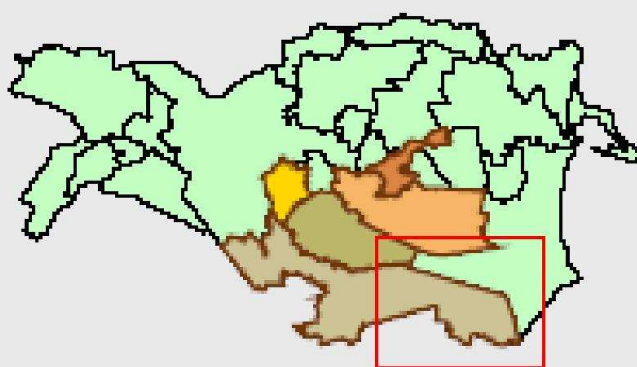


# **PROVINCIA DI FERRARA**

**COMUNI DI**

**ARGENTA—MIGLIARINO—OSTELLATO  
PORTOMAGGIORE—VOGHIERA**



## **PIANO STRUTTURALE COMUNALE**

**IN FORMA ASSOCIATA**

### **QUADRO CONOSCITIVO**

**Cod. Allegato B.1.**

### **RELAZIONE GEOLOGICO—AMBIENTALE**

INDAGINE GEOLOGICA

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Dr.ssa Geol. ROBERTA LUETTI  
Dr. Geol. THOMAS VERONESE

Arch. MASSIMO MASTELLA

Coll. Dr. Geol. RAFFAELE BRUNALDI

Giugno 2005

**INDICE:**

<b>PREMESSA</b>	<b>4</b>
<b>INQUADRAMENTO GEOGRAFICO</b>	<b>4</b>
<b>1. ASSETTO GEOMORFOLOGICO</b>	<b>4</b>
1.1. EVOLUZIONE MORFOLOGICA COSTIERA	6
1.2. EVOLUZIONE MORFOLOGICA FLUVIALE	7
1.3. FORMAZIONE DEI BACINI INTERFLUVIALI	8
1.4. ANALISI MORFOLOGICA DI DETTAGLIO	10
1.5. CARTA GEOMORFOLOGICA (COD. B.2.1.)	14
<b>2. CARTA DELLA LITOLOGIA DI SUPERFICIE (COD. B.2.2.)</b>	<b>16</b>
<b>3. ASSETTO TOPOGRAFICO DEL TERRITORIO</b>	<b>18</b>
3.1. CARTA ALTIMETRICA E DEI RILEVATI (COD. B.2.3.)	19
<b>4. LA SUBSIDENZA</b>	<b>21</b>
4.1. CARTA DEI PROCESSI GEODINAMICI (COD. B.2.4.)	25
<b>5. IL SISTEMA DELLA BONIFICA</b>	<b>26</b>
5.1. CONSORZIO DI BONIFICA I CIRCONDARIO POLESINE DI FERRARA	29
5.2. CONSORZIO DI BONIFICA II CIRCONDARIO POLESINE DI S. GIORGIO	30
5.3. CONSORZIO DI BONIFICA RENANA	32
5.4. CONSORZIO VALLI DI VECCHIO RENO	35
5.5. CARTA DEL SISTEMA DELLE BONIFICHE (COD. B.2.5.)	36
<b>6. IL FIUME RENO</b>	<b>38</b>
<b>7. AREE STORICAMENTE ALLAGATE (COD. B.2.6.)</b>	<b>44</b>
<b>8. EVOLUZIONE GEOLOGICA DELL'AREA</b>	<b>45</b>
8.1. GEOLOGIA REGIONALE	45
8.2. GEOLOGIA STRUTTURALE	45
8.3. GEOLOGIA DI DETTAGLIO	47
<b>9. CLASSIFICAZIONE SISMICA NAZIONALE</b>	<b>49</b>
9.1 CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI CINQUE COMUNI	54

<b>10. RISERVE IDRICHE SOTTERRANEE</b>	<b>59</b>
<hr/>	
10.1. ACQUIFERI UTILI	59
10.2. DISPONIBILITÀ DI IDRORISORSE NEI TERRITORI COMUNALI	59
10.3. CARTA DELLE RISERVE IDRICHE SOTTERRANEE (COD. B.2.7.)	64
10.3 ACQUE SOTTERRANEE: CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE	67
<b>11. ISOBATE DELLA FALDA FREATICA</b>	<b>76</b>
<hr/>	
<b>12. PROPRIETÀ IDRAULICHE</b>	<b>77</b>
<hr/>	
12.1 CONDUCEBILITÀ IDRAULICA E VELOCITÀ DI INFILTRAZIONE	77
12.2 INVARIANZA IDRAULICA	81
<b>13. CLIMATOLOGIA</b>	<b>86</b>
<hr/>	
13.1. ASPETTI METEO-CLIMATICI GENERALI	86
13.2 CAMBIAMENTI DELLO STATO DEL CLIMA	87
<b>14. CARTOGRAFIA DI SINTESI</b>	<b>96</b>
<hr/>	
14.1. CARTA DELLE QUALITÀ GEOTECNICHE DEI TERRENI (COD. B.2.8.)	96
14.2 CARTA DELLE UNITÀ FISIOGRAFICHE DEL TERRITORIO (COD. B.2.9.)	100
14.3 CARTA DELLE CRITICITÀ IDRAULICHE (COD. B.2.10.)	102
14.4 CARTA DELLE AREE DI CATINO (COD. B.2.11.)	102
14.5 CARTA DELLE EMERGENZE GEOLOGICO - AMBIENTALI (COD. B.2.12.)	103

ELENCO ALLEGATI CARTOGRAFICI:

Carta geomorfologica	(Cod. B.2.1.)	Scala 1 : 25.000
Carta della litologia di superficie	(Cod. B.2.2.)	Scala 1 : 50.000
Carta altimetrica e dei rilevati	(Cod. B.2.3.)	Scala 1 : 50.000
Carta dei processi geodinamici	(Cod. B.2.4.)	Scala 1 : 50.000
Carta del sistema delle bonifiche	(Cod. B.2.5.)	Scala 1 : 50.000
Carta delle aree storicamente allagate	(Cod. B.2.6.)	Scala 1 : 50.000
Carta delle riserve idriche sotterranee	(Cod. B.2.7.)	Scala 1 : 50.000
Carta delle qualità geotecniche dei terreni	(Cod. B.2.8.)	Scala 1 : 50.000
Carta delle unità fisiografiche del territorio	(Cod. B.2.9.)	Scala 1 : 50.000
Carta delle criticità idrauliche	(Cod. B.2.10.)	Scala 1 : 50.000
Carta delle aree di catino	(Cod. B.2.11.)	Scala 1 : 50.000
Carta delle emergenze geologico-ambientali	(Cod. B.2.12.)	Scala 1 : 50.000

## PREMESSA

Il Comune di Argenta, rappresentato dal proprio Dirigente Arch. Mastella Massimo, con Determina N. 575 del 14/07/2004 ha attribuito ai sottoscritti Dottori Roberta Luetti e Thomas Veronese, l'incarico professionale per la redazione del Piano Strutturale Comunale dei cinque Comuni Associati di Argenta, Migliarino, Ostellato, Portomaggiore e Voghiera, al fine di realizzare gli studi settore a carattere specialistico per la redazione dello studio 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, in parte in scala 1:25.000 ed in parte 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, idrogeologico e geofisico.

### Inquadramento geografico

L'area in oggetto è compresa nella seguente cartografia:

- Scala 1: 50.000: Foglio 186 Copparo, Foglio 187 Codigoro, Foglio 203 Poggio Renatico, Foglio 204 Portomaggiore, Foglio 205 Comacchio, Foglio 223 Ravenna,.

- Scala 1: 25.000: Foglio 186 SE Tresigallo, Foglio 186 SO Copparo, Foglio 187 SO Codigoro, Foglio 203 NE Malalbergo, Foglio 203 SE Baricella, Foglio 204 NE Migliarino, Foglio 204SE Argenta, Foglio 204 SO Molinella, Foglio 204NO Portomaggiore, Foglio 222 NE Lavezzola, Foglio 222 NO Conselice, Foglio 223 NO Alfonsine.

## 1. ASSETTO GEOMORFOLOGICO

L'assetto geomorfologico di un territorio è deducibile 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. Un grande aiuto deriva dalla datazione dei reperti archeologici rinvenibili nei corpi sedimentari più recenti.

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.

Nella **FIGURA 1.1.** si possono apprezzare le innumerevoli tracce geomorfologiche che si leggono sul territorio dalle foto aeree.

La formazione dell'ambiente, nella sua configurazione attuale, è relativamente recente e consegue a ripetute variazioni dei rapporti di equilibrio tra livello del mare, apporti solidi dei corsi d'acqua, entità di subsidenza e, non ultimo, l'intervento umano.

Nell'attuale configurazione fisica del territorio sono riconoscibili le tracce sia della sua evoluzione naturale che quella operata dall'uomo. Tra le più evidenti e più importanti nel disegnare l'assetto morfologico si possono elencare i paleoalvei, i coni di esondazione, i cordoni dunari testimoni della veloce progradazione verso est della linea di costa, ed infine si individuano quelle aree particolarmente depresse che erano sede di bacini palustri. Anche le scarpate morfologiche sono segni che disegnano il paesaggio, e contraddistinguono aree di transizione netta tra ambienti deposizionali diversi.

Ogni struttura geomorfologica che riconosciamo sulla superficie del suolo è conseguenza della facies deposizionale in cui i sedimenti si accumulavano e quindi è funzione dell'entità dell'energia idrodinamica che ne ha depositato i litotipi, per i cordoni dunari anche l'energia eolica ha favorito l'accumulo.

Nei bacini depressi chiusi o semichiusi, dove l'ambiente idrodinamico era di bassa energia prevalgono sedimenti fini, limoso-argillosi e spesso torbosi (le maggiori torbiere sono tipiche della fascia immediatamente a ovest dei cordoni litoranei più interni, che in condizioni naturali, ostacolavano il deflusso a mare delle acque rendendole stagne).

I fiumi che percorrono la nostra pianura hanno generalmente bassa velocità di deflusso e quindi una scarsa capacità di trasporto; innescandosi un processo di progressivo deposito in alveo di sedimenti in carico, il corso d'acqua tende a sopraelevarsi rispetto alla pianura circostante, e durante le tracimazioni tende a depositare la maggior parte dei sedimenti a ridosso del punto di rotta poiché è lì che vi è la più brusca diminuzione di energia idrodinamica. Così facendo si venivano a creare degli argini naturali; ecco perché sui paleoalvei ci sono condizioni di alto topografico (condizione importante in una terra soggetta ad inondazioni), con terreni generalmente sabbiosi, ben drenanti, con buone capacità portanti, che hanno favorito da sempre l'insediamento di centri abitati e lo sviluppo delle vie di comunicazione.

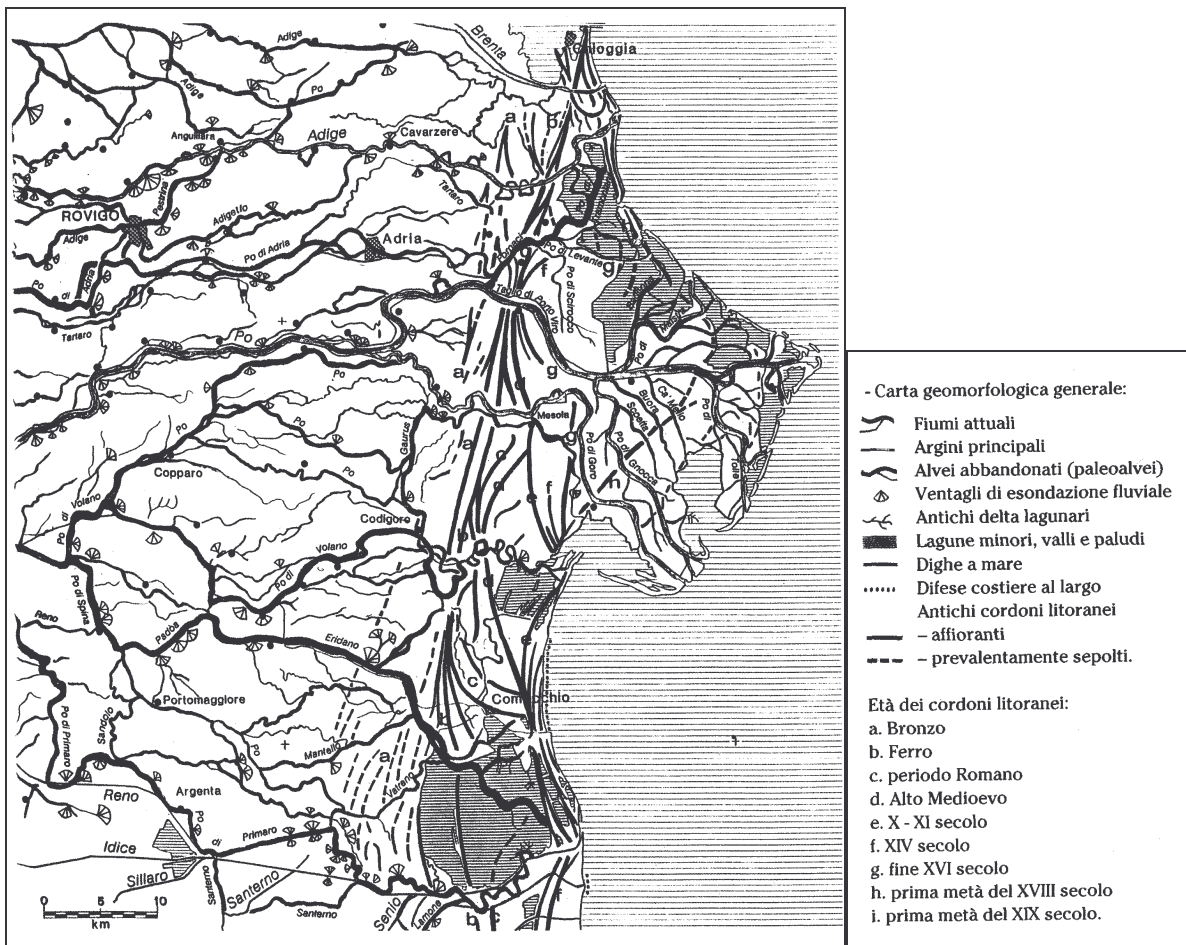


FIGURA 1.1. – carta geomorfologica della pianura ferrarese nel comprensorio che va dai 5 comuni fino al Delta del Po (Bondesan, 1999).

Le stesse considerazioni sulla qualità del sito per insediamenti umani valgono per i cordoni di paleodune, dove ci sono le stesse condizioni di alto topografico, con terreni generalmente sabbiosi, ben drenanti, con buone capacità portanti.

Ecco dunque che per ogni struttura geomorfologica corrisponde, 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 condizionata dalle strutture geomorfologiche.

Tali strutture 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.

### 1.1. 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; questa può essere così schematizzata (FIGURA 1.2.):

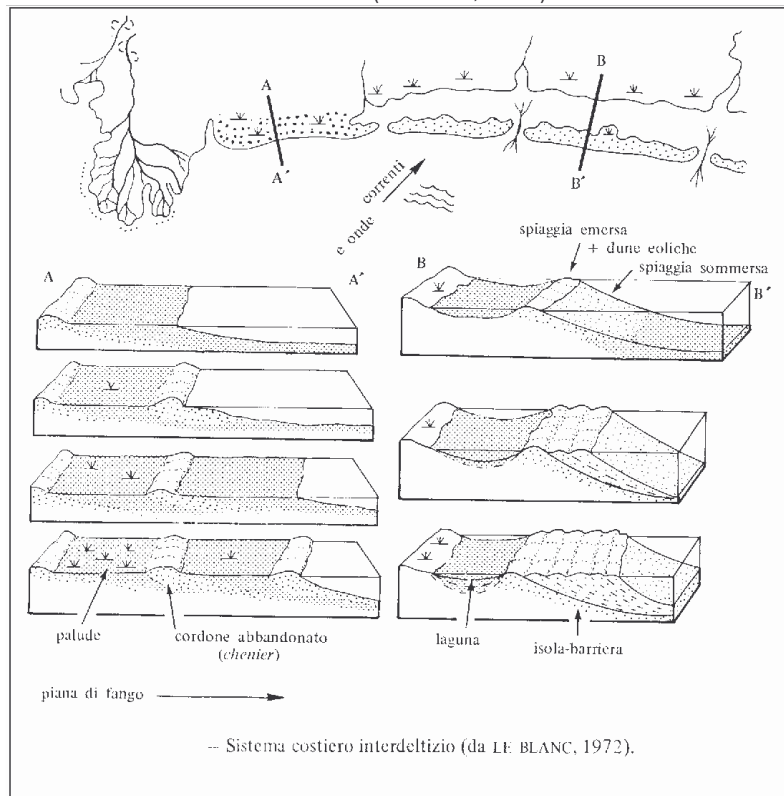
Clima	Effetti
Umido <ul style="list-style-type: none"> <li>→ Caldo</li> <li>→ Freddo</li> </ul>	Intensa copertura vegetale che contribuisce a intrappolare il sedimento trasportato da correnti fluviali o di marea, produce bioturbazione (radici) e accumuli organici (torba)  Il carattere stagionale della vegetazione riduce l'effetto di intrappolamento ma produce sempre bioturbazione e accumuli di torba
Arido <ul style="list-style-type: none"> <li>→ Caldo</li> <li>→ Freddo</li> </ul>	Copertura vegetale sparsa; precipitazione evaportitica, strutture da disseccamento, trasporto eolico  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 1.2. - 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 l'agente eolico, andavano a costituire quelle strutture sedimentarie che sono le dune eoliche.

Si riporta in **FIGURA 1.3.** un sistema costiero interdeltizio (Le Blanc, 1972).



**FIGURA 1.3.** - sistema costiero interdeltizio, tratto da Le Blanc, 1972

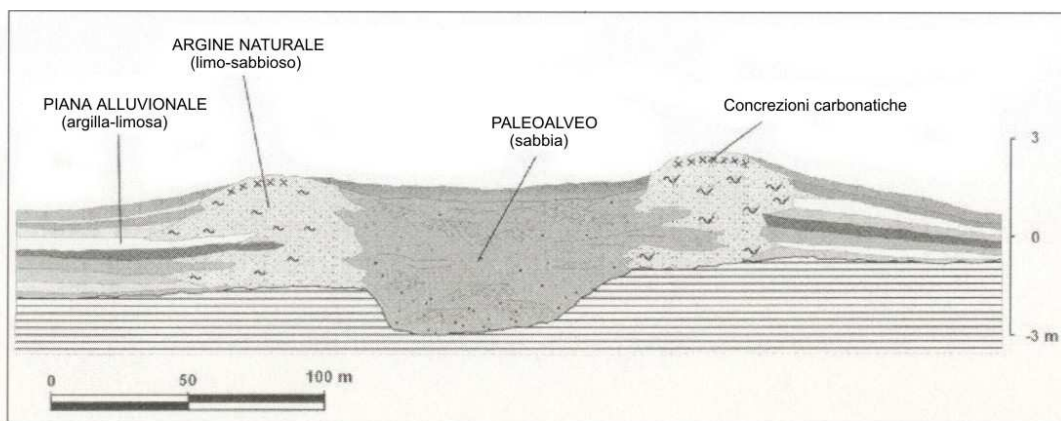
Con il progradare verso est della linea di costa i terreni sabbiosi emersi andavano via via ribassandosi per effetto della subsidenza; in questo modo altri tipi di sedimenti accumulatisi in nuove facies deposizionali continentali ricoprivano progressivamente le sabbie costiere.

## 1.2. 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.



**FIGURA 1.4.** – Sezione schematica di un paleoalveo

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 1.4.** rappresenta la situazione più tipica del tratto di pianura della provincia di Ferrara, dove gli alvei ed i paleoalvei presentano soprattutto sedimenti sabbiosi.

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 il fiume riceve a valle del punto di rotta in cui ha cambiato percorso, per via 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. Comparata all'analisi del microrilievo si ottiene 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.

### 1.3. 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).

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 la sedimentazione nei paleoalvei e negli allineamenti di dune costiere l'alimentazione si è protratta per molto tempo, mentre in corrispondenza dei depositi di rotta (o *crevasse*) l'alimentazione di sedimenti è stata occasionale.

Il territorio dei cinque comuni è caratterizzato come maggiore estensione, da aree di bacino interfluviale, racchiuse tra le innumerevoli tracce di paleoalvei principali 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.

A ridosso e sopra i paleoalvei prevalgono generalmente sedimenti di alta energia idrodinamica, in quanto le correnti dei fiumi sono in grado di portare via i termini limosi e argillosi, "lavando" così le sabbie che si autosedimentano in alveo e a ridosso dei punti di rotta, provocando l'auto interrimento di vari fiumi del ferrarese (nella piatta pianura ferrarese i gradienti idraulici sono molto bassi e le acque perdono, avvicinandosi al mare, la capacità del trasporto solido, per la diminuzione progressiva della velocità di flusso delle acque). Nelle aree di catino interfluviale, prevalgono invece 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

#### 1.4. Analisi morfologica di dettaglio

Nelle **FIGURA 1.5** e in **FIGURA 1.6** si riporta stralcio della carta geomorfologica della Provincia di Ferrara, in cui sono riportate tutte le tracce leggibili sul territorio dalla foto interpretazione aerea. In essa sono distinti paleoalvei di ubicazione sicura, paleoalvei di ubicazione incerta, i depositi di rotta, i cordoni litoranei affioranti e sepolti.

I paleoalvei principali che caratterizzano l'area di indagine sono ascrivibili ai quattro rami del Po: il Po di Volano a nord, il Po di Primaro ad ovest e S-W, il Sandolo e il Padoa (poi Padovetere) che attraversano l'area in esame dirigendosi sino all'estremità est indagata.

Il paleoalveo del Po di Volano attraversa la città di Ferrara scende fino a Cona, successivamente risale sino a Contrapò e Baura, prosegue poi attraversando i paesi di Denore, Final di Rero, Medelana, Migliarino, Migliaro, Massafiscaglia e Codigoro. L'area 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, tra le altre riveste una certa importanza la traccia del paleoalveo dossivo, ampio poco più di 100 m, che ha origine nei pressi del paese di Migliaro e che con direzione all'incirca W-E, passando per loc. Le Valenza prosegue fino alla loc. Madonna della Corba e più oltre, diramandosi in alcuni percorsi minori. Sono inoltre riconoscibili altri paleoalvei secondari, uno tra le località di Rero, Cornacervina, uno più a nord, discontinuo e di più ridotte dimensioni, tra Finale di Rero, Roncodigà, Possessione la Chiavica e Nogare, e uno nei pressi di Migliarino con direzione sud e pare confluire nel Po di Volano. Altri paleoalvei di ridotte dimensioni e ben ramificati dalla località Valcesura compaiono in destra del Po di Volano, un esempio è rappresentato dall'antico percorso fluviale passante per San Patrignano, Il Dosso, Possessione Sabbioni, Canaglia e Canalserrato.

La parte più orientale del territorio a sud del Po di Volano è interessata da numerosi paleoalvei che si sovrappongono e suddividono in molteplici rami fluviali secondari, come ad esempio quelli localizzati nei pressi delle località casa Elta, Sfondrabò, Corte Centrale, separati da isole alluvionali tra loro interposte, secondo un complesso reticolo il cui orientamento di deflusso è W-E. Si tratta di paleoalvei "vallivi" legati al flusso e deflusso delle maree entro aree lagunari, questo piccolo settore è la parte più occidentale delle valli di Comacchio e cioè il comprensorio detto delle Gallare che al suo interno comprendeva le valli della Brulla o della Chiarina più comunemente denominate di Sfondrabò.

Dal Po di Volano a Codrea-Quartesana si stacca un paleoalveo, antica diramazione fluviale, che passando per Ducentola, Gualdo e Voghiera dirigeva verso sud, dividendosi all'altezza di Runco in due rami.

Il ramo nord, che prende il nome di Padoa, attualmente delimita a nord la Valle del Mezzano percorre la direttrice oggi formata dai paesi di S. Vito, Dogato, Ostellato, S. Giovanni ed è successivamente rintracciabile nella zona di Valle Pega. Questa area è dominata dalla presenza di diverse tracce di paleoalvei, tracce continue ed ad andamento meandriforme, che indicano un'articolata attività fluviale secondaria. Come volume d'acqua trasportato e come persistenza dell'attività di deflusso, l'importanza di questo fiume è testimoniata dalle numerose tracce di migrazione dell'alveo, dall'ampiezza e altezza che il dosso fluviale presenta e dall'influenza che questo corso d'acqua manifesta sul processo di formazione della linea di costa. Siti archeologici come l'abitato etrusco di Spina e altri numerosi ritrovamenti di epoca romana ubicati su entrambi gli argini naturali di questo corso d'acqua, ne attestano la buona condizione altimetrica. Tutto ciò pare indicare che il corso d'acqua fosse già attivo in epoca pre-etrusca e che potrebbe coincidere con il Padoa di Polibio.

Il ramo sud, staccatosi a Runco, che prende il nome di Sandolo, dal punto di vista geologico è riconducibile agli ultimi 3000 anni, attraversa il paese di Quartiere procede sino a Portorotta dove si dirama, un ramo procede con direzione ovest-est sino all'abitato di Portomaggiore e Portoverrara, mentre l'altro scende con direzione nord-sud sino a Consandolo dove confluisce nel Po di Primaro. Un importante corpo di rotta riconducibile alla passata attività del paleoalveo è stato rinvenuto in prossimità degli abitati di Voghiera e Voghenza, da sottolineare come questi sedimenti abbiano ricoperto la necropoli romana che è stata rinvenuta alla profondità media di -2,30 m dall'attuale piano campagna. Le sue caratteristiche geomorfologiche indicano la presenza di un corso d'acqua di notevoli dimensioni con un canale molto simile a quello del Po attuale.

All'altezza di Corte Centrale si individuano le tracce di un antico corso d'acqua (il Triba di epoca medioevale) che si diramava dal Padoa-Padovetere; la sua traccia risulta coincidente con l'argine di separazione Valle Trebba – Valle Gallare, evidentemente costruito sulla struttura dossiva originata da tale corso d'acqua. Con direzione di deflusso SW-NE, confluisce in località Corte Aquila nell'ansa del Volano, a testimoniare una antica comunicazione diretta i due fiumi allora più importanti di questa parte dell'area deltizia padana: il Padoa-Padovetere ed il Po di Volano.

La traccia di un altro importante paleoalveo, a prevalente direzione SW-NE, si sviluppa parallelamente all'argine del Mantello. L'origine di tale paleoalveo è rintracciabile subito ad ovest di Portomaggiore, con diramazione del fiume principale Padoa. Il suo tracciato è distinguibile fino alla confluenza con il fiume da cui aveva origine, subito a sud dell'antico abitato di Spina. All'interno di questo paleoalveo ne confluisce un altro, il cui percorso, rintracciabile a partire dalla diramazione dal fiume Padoa nei pressi di Ostellato, si sviluppa in direzione prevalentemente NW-SE in Valle del Mezzano fino a giungere nei pressi dell'argine del Mantello, dove confluisce nell'alveo descritto in precedenza.

Molta parte dell'attività fluviale che si esplicò in questo territorio è difficilmente inquadrabile dal punto di vista temporale a causa della scarsa distribuzione areale dei ritrovamenti archeologici, di conseguenza si può solo effettuare una datazione relativa, cioè ipotizzare quale corso d'acqua fosse attivo o estinto rispetto ad un altro.

In alcuni casi sono stati individuati delle forme di deposito (ventagli di esondazione) conseguenti a fenomeni di rotta, la cui ampiezza è direttamente correlabile all'entità del trasporto d'acqua e pertanto all'importanza del fiume che lo originava; tali tracce risultano di una certa estensione solo se connesse al Padoa-Padovetere. Alcuni corpi di rotta riconducibili alla passata attività del paleoalveo passante per Ostellato sono visibili presso Campolongo, Punta Schè, Punta del Corno.

Dal Po di Volano a sud dell'abitato di Ferrara si dirama il Po di Primaro, il quale, con direzione sud, scende verso Torre Fossa attraversando poi i paesi di Monestirolo, San Nicolò, Ospital Monacale, Traghetto, per poi dirigersi con direzione ovest – est verso Argenta, San Biagio, Filo e Longastrino.

Il fiume Reno per lunghissimi periodi ha riversato le sue acque nei territori a sud di Ferrara, nel suo percorso di affluente del Po di Ferrara; tale corso è stato fatto oggetto di diverse manomissioni, fino alla metà del XVIII secolo quando venne realizzato un condotto per il suo inalveamento nel Po di Primaro, all'altezza del Paese di Traghetto.

Il corso naturale presentava originariamente molte anse e meandri per cui è stato in più fasi rettificato, in modo particolare nel tratto tra Traghetto e Argenta, e tra San Biagio e Anita. Anche il tratto terminale da Anita fino alla foce ha subito diversi interventi di rettifica dell'alveo; tutti questi interventi erano finalizzati alla sicurezza idraulica.

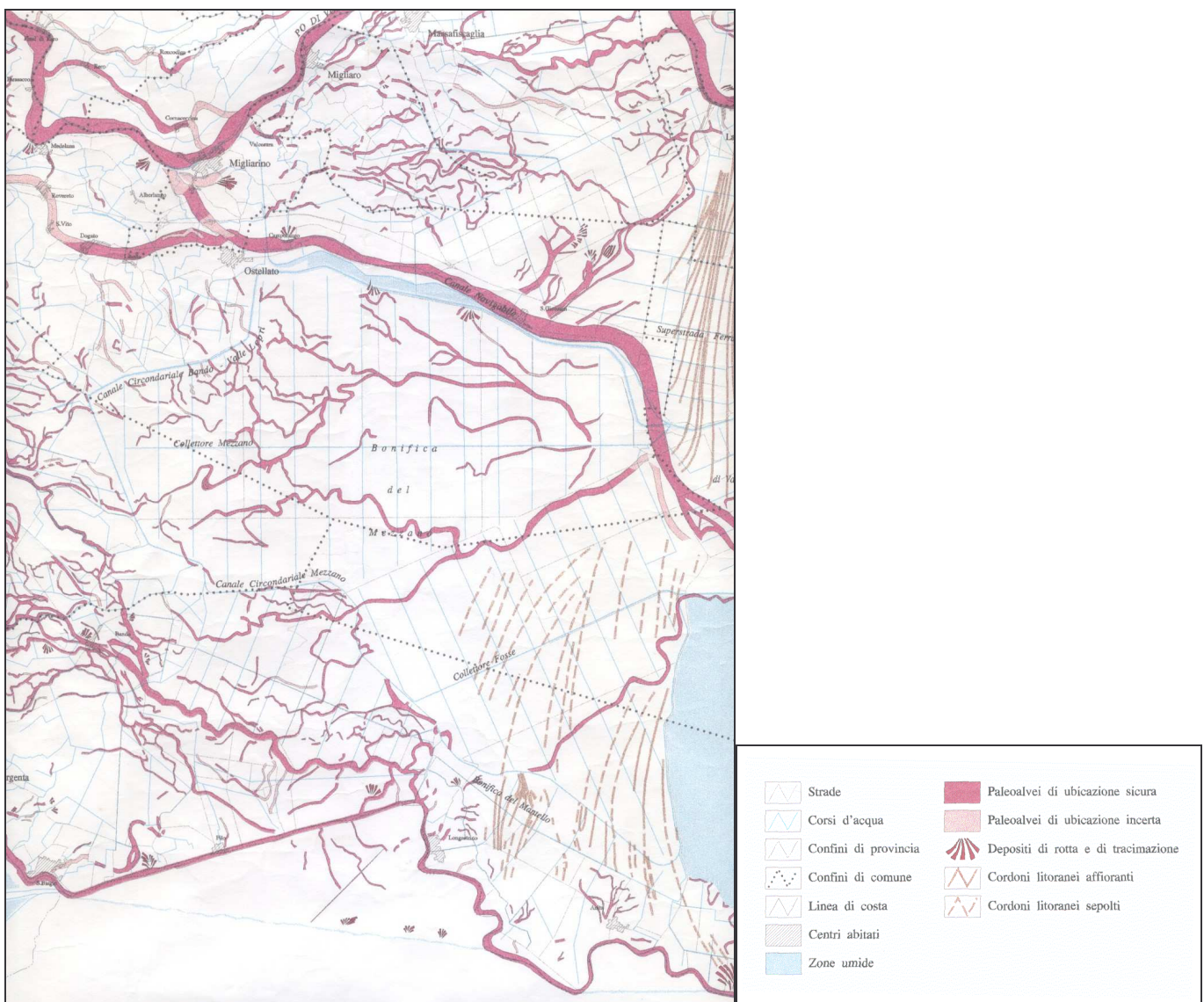
L'area compresa tra Portomaggiore, la Bonifica del Mezzano ed il fiume Reno è caratterizzata dalla presenza di diverse tracce di paleoalvei con direzione sub-parallela al Po di Primaro; si tratta di paleoalvei minori e di modeste dimensioni, tra cui il più visibile corrispondente al dosso dell'attuale canale Gramigne, deriva da Dosso di Fiorina, Bando, Fossa, Sabbiosola e la sua traccia è mascherata da numerose rotte provenienti dall'alveo del fiume "Po di Primaro", posto a meridione, e quello a sud dell'abitato di Gaibanella che taglia trasversalmente il Po di Primaro e sembra provenire da regioni poste più ad occidente del Primaro stesso, e che si ricollega a Voghiera.

Le tracce dei cordoni litoranei, testimonianza della esistenza di antiche linee di costa, sono una presenza marginale, individuabile solo nella parte orientale dell'area indagata, hanno orientazione NNE-SSW, si succedono l'una all'altra, da occidente verso oriente, con regolarità. Sono caratterizzate da una retroflessione che risulta più marcata in corrispondenza di quelle più settentrionali. Tale inflessione è testimonianza di una antica e grande bocca lagunare, oppure di una foce fluviale ad estuario.

L'età di formazione dei cordoni qui individuati è valutabile intorno al X sec. a.C. in rapporto ai ritrovamenti della fine età del ferro-prima età del bronzo effettuati sui cordoni litoranei della Valle del Mezzano SE, direttamente correlabili a questi. In

epoca etrusca i cordoni litoranei di Valle Trebba e Pega erano dunque sicuramente già stabili e relativamente al riparo dal mare, come si può dedurre dall'ubicazione della necropoli e dell'abitato di Spina.

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 emmissari. Nella pianura emiliano-Veneta queste forme sono di solito indicate con i termini di "Gorgo" oppure "Rotta" oppure, più raramente, "Buca". Nell'area di indagine è possibile incontrare una di queste forme ancora esistenti presso *La Buca*, nel territorio di Ostellato, si tratta di un piccolo stagno di età non determinata, ubicato in **FIGURA 1.7**, posto fra Gambulaga e San Vito, sul Dosso del Verginese, è stato a lungo utilizzato come macero, ma sembra trattarsi di un gorgo, in passato presentava infatti una profondità eccessiva per tale funzione (oltre 4 m), un fondale sabbioso e una forma irregolare, risulta inoltre associato a tracce di flusso dirette a sud, inoltre ricade in un'area segnalata come acquitrinosa nella *Carta Ferrarese* del 1814. 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 1.5** – Stralcio della carta geomorfologica della provincia di Ferrara, area est

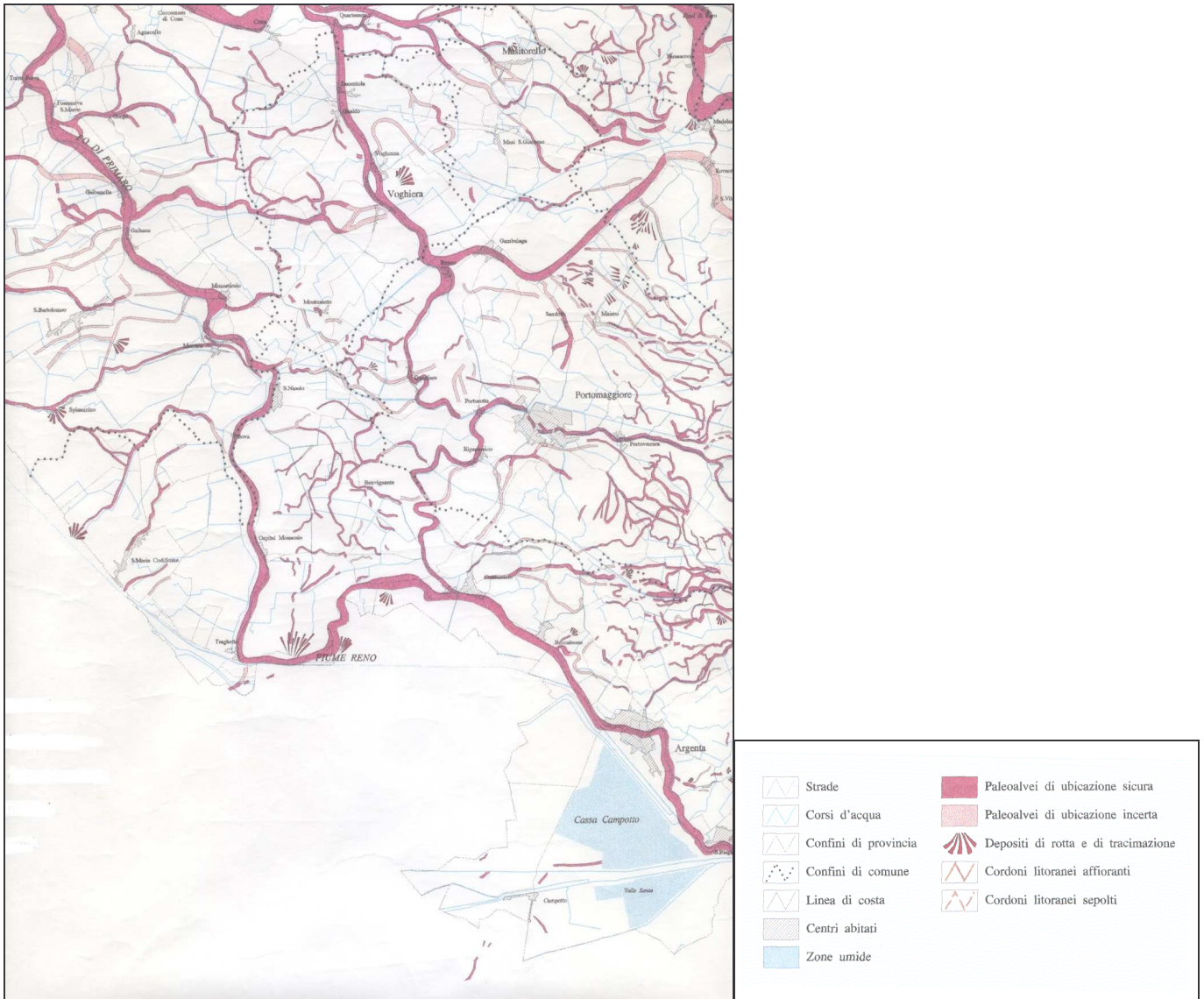


FIGURA 1.6 – Stralcio della carta geomorfologica della provincia di Ferrara, area ovest

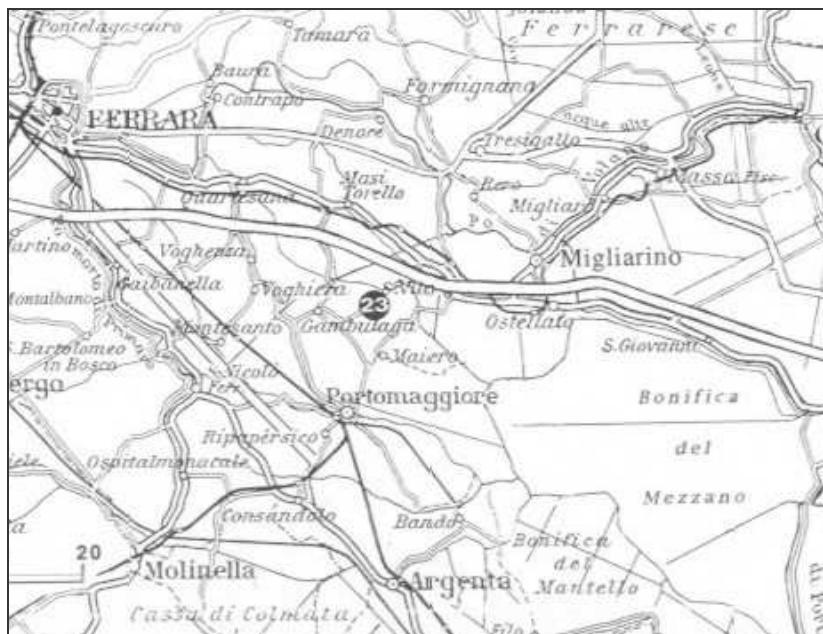


FIGURA 1.7 – Ubicazione del Gorgo indicato con il numero 23.

FIGURA - Carta geomorfologica. In legenda sono riportati i simboli grafici che schematizzano i principali elementi geomorfologici individuati. Se tratteggiati indicano incertezza sull'attribuzione della traccia o del suo effettivo percorso. Oltre ai paleovalci principali del Po di Volano e del Padua il territorio è caratterizzato da una fitta trama di paleovalci minori e da numerose testimonianze di antiche rotte fluviali. 1. Paleovalco dossivo principale; 2. Paleovalco secondario; 3. Ventaglio di esondazione e canale di rotta principale; 4. Traccia sepolta di probabile via di comunicazione; 5. Traccia sepolta di probabile canalizzazione; 6. Sito archeologico di Et  romana; 7. Sito archeologico di epoca medievale

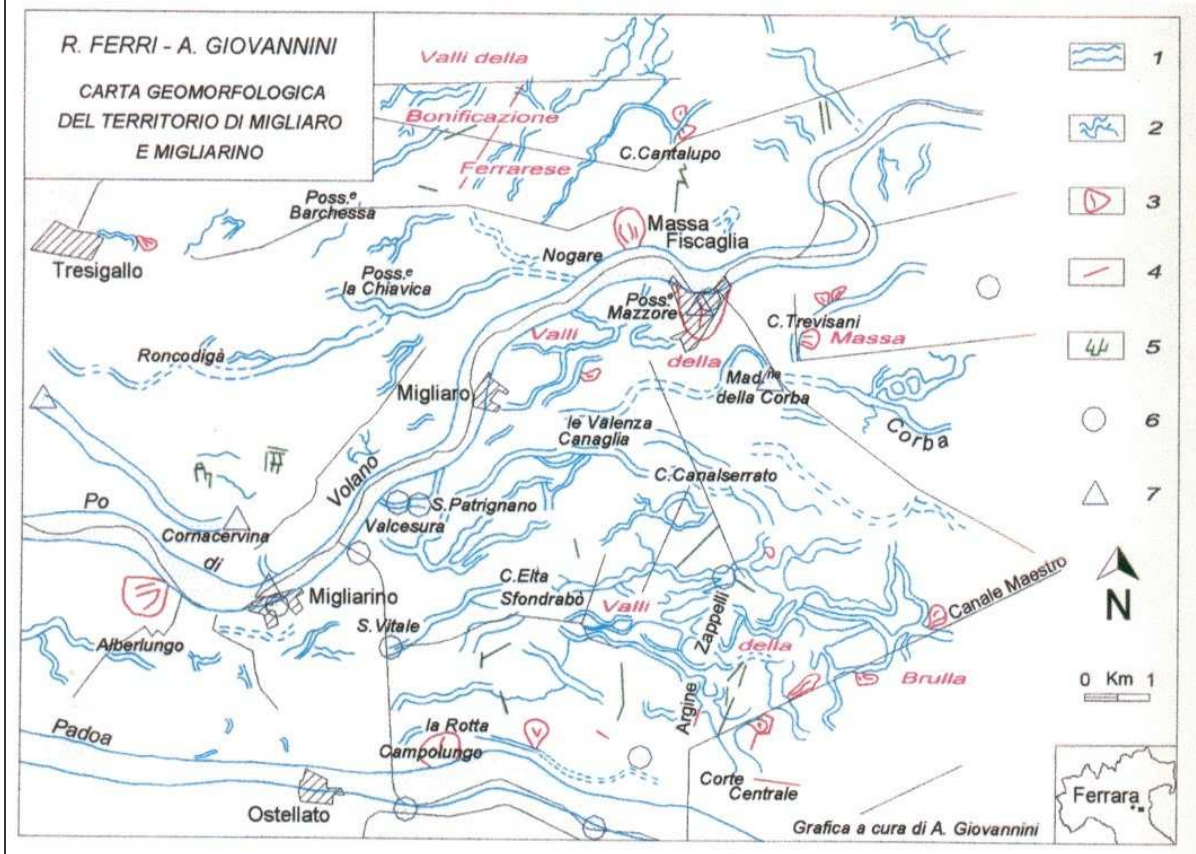


FIGURA 1.8. – Carta Geomorfologica dell'area Migliarino – Ostellato - Massa Fiscaglia.

### 1.5. Carta Geomorfologica (Cod. B.2.1.)

Si è ritenuto di affinare in questa fase del Quadro Conoscitivo la conoscenza delle strutture geomorfologiche che caratterizzano il territorio dei cinque comuni associati. Sulla scorta dei numerosi dati bibliografici raccolti, si è deciso di approfondire la lettura del territorio. Le Amministrazioni committenti hanno fornito le foto aeree (ortofoto 2002) dei loro territori; 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 dei cinque comuni, prodotta dagli scriventi, in taluni punti si discosta dalle cartografie ufficiali reperite. Anche i "segni" riportati in questa cartografia informatizzata sono stati parzialmente scremati omettendo le tracce più piccole. In tale cartografia le tracce geomorfologiche sono naturalmente riportate georeferenziate.

