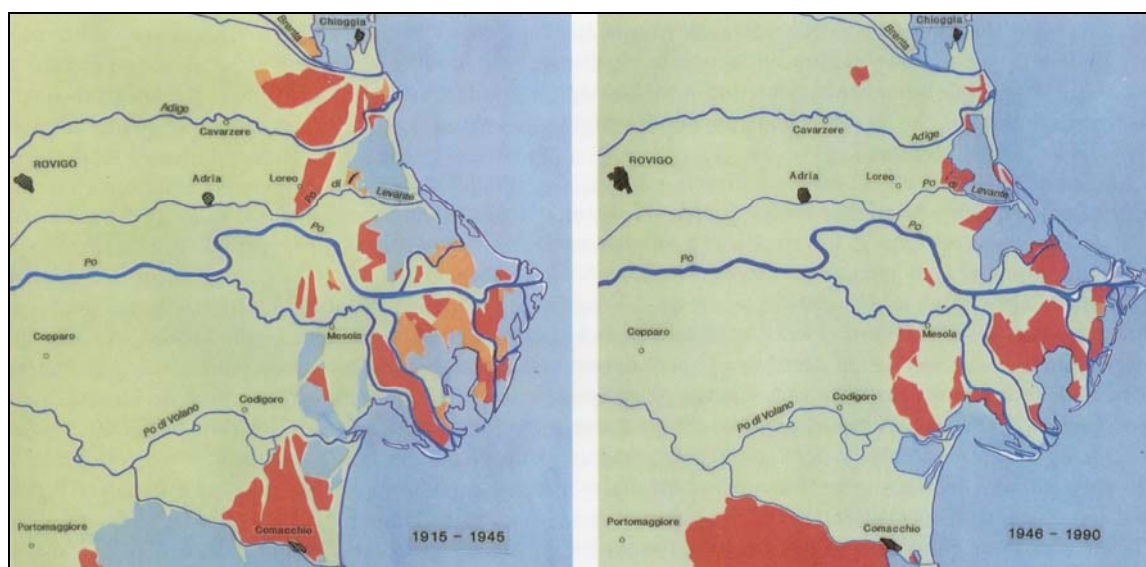
I territori racchiusi tra i dossi creati dai paleoalvei e dai cordoni di paleodune sono aree topograficamente depresse anticamente occupate da vasti bacini vallivi la cui attuale emersione è dovuta all'azione della bonifica meccanica.

La **FIGURA 2.6** mostra la successione dei principali interventi di bonifica dal 1860 ai giorni nostri, in questa carta si può notare come nel 1860 il Comune di Codigoro fosse quasi interamente occupato da valli e come queste negli anni successivi siano state gradualmente prosciugate fino ad arrivare ai giorni nostri in cui tutto il territorio comunale risulta emerso.

Le trattazioni riguardanti le azioni di bonifica e l'esercizio di scolo e derivazione delle acque verranno sviluppate in modo più completo nel paragrafo dedicato al Consorzio di Bonifica.



Successione dei principali interventi di Bonifica dal 1860 al 1914 (M. Bondesan; R. Roversi, 1990)



Successione dei principali interventi di Bonifica dal 1915 a oggi (M. Bondesan; R. Roversi, 1990)

FIGURA 2.6 - Successione dei principali interventi di Bonifica

Nella Pianura padana è possibile incontrare specchi d'acqua di forma irregolare e di limitata estensione che occupano depressioni generalmente inscritte in aree più elevate dei territori circostanti, in questi laghetti risulta evidente l'intervento di processi erosivi di tipo idrodinamico, ma senza il riscontro, nelle vicinanze, di altre tracce di erosione, le acque oggi presenti sono di

provenienza sotterranea e per lo più non vi sono emissari. Nella pianura Emiliano-Veneta queste forme sono di solito indicate con i termini di “*Gorgo*” oppure “*Rotta*” oppure, più raramente, “*Buca*”. Nei pressi del territorio in esame è possibile incontrare tre di queste forme ancora esistenti: *Gorgo di Mezzo* (24), posto circa 3,5 km a sud dell'abitato di Monticelli, nell'ultimo dopoguerra è stato in parte interrato e usato come discarica abusiva, ripulito negli anni novanta, presenta oggi una profondità non superiore ai 3 metri, le acque sono piuttosto eutrofizzate; *Gorgo dello Stradone* (25), è vicino al tratto terminale del Canale Cisano, è stato un po' ridotto a causa di interrimenti artificiali, ed è attualmente recintato, la sua profondità supera di poco i 3 metri e le acque sono piuttosto sporche; *Lago del Fondo* (26), ubicato ai margini dell'ex valle Vallona, rappresenta la parte restante di un più ampio specchio d'acqua denominato Fondo delle Crocettole, le acque sono piuttosto eutrofizzate. Questi specchi d'acqua sono interpretati come cavità di erosione legate a processi fluviali riferibili ad eventi occasionali e conclusi, si tratta in definitiva di forme “relitte”, la stessa denominazione di “laghi di rotta” è accettabile qualora si intenda con il termine rotta anche l'attraversamento di una struttura di ostacolo lontano da fiumi, da parte di acque “disalveate”.

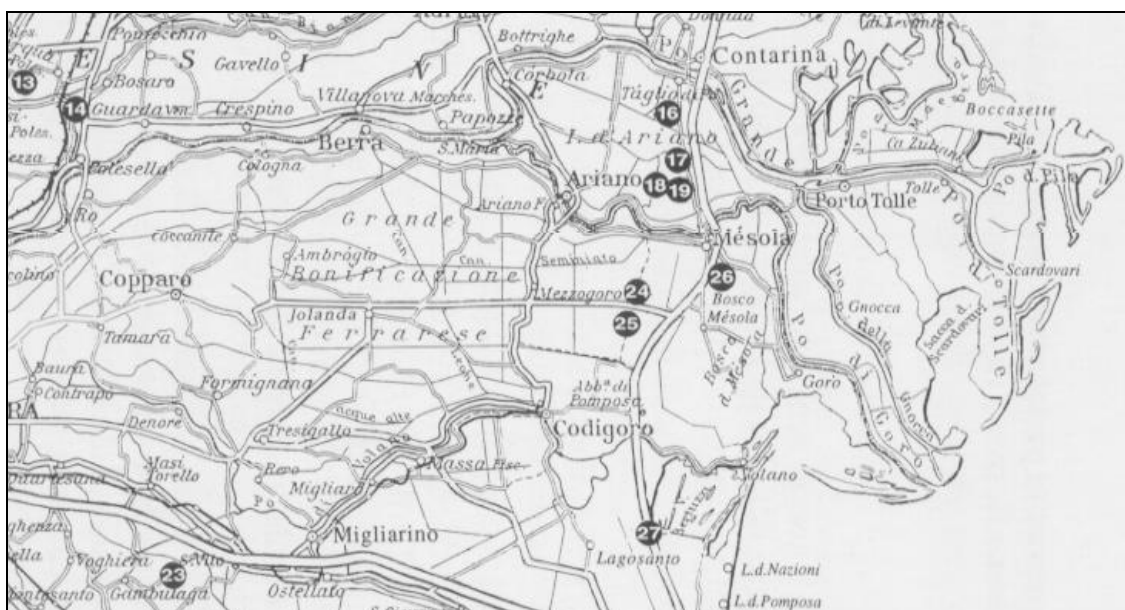


FIGURA 2.7 – Ubicazione dei Gorgi (BONDESAN M., Osservazioni sui gorgi e su altre cavità di erosione nei territori di Rovigo e Ferrara ipotesi sulla loro origine)

2.4. CARTA GEOMORFOLOGICA

La cartografia tematica di base per questo studio è stata fornita dall'Amministrazione Provinciale. Si è ritenuto opportuno affinare in questa fase del Quadro Conoscitivo la conoscenza delle strutture geomorfologiche che caratterizzano il territorio del comune in esame approfondendo la lettura del territorio.

Si è dunque deciso di eseguire una foto-interpretazione aerea dalle ortofoto del 2002 in BN; tutto sommato le condizioni di umidità del suolo del giorno in cui sono state scattate le ortofoto, erano piuttosto buone. Per buone si intende che c'era una significativa differenza sulla risposta della

riflessione della luce nei vari tipi di terreno, dovute appunto al diverso grado di umidità, condizionato dalla permeabilità dei litotipi. Il responso nelle diverse tonalità di grigio permette di distinguere le strutture più o meno permeabili. In tonalità scure sono rilevabili i terreni torbosi, i corsi d'acqua estinti che hanno ricevuto un riempimento di tipo passivo (termini argillosi-organici), i canali sublagunali di antichi corpi vallivi; le tonalità chiare invece disegnano e seguono principalmente i corsi d'acqua estinti per riempimento attivo, i depositi di rotta e i cordoni di dune affioranti e subaffioranti. Le letture vanno comunque fatte sulla scorta delle differenze relative di riflessione della luce, senza basarsi su colorazioni assolute a cui attribuire strutture geomorfologiche. Nella lettura del territorio, offre un notevole aiuto anche la cartografia storica e la topografia (compreso l'interpretazione dell'andamento di alcune strade storiche, spesso coincidenti con i sistemi arginali di antichi corsi d'acqua).

La carta geomorfologica di dettaglio dell'area del comune, prodotta dallo scrivente, in taluni punti si discosta dalle cartografie ufficiali reperite. In tale cartografia le tracce geomorfologiche sono naturalmente riportate georeferenziate.

In difformità da quanto contenuto nella Carta Geomorfologica redatta dall'Amministrazione Provinciale di Ferrara si sono distinti i paleoalvei estinti per riempimento attivo dai paleoalvei estinti per riempimento passivo. Nell'area codigorese si nota spesso che anche i paleoalvei di riempimento attivo (generalmente nella fotointerpretazione appaiono come traccie chiare, dovute alla porosità dei sedimenti sabbioso-limosi) sono ricoperti da coltri di sedimenti alluvionali sottili accumulatisi nelle fase terminale di vita del fiume. I paleoalvei minori che hanno subito un riempimento passivo, a differenza dei canali palustri (entrambi rilevabili per il colore scuro del riempimento), presentano spesso le due linee di contorno chiare, che rappresentano gli argini naturali costituiti da sedimenti di energia idrodinamica leggermente maggiore.

La **carta geomorfologica** viene riprodotta in scala 1: 25.000

3. ASSETTO STRATIGRAFICO DELLE SUCCESSIONI LITOLOGICHE E CARTA GEOLOGICA

La complessa architettura stratigrafica del sottosuolo risulta essere il prodotto della migrazione di un mosaico di ambienti sedimentari, appartenenti a un sistema deposizionale deltizio. A partire dal mare, si incontravano fondali fangosi relativamente aperti, spiagge sommerse ed emerse, dune eoliche, bacini d'acqua salmastra, più o meno aperti verso mare, e specchi d' acqua dolce. A questi ambienti si intercalavano bocche deltizie e canali fluviali attivi, soggetti a frequenti divagazioni laterali. Dopo la fase di massima trasgressione, gli ambienti sedimentari progradano velocemente verso est, per cui ora troviamo impilati verticalmente le corrispondenti facies sedimentarie. Questa progradazione ha però spesso coesistito con episodi trasgressivi, su apparati deltizi abbandonati.

Questa evoluzione ha prodotto (**FIGURA 3.1.**) un cuneo trasgressivo nettamente asimmetrico, che si sovrappone, nelle aree occidentali, a sedimenti olocenici continentali. Nell'area a nord del Volano è stato possibile individuare le seguenti quattro «isopiche»:

Zona A, con successioni interamente continentali, sviluppata ad occidente di Jolanda di Savoia (quindi nettamente al di fuori dell'area in esame), mai direttamente interessata dalla trasgressione olocenica. Qui i sedimenti fluviali del Pleistocene superiore sono ricoperti da più fini sedimenti olocenici di bassa pianura alluvionale. Lo spessore di questi depositi è ovviamente influenzato dall'incremento eustatico dell'Olocene inferiore. Nella parte più alta compaiono abbondanti intercalazioni torbose, a testimonianza delle grandi paludi perdurate fino alla bonifica della seconda metà del secolo scorso.

Zona B, con influenze marine marginali, ove ai sedimenti del Pleistocene, analoghi ai precedenti, si sovrappongono alternanze di argille, limi e sabbie di pianura costiera dell'Olocene antico; la massima trasgressione è marcata da un sistema di lagune, con influenze marine, testimoniate da alternanze di argille, a volte con un elevato contenuto organico, di limi e di torbe, anche di notevole spessore. Seguono depositi di ambienti francamente continentali.

Zona C, con sabbie costiere trasgressive sepolte, ubicata a est della precedente ed estesa fino a una linea che segue in parte la Strada Statale Romea. Qui i depositi continentali pleistocenici sono ricoperti in successione da sedimenti di bassa pianura alluvionale, che passano a depositi lagunari e a sabbie di spiaggia sommersa o di bocca deltizia. La regressione è evidenziata da cordoni litoranei, sepolti, nel settore occidentale, da sedimenti fini di ambiente prima salmastro poi dulcicolo, e affioranti in quello orientale.

Zona D, con limi di mare aperto e cordoni regressivi affioranti, rappresentata nella parte più orientale dell'area di studio. Qui i depositi continentali e costieri precedenti alla massima trasgressione sono relativamente poco potenti, mentre sono ben sviluppati i più recenti fanghi di

mare largo. I cordoni sabbiosi regressivi sono sempre affioranti, ma si incontrano anche sedimenti fini, nelle depressioni fra i cordoni e nelle piane deltizie prive di dune eoliche e cordoni litoranei. Nella parte interna di questa area, la massima trasgressione è segnata da sedimenti limoso-sabbiosi, con influenze salmastre e marine marginali, in analogia con quanto avviene intorno ai 7 m di profondità nel sondaggio eseguito a Massa Fiscaglia dal Prof. Bondesan per lo studio dell'evoluzione geomorfologica dell'area."

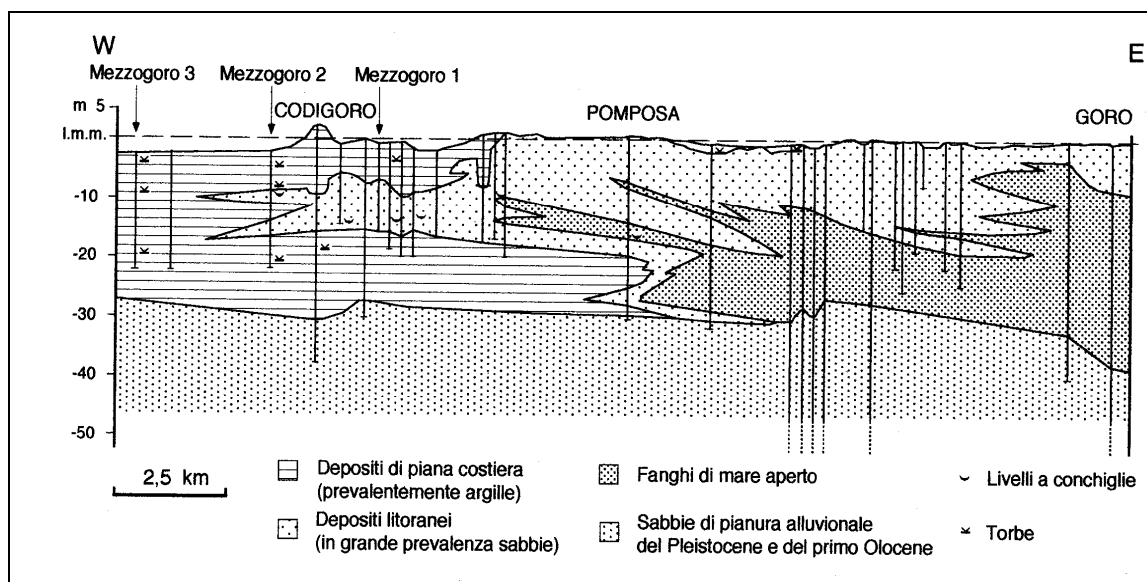


FIGURA 3.1 – profilo o sezione geologica del tratto compreso a est da Goro e a ovest dal bacino di Bonifica compreso tra Mezzogoro e Italba (Tratto da "Nuovi dati stratigrafici paleoambientali e di cronologia radiometrica sul ciclo trasgressivo-regressivo olocenico nell'area deltizia padana", *Annali dell'Università di Ferrara*, Bondesan et alii, 1999).

3.1 CARTA DELLA LITOLOGIA DI SUPERFICIE

La cartografia tematica di base per questo studio è stata fornita dall'Amministrazione Provinciale (in **FIGURA 3.2** viene fornito uno stralcio della *Carta della litologia di superficie*).

La **Carta della litologia di superficie** viene riprodotta in scala 1:25.000, e non ha subito rielaborazioni sui contenuti sostanziali da parte dello scrivente ma solo rielaborazione grafica. Detta carta tematica di base è stata costruita in base alle analisi granulometriche di campioni analizzati che rappresentano tutto lo strato che va da circa 10 cm fino a 80 cm di profondità dal piano campagna, non essendo stato preso in considerazione il livello più superficiale da 0 a 10 cm. Sostanzialmente nel territorio occidentale del comune di Codigoro, in corrispondenza dei territori anticamente occupati da bacini vallivi, testimoni di ambienti deposizionali di bassa energia idrodinamica, dominano in affioramento le litologie composte da miscele ternarie da sabbia-limo-argilla alternate a miscele binarie di argilla-sabbia, mentre nel territorio orientale, in corrispondenza degli allineamenti di paleodune costiere, testimoni di ambienti deposizionali di alta energia idrodinamica, dominano le litologie sabbiose.

Le uniche aree caratterizzate dalla presenza di torba sono localizzate ad ovest di Codigoro, lungo il confine settentrionale del territorio comunale, all'interno della grande Bonifica Ferrarese. Le torbe

sono sedimenti organici che derivano dalla decomposizione e carbonizzazione dei vegetali che costituivano la vegetazione acquatica degli specchi vallivi ad acque dolci, non si rinvennero dunque torbe nelle altre aree orientali anticamente occupate da bacini vallivi, in quanto costituiti da acque salmastre.

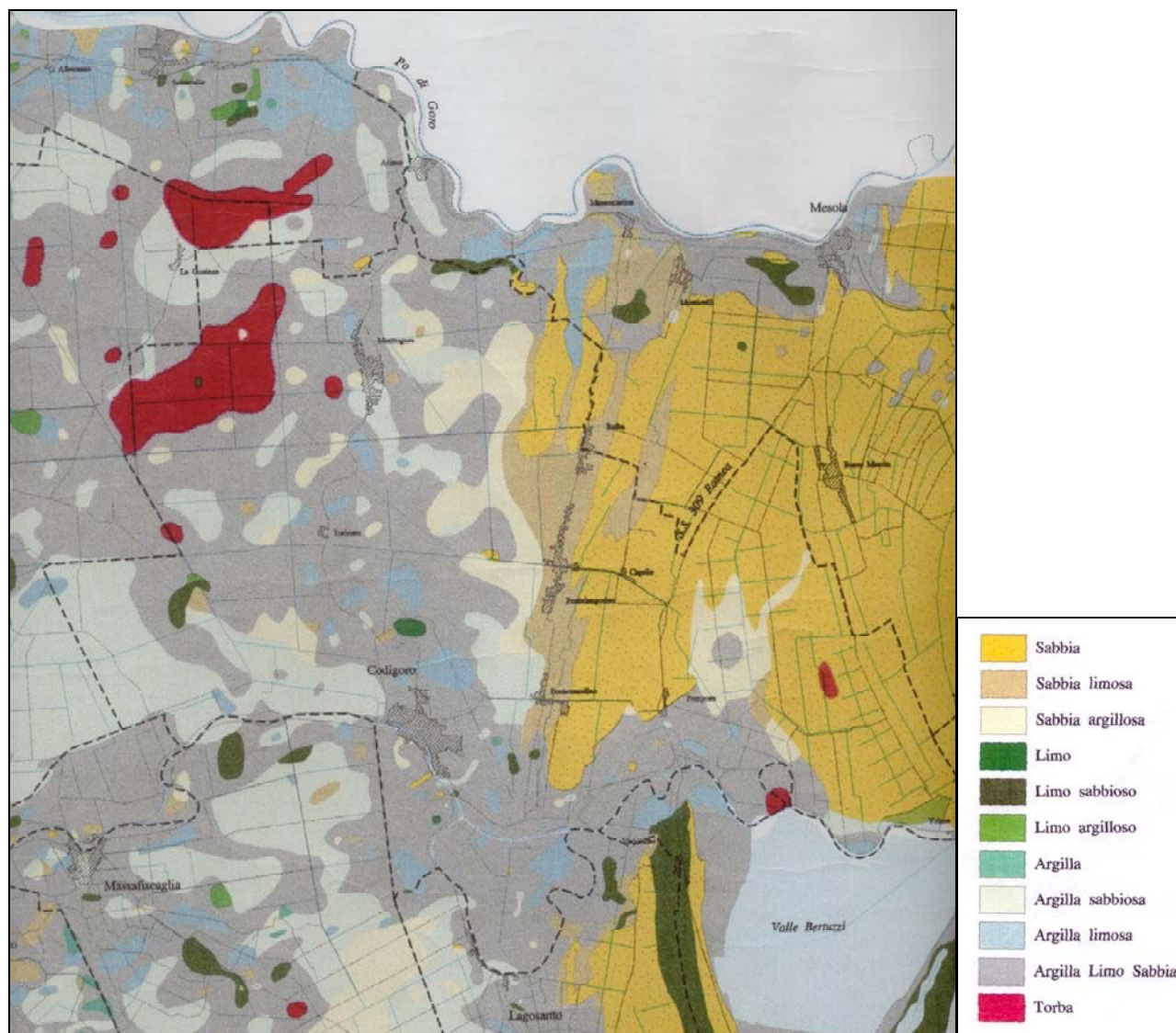


Figura 3.2 – Stralcio della Carta della litologia di superficie della Provincia di Ferrara

3.2 CARTA GEOLOGICA 1:50.000 FOGLIO CODIGORO

Lo studio condotto dall'Università di Ferrara (Prof. Marco Stefani e Dott. Stefano Vincenzi) e dal Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna, ha portato alla redazione della recentissima Carta Geologica in scala 1:50.000, gentilmente concessa dagli Uffici regionali allo stadio di Bozza di Lavoro (ancora non pubblicata), in cui è visibile la più recente lettura interpretativa del territorio in esame.

Si rimanda alla legenda della carta la lettura delle formazioni geologiche in cui è stato suddiviso il pacco dei sedimenti più superficiali. E' stata presa in considerazione anche il Foglio Geologico alla

Scala 1:50.000 di Ravenna, già pubblicato dal Servizio Geologico d'Italia, dove l'ampia relazione illustrativa consente una più chiara lettura del Foglio Codigoro.

Tale cartografia è stata ripresa e riprodotta zoommata in scala 1:25.000 per il territorio comunale codigorese, apportando alcune modifiche e soprattutto eliminando alcune dettagli molto sofisticati, al fine di semplificarne la lettura ad un pubblico di tecnici urbanisti.

4. ASSETTO TOPOGRAFICO DEL TERRITORIO

La carta altimetrica costituisce un documento fondamentale per la pianificazione territoriale, la difesa del suolo, la protezione civile e la gestione idraulica, si veda in **FIGURA 4.1** il Modello Altimetrico della Provincia di Ferrara, che sintetizza, mediante isoipse di equidistanza 1 metro, il quadro derivante dall'analisi delle quote puntuali della Carta Tecnica Regionale alla scala 1:5.000.

In questa carta si può notare come il territorio comunale sia caratterizzato quasi esclusivamente da vaste aree topograficamente depresse interrotte localmente da dossi di origine fluviale e costiera.

Le aree più depresse, localizzate nelle ex Valle Volta (a sud dell'abitato di Codigoro), Valle Giralda (ad est dell'abitato di Pomposa), Valle Vallona (tra Monticelli e Mesola, a nord di Caprile) e nelle valli della Grande Bonificazione Ferrarese (tutti i territori a nord del Po di Volano ed a ovest dell'allineamento Italba-Pontelangorino-Pontemaodino), sono caratterizzate da quote, sempre negative, che raggiungono i -4,0 m s.l.m.. Queste aree sono state per secoli bacini vallivi chiusi e la loro attuale emersione è dovuta all'azione della bonifica meccanica, che mediante un sistema di canali di scolo e di pompe idrovore per il sollevamento delle acque, consente lo svolgersi di molte attività antropiche.

Nettamente in evidenza risultano le due strutture dossive di origine fluviale: il paleoalveo del Po di Volano e paleoalveo del fiume Gaurus. La traccia del Po di Volano, rinvenibile lungo la direttrice che congiunge gli abitati di Massa Fiscaglia e Codigoro e prosegue con andamento all'incirca ovest-est fino allo sbocco a mare, è caratterizzato da quote che si aggirano intorno a 0,0 /+1,0 m sul l.m.m. fatta esclusione per il tratto tra Massafiscaglia e Codigoro e il tratto terminale della foce dove le quote raggiungono i +4,0 m, il tracciato del Gaurus rinvenibile lungo la direttrice che congiunge gli abitati di Codigoro e Mezzogoro con andamento all'incirca sud-nord, per poi piegare bruscamente verso est, passando per Massenzatica, Monticelli e Mesola, raggiunge quote fino a +1,0 m. Entrambe le tracce di questi due paleoalvei si presentano continue, sostanzialmente regolari, di ampiezza relativamente costante, l'andamento del Po di Volano si presenta però sostanzialmente più meandriforme in particolare nel tratto a sud-est dell'abitato di Codigoro coincidente con l'ansa del Varano, più rettilineo si presenta invece la traccia del Gaurus.

Le altre strutture dossive che caratterizzano il territorio coincidono con gli allineamenti di paleodune costiere, testimonianza della progradazione della linea di costa aventi tutte direzione pressoché verticale, che risultano ancora rilevati sul territorio, e sono principalmente l'allineamento con direttrice congiungente gli abitati di Italba-Pontelangorino-Pontemaodino, quello passante per l'abitato di Pomposa, e quello passante per Bosco Mesola, tali dossi raggiungono quote intorno ai +1,0 m sul l.m.m..

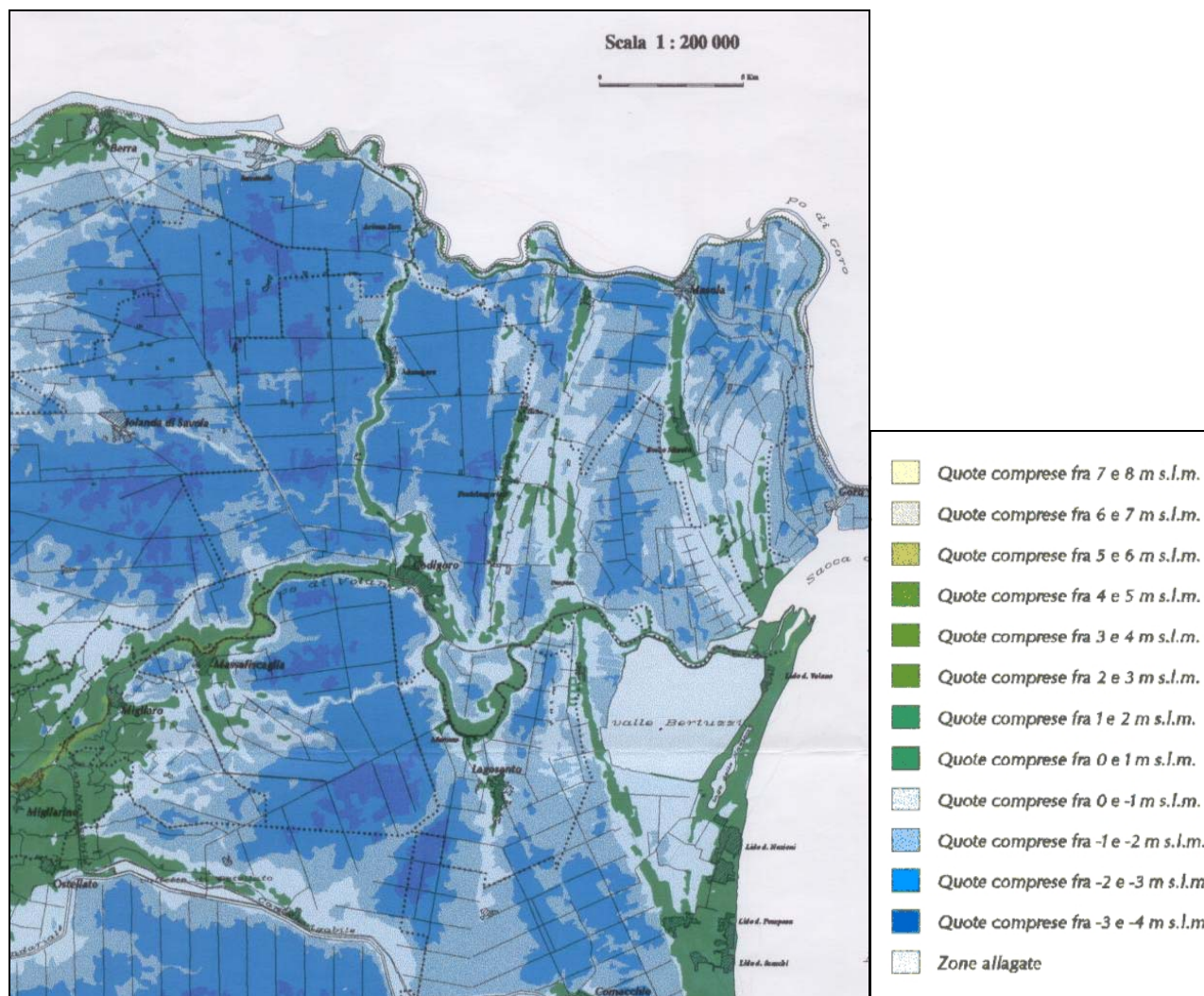


FIGURA 4.1 - Stralcio del modello altimetrico della Provincia di Ferrara

Per l'abitato di Codigoro è stata redatta una carta del microrilievo di dettaglio, con isoipse equidistanti 0,5m. Questo studio di dettaglio è finalizzato ad offrire uno strumento di analisi per lo studio della prevenzione del rischio idraulico sul capoluogo e sugli impianti Idrovori che ivi si ubicano, di vitale importanza per una grande estensione del territorio provinciale.