Per uniformarsi alla legenda della Carta Geomorfologica redatta dall'Amministrazione Provinciale di Ferrara si sono riuniti in un unico perimetro i paleoalvei di riempimento attivo e riempimento passivo di ubicazione certa. Lo stesso è stato fatto per paleoalvei di ubicazione incerta riuniti in un'unica classe (sia di riempimento attivo che passivo). Secondo gli scriventi, in futuro è da prediligere la classificazione dei paleoalveni in funzione della loro storia evolutiva sedimentologica, poiché da questa dipendono tutti i fattori legati all'altimetria del dosso fluviale, alla natura litologica e quindi geotecnica dei terreni di riempimento, nonché la permeabilità e quindi l'assetto idrogeologico del paleoalveo.

Le numerose tracce che disegnano il paesaggio comunale di Argenta, Portomaggiore e Ostellato (come molti altri territori provinciali) dovranno essere obbligatoriamente distinte in futuro, in funzione della loro storia geomorfologica, in quanto ora in un'unica simbologia sono riportate tracce di paleoalvei fluviali costituiti da litologie sabbioso-limose con tracce geomorfologiche di paleoalvei e paleocanali di riempimento passivo costituiti da litologie argilloso-limose.

Tale cartografia è allegata come Tavola costituente il Quadro Conoscitivo.

## 2. CARTA DELLA LITOLOGIA DI SUPERFICIE (Cod. B.2.2.)

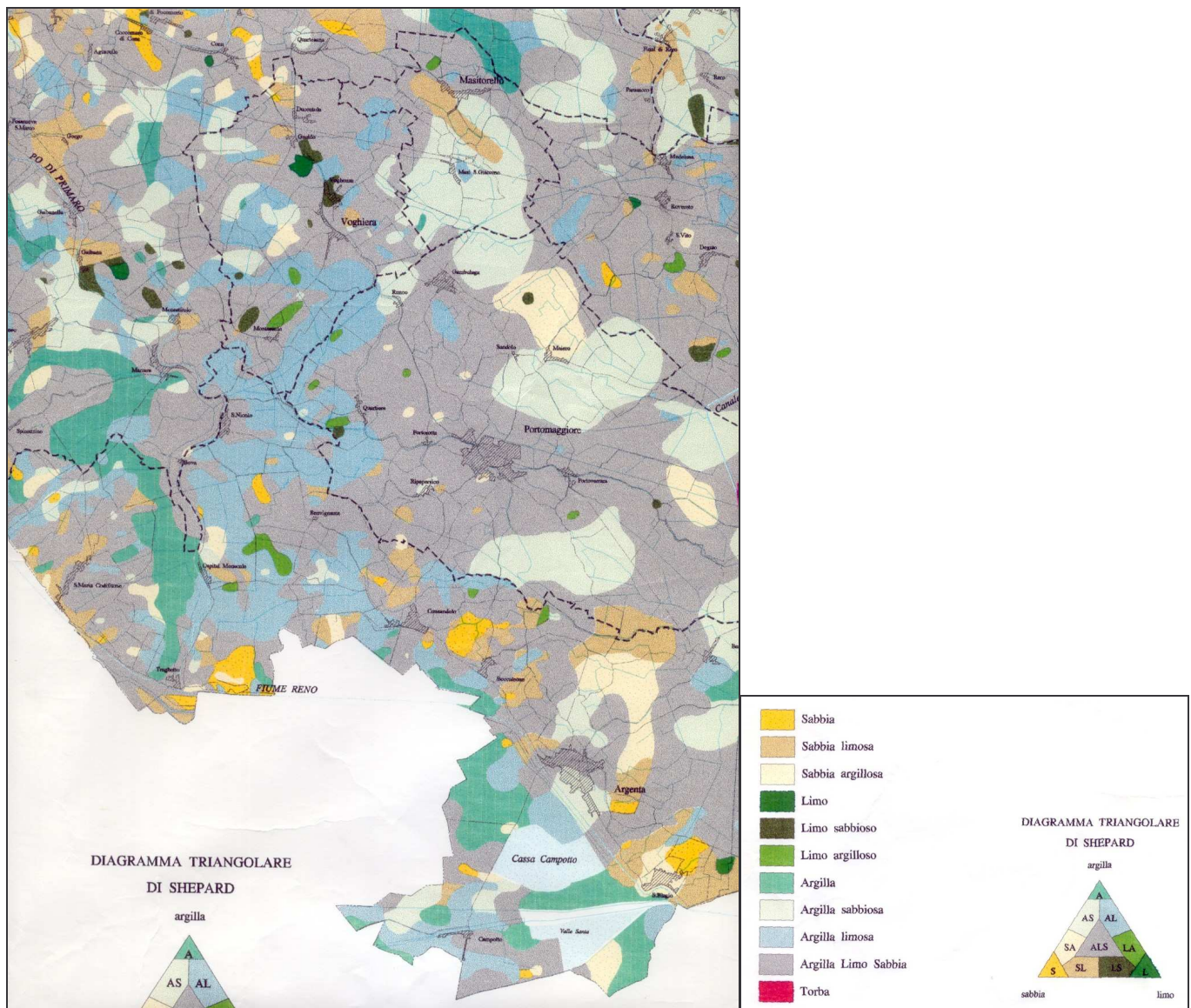
La cartografia tematica di base per questo studio è stata fornita dall'Amministrazione Provinciale, la **Carta della litologia di superficie della Provincia di Ferrara** viene riprodotta in **FIGURA 2.1** e in **FIGURA 2.2**.

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 in esame dominano in affioramento le litologie composte da miscele binarie e ternarie di sabbia, limo e argilla, si rinvencono in prevalenza miscele ternarie interrotte da lenti di miscele binarie. Si distinguono delle zone nel comune di Portomaggiore, e in particolare nel comune di Argenta, a ridosso della Valle Mezzano, dove le lenti, costituite da una matrice argilloso-sabbiosa dominante, raggiungono estensioni molto considerevoli.

Le sabbie sono rinvenibili esclusivamente sotto forma di lenti, nel comune di Argenta, lungo la direttrice che congiunge Consandolo-Boccaleone-Argenta-San Biagio-Filo-Longastrino, coincidente con il tracciato del paleoalveo del Po di Primaro.

Le torbe sono presenti nei comuni di Ostellato, Portomaggiore e Argenta in corrispondenza della Bonifica della Valle Mezzano e della Valle Mantello.



**Figura 2.1** – Stralcio della carta della litologia di superficie della Provincia di Ferrara, porzione ovest



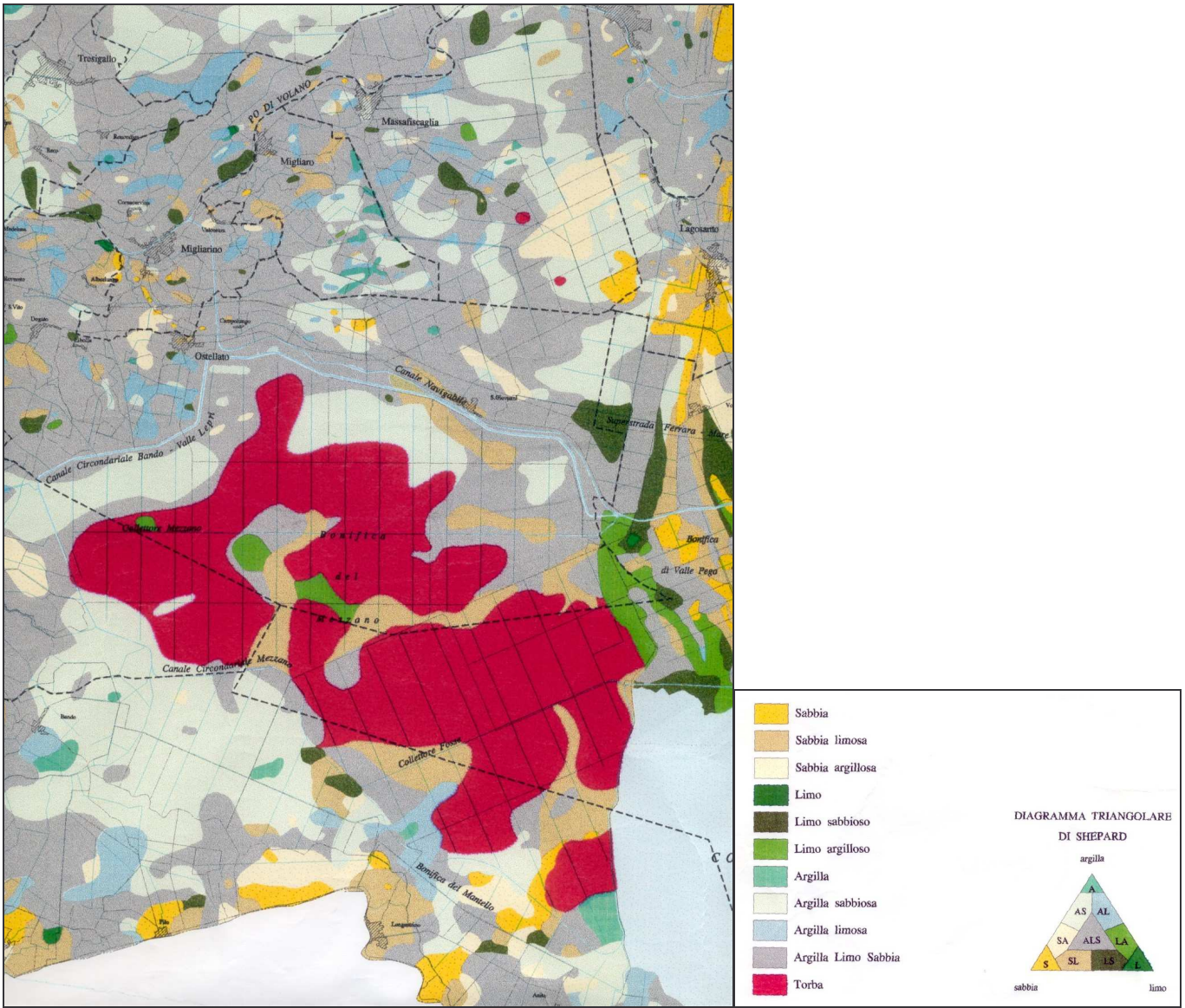


Figura 2.2 – Stralcio della carta della litologia di superficie della Provincia di Ferrara, porzione est.

Tale cartografia è allegata come Tavola costituente il Quadro Conoscitivo, e non ha subito rielaborazioni sui contenuti sostanziali da parte degli scriventi ma solo rielaborazione grafica.

### 3. 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 3.1** 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 l'area di studio presenti una costante diminuzione delle quote dirigendosi da ovest verso est, passando da quote positive massime di +7/+8 metri nell'area occidentale e scendendo fino a quote negative di -3/-4 metri nell'area orientale, questa continuità viene interrotta oltre che dai paleoalvei fluviali anche dalle dune delle antiche linee di costa.

Nettamente in evidenza risultano le due strutture dossive: Po di Volano, Padoa. La traccia del Po di Volano rinvenibile lungo la direttrice Finale di Rero-Migliarino-Migliaro-Massa Fiscaglia-Codigoro raggiunge quote fino a +4m, mentre il tracciato del Padoa che passa per Ostellato e prosegue verso sud-est con andamento all'incirca parallelo al canale Circondariale della bonificata Valle del Mezzano con quote appena superiori allo zero. Entrambe si presentano continue, sostanzialmente regolari, di ampiezza relativamente costante, ad andamento meandriforme per quella a nord, più rettilineo per quella a sud. L'area di raccordo presente tra le due strutture dossive sopra descritte, è costituita da terreni la cui quota è al di sopra del livello medio del mare, per la parte più occidentale del territorio indagato, coincidente con il comune di Migliarino, mentre è inferiore al livello medio del mare, per la parte di territorio più orientale, coincidente con i terreni di Valle Gallare.

Un ulteriore struttura dossiva è contraddistinta dal tracciato del Po di Primaro lungo la direttrice che congiunge i paesi di Consandolo, Argenta, S.Biagio, Filo e Longastrino, il quale raggiunge quote massime di +4 metri lungo la direttrice, mentre ai lati di questa struttura il piano campagna raggiunge quote comprese tra +8 e +9 metri a sud, mentre scende fino a -2 metri s.l.m. a nord, ad esclusione dell'area che coincide con il tracciato di un paleoalveo minore, passante per Bando, che si trova a quote comprese tra 0 e +1 metri s.l.m.. Le quote massime vengono raggiunte a nord dell'abitato di Molinella dove i terreni raggiungono quota +10 metri s.l.m.

È visibile un ulteriore dosso, che da Quartesana si spinge in direzione sud attraverso Ducentola, Voghenza e Voghiera, questo dosso risulta meno evidente dei precedenti in quanto raggiunge quote massime di +4 metri lungo la direttrice, mentre ai lati di questa struttura il piano campagna degrada rapidamente verso quote di +2 metri ad ovest e di zero a sud-est.

Ad esclusione dei dossi, il territorio è prevalentemente caratterizzato da aree rilevate con quote superiori allo zero, ad occidente, in particolare l'area meridionale del comune di Migliarino, con Fiscaglia e Valcesura, l'intero comune di Voghiera e la parte centro-occidentale del comune di Portomaggiore, e da aree decisamente depresse, ad oriente come ad esempio nei pressi del paese di Massa Fiscaglia, e in tutta l'area orientale del comune di Ostellato (coincidente con la Bonifica del Mezzano e parte della Bonifica del Mantello), nell'area del Comune di Portomaggiore e del Comune di Argenta, spinta a sud sino all'intersezione con il paleoalveo del Po di Primaro.

Valori altimetrici compresi tra i -2 ed i -3 m sul livello del mare contraddistinguono modeste porzioni di territorio come ad esempio la Bassa Conacervina, la porzione di territorio nord-orientale di Migliaro, quella nei pressi di condotto Mottiole ed a oriente dell'argine Zappelli, l'area a nord di Dogato.

Valori altimetrici compresi tra 0 ed i -1 m sul livello del mare contraddistinguono l'area ad est di Voghiera, e porzioni di territorio a nord ed a est di Ospital Monacale.

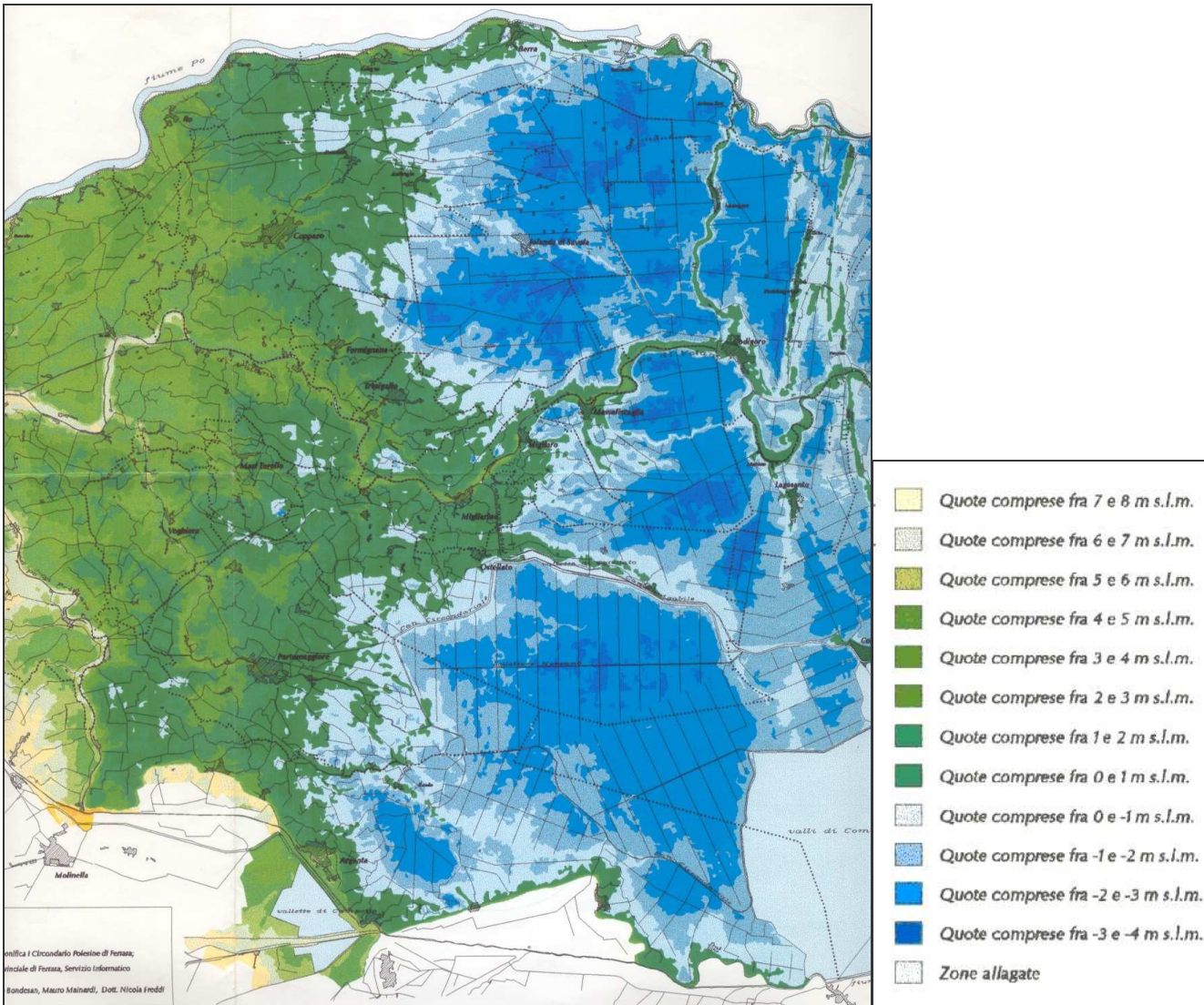


FIGURA 3.1 - Stralcio del modello altimetrico della Provincia di Ferrara

### 3.1. Carta altimetrica e dei rilevati (Cod. B.2.3.)

All'interno dello studio dell'assetto topografico del territorio dei cinque comuni 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. Come iniziale base di lavoro si sono adottate le cartografie tematiche fornite dagli Enti committenti. Sulla base di queste 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 discontinui di altezza inferiore a 1m rispetto ai p.c. circostanti;
- in un'altra classe sono stati riuniti i rilevati che avevano uno sviluppo continuo rispetto ai p.c. circostanti, ma che presentavano dislivelli contenuti al di sotto di 1m di altezza;
- una terza classe racchiude i rilevati continui con dislivello tra la loro sommità ed i p.c. circostanti compresi tra 1m e 2m di dislivello;
- una quarta e ultima classe comprende tutti i rilevati con dislivello tra la loro sommità ed i p.c. circostanti superiori ai 2m di dislivello.

Il risultato finale derivato dal rilievo di campagna è stato una cartografia tematica che si discosta in diversi punti da quella fornita dagli Enti committenti. In questo lavoro i rilevati considerati discontinui sono quelli che nel loro sviluppo contengono tratti con quote uguali o inferiori al p.c. circostante.

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; ogni “area di catino” ha però delle vie di uscita, di deflusso preferenziale delle acque ( chiamate “varchi”, non rilevate in questo lavoro). L'utilizzo e l'applicazione di questa cartografia può dare interessanti spunti per lo studio del rischio idraulico a cui il territorio dei cinque comuni può essere soggetto. Nella pianificazione comunale questi tipi di studi hanno però significato limitato, in quanto essi vanno condotti su macro aree, e dunque le analisi specifiche vanno condotte da enti sovra-ordinati.

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.

#### 4. LA SUBSIDENZA

Com'è noto, 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 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, 56 già compresi nella rete, più altri 2 punti istituiti in corso d'opera e collegamenti dentro e fuori regione a stazioni permanenti e semi-permanenti, operando con strumenti a doppia frequenza e misurando contemporaneamente almeno 5 stazioni (Regione Emilia - Romagna & ARPA, 2001).

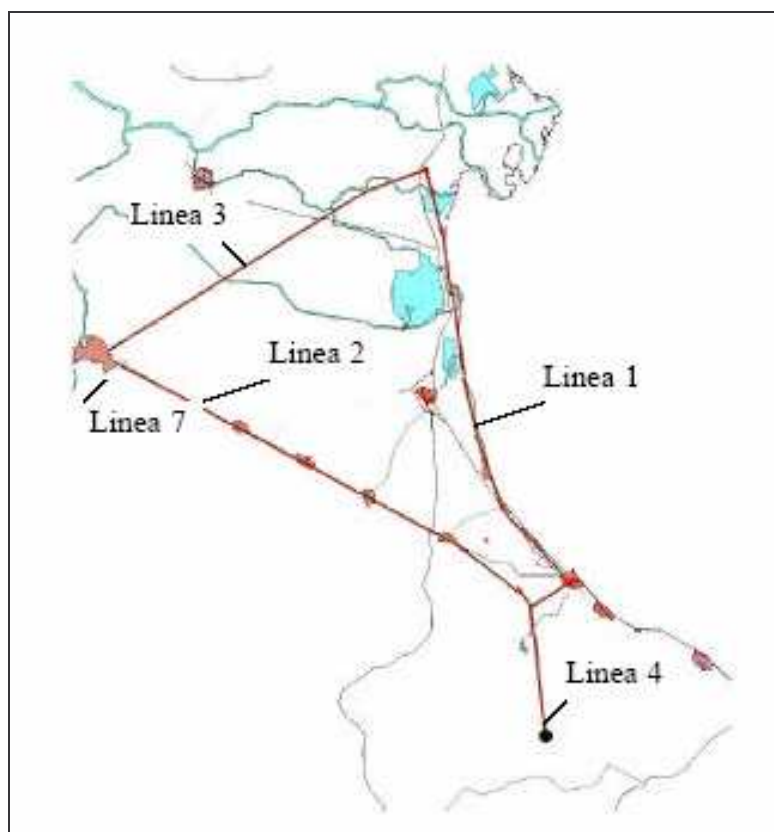
Nel 1999 è stata realizzata la prima campagna di misura sull'intera Rete Regionale e nel 2002 sono state ripetute le sole misure sulla rete GPS. Sono stati utilizzati i dati della stazione permanente di Padova, di Porto Corsini, Medicina e Modena e di altre stazioni cosiddette semi-permanenti ubicate 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.

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.

La rete di livellazione è stata ancorata, attraverso 6 linee aperte, a zone ritenute stabili sugli Appennini, di tali linee tre appartengono alla rete nazionale IGM e le altre tre sono state istituite da altrettante reti locali di primaria importanza: Bologna, Modena, e Ravenna. 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 4.1** 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 4.1** – 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 4.2**, 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 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 4.3**) sino ad Ariano Ferrarese.

Lungo la linea che attraversa le province di Rimini, Forlì, Ravenna e Ferrara, le velocità di abbassamento nel periodo 1990-1999 presentano un andamento abbastanza vario, profilo di **FIGURA 4.4**, nel territorio ferrarese gli abbassamenti si attestano intorno a 0.4-0.5 cm/anno, il confronto con il periodo precedente 1970/77-1999 mette in evidenza una fortissima diminuzione degli abbassamenti con riduzioni fino all'80% nel Riminese e nel Cesenate, di varia entità ma mai inferiori al 50% nel Ravennate e tra il 10 e il 50% nel ferrarese, nel quale le velocità di abbassamento erano di entità più modesta rispetto agli altri territori, anche in precedenza, oscillando tra 0.5 e 1.0 cm/anno, si veda in proposito la **FIGURA 4.5**.

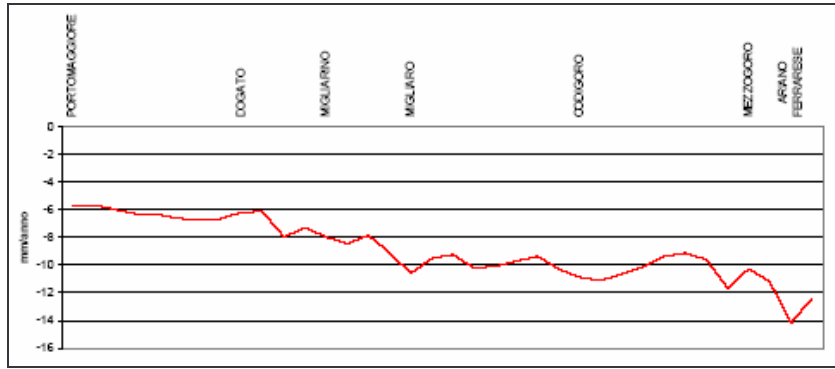


FIGURA 4.2 – Velocità di abbassamento lungo la s.s. Romea da Portomaggiore ad Ariano Ferrarese nel periodo 1988-1999.

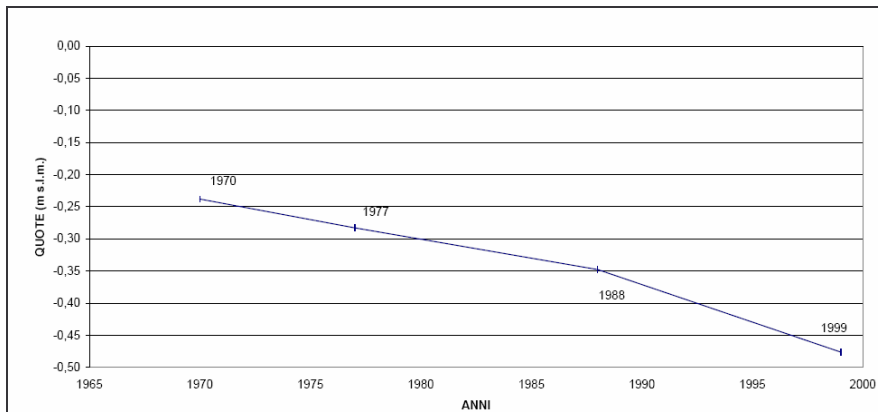


FIGURA 4.3 – Caposaldo 083090 (19/43 IGM), Mezzogoro (FE).

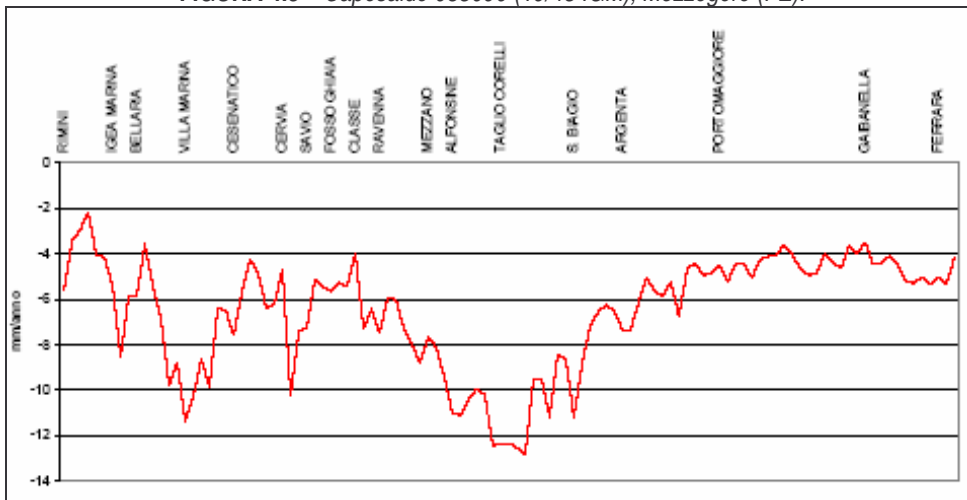
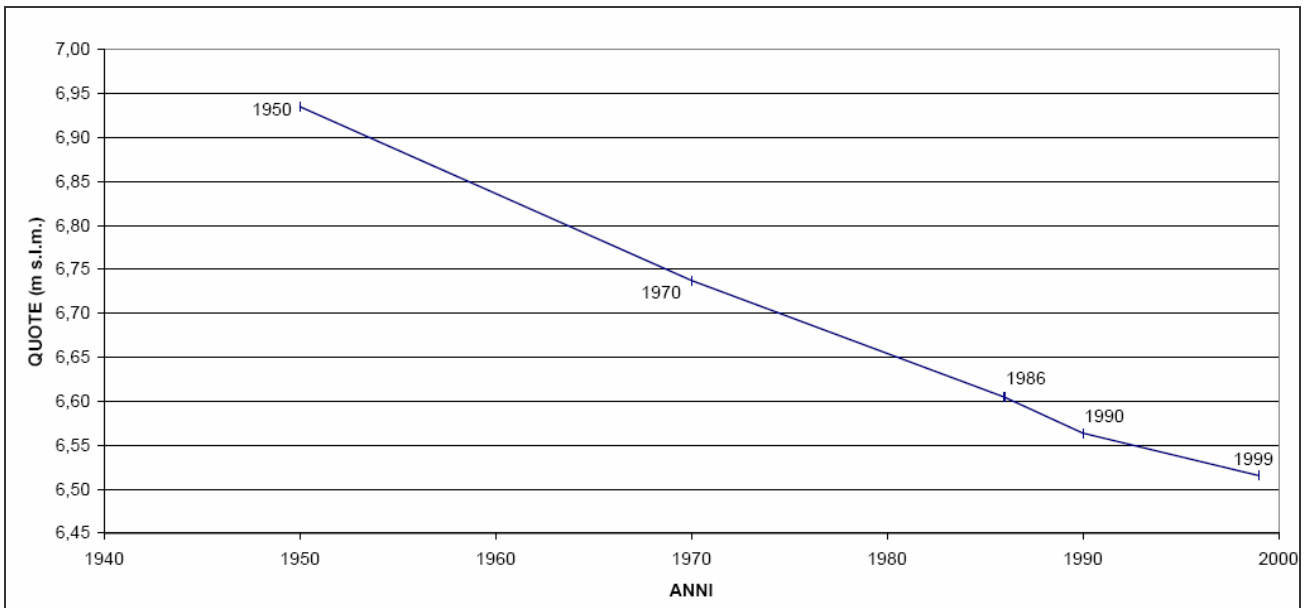
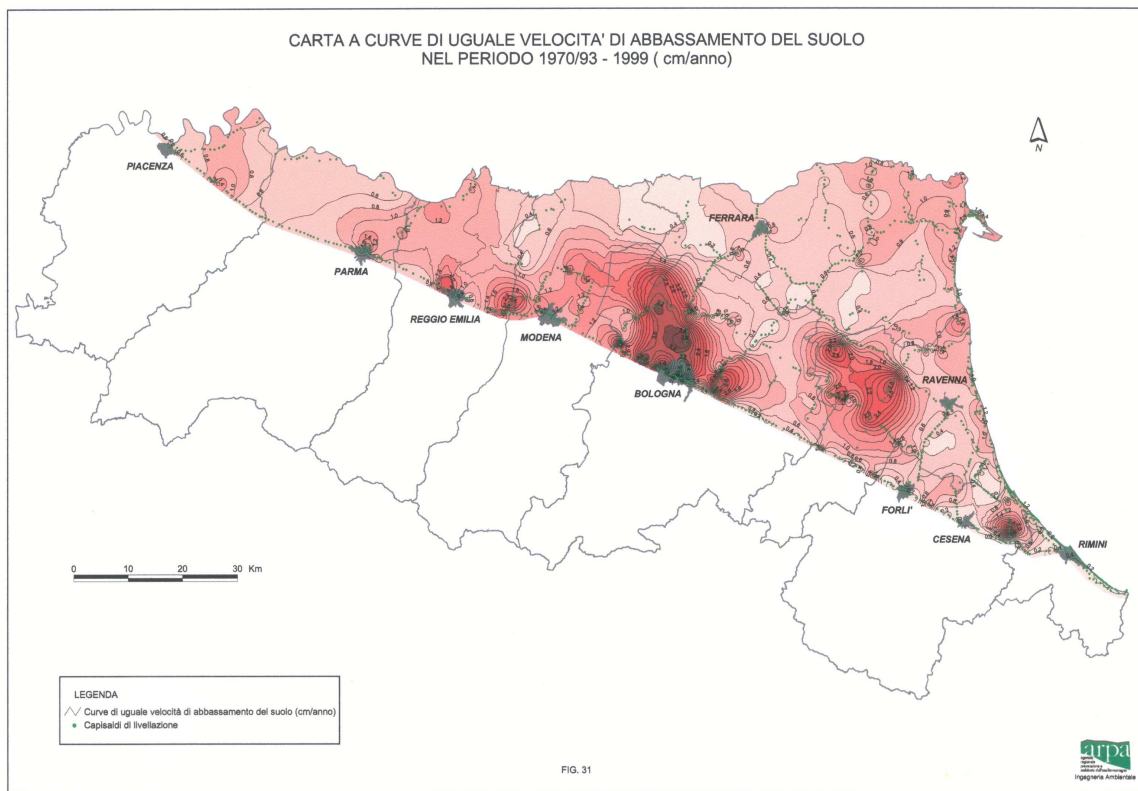


FIGURA 4.4 – Velocità di abbassamento lungo la s.s. 16 da Rimini a Ferrara nel periodo 1990-1999.



**Figura 4.5** – Caposaldo 060208 (18/27) - Ferrara

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 4.6**.



**FIGURA 4.6** – Carta delle curve di eguale velocità di abbassamento del suolo (cm/anno)

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.

Nel Ferrarese si collocano in sostanziale continuità con i trend precedenti Argine Agosta, nel comune di Argenta, circa 1 cm/anno, Migliarino e Portogaribaldi, 0,7 cm/anno, mentre evidenzia un aumento dell'abbassamento a Gorino, 1,5 cm/anno.

#### **4.1. Carta dei processi geodinamici (Cod. B.2.4.)**

Il principale fenomeno geodinamico attivo che coinvolge il territorio dei cinque comuni 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 consente nel tempo un recupero di pendenze più dolci delle sponde, con conseguente progressiva verticalizzazione delle pareti dei canali.

Viene dunque rielaborata graficamente la carta redatta da ARPA, proponendo una versione zoommata sulle aree di interesse. Tale cartografia è allegata come Tavola costituente il Quadro Conoscitivo.

## 5. IL SISTEMA DELLA BONIFICA

Il territorio dei cinque comuni oggetto di questo studio è gestito da diversi Consorzi di Bonifica, anche se per la massima parte ricadono nel comprensorio del Consorzio di Bonifica del II Circondario Polesine di San Giorgio.

Nel dettaglio il comune di Migliarino ricade per la parte più settentrionale all'interno del Consorzio di Bonifica I Circondario Polesine di Ferrara e per la parte più meridionale all'interno del Consorzio di Bonifica II Circondario Polesine di S. Giorgio; i comuni di Ostellato, Portomaggiore e Voghiera ricadono interamente nel Consorzio di Bonifica II Circondario Polesine di S. Giorgio; infine il comune di Argenta ricade per la parte settentrionale nel Consorzio di Bonifica II Circondario Polesine di S. Giorgio, per la parte relativa alle casse di Campotto e Vallesanta nel Consorzio di Bonifica Renana, per l'estrema parte occidentale nel Consorzio di Bonifica Valli Vecchio Reno.

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.

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 5.1** si può vedere la parte della provincia di Ferrara posta sotto il livello medio marino, dove l'azione della bonifica è particolarmente importante per l'antropizzazione del territorio.



**FIGURA 5.1.** – Territori provinciali posti al di sotto del livello medio del mare (da "Ferrara e la Bonifica", 1986)

Segue la **FIGURA 5.2.** con la suddivisione delle aree della provincia gestite dai rispettivi consorzi di bonifica.

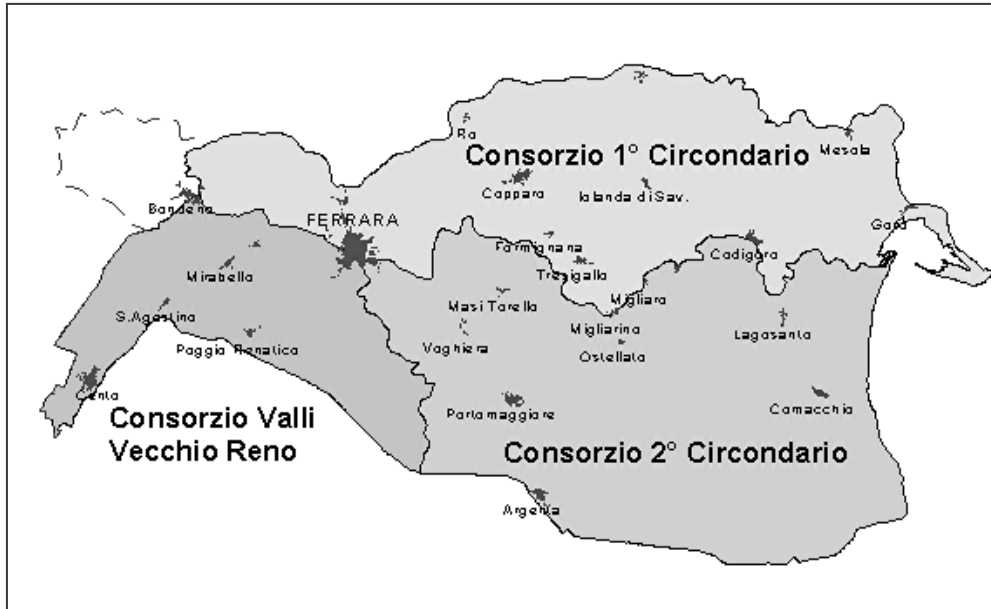


Figura 5.2. suddivisione dei limiti comprensori dei vari consorzi

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.

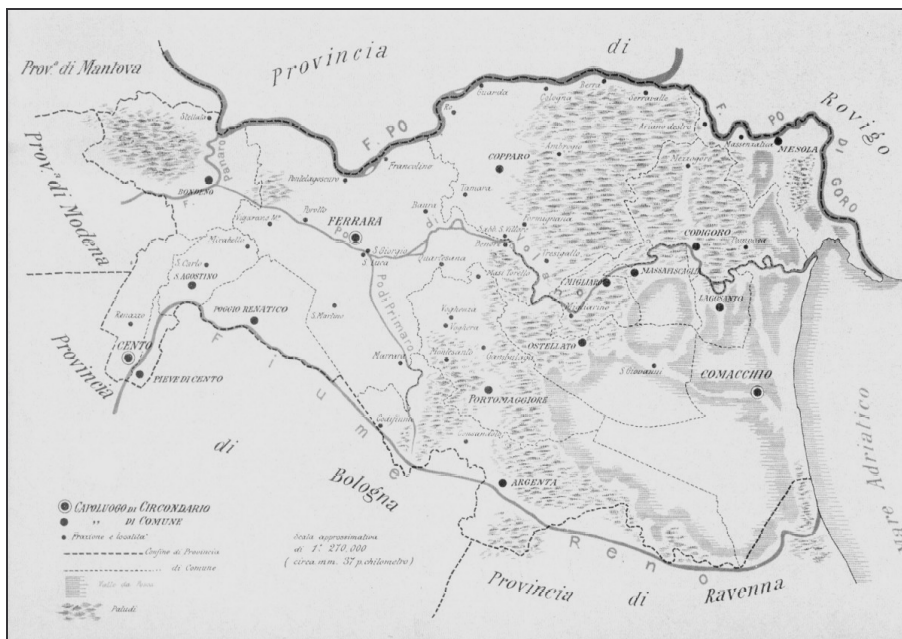
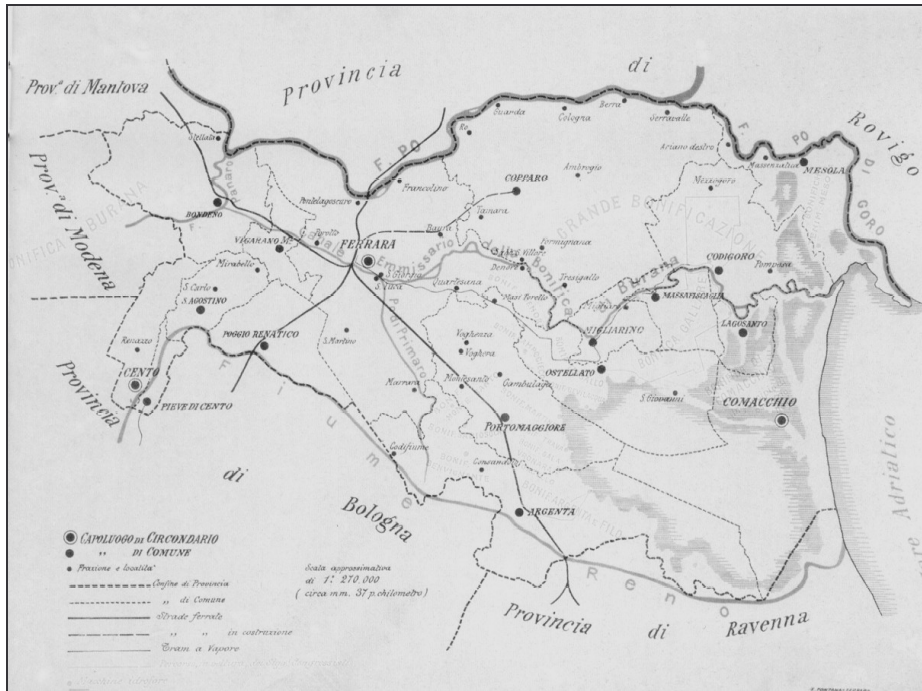
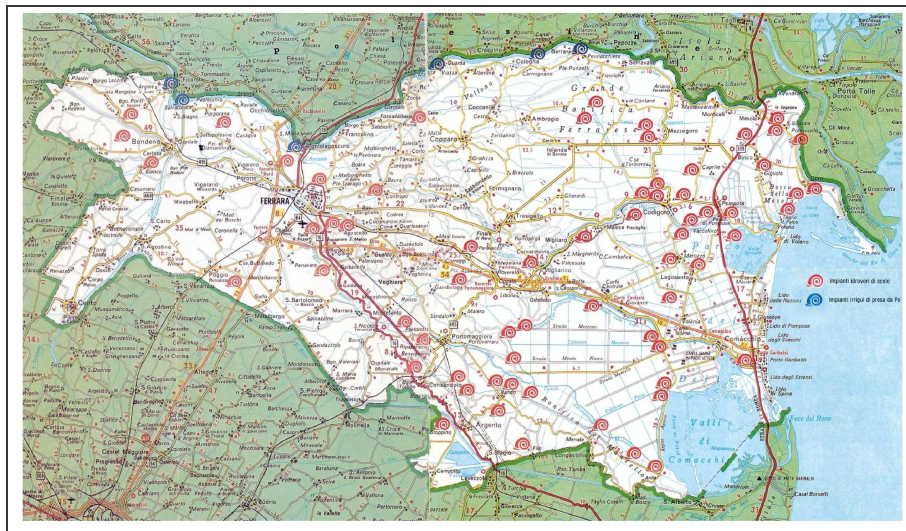


FIGURA 5.3 – La provincia di Ferrara a metà dell'800 prima delle Bonifiche meccaniche (da "La Provincia di Ferrara e le sue bonifiche" Tip. Bresciani, 1903)



**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 diffusa presenza delle opere di gestione e governo delle acque che interessano il territorio allo studio.



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

Le trasformazioni economiche-sociali nel territorio ferrarese e bolognese e romagnolo 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 alla sicurezza idraulica 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 una superficie di circa 91.000 ha, compresa 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 "idrovore" 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 dallo Stato Pontificio per governare idraulicamente tutto il territorio compreso tra il Panaro ad Ovest, il Po di Volano a Sud, il tenimento della Mesola ad Est ed il Po di Goro-Po di Venezia a Nord, 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 sia della Grande Bonificazione Ferrarese che di Terre Vecchie, mentre è stato realizzato gradualmente un imponente sistema di approvvigionamento e distribuzione dell'acqua per l'irrigazione, basato sui grandi impianti di derivazione di Berra, Contuga, Guarda e Capodargine che prelevano acque dal Po.

L'area di pianura tutelata dal Consorzio di Bonifica I Circondario Polesine di Ferrara è caratterizzata da una continua serie di dossi e avvallamenti, perennemente soggetti a rischio di impaludamento, si tratta di un territorio piatto, i cui punti più elevati nella parte sud occidentale toccano i venti metri sul mare, 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.

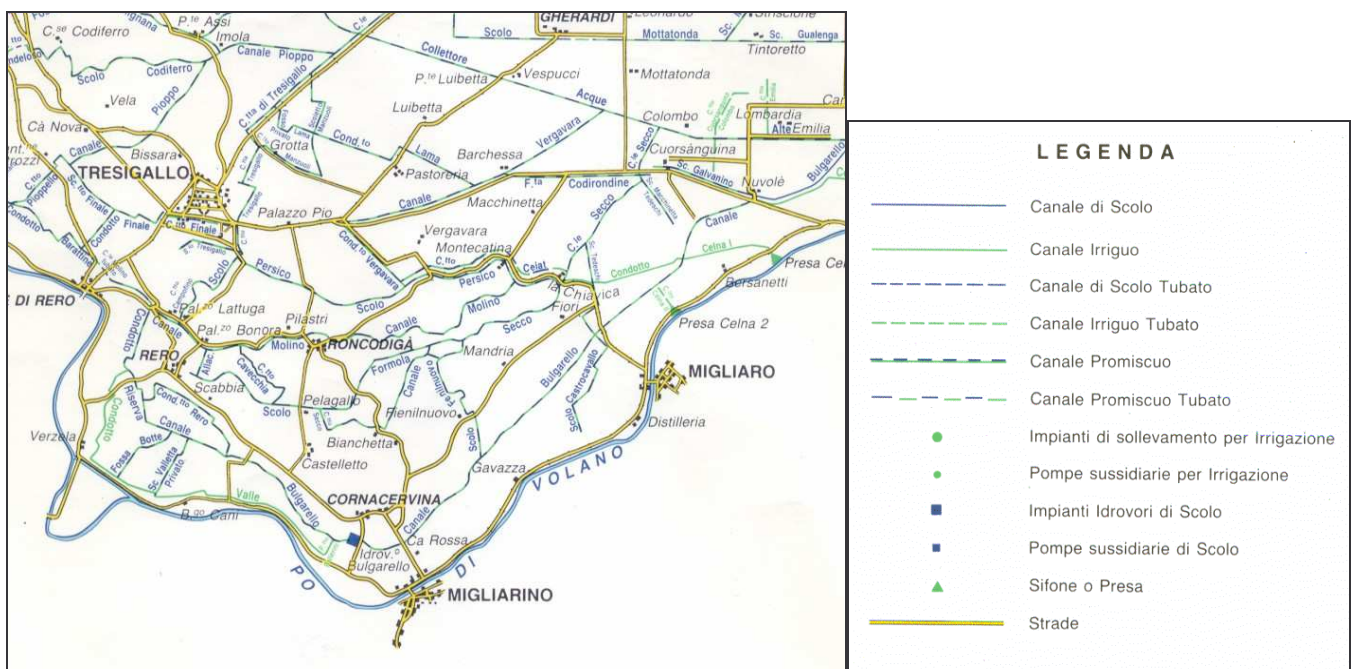
Il Consorzio di Bonifica I Circondario Polesine di Ferrara dispone di 33 impianti idrovori di scolo e di una rete di canali, specifici per questa azione, sviluppata su oltre 1400 km. L'impianto più importante è l'idrovoro di Codigoro, che, ultimamente ridimensionato, permette lo scolo delle Acque Alte, 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. I 33 impianti idrovori in funzione dimostrano la complessità del tessuto idraulico che supporta questo territorio. L'altezza media della pioggia dell'ultimo cinquantennio è stata di circa 600 mm corrispondente ad un volume di 550 milioni di mc. d'acqua. A questi debbono aggiungersi

per una valutazione complessiva dell'acqua che entra annualmente nel comprensorio, 120 milioni che vi affluiscono per filtrazione soprattutto dagli argini del Po e i 300 milioni che vengono immessi per l'irrigazione. Come emerge dai dati sopraccitati, il 40% di questo volume viene sollevato dagli impianti idrovori. La dotazione irrigua di 46,4 mc/sec si rapporta a 1/2 litro/ha sec. di territorio dominato, non presenta difficoltà per il prelievo per la sua felice posizione che si stende lungo il fiume Po. Viene poi derivato a scopo irriguo il rilevante volume di 300 milioni di mc d'acqua.

L'unico impianto idrovoro presente nel comune di Migliarino è l'Idrovoro Bulgarello, altrettanto importante per i bacini di bonifica di Migliarino è l'Impianto Idrovoro di Codigoro.

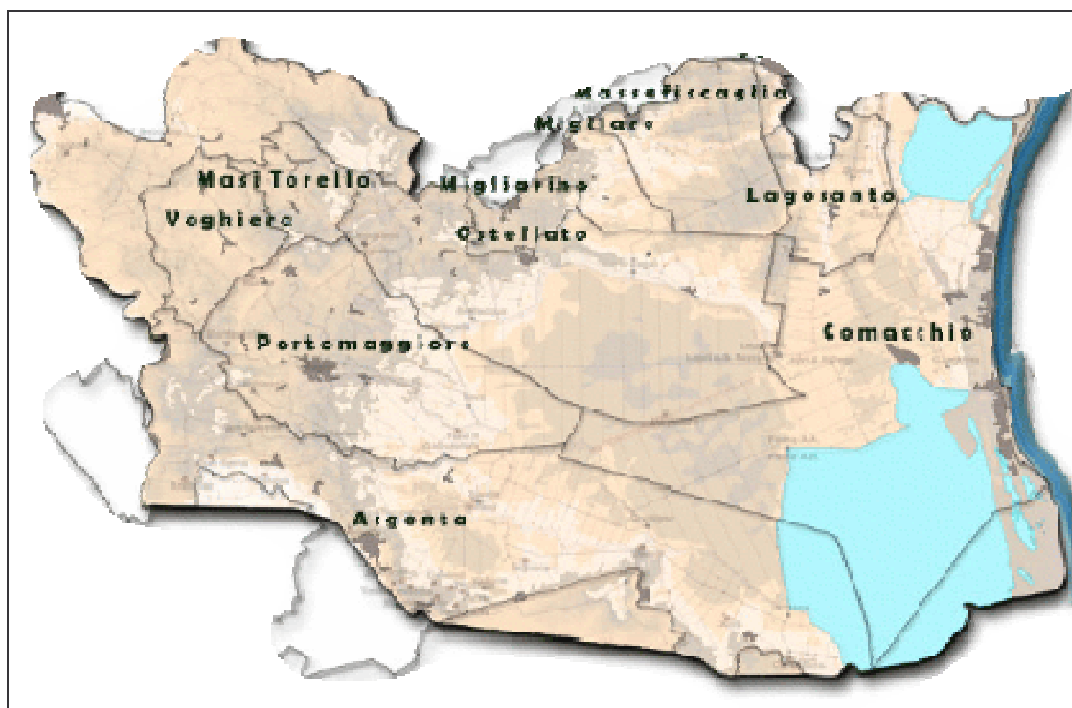
In **FIGURA 5.6** si riporta una carta con la rete dei canali della bonifica e la loro classificazione in irrigui, di scolo e promiscui.



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

## 5.2. Consorzio di Bonifica Il Circondario Polesine di S. Giorgio

Il Consorzio di Bonifica Il Circondario Polesine di San Giorgio, della superficie complessiva di circa 119.718 ha, 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 i comuni di Ferrara, Voghiera, Portomaggiore, Ostellato, Argenta, Migliarino, Migliaro, Massafiscaglia, Lagosanto, Comacchio ed una piccola frazione del Comune di Codigoro; al di Fuori della Provincia di Ferrara interessa nel bolognese il Comune di Molinella, nel ravennate il Comune di Ravenna e di Alfonsine (**FIGURA 5.7.a**). Il territorio è costituito da fertili terreni alluvionali (la superficie del Comprensorio è interamente in pianura) che scolaro per 101.747 ha mediante sollevamento meccanico delle acque e per 17.971 ha a deflusso naturale.



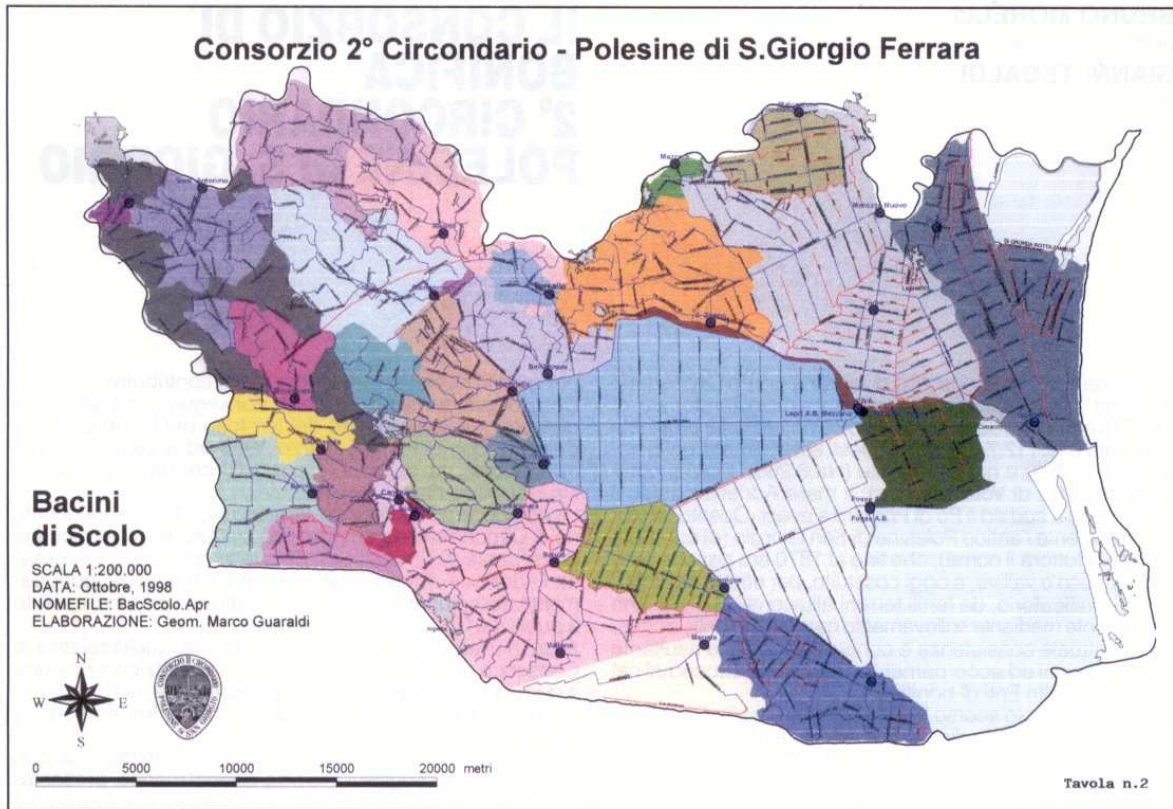
**FIGURA 5.7.a** – Comprensorio del Consorzio di Bonifica del II Circondario Polesine di San Giorgio: limiti amministrativi

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.

Il comprensorio, nella sua configurazione attuale, presenta una rete di canali di estensione totale pari a 1852 km, di cui 299 km di scolo, 373 km irrigui e 1180 km ad uso promiscuo. Gli impianti di sollevamento meccanico delle acque sono in tutto 74 di cui 32 di scolo e 42 a servizio dell'irrigazione; le loro portate sono rispettivamente di 361,3 m<sup>3</sup>/s per gli impianti di scolo (con una potenza di 18966 kW) e di 13,74 m<sup>3</sup>/s per gli impianti irrigui (2057 kW) per un totale di 375,04 m<sup>3</sup>/s (potenza 21023 kW).



**FIGURA 5.7.b** – 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).

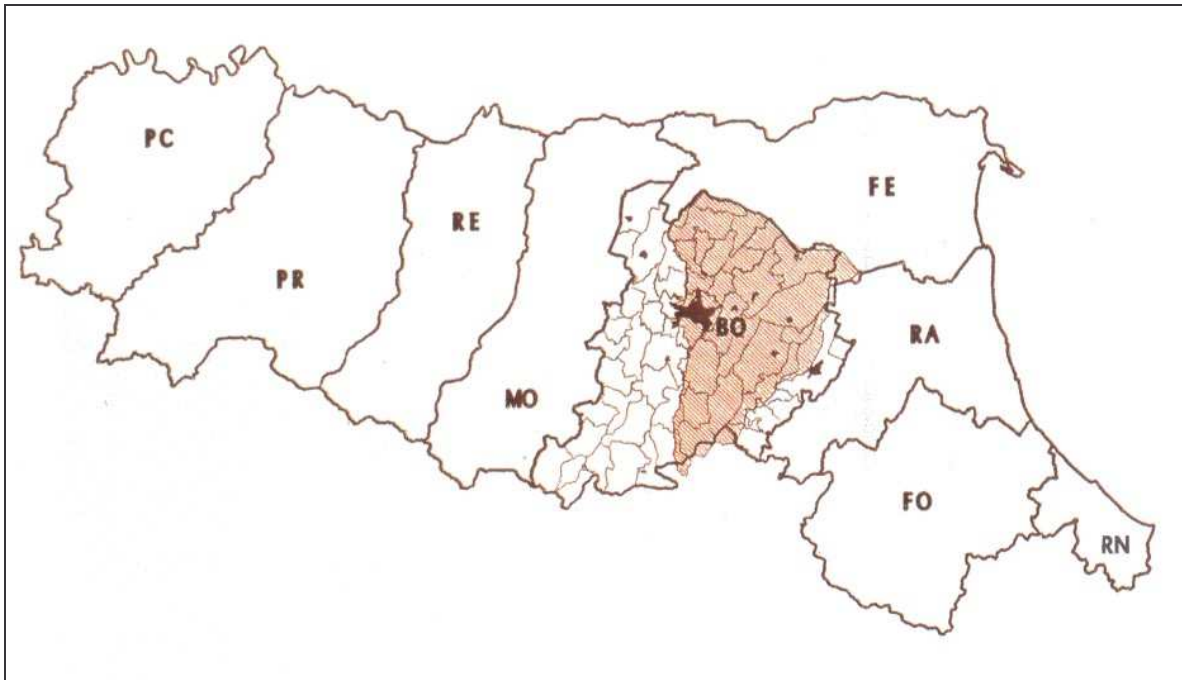
### 5.3. Consorzio di Bonifica Renana

Il Comprensorio del Consorzio della Bonifica Renana ha una superficie di 187.603 ha, di cui 119.129 ha nella pianura a valle della via Emilia, e costituiscono il I° Distretto, mentre i restanti 68.474 ha sono situati nella collina e nella montagna sovrastante la via Emilia, e costituiscono il II° Distretto.

La parte del comprensorio di collina e montagna ha la forma di un triangolo irregolare, con vertice alle sorgenti del torrente Savena e base sulla Via Emilia, nel tratto fra Bologna e Imola.

Il Comprensorio di Pianura invece ha la forma di un quadrilatero, racchiuso a Nord-Ovest e a Nord-Est dal corso del fiume Reno, a Sud-Est da una spezzata che congiunge la foce del fiume con la città di Imola e a Sud-Ovest dalla via Emilia, nel tratto Imola-Bologna. Si veda in proposito la **FIGURA 5.8.** dove viene evidenziato il comprensorio.

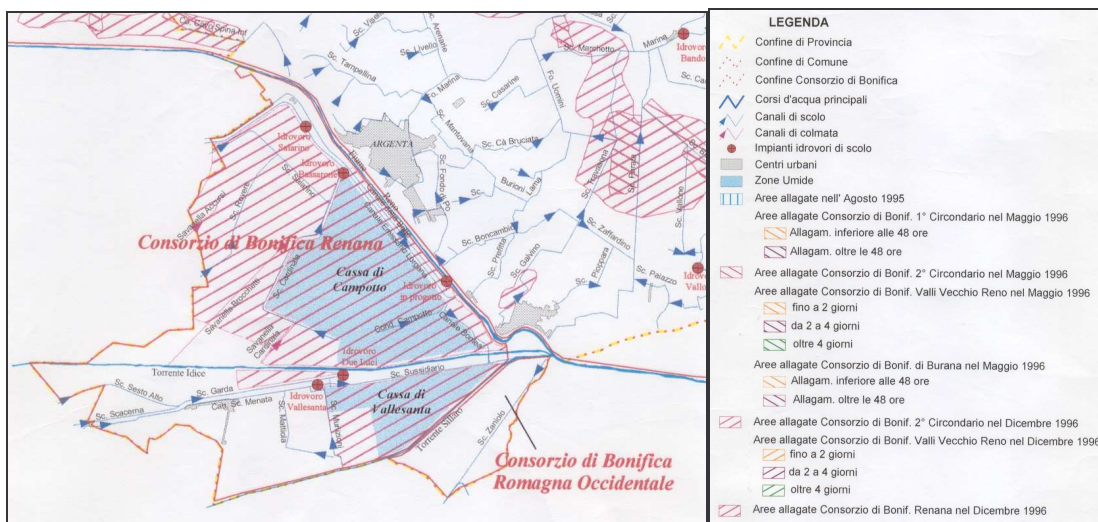




**FIGURA 5.8.** – Il territorio regionale con evidenziato il comprensorio della Bonifica Renana (Consorzio della Bonifica Renana)

Il Consorzio copre grande parte del territorio della provincia di Bologna, ma anche parti del territorio della provincia di Firenze, di Ferrara (3.743 ettari nel 1° Distretto presso il comune di Argenta, si veda in proposito **FIGURA 5.9.**) e di Ravenna.

Il Consorzio provvede alla manutenzione dei canali di bonifica, riducendo la scabrezza delle sponde, e proteggendo gli argini da fontanazzi, provocati anche dall'azione dei roditori, e garantendo il contenimento delle piene negli alvei, delle idrovore e dei manufatti di regolazione, oltre che delle reti irrigue e delle stazioni di pompaggio. Tutti gli interventi di esercizio e manutenzione o costruzione di nuove opere di bonifica e irrigazione prevedono il rispetto e la difesa dell'ambiente; alcuni interventi hanno carattere di vera e propria opera di salvaguardia ambientale, ci si riferisce in particolare a interventi di valorizzazione e salvaguardia dell'Oasi di Campotto e Vallesanta.



**FIGURA 5.9** - Carta del sistema della Bonifica nel comune di Argenta (Amministrazione provinciale di Ferrara)

I canali di bonifica che permettono lo scolo delle acque di una superficie di pianura di 119.129 ettari si sviluppano per 1163 km, sono suddivisi in 404 km a scolo meccanico, 128 a scolo naturale e 631 a scolo naturale intermittente, cioè con scarico condizionato dal livello idrometrico del fiume Reno, 358 km di canali sono arginati e sovrastano la parte più depressa del comprensorio

La parte più depressa del comprensorio di bonifica giace a m. 4.00 sul l.m.m., mentre gli argini del fiume Reno raggiungono quota 18.00 s.l.m. Quando il fiume Reno è in piena, solo le idrovore possono garantire lo sgrondo delle acque della "bassa bolognese", un territorio di circa 45.000 ha nei comuni di Molinella, Baricella, Malalbergo, Minerbio, Budrio, Medicina e Argenta (Fe). Si calcola che in mancanza delle idrovore, nel caso di una piena monosecolare con pioggia diffusa sull'intero bacino del Reno, si possano allagare circa 15000 ha di terreno agricolo e urbano.

Il territorio di pianura del Consorzio è servito da 17 impianti idrovori, tutti situati nelle zone altimetricamente più depresse, nel comune di Argenta troviamo l'impianto Saiarino, Bassarone, Due Luci e Vallesanta, maggiori informazioni riguardo queste idrovore sono riportate in Tabella 5.1.

Un così cospicuo numero di idrovore è dovuto all' esigenza di adeguare progressivamente impianti e rete idraulica al maggior afflusso di acqua proveniente da un territorio sempre più urbanizzato e drenato, per assicurare in tutto il comprensorio il medesimo livello di sicurezza idraulica.

Impianto	Prelievo	Immiss.	anno	p	H. min	H. max	Q. max m <sup>3</sup> /sec	Kw
Saiarino	Lorgana	Emiss. L.	1925	6	1,5	5,2	57,0	2925
Vallesanta	Menata	Sussid.	1925	3	1,5	5,2	27,0	1312
Bassarone	Saiarino	Emiss. L.	1979	2	3,0	7,0	3,0	300
Due Luci	Garda	Idice	1987	2	1,5	4,0	13,0	450
Campotto-Lorgana	Lorgana	Reno	2001	5	6,0	12,5	20,0	1000

**Tabella 5.1** – caratteristiche degli impianti idrovori nel comune di Argenta.

E' in fase di realizzazione l'impianto idrovoero Campotto-Lorgana, scolmatore di piena del sistema scolante di bonifica in sinistra del torrente Idice.

Per il comprensorio in sinistra d'Idice è stato costruito nella località Saiarino, ad ovest di Argenta uno Stabilimento idrovoero che alla massima prevalenza prevista di m. 4.35 ha la portata di mc. 36.60 a minuto secondo; in destra d'Idice è stato costruito lo Stabilimento Vallesanta ha portata di mc. 18.30 alla prevalenza massima di m. 3.30.

Le idrovore di Saiarino e Vallesanta, dotate originariamente di 9 gruppi di pompaggio, con una portata massima ciascuna di 9 mc/sec furono inaugurate nel 1925.

Le valli di Campotto e Vallesanta fanno parte delle opere di bonifica idraulica realizzate dal Consorzio della Bonifica Renana, infatti il sistema idraulico prevede due casse di espansione, Campotto-Bassarone e Vallesanta, nelle quali le acque dei canali di bonifica vengono immagazzinate quando le quote del fiume Reno non ne consentono il deflusso. Si tratta quindi di involi artificiali gravati da servitù idraulica preminente su ogni altra utilizzazione, ma proprio perché indissolubilmente legati al funzionamento del sistema idraulico, ne è garantita e fatta salva la conservazione.

*“Destinate al servizio dei due Stabilimenti idrovori due Casse di espansione, che hanno funzione di moderare le prevalenze col tener immagazzinate le acque sollevate durante le piene del Reno, sempre di breve durata (uno o due giorni). Dette Casse, collocate in aderenza alle Chiaviche di scarico, rendono più facile ed economico il funzionamento delle macchine, le quali male si adatterebbero a versare direttamente in un fiume come il Reno a rapidissimi incrementi e grandi dislivelli. Le Casse hanno ampiezza esuberante alle Acque basse del proprio comprensorio e possono eccezionalmente servire di ristoro anche alle Acque alte. A tal uopo appositi manufatti scaricatori mettono in comunicazione le Acque alte con le Casse. Nella*

*stagione estiva le acque immesse nelle Casse di espansione, o trattenute nei canali di acque alte, o in essi sollevate, possono essere utilizzate per irrigazione e specialmente per la coltura del riso.” (ing. P. Pasini).*

Tale situazione ha permesso la ricostruzione di un habitat costituito da zone perennemente in acqua, alternate a zone in cui crescono boschi rigogliosi, saltuariamente allagati, radure e campi coltivati. La conservazione e l'interesse per tale area hanno dato luogo alla costituzione di un "Comitato dell'Oasi" con compiti di promozione degli interventi per la salvaguardia e la valorizzazione dell'area compresa fra Marmorta, Argenta e Campotto, denominata "Oasi delle valli di Marmorta e Argenta"

#### **5.4. Consorzio Valli di Vecchio Reno**

Il comprensorio del Consorzio di Bonifica Valli di Vecchio Reno ha una superficie di 43.230 ha, ricadenti in parte nella Provincia di Ferrara (Comuni di Argenta, Bondeno, Cento, Ferrara, Mirabello, Poggio Renatico, S. Agostino e Vigarano Mainarda), in parte nella Provincia di Bologna e in parte in provincia di Modena.

All'interno del comune di Argenta il comprensorio occupa 2.869 ha, ed è delimitato a Nord dal tratto terminale dell'Emissario di Burana e il Po di Volano fino alla diramazione del Po di Primaro; a Est dal Po di Primaro da Ferrara al fiume Reno presso la località Tragheto; a Sud dal fiume Reno da Tragheto alla confluenza del fiume Samoggia; a Ovest dal Canale di Cento da Decima fino alla zona Morando.

La formazione e l'evoluzione del territorio consorziale sono strettamente legate alle storiche divagazioni e alluvioni del Fiume Reno, infatti a partire dal II° millennio il progressivo spostamento a nord dei successivi apparati deltizi del Po non consentiva più un recapito soddisfacente dei torrenti appenninici, che spandevano le loro acque in questo territorio di colmata.

Dopo quattro secoli di contese fra Bolognesi e Ferraresi circa la nuova inalveazione artificiale del Reno, soltanto alla fine del XVIII° Secolo venne scelto l'attuale tracciato artificiale, che dalla Panfilia, piegando verso est, tocca Tragheto e da qui raggiunge il mare Adriatico, riutilizzando l'antico alveo del Po di Primaro, opportunamente adattato con svasi e drizzagni.

Si è venuto così a caratterizzare un territorio morfologicamente omogeneo, altimetricamente più elevato dei territori dei Polesini, delimitato verso l'esterno da Panaro, Poatello, Volano, Primaro e Nuovo Reno, formato all'interno da tre grandi sottobacini nei quali operavano un tempo le ex Congregazioni Consorziali del III°, del IV° e del VI° Circondario, idraulicamente aperto solo verso monte, in direzione di S.Giovanni in Persiceto, dove il Canale di Cento attraversa la dorsale di un paleoalveo fra Reno e Panaro.

Dei 432,30 km<sup>2</sup> che costituiscono la superficie totale, 406,12 km<sup>2</sup> sono a deflusso naturale, mentre i restanti 26,18 km<sup>2</sup> sono a deflusso meccanico. L'estensione della rete di canalizzazione è di 647 km di cui 71 km costituiti da canali di scolo, 60 km da canali di irrigazione e 516 km da canali promiscui.

Il Consorzio gestisce attualmente 20 impianti di sollevamento, dei quali ben 16 a scopo irriguo, 3 di scolo e 1 promiscuo, con una potenza complessiva installata di oltre 1.200 Kw per 39 pompe della portata totale di oltre 20 mc/sec.

Il comprensorio del Consorzio di Bonifica Valli di Vecchio Reno è caratterizzato da un'altimetria generalmente elevata e da una morfologia complessa, i margini a nord e a est non si presentano aperti verso valle e costituiti dalla linea Poatello-Volano Primaro, che rappresenta una brusca discontinuità altimetrica e, nei riguardi idraulici, una linea di gronda, sovrastante i territori degli adiacenti Polesini. Al suo interno il comprensorio consorziale degrada dai 22 metri sul livello del mare all'estremo sud-ovest, nei pressi della foce del Torrente Samoggia nel Fiume Reno, fino a meno di 4 metri sul livello del mare in corrispondenza della più pronunciata depressione, nei pressi di Bova di Marrara; esso è attraversato da una complessa rete di dossi rappresentanti delle continue diversioni dell'alveo del Reno succedutesi nei secoli, intervallati da aree di depressione relativa. Il bacino è interamente di pianura e i territori che lo costituiscono sono tutti di bonifica.

I fiumi come il Po, il Reno e il Panaro ne definiscono i confini, scorrendo pensili e poderosamente arginati ai suoi margini, tanto che le acque interne non vi trovano di norma recapito, ma vengono avviate verso il Mare Adriatico attraverso il sistema del Canale di Burana-Po di Volano, che rappresenta il collettore principale del bacino.

L'idrografia dei Polesini è caratterizzata, nelle parti occidentali, da un andamento prevalente da ovest verso est del reticolo dei canali più antichi, mentre risente, nelle parti orientali, del completo asservimento del territorio al sollevamento meccanico delle acque mediante idrovore, realizzato progressivamente negli ultimi centocinquanta anni.

L'idrografia del comprensorio del Consorzio di Bonifica Valli di Vecchio Reno è invece caratterizzata da una marcata complessità, dovuta essenzialmente alla diversità dei recapiti esterni e all'origine ovunque antica del reticolo dei canali, impostato nella forma attuale fra la metà del 1500, nell'area fra Cento e Bondeno, e l'inizio del 1800, nell'area fra Poggio Renatico, S. Bartolomeo in Bosco e Marrara. Le condizioni altimetriche e morfologiche del comprensorio hanno pertanto consentito, fin dai tempi antichi, lo scolo naturale delle acque, che trova eccezione soltanto in corrispondenza di alcune depressioni relative, la cui superficie complessiva non supera il 6 per cento del totale, dotate in tempi moderni di piccoli impianti idrovori.

Il sistema irriguo prevalente può essere definitivo come promiscuo avanzato, poiché consente la distribuzione dell'acqua tramite la canalizzazione di bonifica e privata nella quale vengono mantenuti invasi a quote scalari versando acqua irrigua da monte, presso le origini, ove viene addotta da apposita canalizzazione separata (in alcuni casi promiscua). L'acqua di derivazione proviene interamente dal fiume Po, salvo una derivazione minore dal fiume Reno in località botta Bagnetto, presso Decima di Persiceto.

Le quote relativamente alte del comprensorio (mediamente 8/10 metri sul livello del mare, con minimi e massimi significativi rispettivamente attorno ai 4 e ai 20 metri), se da un lato consentono lo scolo naturale della maggior parte delle reti consorziali, dall'altro rendono molto impegnativa la distribuzione irrigua, che necessita di numerosi punti di sollevamento.

Si è riscontrato che l'uso promiscuo dei canali di bonifica durante il periodo della campagna irrigua, che si estende di norma da aprile a settembre di ciascun anno, determina un effetto di circolazione artificiale, indotta dalle derivazioni a scopo irriguo, che risulta di fatto estremamente significativo ai fini della tutela della qualità delle acque. Si deve infatti rilevare che nella canalizzazione consorziale, successivamente alla fase di esaurimento delle piogge, non resta di norma altra portata, se non quella determinata dalla somma degli scarichi che in essa vengono riversati, derivanti da tutte le attività agricole, industriali e civili che insistono nel comprensorio: ciò sarebbe causa di una situazione di forte degrado dei corsi d'acqua, con stagnazioni e concentrazioni di inquinanti, specie durante i periodi siccitosi, destinata a perdurare anche ammettendo di aver già raggiunto un grado di efficacia generalmente avanzato nella depurazione degli scarichi inquinanti.

L'esperienza pluriennale ha dimostrato che l'incremento artificiale della circolazione d'acqua nei canali di bonifica, operata a fini irrigui, risulta molto positivo ai fini della tutela ambientale, grazie non solo all'effetto di diluizione fisica delle portate, ma anche e soprattutto all'insorgere di fondamentali processi di autodepurazione, che costituiscono un completamento in alveo della funzione degli impianti di depurazione. La grande importanza dell'effetto descritto si evidenzia proprio quando esso viene a mancare, al di fuori della stagione irrigua, e si verificano periodi siccitosi: in tali casi la situazione di degrado dei corsi d'acqua superficiali diviene ben presto insopportabile.

### **5.5. Carta del sistema delle bonifiche (Cod. B.2.5.)**

La maggior parte del territorio allo studio ricade nel comprensorio del Consorzio di Bonifica 2° Circondario Polesine di S. Giorgio; le opere di scolo presenti sul territorio presentano caratteristiche singolari, consistenti nella ripartizione idraulica del territorio in tanti bacini indipendenti l'uno dall'altro (vedere fig. 5.7.b. bacini di scolo), corrispondenti ai "catini naturali"; nei territori degli altri Consorzi la gestione delle acque è impostata sulla separazione delle acque alte da quelle basse, mediante formazione di uno o pochi grandi bacini. I territori dei cinque comuni ricadono totalmente o parzialmente nelle bonifiche di Tersallo, S. Zagno, Sabbiosola-Benvignante, Mezzano NO, Mezzano S.E., Gramigne, Argenta, Martinella-Trava, Umana, Scacerna. Le acque superficiali dei territori oggetto di studio, non avendo un diretto sbocco a mare ed essendo per buona parte altimetricamente sotto il livello del mare stesso, erano in principio scaricate o per gravità o per mezzo di sollevamento meccanico nella Valle del Mezzano; con la bonifica del Mezzano si è creato il Canale Circondariale che serve appunto ad

accogliere le acque che prima scaricavano in esso. Il canale circondariale a sua volta per poter scaricare a mare ha bisogno di un sollevamento tramite l'impianto di Lepri A.A. (portata 117 m<sup>3</sup>/s), che riversa le acque nel canale Navigabile Migliarino-Porto Garibaldi.

In casi di eventi meteorici consistenti, i vari territori si trovano per la maggior parte di essi a dover fare affidamento sul funzionamento della rete di canali di bonifica e degli impianti idrovori su essi insistenti, che seppur mantenuti e sicuramente affidabili, presentano dei limiti. La maggior parte delle opere di bonifica è stata realizzata nei primi anni del 1900, da allora i vari consorzi hanno operato per la gestione, manutenzione e potenziamento; si parla però di opere che, progettate per lo scolo di acque provenienti per lo più dal comparto agricolo, ora devono assorbire il carico d'acqua derivato dalle superfici impermeabilizzate da interventi antropici, che innalzano i coefficienti di deflusso delle terre, con conseguente aumento delle portate di acqua che i canali devono defluire durante gli eventi meteorologici. Seguirà, in questa relazione un capitolo dedicato all'impermeabilizzazione dei suoli.

Nella carta del sistema delle bonifiche vengono riportati tutti i canali che costituiscono la rete scolante, la rete irrigua e la rete promiscua del territorio di pianura dei 5 comuni. Sono individuati i bacini di scolo ed i relativi impianti idrovori, con indicate le portate di emungimento delle pompe presenti. (La fonte bibliografica principale è la carta "Bacini di Scolo", 2004, ricevuta dal Consorzio di Bonifica del II Cicondario Polesine di San Giorgio).

## 6. IL FIUME RENO

Il fiume principale che attraversa l'area dei 5 comuni è il Reno. Il fiume Po di Volano ed il Canale Navigabile, così come il Po di Primaro sono ridotti al rango di canali, in quanto la regimazione delle loro acque è a completo controllo antropico.

Il bacino del Reno si estende dall'Appennino emiliano-romagnolo alla pianura fino alla costa adriatica per un'area totale di 5040 km<sup>2</sup>, è suddiviso in due bacini. Il bacino montano, a monte della chiusa di Casalecchio, corrisponde a quella porzione di territorio in cui le acque di pioggia scorrono sui versanti e si raccolgono in rii e fossi fino a formare i deflussi dei corsi d'acqua più importanti, il bacino vallivo che si estende a valle della chiusa di Casalecchio fino alla foce e corrisponde al territorio rimanente.

Il tratto del Reno rilevante per questo studio è quello che si estende a valle della chiusa di Casalecchio, tale tratto si suddivide in un'asta con opere idrauliche classificate di terza categoria lungo 5,5 km ed in un'asta con opere idrauliche classificate di seconda categoria che si sviluppa per circa 124 km, quest'ultimo tratto si snoda attraverso i territori di pianura delle province di Bologna, Ferrara e Ravenna, vi si immettono, in sinistra il torrente Samoggia, ed in destra il canale Navile, i torrenti Savena Abbandonato, Idice, Sillaro, Santerno, Senio.

Le caratteristiche morfologiche dell'asta in esame sono molto variabili dal momento che sono state influenzate dai mutamenti idraulici che nel tempo hanno determinato l'attuale assetto del fiume Reno. In seguito ai lavori di riassetto idraulico per il recupero e la bonifica dei territori vallivi della bassa pianura bolognese, ferrarese e ravennate il Reno fu inalveato nel 1767, secondo la proposta di Padre Lecchi, attraverso il cavo Benedettino ed il tratto terminale del Po di Primaro, arrivando, attraverso varie opere di sistemazione, ad assumere la configurazione odierna.

Il bacino del fiume Reno è provvisto di sistemi di telerilevamento di pioggia, temperatura e livelli idrici in sezioni significative dei corsi d'acqua principali.

Nell'archivio delle piene del bacino del Reno sono state registrate tutte le piene del bacino a partire dal 1981 fino al 31 gennaio 2004. Con il termine "piena" si indica un evento idraulico in cui si è verificato il superamento del "livello di attenzione" in più sensori idrometrici consecutivi di almeno un corso d'acqua del bacino.

Sulla base di questa serie di piene è stato determinato il valore di livello della "piena ordinaria" almeno in alcune stazioni di rilevamento particolarmente significative quali per esempio quelle alla chiusura dei bacini montani.

Di seguito viene riportata la **Tabella 6.1** che definisce l'altezza di piena ordinaria con i dati aggiornati al 31 gennaio 2004.

n°	Bacino	Teleidrometri	altezza idrometrica della piena ordinaria (1)	max altezza idrometrica d'archivio (2)	delta fra (2 e 1) (in metri)
1	Reno	Vergato	<b>2,74</b>	5,47	2,73
2		Casalecchio Chiusa	<b>1,49</b>	2,55	1,06
3		Cento	<b>7,41</b>	8,72	1,31
4		Gallo	<b>11,14</b>	13,32	2,18
5	Setta	Sasso Marconi	<b>1,75</b>	2,61	0,86
6	Samoggia	Bazzano	<b>1,00</b>	1,59	0,59
7		Forcelli	<b>11,71</b>	14,00	2,29
8	Lavino	Lavino di Sopra	<b>9,56</b>	10,47	0,91
9	C. Navile	Castelmaggiore	<b>9,90</b>	11,42	1,52
10	Savena abb.	Dozza	<b>11,93</b>	13,17	1,24
11	Savena vivo	Pianoro	<b>1,15</b>	1,78	0,63
12	Idice	Pizzocalvo	<b>0,68</b>	1,02	0,34
13		Castenaso	<b>10,06</b>	12,11	2,05
14	Sillaro	Castel S.Pietro	<b>1,37</b>	2,26	0,89
15	Santerno	Codrignano	<b>1,20</b>	1,55	0,35
16	Senio	Castel Bolognese	<b>4,97</b>	6,33	1,36

**Tabella 6.1** – Altezza della piena ordinaria raffrontata ai dati di archivio (archivio delle piene dell'Autorità di Bacino del Reno).

L'utilizzo di questa tabella è utile per capire quando la piena che si sta osservando supera il livello di piena ordinaria e quando comincia ad essere pericolosa, cioè quando supera del livello di max altezza registrata.

Tali dati sono stati tratti da *"Archivio delle piene del bacino del Reno registrate in telemisura quale supporto per il servizio di piena"* ( E. Cerioni, Autorità di bacino del Reno, febbraio 2004).

Le piene esaminate all'interno del lavoro *"Le piene più significative del fiume Reno nel XX secolo"*(E. Cerioni, Autorità di bacino del Reno, aprile 2001) per la loro importanza o per la loro singolarità nel corso del ventesimo secolo sono state tredici.

Ogni piena relazionata ha avuto una singolarità che l'ha contraddistinta:

1 - La piena del marzo 1934 ha prodotto alti livelli nel tronco vallivo per la saldatura di quattro colmi in una unica onda al Gallo e per la concomitanza del colmo di Reno alla Bastia con quello degli affluenti.

2 - La piena del ottobre 1937 ha generato un nubifragio nell'alta vallata del Reno assorbito in parte dal basso livello (per manutenzione) del bacino di Suviana che ha consentito l'accumulo dell'afflusso dei 77 kmq del bacino tributario. Allagamenti a Pavana.

3 - La piena del maggio 1939 ha avuto la particolarità di una laminazione quasi nulla fra Casalecchio e Cento, dovuta al concomitante contributo del Samoggia; grosso apporto d'Idice e Sillaro alla Bastia, quindi alti livelli nella parte terminale di Reno derivati più al contributo degli affluenti romagnoli che a quello del solo Reno.

4 - La piena del novembre 1940 ha prodotto alti livelli nel bacino montano e lungo l'asta arginata fin quasi alla Bastia (superiori a quelli precedentemente registrati), scarso l'apporto del Samoggia; il bacino di Suviana ha avuto la funzione di contenimento con un volume trattenuto pari al 7,7% di quello defluito a Casalecchio. Tracimazioni e rotte al Boschetto ed al Ponte di Bagno.

5 - La piena del novembre 1949 ha evidenziato il sovrapporsi del 4° colmo sul 3° a monte di Cento e lo sfasamento di sole 2 – 3 ore delle punte massime di Reno con quelle di Samoggia, quindi alti livelli a valle di Cento fino al massimo livello di piena registrato al Gallo, superiore a quello max precedentemente registrato nel 1851. 1^rotta al Gallo.

6 - La piena del gennaio 1951 ha prodotto effetti che non si sarebbero verificati se non fosse arrivata dopo la rotta del 27 novembre 1949 con le arginature di fresca impostazione e imbevute dalle piogge del precedente mese di dicembre. 2^rotta al Gallo.

7 - La piena del febbraio 1951 è stata particolarmente imponente e rapida con alti livelli nel bacino montano e con valori mai prima raggiunti nell'alta valle del Reno e lungo l'asta arginata fino alla Panfilia da dove i livelli hanno iniziato a risentire l'effetto di chiamata della rotta; il bacino di Suviana ha avuto funzione di contenimento tanto da trattenere l' 8,7% del volume defluito a Casalecchio. 3^, e più drammatica, rotta al Gallo.

8- La piena del dicembre 1959 è da considerarsi, per il Reno, piena di normale sviluppo fino al Gallo ove i tre colmi si sono ravvicinati nel tempo esaltando il livello al terzo colmo; lo stesso fenomeno si è ripetuto alla Bastia, ovviamente in maniera più accentuata dati i contributi di Sillaro e di Idice; nel Sillaro si è verificata una situazione critica da Sesto Imolese a Passo del Signore; nel Santerno a fronte di franchi elevati nella parte di monte delle opere arginate, si sono verificati sormonti nella zona di Bagnara e del Ducato di Fabriago. Rotta sul Santerno al Ducato di Fabriago.

9 - La piena del novembre 1966 ha avuto la peculiarità della persistenza del livello idrometrico, alla Chiusa di Casalecchio, sopra 2,50 per quasi 5 ore (circa 27.000.000 di mc); questo volume d'acqua notevolissimo ha prodotto il sormonto delle arginature nelle zone delle grandi golene con conseguenti rotte; in tutti i corsi d'acqua del bacino si sono registrate situazioni di pericolo; primo reale utilizzo del Cavo Napoleonico come scolmatore di piena del Reno. Rotte di Reno a Castel Campeggi ed al Boschetto; rotte di Samoggia ai Forcelli e a Lorenzatico; rotta di Senio a Passo Donegallia.

10 - La piena del dicembre 1966 ha prodotto livelli idrometrici notevolmente alti se raffrontati alle piogge e, come nel 1951, a distanza di un mese esondazione in corrispondenza della coronella appena costruita. Sormonto di coronella ed esondazione a Castel Campeggi.

11 - La piena del novembre 1990 sul Reno ha avuto deflussi regolari fino al verificarsi del fontanazzo e della conseguente rotta dell'argine destro nei pressi del (pil. 91); è stata effettuata una manovra di eccezionale impegno sullo sbarramento di Reno

e sul Cavo, con scolmo in Po di circa 73 milioni di metri cubi, effettuato in circa nove giorni, al fine di ridurre il deflusso altrimenti incontenibile sulla rotta. Rotta in corrispondenza del metanodotto SNAM al pil. 91.

12 - La piena del settembre 1994 ha avuto deflussi regolari per il Reno fino quasi alla confluenza del Samoggia, ma a Cento il livello è risultato di soli 4 cm inferiore a quello raggiunto nella precedente piena del novembre 1990, questo senz'altro per l'effetto del maggior contributo di Samoggia; la manovra sul Cavo, con scolmo in Po di circa 15 milioni di metri cubi effettuata in 15 ore è stata notevole tanto che il franco allo sfioratore del Gallo è risultato di 2,00 metri circa e, alla Bastia si è registrato un livello di tutta tranquillità sia per la scarsa portata d'Idice e di Sillaro, sia anche per l'entità dello scolmo in Cavo della piena di Reno.

13 - La piena del novembre 2000 ha avuto la particolarità di svilupparsi con due onde distanziate di circa 70 ore ed ha interessato in misura più consistente soltanto i due corsi d'acqua più lunghi del bacino, il Reno ed il Santerno; la seconda onda di piena è risultata la più gravosa, ma l'interferenza con la prima si è risentita solo nella parte valliva di Reno ove per altro il contributo degli affluenti Idice e Sillaro è stato di scarsa portata; non si è effettuata la manovra di scolmo in Cavo per la concomitanza della piena di Po.

La distribuzione mensile delle massime piene annuali registrate a Casalecchio nel XX secolo evidenzia come il massimo numero di casi si è verificato in novembre, seguito dal mese di dicembre. Di conseguenza le probabilità statistiche dell'evento ripetibile con alti valori di portata pone al primo posto il mese di novembre seguito da quello di febbraio.

Va tenuto comunque presente che tali informazioni hanno solo una valenza storica, in quanto la morfologia e il funzionamento idraulico del fiume sono cambiati, ad esempio le rotte del Gallo non possono costituire un riferimento perché con la realizzazione del cavo Napoleonico, Scolmatore del Reno in Po, non esistono più le condizioni per cui le rotte possano riverificarsi.

Gli aspetti emersi nel corso degli studi idraulici mirati alla stesura del Piano per l'assetto idrogeologico hanno evidenziato che la probabilità di esondazione diminuisce spostandosi in direzione del mare poiché l'insufficienza idraulica non consente di transitare verso valle i colmi di portata e successivamente intervengono le azioni di scolmo del cavo Napoleonico e dello sfioratore del gallo, l'unico intervento è quello di ridurre i colmi di piena e i volumi in transito, infatti un intervento volto all'aumento dell'efficienza idraulica in alcuni tratti risulterebbe in uno spostamento del massimo del rischio verso valle, nelle condizioni attuali, alcune delle porzioni di pianura della provincia di Ferrara possono essere investite da allagamenti in seguito alle esondazioni del Reno per piene a moderata probabilità di accadimento uguali o superiori ai 100 anni, non si rilevano dunque nell'area allo studio zone a rischio molto elevato o elevato.

Nel tratto di valle del Reno la maggior parte dei ponti passibili di sormonti arginali presentano condizioni di crisi, ad esempio il ponte di via Zenzalino a Traghetti entra in pressione per piene centennali, mentre per il ponte FS della linea Bologna-Portomaggiore si ha un franco nullo.

Di seguito vengono riportati i profili longitudinali del fiume Reno per piene con tempo di ritorno 30-25 e 100-200 anni.

Per un maggior dettaglio si rimanda al PSAI stesso, ai suoi studi di analisi ed alle azioni proposte per conseguire gli obiettivi formulati nella relazione generale.



Profilo longitudinale del fiume Reno e iniluppo dei livelli idrici massimi per TR = 25 e 100 anni, con indicazione delle quote significative di ponti e briglie.

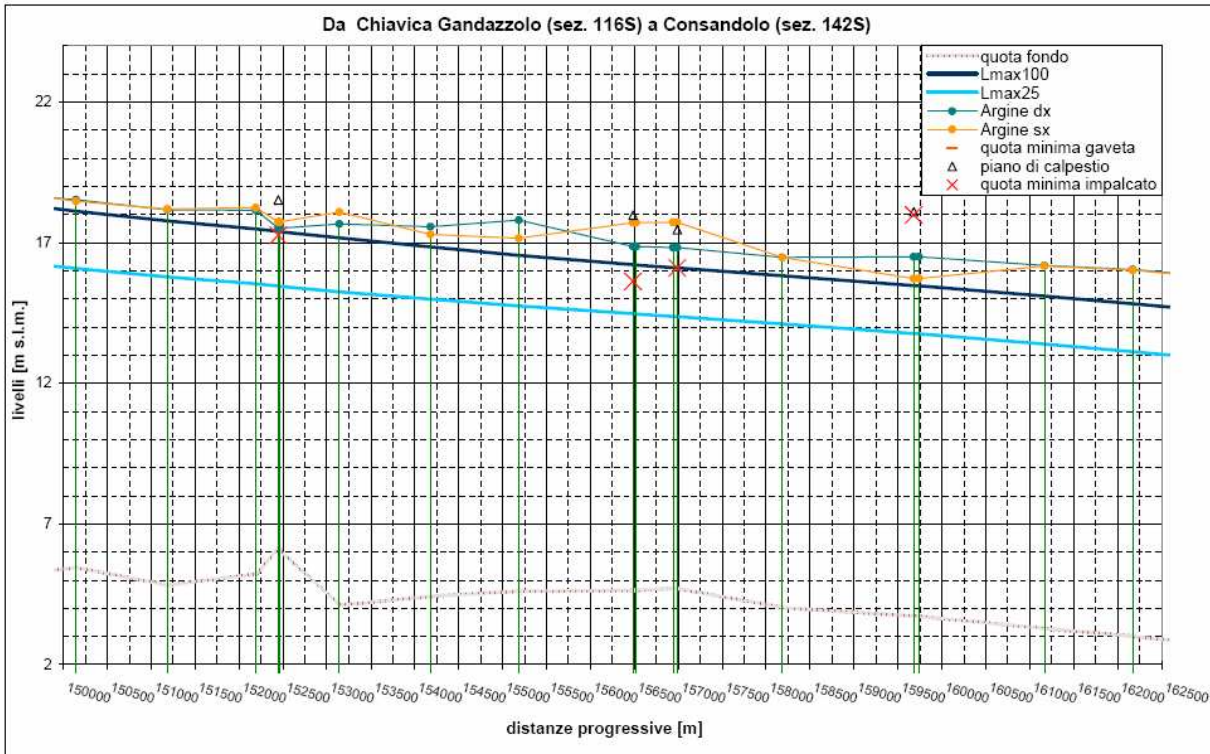


FIGURA 6.1.