4.1 CARTA ALTIMETRICA E DEI RILEVATI

La cartografia tematica di base per questo studio è stata fornita dall'Amministrazione Provinciale.

Si riporta la **Carta altimetrica e dei rilevati** in scala 1:25.000.

Concettualmente queste fasce altimetriche vengono concepite come versanti che portano l'acqua verso le quote topografiche più basse, cioè verso i microbacini più depressi.

All'interno dello studio dell'assetto topografico del territorio comunale si è scelto di evidenziare nella medesima cartografia il sistema dei rilevati costituiti da arginature di fiumi e canali, rilevati stradali, ferroviari e canaline di irrigazione.

Il metodo di rilevamento è stato quello di considerare i dislivelli relativi tra i corpi dei rilevati ed i piani campagna circostanti. La classificazione dei rilevati è stata fatta proprio in funzione dell'intervallo di dislivello tra loro ed i relativi piani campagna. Sulla base di questo metodo si è provveduto al rilievo in campagna dei corpi dei rilevati, in funzione dei seguenti criteri:

- in un'unica classe sono stati riuniti i rilevati di altezza compresa tra 0,0 m e 0,5 m rispetto ai p.c. circostanti;
- in una seconda classe sono stati riuniti i rilevati di altezza compresa tra 0,5 m e 1,0 m rispetto ai p.c. circostanti;
- una terza classe racchiude i rilevati con dislivello tra la loro sommità ed i p.c. circostanti compresi tra 1,0 m e 1,5 m di dislivello;
- una quarta classe comprende tutti i rilevati con dislivello tra la loro sommità ed i p.c. circostanti compresi tra 1,5 m e 2,0 m di dislivello.
- una quinta e ultima classe comprende tutti i rilevati con dislivello tra la loro sommità ed i p.c. circostanti superiori ai 2m di dislivello.

Questo nuovo elemento sovrapposto alla carta altimetrica consentirà di individuare delle “aree di catino”, in cui, in caso di inondazione, le acque si troverebbero parzialmente racchiuse da un sistema di rilevati e di dossi morfologici naturali. Oltre ai rilevati presenti con continuità sul territorio comunale si sono mappati anche i principali “varchi” che segnano le “porte” di comunicazione tra un'area di catino e l'altra.

4.2 CARTA DELLE AREE DI CATINO IDRAULICO

La definizione di aree di catino idraulico che viene data dallo scrivente in questo studio è: *aree depresse racchiuse da alti morfologici, da rilevati stradali, arginali, ferroviari e quant'altro si elevi con continuità rispetto ai piani campagna circostanti tali da creare un effetto di contenimento sulla propagazione di eventi alluvionali.*

La carta altimetrica con la sovrapposizione della carta dei rilevati consente di individuare delle “aree di catino”, in cui, in caso di inondazione, le acque si troverebbero parzialmente racchiuse da un sistema di rilevati e di dossi morfologici naturali; ogni “area di catino” ha però delle vie di uscita, di deflusso preferenziale delle acque ,chiamate “varchi”, rilevate in questo lavoro. Si sono potute così perimetrare ventidue (22) aree di catino idrauliche o “celle idrauliche”.

L'utilizzo e l'applicazione di questa cartografia può dare interessanti spunti per lo studio delle “celle idrauliche” e del rischio idraulico a cui il territorio comunale può essere soggetto. Nella pianificazione comunale questi tipi di studi hanno significato limitato, in quanto essi vanno condotti su macro aree, e dunque le analisi specifiche vanno condotte da enti sovraordinati.

In questo studio si intende fornire un contributo, che come un tassello può essere unito ad altri lavori compiuti su altri comuni limitrofi per compiere le dovute valutazioni sulle macroaree di rischio.

5. IL SISTEMA DELLA BONIFICA

Il territorio del comune di Codigoro è gestito da due diversi Consorzi di Bonifica, anche se per la massima parte ricadono nel comprensorio del Consorzio di Bonifica del I Circondario Polesine di San Giorgio. Nel dettaglio il comune ricade per la parte settentrionale, a nord del Po di Volano, all'interno del Consorzio di Bonifica I Circondario Polesine di Ferrara e per la parte più meridionale, a sud del Po di Volano, all'interno del Consorzio di Bonifica II Circondario Polesine di S. Giorgio.

La principale attività di questi Consorzi è l'esercizio di scolo e derivazione delle acque, comprendente la regimazione dei deflussi di scolo e servizi di piena, il prelievo e la distribuzione delle acque per l'irrigazione e per usi diversi, la sorveglianza e la manutenzione delle reti e dei manufatti, essi hanno inoltre il compito istituzionale di provvedere alla manutenzione delle opere di bonifica; progettare ed eseguire nuove opere di bonifica volte alla realizzazione e al mantenimento di un assetto territoriale idraulicamente sicuro ed efficiente, alla valorizzazione del territorio, allo sviluppo dell'agricoltura, e alla tutela e conservazione delle risorse naturali; e di partecipare alla programmazione territoriale e di bacino idrografico.

Segue la **FIGURA 5.1.** con la suddivisione delle aree della provincia gestite dai rispettivi consorzi di bonifica.

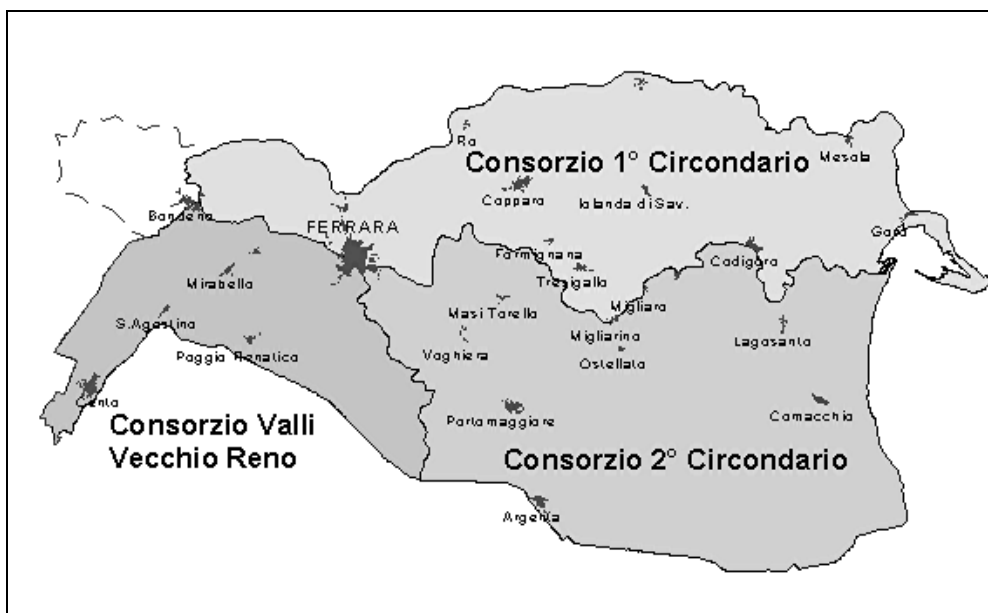


FIGURA 5.1. -suddivisione dei comprensori dei vari consorzi

L'azione di bonifica, sviluppatasi nei secoli, ha tentato di dare sicurezza ed un dinamico equilibrio a terra e ad acqua, considerando la variabilità della natura geologica dei suoi terreni e della mutevolezza delle precipitazioni. Ed ecco quindi la necessità in pianura di dare ordinato scolo alle acque con una rete di canali e con un delicato sistema idraulico che assicuri, ove occorra, anche con l'ausilio di macchine idrovore, lo svuotamento degli avvallamenti dalle acque piovane o che

scendono dalle terre più alte, tutto ciò nel pieno rispetto delle condizioni e delle necessità delle singole aree da servire.

In **FIGURA 5.2** si può vedere la parte della provincia di Ferrara posta sotto il livello medio marino, da questa carta emerge come in tutto il comune in esame risulti particolarmente importante l'azione della bonifica.



FIGURA 5.2. – Territori provinciali posti al di sotto del livello medio del mare (da "Ferrara e la Bonifica", 1986)

Dopo gli innumerevoli tentativi di bonifica realizzati nei secoli precedenti, l'azione della bonifica si è dimostrata veramente efficace solo dopo l'avvento delle pompe idrovore per il sollevamento meccanico delle acque, avvenuto nella seconda metà del 1800.

Si vedano in proposito la **FIGURA 5.3** e la **FIGURA 5.4** che mostrano la Provincia di Ferrara prima e dopo le Bonifiche meccaniche ottocentesche.

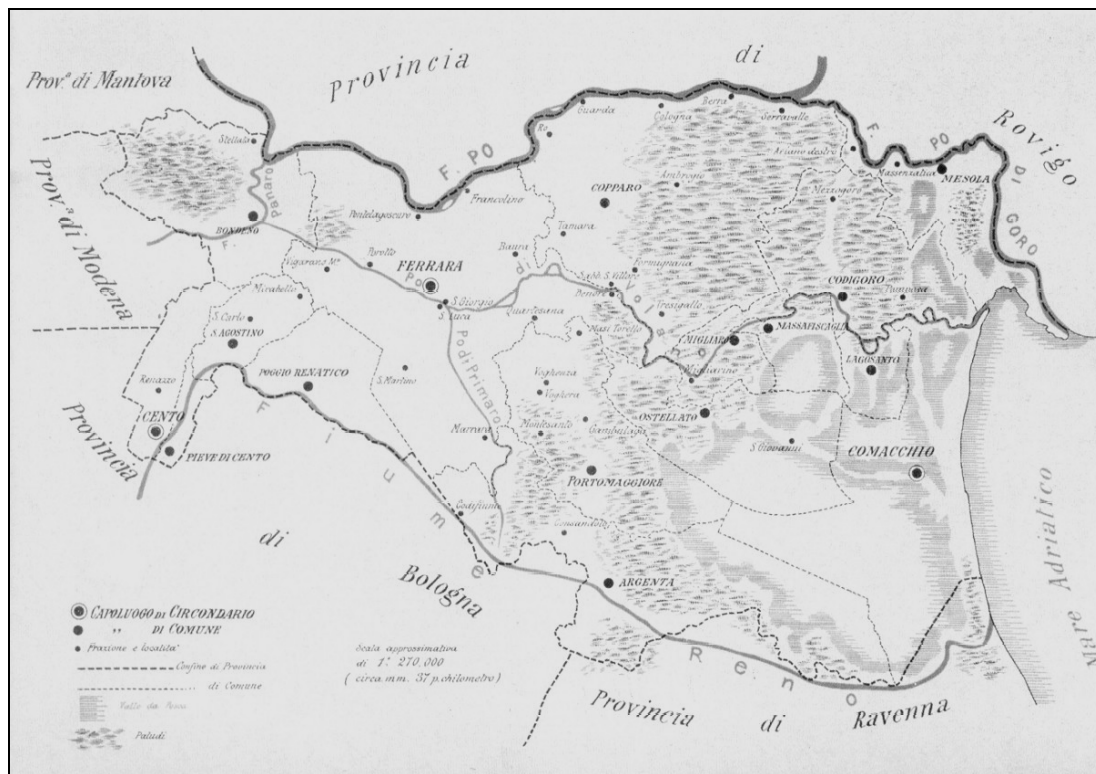


FIGURA 5.3 – La provincia di Ferrara a metà dell'800 prima delle Bonifiche meccaniche (da "La Provincia di Ferrara e le sue bonifiche" Tip. Bresciani,1903)

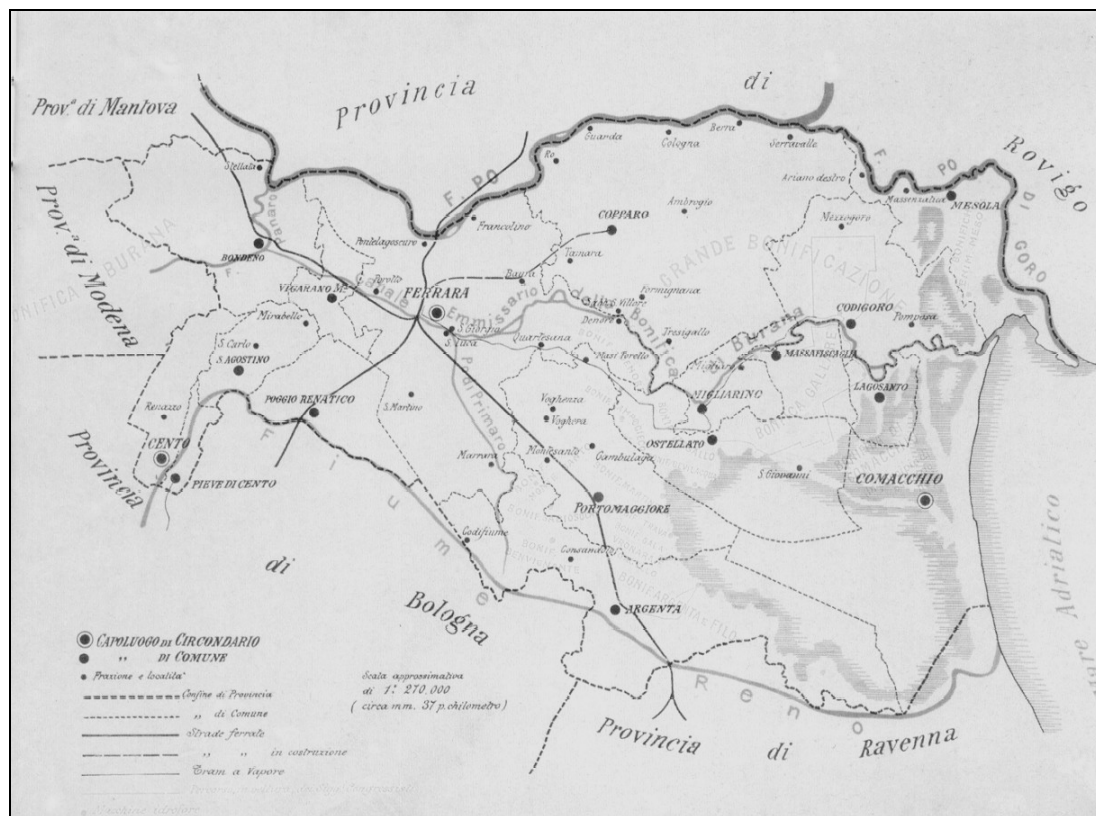


FIGURA 5.4 – La provincia di Ferrara dopo le Bonifiche ottocentesche (da "La Provincia di Ferrara e le sue bonifiche" Tip. Bresciani,1903)

Di seguito si riporta la **FIGURA 5.5.** che indica l'ubicazione degli impianti di sollevamento nei territori di bonifica ferraresi a dimostrare la marcata concentrazione di opere di gestione e governo delle acque all'interno del territorio comunale in esame.

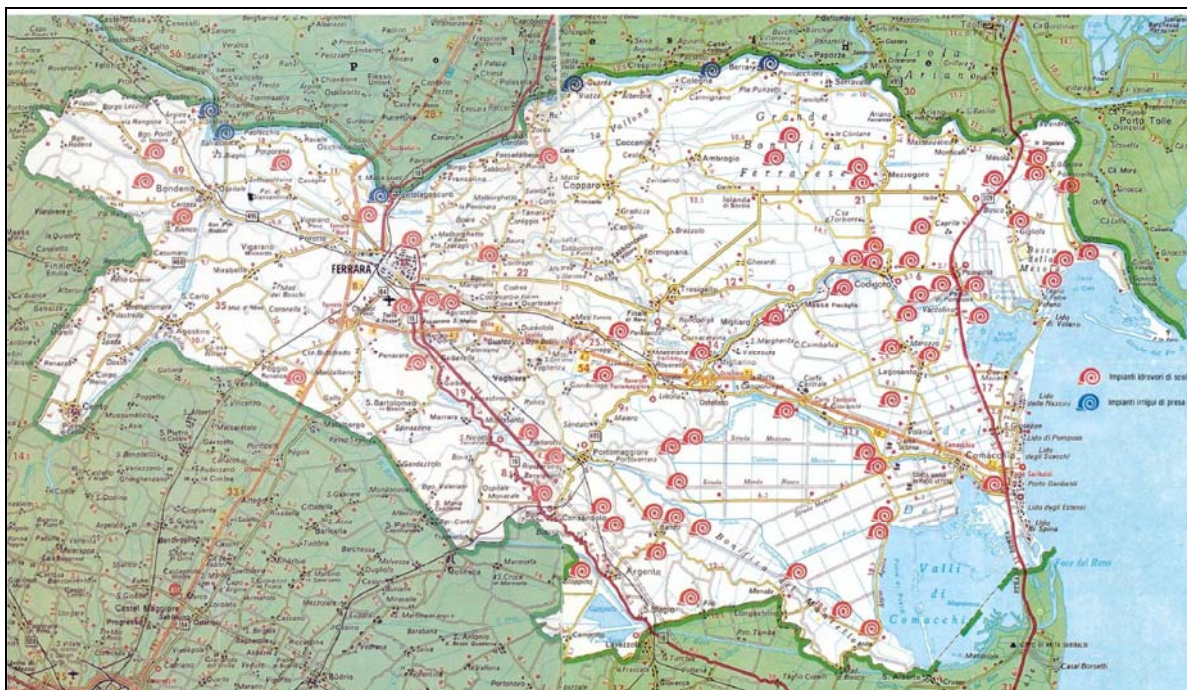


FIGURA 5.5 – Carta con ubicazione degli impianti (da “Ferrara e la Bonifica”, 1986)

Le trasformazioni economiche-sociali nel territorio ferrarese non sono sempre avvenute in armonia ed in equilibrio con le esigenze di difesa del suolo, ma spesso hanno contribuito ad innescare un processo di dissesto idrogeologico e d'impoverimento paesaggistico-naturalistico, oggi sempre più evidente.

Il risultato è un territorio con una sicurezza idraulica notevolmente ridotta; in particolare si rileva che le reti scolanti e gli impianti idrovori consortili sono stati dimensionati, nel primo decennio del secolo, per dare sicurezza ad un territorio molto meno vulnerabile di quello attuale, per il quale i danni da eventuali sommersioni erano giudicati più che tollerabili. L'aumento delle superfici impermeabilizzate, la scomparsa delle risaie, la trasformazione agricola del suolo, finalizzata a consentire la coltivazione meccanizzata dei terreni, e la conseguente scomparsa delle scoline, l'abbandono della manutenzione della rete idraulica privata (aziendale ed interaziendale), il grave fenomeno della subsidenza, causato dagli emungimenti di acque sotterranee, rappresentano oggi i fattori che determinano l'aumento delle portate scaricate nei canali di bonifica, riducendo la sicurezza idraulica delle aree agricole e produttive sottostanti.

Gli interventi finora portati a compimento dai Consorzi e la continua azione di manutenzione ed esercizio delle opere hanno consentito di conservare l'efficacia del sistema, ma non sono stati tali da contrastare le trasformazioni del suolo, dovute essenzialmente all'urbanizzazione e ai fenomeni da essa indotti.

5.1. CONSORZIO DI BONIFICA I CIRCONDARIO POLESINE DI FERRARA

Il comprensorio del Consorzio di Bonifica I Circondario Polesine di Ferrara occupa i territori compresi tra il Po di Venezia-Po di Goro a nord e l'antico Po di Volano a sud, estendendosi dalla confluenza del Panaro nel Po fino al litorale Adriatico.

Le più importanti opere di sistemazione idraulica del Polesine di Ferrara sono state effettuate in epoca estense. Dei quasi 32.000 ha recuperati alle valli dalla Grande Bonificazione del XVI secolo, solo 16.000 ha circa restavano disponibili alla coltivazione nel 1639, ridotti ulteriormente a poco più di 5.000 ha nel 1782. Alla metà dell'Ottocento, la maggior parte della provincia di Ferrara era di nuovo sommersa dalle acque e fu solo l'avvento della bonifica meccanica (attuata mediante l'uso di pompe "idrovoce" per il sollevamento delle acque) che consentì un nuovo ribaltamento della situazione.

Nell'ambito della Congregazione Consorziale del I Gran Circondario Scoli, istituita nel 1820, si fece strada l'idea di ripristinare la grande bonifica della parte orientale del Polesine di Ferrara, utilizzando le nuove idrovore a vapore. All'inizio del Novecento la Grande Bonificazione Ferrarese venne completamente ristrutturata su progetto dell'ing. Pietro Pasini, il quale separò le Acque Alte dalle Acque Basse, destinando alle prime, zone di Guarda, Copparo, Formignana e Tresigallo, il vecchio impianto idrovoro del 1874 e costruendo ex novo un secondo impianto idrovoro al servizio delle zone più depresse di Jolanda di Savoia, Berra, Ariano Ferrarese e Codigoro.

Da allora fino ai nostri giorni non sono state apportate modifiche sostanziali, ma solo ammodernamenti e potenziamenti alla struttura delle reti scolanti già esistenti.

L'area oggetto di studio tutelata dal Consorzio di Bonifica I Circondario Polesine di Ferrara è caratterizzata da una continua serie di dossi, di origine fluviale e costiera, e avvallamenti, perennemente soggetti a rischio di impaludamento, si tratta di un territorio piatto, con estese e profonde depressioni centro orientali che superano i quattro metri sotto il livello del mare. A questo vanno aggiunti i pesanti effetti dell'enorme sviluppo e della costante evoluzione delle attività e degli insediamenti realizzati dall'uomo che, oltre a mettere in crisi gli equilibri raggiunti, pretendono livelli di sicurezza sempre più elevati ed interventi sempre più veloci e tempestivi.

L'impianto più importante è l'idrovoro di Codigoro, che, ultimamente ridimensionato, permette lo scolo delle Acque Alte, provenienti dalla zona Ex-Terre Vecchie, e delle Acque Basse, per il territorio della ex-Grande Bonificazione Ferrarese e dell'ex-Tenimento della Mesola.

Il comprensorio del Consorzio presenta una serie di conche sempre più depresse e più ampie man mano che da Panaro ci si sposta verso il mare (sacca di Goro), per le quali si sono attuate soluzioni diverse dei sistemi di scolo (tutti peraltro meccanici) che vanno nei vari bacini dal presollevamento, alla separazione delle acque alte dalle basse.

In **FIGURA 5.6** si riporta una carta con la rete dei canali della bonifica e la loro classificazione in irrigui, di scolo e promiscui.

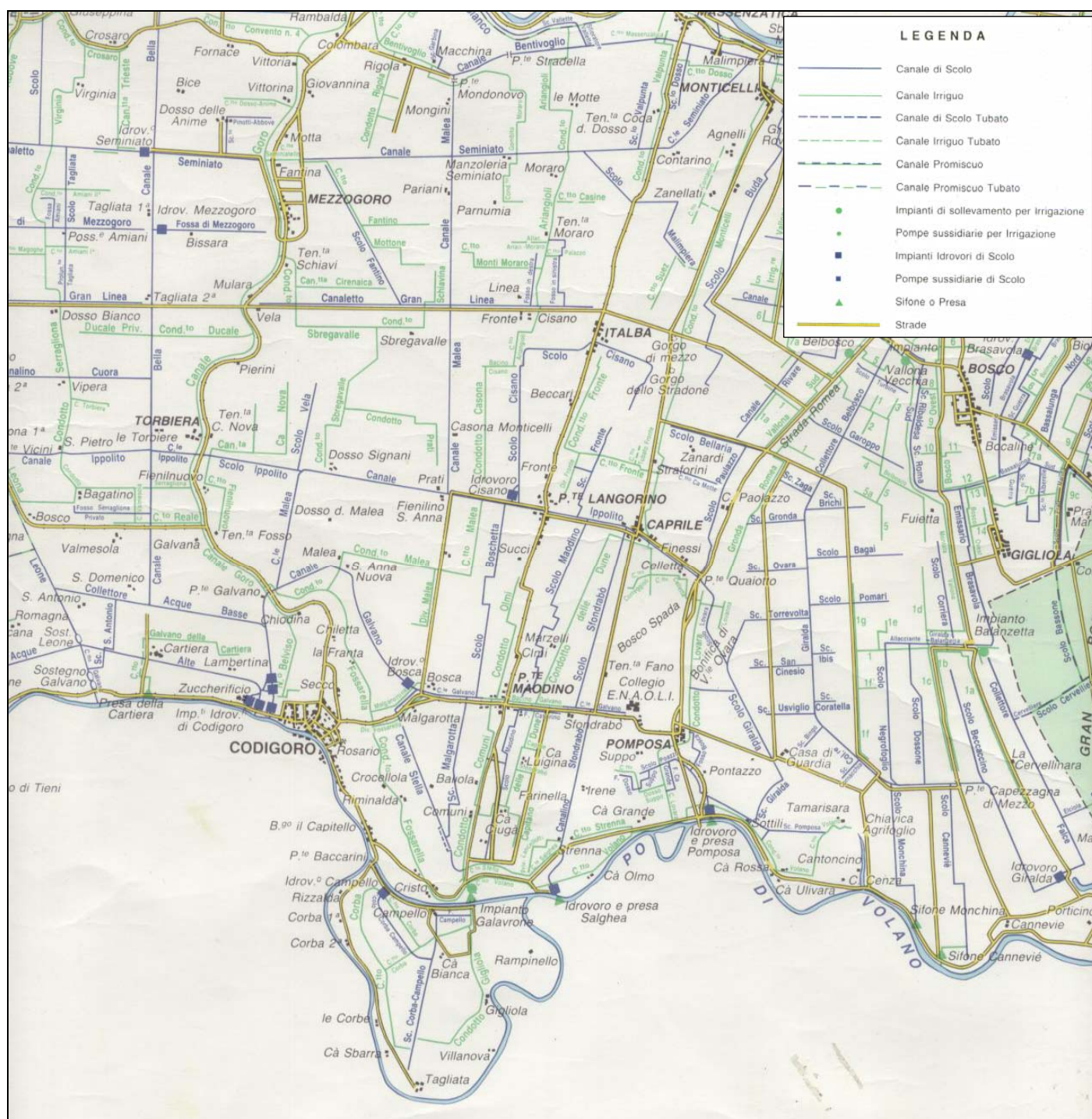


FIGURA 5.6. - Carta del sistema della Bonifica nel comune di Codigoro e nei territori limitrofi.

Anche se fuori dal territorio comunale, occorre segnalare l'inaugurazione del nuovo Impianto di Sollevamento Vidara Nord a ridosso dell'argine del fiume Po di Goro, in cui le pompe riversano le acque di scolo di un grande bacino, sottratto all'azione scolante del comprensorio posto a sud del Canal Bianco, con gran beneficio per il territorio.

5.2. CONSORZIO DI BONIFICA II CIRCONDARIO POLESINE DI S. GIORGIO

Il Consorzio di Bonifica Il Circondario Polesine di San Giorgio è compreso fra il Po di Volano a nord, il mare Adriatico ad est, il fiume Reno a sud e il Po di Primaro ad ovest, occupa la parete meridionale della Provincia di Ferrara con modeste estensioni nel bolognese e nel ravennate.

Il Comprensorio del Consorzio interessa per una piccola frazione il Comune di Codigoro nella sua parte più sud-occidentale (**FIGURA 5.7**).