Profilo longitudinale del fiume Reno e iniluppo dei livelli idrici massimi per TR = 25 e 100 anni, con indicazione delle quote significative di ponti e briglie.

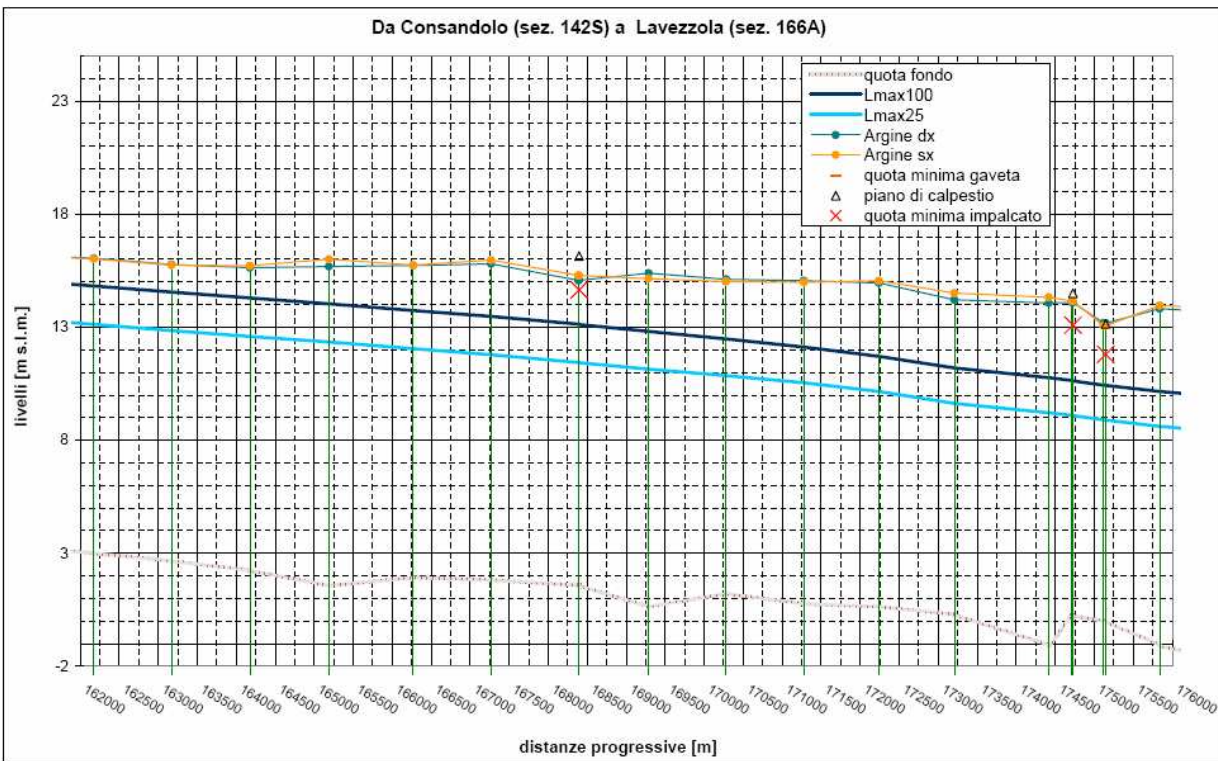


FIGURA 6.2.

Profilo longitudinale del fiume Reno e involucro dei livelli idrici massimi per TR = 25 e 100 anni, con indicazione delle quote significative di ponti e briglie.

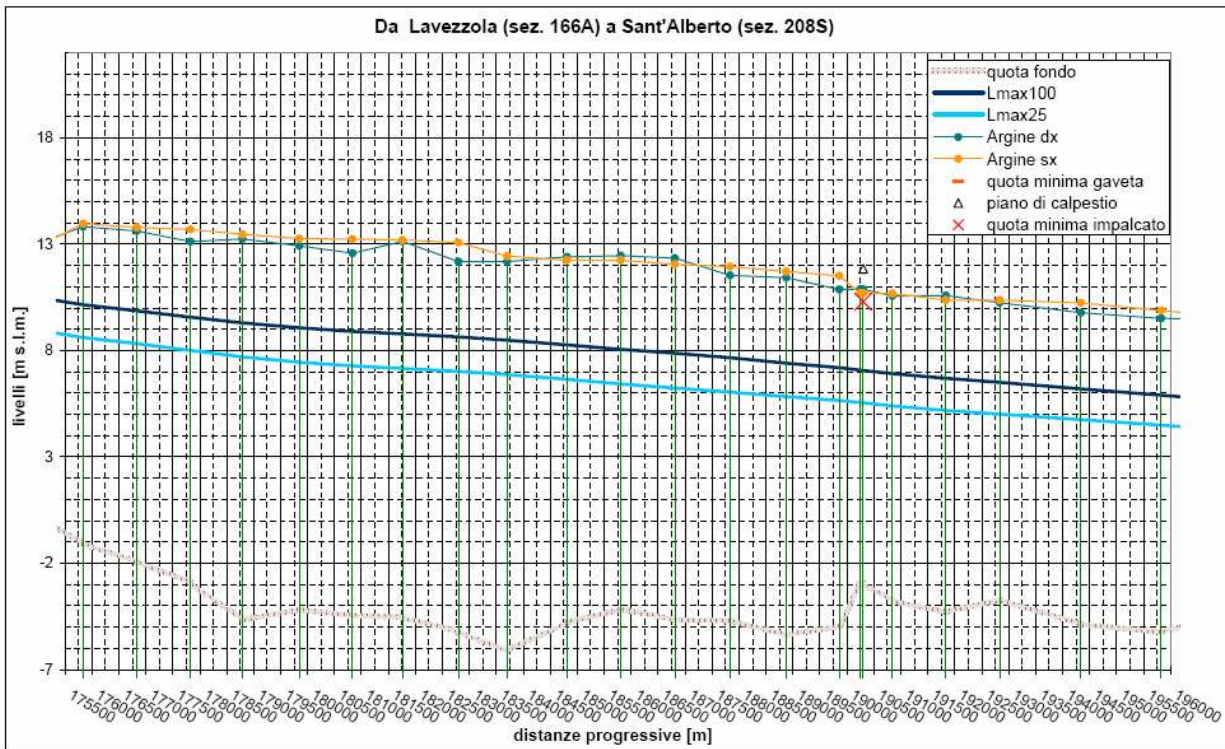


FIGURA 6.3.

Profilo longitudinale del fiume Reno e involucro dei livelli idrici massimi per TR = 25 e 100 anni, con indicazione delle quote significative di ponti e briglie.

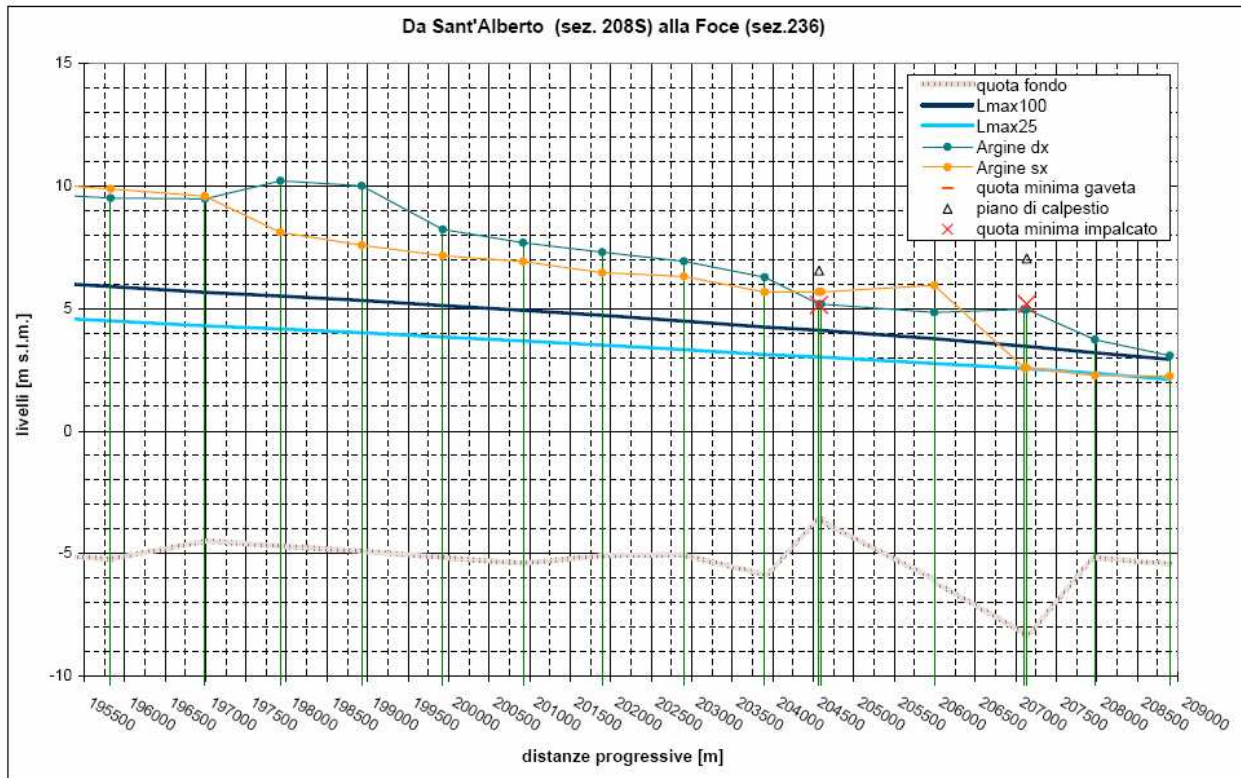


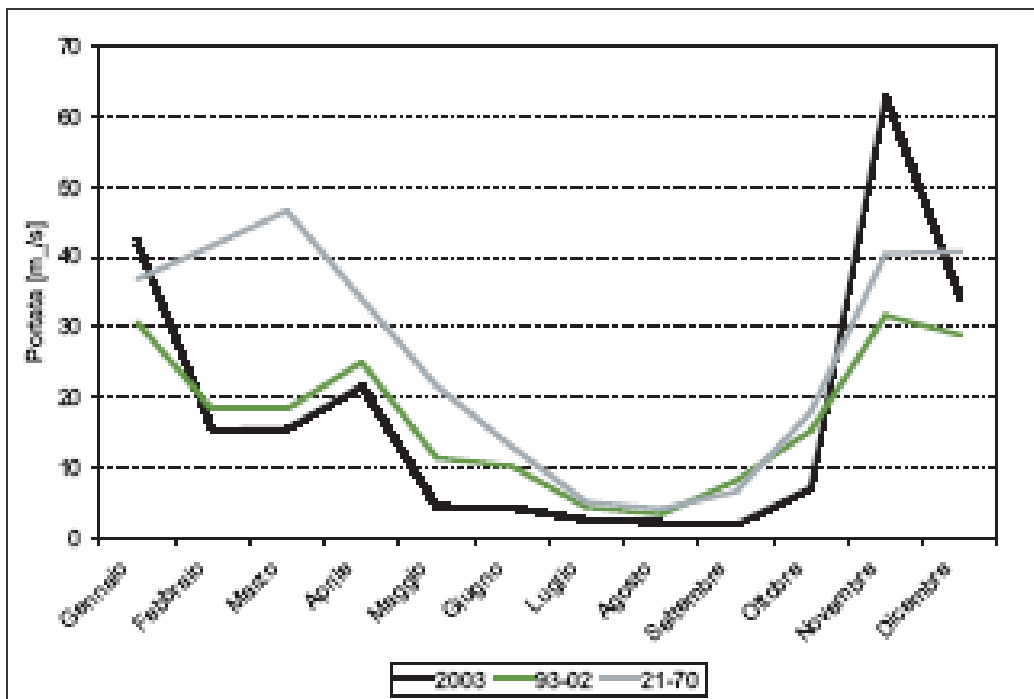
FIGURA 6.4.

Per il tratto argentano del fiume Reno non sono segnalati fenomeni di sortia o fontanazzi.

E' attualmente in corso uno studio sul trasporto di fondo del fiume, a cura dell'Università di Ferrara, Dipartimento Scienza della Terra, mentre da parte dell'Università di Bologna, Facoltà di Agraria è in corso lo studio sul trasporto in sospensione. Occorreranno alcuni anni di campionamenti per avere i primi dati sicuri.

La portata media di un fiume, relativamente ad un lungo periodo di osservazione, è un indice della sua ricchezza d'acqua, e la sua conoscenza è utile nello studio dei fattori che intervengono a modificare l'andamento delle portate da un periodo all'altro. Sono a questo proposito chiamati in causa le portate medie mensili del fiume Reno, sono stati mediati i valori di portata media mensile ed annuale del fiume.

In **FIGURA 6.6** vengono mostrati il grafico e la tabella degli andamenti temporali delle portate medie mensili alla sezione idrometrica di Reno a Casalecchio.



ANNO	PORTATE MEDIE MENSILI												Q media annua m³/s
	gennaio	febbraio	marzo	aprile	maggio	giugno	luglio	agosto	settembre	ottobre	novembre	dicembre	
<b>2003</b>	42,11	15,38	15,49	21,56	4,45	4,21	2,48	2,11	1,81	7,03	62,24	34,32	17,79
<b>1993-2002</b>	30,67	18,30	18,29	11,30	11,30	10,17	4,28	3,24	8,02	15,16	31,59	28,86	16,71
<b>1921-1970</b>	36,80	41,60	46,60	21,60	21,60	13,00	5,06	4,08	6,46	17,80	40,40	40,80	22,90

**FIGURA 6.6** – Andamenti temporali delle portate medie mensili alla sezione idrometrica di Reno a Casalecchio nell'anno 2003, nel decennio 1993-2002 e nel quinquennio 1921-1970. (Annuario regionale dei dati ambientali 2004-Arpa Emilia-Romagna)

## **7. AREE STORICAMENTE ALLAGATE (Cod. B.2.6.)**

Sono state fornite dagli Enti committenti delle cartografie redatte dall'Amministrazione Provinciale di Ferrara e dai Consorzi di Bonifica in cui sono riportate le aree storicamente allagate, classificate poi in funzione del tempo di persistenza degli allagamenti.

Sono stati considerati gli allagamenti che si sono manifestati dal 1986 al 2001, classificati in funzione del solo anno di verifica dell'evento. Le aree così perimetrare sono poi state classificate in funzione del tempo di persistenza delle acque sulle campagne allagate.

L'utilizzo di questa cartografia viene utile nella fase di redazione di carte di sintesi sulle criticità idrauliche del territorio.

## 8. EVOLUZIONE GEOLOGICA DELL'AREA

### 8.1. Geologia regionale

Centinaia di milioni di anni fa, in corrispondenza dell'attuale Pianura Padana, si estendeva il 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.

### 8.2. 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.

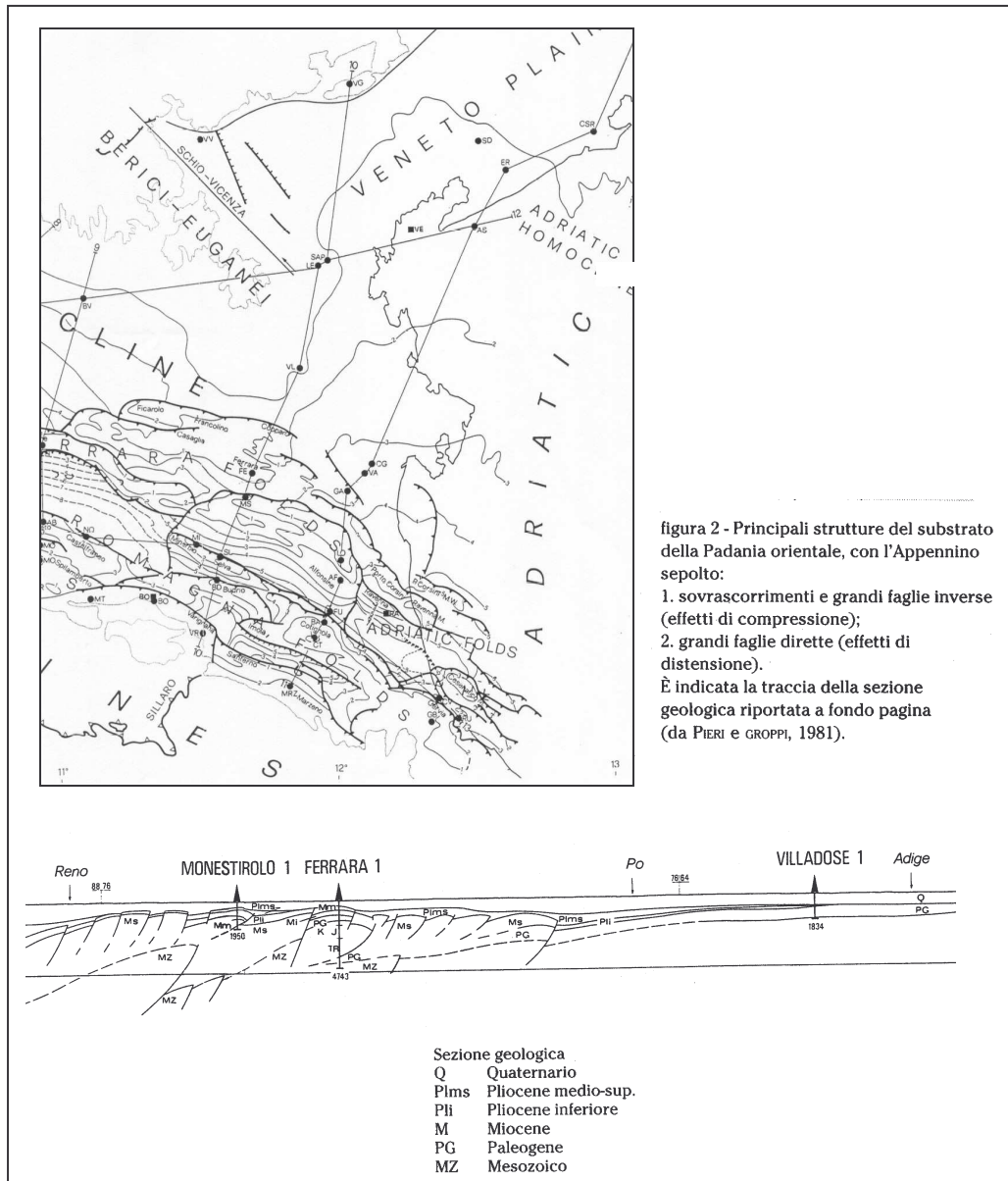
Si è avuta così la formazione di gruppi di pieghe e di un fitto sistema di faglie con direzione NNW-SSE; WNW-ESE e N-S, e la suddivisione dell'area padana in settori dislocati da paleofaglie che hanno determinato situazioni di bacino e di alto locale, caratterizzati da una diversa evoluzione.

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 8.1**).



**FIGURA 8.1 – Principali strutture del substrato della Padania.**

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.

L'andamento anticlinalico e sinclinalico fa variare lo spessore dei sedimenti plioquaternari; per esempio tra il Mezzano e Casal Borsetti il tetto del prepliocene è a 2800 metri, tra Longastrino ed il Mezzano meridionale c'è un alto strutturale ed il tetto è a 800 metri circa, tra Comacchio e Portograribaldi una forte subsidenza di origine tettonica ha permesso la deposizione di uno spessore variabile fra i 3200 ed i 4800 metri circa di sedimenti (D. Vincenzi, E. Valpreda, G. Lenzi et Alii, 1989).

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.

### 8.3. Geologia di dettaglio

Il territorio della provincia di Ferrara non presenta grandi peculiarità dal punto di vista geologico.

In superficie la zona è stata in gran parte interessata dall'attività deposizionale del Po, che ha colmato con i suoi materiali prevalentemente fini anche le possibili disuguaglianze stratigrafiche e strutturali.

Il problema specifico riguardante la classificazione dei litotipi affioranti nella pianura ferrarese deve essere necessariamente ricondotto ad una classificazione granulometrica dei terreni, i terreni affioranti sono infatti depositi clastici di origine alluvio-fluviale, cronologicamente databili al Quaternario continentale, mancando elementi paleontologici di distinzione.

Si procede ora alla descrizione dei depositi che caratterizzano l'area allo studio desunti dalla Carta Geologica di Pianura dell'Emilia Romagna, scala 1:250.000.

In generale si può affermare che la distribuzione dei vari tipi litologici non è omogenea ma legata al reticolo idrografico dei rami del Po che anticamente divagavano nella zona in esame. Così i terreni sabbiosi sono localizzati principalmente in corrispondenza di antichi alvei fluviali o di loro coni di esondazione, i materiali più fini si sono invece depositati principalmente nelle pianure alluvionali in seguito a straripamento dei fiumi o rotta degli argini naturali.

Partendo da ovest si può notare come l'area sia interamente caratterizzata da depositi di piana deltizia, sono depositi di canale distributore e di argine, si tratta in prevalenza di sabbie da medie a fini in strati di spessore decimetrico passanti lateralmente ed intercalate a sabbie fini e finissime limose, localmente si tratta di sabbie grossolane in corpi lenticolari e nastriformi. Questi depositi mettono ben in evidenza i tracciati dei paleoalvei, si possono infatti osservare i tracciati del Po di Primaro, del Po di Volano e del Padoa-Padovetere.

Tali depositi sono occasionalmente interrotti da lenti di varia estensione areale, si tratta sempre di depositi di piana deltizia, ma sono tipici di ambienti di palude, sono costituiti da limi e limi argillosi intercalati in strati decimetrici, localmente caratterizzati da livelli organici parzialmente decomposti.

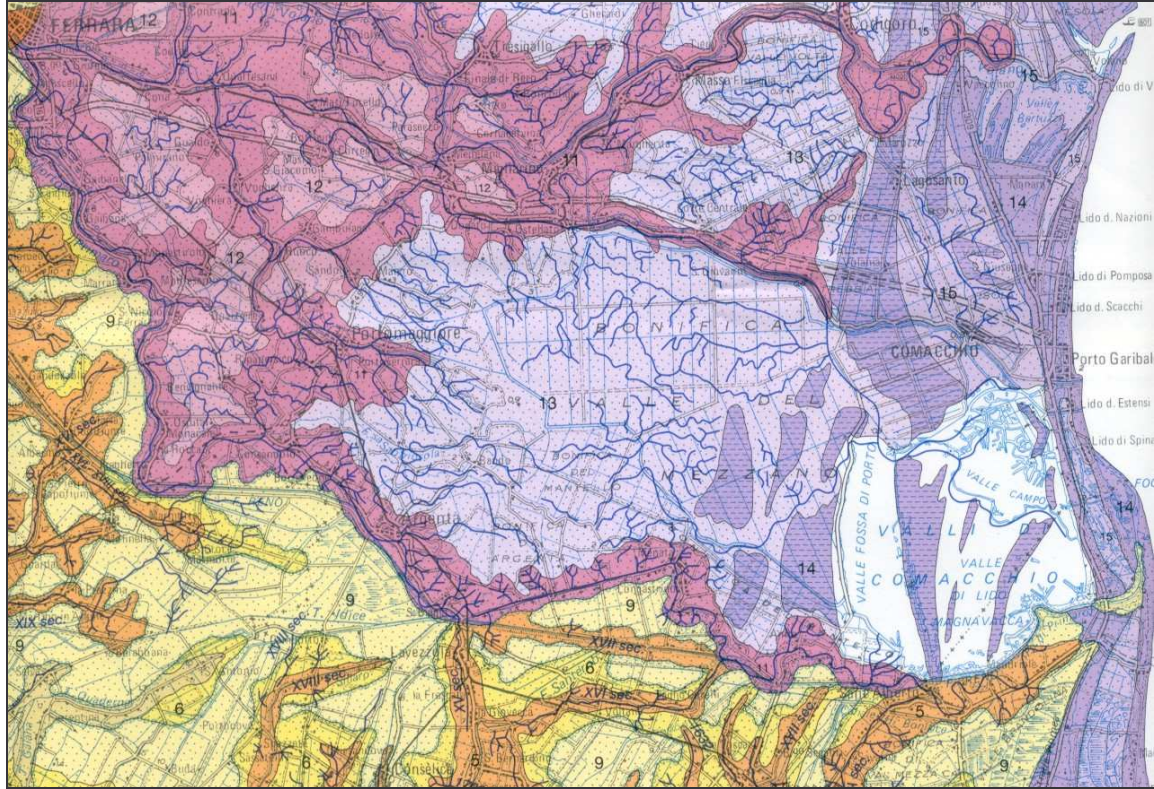
Procedendo da ovest verso est si può notare come i depositi sopra citati si riducano considerevolmente, limitandosi alle aree coincidenti con le tracce dei paleoalvei, mentre si diffondono i depositi di baia interdistributrice, caratterizzati da argille limose, limi e sabbie finissime in strati decimetrici intercalati a livelli torbosi e/o a sostanza organica parzialmente decomposta, localmente presentano gusci di molluschi, sabbie fini e finissime limose in sottili corpi nastriformi. Questi depositi sono tipici di aree bonificate come la Bonifica Valle Volta, la Bonifica Valle Gallare, e la Bonifica di Valle del Mezzano.

I depositi di piana deltizia descritti fin ora si estendono fino al limite orientale dell'area indagata dove vengono interrotti dai depositi di piana di sabbia e fronte deltizia, si tratta di depositi di cordone litorale e dune eoliche, testimonianza della esistenza di antiche linee di costa, caratterizzati da sabbie medie e fini con intercalati livelli decimetrici di gusci di molluschi, subordinatamente livelli di limi sabbiosi e di sostanza organica parzialmente decomposta. Rinvenibili nell'estremità orientale della bonifica valle del Mezzano.

L'unità pedostratigrafica associata ai depositi di piana deltizia è caratterizzata da depositi ai primi stadi di alterazione, con fronte di alterazione minore di un metro (Olocene: tardo antico, VI secolo d.C.); mentre l'unità pedostratigrafica associata ai

depositi di piana di sabbia e fronte delizia è caratterizzata da depositi a basso grado di alterazione, con fronte di alterazione maggiore di un metro (Olocene: Mesolitico).

Si riporta in **FIGURA 8.2** uno stralcio della Carta geologica di Pianura dell'Emilia Romagna dove si possono osservare le distribuzioni areali dei depositi sopradescritti.



**Regione Emilia Romagna**  
DIREZIONE GENERALE "SISTEMI INFORMATIVI E TELEMATICA"  
Servizio Sistemi Informativi Geografici  
Ufficio Geologia

**CARTA GEOLOGICA DI PIANURA DELL'EMILIA-ROMAGNA**  
**GEOLOGICAL MAP OF THE EMILIA-ROMAGNA PLAIN**  
a cura di Domenico PRETI

**DEPOSITI ALLUVIONALI ALLUVIAL DEPOSITS**  
**CONOIDI E TERRAZZE ALLUVIONALI ALLUVIAL FAN AND TERRACE**

**1** Ghiaie e sabbie in corpi canalizzati a lenticolari amalgamati, intercalate a sabbie e limi e in strati di spessore decimetrico. Depositi di conoidi e di terrazzo.  
At the top and within, soils of various degree of evolution.  
At the top and within, soils of various degree of evolution.

**2** Sabbie, limi sabbiosi e limi, in strati di spessore decimetrico, ghiaie sabbiose e sabbie in corpi canalizzati a lenticolari. Depositi di conoidi e di terrazzo.  
At the top and within, soils of various degree of evolution.  
At the top and within, soils of various degree of evolution.

**3** Limi e limi argillosi in strati di spessore decimetrico, subordinatamente ghiaie e ghiaie sabbiose in corpi canalizzati a lenticolari. Depositi di conoidi e di terrazzo.  
At the top and within, soils of various degree of evolution.  
At the top and within, soils of various degree of evolution.

**4** Ghiaie, sabbie, limi e limi argillosi. Depositi alluvionali indifferenti.  
Ghiae, sabbie, limi e clayey silts. Undifferentiated alluvial deposits.

**5** Sabbie medie e fini in strati di spessore decimetrico passanti lateralmente ed intercalate a sabbie fini e finissime limose, subordinatamente limi argillosi; localmente sabbie medie e grossolane in corpi lenticolari a nastriiformi. Depositi di canale e argine proximale.  
At the top and within, soils of various degree of evolution.  
At the top and within, soils of various degree of evolution.

**6** Limi sabbiosi, sabbie fini e finissime, argille limose e subordinatamente sabbie limose-argillose intercalate in strati di spessore decimetrico. Depositi di argine distale.  
At the top and within, soils of various degree of evolution.  
At the top and within, soils of various degree of evolution.

**7** Sabbie medie e fini, limi e argille limose intercalati in strati di spessore decimetrico, localmente sabbie medie e grossolane in corpi lenticolari a nastriiformi. Depositi di canale e argine intermedie.  
At the top and within, soils of various degree of evolution.  
At the top and within, soils of various degree of evolution.

**8** Limi argillosi e limi sabbiosi, subordinatamente sabbie fini e finissime, in strati di spessore decimetrico; localmente sabbie in corpi lenticolari a nastriiformi. Depositi di canale e argine intermedie.  
At the top and within, soils of various degree of evolution.  
At the top and within, soils of various degree of evolution.

**9** Argille limose, argille e limi argillosi laminati, localmente concentrati di materiali organici parzialmente decomposti. Arene interfluviali e depositi di palude.  
At the top and within, soils of various degree of evolution.  
At the top and within, soils of various degree of evolution.

**10** Sabbie medie e grossolane subordinatamente ghiaie e ghiaie sabbiose, limi e limi sabbiosi in strati di spessore decimetrico. Depositi di piana a meandro.  
At the top and within, soils of various degree of evolution.  
At the top and within, soils of various degree of evolution.

**DEPOSITI DELTIZI E LITORALI DELTIC AND LITTORAL DEPOSITS**

**PIANA DELTIZIA DELTA PLAIN**

**11** Sabbie da medie a fini in strati di spessore decimetrico passanti lateralmente ed intercalate a sabbie fini e finissime limose, localmente sabbie grossolane in corpi lenticolari a nastriiformi. Depositi di canale distributore e di argine.  
At the top and within, soils of various degree of evolution.  
At the top and within, soils of various degree of evolution.

**12** Limi e limi argillosi intercalati in strati decimetrici, localmente limi organici parzialmente decomposti. Depositi di palude.  
At the top and within, soils of various degree of evolution.  
At the top and within, soils of various degree of evolution.

**13** Argille limose, limi e sabbie finissime in strati decimetrici intercalati a livelli torbosi e li sabbie limose in corpi canalizzati a lenticolari. Depositi di canale distributore e di argine.  
At the top and within, soils of various degree of evolution.  
At the top and within, soils of various degree of evolution.

**PIANA DI SABBIA E FRONTE DELTIZIA SAND PLAIN AND DELTIC FRONT**

**14** Sabbie medie e fini con intercalati limi decimetrici di galei di molluschi, subordinatamente livelli di limi sabbiosi e di sabbie organiche parzialmente decomposte. Depositi di conoidi e di argine.  
At the top and within, soils of various degree of evolution.  
At the top and within, soils of various degree of evolution.

**15** Limi, sabbie e sabbie fini, limi decimetrici di sostanza organica decomposta, intercalati a sabbie fini e a limi argillosi; subordinatamente limi argillosi; localmente sabbie medie e grossolane in corpi lenticolari a nastriiformi. Depositi di canale distributore e di argine.  
At the top and within, soils of various degree of evolution.  
At the top and within, soils of various degree of evolution.

**UNITA' PEDOSTRATIGRAFICHE PEDOSTRATIGRAPHIC UNITS**

Depositi di primi stadi di alterazione, fronte di alterazione ~ 1m (SD-100 cm).  
At the top and within, soils of various degree of evolution.  
At the top and within, soils of various degree of evolution.

Depositi di basso grado di alterazione, fronte di alterazione ~ 1m (100-150 cm).  
At the top and within, soils of various degree of evolution.  
At the top and within, soils of various degree of evolution.

Depositi di medio grado di alterazione, fronte di alterazione da 1,5 a 3 m.  
At the top and within, soils of various degree of evolution.  
At the top and within, soils of various degree of evolution.

Depositi con grado di alterazione molto elevato, con spessore del fronte di alterazione da 4 a 10 m.  
At the top and within, soils of various degree of evolution.  
At the top and within, soils of various degree of evolution.

traccia di canale estroso  
channel terrace

traccia di canale estroso interpretata  
channel terrace (interpreted)

ventaglio di sabbia  
ovalevate silt

XV sec. est. 1700 - XI sec. est. 1700 - XI sec.

limite del bacino di provenienza e deposizione del sedimento  
limit of sediment provenance and deposition basin



## 9. 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.

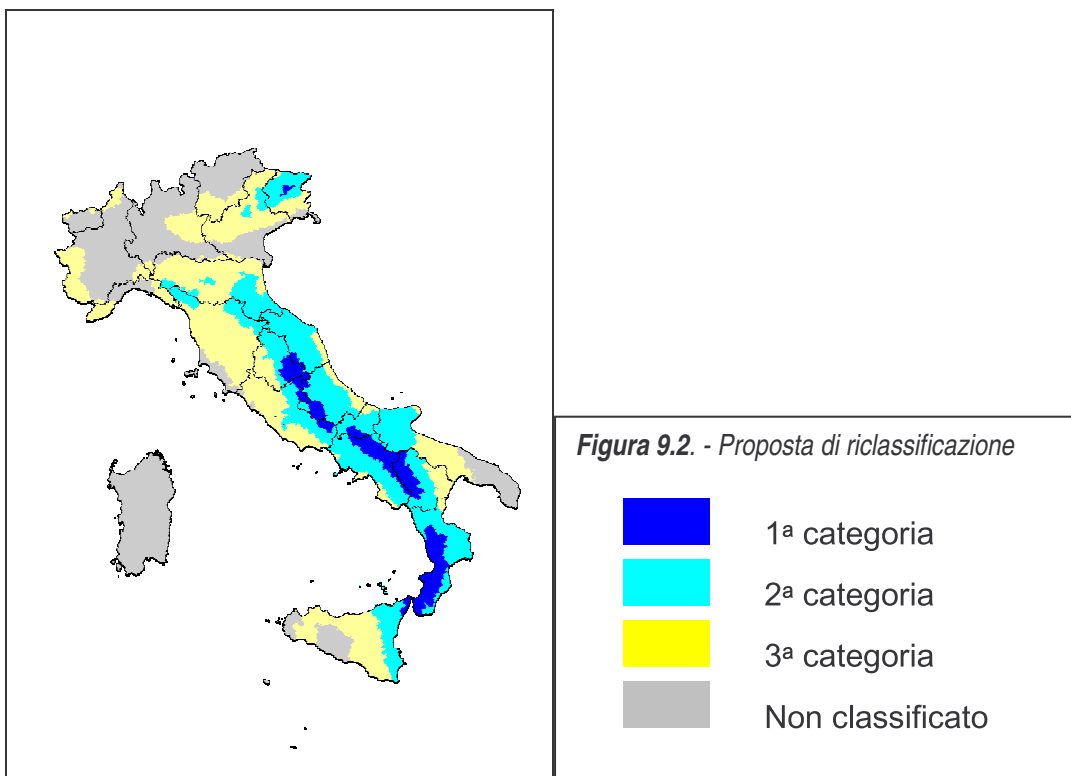
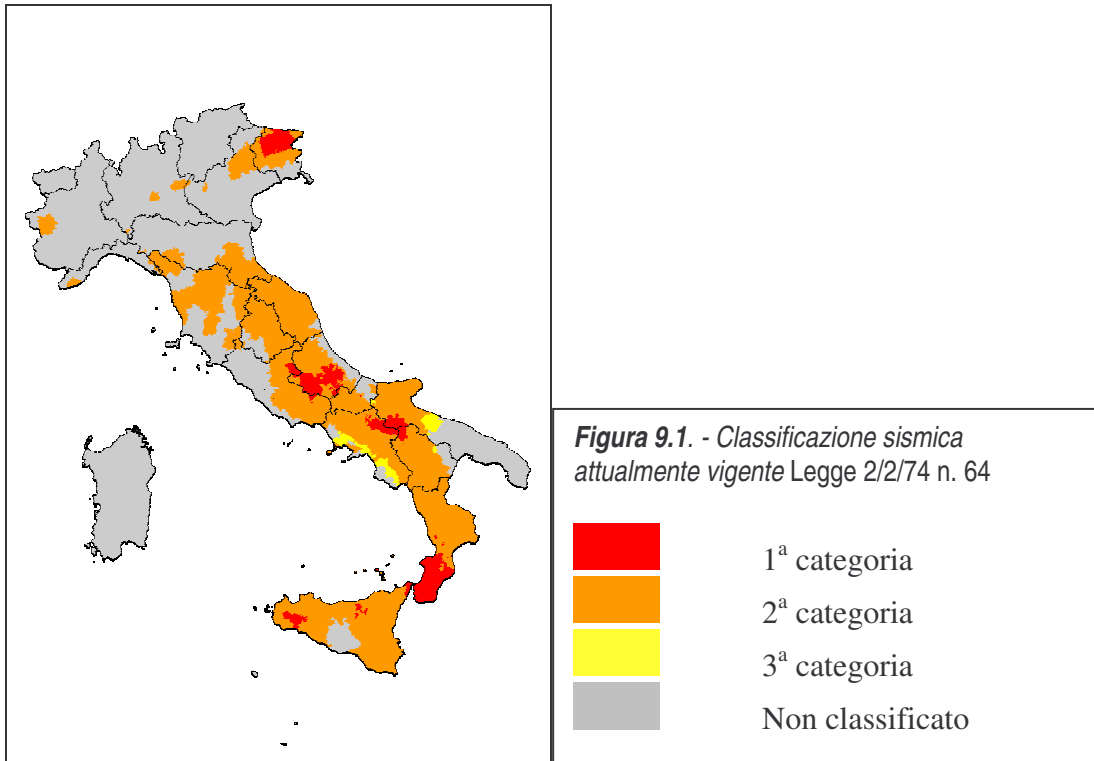
Un terremoto rappresenta un rischio qualora nelle aree colpite dall'evento vi sia la presenza di edifici, costruzioni e impianti. In un'area intensamente popolata, quale l'Italia, la strategia di difesa dai terremoti è pertanto prevalentemente impostata sull'elaborazione di un'adeguata normativa sismica 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 24ore, 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 compreso dall'associazione dei comuni dal rischio sismico, non inserendolo in nessuna delle tre categorie , come visibile in **FIGURA 9.1**.

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 9.2.** 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 9.1**.

<b>Decreto fino al 1984</b>	<b>GdL 1998</b>	<b>Classificazione 2003</b>
S = 12	Prima categoria	Zona 1
S = 9	Seconda categoria	Zona 2
S = 6	Terza categoria	Zona 3
Non Classificato	N.C.	Zona 4

**Tabella 9.1** – 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 9.3**.

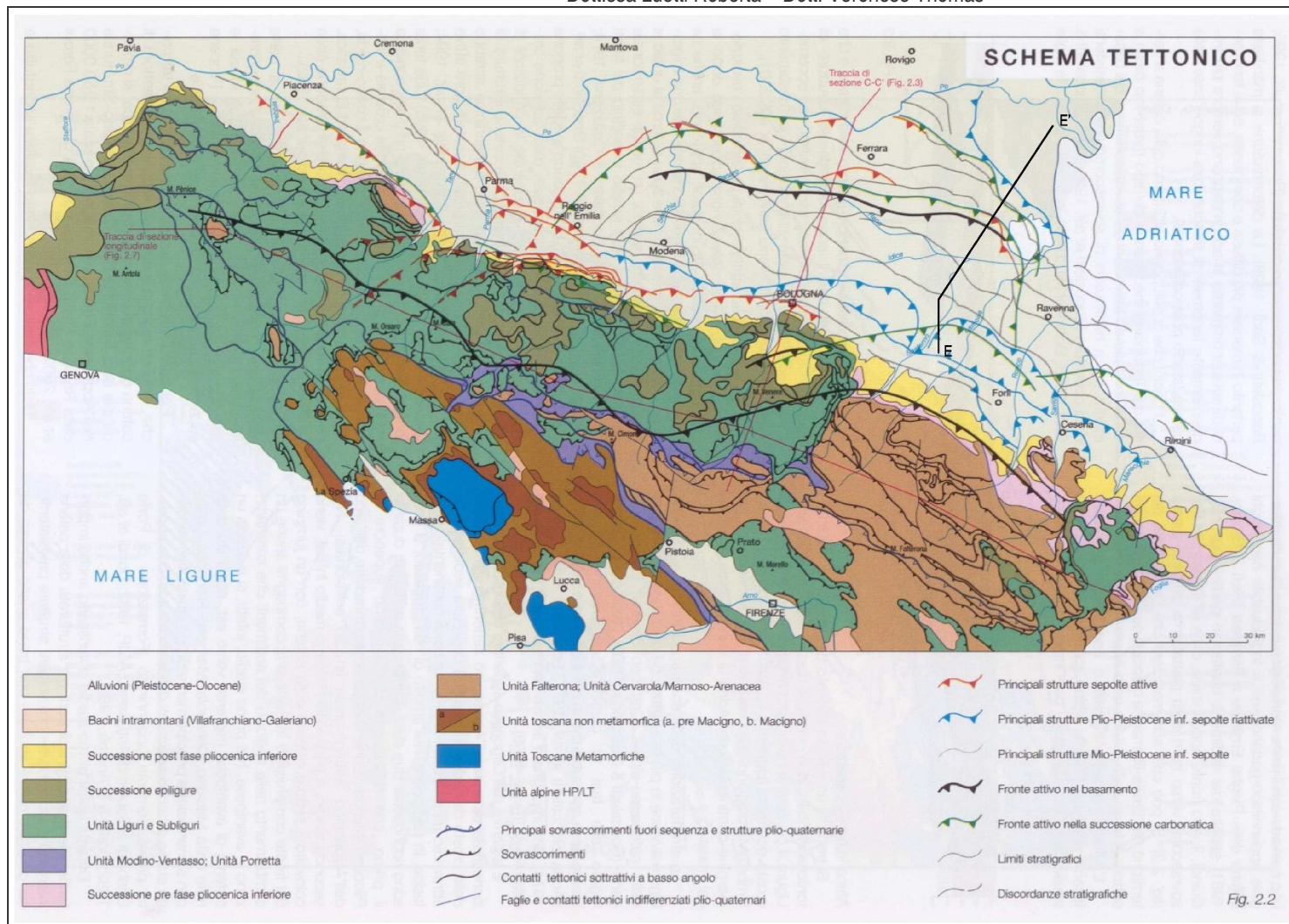


FIGURA 9.3. - "Schema Tettonico", tratto da "Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna" a cura di Luca Martelli e Mario Boccaletti (2004)

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 9.4**).

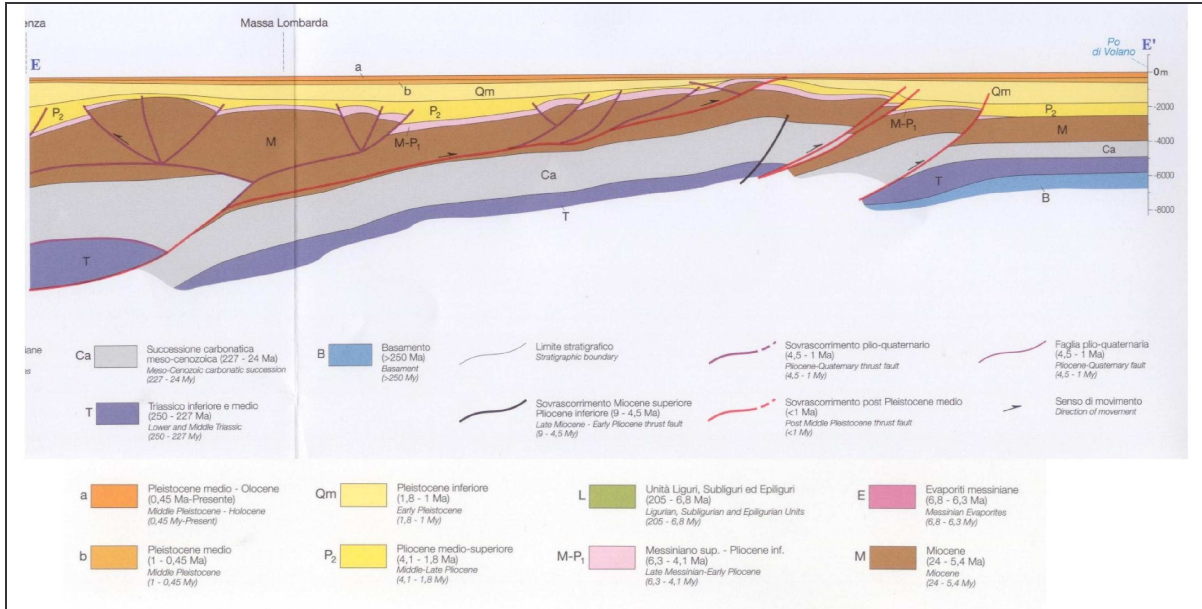


FIGURA 9.4. – profilo geologico lungo la sezione E-E' riportata in FIGURA 9.3.

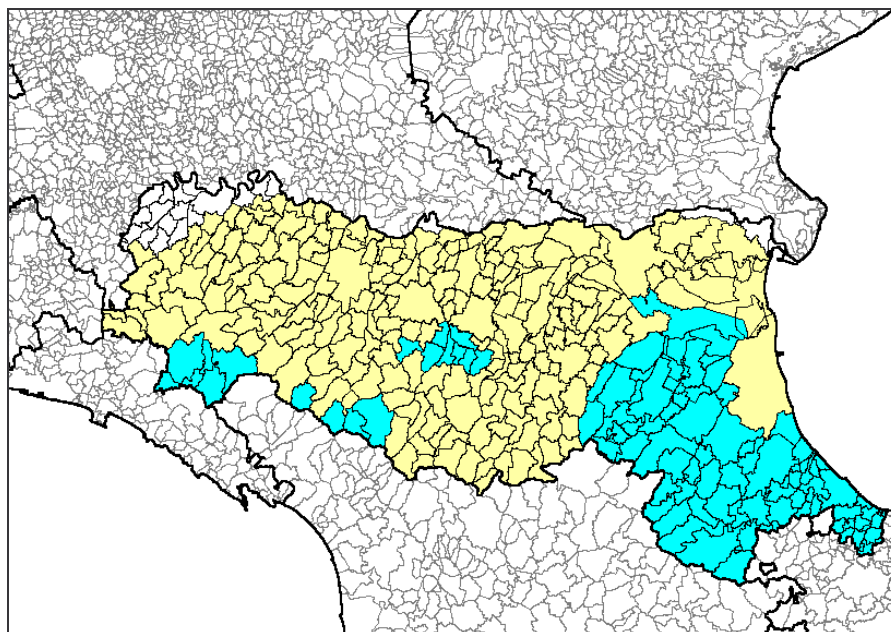
Quindi, il vero fronte appenninico, circa all'altezza del Po, sovrascorre verso nord sulla piattaforma padano-veneta. Si può così schematizzare che l'evoluzione del territorio dell'Emilia Romagna coincide con l'evoluzione del settore esterno della catena nord-appenninica.

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.

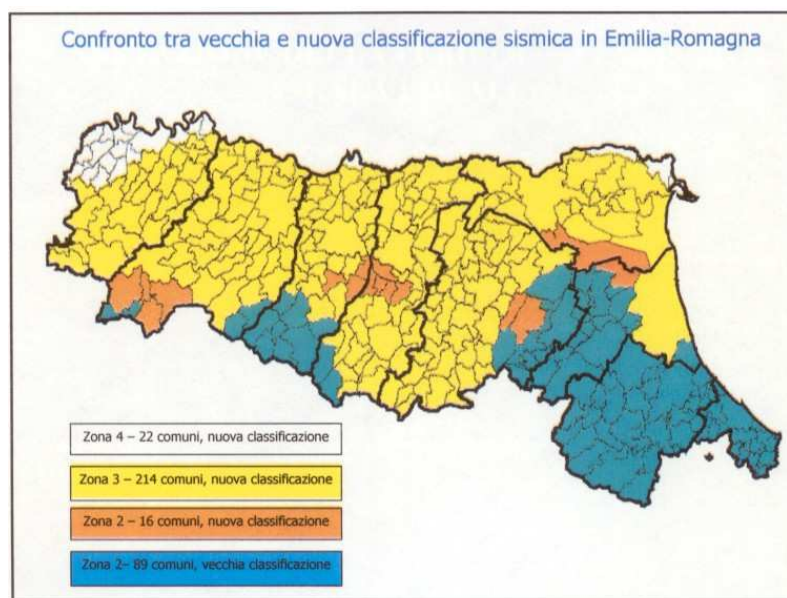
L'avanzamento dei *thrusts* vergenti verso nord-est causano un abbassamento della crosta terrestre che da origine alla avana fossa appenninica su cui sono accumulati i sedimenti quaternari.

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 9.5**.



**FIGURA 9.5.** – Nuova zonizzazione sismica del territorio regionale, dettaglio relativo alla Regione Emilia-Romagna.

Di seguito si riporta la **FIGURA 9.6.** con il confronto tra la vecchia e la nuova classificazione sismica in Emilia-Romagna. Per quanto riguarda i 5 comuni si nota come il comune di Argenta ricade nella Zona 2, mentre gli altri 4 comuni ricadono nella Zona 3.



**FIGURA 9.6.** – confronto tra la nuova classificazione sismica e la precedente.

### 9.1 Classificazione sismica dei cinque comuni

La nuova classificazione sismica del territorio dei comuni della provincia di Ferrara (**Tabella 9.2**) evidenzia la coesistenza di zone di media sismicità, Argenta in zona 2 (**FIGURA 9.7**), e bassa sismicità, Migliarino, Ostellato, Portomaggiore e Voghiera in zona 3.

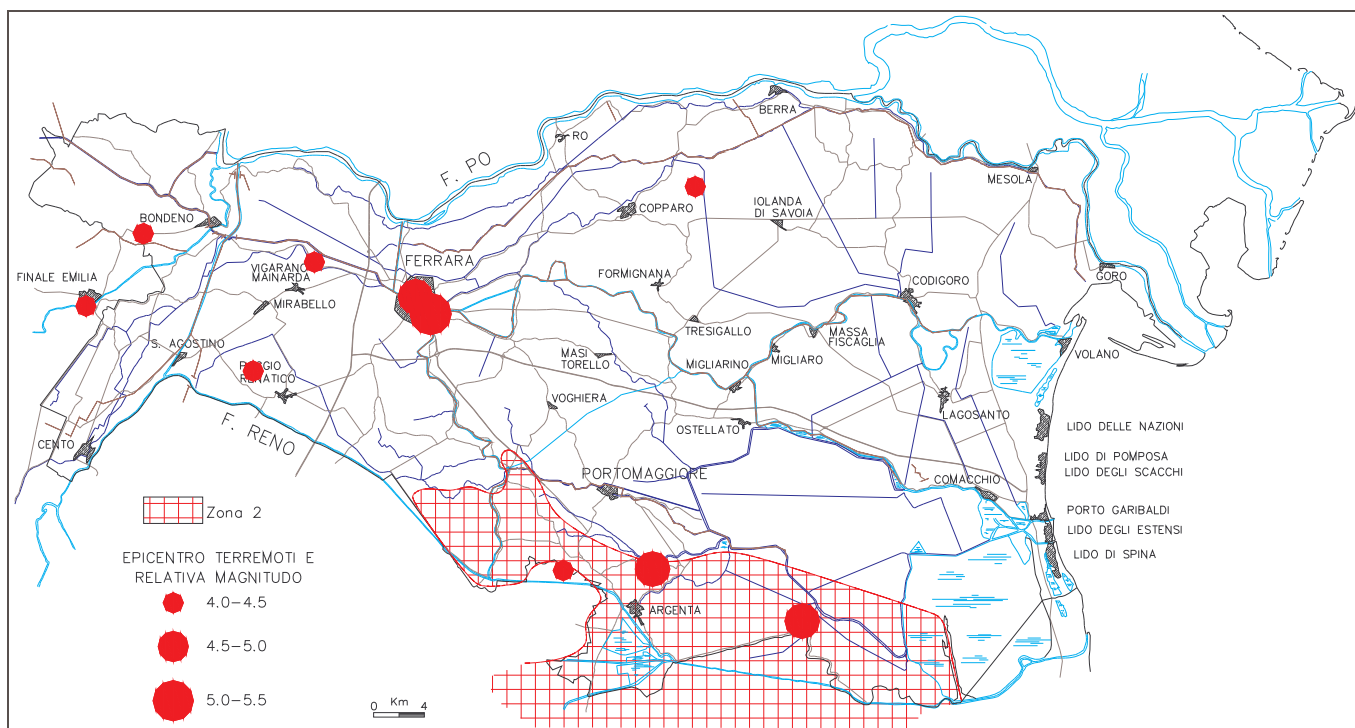


Figura 9.7 - L'andamento del limite della zona 2 per il territorio provinciale (Servizio Geologico d'Italia & RER, 2002 ridisegnato). Sono riportati gli epicentri dei terremoti verificatisi nel territorio provinciale e l'intervallo di magnitudo degli eventi.

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)
Argenta	4	2	2
Migliarino	4	3	3
Ostellato	4	3	3
Portomaggiore	4	3	3
Voghiera	4	3	3

Tabella 9.2 - Confronto classificazioni sismiche dei comuni 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 9.8.). L'area in esame è caratterizzata da bassi valori di intensità macrosismica nella parte settentrionale, mentre i settori più meridionali sono contraddistinti da valori più elevati.

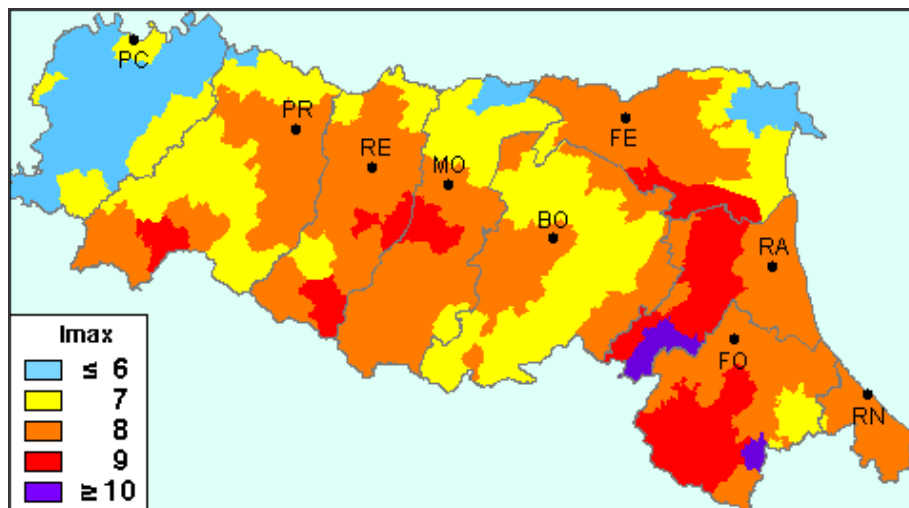
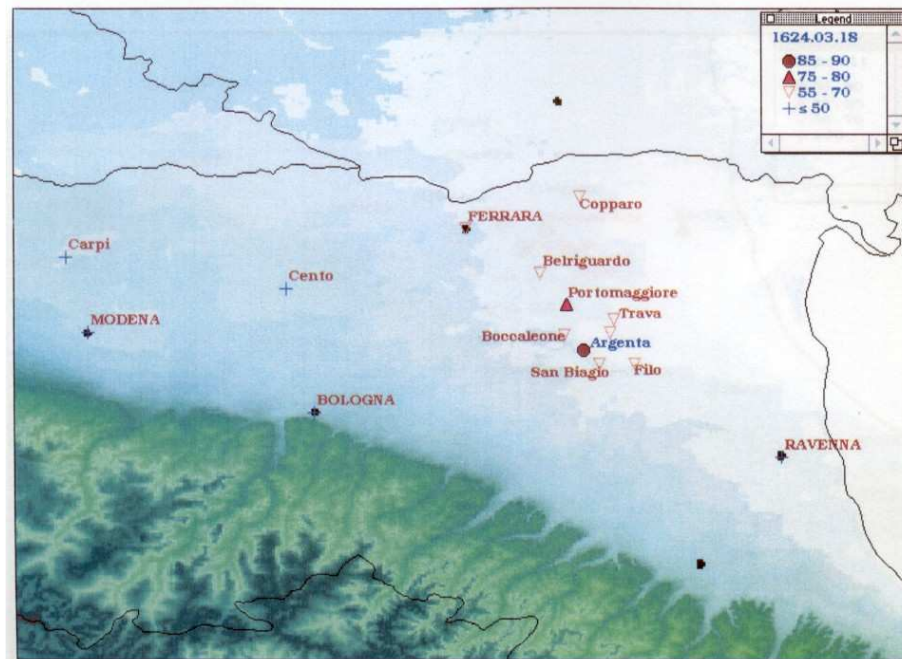
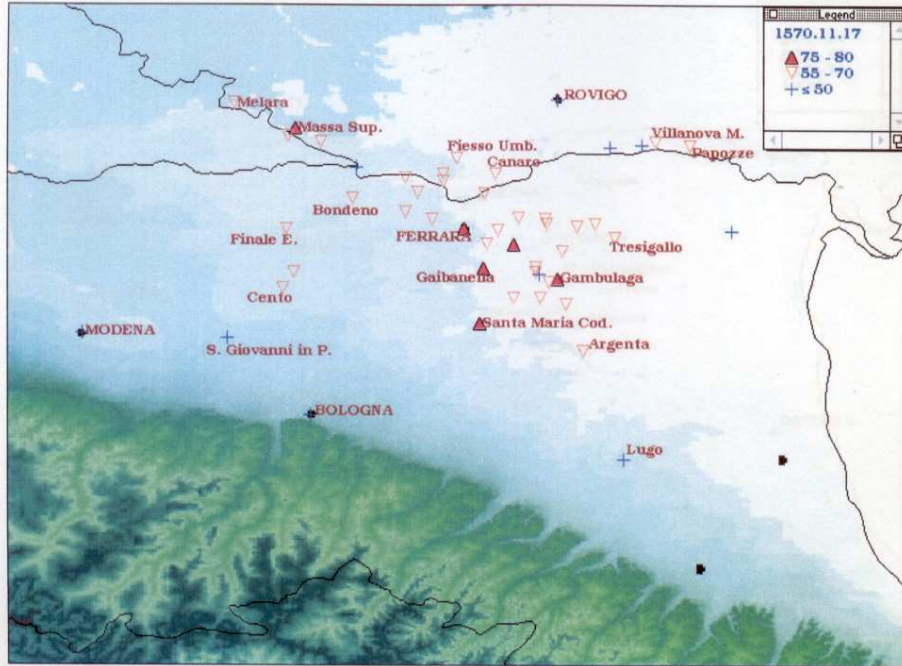
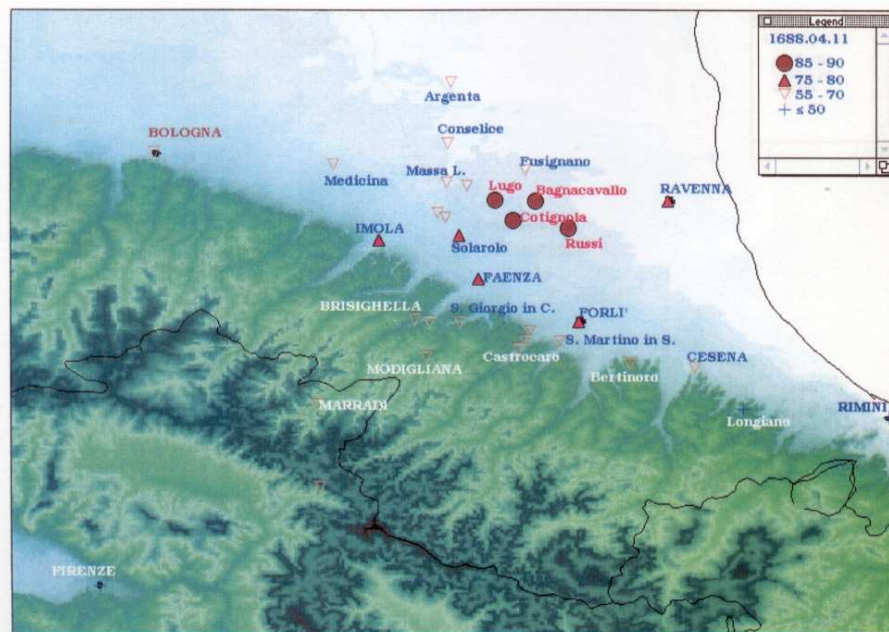


Figura 9.8. - Massime intensità macrosismiche osservate nel territorio regionale (Molin et alii, 1996).

Si presentano una serie di figure riepilogative dei sismi che hanno interessato i territori dei 5 comuni e quelli attigui.







Si riporta ora lo stato delle conoscenze relative al terremoto di Argenta del 18 marzo 1624 tratte da **“Catalogo dei forti terremoti in Italia del 461 a.C. al 1980”** dell’Istituto Nazionale di Geofisica: *“e stata revisionata la bibliografia del Catalogo ed è stata sviluppata un’ampia ricerca bibliografica e archivistica. Non si conserva documentazione archivistica integra in seguito alla perdita, per cause belliche, dell’archivio del Vicelegato apostolico di Ferrara e dell’archivio comunale di Argenta. Presso l’archivio di Stato di Modena (Archivio Estense), sono state reperite 5 lettere scritte da un agente del duca d’Este, incaricato di verificare lo stato delle proprietà ducali nelle zone colpite dal terremoto; in queste fonti sono contenute dettagliate descrizioni degli effetti. Sono stati consultati anche i registri parrocchiali superstiti, dove sono ricordati i morti e i danni alla colleggiata di S. Nicola; è stata visionata anche una visita pastorale del vescovo Capponi del 1628. Altri resoconti si hanno nelle relazioni a stampa e nelle cronache coeve di area ferrarese, che forniscono dati sulla rovina degli edifici e sulle vittime. Le cronache sette-ottocentesche, prevalentemente di ambito locale o ferrarese, riportano la menzione del terremoto. Oltre alla documentazione archivistica e memorialistica, la ricerca si è avvalsa dell’analisi diretta di un importante dipinto di Camillo Ricci, testimone coevo (morto nel 1625), conservato attualmente presso la Pinacoteca comunale di Argenta. Rattere naturalistico di tale dipinto ha consentito di evidenziare alcuni importanti elementi riguardanti i danni alle torri delle mura e ai campanili, precisando in tal modo le descrizioni generiche e spesso enfatiche presenti nella memorialistica locale. E’ stata utilizzata anche la recente bibliografia storico-sismologica (Ferrari et al. 1985; Guidoboni 1987).*

Il terremoto del 18 marzo 1624 (ore 19:45 GMT ca.) danneggiò gravemente Argenta, situata tra Ferrara e le valli di Comacchio; i vicini paesi di Portomaggiore, Bando, Belriguardo, Boccaleone, Filo, San Biagio e Trava risultarono sensibilmente meno danneggiati. Gli effetti distruttivi furono accentuati dalla particolare conformazione del terreno (tavola d’acqua superficiale e depositi sabbiosi), che favorì il cedimento delle fondazioni degli edifici: ad Argenta circa 150-180 case (corrispondenti a circa un quarto del totale) crollarono o furono molto danneggiate; 4 chiese con i relativi campanili, e alcuni monasteri subirono crolli delle facciate o lesioni gravi, che resero gli edifici pericolanti e inagibili. A Ferrara caddero alcuni fumaioli; l’area di risentimento si estese a Ravenna, Bologna, Venezia e Reggio Emilia. Numerose scosse furono sentite nei giorni immediatamente successivi.

All’epoca del terremoto, Argenta era una città di circa 3.000 abitanti (14.000 abitanti nell’intero territorio comunale). Le vittime attestate furono alcune decine, oscillando il numero dei morti da 25 a 50. Il duca d’Este, residente a Modena, predispose una verifica dei danni subiti dalle sue proprietà a Belriguardo e Argenta, inviando sul posto Giovanni Baranzoni; l’agente fece una descrizione dei danni nella lettera del 21 marzo e, su esplicita richiesta da parte del duca, un elenco delle spese dopo un sopralluogo il 2 aprile. E’ rimasta testimonianza diretta di altre due relazioni ufficiali: nella lettera del 21 marzo,

Baranzoni accenna infatti ad una visita del vicelegato pontificio ad Argenta per contare il numero delle vittime; in Bertoldi, storico settecentesco, si trova invece menzione di una relazione sullo stato dei danni presentata al consiglio di Argenta dal console Bartolomeo Mattioli.

Gli effetti prevalenti sono localizzati ad Argenta dove si aprirono spaccature nel terreno da cui fuoriuscirono acqua bollente e sabbia nera e grigia maleodorante; le acque dei pozzi subirono violente variazioni e furono gettate fuori miste a sabbia. Le acque delle lagune da Argenta a Comacchio si sollevarono abbattendosi sulle rive.

Come si può notare, è chiaro che si sono verificati fenomeni di liquefazione delle sabbie, per cui nella fase di pianificazione territoriale in comune di Argenta occorre analizzare il problema per l'attenuazione del rischio sismico.

Località	Latitudine	Longitudine	I <sub>max</sub>
Argenta -FE-	44.37	11.50	VIII-IX
Portomaggiore -FE-	44.42	11.48	VII-VIII
Bando -FE-	44.39	11.53	VII
Belriguardo -FE-	44.45	11.45	VII
Boccaleone -FE-	44.38	11.48	VII
Filo -FE-	44.35	11.56	VII
San Biagio -FE-	44.35	11.52	VII
Trava -FE-	44.40	13.01	VII
Copparo -FE-	44.54	11.50	VI
Ferrara	44.50	11.37	VI
Carpi -MO-	44.47	10.53	V
Ravenna	44.25	12.12	V
Venezia	45.26	12.20	V
Reggio nell'Emilia	44.42	10.38	F
Bologna	44.30	11.20	IV
Modena	44.39	10.56	IV
Cento -FE-	44.44	11.17	NF

**TABELLA 9.3** – località interessate dal terremoto e relativi I<sub>max</sub>  
(tratta da Catalogo dei forti terremoti in Italia del 461 a.C. al 1980" dell'Istituto Nazionale di Geofisica)

## 10. 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.

### 10.1. 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 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.

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  $10 \text{ ohm} \cdot \text{m}$  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 georisorse 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 mq di acqua, suddivisi in 3milioni per usi civili, 32,7milioni per usi industriali, 13,9 milioni per usi irrigui e 1,4milioni per usi zootecnici.

### 10.2. Disponibilità di idrorisorse nei territori comunali

Nel sottosuolo della pianura e il Margine Appenninico Padano sono state riconosciute tre unità idrostratigrafiche fondamentali, informalmente definite Gruppo Acquifero A, B e C, a loro volta suddivise in tredici Unità idrostratigrafiche, gerarchicamente inferiori, denominate Complessi Acquiferi (**FIGURA 10.1**). 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.

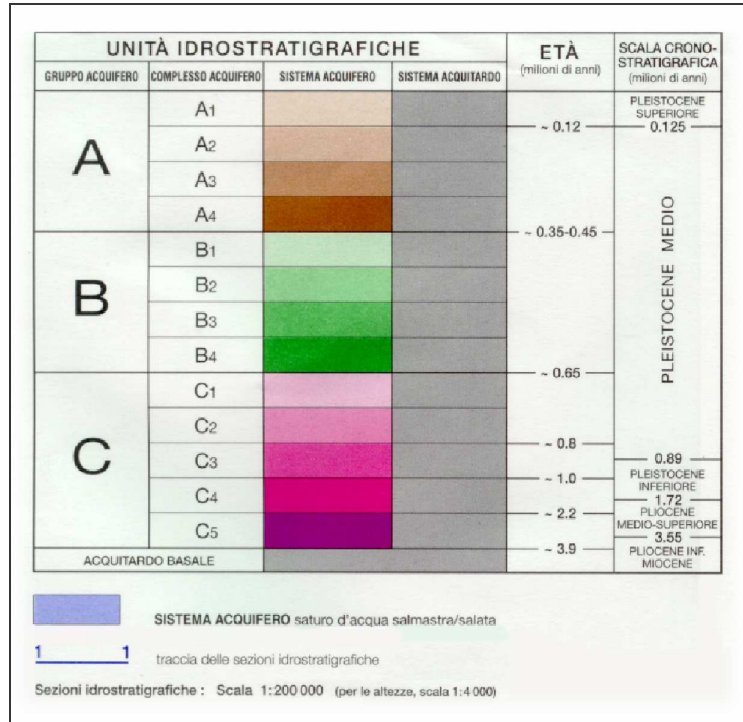


FIGURA 10.1 – Unità idrostratigrafiche della Pianura Padana Emiliano-Romagnola

Per una descrizione più dettagliata dei tre Gruppi Acquiferi sono state costruite dieci Sezioni Idrostratigrafiche (indicate in FIGURA 10.2 con la linea blu), nelle quali sono stati correlati i tredici Complessi Acquiferi che definiscono i Gruppi A, B e C. Vengono di seguito riportate le due sezioni che attraversano l'area in esame, uno stralcio della Sezione 5 (FIGURA 10.3) con direzione SW-NE, passante per i comuni di Ostellato e Portomaggiore, e uno stralcio della sezione 9 (FIGURA 10.4) con direzione WNW-ESE, passante per il comune di Argenta. All'interno di ciascun Complesso Acquifero sono stati delimitati: il Sistema Acquifero, in colore, il Sistema Acquitardo, in grigio, il limite acqua dolce-salmastra, 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. In entrambe le sezioni 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.

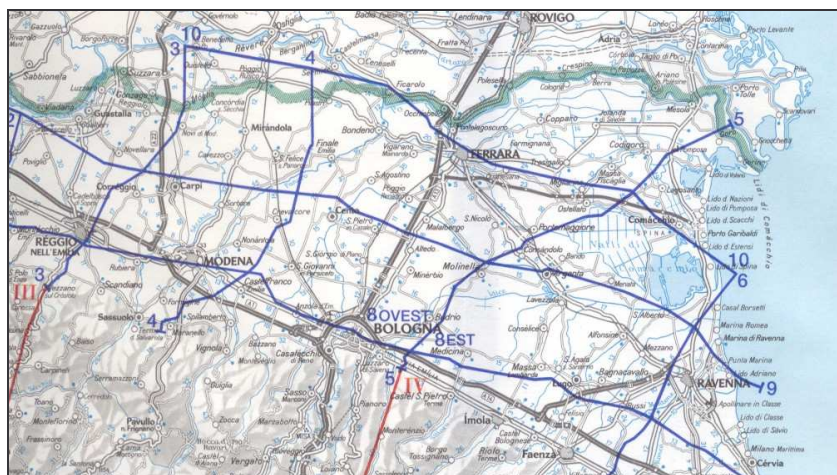
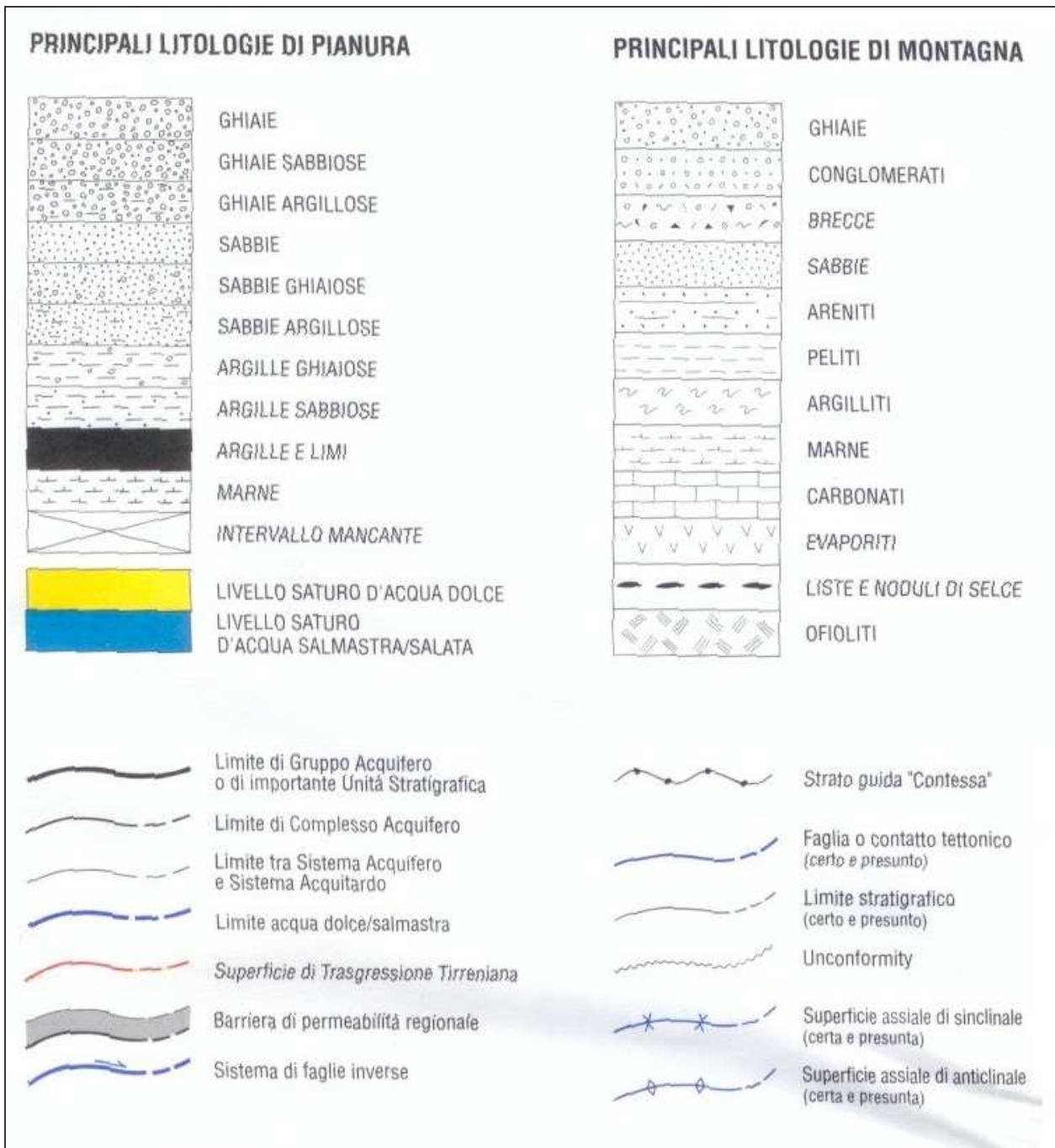


FIGURA 10.2 – Ubicazione dei profili idrostratigrafici



Legenda delle figure 10.3 e 10.4, da integrare con la legenda riportata in FIGURA 10.1

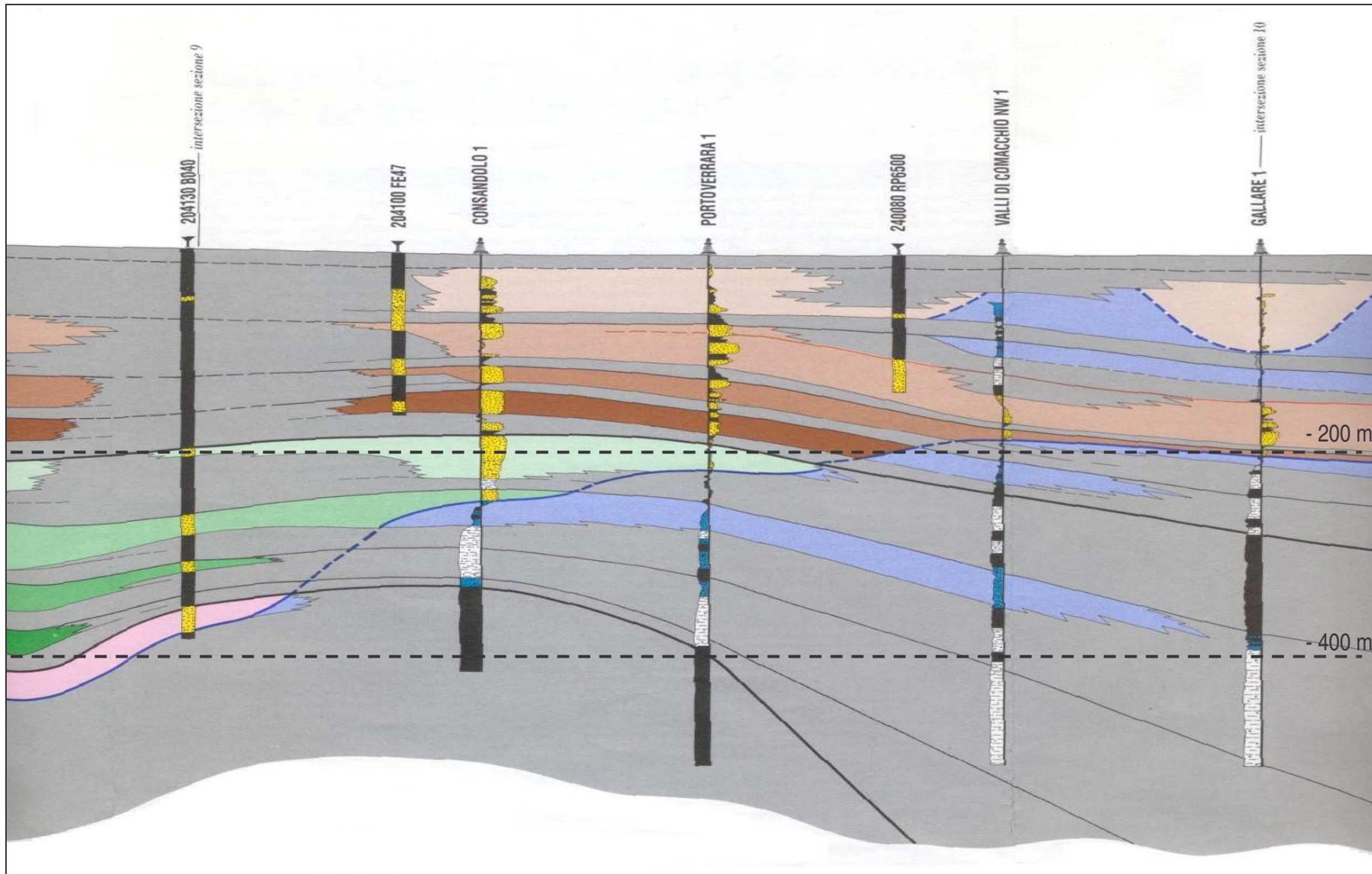


FIGURA 10.3 – Sezione idrostratigrafica SW-NE (R.E.R. & ENI-AGIP, 1998 Tav.8, sez.5)

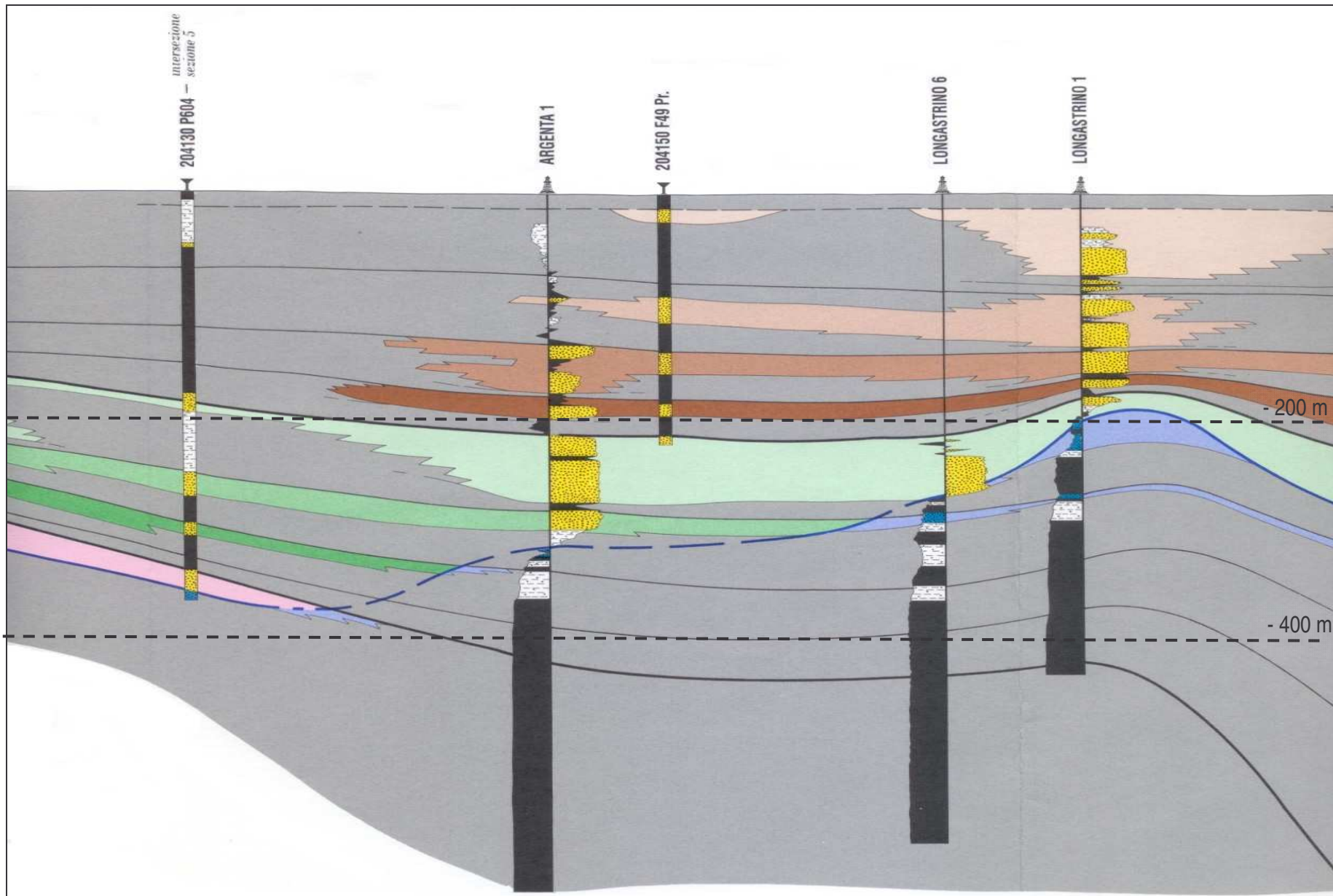


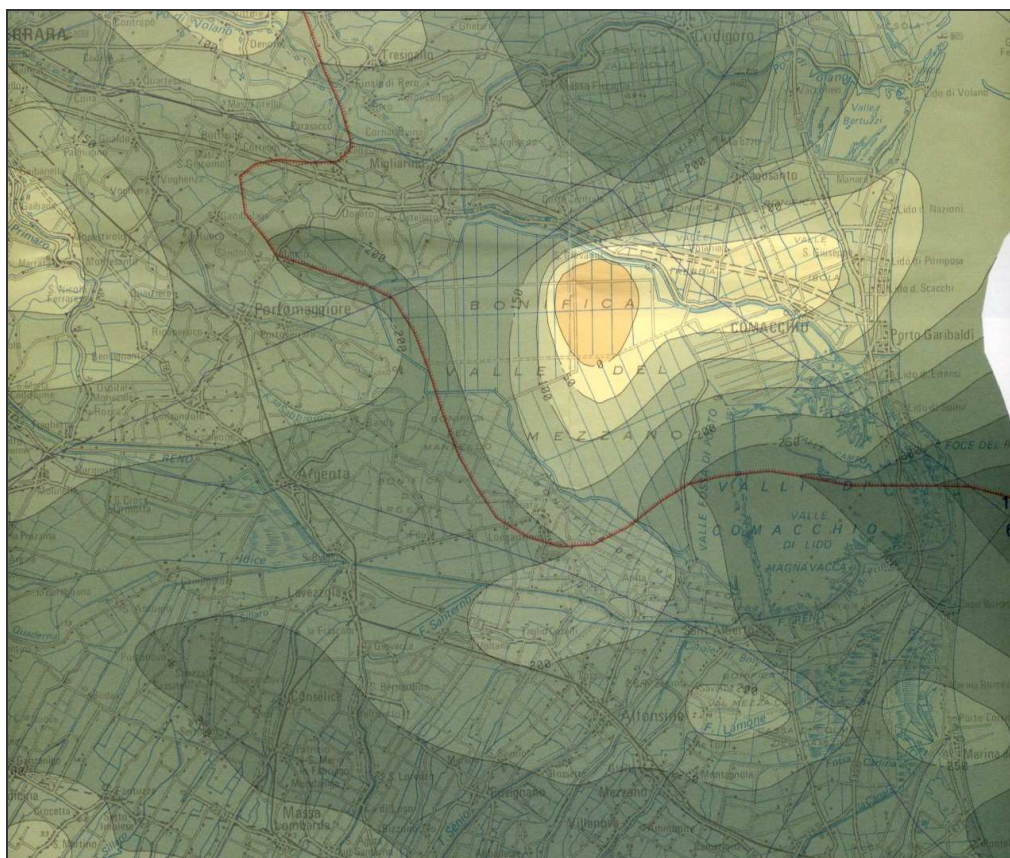
FIGURA 10.4 – Sezione idrostratigrafica WNW-ESE (R.E.R. & ENI-AGIP, 1998 Tav.9, sez.9)

### 10.3. Carta delle Riserve idriche sotterranee (Cod. B.2.7.)

Si riporta in **FIGURA 10.5** uno stralcio della Tavola 1, e in **FIGURA 10.6** uno stralcio della Tavola 3 del lavoro citato ENI-Regione Emilia Romagna, in cui vengono riportati i limiti geometrici e lo spessore totale dei Gruppi Acquiferi A e B rispettivamente, esse sono 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, la linea rossa che interseca le isobate separa le aree ove tale superficie è costituita da un limite di sequenza Deposizionale o da un limite di litofacies, dalle aree, dal lato delle barrette, ove tale superficie rappresenta l'interfaccia acqua dolce-acqua salmastra. Tali mappe sono fondamentali per il calcolo del volume totale dei gruppi Acquiferi e per stimare la profondità oltre la quale è inutile, se non addirittura dannoso, per la qualità delle acque estratte approfondire i pozzi.

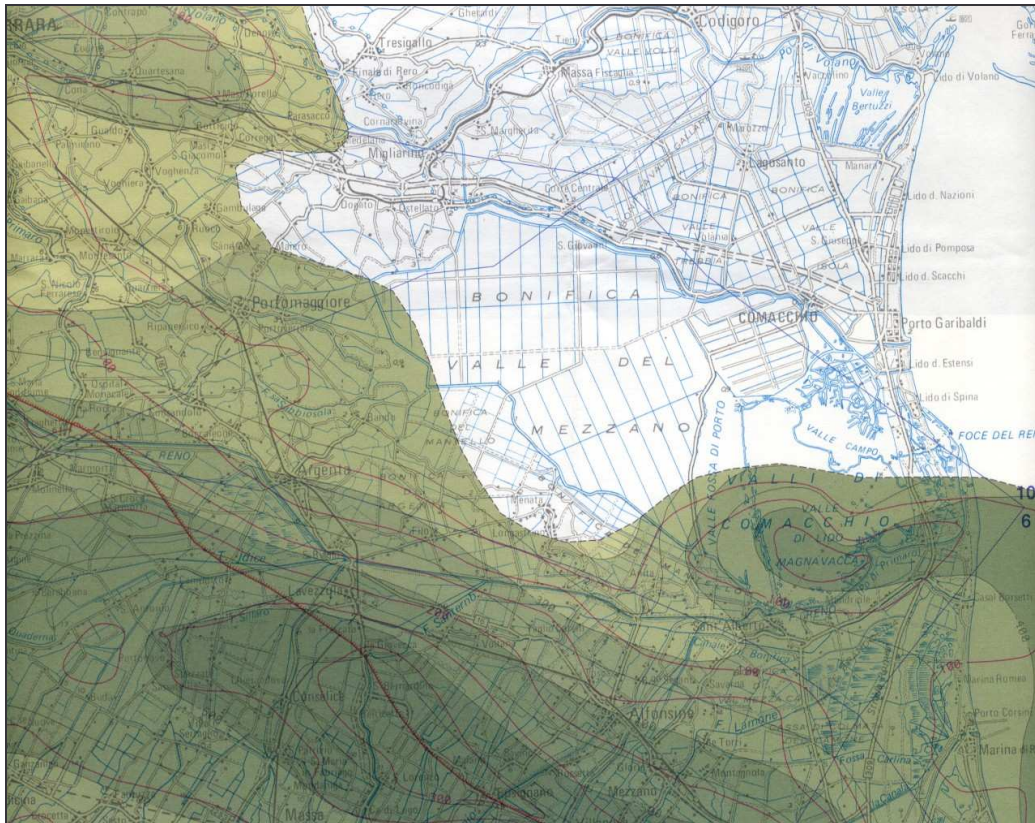
In **FIGURA 10.7** e **FIGURA 10.8** viene illustrata la distribuzione dello spessore cumulativo utile e le aree di ricarica diretta (superfici retinate), dei Gruppi A e B rispettivamente, le isolinee che racchiudono le varie aree forniscono, in ogni punto, lo spessore cumulativo di sabbie e ghiaie acquifere appartenenti a ciascun gruppo Acquifero, sfruttabili per scopi idropotabili, agricoli e industriali. Queste mappe servono 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 costituito dall'associazione dei comuni, allo stato delle conoscenze attuali. In corrispondenza del territorio comunale ad est della linea rossa tratteggiata è presente solamente il Gruppo Acquifero A, in quanto il limite al letto dell'acquifero è costituito dal passaggio alle acque salmastre. Mentre nell'area ad ovest di suddetta linea il gruppo Acquifero A sormonta il gruppo Acquifero B.