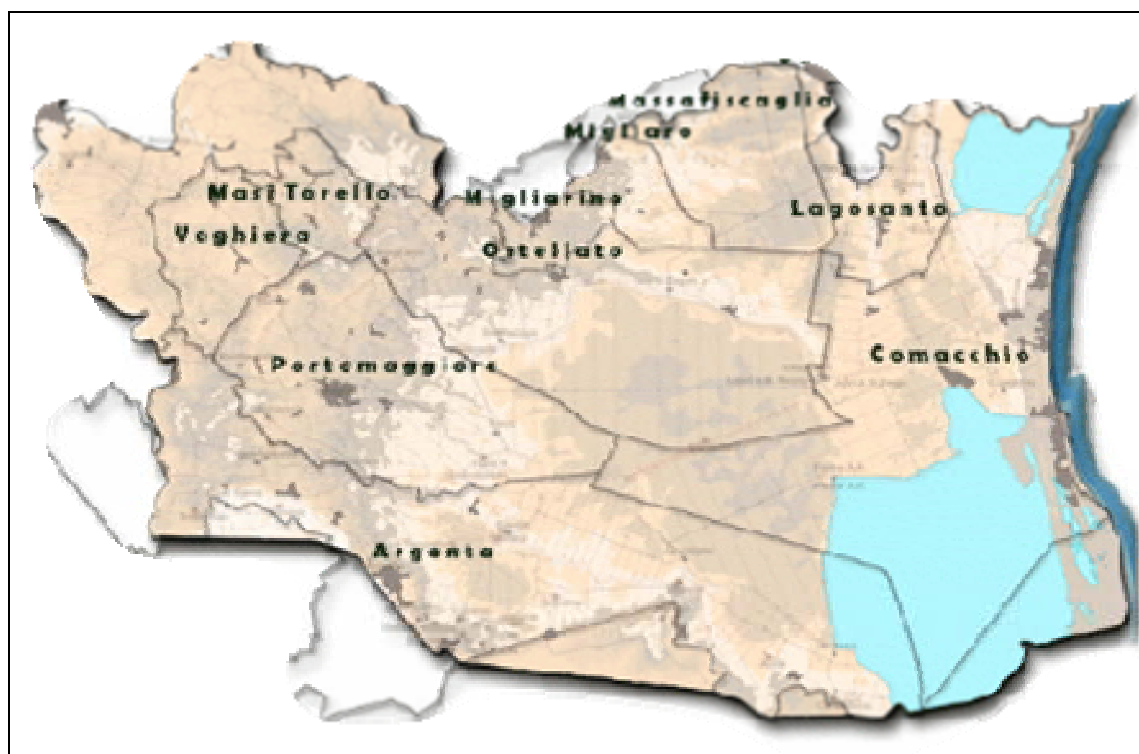


FIGURA 5.7. – Comprensorio del Consorzio di Bonifica del II Circondario Polesine di San Giorgio: limiti amministrativi

Il territorio del Polesine di San Giorgio per la sua conformazione non si prestò ad una bonifica fino all'avvento del sollevamento meccanico, il mezzo capace di risolvere i problemi costituiti dall'eccessiva diversificazione altimetrica ed idraulica di terreni spesso limitrofi.

Le acque defluenti dai terreni più elevati vennero convogliate nell'alveo delle grandi Fosse idrauliche che percorrevano il comprensorio (Fossa di Porto, dei Masi di Voghenza) fino al recapito finale costituito dalle Valli di Comacchio, che allora si estendevano notevolmente nell'entroterra, mentre le acque dei terreni più depressi vennero sollevate meccanicamente attraverso impianti idrovori, che vennero realizzati dal 1872 fino al 1930 circa, ognuno dei quali era al servizio di un bacino idraulico autonomo.

Oggi lo scopo istituzionale del Consorzio è, quindi, quello di predisporre le azioni utili a migliorare le condizioni ambientali e socio-economiche del territorio di competenza: la conservazione del suolo, la sistemazione idrogeologica del terreno e la regimazione dei corsi d'acqua, lo scolo naturale e artificiale delle acque, la difesa dagli inquinamenti, la tutela e l'incremento delle risorse idriche, il controllo ed il contenimento dei fenomeni di ingressione salina sulle acque di superficie e di falda, la razionale utilizzazione del terreno e delle risorse naturali.

Le acque del territorio comunale codigorese sono recapitate attraverso una serie di scoli principali verso gli impianti idrovori di Marozzo, dove le acque vengono sollevate e riversate nel fiume Po di Volano per poi giungere in mare.

5.3. CARTA DEL SISTEMA DI BONIFICA

La cartografia tematica di base per questo studio è stata la *Corografia del Comprensorio del Consorzio di Bonifica I° Circondario Polesine di Ferrara*, visibile in uno stralcio in **FIGURA 5.6**.

La **Carta del sistema di Bonifica** viene riprodotta in scala 1: 25.000 , non ha subito rielaborazioni sui contenuti sostanziali da parte dello scrivente ma solo rielaborazione grafica, proponendo una versione zoommata sulle aree di interesse che sovrapponga tutti i tematismi rilevati nella cartografia sopraelencata.

Nella carta del sistema delle bonifiche vengono dunque riportati tutti i canali che costituiscono la rete scolante, la rete irrigua e la rete promiscua e gli impianti idrovori.

5.4 CARTA DEI BACINI DI SCOLO

La cartografia tematica di base per questo studio è stata la carta *Sistemi, Bacini e Sottobacini idrografici, zone di sortumazione e fontanazzi del Consorzio di Bonifica I° Circondario Polesine di Ferrara*; e la *Carta dei bacini di Scolo del Consorzio di Bonifica II° Circondario S. Giorgio di Ferrara* (**FIGURA 5.8**).

La **Carta dei bacini di scolo** viene riprodotta in scala 1:25.000, non ha subito rielaborazioni sui contenuti sostanziali da parte dello scrivente ma solo rielaborazione grafica, proponendo una versione zoommata sulle aree di interesse che sovrapponga tutti i tematismi rilevati nelle due cartografie sopraelencate.

Nella carta dei bacini di scolo sono individuati tutti i bacini di scolo del territorio del comune di Codigoro appartenenti ad entrambi i Consorzi di Bonifica, e vengono inoltre evidenziate le Golene del Po di Goro e del Po di Volano.

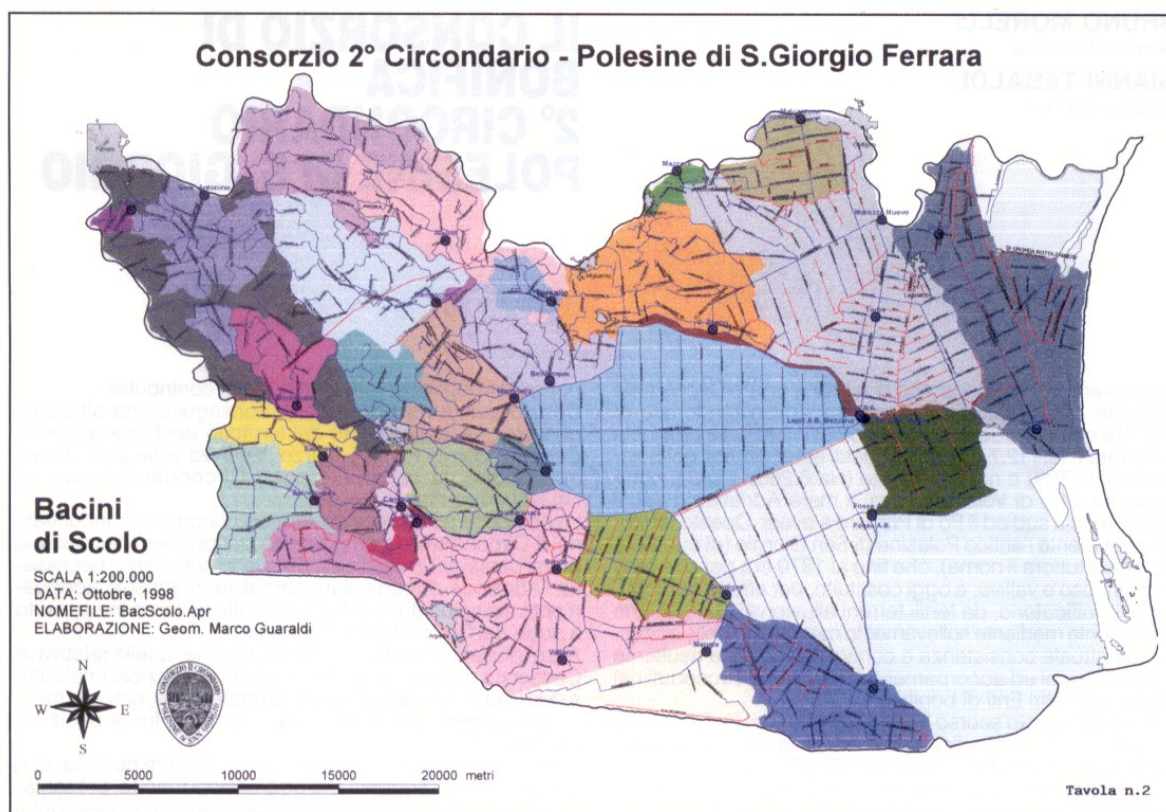


FIGURA 5.8 – Comprensorio del Consorzio di Bonifica del II Circondario Polesine di San Giorgio: bacini di scolo (tratto dall'art. "I consorzi di bonifica ferraresi nel bacino idrografico Burana-Volano", pubblicato su Inarcos, 1998).

5.5 CARTA DELLE ISOBATE

- La cartografia tematica di base per questo studio è stata la carta delle Isobate redatta dall'Amministrazione Provinciale di Ferrara, allegata alla pubblicazione *"Censimento delle emergenze idrauliche nella gronda ferrarese del Po"*, 1995.

Tale carta riporta la profondità media della superficie di falda freatica dal rispettivo piano campagna.

6. LA SUBSIDENZA

Le cause di abbassamento del suolo nella pianura padana possono essere raggruppate in due grandi categorie: quella della subsidenza naturale e quella della cosiddetta subsidenza indotta, legata all'azione dell'uomo sul territorio. Queste due cause possono coesistere e/o succedersi nel tempo provocando un abbassamento del suolo caratterizzato da una velocità diseguale nel tempo e nello spazio.

La subsidenza naturale è riconducibile ai caratteri geologico-tettonici generali della Pianura Padana e dà luogo ad abbassamenti di valore variabile, ma comunque inferiori a 2 mm l'anno.

Per quanto riguarda la subsidenza indotta, vanno naturalmente annoverati i fenomeni legati al peso di grandi manufatti, come agglomerati di costruzioni, terrapieni, argini ecc., i cui effetti sono però molto localizzati; ma oltre a questi, nel territorio ferrarese sono entrati in gioco quasi tutti gli altri fattori che sono stati fin qui riconosciuti come cause artificiali di abbassamenti, in relazione a perturbazioni delle condizioni idrogeologiche dei terreni. Fra questi vanno in particolar modo ricordati i seguenti:

- estrazioni di acque, da falde di bassa o media profondità, in misura superiore alle possibilità di ricarica spontanea delle falde stesse; ne sono un esempio la coltivazione di acque metanifere da giacimenti quaternari, nonché altri emungimenti di acque per usi industriali ed agricoli;

- prosciugamenti di zone umide o comunque abbassamenti di livello delle falde freatiche per operazioni di bonifica o di sistemazione agraria; com'è noto queste operazioni determinano abbassamenti sia in relazione al costipamento meccanico dei sedimenti non più interessati dalla falda, sia all'ossidazione delle torbe contenute negli stessi; va anche ricordato come i conseguenti abbassamenti del suolo rendano spesso necessario deprimere ulteriormente il livello della falda, per mantenere il franco di coltivazione, per cui diviene necessario attendere vari anni per superare questa fase di rincorsa reciproca fra livello del terreno e livello di falda e per raggiungere soddisfacenti condizioni di equilibrio;

- variazioni nel chimismo, in particolare del grado di salinità, delle acque sotterranee, in particolare di quelle freatiche, che spesso determinano fenomeni elettrochimici che hanno come conseguenza riduzioni di volume nei minerali argillosi; tali variazioni possono a loro volta esser causate da forti addizioni o sottrazioni di acque dal terreno; ne è un esempio l'immissione di acque reflue nei centri privi di fognature; fenomeni analoghi sono talora prodotti dalla pratica di eccedere nell'irrigazione, e dalla conseguente necessità di potenziare anche il drenaggio.

Nel 1997-1998 allo scopo di riesaminare l'entità e l'estensione del fenomeno è stata istituita la Rete Regionale di Controllo della Subsidenza, a cura della Struttura Tematica di Ingegneria Ambientale di ARPA in collaborazione con il Laboratorio di Topografia, Fotogrammetria e Rilevamento Geologico del DISTART dell'Università di Bologna; la Rete è formata da oltre 2000

capisaldi distribuiti su circa 2000 Km di linee di livellazione e da un rete GPS di 58 punti (Regione Emilia - Romagna & ARPA, 2001).

Nel 1999 è stata realizzata la prima campagna di misura sull'intera Rete Regionale e nel 2002 sono state ripetute le sole misure sulla rete GPS. Sono stati utilizzati i dati della stazione permanente di Padova, di Porto Corsini, Medicina e Modena e di altre stazioni cosiddette semi-permanenti ubicate nelle Prealpi Bresciane e nell'Appennino per avere una determinazione più accurata di un sistema generale di riferimento nel sistema internazionale (IGS) e come supporto alla misura della rete regionale.

Si è in attesa della pubblicazione dei dati della campagna di livellazione GPS del 2005, condotta da ARPA.

La fase di calcolo e di compensazione delle misure di livellazione è stata eseguita elaborando contemporaneamente tutti i dati di campagna relativi all'insieme delle reti misurate definendo un unico output di quote compensante, utilizzabile per le operazioni di confronto e di elaborazione successive.

Il caposaldo da cui derivare la quota di origine per tutta la rete è stato individuato nei pressi di Sasso Marconi (Appennino Bolognese). La rete è costituita da diverse linee di livellazione, sei delle quali possono essere considerate le principali, le altre non fanno parte del corpo vero e proprio della rete e hanno la funzione di quotare capisaldi posti in zone periferiche della rete stessa. In **FIGURA 6.1** è riportato uno schema della rete. La rete è costituita da un grande anello che va dalla costa emiliano-romagnola fino alla provincia di Bologna, le linee principali sono la n° 1 che va da Santarcangelo di Romagna fino alla zona del delta nel Basso Ferrarese, la n° 2 che va da Santarcangelo fino a Bologna, infine la n° 3 che va da Bologna fino alla zona del delta nel basso Ferrarese. Il trasporto di quota avviene partendo dalla zona di Pennabili, caposaldo 4/1 IDROSER (di quota 369.4733 m), tramite la linea 4 che arriva fino a Santarcangelo di Romagna. Un'ulteriore linea collega l'anello formato dalle linee 1, 2 e 3 con il caposaldo istituito dal Comune di Bologna a Castel de' Britti, linea 7. I capisaldi di Pennabili e di Castel de' Britti sono i punti di riferimento stabili della rete.

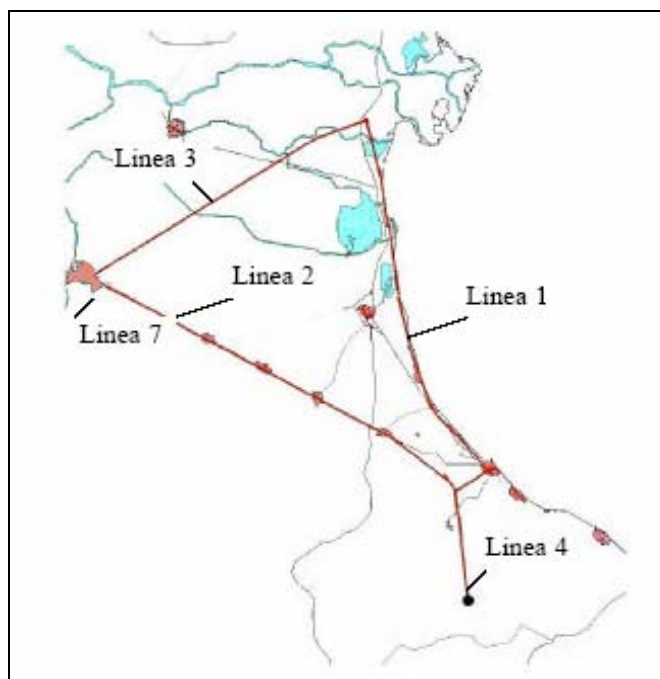


FIGURA 6.1 – Schema della rete IDROSER rilevata nel 1984.

Da questa analisi scaturisce che lungo la SS 495 da Portomaggiore ad Ariano Ferrarese, si veda in proposito il profilo di **FIGURA 6.2**, nel periodo 1988-1999 si è verificato un progressivo aumento delle velocità degli abbassamenti procedendo verso Ariano Ferrarese, dall'inizio della linea sino a Dogato i movimenti oscillano intorno a 0,6 cm/anno, successivamente si nota una zona da Migliaro a Mezzogoro con velocità intorno a 1,0 cm/anno fino ad un picco negativo di circa 1,4 cm/anno in prossimità del Po di Goro. Il confronto con il periodo precedente 1977-1988 mette in evidenza un incremento delle velocità degli abbassamenti generalizzato e progressivamente più accentuato procedendo verso il Po di Goro; in particolare tali velocità risultano pressoché raddoppiate a partire dal territorio di Mezzogoro (**FIGURA 6.3**) sino ad Ariano Ferrarese.

A Codigoro la perdita di quota topografica (**FIGURA 6.4**) a partire dal 1903 e fino al 1988 è di 108 cm per lo più verificatasi tra gli anni '50 e '70. La velocità con cui il fenomeno si manifesta è variabile con tassi di subsidenza di 4 mm/anno fino al 1950, di 40 mm/anno dal 1950 e di 8 mm/anno dopo il 1970.

In **FIGURA 6.5** si riporta il grafico con gli abbassamenti registrati nei tre periodi 1984-87, 1984-93 e 1984-99 lungo la direttrice Cattolica –Volano che mostra la notevole diminuzione degli abbassamenti tra il 1993 e il 1999 rispetto ai periodi precedenti, che si stanno manifestando sulla linea di costa.

In **FIGURA 6.6** si riporta il grafico con le velocità di abbassamento relative ai periodi 1984-87, 1987-93, 1993-99 e 1984-99. Il grafico mette in evidenza che le maggiori velocità di abbassamento siano registrate nel periodo 1984-87, e come si verifichi una progressiva diminuzione delle velocità procedendo da Marina di Ravenna, circa 2 cm/anno, verso Volano, 0,8 cm/anno. Nel periodo 1987-93 le velocità di abbassamento raddoppiano con punte di circa 2 cm/anno in prossimità di Volano, nel periodo 1993-99 si nota una forte diminuzione della velocità di abbassamento lungo

l'intero litorale con punte intorno ai 3-4 mm/anno a Lido Volano, tale valore è talmente ridotto da poter essere attribuito a cause naturali.

Ulteriori informazioni sull'andamento dei movimenti verticali del suolo possono essere estrapolati dalla *Carta a curve di eguale velocità di abbassamento del suolo (cm/anno) nel periodo 1970/1993-1999*, riportata in **FIGURA 6.7**.

Dalla carta emerge che le velocità di abbassamento più significative si registrano in corrispondenza della provincia di Bologna e lungo l'asse della via Emilia, mentre nel territorio ferrarese e in particolare nell'area di studio, le velocità risultano di entità minore rispetto agli altri territori. Le cause sono da ricercare nel diverso grado di industrializzazione e di sfruttamento degli acquiferi sotterranei.

La prima ripetizione della misura della rete GPS è stata effettuata nei mesi di giugno e luglio del 2002, obiettivo della misura della rete GPS è verificare l'andamento del fenomeno della subsidenza, relativamente ai 49 punti distribuiti nell'area di pianura della regione, attraverso il confronto con le misure eseguite nella campagna 1999. I risultati ottenuti si sono rivelati in linea con quelli delle ultime misure. Il confronto fra le due campagne ha evidenziato una tendenza all'abbassamento del suolo che interessa gran parte del territorio di pianura della regione.

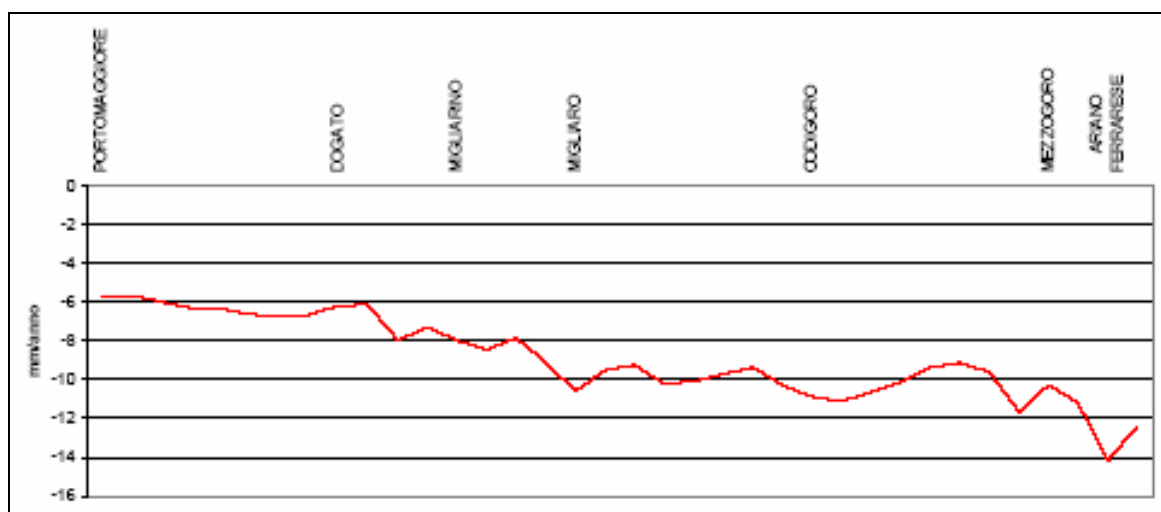


FIGURA 6.2 – Velocità di abbassamento lungo la ex s.s. 495 da Portomaggiore ad Ariano Ferrarese nel periodo 1988-1999.

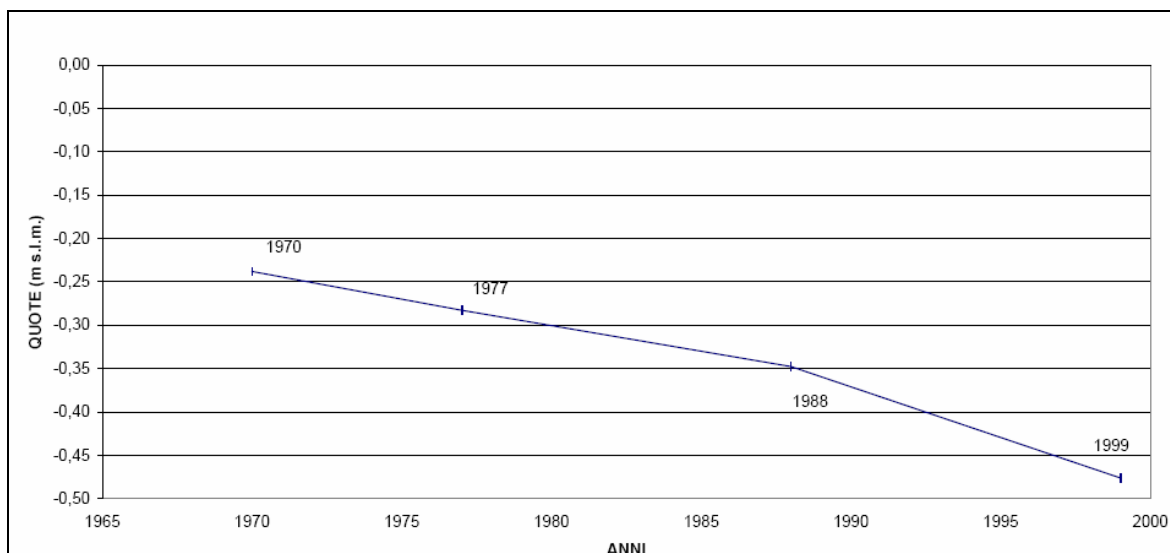


FIGURA 6.3 – Caposaldo 083090 (19/43 IGM), Mezzogoro (FE).

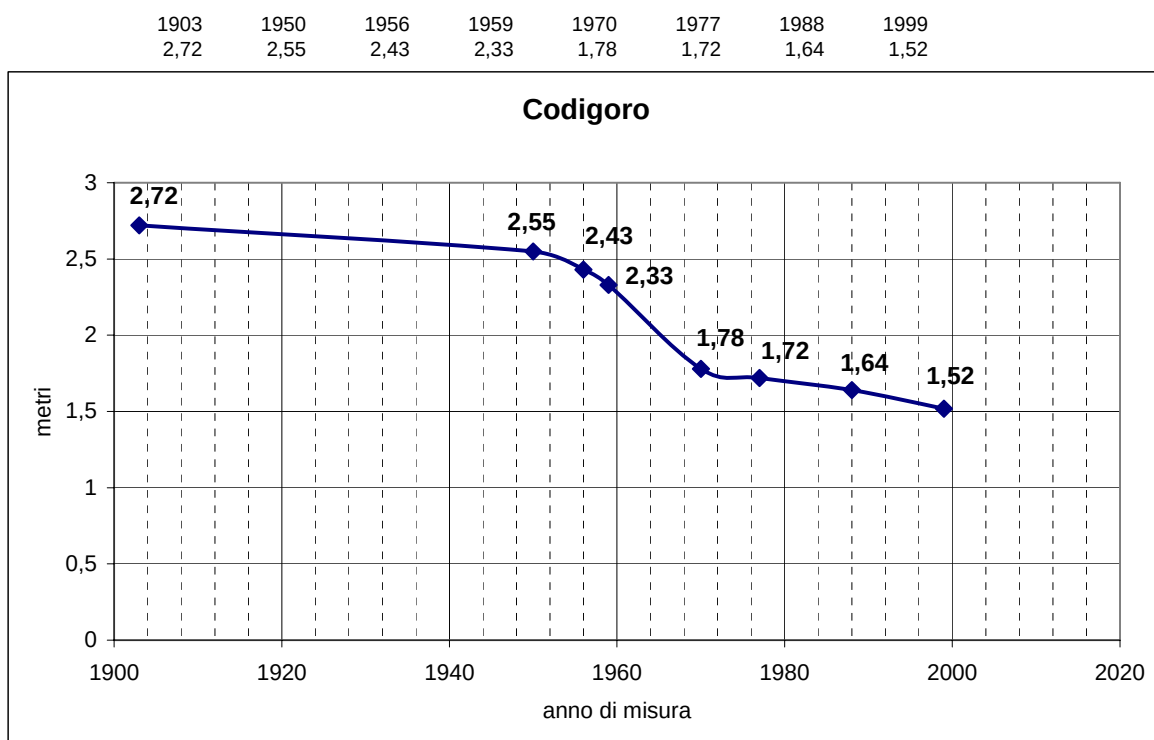


Figura 6.4 - Diagramma di abbassamento del caposaldo di Codigoro (RER & Idroser, 1996).