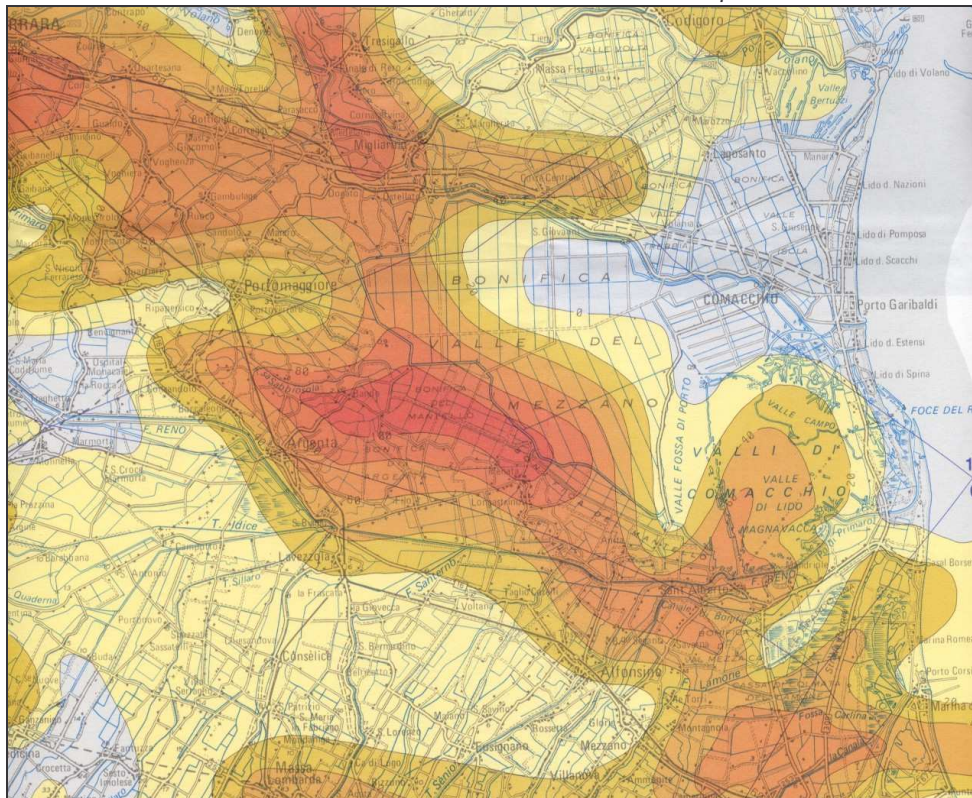


**FIGURA 10.5.** – Profondità del limite basale dell'acquifero A

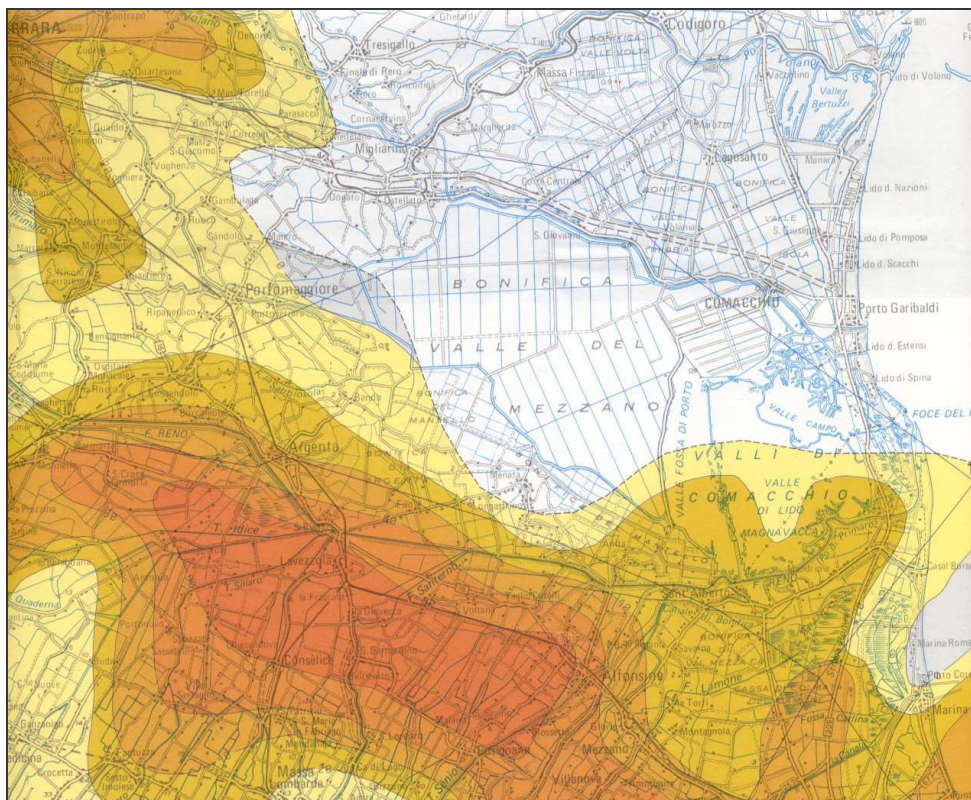




**FIGURA 10.6 – Profondità del limite basale dell'acquifero B.**



**FIGURA 10.7. – Spessore cumulativo dell'acquifero A.**



**FIGURA 10.8.** – Spessore cumulativo dell’acquifero B.

Dalla lettura di queste carte si ricava che nel territorio comunale la profondità dell’interfaccia tra acqua dolce e acqua salmastra assume un andamento molto variabile, andando da pochi metri sopra il livello del mare nell’area più a oriente del comune di Ostellato, in particolare nella Bonifica del Mezzano, sviluppandosi in modo radiale e raggiungendo quote di circa – 200 m.

Nell’area occidentale la profondità dell’interfaccia tra acquifero A e acquifero B va da circa -100 m a -200 m dal livello del mare.

Lo spessore dell’acquifero utile varia seguendo una direttrice che passa per i Paesi di Copparo-Migliarino-Bonifica del Mantello, lungo questa direttrice troviamo uno spessore massimo di circa 80 metri, lungo i fianchi di tale direttrice lo spessore diminuisce progressivamente, da notare come lo spessore si riduca in modo tale da rendere l’acquifero inutilizzabile all’estremità orientale della Bonifica della Valle del Mezzano e nell’area corrispondente ai paesi di S.Maria Codifiume-Tragetto-Ospital Monacale.

La profondità del limite basale del Gruppo Acquifero B varia in modo costante procedendo da nord verso sud, come si può vedere in **FIGURA 10.6**, passando da valori intorno a -200 m sul livello del mare nel territorio di Voghiera a valori intorno a -300 m ad Argenta.

Lo spessore dell’acquifero utile varia con lo stesso andamento nord-sud passando da uno spessore inferiore ai 20 metri nell’area del territorio di Voghiera e Portomaggiore, raggiungendo uno spessore pari a 80 metri nel territorio di Argenta, l’unica area in cui l’acquifero presenta uno spessore tale da rendere l’acquifero inutilizzabile è ad oriente dell’abitato di Portomaggiore, compreso l’abitato di Maiero.

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

### 10.3 Acque sotterranee: caratteristiche chimico-fisiche

Le serie storiche delle misure del livello di falda, eseguite dal 1976 al 1998 dalla Regione Emilia Romagna, per la Relazione sullo stato dell'ambiente del 1999, hanno registrato nell'andamento di lungo periodo, nella maggior parte delle zone dell'acquifero, un andamento discontinuo e scostante.

L'andamento dei livelli di falda è influenzato da varie componenti sia di tipo naturale sia di tipo antropico, alle quali va aggiunta la variabilità stagionale. Nella maggior parte dei casi, però, le inversioni di tendenza sono imputabili ad una variazione nel regime dei prelievi, e quindi attribuibili ad interventi antropici.

Il livello di qualità delle acque sotterranee può essere determinato sia dalla presenza di sostanze inquinanti attribuibili ad attività antropiche, sia da meccanismi idrochimici naturali.

Nell'alta pianura, in condizioni di acquifero libero, è più alta la possibilità di inquinamento antropico, mentre nella medio-bassa pianura, in condizioni di acquifero confinato, avvengono principalmente i processi idrochimici naturali delle acque sotterranee.

La rete di monitoraggio qualitativo della Regione misura 53 parametri con continuità ed in maniera omogenea, e 10 parametri in maniera differenziata nei diversi territori, si veda in proposito la **Tabella 10.1**.

E' utile evidenziare che i parametri rilevati nella Rete Regionale sono superiori a quelli il cui monitoraggio è obbligatoriamente previsto dal D. Lgs. n.152 del' 99.

PARAMETRI OBBLIGATORI			PARAMETRI ADDIZIONALI
Temperatura acqua	Rame	Atrazina	Potenziale redox
Alcalinità (HCO <sub>3</sub> )	Zinco	Simazina	Bario
pH	Piombo	Alachlor	Prometrina
Residuo fisso a 180°	Fenoli	Propazina	DDT
Conducibilità elettrica specifica	Fluoruri	Terbutrina	Idrocarburi policiclici aromatici
Ossidabilità (Kubel)	Boro	2,4 D	Durezza
Calcio	Cadmio	Pendimethalin	Tensioattivi anionici (MBAS)
Magnesio	Nichel	Trifluralin	Ossigeno disciolto (O <sub>2</sub> )
Potassio	Mercurio	Molinate	Idrogeno solforato (H <sub>2</sub> S)
Sodio	Cobalto	Bentazone	Selenio
Ferro totale	Cromo	Coliformi totali	
Manganese	Arsenico	Coliformi Fecali	
Azoto ammoniacale	Trielina	Streptococchi Fecali	
Nitriti	Percloroetilene	Carica batterica a 22°	
Nitrati	Tetracloruro di Carbonio	Carica batterica a 36°	
Solfati	Cloroformio	Clostridi solfitoreduttori	
Cloruri	Metilcloroformio		
Fosforo totale	Diclorobromometano		

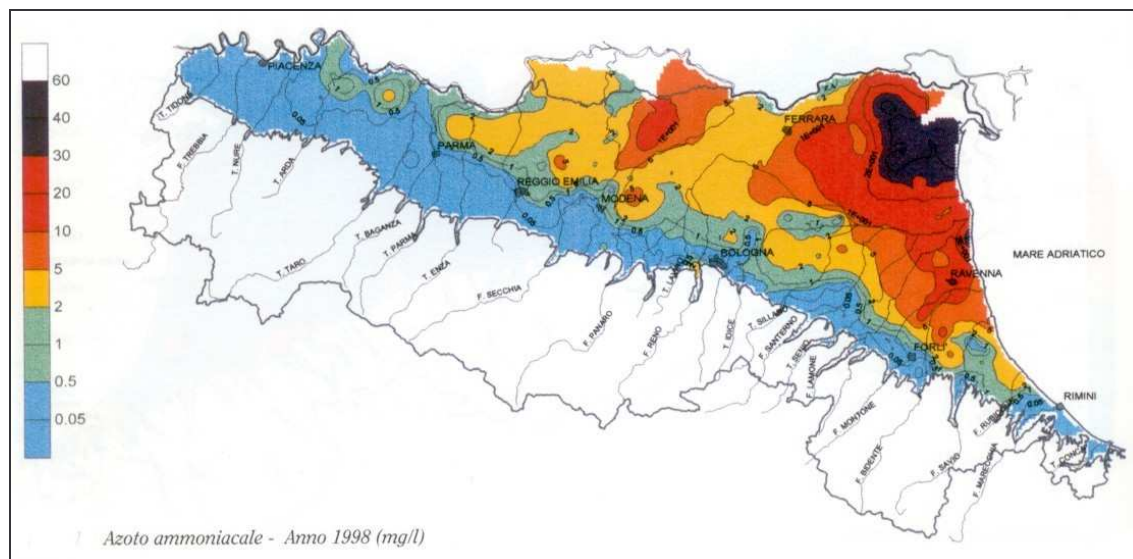
**Tabella 10.1** – Parametri qualitativi misurati dalla rete di monitoraggio delle acque sotterranee (Regione Emilia Romagna, Relazione sullo stato dell'ambiente '99)

Si procede ora all'analisi dei valori delle concentrazioni dei principali parametri chimici e della conducibilità elettrica dell'area allo studio.

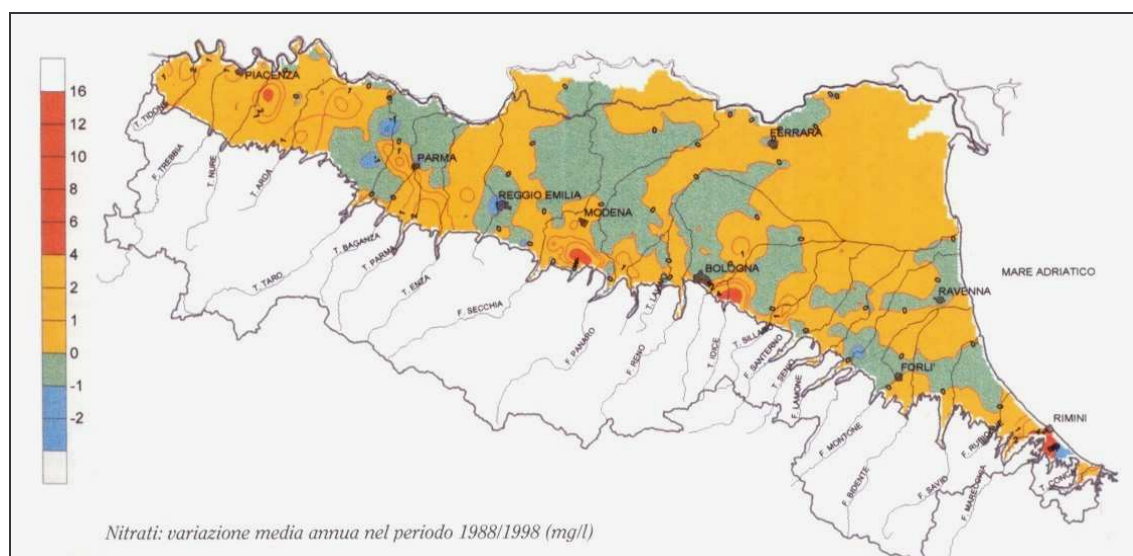
- **Ammoniaca e Nitrati:** la distribuzione di ammoniaca, intesa come azoto ammoniacale, nelle acque della pianura emiliano-romagnola risente del quadro evolutivo naturale delle acque, indicando la sua origine profonda e non la presenza di

inquinamento recente. Quando l'azoto arriva in falda, solo in condizioni ossidate, si presenta sotto forma nitrica, nel caso le infiltrazioni siano di azoto ammoniacale, esso si trasforma in nitrati.

Le concentrazioni di ammoniaca, visibili in **FIGURA 10.9**, risultano assenti nelle aree di alta pianura, nelle quali si hanno invece le maggiori concentrazioni di nitrati, visibili in **FIGURA 10.10**, mentre sono molto elevate nella medio-bassa pianura e in particolare nell'area allo studio, dove sono presenti le acque sotterranee più antiche, e dove si hanno le minori concentrazioni di nitrati.



**FIGURA 10.9** – Azoto ammoniacale - anno 1988 (mg/l) (Regione Emilia Romagna, Relazione sullo stato dell'ambiente '99)



**FIGURA 10.10** – Nitrati - variazione media annua nel periodo 1988/1998(mg/l) (Regione Emilia Romagna, Relazione sullo stato dell'ambiente '99)

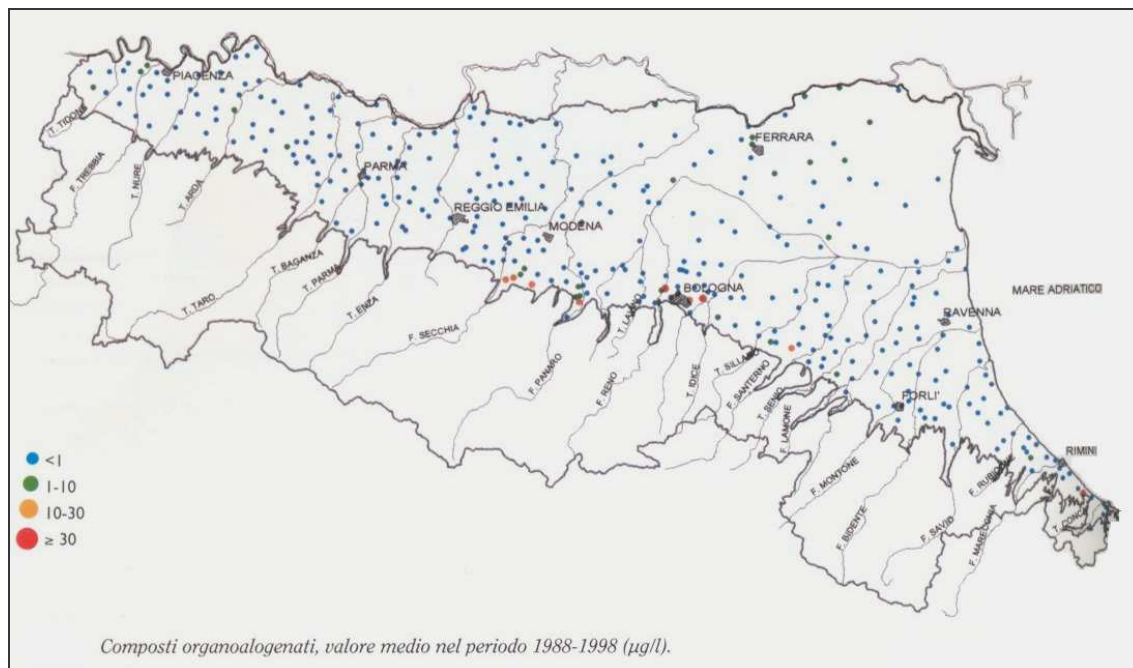
- **Composti organoalogeni:** i composti organoalogeni analizzati sono cloroformio, metilcloroformio, tetracloruro di carbonio, trielina e percloroetilene, dibromoclorometano e diclorobromometano.

La **FIGURA 10.11** mostra il valore medio, tra quelli disponibili, degli organoalogenati totali, inteso come somma dei singoli composti.

Nella maggior parte delle stazioni di misura non è stata riscontrata la presenza di composti organoalogenati, a conferma che l'inquinamento derivante da tali composti è di tipo locale.

Considerando che il valore di concentrazione limite sul totale è di 30 µg/l (D.P.R. 236/88) si può affermare che nell'area in esame non è presente inquinamento da organoalogenati.

Va però sottolineato che nella provincia di Ferrara si è avuto un leggero innalzamento dei valori in un certo numero di stazioni di misura, a causa dell'ingresso nella serie storica di una singola misurazione anomala che non è stata confermata negli anni successivi.



**FIGURA 10.11** – Composti organoalogenati - valore medio nel periodo 1988/1998 (µg/l) (Regione Emilia Romagna, Relazione sullo stato dell'ambiente '99)

- Conducibilità elettrica specifica e cloruri: la conducibilità elettrica specifica di un'acqua ne esprime la capacità di lasciarsi attraversare da una corrente elettrica, essa è funzione del contenuto di sali minerali disciolti, e rappresenta un indicatore del tenore salino e del grado di mineralizzazione.

La conducibilità elettrica specifica rappresenta uno dei principali parametri fisici che si usano in idrogeologia per caratterizzare un'acqua naturale, può quindi essere utilizzata come un indicatore complessivo delle caratteristiche di qualità dell'acqua.

La conducibilità elettrica dipende dalla temperatura e quindi occorre riportare i valori misurati a quelli teorici che si avrebbero ad una temperatura standard di 25° (oppure di 18° o 20°). I valori di conducibilità riportati in **FIGURA 10.12** sono stati tutti riferiti alla temperatura di 20°C.

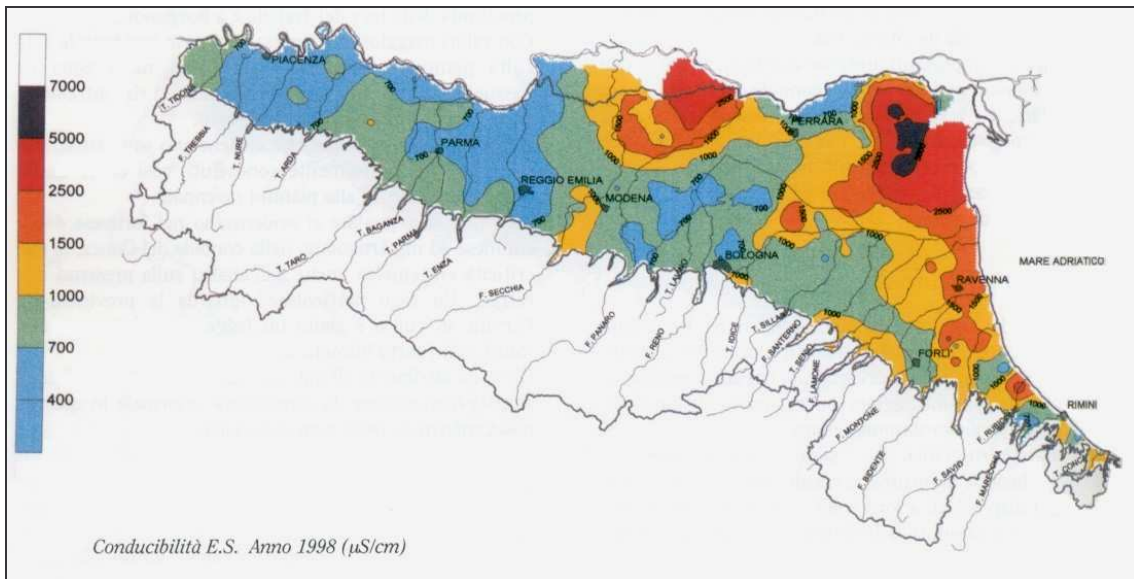
La FIGURA 10.12 mostra come i valori maggiori siano concentrati nella provincia di Ferrara, ed in particolare lungo la costa, questo a sottolineare che tali valori sono legati alla presenza di acque di origine marina.

Il grado di mineralizzazione delle acque sotterranee e la conducibilità aumentano con il persistere delle acque a contatto con i sedimenti dell'acquifero, di conseguenza si registrano valori di mineralizzazione e conducibilità minori nelle acque di infiltrazione recente e maggiori nelle aree a minor circolazione e più lontane dalle zone di infiltrazione.

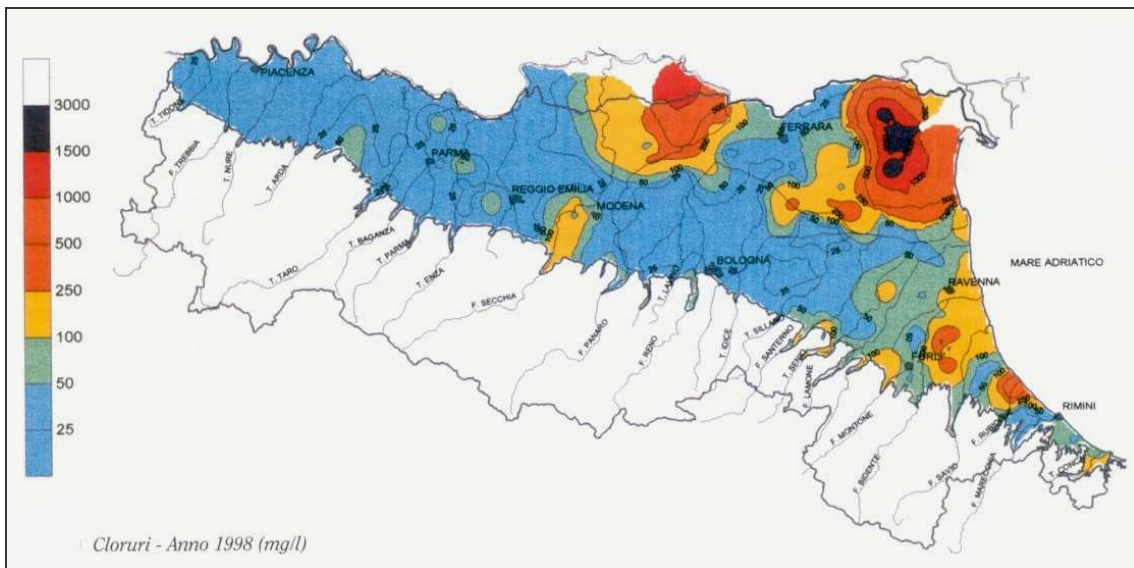
Va inoltre sottolineato che nelle zone sottoposte a consistenti attività di prelievo si verifica una diminuzione della conducibilità, poiché l'attività di prelievo richiama acque di infiltrazione più recenti e con una maggiore velocità rispetto a quella che caratterizza la lenta circolazione naturale che caratterizza le aree di medio-bassa pianura.

I cloruri rappresentano uno dei principali elementi che influenzano la conducibilità elettrica specifica.

La distribuzione dei valori dei cloruri nelle acque sotterranee presenta evidenti analogie con la distribuzione dei valori della conducibilità elettrica, ma anche sostanziali differenze in quanto i cloruri non rappresentano il grado di mineralizzazione delle acque. Si veda in proposito la **FIGURA 10.13**.



**FIGURA 10.12** – Conducibilità elettrica specifica - anno 1988 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) (Regione Emilia Romagna, Relazione sullo stato dell'ambiente '99)



**FIGURA 10.13** – Cloruri - anno 1988 (mg/l) (Regione Emilia Romagna, Relazione sullo stato dell'ambiente '99)

- **Ferro e Manganese:** il ferro compare in maggiori concentrazioni dove l'acquifero diventa confinato e dove le acque tendono ad evolversi chimicamente. La presenza di ferro nell'acqua è normalmente legata alla presenza di ossidi (Ematite, Magnetite) e idrossidi (Limonite) nelle rocce. Nelle falde è presente di solito la forma ridotta  $\text{Fe}^{2+}$  che si ossida a  $\text{Fe}^{3+}$  quando viene in contatto con l'aria.

In molti casi presenta evidenti analogie con l'ammoniaca, nella bassa pianura sia l'ammoniaca che il ferro presentano elevate concentrazioni, ma va sottolineato che il ferro si distribuisce in modo più discontinuo.

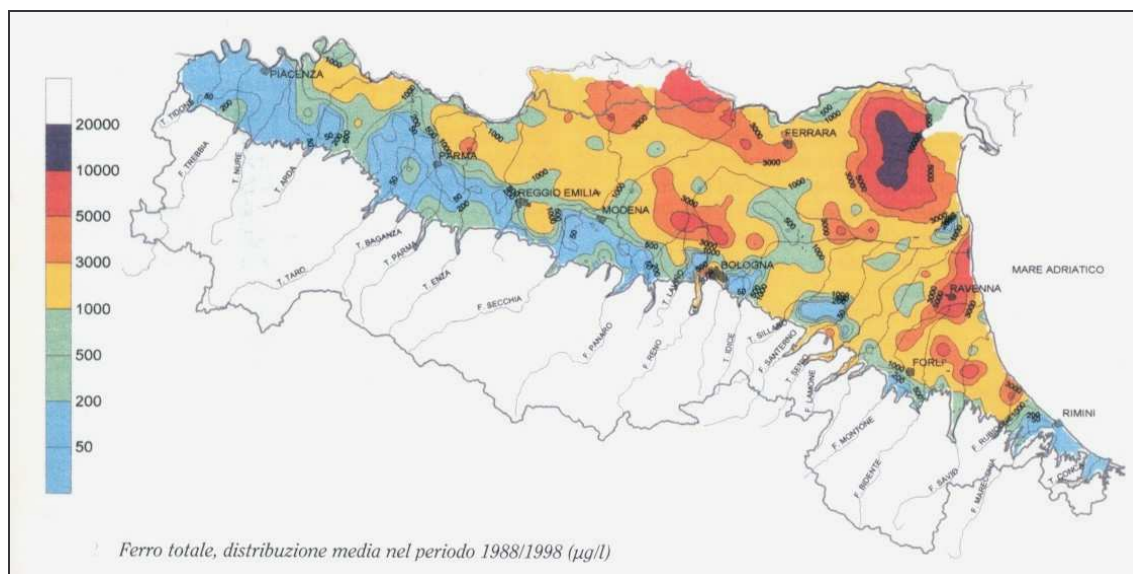
L'analisi delle misure per ogni punto di controllo ha evidenziato un comportamento temporale a "picchi" della singola serie storica, di conseguenza la distribuzione areale, proposta in **FIGURA 10.14**, è stata ricostruita utilizzando i valori medi della serie storica invece di quelli riferiti ad un anno specifico.

La dissoluzione e la precipitazione dei minerali ferrosi, presenti nella matrice dell'acquifero, costituiscono il meccanismo idrochimico che condiziona maggiormente la distribuzione del ferro nelle acque sotterranee; le maggiori concentrazioni di ferro si hanno in contemporaneità alle condizioni più favorevoli alla dissoluzione, mentre le minori concentrazioni si hanno dove l'equilibrio tende verso la precipitazione.

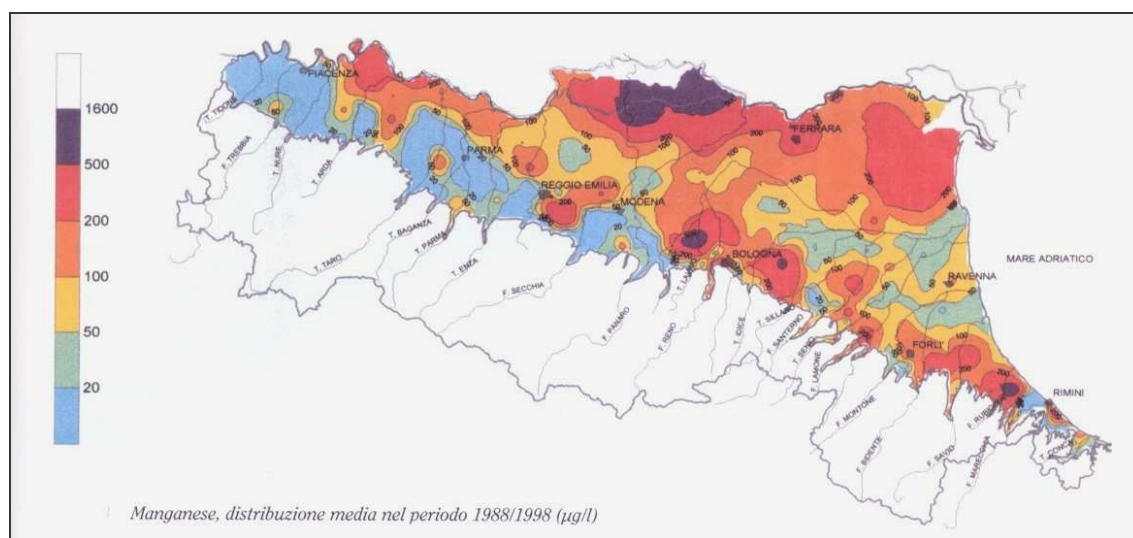
Il manganese presenta un comportamento molto simile al ferro, la sua principale particolarità è data da una ulteriore discontinuità nella distribuzione areale rispetto a quella vista per il ferro. La presenza di manganese non sembra caratteristica di acque di infiltrazione recente e neppure di acque fossili.

In **FIGURA 10.15** è visibile la carta relativa alla distribuzione media del manganese sull'intero periodo.

L'area allo studio presenta elevati valori di concentrazione sia per quanto riguarda il ferro sia per quanto riguarda il manganese.



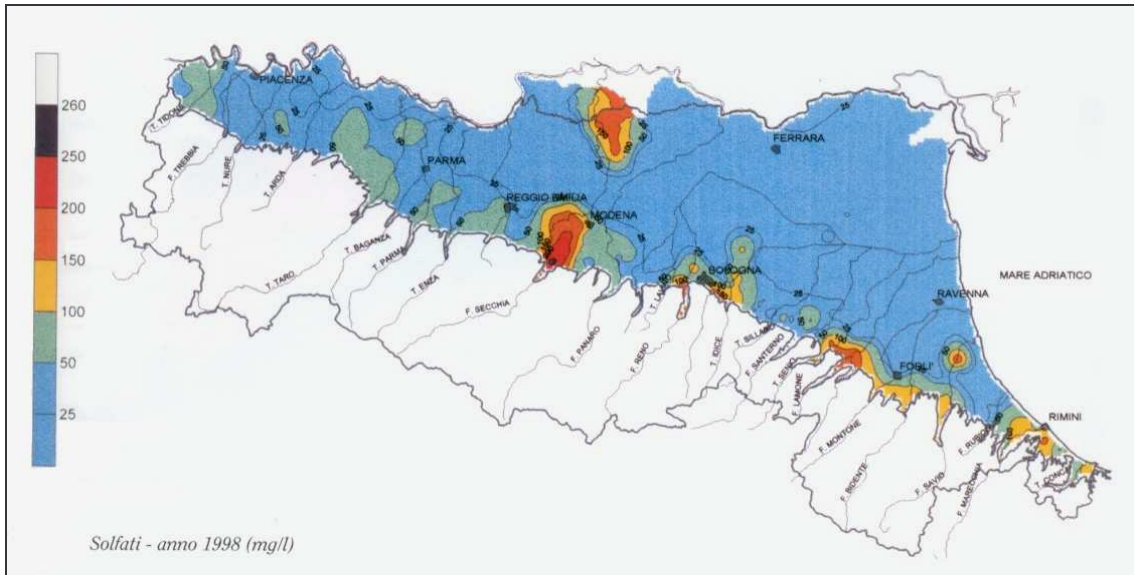
**FIGURA 10.14** – Ferro totale valore medio nel periodo 1988/1998 ( $\mu\text{g/l}$ ) (Regione Emilia Romagna, Relazione sullo stato dell'ambiente '99)



**FIGURA 10.15** – Manganese valore medio nel periodo 1988/1998 ( $\mu\text{g/l}$ ) (Regione Emilia Romagna, Relazione sullo stato dell'ambiente '99)

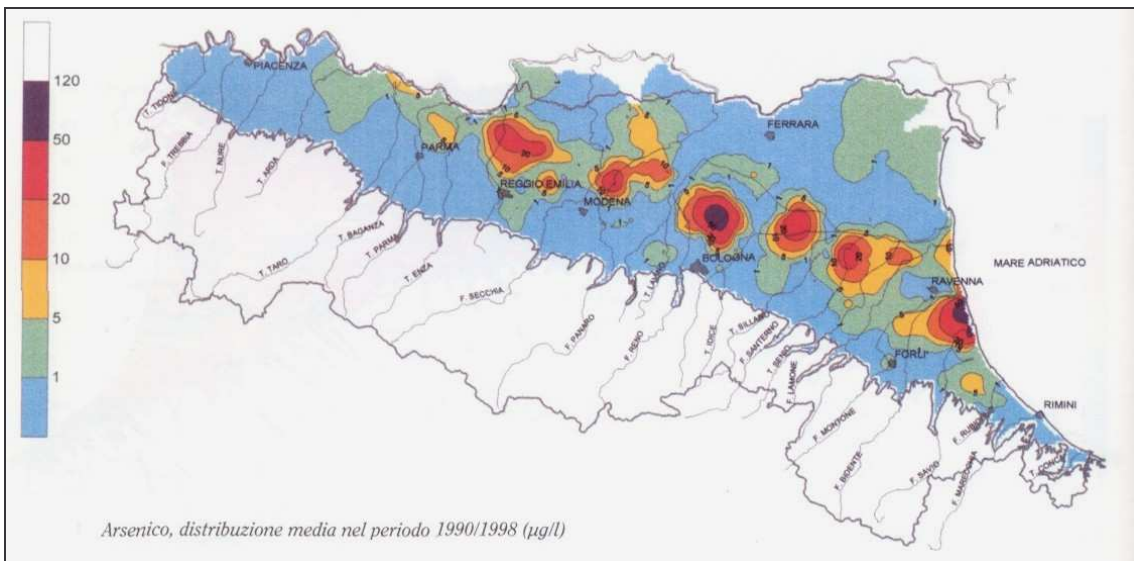
- **Solfati**: la distribuzione areale dei solfati, visibile in **FIGURA 10.16**, è legata alle condizioni idrodinamiche dell'acquifero. Dal momento che i solfati sono una forma ossidata sono presenti nelle aree in cui l'acquifero è in condizioni libere, mentre dove subentrano le condizioni confinate si riducono a solfuri e idrogeno solforato.

Nell'area allo studio le concentrazioni di solfati non superano i 50 mg/l.



**FIGURA 10.16** – Solfati anno 1998 (mg/l) (Regione Emilia Romagna, Relazione sullo stato dell'ambiente '99)

- **Arsenico:** alte concentrazioni di arsenico non sono riconducibili ad inquinamento antropico ma sono legate ai materiali del substrato geologico, ad elevato contenuto argilloso o di concentrazione biologica fossile, su cui poggia l'acquifero  
 Le concentrazioni dell'arsenico nell'area allo studio sono sempre inferiori al valore di concentrazione limite oltre il quale le acque non sono più considerate potabili (50 µg/l), si veda in proposito la **FIGURA 10.17**.



**FIGURA 10.17** – Arsenico distribuzione media nel periodo 1990/1998 (µg/l) (Regione Emilia Romagna, Relazione sullo stato dell'ambiente '99)

In **FIGURA 10.18** viene proposta la Carta della classificazione qualitativa delle acque sotterranee ricavata attribuendo a cinque diverse classi i valori di concentrazione dei sei parametri chimici di base e della conducibilità elettrica specifica. La distribuzione dei parametri è stata restituita su un reticolo di maglia di 1 km<sup>2</sup>, che copre gli oltre 12000 km<sup>2</sup> dell'acquifero, utilizzando tecniche geostatistiche. In **Tabella 10.2** viene riportata la classificazione qualitativa dei parametri di base.

La classe qualitativa viene attribuita sulla base del valore peggiore riscontrato nelle analisi dei diversi parametri rispetto alle definizioni di **Tabella 10.3**.

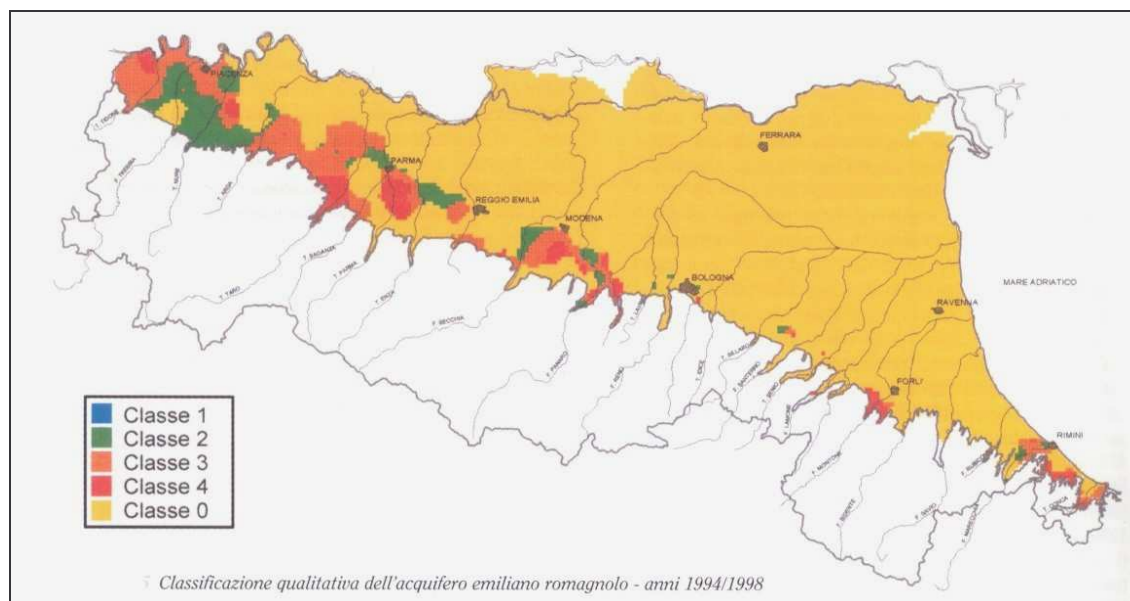


PARAMETRO	UNITA' DI MISURA	CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3	CLASSE 4	CLASSE 0
Cond. elettr. (20°c)	μS/cm	≤ 400	≤ 2500	≤ 2500	>2500	>2500
Cloruri	mg/l	≤ 25	≤ 250	≤ 250	>250	>250
Manganese	μg/l	≤ 20	≤ 50	≤ 50	>50	>50
Ferro	μg/l	≤ 50	≤ 200	≤ 200	>200	>200
Nitrati	mg/l di NO <sub>3</sub>	≤ 5	≤ 25	≤ 50	>50	>50
Solfati	mg/l di SO <sub>4</sub>	≤ 25	≤ 250	≤ 250	>250	>250
Ione ammonio	mg/l di NH <sub>4</sub>	≤ 0,05	≤ 0,5	≤ 0,5	>0,5	>0,5

**Tabella 10.2** – Classificazione qualitativa in base ai parametri di base

<b>CLASSE 1</b>	Impatto antropico nullo o trascurabile con pregiate caratteristiche idrochimiche
<b>CLASSE 2</b>	Impatto antropico ridotto e sostenibile sul lungo periodo e con buone caratteristiche idrochimiche
<b>CLASSE 3</b>	Impatto antropico significativo e con caratteristiche idrochimiche generalmente buone, ma con alcuni segnali di compromissione
<b>CLASSE 4</b>	Impatto antropico rilevante con caratteristiche idrochimiche scadenti
<b>CLASSE 0</b>	Impatto antropico nullo o trascurabile ma con particolari facies idrochimiche naturali in concentrazioni al di sopra del valore della Classe 3

**Tabella 10.3** – Definizione dello stato chimico delle acque sotterranee



**FIGURA 10.18** – Classificazione qualitativa dell'acquifero emiliano-romagnolo – anni 1994/1998 (Regione Emilia Romagna, Relazione sullo stato dell'ambiente '99)

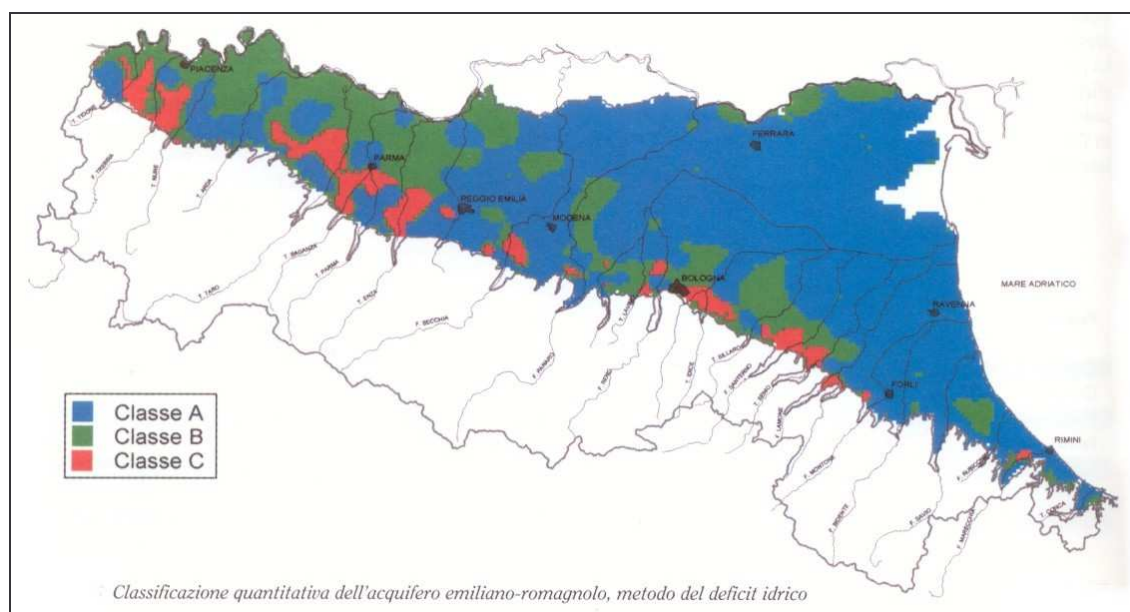
L'area allo studio, così come tutta la medio-bassa pianura e le zone orientali di alta pianura, è completamente contraddistinta con il colore giallo al quale viene attribuito la Classe qualitativa 0, derivante dalle elevate concentrazioni di ammoniaca, ferro e manganese di origine naturale.

In **FIGURA 10.19** viene proposta la Carta della Classificazione quantitativa, che deve essere basata sulle alterazioni misurate o previste dalle condizioni di equilibrio idrogeologico, sulla base del D. Lgs n. 152 del '99, che ne definisce, inoltre, le quattro classi quantitative (si veda in proposito la **Tabella 10.4**).

La metodologia utilizzata per la classificazione si basa sul calcolo dei volumi di acqua ai quali è imputabile l'abbassamento del livello piezometrico e che se non estratti avrebbero consentito il mantenimento dell'equilibrio.

<b>CLASSE A</b>	L'impatto antropico è nullo o trascurabile con condizioni di equilibrio idrogeologico. Le estrazioni di acqua o alterazioni della velocità naturale di ravvenamento sono sostenibili sul lungo periodo.
<b>CLASSE B</b>	L'impatto antropico è ridotto, vi sono moderate condizioni di disequilibrio del bilancio idrico, senza che tuttavia ciò produca una condizione di sovrasfruttamento, consentendo un uso della risorsa sostenibile sul lungo periodo.
<b>CLASSE C</b>	Impatto antropico significativo con notevole incidenza dell'uso sulla disponibilità della risorsa evidenziato da rilevanti modificazioni agli indicatori generali sopraesposti
<b>CLASSE D</b>	Impatto antropico nullo o trascurabile, ma con presenza di complessi idrogeologici con intrinseche caratteristiche di scarsa potenzialità idrica.

**Tabella 10.4** – Definizione dello stato chimico delle acque sotterranee (Regione Emilia Romagna, Relazione sullo stato dell'ambiente '99)



**FIGURA 10.19** – Classificazione quantitativa dell'acquifero emiliano-romagnolo (Regione Emilia Romagna, Relazione sullo stato dell'ambiente '99)

Incrociando le cinque classi di qualità (1,2,3,4 e 0) con le quattro classi di quantità (A,B,C e D) si ottengono le classi di stato ambientale. Lo stato ambientale delle acque sotterranee è definito sulla base delle cinque classi di stato ambientale riportate in **tabella 10.5**.

La sovrapposizione delle classificazioni qualitativa e quantitativa ha consentito di redigere la carta dello stato ambientale quali-quantitativo, riportata in **FIGURA 10.20**, l'analisi di tale carta evidenzia come i cinque comuni allo studio, così come quasi tutta la parte orientale della regione e la medio-bassa pianura della parte occidentale, siano classificati in stato naturale particolare a causa delle elevate concentrazioni di ammoniaca, ferro e manganese, che determinano la classe qualitativa 0.

<b>ELEVATO</b>	Impatto antropico nullo o trascurabile sulla qualità e quantità della risorsa con l'eccezione di quanto previsto nello stato particolare.
<b>BUONO</b>	Impatto antropico ridotto sulla qualità e/o quantità della risorsa.
<b>SUFFICIENTE</b>	Impatto antropico ridotto sulla quantità, con effetti significativi sulla qualità tali da richiedere azioni mirate ed evitarne il peggioramento.
<b>SCADENTE</b>	Impatto antropico rilevante sulla qualità e/o quantità della risorsa con necessità di specifiche azioni di risanamento.
<b>NATURALE PARTICOLARE</b>	Caratteristiche qualitative e/o quantitative che pur non presentando un significativo impatto antropico, presentano limitazioni di uso della risorsa per la presenza naturale di particolari specie chimiche o per il basso potenziale quantitativo

Tabella 10.5 – Definizione dello stato chimico delle acque sotterranee (Regione Emilia Romagna, Relazione sullo stato dell'ambiente '99)

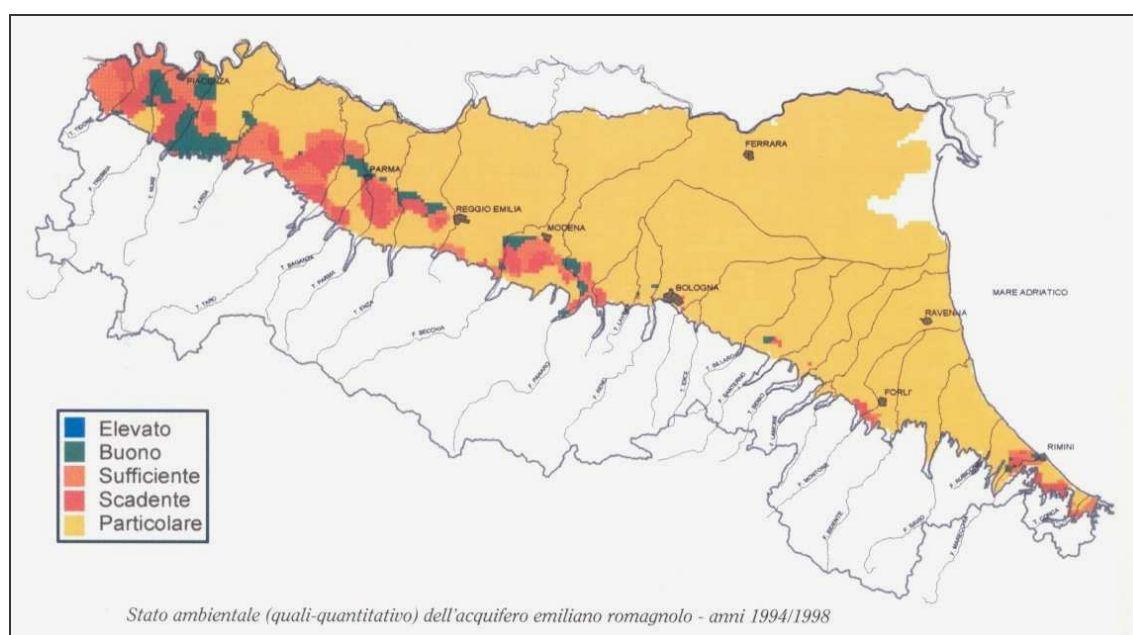
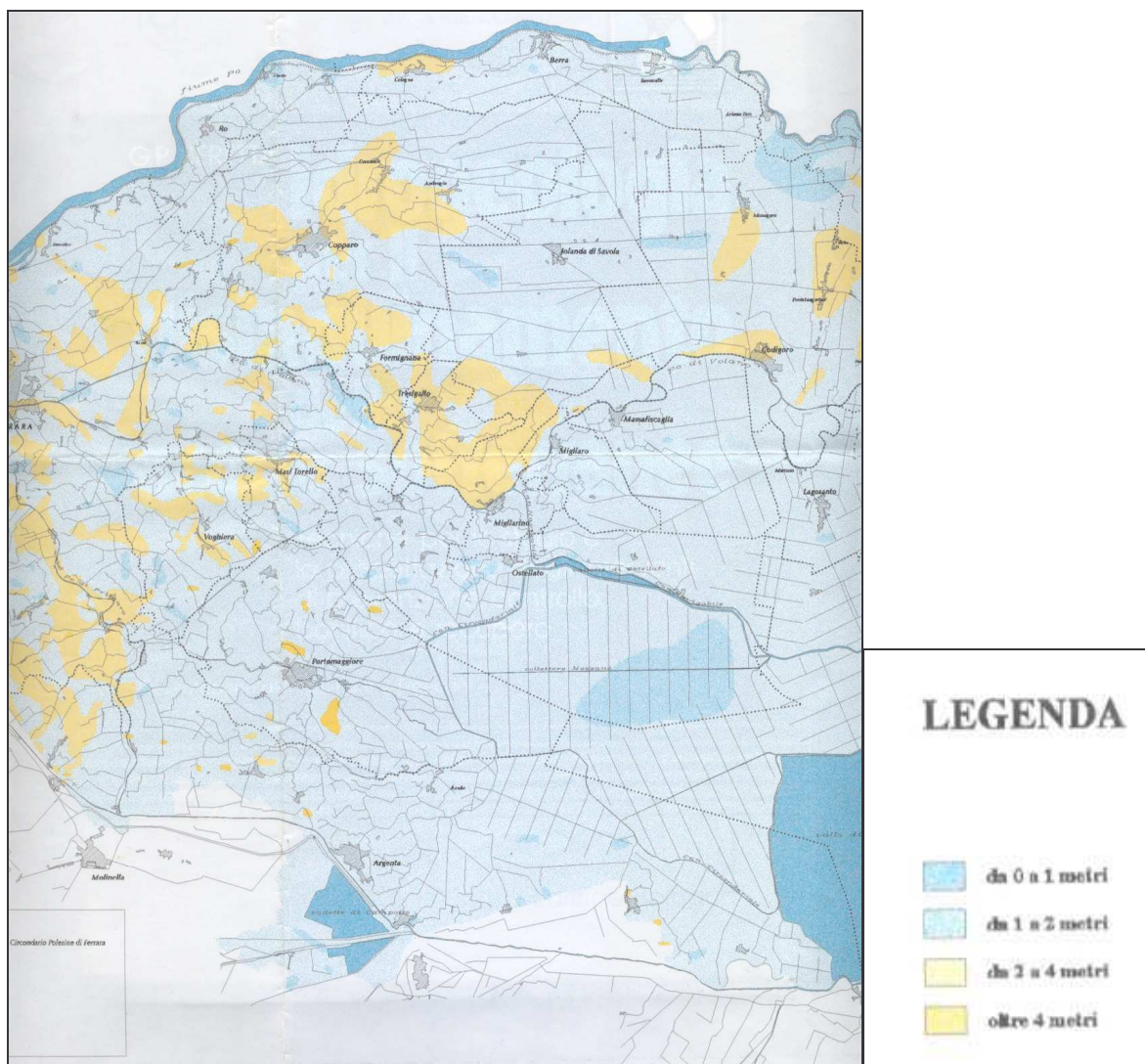


FIGURA 10.20– stato ambientale quali-quantitativo dell'acquifero emiliano-romagnolo – anni 1994/1998 (Regione Emilia Romagna, Relazione sullo stato dell'ambiente '99)

## 11. ISOBATE DELLA FALDA FREATICA

Viene qui presentata, in **FIGURA 11.1**, uno stralcio della carta delle isobate minime della superficie freatica della provincia di Ferrara, ossia della profondità minima alla quale si possono incontrare le acque nel sottosuolo. La FIGURA mostra come la superficie freatica si localizzi a una profondità assai limitata sotto il piano campagna, generalmente compresa tra 0 e 2 metri, l'escursione della falda, nell'arco dell'anno, non supera mediamente i 40/60 cm, per cui non possono sensibilmente variare le indicazioni fornite dalla carta per ciascuna zona.



**FIGURA 11.1** – Carta delle isobate minime della superficie freatica della provincia di Ferrara.

Nella fase successiva del PSC, verrà redatta la carta delle isobate della falda freatica sulla base dei dati rilevati in campagna.

## 12. PROPRIETA' IDRAULICHE

### 12.1 CONDUCIBILITA' IDRAULICA E VELOCITA' DI INFILTRAZIONE

Le proprietà idrauliche fondamentali del terreno sono la porosità e la permeabilità.

La porosità è il rapporto tra il volume dei vuoti ed il volume totale del terreno, tanto maggiore è la porosità, tanto maggiore è il volume di acqua teoricamente immagazzinabile nel terreno, si indica con il simbolo  $m$  e viene espressa in percentuale.

La permeabilità è rappresentata dalla capacità di lasciarsi attraversare da un fluido, tale proprietà prende il nome di conducibilità idraulica o coefficiente di permeabilità, viene indicata con il simbolo  $k$  ed ha le dimensioni di una velocità (m/s).

La porosità dipende da diversi fattori quali: le dimensioni relative dei granuli (granuli tutti delle stesse dimensioni danno la stessa porosità, qualunque sia la loro dimensione assoluta, mentre per granuli di dimensioni diverse i granuli più piccoli vanno ad occupare i pori lasciati da quelli più grandi); la forma dei granuli (granuli spigolosi e di forma irregolare danno una porosità più elevata rispetto ai granuli ben arrotondati e di forma quasi sferica); la disposizione dei granuli (i granuli possono essere disposti in maniera diversa dando origine a porosità diverse, basti considerare la compattazione dei terreni che comporta una riduzione del volume dei vuoti); la cementazione (la cementazione riduce la porosità, e incide ancora di più sulla permeabilità in quanto limita la comunicazione tra i pori).

La porosità dei sedimenti, inoltre, diminuisce col tempo per il carico dei materiali, nelle sabbie varia di poco perché la disposizione è già piuttosto stabile, mentre le argille presentano una notevolissima diminuzione di porosità per effetto dei carichi litostatici (e per espulsione di acqua interstiziale), quindi per uno stesso materiale a granulometria costante, la conducibilità idraulica varia in funzione della densità, al diminuire della densità aumenta la conducibilità idraulica.

Nei mezzi porosi e privi di cemento la conducibilità idraulica è funzione essenzialmente del diametro dei granuli e della porosità.

In **Tabella 12.1.** vengono riportati i valori indicativi di conducibilità idraulica (da Casagrande e Fadum,1940) e una valutazione del drenaggio.

La classe di drenaggio del terreno è rappresentata dalla capacità di smaltire acqua gravifica che ristagna sulla superficie e che infiltrata nel terreno, si trova in eccesso al suo interno. Le vie attraverso le quali il terreno smaltisce le acque in eccesso sono il drenaggio interno dell'acqua gravitazionale infiltratasi nei macropori e il drenaggio esterno. Il drenaggio interno dipende dalla struttura e dalla tessitura del terreno che determinano la macroporosità, e dalla vicinanza alla superficie del terreno di livelli a bassa o alta permeabilità; il drenaggio esterno dipende dal drenaggio interno, dalla pendenza del terreno e dall'intensità della precipitazione che causa un afflusso di acque.

In **Tabella 12.2.** viene riportata la classificazione del terreno sulla base della conducibilità idraulica.

$k$ (m/s)	1	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-7}$	$10^{-8}$	$10^{-9}$	$10^{-10}$	$10^{-11}$
<i>Drenaggio</i>	buono				povero				praticamente impermeabile			
	ghiaia pulita		sabbia pulita e miscele di sabbia e ghiaia pulita			sabbia fine, limi organici e inorganici, miscele di sabbia, limo e argilla, depositi di argilla stratificati			terreni impermeabili, argille omogenee sotto la zona alterata dagli agenti atmosferici			
						terreni impermeabili modificati dagli effetti della vegetazione e del tempo						

**Tabella 12.1** –coefficiente di conducibilità idraulica  $k$  (tratto da: *Elementi di Geotecnica*, Coleselli F, Colombo P., 2001)

Grado di permeabilità	Valore di $k$ (m/s)
alto	superiore a $10^{-3}$
medio	$10^{-3} \div 10^{-5}$
basso	$10^{-5} \div 10^{-7}$
molto basso	$10^{-7} \div 10^{-9}$
impermeabile	minore di $10^{-9}$

**Tabella 12.2** –Classificazione del terreno secondo  $k$  (tratto da: *Elementi di Geotecnica*, Coleselli F, Colombo P., 2001)

Se consideriamo una determinata superficie, l'acqua che vi cade in parte evapora, in parte scorre in superficie, in parte si infiltra nel sottosuolo e in parte defluisce sottoterra.

L'acqua che infiltrandosi in profondità alimenta le falde del sottosuolo prende il nome di infiltrazione efficace, essa non comprende né quella parte di acqua ritenuta negli strati superficiali del terreno come umidità, né quella che alimenta il deflusso ipodermico, che circola nel terreno superficiale (suolo, coltre detritica).

Quando comincia a piovere l'acqua che raggiunge il terreno va prima di tutto a saturare il suolo, poi si infiltra nel sottosuolo, se la pioggia continua e se l'intensità di precipitazione è superiore alla capacità di infiltrazione del terreno, l'acqua inizia a scorrere sul terreno fino a confluire nel reticolo idrografico.

Perché si produca un'infiltrazione efficace occorre che la precipitazione si prolunghi per un po' di tempo; minore è l'umidità del terreno, maggiore sarà l'acqua necessaria per produrre una infiltrazione efficace.

Anche la durata della pioggia ha influenza, infatti un forte temporale estivo, anche di alcune decine di mm di precipitazioni, non produrrà infiltrazione efficace se troverà il terreno asciutto; l'acqua piovuta avrà prodotto anche un certo ruscellamento superficiale, in quanto l'intensità di pioggia sarà stata superiore alla capacità di infiltrazione del suolo.

Finita la pioggia, in un periodo di tempo che dipende dai fattori morfologici e vegetazionali dell'area, lo scorrimento superficiale delle acque si esaurisce, mentre l'infiltrazione aumenta con un ritardo legato principalmente alla permeabilità del terreno.

La capacità di un terreno di lasciare infiltrare acqua al suo interno viene rappresentata attraverso la Velocità di infiltrazione, tale velocità viene indicata con il simbolo  $V_i$  e viene misurata in mm/ora.

In questo lavoro la conducibilità idraulica  $k$  (o coefficiente di permeabilità) e la velocità di infiltrazione  $V_i$  vengono misurate con l'utilizzo dell'apparecchio di Muntz.

La velocità di infiltrazione può essere espressa tramite la legge di Darcy come:

$$V_i = k (\Delta H/L)$$

dove:

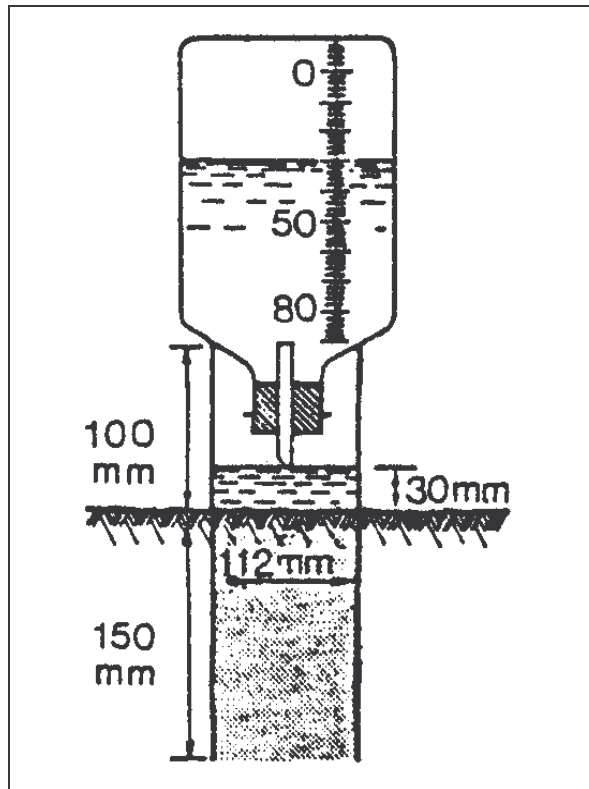
$k$  = conducibilità idraulica del terreno;

$\Delta H$  = differenza di carico tra le due estremità di una colonna;

$L$  = lunghezza colonna.

L'apparecchio di Muntz è costituito da una "bottiglia di Muntz" (Tombesi L., 1982), visibile in **FIGURA 12.1**, che viene riempita d'acqua; ad essa viene associato un cilindro che viene infisso nel terreno fino alla profondità di 150 mm. A questo punto si capovolge la bottiglia e l'acqua scende finché non si forma, all'interno del cilindro e sulla superficie del terreno, una valvola idraulica che provoca l'arresto della discesa d'acqua nella bottiglia.

L'apparecchio va disposto in maniera tale da avere sul terreno un battente d'acqua costante di 30 mm.



**FIGURA 12.1** – Apparecchio di Muntz

Nella bottiglia di Muntz si misura a intervalli l'abbassamento del livello d'acqua (che corrisponde alla quantità di acqua infiltrata nel terreno) e contemporaneamente si misura il tempo in cui si verifica; si può così risalire alla conducibilità idraulica  $k$  (cm/sec) attraverso la seguente formula:

$$k = (Q L) / (t A H)$$

dove:

$Q$  = volume di acqua infiltrata in  $\text{cm}^3$  nell'intervallo di tempo considerato nella prova;

$L$  = lunghezza in cm della parte di cilindro infissa nel terreno, 15 cm (percorso di infiltrazione);

$H$  = carico costante della colonna d'acqua nel cilindro, 18 cm;

$t$  = intervallo di tempo in cui si è misurato la filtrazione del volume  $Q$ ;

$A$  = sezione di flusso del cilindro;

Ottenuta la conducibilità idraulica si può calcolare la velocità di infiltrazione  $V_i$  (*mm/ora*).

Seguono le schede di calcolo con riportati il grafico delle conducibilità idrauliche/tempo e velocità di infiltrazione/tempo per ogni punto investigato. In via indicativa vengono indicati dei valori medi di sintesi, ma il risultato della prova è la curva vera e propria che esplica il comportamento del terreno al cambio dell'umidità, nella simulazione dell'evento meteorico.

Con questo studio si intende fornire ai progettisti delle reti di smaltimento delle acque meteoriche nelle future urbanizzazioni, i parametri idrogeologici dei terreni insaturi che ne condizionano la capacità di accumulare le acque, in termini di permeabilità e velocità di infiltrazione.

Gli impianti di smaltimento di acque in falda e i bacini di accumulo temporaneo delle acque meteoriche per il rilascio graduale nella rete di scolo della bonifica vanno dimensionati in funzione dei parametri idrogeologici dei terreni sopra forniti e dei parametri idraulici derivanti dal progetto dell'urbanizzazione, come specificato nel paragrafo seguente.



## 12.2 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 dovrà 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 rigorosi riguardo alle modalità di calcolo dei volumi richiesti a fronte di una prefissata quota di impermeabilizzazione.

Di seguito vengono riportati i criteri per la valutazione dell'invarianza idraulica, si tenga però presente che è in corso una verifica sperimentale di questa metodologia per stabilirne l'efficacia. Al termine della sperimentazione, l'Autorità di bacino produrrà un documento tecnico per l'applicazione del criterio.

Provvisoriamente, ai fini di una prima applicazione del principio, si utilizza il criterio di invarianza idraulica proposto da A.Pistocchi.

La trasformazione afflussi-deflussi può essere espressa secondo lo schema del riempimento di un serbatoio, e del suo drenaggio con una portata che dipende dal volume invasato.

L' espressione del coefficiente udometrico può essere espressa come:

$$u = \frac{p_0 * n (\phi a)^{1/n}}{w^{n-1}}$$

dove:

$p_0$  = parametro che dipende dalle unità di misura richieste e dal tipo di bacino, e che per i piccoli bacini vale 2530, esprimendo  $u$  in l/s ha (Datei e Natale, 1996).

$a, n$  = parametri della curva di possibilità climatica;

$\phi$  = coefficiente di afflusso

$w$  = volume di invaso specifico (per unità di superficie);

I parametri della curva di possibilità climatica, possono essere desunti a priori dall'analisi regionale delle piogge.

Nel caso si supponga che il coefficiente di afflusso dipenda dalla radice cubica dell'altezza di pioggia, secondo l'ipotesi di Fantoli (Paoletti, 1996; Maione, 1995), si devono considerare valori di  $n$  maggiorati di 1/3 (Datei e Natale, cit.). Dal momento che questa ipotesi è cautelativa, si supponrà che sia sempre verificata nel seguito.

Il parametro  $\phi$  esprime la percentuale di pioggia che alimenta i deflussi superficiali, e si ricava dalla stima delle 'perdite idrologiche' dovute principalmente ad infiltrazione ed evapotraspirazione.

Affinché il coefficiente udometrico rimanga costante deve essere soddisfatta la seguente relazione:

$$w = w^{\circ} \left( \frac{\phi}{\phi^{\circ}} \right)^{\frac{1}{1-n}}$$

dove:

$w$  = volume specifico di invaso dopo la trasformazione;

$w^{\circ}$  = il volume specifico di invaso prima della trasformazione dell'uso del suolo;

$\phi$  = coefficiente di afflusso dopo la trasformazione;

$\phi^{\circ}$  = coefficiente di afflusso prima della trasformazione dell'uso del suolo.

$n$  = parametri della curva di possibilità climatica;

In questo studio l'equazione sopra esposta viene utilizzata per la valutazione dei volumi di invaso richiesti per mantenere il coefficiente udometrico costante al variare del coefficiente di afflusso  $\phi$ . Si assume che la presenza di invasi nell'area in trasformazione consenta di laminare le piene in eccesso che si generano a seguito della trasformazione. A tal fine, operano attivamente come invaso utile tutti i volumi a monte del recapito, compreso l'invaso proprio dei collettori della rete di drenaggio. Si opera quindi nello spirito della valutazione delle opere necessarie a mitigare l'impatto ambientale delle trasformazioni, e si vuole che l'invaso consentito dai collettori fognari o da altri dispositivi garantisca di non superare dopo la trasformazione urbanistica il picco di piena della situazione *ante operam*.

Per la valutazione dei volumi richiesti per l'invarianza idraulica non è affatto certo quale sia il modo corretto di assegnare il parametro  $w_0$  degli invasi specifici *ante operam*, che in generale dipenderà dalle modalità di gestione della superficie (aratura, terreno incolto, bosco o altro) e dalle caratteristiche topografiche e morfologiche del sito.

Ciò significa che sono richiesti ulteriori approfondimenti di tipo sperimentale per definire valori attendibili di  $w^{\circ}$  in diverse situazioni antecedenti la trasformazione urbanistica. Occorre anche considerare che il modello è molto sensibile al variare di  $w$ , e che il volume richiesto per mantenere inalterato il coefficiente udometrico è direttamente proporzionale a  $w^{\circ}$ . Questo significa

che, qualora il metodo proposto dovesse essere applicato a livello normativo, si correrebbe il rischio di pesanti sottostime o sovrastime degli impatti dell'impermeabilizzazione sulle piene, nel caso in cui si stimasse in modo inappropriato il volume dei piccoli invasi precedente la trasformazione dell'uso del suolo.

Allo stato attuale delle conoscenze, si possono solo proporre valori dei volumi dei piccoli invasi in contesto non urbanizzato leggermente più elevati di quanto suggerito dalla pratica nel campo delle fognature, e al contempo minori di quelli indicati per le bonifiche che paiono troppo ottimistici se riferiti ad eventi di elevato tempo di ritorno e quindi a condizioni di suoli saturi, ed inoltre in assenza di un volume considerevole attribuibile al reticolo di drenaggio minore, presente all'epoca della calibrazione del modello per le bonifiche, ma oggi quasi ovunque scomparso. Ad esempio, si può ipotizzare un intervallo di valori fra 50 e 100 mc/ha, corrispondenti a 5-10 mm di velo d'acqua uniforme equivalente. Per il calcolo del volume effettivo di invaso da aggiungere, si è invece assunto che i piccoli invasi, dopo la trasformazione, fossero costantemente pari a 15 mc/ha di area impermeabile secondo le indicazioni del Centro di Studi sui Deflussi Urbani in casi in cui comunque l'urbanizzazione presenta basse densità, e 10 mc/ha di area impermeabile nei casi in cui la copertura impermeabile del suolo è più densa.

Un ulteriore problema teorico del metodo qui proposto è nella stima del coefficiente di afflusso che viene considerato una costante nel caso di eventi brevi ed intensi come le piene urbane, su indicazione del Centro di Studi sui Deflussi Urbani (Paoletti, 1996), si utilizza la seguente relazione:

$$\phi = \phi_I I + \phi_P P$$

dove:

$\phi_I$  = coefficiente per terreno impermeabilizzato,

$I$  = frazione di area impermeabilizzata,

$\phi_P$  = il coefficiente per terreno in condizioni di permeabilità naturale;

$P$  = la quota di area non impermeabilizzata.

Anche se nel caso delle piene urbane è uso trascurare, spesso, la natura dei terreni *in situ*, dal momento che essi sono sempre o quasi permeabili rispetto alle superfici costruite, nelle valutazioni sugli impatti delle trasformazioni di uso del suolo sembra più opportuno distinguere fra terreni a buona permeabilità naturale e a minore permeabilità naturale.

Il Centro di Studi sui Deflussi Urbani ha proposto che i valori  $\phi_I$  e  $\phi_P$  dipendano dal tempo di ritorno considerato degli eventi, come riportato in Errore. L'origine riferimento non è stata trovata. **0.2.1.**

Tempo di ritorno	$\phi_I$	$\phi_P$
<2 anni	0,7	0-0,1
2-10 anni	0,8	0,05-0,15
Oltre 10 anni	0,9	0,1-0,2
Tempi di ritorno particolarmente elevati	0,95	0,25-0,5

Tabella 10.2.1. – (Paoletti, 1996)

I volumi specifici di invaso richiesti per mantenere il coefficiente idrometrico costante in un'area sono ricavati dalla relazione:

$$w = w^o \left( \frac{\phi}{\phi^o} \right)^{\frac{1}{1-n}} - 15 I - w^o P$$

$w$  = volume specifico di invaso dopo la trasformazione;

$w^o$  = il volume specifico di invaso prima della trasformazione dell'uso del suolo;

$\phi$  = coefficiente di afflusso dopo la trasformazione;

$\phi^o$  = coefficiente di afflusso prima della trasformazione dell'uso del suolo;

$n$  = parametri della curva di possibilità climatica;

$I$  = quota che si impermeabilizza;

$P$  = quota che si lascia impermeabile.

Per il calcolo, è stata utilizzata la curva di possibilità pluviometrica, ottenuta dalla regionalizzazione dei dati delle piogge e da una legge di probabilità del tipo TCEV (Franchini e Galeati, 1994), adattata assumendo che la pioggia caduta nei 5', 15' e 30' fosse rispettivamente il 30, il 60 e il 75% della pioggia oraria, secondo quanto osservato in molti bacini sperimentali di varie parti del mondo (Centro Studi Deflussi Urbani, 1998).

Il parametro "a" di questa curva modificata risulta praticamente uguale a quello della curva per durate maggiori dell'ora, mentre il parametro "n" è superiore e conduce a stime cautelative.

Attualmente, come prima applicazione del principio, i Piani Regolatori adottano come misura del volume minimo d'invaso da prescrivere in aree sottoposte a una quota di impermeabilizzazione  $I$  (% dell'area che viene trasformata) e in cui viene lasciata inalterata una quota  $P$  (tale che  $I+P=100\%$ ) il valore convenzionale:

$$w = w^{\circ} \left( \frac{\phi}{\phi^{\circ}} \right)^{\frac{1}{1-n}} - 15 I - w^{\circ} P$$

dove:

$w^{\circ} = 50$  mc/ha

$\phi$  = coefficiente di deflusso dopo la trasformazione,

$\phi^{\circ}$  = coefficiente di deflusso prima della trasformazione,

$n = 0,48$  (esponente delle curve di possibilità climatica di durata inferiore all'ora, stimato nell'ipotesi che le percentuali della pioggia oraria cadute nei 5', 15' e 30' siano rispettivamente il 30%, 60% e 75%, es. Paoletti, 1996);

$I$  e  $P$  espressi come frazione dell'area trasformata;

Il volume così ricavato viene espresso in mc/ha e deve essere moltiplicato per l'area totale dell'intervento, a prescindere dalla quota  $P$  che viene lasciata inalterata.

Per la stima dei coefficienti di deflusso  $\phi$  e  $\phi^{\circ}$  si fa riferimento alla relazione convenzionale:

$$\phi^{\circ} = 0.9 I_{mp} + 0.2 P_{er}$$

$$\phi = 0.9 I_{mp} + 0.2 P_{er}$$

dove:

$I_{mp}$  e  $P_{er}$  sono rispettivamente le frazioni dell'area totale da ritenersi impermeabile e permeabile, prima della trasformazione (se connotati dall'apice $^{\circ}$ ) o dopo (se non c'è l'apice $^{\circ}$ ).

Si deve ritenere permeabile ogni superficie non rivestita con pavimentazioni di alcun genere, mentre per pavimentazioni dal carattere semipermeabile si dovrà valutare caso per caso in sede di concessione edilizia anche sulla base delle specifiche tecnologiche dei prodotti impiegati. Le aree che non vengono pavimentate con la trasformazione, ma vengono sistemate e regolarizzate, devono essere incluse a computare la quota  $I$ .

La quota  $P$  dell'area in trasformazione è costituita solo da quelle parti che non vengono modificate mediante regolarizzazione del terreno o altri interventi anche non impermeabilizzanti.

Nei casi in cui la superficie in trasformazione superi l'estensione di 10 ha, occorrerà procedere ad uno studio di maggiore dettaglio che porti a dimensionare i dispositivi (vasche volano, bocche di efflusso tarate associate ad aree di espansione, ecc.) che evitino un aggravio delle portate massime defluenti verso i recettori, e dimostri l'insussistenza di condizioni peggiorative.

Lo studio dovrà essere valutato da parte dell'autorità idraulica competente sui recettori del drenaggio dell'area, nelle sedi istruttorie previste.

Il metodo esposto fornisce un contributo alla valutazione dell'impatto delle trasformazioni di uso del suolo sulle piene urbane, esprimendo gli effetti in termini facilmente comprensibili di un volume di invaso equivalente richiesto per mantenere inalterato il coefficiente udometrico. Il metodo, che poggia su una consolidata prassi ingegneristica, è comunque pensato per essere integrato con valutazioni di maggiore dettaglio nei casi di più pronunciata criticità ed ai soli fini della pianificazione territoriale, e non autorizza a trascurare una modellazione idraulica più complessa dei manufatti di significativa importanza come vasche volano, reti esistenti o di progetto e serbatoi. In particolare, si sottolinea come, se la laminazione riguarda aree di notevole estensione, potrebbero verificarsi criticità aggiuntive a valle se la laminazione fa persistere portate più elevate rispetto alla situazione *ante operam*, in simultanea con la piena del recettore.

## 13. CLIMATOLOGIA

### 13.1. ASPETTI METEO-CLIMATICI GENERALI

L'area oggetto di studio viene definita, nelle classificazioni climatiche su base termica, a clima temperato freddo, con estati calde, inverni piuttosto rigidi ed elevata escursione termica estiva. Questa connotazione viene in parte alterata dalla presenza della catena montuosa appenninica nella quale trovano posizione alcuni importanti sistemi vallivi con orientamento SW-NE e che determinano strutture topograficamente aperte alle correnti nord-orientali. Quest'area rappresenta una importante zona di confluenza e di smistamento delle masse d'aria provenienti, da varie direzioni (Atlantico, Mediterraneo, Europa settentrionale ed Europa Centro-Orientale) e con contrasti quindi ben definiti.

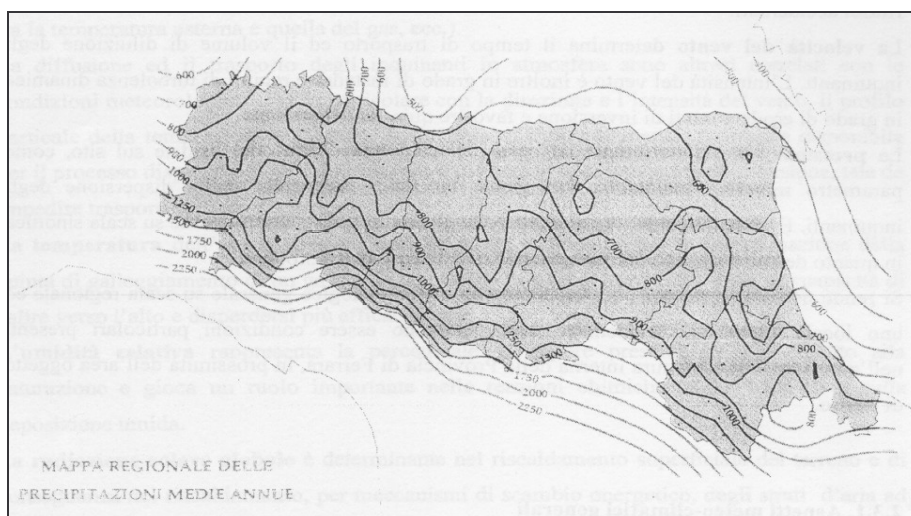
La regione si presenta suddivisa in tre grandi aree: una zona collinare, un'ampia zona pianeggiante e un'area prospiciente l'Adriatico settentrionale caratterizzata da condizioni meteorologiche costiere.

L'area dei 5 comuni appartiene dunque alla fascia temperato fredda, anche se la parte più orientale, grazie alla presenza del mare presenta caratteri climatici più francamente mediterranei. La posizione del mare a est fa sì che tale influsso sia più evidente nel periodo tra marzo e ottobre, quando divengono particolarmente sensibili i venti orientali di più ampio raggio.

Durante l'inverno la pianura padana rappresenta una bacino di aria relativamente fredda, ad alta pressione, che sospinge i venti con direzione ovest est sulla fascia costiera adriatica. Il frequente spostamento verso sud ovest, nei mesi invernali e primaverili, di queste alte pressioni, o la loro relativa attenuazione rispetto all'aria anticiclonica russo-asiatica, può dar via libera alla Bora, che è un'altra caratteristica peculiare della fascia litoranea. Nell'estate invece la situazione termico barometrica si inverte determinando venti da est (che sulla costa si traducono nelle classiche "levantare") o più frequentemente venti di sud est (il cosiddetto Scirocco).

Nelle aree di pianura le **precipitazioni medie annue** oscillano da 500 a 1000 mm, nell'area allo studio si hanno valori che variano da 650mm a 700 mm, nell'area deltizia risultano inferiori ai 600 millimetri. In particolare è relativamente meno frequente la neve. I massimi di piovosità autunnali e primaverili, tipici del resto della pianura, qui manifestano spesso la tendenza a saldarsi in un periodo unico invernale, con scarsità di precipitazioni in primavera. Si veda in proposito la **FIGURA 13.1**, tratta da "I numeri del Clima" dove vengono presentate le precipitazioni medie annue.

Vanno però evidenziate, specie dopo il 1970, interessanti diminuzioni sia nelle precipitazioni annuali che nell'intensità dei venti. Solo in questi ultimissimi anni si avverte una nuova variazione di tendenza, per cui si dovrà verificare se sia iniziato un nuovo periodo o se si siano verificati eventi eccezionali. Di questo argomento si parlerà più diffusamente nel prossimo paragrafo.



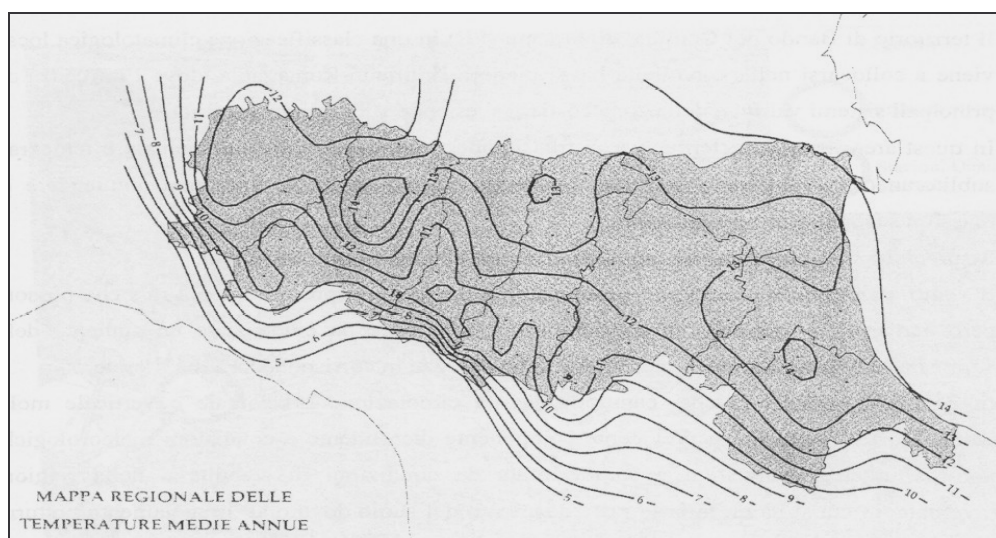
**FIGURA 13.1** – Precipitazioni medie annue (I numeri del Clima, RER, 1995)

In tutta la Padania orientale l'**umidità** relativa è assai alta, e scende sotto al 60% solo nei mesi di luglio e agosto, mentre è elevatissima nel periodo tra novembre e febbraio, ossia nei mesi in cui la notte è più lunga e si registra quindi, in condizioni anticicloniche, una più lunga permanenza di aria fredda al suolo, con conseguente formazione di nebbie.

Ma l'inversione termica verticale si presenta spesso anche nelle altre stagioni, e con essa la nebbia, specie nelle aree più umide; nei mesi meno freddi però lo strato nebbioso conseguente è in questi casi meno spesso e limitato solo alle prime ore del mattino.

Nell'area costiera la stratificazione termica è più frequentemente contrastata dal vento; d'altra parte l'umidità assoluta è maggiore. In definitiva si può ritenere che il numero annuale delle ore di nebbia sia più o meno uguale nell'entroterra e nella regione deltizia; ma mentre nell'entroterra esse risultano concentrate soprattutto nei mesi invernali, nell'area costiera esse sono diluite in un periodo più lungo e si presentano soprattutto a tarda notte e al mattino.

La temperatura media presenta un minimo annuale in gennaio e un massimo in luglio con un incremento di circa 4°C per mese (da gennaio a luglio) e un decremento di circa 5-6°C per mese (da settembre a dicembre). Si veda in proposito la **FIGURA 13.2**, tratta da "I numeri del Clima" dove vengono presentate le temperature medie annue.



**FIGURA 13.2** – Temperature medie annue (*I numeri del Clima*, RER, 1995)

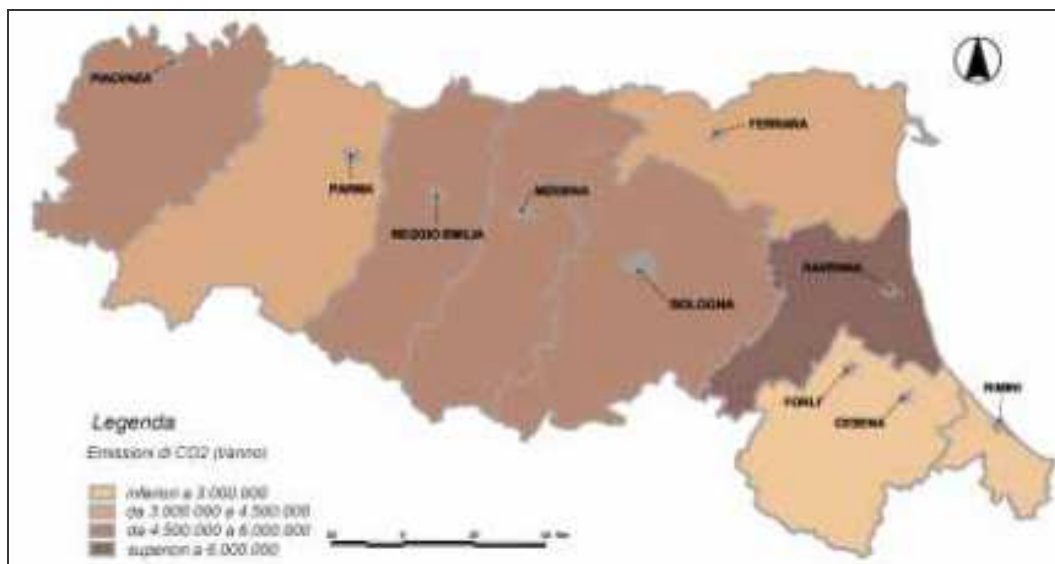
Da tutti questi dati è possibile vedere la particolare caratterizzazione atmosferica dell'area deltizia, che può essere riguardata come una vera e propria sub-regione, rispetto alla regione climatica padana; le condizioni sono subito diverse poco ad ovest di Adria, e tutto il lato verso l'entroterra tende ad appartenere assai più decisamente, dal punto di vista zonale, al resto della Padania (i cui settori presentano per altro differenziazioni climatiche reciproche assai più lievi).

### 13.2 CAMBIAMENTI DELLO STATO DEL CLIMA

Gli ultimi anni presentano caratteristiche climatiche anomale rispetto alle medie, è probabile che tali fenomeni si iscrivano in una tendenza al progressivo riscaldamento dell'atmosfera terrestre (effetto serra), con conseguenti diminuzioni delle precipitazioni nelle fasce subequatoriali e subtropicali. Fra i possibili futuri "scenari" è ipotizzabile una maggiore variabilità ed asprezza del clima, con maggior frequenza di eventi meteorologici finora considerati eccezionali.

Il riscaldamento dello strato inferiore dell'atmosfera, definito come "effetto serra", è attribuibile in gran parte alle emissioni di CO<sub>2</sub>, connesse principalmente ad attività antropiche e all'utilizzo di combustibili fossili, alle emissioni di CH<sub>4</sub> connesse alle attività agricole, agli allevamenti, allo smaltimento dei rifiuti e all'utilizzo dei combustibili fossili, ed alle emissioni di N<sub>2</sub>O connesse alle pratiche agricole e ai processi industriali. Per la valutazione dei cambiamenti climatici avvenuti sul territorio, sono stati analizzati due parametri meteo di base: la temperatura dell'aria vicino al suolo e la precipitazione.

L'effetto serra è il graduale incremento della temperatura media dell'atmosfera a causa della riduzione del suo potere disperdente, derivante dalle modifiche delle concentrazioni di alcuni gas che la compongono (ad es. CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O), le emissioni totali di CO<sub>2 eq</sub> sono un indicatore dell'andamento dei fattori causali dell'effetto serra. Come si può notare dalla **FIGURA 13.3**, dove viene mostrata la mappa delle emissioni totali di CO<sub>2 eq</sub>, la provincia di Ferrara risulta una delle regioni in cui si registrano i valori di emissione minori. I dati sono stati estrapolati dall' "Annuario regionale dei dati ambientali 2004" di Arpa Emilia-Romagna.



**FIGURA 13.3** – mappa delle emissioni totali CO<sub>2 eq</sub> (t/anno) (stime al 2000)  
(Annuario regionale dei dati ambientali 2004-Arpa Emilia-Romagna)

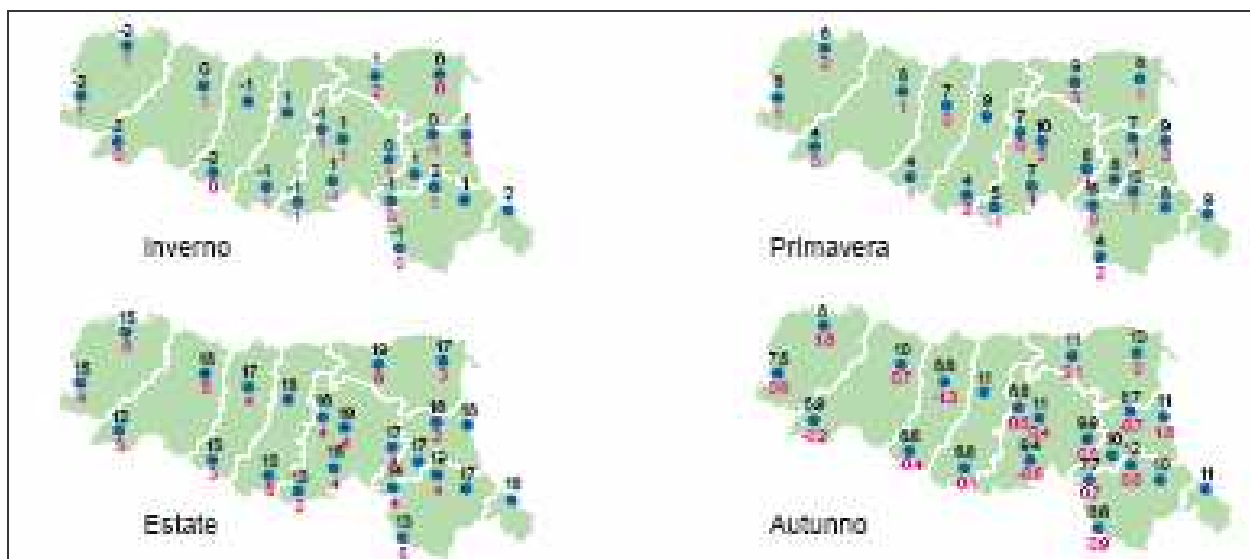
Le anomalie delle temperature estreme giornaliere (Tmin - Tmax) sono calcolate come la differenza tra i valori osservati nell'anno di riferimento 2003, rispetto al clima del periodo 1961-1990.

Durante l'anno 2003 hanno predominato in genere delle anomalie positive di **temperatura** su tutta la regione, sia nei valori minimi che nei valori massimi.