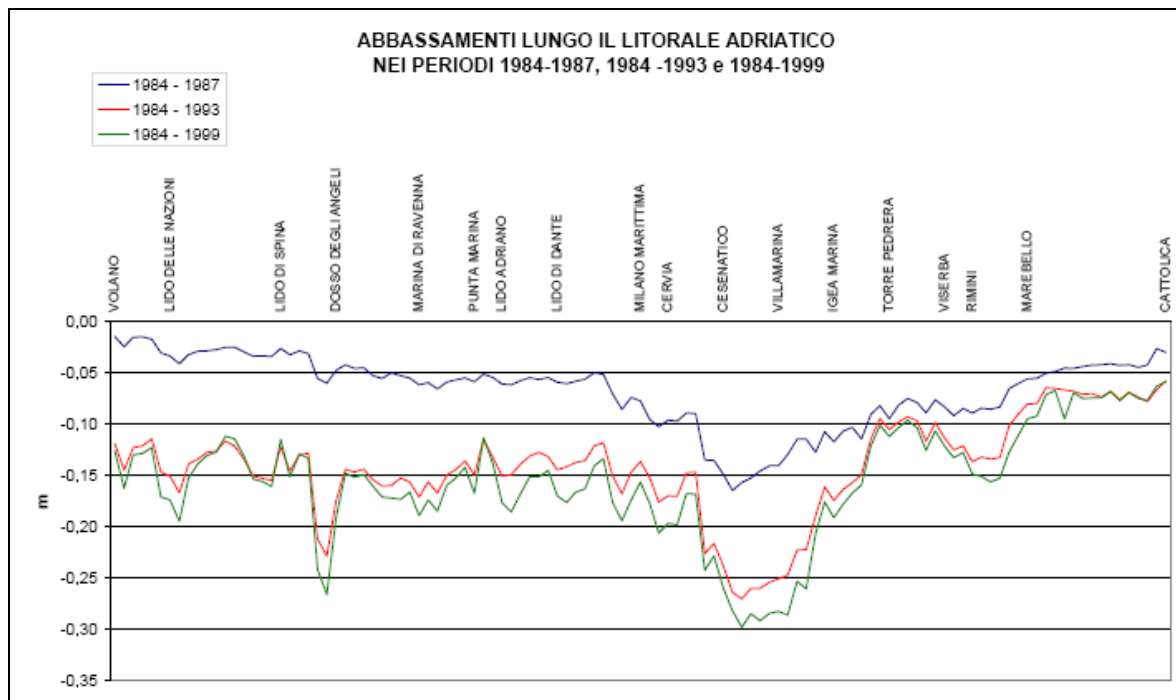


FIGURA 6.5 – abbassamenti lungo il litorale adriatico nei periodi 1984-1987, 1984-1993 e 1984-1999

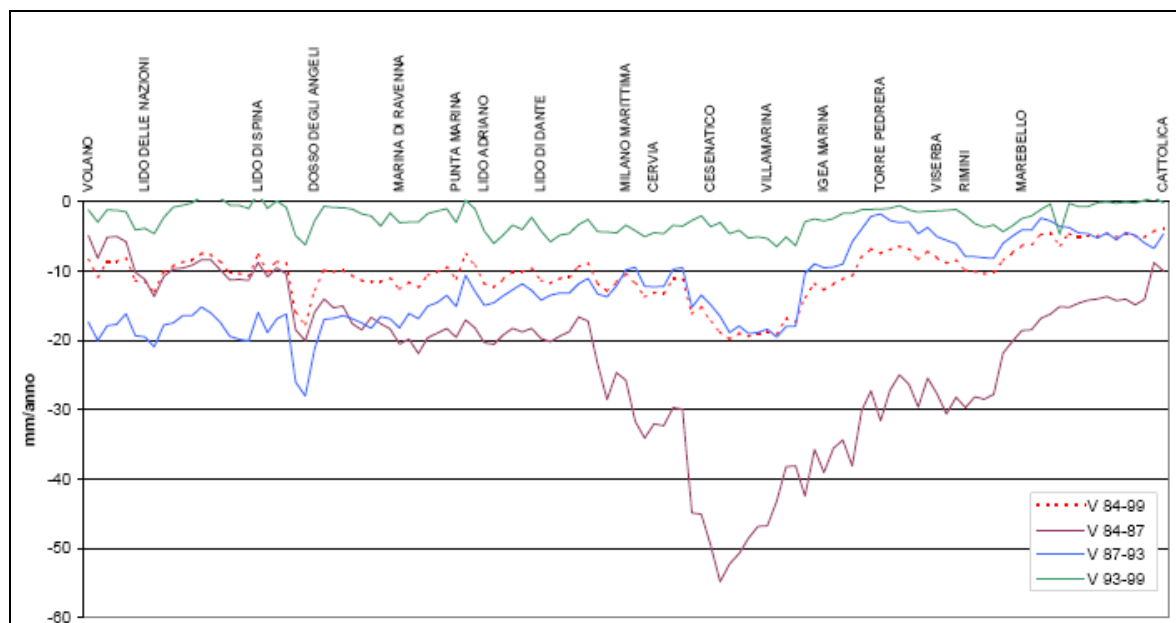


FIGURA 6.6 – abbassamenti lungo il litorale emiliano-romagnolo nei periodi 1984-1999, 1984-1987, 1987-1993 e 1993-1999

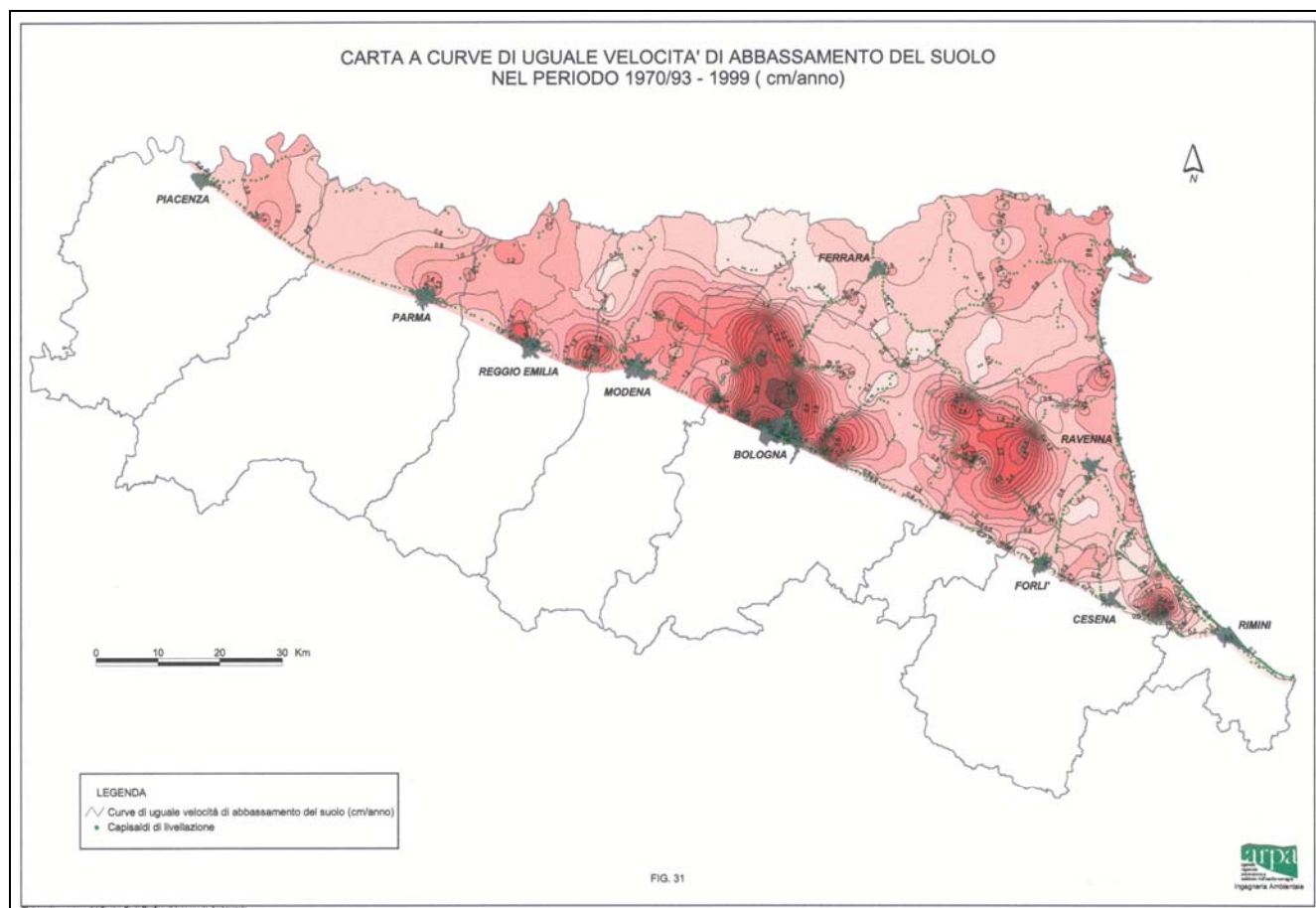


FIGURA 6.7 – Carta delle curve di eguale velocità di abbassamento del suolo (cm/anno)

6.1. CARTA DEI PROCESSI GEODINAMICI

La cartografia tematica di base per questo studio è stata la *Carta a curve di eguale velocità di abbassamento del suolo (cm/anno) nel periodo 1970/1993-1999 (ARPA)*.

La **Carta dei processi geodinamici** viene riprodotta in scala 1:25.000, e non ha subito rielaborazioni sui contenuti sostanziali da parte dello scrivente ma solo rielaborazione grafica, proponendo una versione zoommata sulle aree di interesse.

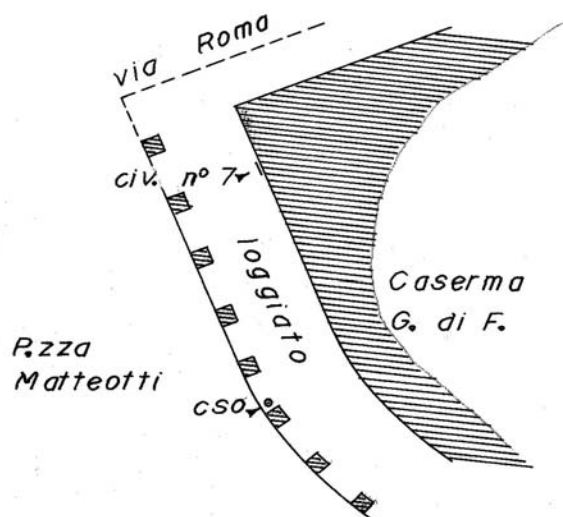
Il principale fenomeno geodinamico attivo che coinvolge il territorio comunale è la subsidenza. Altri fenomeni di dissesto del territorio trovano localizzazione lungo le sponde dei canali, dove fenomeni franosi sono praticamente all'ordine del giorno, sia a causa dei continui svassi rapidi e riempimenti a cui essi sono soggetti per oggettive necessità gestionali, sia per la vicinanza con corpi stradali che non consentono nel tempo un recupero di pendenze più dolci delle sponde, con conseguente progressiva verticalizzazione delle pareti dei canali.

Dalla carta emerge che il territorio comunale può essere suddiviso in tre fasce a diversa velocità di abbassamento del suolo: una prima fascia, ubicata nella parte settentrionale del comune, compresa tra gli abitati di Mezzogoro e Italba, che tende a prolungarsi centralmente verso sud fino a lambire l'abitato di Codigoro, tale fascia presenta una velocità di abbassamento del suolo

compresa tra 1,0 e 1,2 cm/anno; una seconda fascia, ubicata agli estremi orientali e occidentali del comune, che comprende gli abitati di Codigoro, Pontemaodino, Caprile e Pomposa, che presenta una velocità di abbassamento del suolo compresa tra 0,8 e 1,0 cm/anno; ed un'ultima fascia, molto ristretta, che occupa l'area posta ad est dell'abitato di Codigoro e l'ansa del Varano, che presenta una velocità di abbassamento del suolo compresa tra 0,6 e 0,8 cm/anno. A grande scala si può notare come le velocità di abbassamento del suolo tendano ad aumentare avvicinandosi verso la costa.

Segue allegato in coda al capitolo la monografia del Caposaldo Codigoro n° 580, riferimento importante per il monitoraggio storico e futuro degli abbassamenti che interessano il capoluogo comunale.

Uno dei processi morfodinamici più vistosi che si verificano nel territorio comunale di Codigoro è l'insabbiamento progressivo e veloce della foce del fiume Po di Volano nel suo sbocco nella Sacca di Goro, che costringe a periodiche operazioni di spurgo.



Note:

Note:

Contrassegni secondari

■ Denom. originaria:	19/34	Ente di istituzione:	3	Anno istituzione:	1988
Tipologia:	Pomello				
Descrizione:	PRESSO IL MUNICIPIO, INFISSO SOTTO IL PORTICO SUL LATO DI SINISTRA A CIRCA CM 50 DALL'ANGOLO DELLA PRIMA COLONNA DI SINISTRA				
Dislivello misurato (m):	0,6552	Anno mis.:	1988	Ente misur.:	3
Stato conservazione:	Buono	Data sopralluogo:	05/01/2002	Operatore:	SCUDERI
Note:	IL DISLIVELLO E' MISURATO A PARTIRE DAL RIFERIMENTO "C" DEL CAPOSALDO ORIZZONTALE PRINCIPALE				
■ Denom. originaria:	19/34	Ente di istituzione:	3	Anno istituzione:	1988
Tipologia:	Targhetta a mensola				
Descrizione:	PRESSO IL MUNICIPIO, SOTTO IL PORTICO SUL LATO DESTRO POSTO SIMMETRICAMENTE AL CSO'				
Dislivello misurato (m):	2,3756	Anno mis.:	1988	Ente misur.:	3
Stato conservazione:	Buono	Data sopralluogo:	05/01/2002	Operatore:	SCUDERI
Note:	IL DISLIVELLO E' MISURATO A PARTIRE DAL RIFERIMENTO "C" DEL CAPOSALDO ORIZZONTALE PRINCIPALE				

7. EVOLUZIONE GEOLOGICA DELL'AREA

7.1. GEOLOGIA REGIONALE

Centinaia di milioni di anni fa, in corrispondenza dell'attuale Pianura Padana, si estendeva un vasto bacino oceanico denominato Tetide, in cui trovavano sviluppo profonde fosse, la cui origine era riconducibile ai meccanismi tettonici della subduzione tra la placca Africana e quella Euroasiatica. Nel complesso meccanismo della deriva delle placche litosferiche accadde che la placca africana e quella europea si avvicinarono fino a collidere. In questa collisione il bacino della Tetide, con tutti i sedimenti che aveva accumulato sui suoi fondali, fu corrugato, inarcato e trascinato nella morsa delle due placche in collisione. Ebbero così origine le catene montuose delle regioni europee.

Le Alpi e gli Appennini furono, in tempi diversi, gli effetti più evidenti dello scontro tra le due placche Africana ed Europea.

L'innalzamento di questi enormi ammassi di roccia ha provocato la loro erosione, e la produzione di grandi quantità di sedimenti sciolti che si sono accumulati nella fossa che costituiva il triangolo della Pianura Padana.

Il progressivo sprofondamento dell'area padana, dovuto all'orogenesi appenninica, che spinge le grandi falde appenniniche verso nord-est, e crea una avanfossa sul fronte di avanzamento, ha consentito la deposizione di spessori di sedimenti derivati dall'erosione, per diverse migliaia di metri.

Su questi sedimenti che caratterizzano la Pianura Padana, l'uomo ha trovato un vasto e pianeggiante territorio, fertile, attraversato da numerosi corsi d'acqua, su cui insediarsi con le proprie attività.

7.2. GEOLOGIA STRUTTURALE

L'evoluzione strutturale dell'ampio bacino subsidente padano è connessa con la dinamica degli eventi che, in sequenze spazio-temporali diverse, hanno interessato sia il Sudalpino che l'Appennino, ed hanno prodotto una tettonica compressiva con accorciamento crostale per convergenza e collisione.

Si è avuta così la formazione di gruppi di pieghe e di un fitto sistema di faglie con direzione NNW-SSE; WNW-ESE e N-S, e la suddivisione dell'area padana in settori dislocati da paleofaglie che hanno determinato situazioni di bacino e di alto locale, caratterizzati da una diversa evoluzione.

L'area padana orientale ad est di Modena-Nogara è caratterizzata dalle seguenti zone geologicamente distinte, in successione da nord a sud:

- il fronte delle pieghe sudalpine;
- la isoclinale padano-veneta, a stile rigido;

- la dorsale Cavone-Ferrara, che rappresenta il margine esterno della Padana meridionale, ripiegato e sovrascorso su se stesso;

- il fronte delle pieghe appenniniche, dove i termini mesozoici non paiono coinvolti nel nucleo delle pieghe prospicienti la Padana.

All'arco ferrarese si affianca, nella parte a mare, l'arco delle pieghe adriatiche che si accavallano invece sulla monoclinale adriatica. Nella parte interna, e cioè meridionale, delle pieghe ferraresi e adriatiche si addossa a sua volta l'arco delle pieghe romagnole.

Tutte le strutture sopraindicate sono delimitate esternamente da fasci di faglie inverse, testimoni di diversi fronti compressivi in avanzamento; internamente, cioè nelle fasce retrostanti ai fronti compressivi, si rilevano sistemi di faglie dirette ad indicare un carattere distensivo (**FIGURA 7.1**).

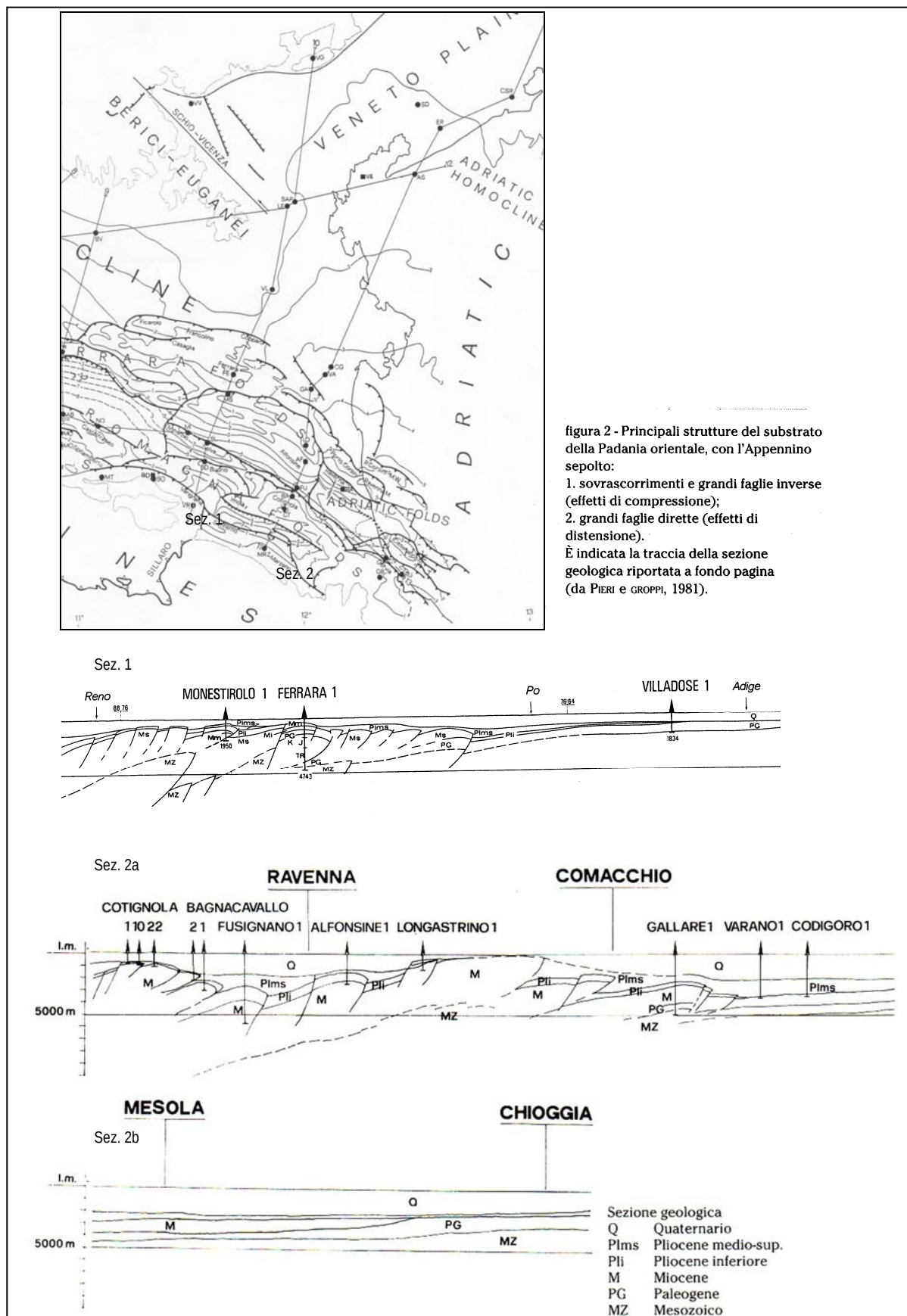


FIGURA 7.1 – Principali strutture del substrato della Padania

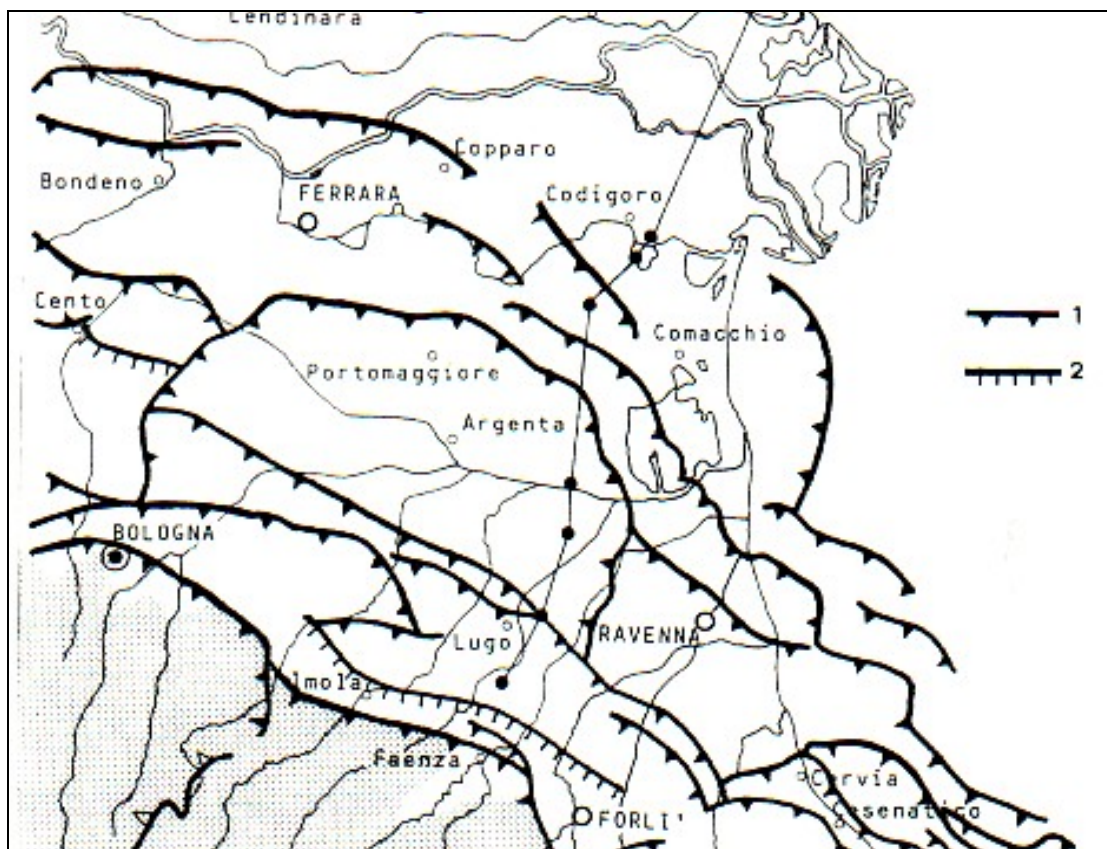


Figura 7.2. – Dettaglio sulle principali strutture del substrato della Padania orientale, con l'Appennino sepolto:

1. sovrascorrimenti e grandi faglie inverse (effetti di compressione);
 2. grandi faglie dirette (effetti di distensione)
- (Tratto da Pieri e Groppi, 1981).

Le fasi tettoniche si sono succedute dal Burdigaliano al Pleistocene ed hanno portato a successive riprese dei piegamenti ed alla formazione di lineamenti paleogeografici variabili in successione spazio-temporale e quindi all'instaurarsi in sequenza alterna di ambienti deposizionali marini, costieri, deltizi e lagunari in relazione a locali processi di sollevamento e di subsidenza.

Durante il Pliocene medio inizia un periodo di forte subsidenza che continua sino a tutto il Quaternario basale. Nel Quaternario recente la sedimentazione prevale sulla subsidenza, ed in connessione con le regressioni marine provocate dalle glaciazioni, depositi continentali si sovrappongono ai sedimenti marini. Segue poi una nuova fase trasgressiva con arretramento della linea di costa di oltre venti chilometri rispetto alla posizione attuale. Infine durante l'ultima regressione marina postflandriana, sviluppatasi in più fasi, si ebbe un progressivo spostamento verso oriente della linea di costa sino a raggiungere l'odierno assetto geomorfologico.

A causa della pluralità degli ambienti deposizionali in successione spazio-temporale, il complesso plioquaternario nel territorio del Basso Ferrarese è costituito da una alternanza di livelli sabbiosi, limosi ed argillosi o da miscele binarie o ternarie di tali litotipi.

L'assetto strutturale dei sedimenti plioquaternari è caratterizzato da blande anticlinali e sinclinali, più accentuate nella parte basale della serie, ove sono presenti anche strutture a trappola sedimentaria o tettonica, e sempre più deboli man mano che ci si avvicina alla superficie attuale.

Da diversi anni si calcola che il valore di subsidenza naturale attribuibile a cause geologiche (compattazione dei sedimenti quaternari, eustatismo ed il basculamento della parte nord-orientale della pianura Padana) raggiunge gli 0,2-0,3 cm/anno. Il movimento di basculamento della Pianura Padana vede la parte occidentale alzarsi lentamente, mentre quella orientale si sta abbassando; questo movimento avviene secondo l'asse Brescia-Genova, orientato NE-SW.

Dalla lettura delle Figure 7.1. e 7.2. emerge che lo spessore dei sedimenti sciolti quaternari ha uno spessore di circa 2.000 metri, mentre i sedimenti sciolti dell'плиocene medio superiore hanno il letto a circa 3.200 m di profondità. Dopo tali spessori di sedimenti sciolti si rilevano le formazioni litificate, dal плиocene inferiore, miocene, paleogene e mesozoico, rilevate fino a 5.000m di profondità.

Nel capitolo dedicato alla Sismica verranno approfonditi alcuni temi legati alla tettonica dei sedimenti rocciosi sottostanti i sedimenti sciolti dell'olocene e del del pleistocene medio-superiore.

8. CLASSIFICAZIONE SISMICA NAZIONALE

L'Italia appartiene ad una zona sismicamente attiva, l'area mediterranea, che mediamente ogni otto anni è intensamente colpita da terremoti con conseguenze da gravi a catastrofiche.

Un terremoto rappresenta un rischio qualora nelle aree colpite dall'evento vi sia la presenza di edifici, costruzioni e impianti. In un'area intensamente popolata, quale l'Italia, la strategia di difesa dai terremoti è pertanto prevalentemente impostata sull'elaborazione di un'adeguata normativa sismica che predisponga i requisiti antisismici delle nuove costruzioni e gli eventuali interventi sul patrimonio edilizio già esistente in funzione della pericolosità sismica delle aree in cui essi sorgono.