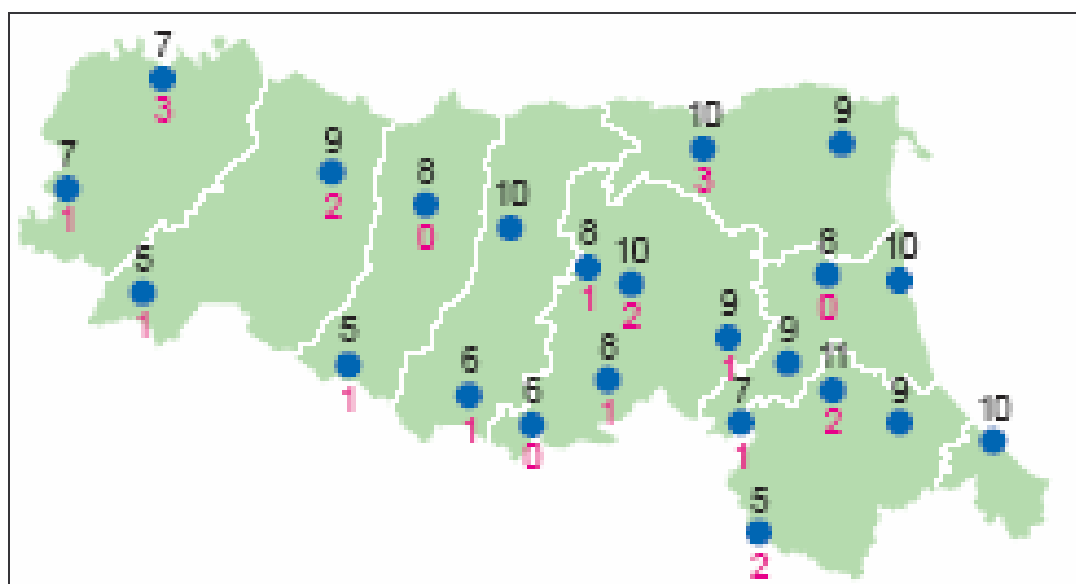
Per quanto riguarda le temperature minime, le anomalie dell'area allo studio sono risultate modeste, dell'ordine di 1°-3°C durante l'inverno, la primavera e l'autunno; l'estate invece è risultata molto calda con elevati valori di anomalia positiva che hanno raggiunto punte di 6°C.

In **FIGURA 13.4** viene mostrata la carta dei valori stagionali di anomalia della temperatura minima, e in **FIGURA 13.5** la carta dei valori annuali delle anomalie della temperatura. (**LEGENDA:** sopra il simbolo della stazione sono riportati i valori climatici di riferimento, calcolati sul periodo 1961-1990; sotto il simbolo della stazione sono riportate le anomalie dell'anno 2003)





**FIGURA 13.4** - anomalie della temperatura minima – valori stagionali  
(Annuario regionale dei dati ambientali 2004-Arpa Emilia-Romagna)



**FIGURA 13.5** - anomalie della temperatura minima – valori annuali (anno 2003)  
(Annuario regionale dei dati ambientali 2004-Arpa Emilia-Romagna)

Per quanto riguarda le temperature massime ha predominato una anomalia positiva su tutte le stagioni, con valori ancora più accentuati rispetto a quelli delle minime. L'estate è stata eccezionalmente calda con valori di anomalia che hanno raggiunto i 6°C.

In **FIGURA 13.6** viene mostrata la carta dei valori stagionali di anomalia della temperatura minima, e in **FIGURA 13.7** la carta dei valori annuali delle anomalie della temperatura.

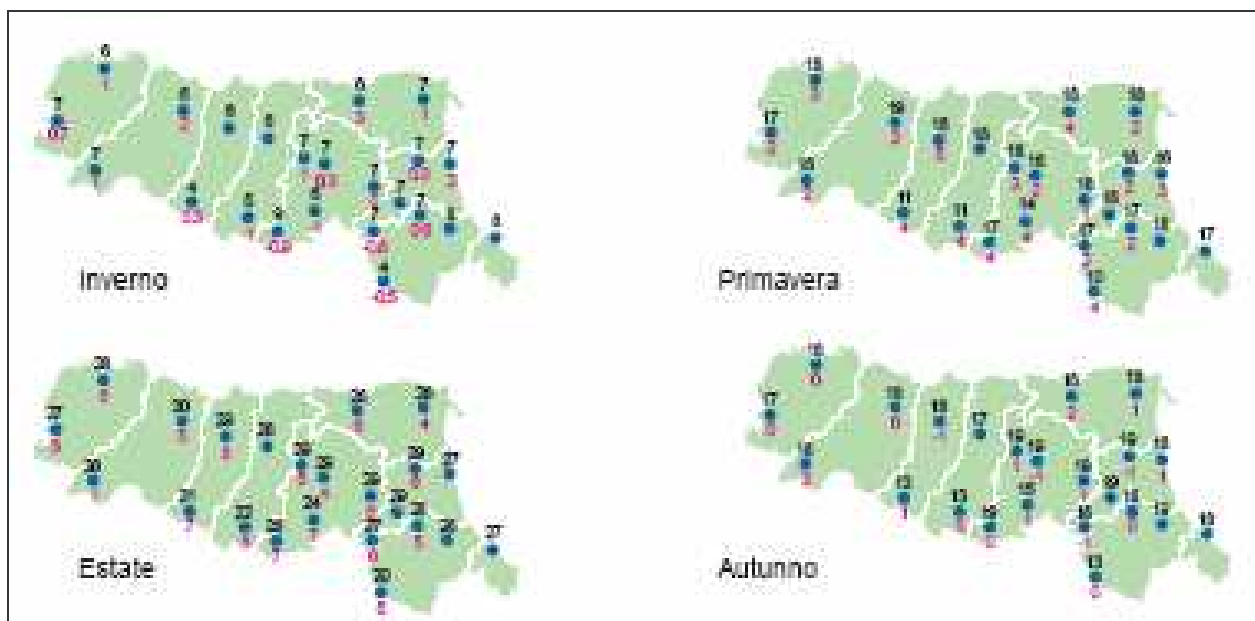


FIGURA 13.6 - anomalie della temperatura massima – valori stagionali (Annuario regionale dei dati ambientali 2004-Arpa)

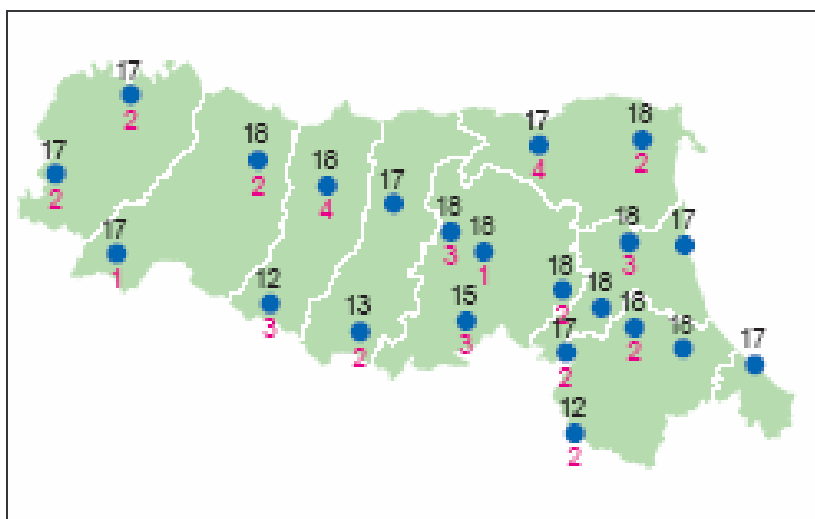


FIGURA 13.7 - anomalie della temperatura massima – valori annuali (anno 2003)(Annuario regionale dei dati ambientali 2004-Arpa)

Le anomalie termiche sono state analizzate sulla base di un altro indicatore: il numero minimo di giorni con temperatura minima inferiore a 0°C, per la stagione invernale, e il numero di giorni con temperatura massima superiore a 30°C, per la stagione estiva.

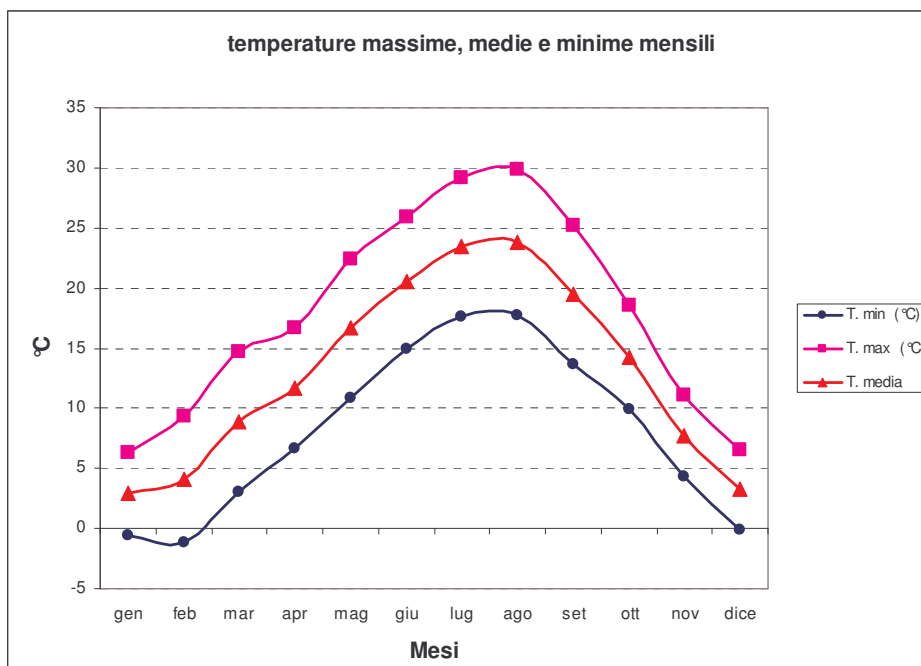
I risultati ottenuti mostrano che nella provincia di Ferrara non si sono verificati delle evidenti anomalie di giorni con gelo, mentre si è verificata una ampia anomalia dei valori di temperatura massima durante l'estate 2003.

Per meglio identificare l'area oggetto di studio vengono inoltre presi in esame i valori delle temperature mensili riferite alla stazione di Longastrino n. 00002 C.A.M.S.E. (lat. 44°36', lon. 12°04', alt. -1m) situata nel Comune di Argenta. I dati sono stati forniti dal Servizio Meteorologico Regionale (S.M.R.).

Nella **FIGURA 13.8** si riporta il grafico con l'andamento delle temperature massime, medie e minime mensili nel periodo 1987-1994, e nella tabella sono riportati i valori relativi al grafico inerenti alla temperatura massima, media e minima mensile.

I valori mostrano un andamento tipico di località sub-continentale, (escursione termica annua superiore a 19°C), con un massimo in agosto pari a 29,9° e un minimo in febbraio di -1,1°C, con una significativa escursione termica fra i due periodi (31,0°C). Va inoltre sottolineata la presenza di periodi di gelo nei mesi di dicembre, gennaio e febbraio.

La temperatura media annua rilevata è pari a circa 12,4°C con un minimo assoluto in febbraio pari a -14,8°C e un massimo assoluto pari a 36,3°C ottenuto in agosto.



MESE	T. min (°C)	T. max (°C)	T. media (°C)
gen	-0,6	6,3	2,9
feb	-1,1	9,3	4,1
mar	3,1	14,7	8,9
apr	6,7	16,7	11,7
mag	10,9	22,4	16,7
giu	15	25,9	20,5
lug	17,6	29,2	23,4
ago	17,7	29,9	23,8
set	13,7	25,2	19,5
ott	9,9	18,6	14,2
nov	4,3	11,1	7,7
dice	-0,1	6,6	3,3

**Figura 13.8** - grafico delle temperature massime, medie e minime mensili e tabella nel periodo considerato 1987-1994

L'anomalia delle precipitazioni è anch'essa calcolata come la differenza tra i valori osservati nell'anno di riferimento 2003, rispetto al clima del periodo 1961-1990.

L'analisi delle **piogge** evidenzia un anno siccitoso, caratterizzato da anomalie pluviometriche negative, in alcuni casi, molto elevate, che hanno interessato tutta la regione, fatta eccezione per il settore appenninico.

Analizzando in dettaglio le singole stagioni si nota che durante la primavera e l'autunno 2003 le precipitazioni sono state superiori alla media. Il deficit pluviometrico, nella nostra provincia, è dunque imputabile alle stagioni invernale ed estiva, che sono risultate molto siccitose.

In **FIGURA 13.9** viene mostrata la carta dei valori stagionali di anomalia delle precipitazioni, e in **FIGURA 13.10** la carta dei valori annuali delle anomalie delle precipitazioni.

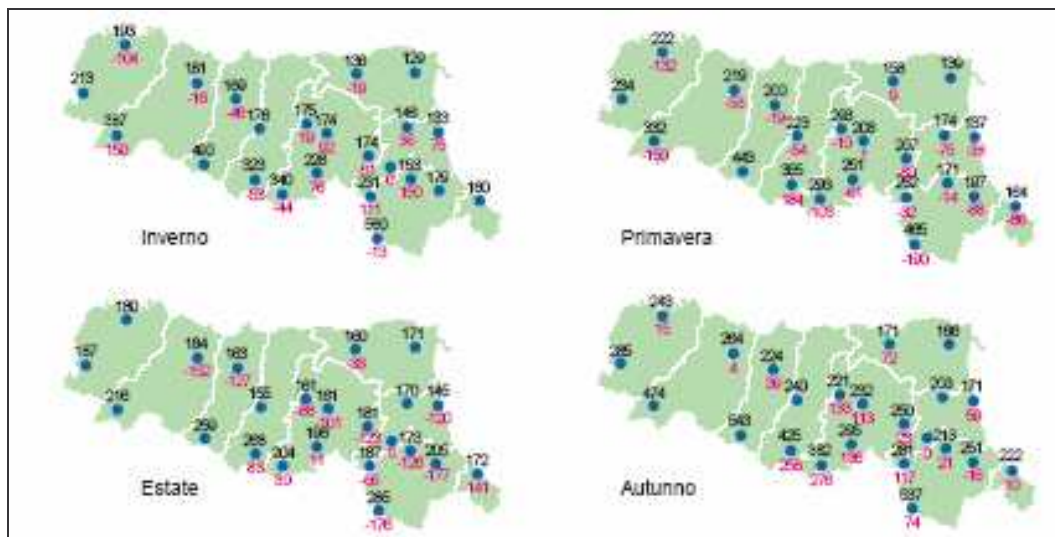


FIGURA 13.9- anomalie delle precipitazioni – valori stagionali (Annuario regionale dei dati ambientali 2004-Arpa)

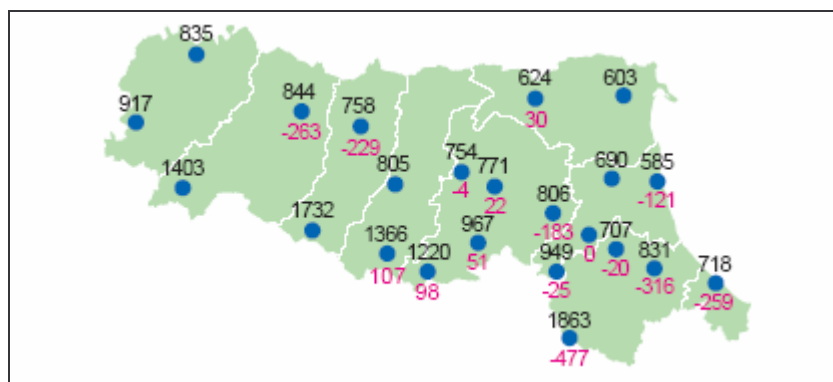
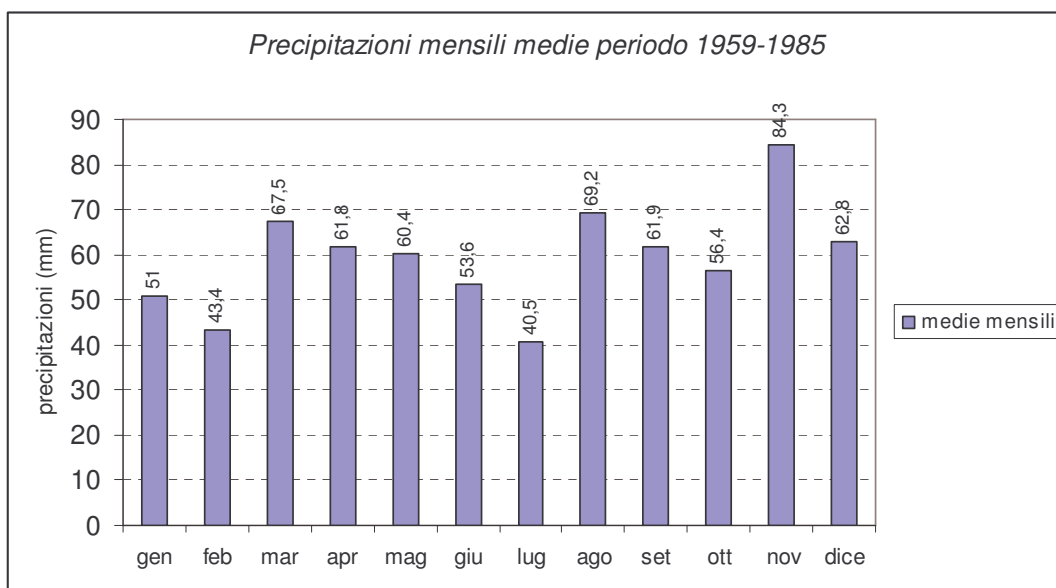


FIGURA 13.10- anomalie delle precipitazioni – valori annuali (anno 2003)(Annuario regionale dei dati ambientali 2004-Arpa)

Anche nel contesto relativo alle precipitazioni vengono presi in esame i valori relativi ad una stazione pluviometrica ubicata all'interno del Comune di Argenta per meglio identificare l'area oggetto di studio.

Le piogge relative all'area oggetto di studio sono riferite alla stazione pluviometrica di Bando n. 02233 (lat. 44°38', lon. 11°53', alt. 3m) e situata nel Comune di Argenta. I dati forniti dal Servizio Idrografico (S.I.) sono riferiti al periodo 1956-1985. Nella FIGURA 13.11 si riporta l'andamento delle precipitazioni medie mensili nel periodo di tempo analizzato. Nella tabella allegata sono riportati anche i mm di pioggia massimi caduti in un solo giorno ed è riportata la data dell'evento meteo.



MESE	precipitazioni medie (mm)	massima assoluta	
		giorno	mm
gen	51	23/01/1973	67,8
feb	43,4	11/02/1985	32,2
mar	67,5	31/03/1959	63,4
apr	61,8	21/04/1980	43,8
mag	60,4	30/05/1959	99,2
giu	53,6	19/06/1980	65
lug	40,5	03/07/1979	85
ago	69,2	19/08/1979	198
set	61,9	25/09/1973	93,4
ott	56,4	20/10/1980	75,6
nov	84,3	06/11/1959	82,2
dice	62,8	27/12/1967	63,8
ANNO	712,8		

**Figura 13.11** - grafico delle precipitazioni medie mensili e tabella con riportati anche gli eventi giornalieri più intensi nel periodo considerato 1956-1985

Per quanto riguarda l'analisi dei venti si fa riferimento alle misure della stazione dell'Aeronautica Militare di Ferrara (OMM 16138 – Lat. 44°49', Long. 11°37', Alt. 9m s.l.m.) nel periodo dal gennaio 1951 al dicembre 1991. la scelta di questa stazione dipende dal fatto che occorre una banca dati sufficientemente rappresentativa per ricostruire una base storica sull'andamento dei venti nell'area allo studio.

Nella **FIGURA 13.12** sono riportati sottoforma di istogramma, di rosa dei venti e di tabella le distribuzioni delle frequenze annuali per classi di velocità.

Per quanto riguarda l'intensità del vento, i dati sono stati suddivisi in 6 classi di intensità secondo i seguenti intervalli:

Classe I : velocità del vento inferiore o uguale a 1 nodo definito come "calma";

Classe II : velocità del vento compresa tra 2 e 4 nodi ( $2 \leq v \leq 4$ );

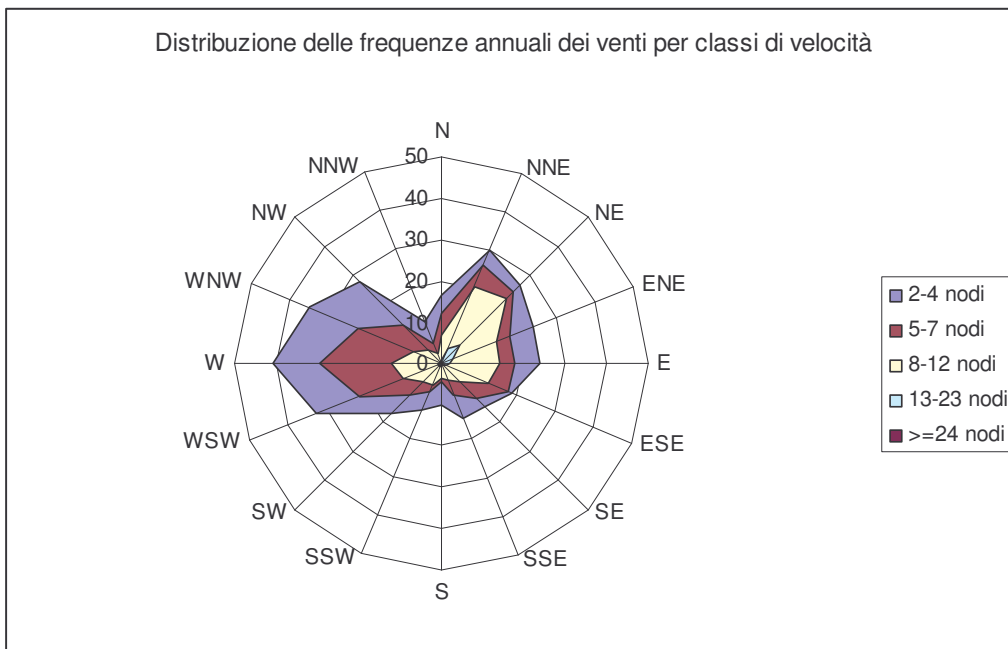
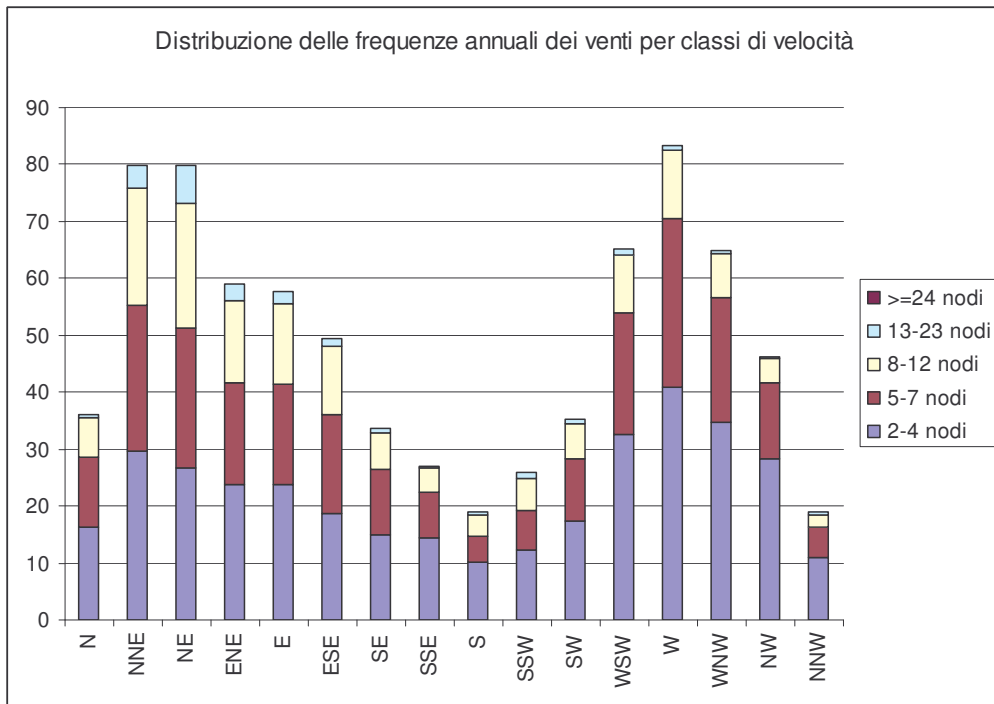
Classe III : velocità del vento compresa tra 5 e 7 nodi ( $5 \leq v \leq 7$ );

Classe IV : velocità del vento compresa tra 8 e 12 nodi ( $8 \leq v \leq 12$ );

Classe V : velocità del vento compresa tra 13 e 23 nodi ( $13 \leq v \leq 23$ );

Classe VI : velocità del vento maggiore o uguale a 24 nodi ( $v \geq 24$ ).

I dati evidenziano una predominanza in tutte le direzioni dei venti a velocità compresa tra i 2 e 4 nodi e tra i 5 e 7 nodi (anche se in misura minore). Si evidenziano inoltre componenti non trascurabili di venti a velocità tra gli 8 e 12 nodi nei quadranti NE e E, visibili nella rosa dei venti di **FIGURA 13.13**.



Settore		CLASSI DI VELOCITA' (NODI)						
n.	gradi	0-1 nodi	2-4 nodi	5-7 nodi	8-12 nodi	13-23 nodi	>=24 nodi	totale
1	0-22,5		16,39	12,24	6,78	0,74	0,01	36,16
2	22,5-45		29,77	25,63	20,32	4,01	0,01	79,74
3	45-67,5		26,8	24,43	21,99	6,56	0,2	79,98
4	67,5-90		23,76	17,91	14,37	3,03	0,03	59,1
5	90-112,5		23,78	17,72	14,08	2,15	0,03	57,76
6	112,5-135		18,61	17,38	12,18	1,26	0,06	49,49
7	135-157,5		14,83	11,57	6,51	0,64	0	33,55
8	157,5-180		14,42	7,89	4,43	0,36	0	27,1
9	180-202,5		10,1	4,62	3,69	0,56	0	18,97
10	202,5-225		12,18	7,15	5,52	0,95	0,03	25,83
11	225-247,5		17,47	10,91	6,17	0,77	0,03	35,35
12	247,5-270		32,47	21,55	10,18	0,83	0,02	65,05
13	270-292,5		40,78	29,63	12,04	0,89	0,01	83,35
14	292,5-315		34,77	21,75	7,85	0,46	0	64,83
15	315-337,5		28,26	13,27	4,4	0,23	0,01	46,17
16	337,5-360		10,99	5,26	2,31	0,29	0	18,85
<b>direzione variabile</b>			1,02	0,23	0,09	0,01	0	1,35
<b>calme (&lt;=1 nodo)</b>		217,32						217,32
<b>totale</b>		217,32	356,4	249,14	152,93	23,76	0,45	1000

Figura 13.12 - Direzione e velocità del vento, stazione meteo di Ferrara A.M. 138, periodo gennaio 1951-dicembre 1991

## 14. CARTOGRAFIA DI SINTESI

### 14.1. Carta delle qualità geotecniche dei terreni (Cod. B.2.8.)

Per redigere la “carta delle qualità geotecniche dei terreni comunali” 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 dei 5 comuni e nelle aree limitrofe, da interfacciare con le strutture geomorfologiche individuate sul territorio.

La banca dati è stata costituita con la raccolta di prove penetrometriche statiche eseguite dagli studi dei Geologi Thomas Veronese, Roberta Luetti e Raffaele Brunaldi. Sono state inoltre fornite gentilmente dall’Amministrazione Provinciale numerose prove contenute nella sua banca dati. 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 dei 5 comuni.

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 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” (FIGURA 14.1) per il rilievo della resistenza alla punta  $R_p$  e dell’attrito laterale locale  $R_l$ , avente un’area di 10 cm<sup>2</sup>, angolo 60°, velocità di avanzamento 2 cm/sec.



FIGURA 14.1: Punta telescopica tipo “Begemann”

La metodologia per la stesura della carta tematica è sperimentale, ed 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 -0,80m 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<sup>2</sup>.

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



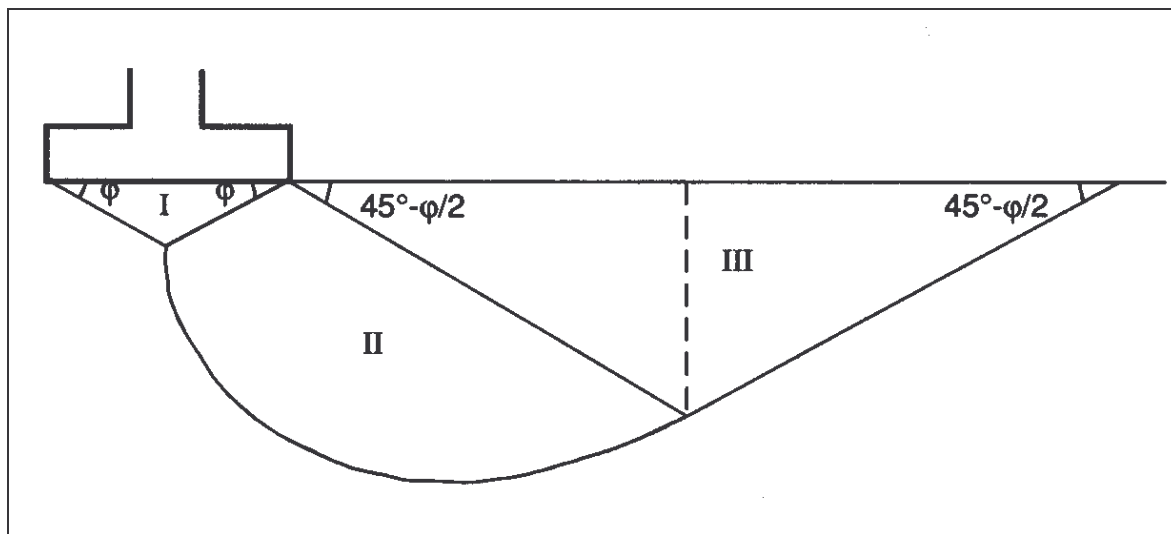
L'applicazione del sovraccarico della fondazione conduce ad una variazione dello stato tensionale del terreno, il carico applicato tende a diffondersi fino al suo completo assorbimento.

Le profondità di -3,0m e di -7,0m sono state scelte statisticamente 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  $\varphi$  (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 14.2**.

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

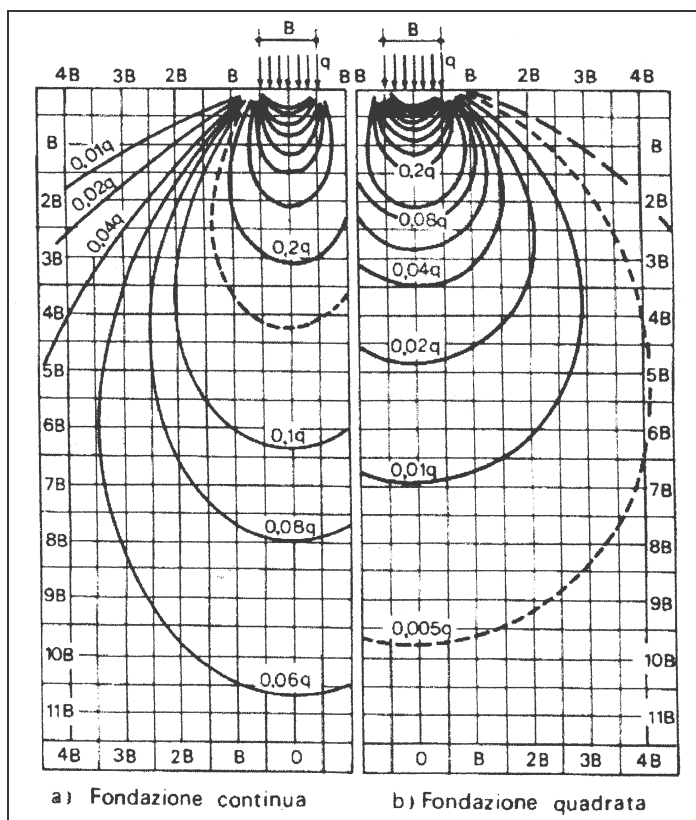
$$H = 0,5 B \operatorname{tg} (45^\circ + \varphi/2).$$



**FIGURA 14.2.** – 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  $\Delta q$  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 14.3**



**FIGURA 14.3** - 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 14.1**, **14.2** e **14.3** vengono riportati gli intervalli dei valori di resistenza alla punta ed i punteggi corrispondenti.

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

**Tabella 14.1** – 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 $R_p$ (kg/cm <sup>2</sup> )	PUNTEGGIO B
$R_p \leq 5$ kg/cm <sup>2</sup>	0
$5$ kg/cm <sup>2</sup> < $R_p \leq 10$ kg/cm <sup>2</sup>	1
$10$ kg/cm <sup>2</sup> < $R_p \leq 25$ kg/cm <sup>2</sup>	2
$25$ kg/cm <sup>2</sup> < $R_p \leq 50$ kg/cm <sup>2</sup>	3
$R_p > 50$ kg/cm <sup>2</sup>	4

**Tabella 14.2** – 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/cm <sup>2</sup> )	PUNTEGGIO C
Rp ≤ 3 kg/cm <sup>2</sup>	-1
Rp > 3 kg/cm <sup>2</sup>	0

**Tabella 14.3** – 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 14.4**:

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

**Tabella 14.4** – 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 dei 5 comuni, il grado di penalizzazione evidenzia solo le aree dove diventa più o meno oneroso costruire.

#### 14.2 Carta delle unità fisiografiche del territorio (Cod. B.2.9.)

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, anche attraverso l'aiuto della carta storica del 1814, del 1877 e del 1898, 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.

Si sono quindi individuati sei principali sistemi fisiografici:

- Area valliva
- Ex area valliva
- Ex area valliva con paleodune sub-affioranti e affioranti
- Ex area valliva con paleoalvei minori e bacini interfluviali
- Dominio fluviale
- Bacino intrefluviale

Il sistema fisiografico denominato “area valliva” perimetra l'attuale comparto vallivo del Comune di Argenta (Valli di Campotto e Valle Santa). Le valli di Campotto e Vallesanta fanno parte delle opere di bonifica idraulica realizzate dal Consorzio della Bonifica Renana, si tratta di due casse di espansione nelle quali le acque dei canali di bonifica vengono immagazzinate quando le quote del fiume Reno non ne consentono il deflusso.

Il sistema fisiografico denominato “ex area valliva” perimetra tutte le aree originariamente 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, tale sistema è suddiviso in: ex area valliva “Bonifica della Galavronara-Forcello-Mantello” (1878); ex area valliva “Bonifica Valle Gallare” (1878); ex area valliva “Bonifica Valle Trebba” (1919); ex area valliva “Bonifica area Cavallieri”.

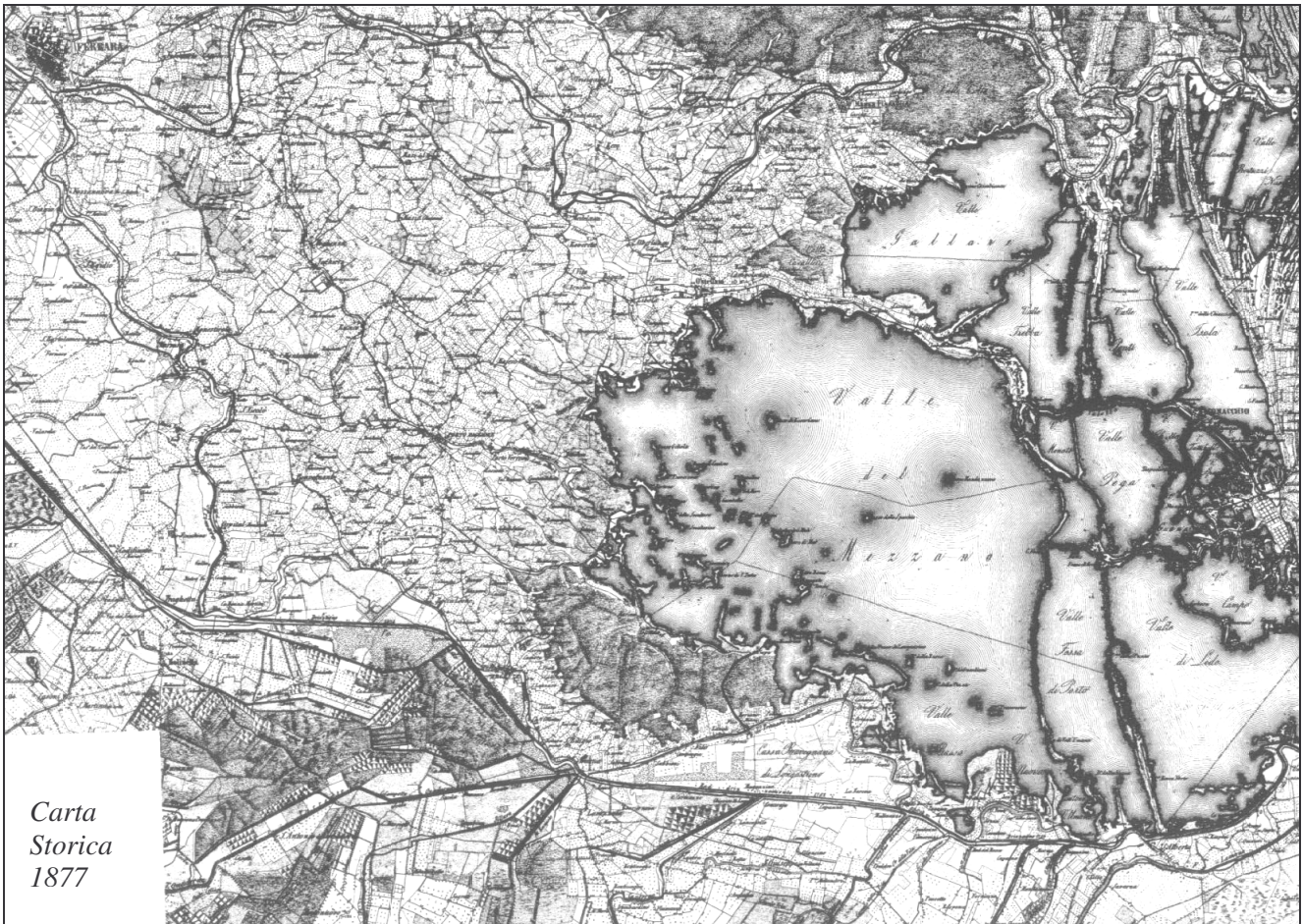
Le ex aree vallive della Bonifica del Mantello e della Bonifica del Mezzano sono state ulteriormente suddivise in due sistemi: con paleodune sub-affioranti e affioranti (indicazione dell'antico sistema costiero); con paleoalvei minori e bacini interfluviali (perimetra tutti i dossi più o meno topograficamente rilevati, indicazione dei vecchi tracciati di fiumi).

Il sistema fisiografico denominato “dominio fluviale” perimetra le aree di pertinenza dei principali fiumi che attraversano i cinque comuni: dominio fluviale del fiume Primaro-Reno; del fiume Padoa-Eridano, del fiume Po di Volano.

Le aree comprese tra due fiumi, denominate “dominio interfluviale” sono suddivise in base ai due fiumi che le perimetrano in: bacino intrefluviale compreso tra il Po di Primaro- Po spinetico-Sandolo; bacino intrefluviale compreso tra il Padoa-Eridano e Sandolo-Primaro; bacino intrefluviale compreso tra il Po di Volano e il Padoa-Eridano; Bacino intrefluviale compreso tra il Po di Volano e il Po; Bacino interfluviale fra il Po di Primaro, Idice e Sillaro; Bacino interfluviale fra il Po di Primaro e il Palealveo del fiume Reno (Valli Vecchio Reno).

La carta delle unità morfologico paesaggistiche 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.

In **FIGURA 14.4** si riporta uno stralcio della carta storica del 1877, ed in **FIGURA 14.5** si riporta uno stralcio della carta storica del 1898.



Carta  
Storica  
1877

FIGURA 14.4 – Stralcio carta storica del 1877



FIGURA 14.5 – Stralcio carta storica del 1898

### **14.3 Carta delle criticità idrauliche (Cod. B.2.10.)**

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 tutto le aree dei cinque comuni aventi quote assolute inferiori a -2,0m s.l.m.; sono inoltre state perimetrare tutte quelle aree appartenenti al settore occidentale del comprensorio dei 5 comuni, che pur facendo parte dei territori generalmente con quote assolute superiori, costituiscono dei microbacini con quote inferiori allo zero (queste sono analisi di area vasta, e non scendono nei particolari, perché ritenuti poco significativi).

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. 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.

### **14.4 Carta delle aree di catino (Cod. B.2.11.)**

La carta dei rilevati sovrapposta alla carta altimetrica 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”, non rilevate in questo lavoro). 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 dei cinque comuni 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.

#### 14.5 Carta delle emergenze geologico - ambientali (Cod. B.2.12.)

Attraverso l'interpolazione tra l'analisi ambientale del territorio comunale, nella quale sono state individuate tutte le strutture geomorfologiche rilevabili, e l'analisi effettuata attraverso la fotointerpretazione delle immagini satellitari, si è potuto individuare e perimetrare una serie di aree che rivestono un ruolo importante dal punto di vista sia geologico che ambientale.

Si sono quindi individuate le seguenti aree:

- *Paleoalveo del Po di Primaro*: visibile come dosso topograficamente rilevato in cui scorre il Po Morto di Primaro.
- *Paleoalveo del Po di Spina*: topograficamente rilevato sul territorio circostante è un dosso storico dal valore paesaggistico e testimoniale; sul suo tracciato sono apprezzabili *l'area della Rotta di Voghenza*, dove uno strato di un paio di metri di sabbie ha sepolto la necropoli romana (nel sito archeologico è visibile la sezione di scavo con le sabbie della rotta a ricoprire il piano campagna di epoca romana). Nelle *cave del Verginese* è apprezzabile l'effetto del passaggio del fiume, ovvero il deposito di notevoli spessori di sabbie. La cava è una finestra nella struttura geomorfologica del paleoalveo, che mette in affioramento lo spessore del paleoalveo, testimone dell'importanza storica del fiume nel territorio ferrarese.
- *Paleoalveo del Po di Sandolo*: è un dosso morfologico particolarmente rilevato sui piani campagna circostati, quindi un buon testimone paesaggistico del passaggio di questi antichi rami fluviali deltizi del Po nelle campagne ferraresi.
- *Paleoalveo del Po di Volano*: un tempo molto più importante per le portate idriche e solide ha caratterizzato la storia del ferrarese e delle sue genti. Sul suo dosso morfologico sorgono le architetture più antiche e interessanti del territorio agricolo del medio e basso ferrarese. Meritevoli di valorizzazione geologico-testimoniale sono *i meandri di Medelana e di Tieni*. Le *aree di cava di Migliarino e Migliaro* sono, come quelle del Verginese, finestre che esplorano le profondità di queste strutture geomorfologiche antiche. La divagazione del fiume, prima del suo irrigidimento in corposi sistemi arginali antropici, viene testimoniato dalle coltri sabbiose cavate nei due siti citati. Sopra il paleoalveo corre l'attuale canale Po di Volano, con regimazione idraulica artificiale; è una principale arteria di distribuzione di acque dolci nelle campagne ferraresi e raccoglie anche le acque scolanti di alcuni impianti di sollevamento costruiti a ridosso.
- *Paleoalveo del fiume Padoa-Eridano, poi Padovetere*: bellissimo dosso morfologico che attraversa quasi tutta la provincia di Ferrara in senso ovest-est. Era il ramo di foce principale del fiume Po, sulle sue rive è sorta la città Etrusca di Spina. Sulle sue sponde sono state costruite le *Anse Vallive di Ostellato*, come testimonianza di ambienti di valle palustre ad acque dolci, estinte per la bonifica. Sul lato nord del paleoalveo sorgono anche le *vasche di lagunaggio dello Zuccherificio di San Giovanni di Ostellato*, che esercitano un certo richiamo per la fauna locale.
- *Sistema dei Dossi paleofluviali Bando-Filo e Bando- Longastrino*: sono strutture molto rilevate sul piano campagna, morfologicamente ben evidenti. Ben testimoniano dal punto di vista geologico e sedimentologico i processi costruttivi della pianura argentina.
- *Fiume Reno*: asta fluviale di tipico fiume appenninico, confinato in un imponente sistema arginale, che caratterizza il paesaggio per le grandi dimensioni dell'opera antropica. Il corso del fiume è artificiale, ed è immesso nel tratto terminale dell'alveo del fiume Po di Primaro. Tutti i meandri naturali sono di fatto stati saltati con drizzagni. A ridosso del tracciato del fiume Reno sorge la bellissima Oasi di Campotto, area umida ad acque dolci, circondata da aree caratteristiche per essere state bonificate per colmata con le piene dei fiumi appenninici. La *cava Paiazza* è una cava di sabbia esaurita, su un deposito di rotta fluviale del paleoalveo del Reno.
- *Canale Circondariale e Bonifiche del Mezzano*: è un canale artificiale, costruito per scopi di bonifica, con gran valore paesaggistico e faunistico, circonda tutta la bonifica del Mezzano suddivisa nel Mezzano nord-

occidentale e Mezzano sud-orientale, dove sono ben visibili i *campi di dune fossili*, testimoni della progradazione della linea di costa verso est, dovuto all'epoca agli apporti del Po di Primaro e del Padoa-Eridano. In prossimità del Canale Circondariale sorgono l'Oasi di Bando, l'area naturalistica MEDSPA, ed una serie di aree umide poste a ovest del circondariale in prossimità dei paesi di Maiero e Portoverrara.

- *Valli di Comacchio*: ultimi residui di valli ad acque salate, su cui sorge la *Penisola di Bosco Forte*, che divide la valle Fossa di Porto dalla valle Lido di Magnavacca. E' un complesso di dossi riconducibile ad una linea di costa i cui allineamenti di dune erano particolarmente rilevati.



*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 inquinamento 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](http://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