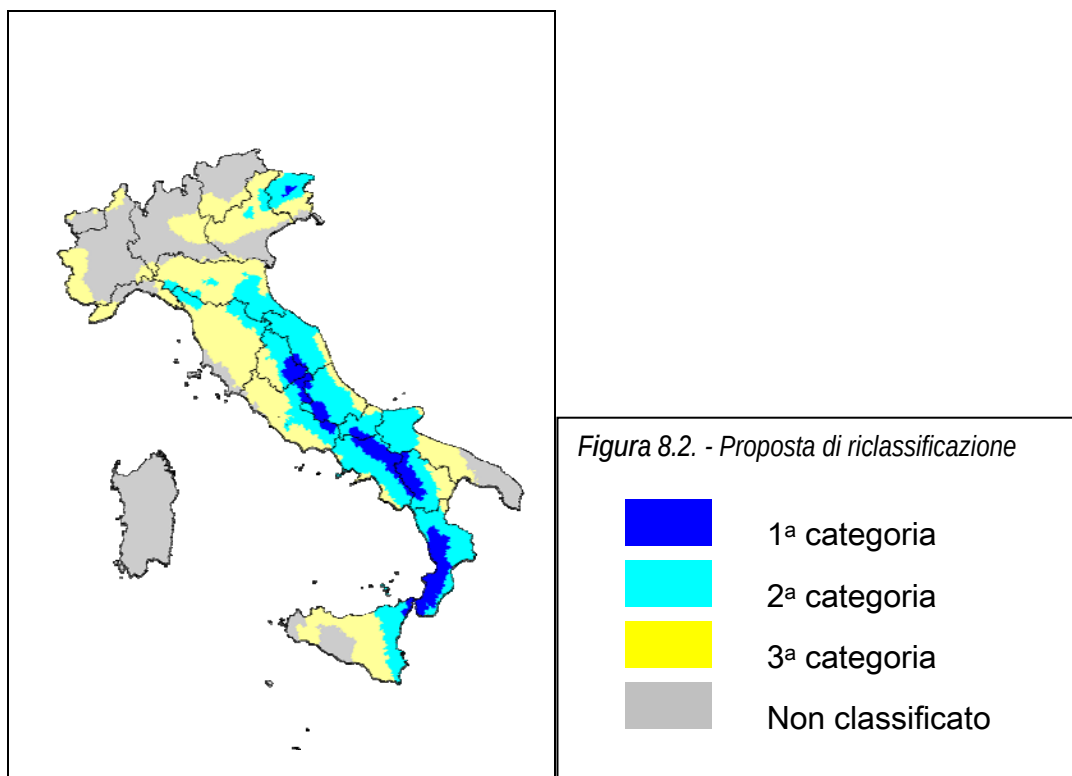
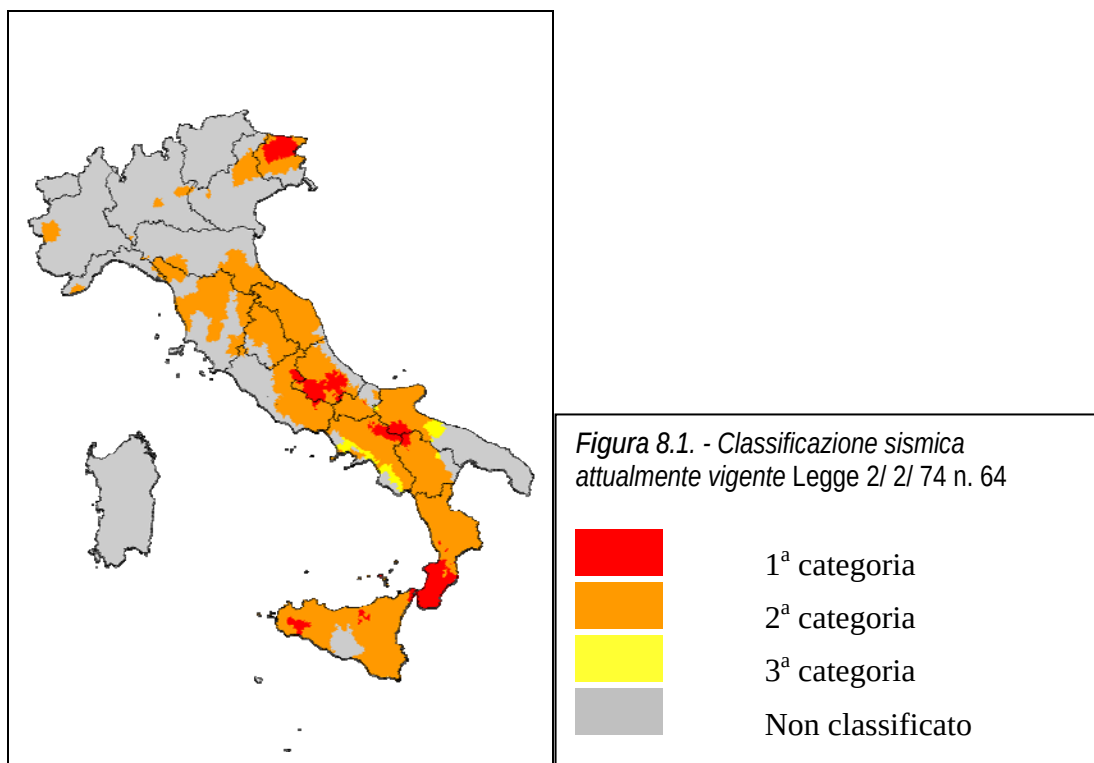
Una breve cronistoria della normativa italiana vede l'adozione delle prime misure legislative durante il governo borbonico a seguito dei terremoti che colpirono la Calabria nel 1783 e che causarono più di 30.000 morti.

La prima classificazione sismica italiana costituita da una lista dei comuni in cui dovevano essere applicate precise norme costruttive fu promulgata solamente dopo il terremoto del 28 dicembre 1908 che distrusse le città di Reggio Calabria e Messina, causando, si stima, più di 80.000 vittime (Slejco -Il sole 24 ore, 2003). Il Regio Decreto 18 aprile 1909 n. 193 conseguente all'evento (*"Norme tecniche ed igieniche obbligatorie per le riparazioni, ricostruzioni e nuove costruzioni degli edifici pubblici e privati nei luoghi colpiti dal terremoto del 28 dicembre 1908 e da altri precedenti elencati nel R.D. 15 aprile 1909. Designazione dei comuni"*) riportava l'elenco dei comuni interessati da eventi sismici e soggetti al rispetto di specifiche norme tecniche per l'edificazione delle nuove costruzioni e per la riparazione di quelle danneggiate. Nell'arco di tempo compreso fra il 1908 ed il 1974 si procedette con il solo aggiornamento del primo elenco aggiungendo i nomi dei nuovi comuni danneggiati dai successivi terremoti.

La decisione di dar vita ad una nuova e più evoluta normativa sismica nazionale avvenne solo nel 1974 con la promulgazione della Legge 2/ 2/ 74 n. 64 *"Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche"* che stabiliva alcuni principi generali, anche di carattere tecnico, e presentava una rinnovata classificazione sismica aggiornabile qualora comprovate motivazioni tecnico scientifiche lo richiedessero. La classificazione sismica del territorio nazionale, esclude tutto il territorio del comune dal rischio sismico, non inserendolo in nessuna delle tre categorie , come visibile in **FIGURA 8.1**.

Studi sismologici e geologici, successivi ai terremoti del 1976 in Friuli e del 1980 in Irpinia, svolti nell'ambito del Progetto Finalizzato Geodinamica del Consiglio Nazionale delle Ricerche incrementarono e svilupparono nuove conoscenze sulla sismicità del territorio nazionale, consentendo la formulazione di una proposta di classificazione sismica basata, per la prima volta

in Italia, su indagini di tipo probabilistico della sismicità, con una parziale stima del rischio sismico sul territorio nazionale.



In **FIGURA 8.2.** viene riportata la nuova proposta di zonizzazione sismica del Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, dell'Istituto Nazionale di Geofisica e del Servizio Sismico Nazionale.

La presente proposta di riclassificazione sismica del territorio nazionale è il risultato di una elaborazione che ha utilizzato tutti gli elementi di conoscenza in materia ottenuti in quasi venti anni dal Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, dall'Istituto Nazionale di Geofisica e dal Servizio Sismico Nazionale. Si tratta di un prodotto scientifico, basato sullo stato dell'arte e della pratica internazionali e caratterizzato da scelte delle soglie anch'esse in linea con gli orientamenti internazionali ed europei. E' bene sottolineare che nella proposta di riclassificazione vengono attribuite le categorie ai singoli comuni basandosi sulla localizzazione del centro capoluogo e senza tener conto delle configurazioni territoriali determinate dai limiti amministrativi. Le elaborazioni effettuate non consentono analisi a livello sub-comunale e pertanto si ritiene che eventuali studi di dettaglio debbano essere rimandate a successive fasi di approfondimento.

L'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20/03/2003 *“Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”*, pubblicata sulla G.U. del 08/05/2003, attua la riclassificazione sismica dell'intero territorio nazionale secondo nuovi criteri che definiscono gli indicatori da considerare e le procedure da adottare (*“Criteri per l'individuazione delle zone sismiche–individuazione, formazione ed aggiornamento degli elenchi nelle medesime zone”*).

La normativa sismica disciplina la progettazione e la costruzione di nuovi edifici soggetti ad azioni sismiche, nonché la valutazione della sicurezza e gli interventi di adeguamento su edifici esistenti soggetti al medesimo tipo di azioni, il suo scopo è di assicurare che in caso di evento sismico sia protetta la vita umana, siano limitati i danni e rimangano funzionanti le strutture essenziali agli interventi di protezione civile.

Tali norme si applicano agli edifici, per i quali si fa riferimento alle *“Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici”*, ai ponti, per i quali si fa riferimento alle *“Norme tecniche per il progetto sismico di ponti, nonché ad altri tipi di strutture per le quali non sia disponibile una norma specifica”*.

La nuova classificazione è articolata in 4 zone. Le zone 1, 2 e 3, corrispondenti alle zone di sismicità alta ($S=12$), media ($S=9$) e bassa ($S=6$) della Legge 64/74, prevedono l'applicazione di criteri antisismici con differenti livelli di severità. Nella zona 4, di nuova introduzione e corrispondente a zona con bassissima sismicità, è invece data facoltà alle regioni di imporre l'obbligo della progettazione antisismica.

Nella classificazione definita dai Decreti emessi fino al 1984 la sismicità è definita attraverso il *“grado di sismicità”* S , nella proposta di riclassificazione del Gdl del 1998 si utilizzano 3 categorie sismiche più una categoria di Comuni non classificati (N.C.), nella classificazione 2003 la sismicità è definita mediante quattro zone, già esposte in precedenza. La corrispondenza tra queste diverse definizioni è riportata in **Tabella 8.1**.

Decreto fino al 1984	GdL 1998		Classificazione 2003	A max
S = 12	Prima categoria		Zona 1	0,35g
S = 9	Seconda categoria		Zona 2	0,25g
S = 6	Terza categoria		Zona 3	0,15g
Non Classificato	N.C.		Zona 4	0,05g

Tabella 8.1 – Corrispondenza tra le definizioni di sismicità

La regione Emilia Romagna non è esente da attività sismo-tettonica. La sua sismicità può però essere definita media relativamente alla sismicità nazionale, poiché i terremoti storici hanno avuto magnitudo massima compresa tra 5,5 e 6 della scala Richter e intensità del IX-X grado della scala MCS. I maggiori terremoti (Magnitudo > 5,5) si sono verificati nel settore sud-orientale, in particolare nell'Appennino Romagnolo e lungo la costa riminese. Altri settori interessati da sismicità frequente ma generalmente di minore energia (Magnitudo < 5,5) sono il margine appenninico-padano tra la Val d'Arda e Bologna, l'arco della dorsale ferrarese e il crinale appenninico.

Di seguito si riporta lo "Schema Tettonico" della nostra regione tratto dalle Note Illustrative della "Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna" a cura di Mario Boccaletti e Luca Martelli (2004), **FIGURA 8.3**.

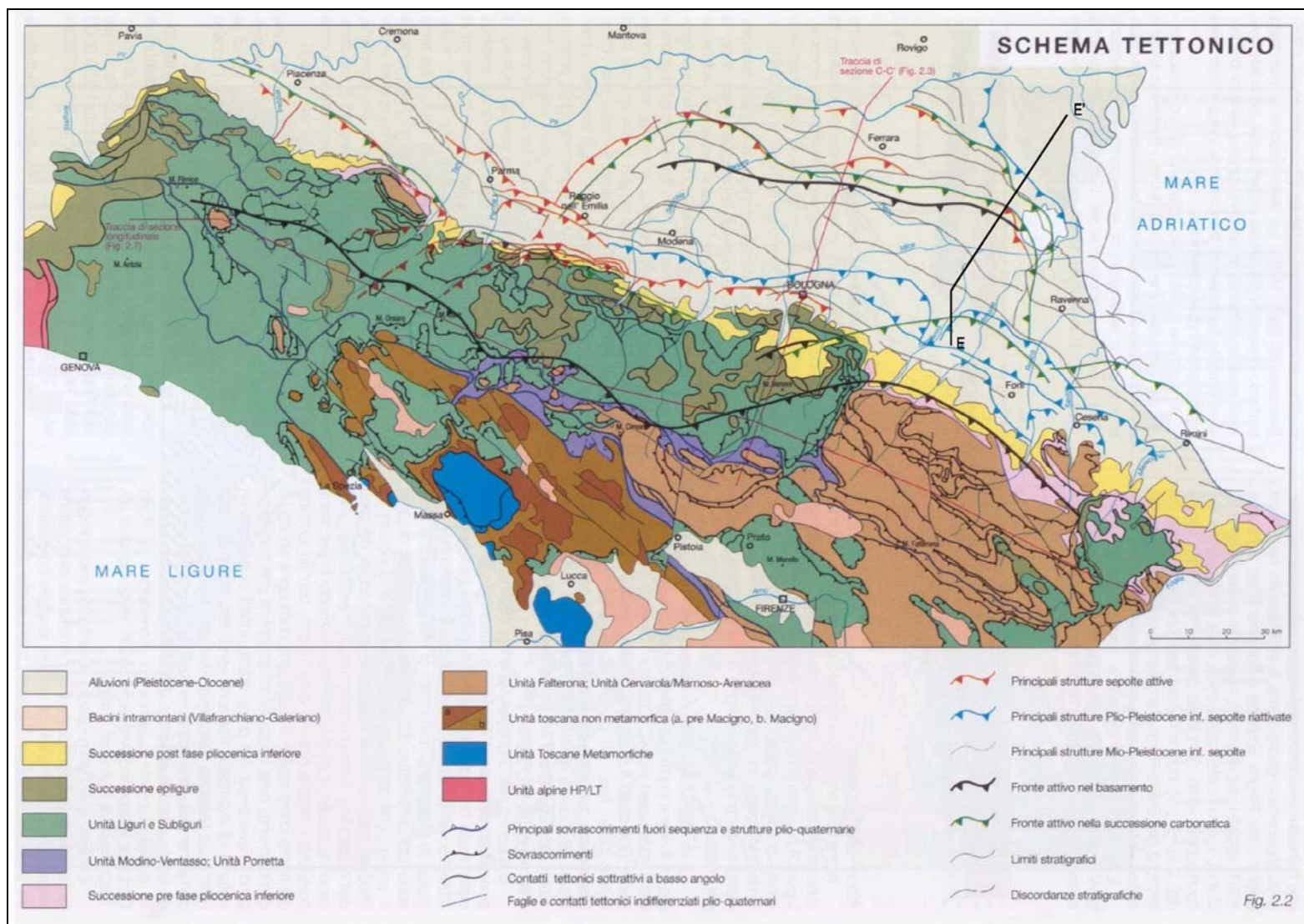


FIGURA 8.3. - “Schema Tettonico”, tratto da “Carta Sismotettonica della Regione Emila-Romagna” a cura di Luca Martelli e Mario Boccaletti (2004)

Il territorio dell'Emilia Romagna è costituito dal versante padano dell'Appennino settentrionale e dalla Pianura Padana a sud del Po; il limite regionale infatti coincide per lunghi tratti con lo spartiacque appenninico verso sud e con il corso del Po verso nord. Pur essendo due ambienti geomorfologici ben distinguibili, l'Appennino e la Pianura Padana sono strettamente correlati. Il fronte della catena appenninica non coincide con il limite morfologico catena-pianura (margine appenninico –padano) ma è individuabile negli archi esterni delle Pieghe Emiliane e Ferraresi (Pieri & Groppi, 1981) sepolte dai sedimenti quaternari padani (**FIGURA 8.4**).

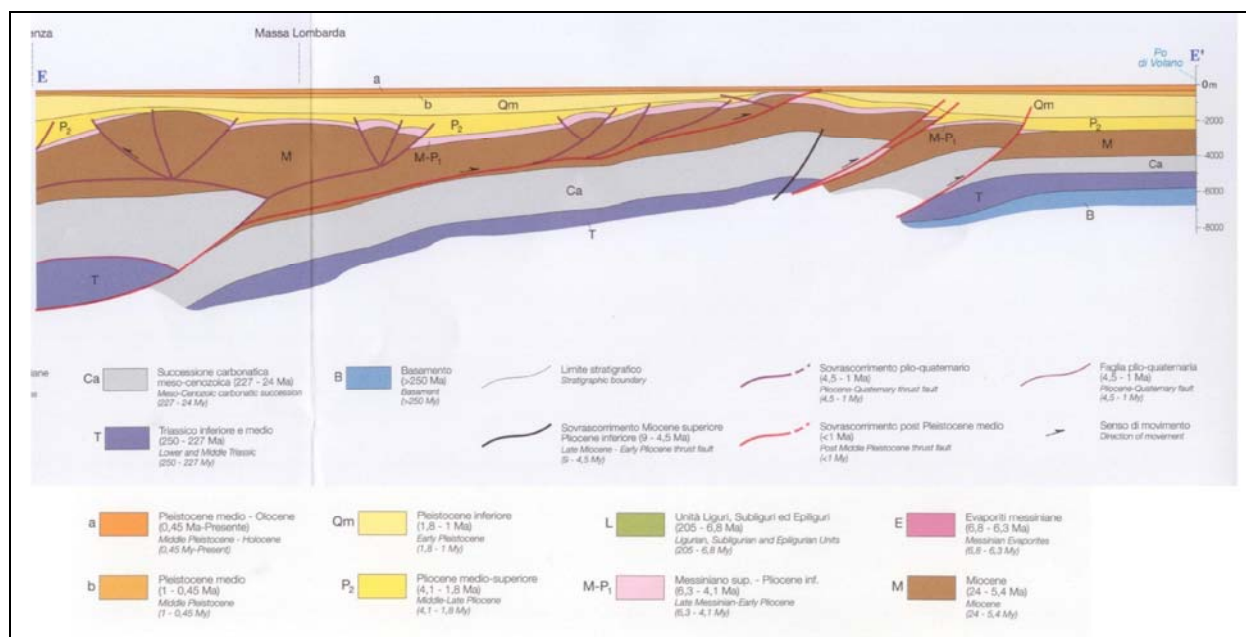


FIGURA 8.4. – profilo geologico lungo la sezione E-E' riportata in FIGURA 7.3.

Quindi, il vero fronte appenninico, circa all'altezza del Po, sovrascorre verso nord sulla piattaforma padano-veneta. Si può così schematizzare che l'evoluzione del territorio dell'Emilia Romagna coincide con l'evoluzione del settore esterno della catena nord-appenninica.

L'Appennino settentrionale è una catena a *thrusts* facente parte del sistema alpino, formatosi in gran parte a spese della placca Adriatica per l'interazione fra le placche Africana ed Euroasiatica.

Si tratta di un edificio formato da una pila di unità tettoniche riferibili a due principali domini: il dominio Ligure, i cui sedimenti si sono depositi originariamente su crosta oceanica (Liguridi s.l.) e il dominio Tosco-Umbro-Marchigiano, rappresentato da successioni del margine continentale dell'Adria la cui età inizia a partire dal Triassico.

L'avanzamento dei *thrusts* vergenti verso nord-est causano un abbassamento della crosta terrestre che da origine alla avanfossa appenninica su cui sono accumulati i sedimenti quaternari.

Le faglie conseguenti ai movimenti dei sovrascorrimenti appenninici danno origine alle manifestazioni sismiche che interessano la regione emiliano-romagnola.

La classificazione sismica regionale in dettagli è riportata in **FIGURA 8.5.**:

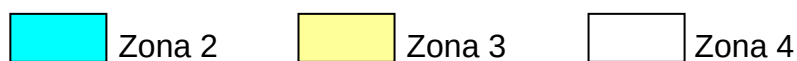
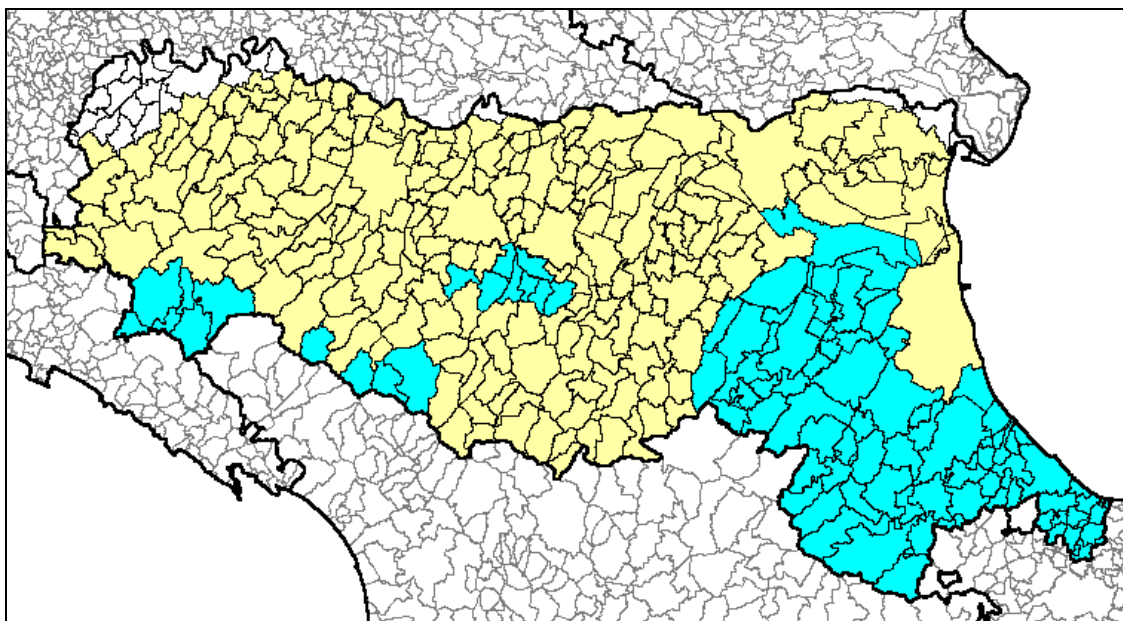


FIGURA 8.5. – Nuova zonizzazione sismica del territorio regionale, dettaglio relativo alla Regione Emilia-Romagna.

Di seguito si riporta la **FIGURA 8.6.** con il confronto tra la vecchia e la nuova classificazione sismica in Emilia-Romagna, da cui si può notare come il comune di Codigoro ricada nella Zona 3.

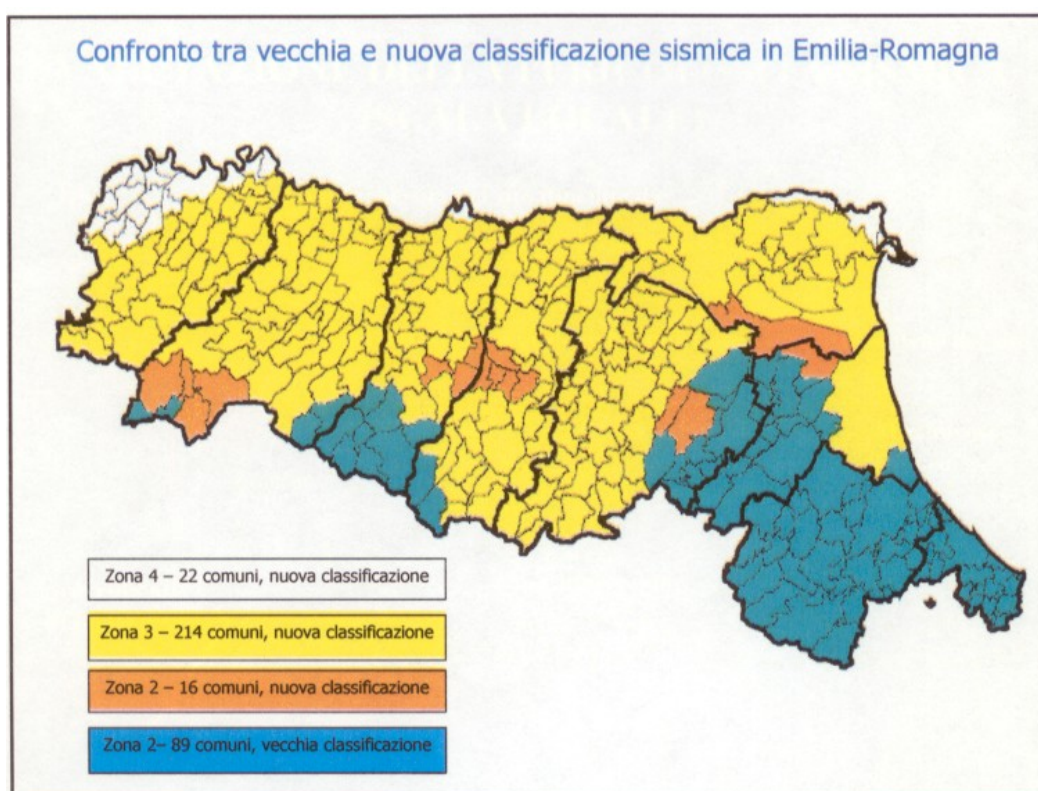


FIGURA 8.6. – confronto tra la nuova classificazione sismica e la precedente.

8.1 CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL COMUNE DI CODIGORO

La nuova classificazione sismica evidenzia che il territorio del comune di Codigoro si trova in zona 3 (Tabella 8.2)

Denominazione	Categoria secondo la classificazione precedente (Decreti fino al 1984)	Categoria secondo la proposta del Gruppo di Lavoro del 1998	Zona ai sensi dell'Ordinanza n.3274 (2003)	Accelerazione massima A_{maxg} riferita a suolo di categoria A
Codigoro	N.C.	III	3	0,15

Tabella 8.2 - Confronto classificazioni sismiche del comune in esame (Ord. n.3274 20/03/2003)

La ripartizione in settori del territorio provinciale è chiaramente visibile anche dalla rappresentazione di un indicatore di pericolosità quale l'intensità macrosismica (**FIGURA 8.8.**). La provincia di Ferrara è caratterizzata da bassi valori di intensità macrosismica nella parte nord-orientale, mentre i settori più sud-occidentali sono contraddistinti da valori più elevati.

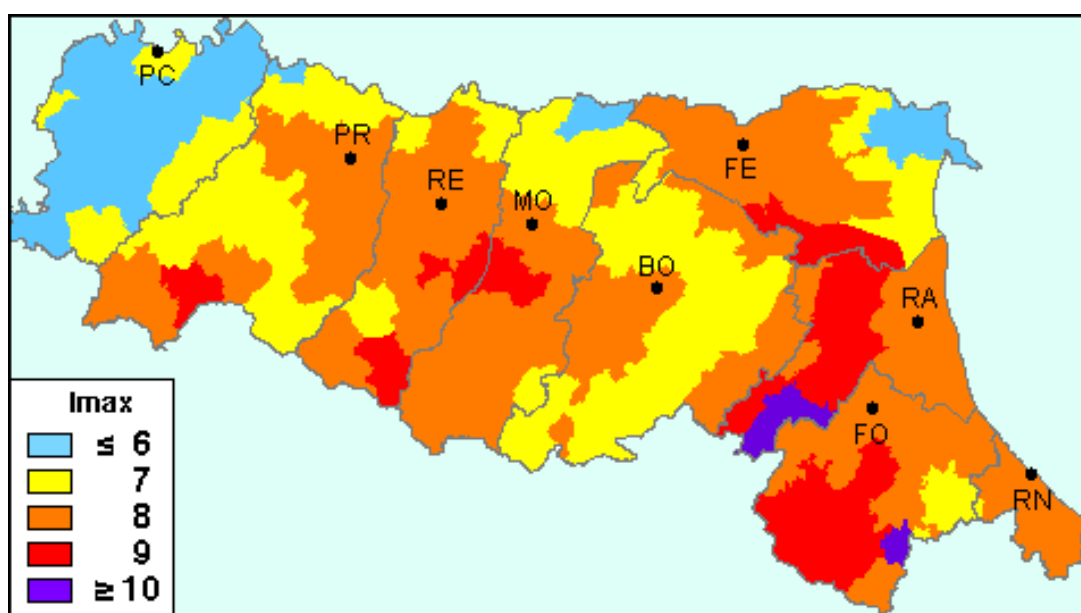


Figura 8.8. - Massime intensità macrosismiche osservate nel territorio regionale (Molin et alii, 1996).

Di seguito viene riportato l'elenco dei sismi documentati, riportati nel Catalogo dei Terremoti Italiani, di grado superiore al 3 della scala Mercalli (**Tabella 8.2.**). Sono riportati gli eventi sismici documentati, a cominciare dal XIII secolo. Le informazioni derivano dagli studi effettuati da Ferrari et al. 1980, Postpisch, 1985, Boschi et al. 1995, Boschi et al. 1997, Camassi, Stucchi, 1996. Gli eventi sono stati attribuiti al giorno in cui si è prodotta la scossa più violenta (sono molti i casi di sciame di scosse sismiche e scosse di assestamento). Le coordinate geografiche della zona epicentrale sono date in gradi sessadecimali, le intensità massime sono espresse in gradi della Scala Mercalli-Cancani-Sieberg.

Evento N°	Anno	mese	giorno	zona epicentrale lat. long.		zona epicentr. località	Intensità	Bibliogr.
1	1234	marzo	20	44,833	11,617	Ferrara	7	Camassi-Stucchi, 1997
2	1285	dicembre	13	44,833	11,650	Ferrara	6,5	Camassi-Stucchi, 1997
3	1346	febbraio	22	44,817	11,617	poco a S di Ferrara	7,5	Camassi-Stucchi, 1997
4	1410	giugno	9	44,833	11,617	Ferrara	6,5	Camassi-Stucchi, 1997
5	1425	agosto	10	44,833	11,667	poco a E di Ferrara	6	Camassi-Stucchi, 1997
6	1483	marzo	3	44,817	11,650	poco a SE di Ferrara	5,5	Camassi-Stucchi, 1997
7	1487	gennaio	11	45,03	11,30	a NW di Ferrara	5	Boschi et al., 1995
8	1508	ottobre	18	44,833	11,667	poco a E di Ferrara	6	Camassi-Stucchi, 1997
9	1561	novembre	24	44,833	11,600	Ferrara	6,5	Camassi-Stucchi, 1997
10	1570	novembre	18	44,817	11,650	Ferrara	8	Camassi-Stucchi, 1997
11	1594	ottobre	3	44,83	11,62	Ferrara	5	Boschi et al., 1997
12	1624	marzo	18	44,667	11,917	a NE di Argenta	8,5	Camassi-Stucchi, 1997
13	1695	febbraio	28	44,833	11,617	Ferrara	5,5	Camassi-Stucchi, 1997
14	1743	maggio	29	44,823	11,650	Ferrara	6,5	Camassi-Stucchi, 1997
15	1787	luglio	16	44,83	11,62	Ferrara	6,5	Boschi et al., 1997
16	1787	luglio	26	44,843	11,633	Ferrara	6,5	Camassi-Stucchi, 1997
17	1895	marzo	23	44,700	12,183	Comacchio	6	Camassi-Stucchi, 1997
18	1895	maggio	25	45,000	12,000	Serravalle-Papozze	6	Camassi-Stucchi, 1997
19	1895	luglio	3	44,700	12,183	Comacchio	6	Camassi-Stucchi, 1997
20	1898	gennaio	16	44,617	11,833	Argenta	7	Camassi-Stucchi, 1997
21	1908	giugno	28	44,800	11,300	fra Cento e Finale Emilia	6	Camassi-Stucchi, 1997
22	1909	gennaio	13	44,617	11,667	presso Traghetti	6,5	Camassi-Stucchi, 1997
23	1922	maggio	24	44,733	11,383	Cento	3,5	Camassi-Stucchi, 1997
24	1956	febbraio	20	44,567	11,950	a Sud di Filo di Argenta	5,5	Camassi-Stucchi, 1997
25	1967	dicembre	30	44,667	11,833	fra Argenta e Portomaggiore	6	Camassi-Stucchi, 1997

Tabella 8.2. – Elenco dei principali terremoti che hanno colpito il Ferrarese dal XIII secolo ad oggi.

In **FIGURA 8.9.** sono riportate le mappe degli epicentri verificatisi nella Regione Emilia Romagna, raggruppati in funzione della profondità degli ipocentri, ovvero la suddivisione è per sismi verificatisi a profondità inferiore a 15 km, per profondità comprese tra 15 e 25 km, per profondità comprese tra 25 e 35 km e per profondità maggiori di 35 km.

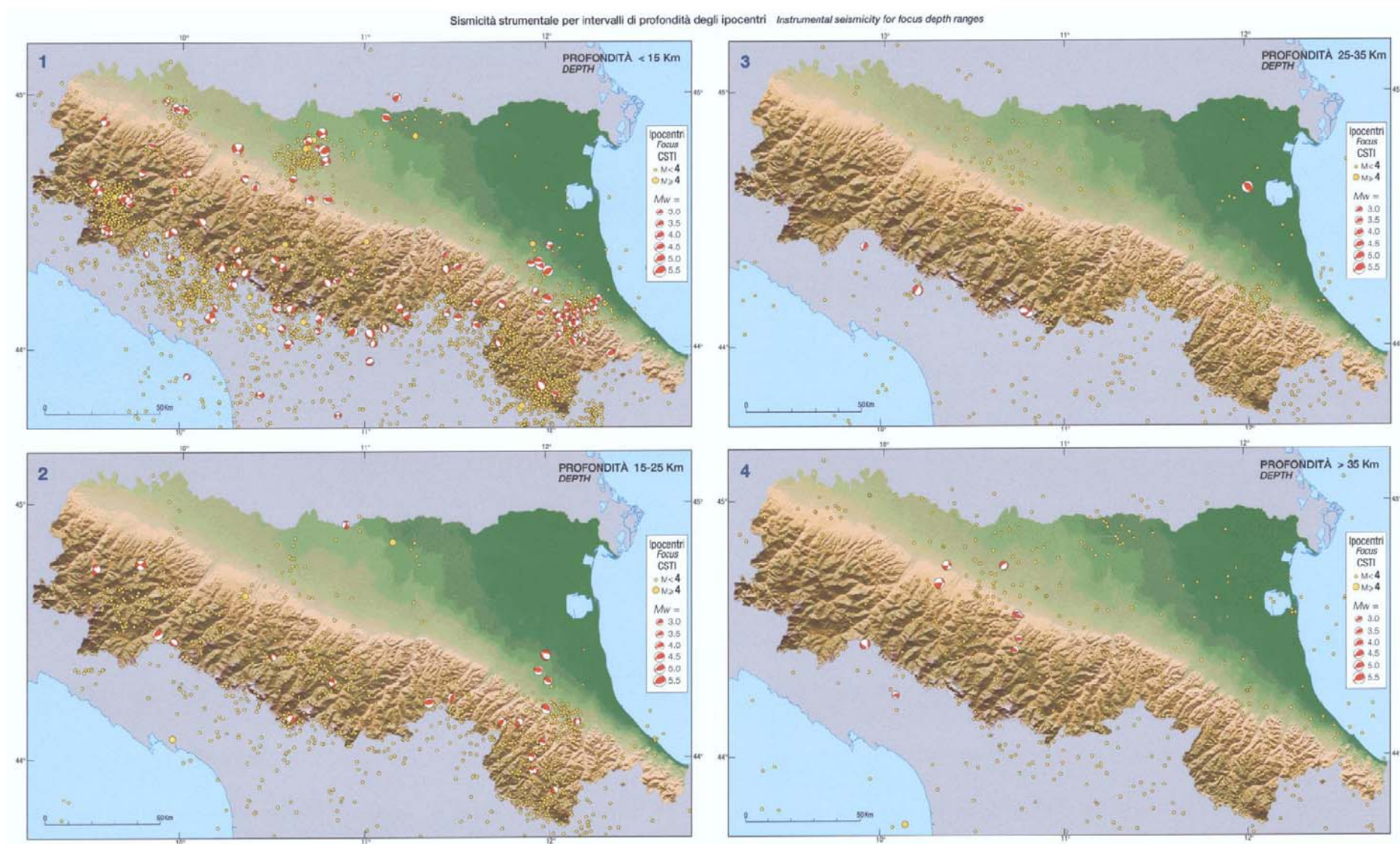


FIGURA 8.9. – ubicazione e profondità dei sismi che hanno interessato la regione Emilia Romagna.

8.2 CARTA SISMOTETTONICA

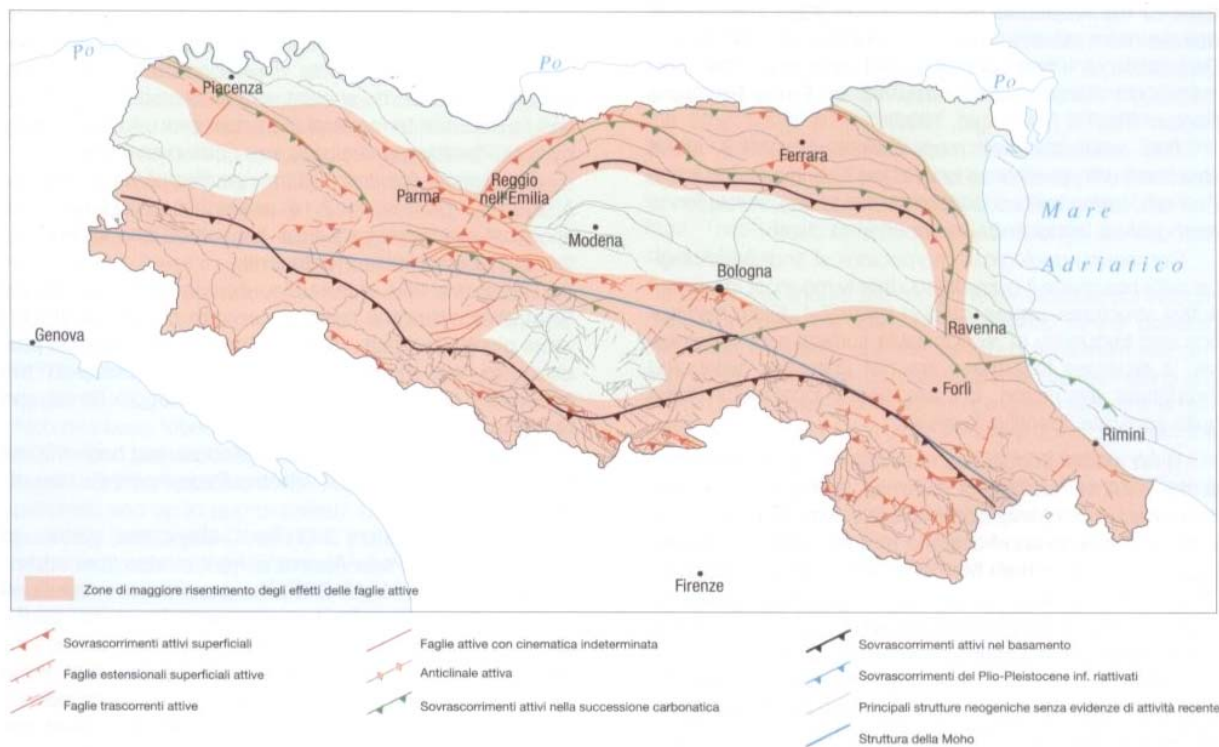
La cartografia tematica di base per questo studio è stata la *Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna*.

La **Carta sismotettonica** viene riprodotta in scala 1:50.000, e non ha subito rielaborazioni sui contenuti sostanziali da parte dello scrivente ma solo rielaborazione grafica, proponendo una versione zoommata sulle aree di interesse. In essa sono raggruppati tutti i dati riportati nei paragrafi precedenti.

Sono inoltre indicate le due principali strutture sepolte vicine al territorio in esame: il fronte di accavallamento del basamento e un sovrascorrimento riattivato. Queste fratture negli ammassi rocciosi, creatisi per le spinte tettoniche che causano il sovrascorrimento del fronte appenninico sulla monoclinale padano veneta, sono le linee su cui si possono sfogare in sisma le tensioni che si accumulano per i movimenti tettonici. Gli ipocentri sono collocati sempre all'interno di queste linee di fagliazione. Questi ammassi rocciosi e i rispettivi sistemi di faglie, sono ricoperti da sedimenti sciolti sabbiosi, limosi e argillosi del pliocene medio superiore e del quaternario. Nei sedimenti sciolti si verificano poi gli effetti di amplificazione dell'accelerazione massima A_{max} , in funzione delle caratteristiche dei parametri dinamici dei terreni. La zonizzazione dell'OPCM 3274/2003, recepita dalle nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni (2005), definisce le accelerazioni massime A_{max} riferite a suoli di categoria A (substrato rigido), ma definisce anche i fattori di amplificazione sismica S , funzione della categoria dei suoli di fondazione (suoli di categoria B, C, D e E).

Da qui nasce la necessità anche di una microzonizzazione sismica dei suoli comunali per verificare sia i potenziali effetti di sito locali, sia le categorie di suolo di fondazione, al fine di inquadrare complessivamente le penalizzazioni del terreno nelle scelte di piano.

In funzione delle strutture tettoniche presenti, in funzione dei terremoti storici, dei dati strumentali reperiti negli ultimi decenni, delle manifestazioni naturali associate ai sistemi di faglie (risalita di gas, di salse, ecc.), la regione ha redatto una carta delle aree di maggior risentimento degli effetti delle faglie attive.



9. RISERVE IDRICHE SOTTERRANEE

Le unità stratigrafiche del sottosuolo sud padano possono essere saturate da acque dolci, salmastre e salate. Nel loro insieme esse costituiscono il Bacino Idrogeologico (Castany, 1985) della Pianura Emiliano-Romagnola.

9.1. ACQUIFERI UTILI

Nel complesso dei notevoli spessori di sedimenti che compongono il sottosuolo sud-padano si rilevano corpi geologici, che grazie alle loro proprietà geometriche e petrofisiche (porosità, permeabilità e compressibilità) svolgono efficientemente le funzioni di serbatoio e condotta per le acque sotterranee, tali corpi geologici sono detti “*acquiferi*”.

Nel sottosuolo della pianura emiliano-romagnola e sul margine Appenninico Padano sono stati riconosciuti tre Gruppi Acquiferi separati da barriere di permeabilità di estensione regionale, informalmente denominati Gruppo Acquifero A, B e C a partire dal piano campagna.

Il limite tra acqua dolce e salmastra definisce la base degli acquiferi utili per uso idropotabile e agricolo-industriale. Il limite tra acqua dolce e salmastra è stato posto convenzionalmente in corrispondenza del valore di 10 ohm*m dei log di resistività, equivalente ad una conducibilità di 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Le *unità idrostratigrafiche* sono dei corpi geologici, “di notevole estensione areale, che costituiscono un dominio dello spazio fisico in cui ha sede un sistema idrologico ragionevolmente distinto” (G. Di Dio, 1998).

Una *unità idrostratigrafica* è un corpo geologico complesso, formato da gruppi di strati con geometrie e caratteri petrofisici variabili ma legati geneticamente, cioè depositi in ambienti sedimentari contigui ed in continuità di sedimentazione; i flussi di acqua sono in queste unità idrostratigrafiche necessariamente confinati all'interno della medesima unità. Infatti ogni unità idrostratigrafica può essere considerata idraulicamente isolata da quelle adiacenti, sicché il livello piezometrico misurato in un acquifero appartenente ad una determinata unità idrostratigrafica è di norma indipendente dai livelli piezometrici misurati, sulla stessa verticale, in acquiferi contenuti in altre unità idrostratigrafiche.

Per acquiferi utili si intendono quelle riserve di acque dolci utilizzabili o per fini idropotabili, o per pratiche agricole o per fini industriali, utilizzate in processi produttivi. Laddove i corpi idrici superficiali non sono in grado di fornire tali risorse idriche, necessarie alle esigenze antropiche, si ricorre a pozzi di emungimento acque.

La presenza, l'assenza, o la limitata disponibilità di queste acque, condizionano le scelte di pianificazione territoriale, nell'ottica di uno sviluppo compatibile con le risorse ambientali.

Dove non c'è sufficiente disponibilità di acqua sotterranea, prima di consentire un certo tipo di insediamento produttivo, che per esempio necessita di notevoli volumi d'acqua, occorre o progettare alternative come gli acquedotti industriali con derivazioni di acque superficiali, o, se non ci sono neanche queste condizioni, non prevedere quel tipo di insediamento in quella zona.

Nella pianura ferrarese sono state stimate le quantità di acque estratte dal sottosuolo della provincia di Ferrara. In totale si estraggono annualmente 51 milioni di mc di acqua, suddivisi in 3 milioni per usi civili, 32,7 milioni per usi industriali, 13,9 milioni per usi irrigui e 1,4 milioni per usi zootecnici.

9.2. DISPONIBILITA' DI IDRORESORSE NEL TERRITORIO COMUNALE

Nel sottosuolo della pianura e il Margine Appenninico Padano sono state riconosciute tre unità idostratigrafiche fondamentali, informalmente definite Gruppo Acquifero A, B e C, a loro volta suddivise in tredici Unità idostratigrafiche, gerarchicamente inferiori, denominate Complessi Acquiferi (**FIGURA 9.1**). Il Gruppo Acquifero A è attualmente sfruttato in modo intensivo, il Gruppo Acquifero B è sfruttato solo localmente, il Gruppo Acquifero C, isolato rispetto alla superficie per gran parte della sua estensione, è raramente sfruttato.

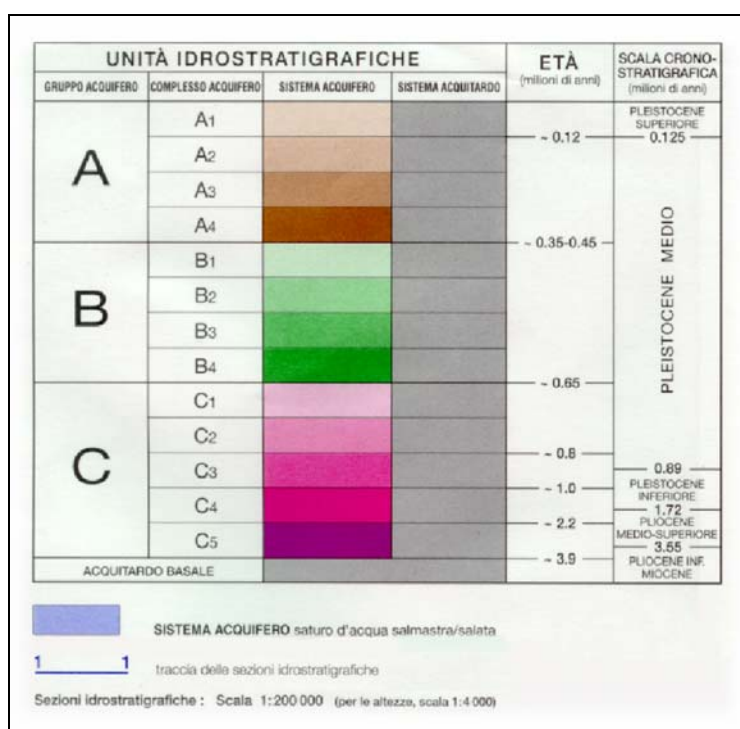


FIGURA 9.1 – Unità idostratigrafiche della Pianura Padana Emiliano-Romagnola

Per una descrizione più dettagliata dei tre Gruppi Acquiferi sono state costruite dieci Sezioni Idostratigrafiche (indicate in **FIGURA 9.2** con la linea blu), nelle quali sono stati correlati i tredici Complessi Acquiferi che definiscono i Gruppi A, B e C. Viene di seguito riportato uno stralcio della Sezione 5 (**FIGURA 9.3**) che attraversa l'area in esame, con direzione SW-NE, passante per il

comune di Codigoro. All'interno di ciascun Complesso Acquifero sono stati delimitati: il Sistema Acquifero, in colore, il Sistema Acquitardo, in grigio, il limite acqua dolce-salmastro, linea blu, che rappresenta la base degli acquiferi utili. Al di sotto di tale limite i Sistemi Acquiferi sono saturi di acqua salmastra o salata e pertanto sono stati tutti campiti con il colore blu, a prescindere dal Complesso Acquifero di appartenenza. Nella sezione è stata inoltre evidenziata con una linea rossa la superficie trasgressiva Tirreniana (circa 0,13 Ma fa), essa è sormontata dai depositi fini, paralici e marini, contenenti acquiferi salmastri, che chiudono la sequenza Deposizionale Elementare, corrispondente al Complesso Acquifero A2, al di sotto della linea rossa si trovano gli strati deltizi che hanno subito il processo di piazzamento delle acque connate ed attualmente sono saturi di acqua dolce.

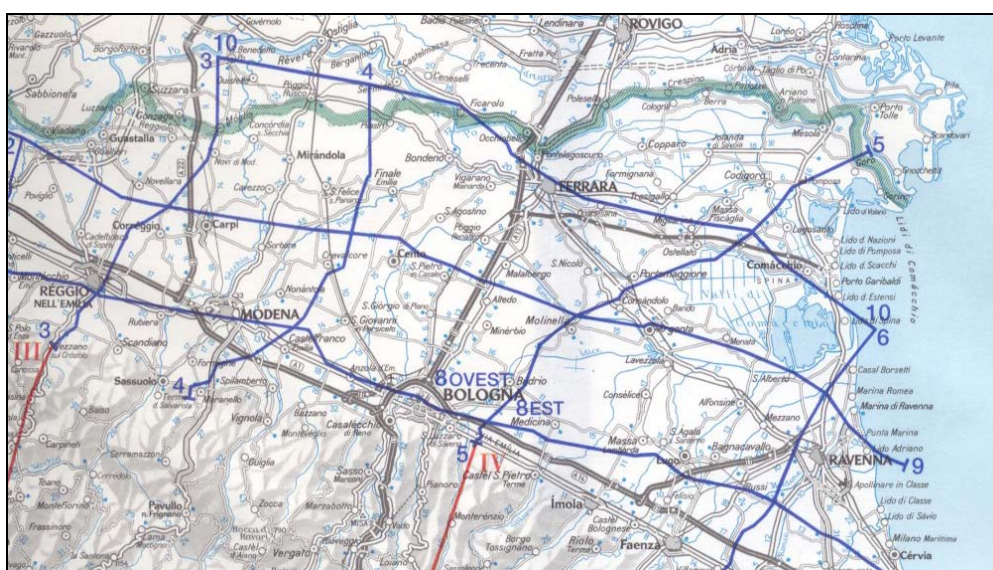


FIGURA 9.2 – Ubicazione dei profili idrostratigrafici

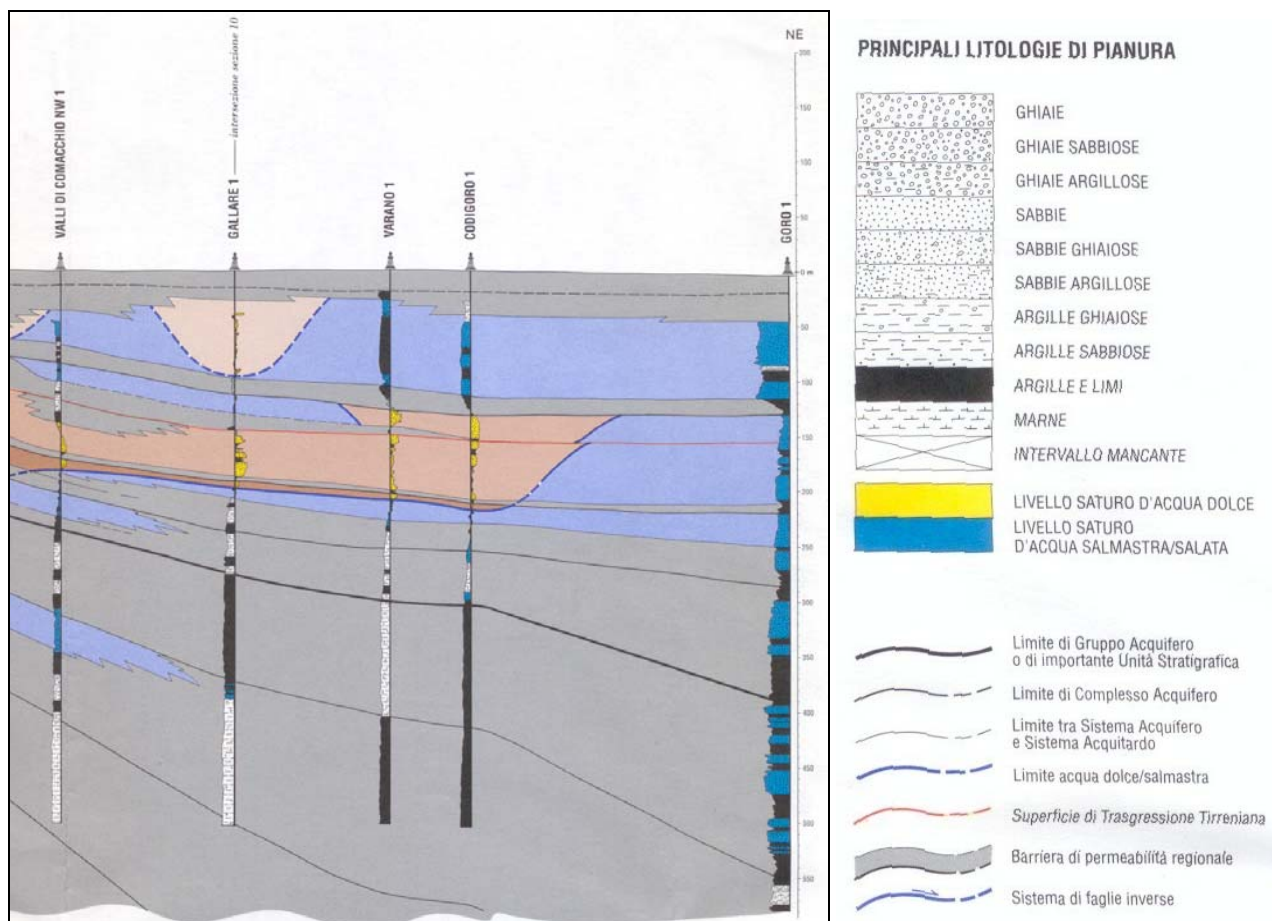


FIGURA 9.3 – Sezione idrostratigrafica SW-NE (R.E.R. & ENI-AGIP, 1998 Tav.8, sez.5)

9.3. CARTA DELLE RISERVE IDRICHE SOTTERRANEE

La cartografia tematica di base per questo studio è stata *Riserve Idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna* in collaborazione con *ENI-Agip*.

La **Carta delle riserve idriche sotterranee** viene riprodotta in scala 1:50.000 e tiene conto del solo Gruppo Acquifero A. Viene riportato sia il limite basale che lo spessore cumulativo del Gruppo Gruppo Acquifero A. Nella fascia orientale il limite basale dell'acquifero è costituito dalle acque salate, e non da un letto litologico ad acquiclude. La cartografia proposta non ha subito rielaborazioni sui contenuti sostanziali da parte dello scrivente ma solo rielaborazione grafica, proponendo una versione zoommata sulle aree di interesse.

Si riporta in **FIGURA 9.4** uno stralcio della Tavola 1 del lavoro citato (ENI-Regione Emilia Romagna), in cui vengono riportati i limiti geometrici e lo spessore totale del Gruppo Acquifero A, essa è il risultato dell'interpretazione di 30.000 km di linee sismiche e dei dati di pozzo. Le isolinee (isobate) forniscono, in ogni punto, la profondità della superficie basale del gruppo Acquifero, riferita al livello del mare. Tale mappa è fondamentale per il calcolo del volume totale del gruppo Acquifero e per stimare la profondità oltre la quale è inutile, se non addirittura dannoso, per la qualità delle acque estratte approfondire i pozzi.

In **FIGURA 9.5** viene illustrata la distribuzione dello spessore cumulativo utile e le aree di ricarica diretta (superfici retinate), del Gruppo A, le isolinee che racchiudono le varie aree forniscono, in ogni punto, lo spessore cumulativo di sabbie e ghiaie acquifere appartenenti al gruppo Acquifero, sfruttabili per scopi idropotabili, agricoli e industriali. Questa mappa serve per calcolare il volume degli acquiferi utili e le riserve permanenti del sottosuolo, e permettono di predire lo spessore degli acquiferi utili della zona di interesse.

Premesso ciò si analizza la situazione rilevabile all'interno del territorio comunale, allo stato delle conoscenze attuali. In corrispondenza del territorio comunale di Codigoro è presente solamente il Gruppo Acquifero A.



FIGURA 9.4. – Profondità del limite basale dell'acquifero A

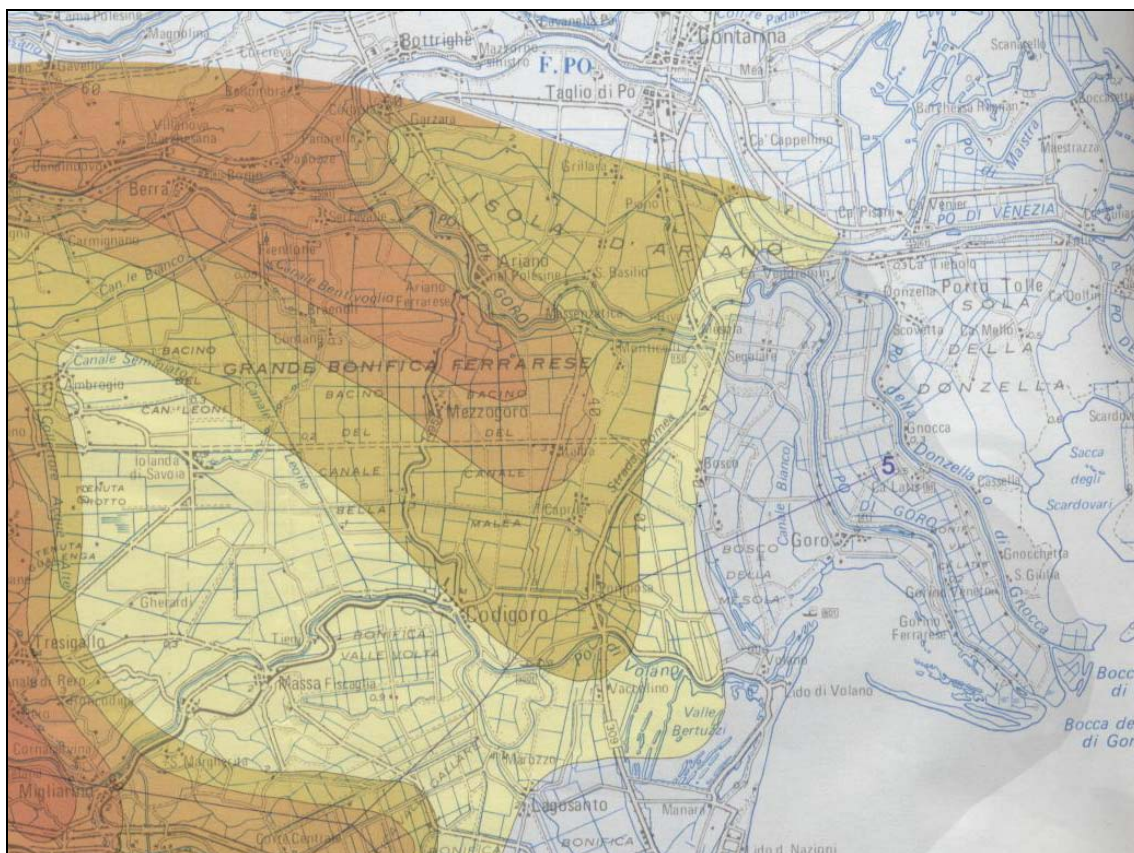


FIGURA 9.5. – Spessore cumulativo dell'acquifero A.

Dalla lettura di queste carte si ricava che nel territorio comunale la profondità del limite basale assume un andamento piuttosto costante, andando da 200 metri sotto il livello del mare nell'area

più centrale del comune, in particolare negli abitati di Codigoro e Mezzogoro, sviluppandosi in modo radiale e raggiungendo quote di circa 100 metri sotto il livello del mare nei territori più estremi del comune.

Lo spessore dell'acquifero utile varia seguendo una direttrice che passa per i Paesi di Ambrogio – Jolanda di Savoia - Massafiscaglia, lungo questa direttrice troviamo uno spessore di circa 0 metri, ad est di questo limite (area color grigio) l'aquifero è inutilizzabile, lungo i fianchi di tale direttrice lo spessore aumenta progressivamente da sud verso nord fino ad arrivare ad uno spessore cumulativo di circa 60 m a nord di Mezzogoro.

Tutti questi dati sono raccolti nella carta delle Riserve Idriche Sotterranee.

10. CONCLUSIONI

In questo studio si è inteso raccogliere e mettere a sistema quanti più dati possibile per definire il Quadro Conoscitivo, per gli aspetti geologici, idrogeologici e ambientali del territorio comunale di Codigoro.

Tutto questo materiale costituisce la base per la redazione delle Carte di Sintesi che andranno a comporre il Documento degli Obbiettivi di Piano (Documento Preliminare); tali successive carte saranno di ausilio per la fase pianificatoria vera e propria, ed insieme a quelle del Quadro Conoscitivo concorreranno nella valutazione della sostenibilità ambientale degli Obbiettivi di Piano.

RELAZIONE GEOLOGICA E AMBIENTALE DOCUMENTO PRELIMINARE

1. CARTOGRAFIA DI SINTESI

In questa fase dello studio tutti gli elementi raccolti nel Quadro Conoscitivo permettono di redigere delle carte di sintesi in cui affronta la lettura critica del territorio e delle sue caratteristiche, in rapporto agli usi antropici che del territorio possono essere fatti e quindi pianificati. I tematisti di analisi e lettura che verranno di seguito presentati, concorrono nel supportare le corrette valutazioni per pervenire ad un equilibrato rapporto tra sviluppo e salvaguardia del territorio.

Il lavoro che segue è la sintesi dell'analisi dei caratteri del territorio, del suo stato di fatto e dei processi evolutivi che ne sono peculiari, riletta in chiave di interazione con le scelte pianificatorie.

Da questo principio fondamentale è scaturita la seguente cartografia di corredo al Documento degli Obbiettivi.

- 1) **Carta delle Unità fisiografiche del territorio**, che raccoglie in ambiti territoriali pseudomogenei per caratteristiche legate alla sua genesi geologica, alla sua evoluzione geomorfologica, alla sua storia antropica ed al suo assetto passato e attuale; scopo di questa carta è raffinare gli ambiti territoriali pseudomogenei rispetto alle Unità di Paesaggio nate con il PTPR, per concorrere all'attribuzione di appropriate e specifiche politiche di sviluppo da applicare in modo differenziato e peculiare sulle diverse parti di territorio.
- 2) **Carta delle qualità geotecniche dei terreni**, che classifica le aree in una graduatoria relativa al solo territorio comunale, in funzione delle caratteristiche di portanza del terreno, e classifica le prove penetrometriche statiche; anche le prove penetrometriche a punta elettrica con piezocono fornite dalla regione hanno concorso nella classificazione delle aree. Scopo di questa carta è fornire una chiara visione degli aspetti penalizzanti ai fini edificatori, che possono concorrere nelle scelte degli ambiti potenzialmente urbanizzabili e nelle scelte dei tracciati delle infrastrutture.
- 3) **Carta delle criticità idrauliche**, che classifica il territorio in funzione della sua vulnerabilità al rischio di allagamento da acque meteoriche derivato in modo particolare dagli imprescindibili limiti di scolo del sistema della bonifica, nella gestione del territorio; per la redazione di questa carta si è tenuta in considerazione la topografia particolarmente depressa di certe aree rispetto ad altre, si è considerata la difficoltà di infiltrazione delle acque meteoriche in aree, dove in superficie prevalgono sedimenti a matrice argillosa (bassa permeabilità); infine si è considerata la storia del territorio con l'ubicazione di tutte le aree in cui si sono manifestati eventi che hanno causato allagamenti persistenti. Scopo di questa carta è evidenziare quali possono essere le aree a diverso grado di vulnerabilità all'allagamento da acque meteoriche, che in pianura si traducono generalmente solo in disagi e danni economici alle produzioni agricole e alle cose, ma non in danni per la sicurezza delle persone. Questi dati sono di ausilio alle scelte strategiche sul cambiamento d'uso di porzioni di territorio.

- 4) **Carta della potenziale difesa idraulica di Codigoro**, che racchiude una analisi di dettaglio dell'assetto topografico nel capoluogo comunale e nelle terre circostanti. In questa carta sono indicate aree a fragilità idraulica, come le aree di sortumazione al piede dell'argine del Po di Volano, aree dove compaiono fontanazzi in occasione di alte maree; sono mappate le attuali opere di difesa idraulica, quali i muretti artificiali di difesa arginale dalla tracimazione del fiume Po di Volano, che difendono il centro abitato di Codigoro. In questa carta vengono anche ipotizzati degli assetti territoriali auspicabili, che nascono dalla possibile interazione con certe opere infrastrutturali di grande rilevanza per la viabilità; la costruzione di queste opere con certi criteri comporterebbe la creazione di nuove aree di catino idraulico o celle idrauliche, i cui varchi potrebbero essere regimati, mettendo in sicurezza tali bacini e le strutture in esse contenute, con gran vantaggio per la comunità in caso di eventi alluvionali importanti provenienti da Nord ovvero dal fiume Po. Scopo di questa carta è suggerire alla pianificazione una possibile modalità di esecuzione di opere infrastrutturali, raddoppiando la funzione che esse potrebbero avere sul territorio.
- 5) **Carta della potenziale difesa idraulica dall'ingressione marina**, che riporta una mappatura dettagliata di tutte le opere antropiche e le linee topografico-morfologiche naturali che di fatto costituiscono delle barriere all'ingressione marina; Codigoro è un comune costiero, il tratto terminale del fiume Po di Volano non è altro, in particolari condizioni, che un'asse di flusso a ritroso delle acque marine verso l'interno del territorio comunale. Scopo di questa carta è fornire alla pianificazione territoriale un quadro delle funzionalità di certe parti di territorio, in modo da poter proiettarsi nei prossimi 50-100 anni e poter decidere oggi che politiche attuare su quelle aree per le ricadute a lungo termine. Lo scrivente è convinto che subsidenza da una parte e l'aumento del livello medio marino, obbligheranno a lungo termine ad intervenire su fasce di territorio costiero innalzando delle opere di difesa idraulica sul modello olandese, irrigidendo ulteriormente il sistema (l'alternativa del concedere al mare nuove terre e arretrare le linee di difesa sembra ad oggi una strategia poco perseguibile).
- 6) **Carta dei fattori predisponenti per i potenziali effetti di sito** in condizioni sismiche, che mappa le aree in cui sono possibili effetti di amplificazione del moto sismico. Dove sussistono le condizioni per cui si possano avere effetti di sito (presenza dei fattori predisponenti), non necessariamente si possono verificare effetti connessi al rischio sismico, se non ci sono eventi sismici di intensità sufficiente (presenza dei fattori scatenanti). In attesa di avere i dati di input da parte della Regione sui terremoti di progetto da attendersi in un determinato comune, intanto si fornisce questa analisi definibile di 1° livello. Scopo di questa carta è fornire un altro possibile elemento di condizionamento delle scelte sull'uso del territorio. Mentre i terreni a scarse caratteristiche geotecniche coincidono comunque con aree di possibile amplificazione del moto sismico, sulle sabbie degli

allineamenti di paleodune, immersi in falda, si presume che difficilmente si verificheranno fenomeni di liquefazione, in quanto storicamente l'area non è stata soggetta a sismi di Magnitudo superiore a 5,0.

Si procede ora ad una descrizione più dettagliata dei contenuti delle carte e delle metodologie con cui si è pervenuti ad esse.

1.1 CARTA DELLE UNITA' FISIOGRAFICHE DEL TERRITORIO

Dopo aver completato l'analisi ambientale del territorio comunale, individuando tutte le strutture geomorfologiche rilevabili, disegnando l'assetto altimetrico e rilevando le litologie di superficie, si è potuto perimetrare una serie di sistemi fisiografici o unità morfologico paesaggistiche, che individuano aree che hanno in comune il loro attuale assetto, e la loro storia geomorfologica, sedimentologica, evolutiva nonché storico-antropica.

Si sono quindi individuati 12 principali sistemi fisiografici leggibili nella cartografia. In questo modo il territorio comunale è suddiviso in ambiti paesaggistici omogenei la cui analisi dettagliata può portare ad approcci pianificatori differenziati e mirati.

I dodici principali sistemi fisiografici individuati sono:

- Grande Bonificazione Ferrarese
- Bonifica della Vallona
- Bonifica della Valle Giralda
- Bonifica della Valle Volta
- Dominio fluviale del paleoalveo del Po di Volano
- Dominio fluviale del paleoalveo del fiume Gaurus
- Dominio fluviale dei paleoalvei minori
- Ansa del Varano
- Foce del Po di Volano
- Allineamenti di paleodune costiere dell'età del Bronzo
- Allineamenti di paleodune costiere dall'età del ferro all'alto medioevo
- Allineamenti di paleodune costiere dal X° sec al XIV° sec d.C.

I sistemi fisiografici caratterizzati dal termine "*bonifica*" perimetrano tutte le aree originalmente occupate da specchi vallivi, che sono state recuperate con l'azione della bonifica. Queste aree, in caso di mancato funzionamento del sistema di bonifica, verrebbero presto riallagate. Questi territori sono suddivisi geometricamente da tutta una rete di canali e di strade distribuiti simmetricamente, a disegnare tasselli regolari.

I sistemi fisiografici relativi alle aree bonificate sono cinque: la "Grande Bonificazione Ferrarese", avvenuta nel 1872, perimetra una vasta area di territorio, posta a nord-ovest del comune, tale area coincide con i territori topograficamente più depressi posti ad ovest

dell'allineamento di paleodune di Italba-Pontelangorino fatta esclusione dei dossi fluviali del fiume Gaurus e del Po di Volano; la Bonifica della Vallona, avvenuta nel 1930, perimetra una area, posta fuori dal confine settentrionale del comune a sud del Po di Goro tra gli abitati di Monticelli e Mesola, racchiusa tra i cordoni di paleodune passanti per Massenzatica-Italba-Pontemaodino ad ovest, e Mesola-Pomposa ad est, tale area si presentava come una laguna interclusa tra acque dolci e acque salate; la Bonifica della Valle Giralda, avvenuta tra gli anni 1958-1968, perimetra una area, posta ad est del territorio comunale dopo l'abitato di Pomposa, racchiusa tra gli allineamenti di paleodune del periodo che va dall'età del ferro all'alto medioevo ad ovest e gli allineamenti del periodo compreso tra il X° e il XIV° sec. ad est, tale area si presentava come una laguna interclusa tra acque salate; la Bonifica della Valle Volta, avvenuta nel 1878, perimetra una area piuttosto vasta, posta a sud del Po di Volano tra gli abitati di Massafiscaglia e Codigoro, tale area si presentava come un bacino ad acque dolci generatosi per subsidenza.

I sistemi fisiografici caratterizzati dal termine "*dominio fluviale*" perimetrano le aree di pertinenza dei principali fiumi che attraversano il comune di Codigoro: dominio fluviale del fiume Po di Volano; dominio fluviale del fiume Gaurus, e dominio fluviale dei paleoalvei minori. Le aree perimetrate dal dominio fluviale dei paleoalvei minori sono quelle aree caratterizzate da dossi con direttrice sub-parallela ai due fiumi Po di Volano e Gaurus che congiungono Jolanda di Savoia a Codigoro, e Massafiscaglia all'ansa del Varano.

Il sistema fisiografico "Ansa del Varano" perimetra una area posta a sud-est dell'abitato di Codigoro coincidente con un antico meandro del fiume Po di Volano.

Il sistema fisiografico "Foce del Po di Volano" perimetra una area, posta tra Taglio della falce e il Lido di Volano, in cui il fiume ha sbocco in mare.

I sistemi fisiografici caratterizzati dal termine "*allineamenti di paleodune costiere*" perimetrano le aree, poste ad est del territorio comunale, topograficamente rialzate, testimonianza della progradazione della linea di costa. Sono state perimetrate tre diverse aree in base al periodo cui si riferiscono: allineamenti relativi all'età del Bronzo, area a sud di Massenzatica; allineamenti relativi al periodo che va dall'età del Ferro all'alto Medioevo, area che si estende tra l'allineamento che congiunge Italba a Pontemaodino fino alla Strada Statale Romea; allineamenti relativi al periodo che si estende dal X° sec. al XIV° sec. d.C., area che si estende da Mesola e Santa Giustina verso sud, attraversando Bosco Mesola fino alla foce del Po di Volano.

La carta delle unità fisiografiche del territorio rappresenta un interessante spunto per suddividere il territorio in aree da normare in funzione delle singole peculiarità e può essere intesa quale classificazione più raffinata delle Unità di Paesaggio riportate nel P.T.P.R., per meglio rispondere in ambito di programmazione a livello comunale, alle esigenze differenziate del territorio.

1.2. CARTA DELLE QUALITÀ GEOTECNICHE DEI TERRENI

Per redigere la “Carta delle qualità geotecniche dei terreni del territorio comunale” si sono percorse le seguenti due strade: A) sovrapposizione della carta geomorfologica e della litologia di superficie, con localizzazione delle strutture geomorfologiche più importanti, caratterizzate da litotipi particolari, come già ampiamente descritto in precedenza, e B) costituzione di una banca dati di prove penetrometriche statiche eseguite nel territorio del comune di Codigoro e nelle aree limitrofe, da interfacciare con le strutture geomorfologiche individuate sul territorio.

La banca dati è stata costituita con la raccolta delle prove penetrometriche statiche eseguite dallo studio del Geologo Thomas Veronese. Per i centri abitati, dove si aveva una certa densità di indagini, si sono scelte solo alcune prove sostanzialmente rappresentative delle aree.

La fase A) si è completata con una analisi della carta geomorfologica abbinata alla carta della litologia di superficie e ai diagrammi di resistenza delle prove penetrometriche statiche, importanti per evidenziare gli spessori delle litologie caratterizzanti le varie strutture geomorfologiche. In questo modo, è bene precisarlo, si attribuiscono caratteristiche geotecniche indicative per le varie aree del comune.

La fase B) si è basata sull'analisi dei diagrammi di resistenza alla punta delle prove penetrometriche statiche; in questo modo è stato possibile classificare le prove penetrometriche in modo da differenziale sulla carta in funzione delle resistenze alla punta.

L'esecuzione delle prove penetrometriche statiche è avvenuta con un Penetrometro Statico Olandese tipo Gouda (tipo meccanico), con dispositivo idraulico di spinta da 20 t. fornito di punta telescopica tipo “Begemann” per il rilievo della resistenza alla punta R_p e dell'attrito laterale locale R_l , avente un'area di 10 cm^2 , angolo 60° , velocità di avanzamento 2 cm/sec .

La metodologia è sperimentale, è già stata utilizzata dallo scrivente in altri comuni del Basso Ferrarese, nell'ambito di altri P.S.C., nonostante ciò si pensa, visti i risultati ottenuti, che essa possa anche essere adattabile in questo comune. La metodologia per la stesura della carta tematica è stata ottenuta procedendo nel modo seguente, per ciascun diagramma di resistenza alla punta viene calcolato:

- A)** il valore di resistenza alla punta medio tra -0,80 m da p.c. e -3,0 m da p.c.;
- B)** il valore di resistenza alla punta medio tra -0,80 m da p.c. e -7,0 m da p.c.;
- C)** viene associata una penalizzazione se tra -0,8 m da p.c. e -3,0 m da p.c. sono presenti terreni con un valore di resistenza alla punta inferiore o uguale a 3 kg/cm^2 .

La scelta degli intervalli di profondità considerati sono funzione del teorico comportamento del terreno di fondazione sottoposto all'applicazione di un carico.

L'applicazione del sovraccarico della fondazione induce ad una variazione dello stato tensionale del terreno, il carico applicato tende a diffondersi fino al suo completo assorbimento.

Le profondità di -3,0m e di -7,0m sono state scelte in funzione delle seguenti considerazioni puramente statistiche:

A) Funzione della profondità a cui si spinge il cuneo efficace, cioè la zona in cui il terreno mantiene un comportamento elastico e tende a penetrare negli strati sottostanti solidalmente alla fondazione, questo cuneo forma un angolo uguale a φ (angolo di resistenza al taglio del terreno su cui poggia la fondazione) rispetto all'orizzontale secondo Terzaghi, uguale a $(45^\circ + \varphi / 2)$ secondo Meyerhof, Vesic e Brinch Hansen. Si veda in proposito **FIGURA 1.2**.

La profondità H a cui si spinge il cuneo efficace, ricavata dalla formula di Meyerhof (1953) è uguale a:

$$H = 0,5 B \operatorname{tg} (45^\circ + \varphi/2).$$

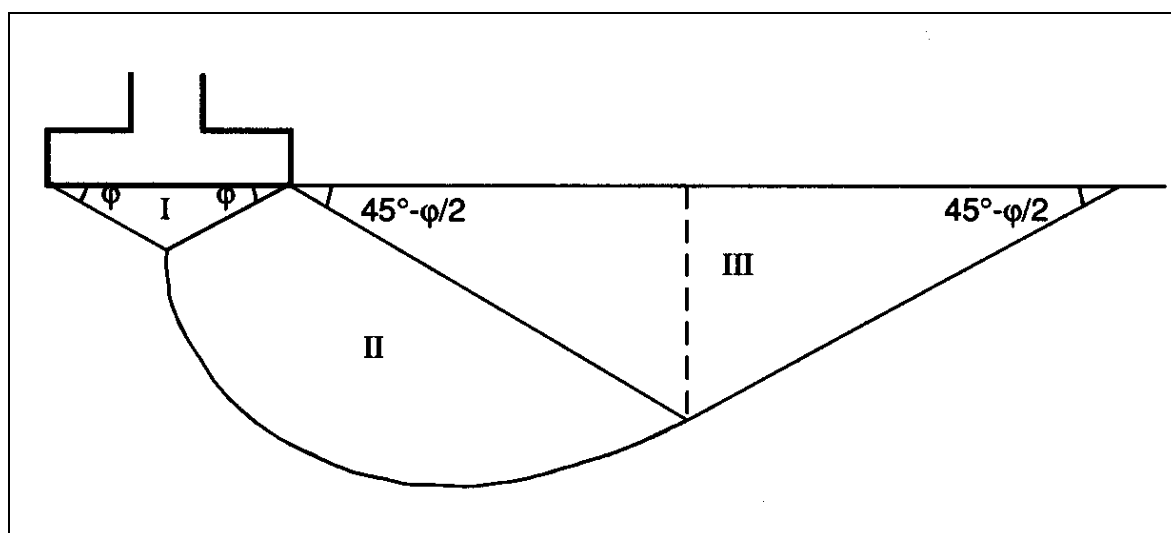


FIGURA 1.2. – Schematizzazione del comportamento del terreno di fondazione sottoposto all'applicazione di un carico, secondo Terzaghi(1943).

B) Funzione dello spessore di terreno in cui l'incremento di carico Δq è superiore al 10% del carico applicato in superficie, per la stima del "volume significativo", ricavabile dai grafici di Boussinesq.

La distribuzione degli sforzi in un piano orizzontale è una superficie di rivoluzione intorno alla retta d'azione del carico e la sua sezione trasversale ha la forma di una curva a campana. Le curve di uguale pressione verticale, sezioni trasversali dei bulbi di pressione, sono riportate in **FIGURA 1.3**

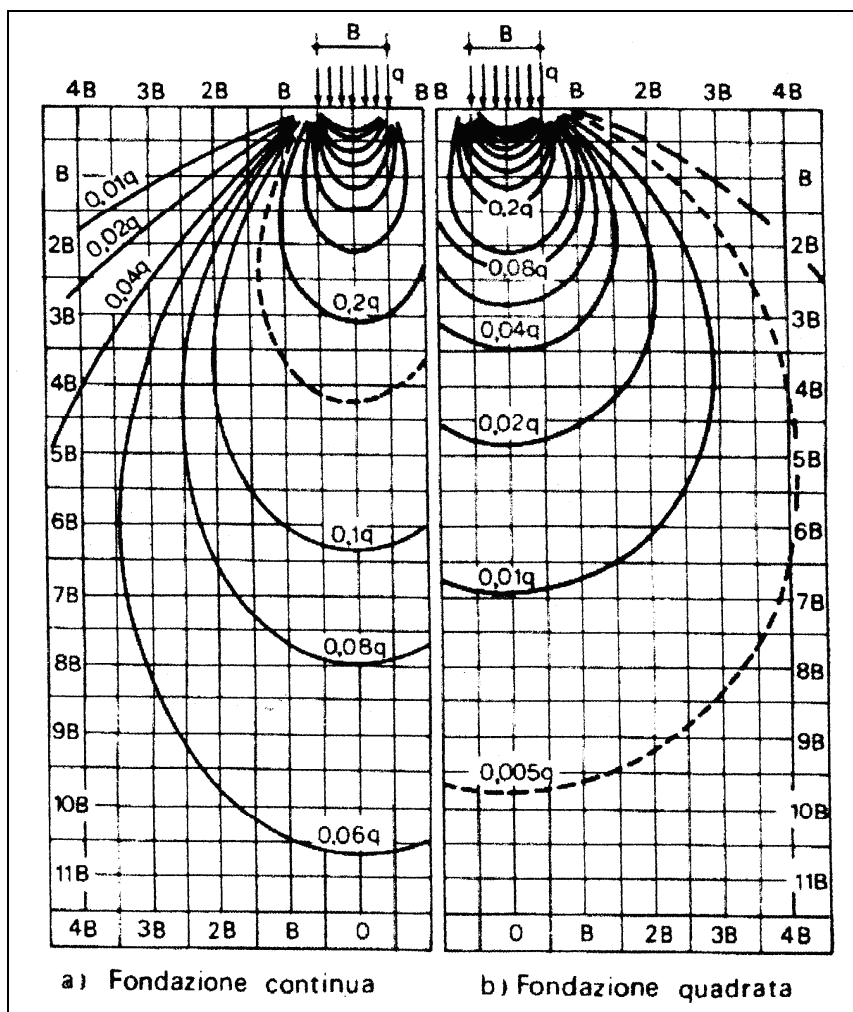


FIGURA 1.3 - Distribuzione secondo la teoria di Boussinesq delle pressioni verticali nel terreno. Con questo abaco si stima la profondità del banco comprimibile H_c in funzione della geometria della fondazione.

I valori di resistenza alla punta medi vengono in seguito associati ad un punteggio, in **Tabella 1.1, 1.2 e 1.3** vengono riportati gli intervalli dei valori di resistenza alla punta ed i punteggi corrispondenti.

RESISTENZA ALLA PUNTA MEDIA -0,8m/-3,0m R_p (kg/cm ²)	PUNTEGGIO A
$R_p \leq 5 \text{ kg/cm}^2$	0
$5 \text{ kg/cm}^2 < R_p \leq 10 \text{ kg/cm}^2$	1
$10 \text{ kg/cm}^2 < R_p \leq 25 \text{ kg/cm}^2$	2
$25 \text{ kg/cm}^2 < R_p \leq 50 \text{ kg/cm}^2$	3
$R_p > 50 \text{ kg/cm}^2$	4

Tabella 1.1 – Intervalli di resistenza alla punta e rispettivi punteggi per i terreni compresi tra -0,8 m da p.c. e -3,0 m da p.c.

RESISTENZA ALLA PUNTA MEDIA -0,8m/-7,0m Rp (kg/cm²)	PUNTEGGIO B
$R_p \leq 5 \text{ kg/cm}^2$	0
$5 \text{ kg/cm}^2 < R_p \leq 10 \text{ kg/cm}^2$	1
$10 \text{ kg/cm}^2 < R_p \leq 25 \text{ kg/cm}^2$	2
$25 \text{ kg/cm}^2 < R_p \leq 50 \text{ kg/cm}^2$	3
$R_p > 50 \text{ kg/cm}^2$	4

Tabella 1.2 – Intervalli di resistenza alla punta e rispettivi punteggi per i terreni compresi tra -0,8 m da p.c. e -7,0 m da p.c.

RESISTENZA ALLA PUNTA MINIMI -0,8m/-3,0m Rp (kg/cm²)	PUNTEGGIO C
$R_p \leq 3 \text{ kg/cm}^2$	-1
$R_p > 3 \text{ kg/cm}^2$	0

Tabella 1.3 – Valori di resistenza alla punta minimi e rispettivi punteggi per i terreni compresi tra -0,8 m da p.c. e -3,0 m da p.c.

Successivamente i punteggi vengono sommati (A + B + C) al fine di ottenere un punteggio unico per ciascuna prova penetrometrica statica, in base ai punteggi totali ottenuti le prove sono state suddivise in categorie secondo la **Tabella 1.4**:

Punteggio totale "p"	Valore di resistenze alla punta	Colore
$0 \leq p \leq 1$	<i>molto scarse</i>	<i>Nero</i>
$1 < p \leq 3$	<i>scarse</i>	<i>Blu</i>
$3 < p \leq 5$	<i>medie</i>	<i>Verde</i>
$5 < p \leq 7$	<i>buone</i>	<i>Rosso</i>
$7 < p \leq 8$	<i>Molto buone</i>	<i>Arancio</i>

Tabella 1.4 – valore di resistenze alla punta rapportato al punteggio

Ad ogni valore di resistenza alla punta è stato associato un colore, in modo che ogni punto venga colorato in funzione delle categorie sopra riportate, e così si è ottenuta una cartografia tematica di immediata lettura.

Nel complesso la carta delle qualità geotecniche dei terreni indica delle aree vaste dove è alta la probabilità di rilevare dei terreni di fondazioni con una certa qualità di *caratteristiche geotecniche*. All'interno di queste aree vaste si individuano poi dei punti di esecuzione di prove penetrometriche statiche classificate in funzione delle *resistenze alla punta*.

In questa carta si localizzano aree a diversa penalizzazione a fini edificatori. Premesso che sarebbe possibile costruire in quasi tutte le condizioni geotecniche rilevabili nei territori del

comune, il grado di penalizzazione evidenzia solo le aree dove diventa più o meno oneroso costruire.

1.3 CARTA DELLE CRITICITA' IDRAULICHE

Nella fase di analisi del territorio sin qui sviluppata, si sono individuati quegli elementi morfologici e strutturali del territorio che concorrono ad esporre il medesimo ai diversi gradi di rischio idraulico. Di per sé la carta del rischio idraulico è qualcosa di molto più complesso, e non è questa la sede per la sua produzione. Nell'ottica di favorire gli enti sovracomunali e gli enti di gestione idraulica del territorio ferrarese, è qui intenzione di fornire alcuni tasselli per la redazione della carta di rischio; si contribuisce dunque con la stesura di una carta di sintesi derivata dalla elaborazione delle tre cartografie precedentemente elaborate:

- carta del microrilievo
- carta della litologia di superficie
- carta delle aree storicamente allagate.

Il nome attribuito a questa carta è la *“Carta delle criticità idrauliche”*.

Nella carta del microrilievo sono stati evidenziati dei poligoni che racchiudono tutte le aree comunali aventi quote assolute inferiori a -2,0m s.l.m.

Nella carta della litologia di superficie sono stati evidenziati i poligoni di tutte quelle litologie affioranti che contengono argilla sia come litologia dominante sia come matrice, per cui i termini binari coinvolti sono A, AL, e LA ed i termini ternari ALS. In questo modo si è inteso suddividere i terreni in funzioni della loro capacità drenante.

La carta delle aree storicamente allagate fornisce di per sé un chiaro quadro delle aree che hanno manifestato in passato, subendolo, la loro natura vulnerabile al rischio di allagamento. E' logico che questa carta di per sé non dice nulla sull'attualità o meno della vulnerabilità in quanto in questi anni sono stati affrontati dai Consorzi di Bonifica ingenti investimenti per la riorganizzazione strutturale del sistema della bonifica. In ogni caso va da sé che se hanno in passato evidenziato problematiche di vulnerabilità idraulica esse sono aree che presentano naturalmente gli elementi scatenanti del rischio, e lì occorre intervenire prioritariamente con azioni di mitigazione.

Si riporta in **FIGURA 1.4** la carta delle aree storicamente allagate con riportati i vari anni in cui si sono verificate le sommersioni dalle acque.

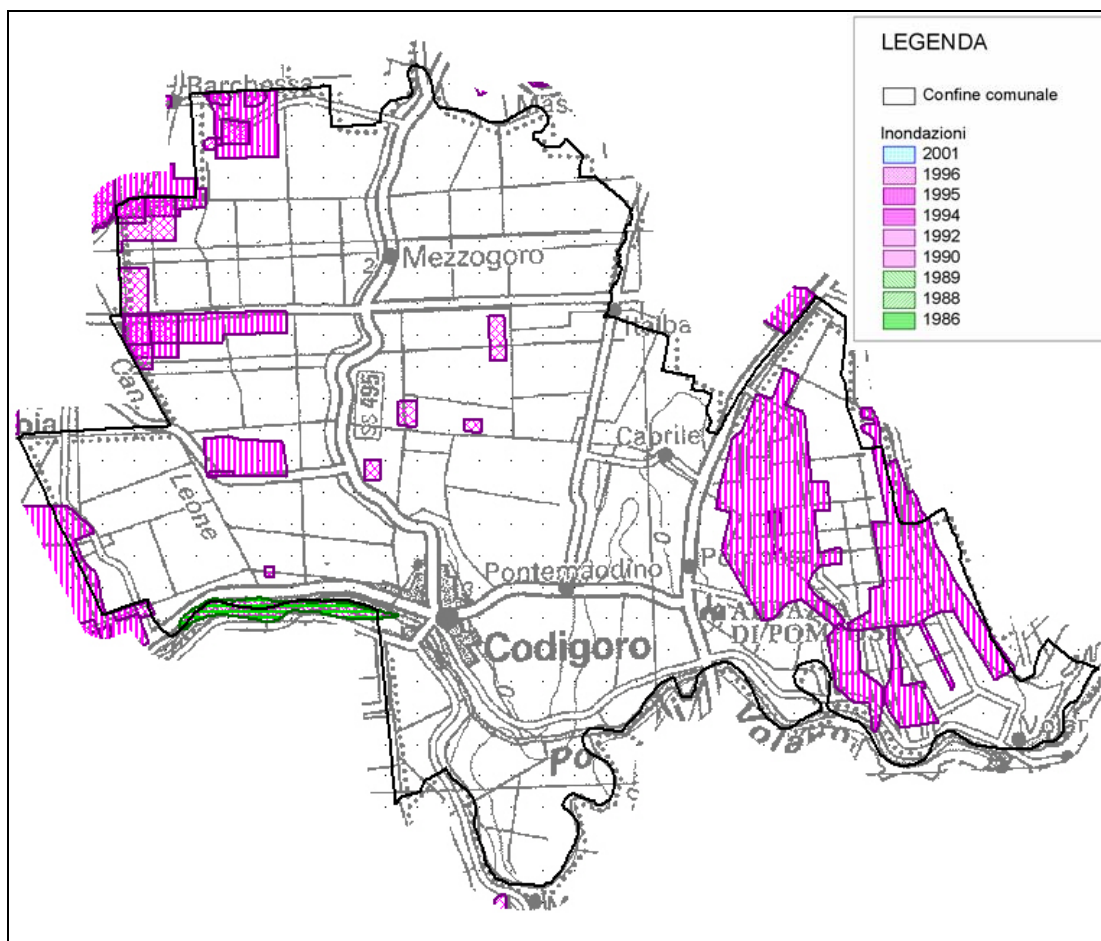


FIGURA 1.4 - carta delle aree storicamente allagate

1.4 CARTA DELLA POTENZIALE DIFESA IDRAULICA DI CODIGORO

In questa carta di sintesi si è inteso analizzare alcuni fattori strutturali e antropici che condizionano e possono condizionare la difesa idraulica del capoluogo codigorese. Uno di questi fattori è l'assetto altimetrico per cui è stato studiato il microrilievo in quella porzione di territorio su cui sorgono il capoluogo e le sue infrastrutture principali di collegamento stradale e idraulico. Tale carta è redatta in scala 1:10.000.

E' stato scelto di disegnare le curve di livello con equidistanza di 0,5m perché meglio ritraggono le aree anche parzialmente depresse rispetto ai piani campagna circostanti. Affianco a questa analisi è stata riprodotta una carta che rappresenta lo sviluppo possibile ed auspicabile delle infrastrutture che segneranno il futuro della viabilità come la costruzione della tangenziale del capoluogo e la costruzione della E55. Se entrambi queste strutture fossero realizzate in rilevato, andrebbero a costituire delle nuove celle idrauliche attorno a Codigoro. Il vantaggio della costruzione di queste infrastrutture con queste modalità "in rilevato" comporterebbe che gli impianti idrovori di Codigoro si troverebbero racchiusi da una cintra di protezione idraulica. Se i varchi costituiti dai vari canali di scolo (Acque Alte, Acque Basse, Canale Galvano) fossero a loro volta attrezzati con manufatti di regimazione delle acque, allora il cuore nevralgico della Grande Bonificazione Ferrarese, potrebbe essere salvaguardato da eventuali inondazioni provenienti dal Po (ovvero da nord ovest).

Valutando anche il fatto che gli impianti idrovori sono l'unico mezzo in pianta stabile che consentirebbe, in caso di inondazione fluviale, lo scolo dell'ampio bacino della Grande Bonificazione Ferrarese, posto a ovest del dosso del paleoalveo del Gaurus, più che mai sarebbe auspicabile una soluzione di tutela orientata in questa direzione.

In questa carta sono inoltre rappresentate le aree golenali del Po di Volano che periodicamente vengono allagate, quando si verificano in concomitanza alcune di queste condizioni: le acque marine sono in alta marea, il Po sversa grandi quantitativi di acque in mare, i venti dominanti vengono dai quadranti orientali e gli impianti idrovori di Codigoro sversano grandi quantitativi di acque nel canale Po di Volano, con conseguente rimonta delle acque verso monte per la non ricezione da parte del mare.

Sempre all'interno di questa cartografia sono riportati i manufatti di protezione idraulica del territorio codigorese da eventuale alluvione del canale-fiume Po di Volano; il riferimento è ai recenti lavori di sovralzo dei muretti di contenimento delle acque presenti per un lungo tratto del fiume che attraversa il paese.

1.5 CARTA DELLA POTENZIALE DIFESA IDRAULICA DALL'INGRESSIONE MARINA

In questa carta di sintesi si è inteso restituire la mappa di tutte le arginature antropiche costruite in passato per la protezione dell'entroterra codigorese dall'ingressione marina. In questa carta vengono anche riportati i principali ordini di dossi naturali che costituiscono delle dighe naturali all'eventuale ingressione marina. La carta è redatta in scala 1:25.000.

Nelle incertezze di prevedere con accurata precisione i cambiamenti causati dall'effetto serra, l'UNEP (United Nations Environment Program) ha assunto che la temperatura crescerà di 1,5°C fino al 2025, e da 1,5°C a 4,5°C per la fine del XXI secolo. Il conseguente innalzamento del livello marino è previsto essere dai 20cm ai 140cm rispettivamente. Già dunque in questa fase della pianificazione si forniscono questi dati agli amministratori ed agli urbanisti per invitarli a tenerne già conto nelle scelte di pianificazione.

1.6 CARTA DEI FATTORI PREDISPONENTI PER I POTENZIALI EFFETTI DI SITO

In questa carta di sintesi sono stati mappate le aree comunali in cui è possibile la presenza di quei caratteri predisponenti agli effetti di sito in caso di sisma. L'obiettivo della riduzione del rischio sismico passa anche per l'analisi delle componenti territoriali che possono innescare fenomeni negativamente impattanti con le strutture antropiche e la loro sicurezza. Vale comunque la pena evidenziare che laddove sono presenti i caratteri predisponenti, non è detto che si possano realizzare le condizioni di cause scatenanti; ovvero un terreno sabbioso può avere tutti i requisiti

granulometrici e di addensamento per liquefarsi, ma nell'area non si verificherà un sisma con energia sufficiente ad indurre liquefazione.

In particolare vengono ritenuti motivi di esclusione dalla verifica a liquefazione, la verifica di almeno una di queste circostanze:

1. Eventi sismici attesi di magnitudo di superiore a 6, da durate prolungate (maggiori di 15 sec.) – (“La liquefazione del terreno in condizioni sismiche” - T. Crespellani, R. Nardi, C. Simoncini - Zanichelli, 1988, pag.16.);
2. Accelerazioni massime attese al piano campagna in condizioni *free-field* minori di 0,1g;
3. Accelerazioni massime al piano campagna in condizioni *free-field* minori di 0,15g e terreni con caratteristiche ricadenti in una delle tre seguenti categorie:
 - -frazione di fine, FC, superiore al 20% (passante al setaccio 200 ASTM di 0,074mm), con indice di plasticità $PI > 10$;
 - $FC \geq 35\%$ e resistenza $(N_1)_{60} > 20$;
 - $FC \leq 5\%$ e resistenza $(N_1)_{60} > 25$

Dove $(N_1)_{60}$ è il valore normalizzato della resistenza penetrometrica della prova SPT.

4. Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella FIGURA 1.7.1. da distinguere i materiali in funzione del coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ o $U_c > 3,5$.
5. Profondità media stagionale della falda superiore ai 15m dal piano campagna.
6. Copertura di strati superficiali non liquefacibili con spessore maggiore di 3m, oppure con spessore maggiore di 5m per magnitudo maggiori di $M > 7$.

In **FIGURA 1.6.2.** viene riportato uno stralcio della Carta delle accelerazioni massime attese, A_{max-g} , della Regione Emilia Romagna, dalla quale emerge che il territorio del Comune di Codigoro presenta accelerazioni massime attese comprese tra 0,05g e 0,10g.

Per valori così bassi di accelerazione massima così basse non sono prevedibili effetti di sito.

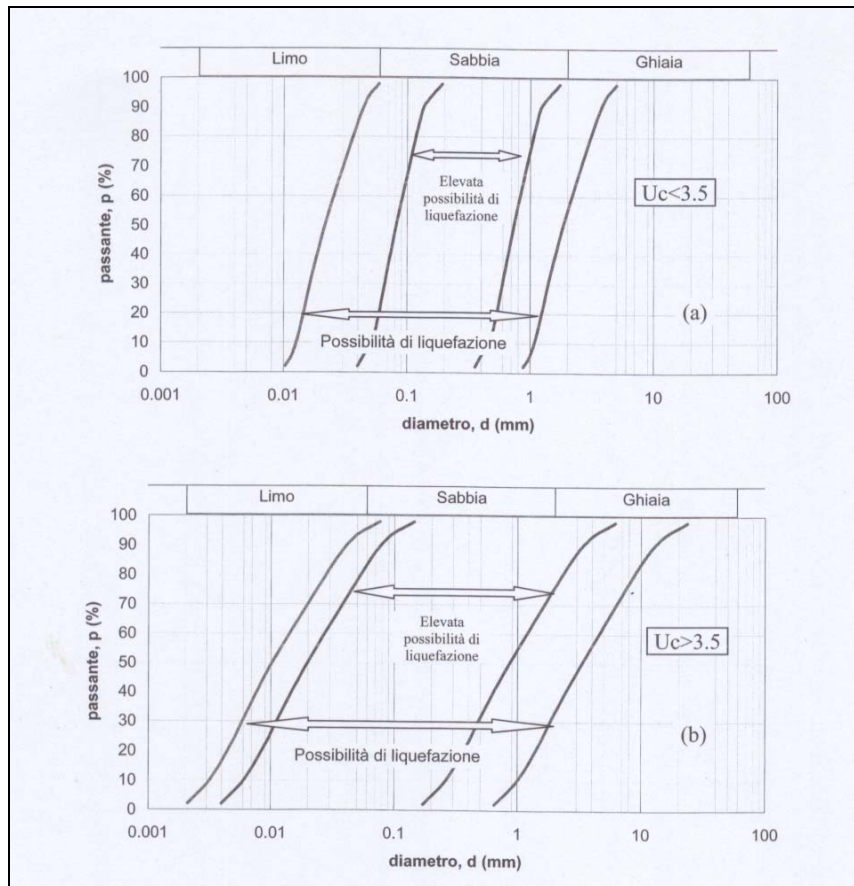


FIGURA 1.6.1 - fasce granulometriche per la valutazione preliminare della suscettibilità alla liquefazione di un terreno

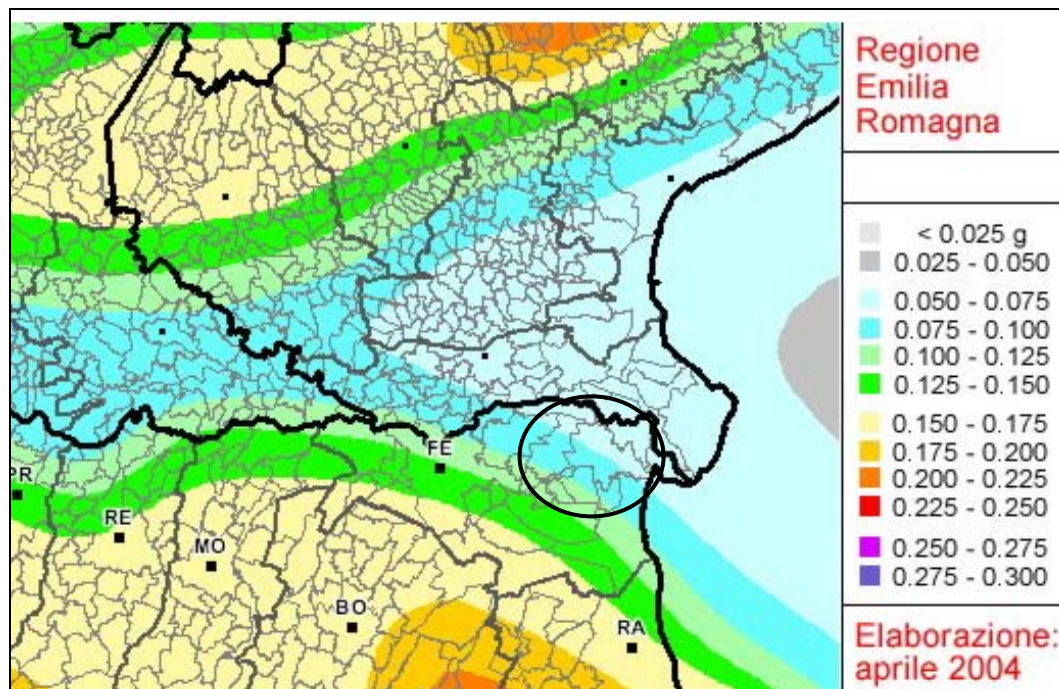


FIGURA 1.6.2. – Carta valori di accelerazione massima al suolo di categoria A nella regione Emilia Romagna (Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della R.E.R., 2004).

Quindi, anche se nella cartografia allegata sono indicate tutte le sabbie affioranti e non, immerse in falda freatica, di fatto, sulla base delle basse accelerazioni prevedibili, si può già constatare la presenza di una delle cause escludenti il rischio della liquefazione. Si attendono le evoluzioni normative regionali in merito a questo argomento.

Altri effetti particolari dei sismi possono essere riconducibili agli abbassamenti e deformazioni significativamente alte delle argille sensitive o di sabbie particolarmente sciolte. In particolare si è ritenuta possibile la presenza delle argille sensitive nei terreni della Grande Bonificazione Ferrarese, dove attraverso le CPTU fornite dalla banca dati regionali si è constatata la presenza di sedimenti con bassissime caratteristiche geotecniche. La carta è redatta in scala 1:25.000. In fase di POC occorrerà approfondire gli studi in merito a questi possibili effetti.

Questa suddivisione ripercorre su grandi linee l'elenco dei depositi che possono determinare amplificazione (spessore >5m) del moto sismico, che in genere vengono riassunti nei seguenti casi:

- depositi fluvio-lacustri;
- riporti antropici poco addensati;
- terreni granulari fini con falda superficiale, cioè caratterizzate dalla presenza dei fattori predisponenti (di cui sopra) per il rischio di liquefazione e/o addensamenti (sabbie costiere, sabbie di riempimento attivo di canale fluviale);
- zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti.

2. IL PRINCIPIO DELL'INVARIANZA IDRAULICA

Le considerazioni e le metodologie che verranno di seguito esposte sono tratte dall'articolo: "La valutazione idrologica dei piani urbanistici. Un metodo semplificato per l'invarianza idraulica dei piani regolatori generali", di Alberto Pistocchi, pubblicato sulla rivista Ingegneria Ambientale (2001).

Una delle principali conseguenze dell'urbanizzazione è la trasformazione d'uso del suolo, che si traduce in un aumento dell'impermeabilizzazione dei suoli, e spesso nella diminuzione complessiva dei volumi di tutte quelle irregolarità della superficie, e di tutti gli spazi delimitati da ostacoli casuali che consentono l'accumulo dell'acqua, cioè di tutti i volumi che le precipitazioni devono riempire prima della formazione dei deflussi.

L'impermeabilizzazione e la regolarizzazione delle superfici sono le operazioni delle urbanizzazioni che maggiormente contribuiscono nelle aree trasformate a incrementare il coefficiente di afflusso (la percentuale di pioggia netta che giunge in deflusso superficiale) e ad aumentare di conseguenza il coefficiente udometrico (la portata per unità di superficie drenata).

La laminazione delle piene urbane dovrebbe essere accettata a livello operativo nella pianificazione di scala comunale, che rappresenta oggi in Italia la strumentazione più forte di gestione e controllo del territorio, anche se non esiste ancora un approccio sistematico, con una base scientifica condivisibile, per la definizione delle strategie di piano al riguardo.

Per limitare gli effetti dell'impermeabilizzazione dei suoli conseguente alle modificazioni urbanistiche, Pistocchi propone il metodo di "invarianza idraulica", tale metodo prevede che ogni cambiamento dell'uso del suolo che provochi una variazione di permeabilità superficiale deve essere compensato in modo tale che il coefficiente udometrico resti costante, e che quindi la portata al colmo di piena risultante dal drenaggio di un'area deve essere costante prima e dopo la trasformazione dell'uso del suolo in quell'area. In linea generale, le misure compensative sono da individuare nella predisposizione di volumi di invaso che consentano la laminazione delle piene.

L'Autorità di Bacino adotta una metodologia per la prescrizione del volume minimo di invaso (espresso in mc per ettaro) da adottare nelle trasformazioni urbanistiche, in funzione dell'indice di fabbricazione previsto nell'espansione. In pratica, una volta scelto l'indice di fabbricazione per un determinato comparto, il Piano Regolatore del Comune potrà adottare anche i valori di volume di invaso minimi richiesti, valutati con il metodo proposto. I volumi possono essere valutati, oltre che come mc/ha, anche come diametro della tubazione equivalente, di assegnata densità di drenaggio, oppure come lama d'acqua invasata in una vasca che copre una assegnata percentuale dell'area in trasformazione.

Ai fini dell'invarianza idraulica, possono essere computati solo i volumi collocati a monte dello scarico al corpo idrico recettore (corso d'acqua, canale di bonifica o altro), in comunicazione idraulica fra loro e con lo scarico stesso.

È difficile valutare quali interventi di mitigazione degli impatti idrologici provocati dall'impermeabilizzazione e regolarizzazione delle superfici, possano garantire l'invarianza idraulica delle trasformazioni, occorre prevedere dei volumi di stoccaggio temporaneo dei deflussi che compensino l'accelerazione dei deflussi e la riduzione dell'infiltrazione che sono un effetto inevitabile di ogni trasformazione di uso del suolo.

Al momento non è possibile dare linee guida rigorose riguardo alle modalità di calcolo dei volumi richiesti a fronte di una prefissata quota di impermeabilizzazione. In ogni caso in letteratura si trovano sistemi di valutazione e di calcolo che occorre decidere, concordemente con gli enti di gestione del territorio (in particolare il Consorzio di Bonifica del I° Circondario) se e come adottare in ogni azione di trasformazione del territorio.

Bibliografia:

- AMMINISTRAZIONE PROVINCIALE DI FERRARA - C.I.E.D. – CONSORZIO DI BONIFICA I CIRCONDARIO-Magistrato per il Po-Ufficio Operativo di Ferrara, *“Censimento delle emergenze idrauliche nella gronda ferrarese del Po”*, 1995.
- AUTORITA' DEI BACINI REGIONALI ROMAGNOLI - Piano Stralcio di Bacino per il Rischio Idrogeologico - Relazione idrologica e idraulica – Allegato 6 “Criteri per la valutazione dell'invarianza idraulica”, 2001.
- AUTORITA' DI BACINO DEL RENO – documentazione generale pubblicata sul sito web.
- BERETTA G.P., *Idrogeologia per il disinquinamento delle acque sotterranee*, Pitagora Editrice, 1992, pp. 403-404.
- BONDESAN M., *L'area deltizia padana: caratteri geomorfologici*, in *Il parco del Delta del Po. Studi e immagini. L'ambiente come risorsa*, Ferrara, pp. 16, 1990.
- BONDESAN M. –GIOVANNINI A., *Evoluzione geomorfologica della pianura costiera fra Codigoro e Comacchio (Ferrara)*, Annali dell'Università di Ferrara, sez. Scienze della Terra, 5, 3, pp. 27-38.
- BONDESAN M., *Osservazioni sui gorghi e su altre cavità di erosione nei territori di Rovigo e Ferrara ipotesi sulla loro origine*, pp. 142.
- BONDESAN M., GATTI M., RUSSO P., *“Movimenti verticali del suolo nella pianura padana orientale desumibili dai dati IGM fino a tutto il 1990”*, Bollettino di Geodesia e Scienze affini, 1997.
- BONDESAN M., MASE' G., tratto da *“Voghenza, una necropoli di età romana nel territorio ferrarese”*, Ed. Banca di Credito Agrario di Ferrara, 1984
- BOSCHI E., FERRARI G. & alii , *“Catalogo dei terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1980”*, Istituto Nazionale di Geofisica, SGA storia geofisica ambiente, 1995.
- BOWLES E.J. *“Fondazioni, progetto e analisi”*, McGraw-Hill Libri Italia, Milano 1995.
- CAMASSI R., *“Sismicità storica dell'area emiliano romagnola”*, Atti del Corso di aggiornamento professionale sul rischio sismico in Emilia Romagna, O.G.E.R. Bologna 2004.
- COLESELLI F. COLOMBO P. *“Elementi di Geotecnica”*, Zanichelli, Bologna 2004
- CONSORZI DI BONIFICA FERRARESI e Cassa di Risparmio di Ferrara, *“Ferrara e la Bonifica”*, 1986.
- CONSORZI DI BONIFICA FERRARESI - documentazione generale pubblicata sui relativi siti web.
- CONSORZIO DELLA BONIFICA RENANA, - documentazione generale pubblicata sul sito web.
- CONSORZIO DELLA BONIFICA RENANA, *“Il consorzio della Bonifica Renana”*, 1991.
- CONSORZIO GENERALE DI BONIFICA - Progetto SIGIT, tematismi vari tratti dal GIS, tra cui *“litologia di superficie”*, *“geomorfologia”*, *“altimetria”*, *“aree allagate”*, *“canali e impianti idrovori”*, *“rilevati”*.
- CONSORZIO VALLI VECCHIO RENO – documentazione generale pubblicata sul sito web.
- R. FERRI – A. GIOVANNINI, *Evoluzione geomorfologica e paleoidrografica del territorio di Migliaro e Migliarino*.
- GEA progetti, *Studio di impatto ambientale, centrale termoelettrica a biomasse da 20 MWe, Bando-Comune di Argenta*.36-50pp.
- GIOVANNINI A., *“Lineamenti geomorfologici del territorio di Ostellato”*, SPM Migliarino, 1997.
- *Il sole 24 Ore* (2003). *Le norme tecniche in zone sismiche. Edilizia e Territorio Norme e documenti* 186 p.
- MARCELLINI A. – CNR IDPA (Milano) *“Indirizzi per la microzonazione sismica in Emilia Romagna”*, Atti del Corso di aggiornamento professionale sul rischio sismico in Emilia Romagna, O.G.E.R. Bologna 2004.
- MARTELLI L. (R.E.R. Servizio Geologico Sismico e dei Suoli) *“Le Linee Guida per la microzonazione sismica in preparazione in regione Emilia Romagna”*, Atti del Corso di aggiornamento professionale sul rischio sismico in Emilia Romagna, O.G.E.R. Bologna 2004.

- MOLIN D., STUCCHI M. e VALENSISE G. (1996). Massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani. Elaborato per il Dipartimento della Protezione Civile. Indirizzo WEB: www.serviziosismico.it.
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274 del 20 marzo 2003 (2003). Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica. G.U. n.105 dell'8 maggio 2003.
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3316 del 2 ottobre 2003 (2003). Modifiche ed integrazioni all'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274 del 20 marzo 2003.G.U. n.236 del 10 ottobre 2003.
- PIERI M., GROPPI G., "Surface geological structure of the Po Plain (Italy)" AGIP Spa.
- PISTOCCHI A., *"La valutazione idrologica dei piani urbanistici. Un metodo semplificato per l'invarianza idraulica dei piani regolatori generali"*, pubblicato sulla rivista Ingegneria Ambientale (2001).
- PRETI D. & alii, CARTA GEOLOGICA DI PIANURA DELL'EMILIA ROMAGNA, edizione 1999 – Regione Emilia Romagna.
- S. PATITUCCI UGGERI, Il popolamento di età romana nell'antico delta padano. Valle del Mezzano, Atti e memorie della depurazione provinciale ferrarese di Storia Patria, III, XI, pp. 37 -99.
- M. T. PELLICIONI , Le imbarcazioni antiche del delta ferrarese, Guide della Pianura, 2, C.C.I.A.A..
- Regione Emilia Romagna, ENI – AGIP, 1998. *Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna*. A cura di G. Di Dio. S.EL.CA. (Firenze), 120 pp.
- REGIONE EMILIA ROMAGNA – Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli RER, "Carta geologica di Pianura" 1999.
- REGIONE EMILIA ROMAGNA – Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli RER, "Carta geologica d'Italia FOGLIO 223" 1999.
- REGIONE EMILIA ROMAGNA – Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli RER, "Carta geologica d'Italia FOGLIO 204" inedito.
- REGIONE EMILIA ROMAGNA – Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli RER, "Carta geologica d'Italia FOGLIO 203" inedito.
- REGIONE EMILIA ROMAGNA – Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli RER, "Carta geologica d'Italia FOGLIO 222" inedito.
- REGIONE EMILIA ROMAGNA – Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli RER, "Carta geologica d'Italia FOGLIO 205" inedito.
- REGIONE EMILIA ROMAGNA – Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli RER, "Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna", a cura di Boccaletti M e Martelli L., Firenze, 2004.
- REGIONE EMILIA ROMAGNA, assessorato Territorio Pianificazione ambiente, ARPA, 2000. Relazione sullo stato dell'ambiente '99. 13-28 pp.
- REGIONE EMILIA ROMAGNA, ARPA, 2004. Annuario regionale dei dati ambientali 2004.172-187pp.
- REGIONE EMILIA ROMAGNA – ARPA (1999), "Relazione sullo stato dell'ambiente in Emilia Romagna 1999". Assessorato Territorio Pianificazione Ambiente, Bologna (1999)
- REGIONE EMILIA ROMAGNA – ARPA (2003) "Rete regionale di controllo della subsidenza: misura della rete GPS" a cura di Bonsignore F, Bologna, ARPA – Struttura di Ingegneria Ambientale.
- REGIONE EMILIA ROMAGNA – ENI – AGIP (1998) "Riserve Idriche sotterranee della Regione Emilia Romagna", a cura di G. Di Dio, S.EL.CA. (Firenze)
- P. SARONIO, Anticipazioni sui saggi di scavo in valle del Mezzano, in preistoria e protostoria nei bacini del basso Po, Ferrara,pp. 117-125.

- G. UGGERI, L'insediamento antico del delta del Po, in Atti della tavola rotonda "Il delta del Po", Bologna, pp.1-60.
- L. VEGGI – A. RONCUZZI – F. CASTELLINI, Studi idrogeologici dei territori padani inferiori, Atti della Casa Matha, 4, pp. 1-65.
- VILLA F., CASTALDI G., ROSSI C. "Le caratteristiche deposizionale dell'area ferrarese e le relative connessioni con l'idrogeologia superficiale e profonda", Istituto di Ricerca sulle Acque, Roma 1976