



# AUTOSTRADA REGIONALE CISPADANA DAL CASELLO DI REGGIOLO-ROLO SULLA A22 AL CASELLO DI FERRARA SUD SULLA A13

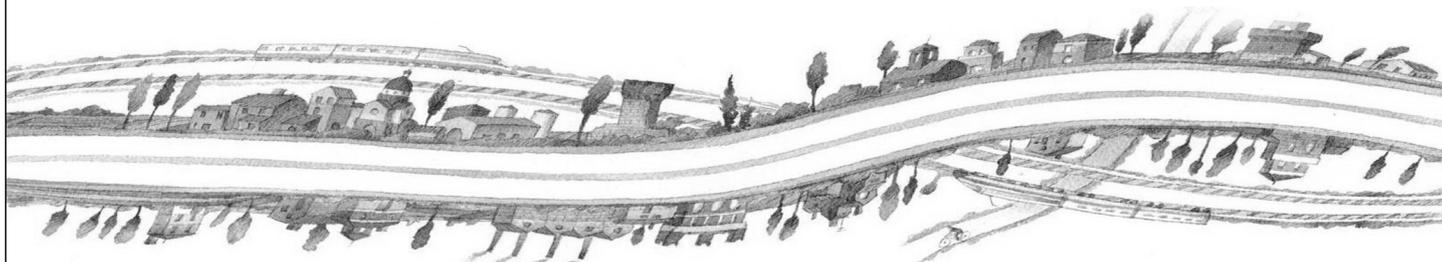
CODICE C.U.P. E81B08000060009

## PROGETTO DEFINITIVO

**VIABILITA' DI ADDUZIONE AL SISTEMA AUTOSTRADALE  
D04-08 (EX 1FE) RACCORDO BONDENO - CENTO - AUTOSTRADA CISPADANA  
GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA, SISMICA E GEOTECNICA**

**GEOLOGIA - IDROGEOLOGIA**

**RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA**



**IL PROGETTISTA**

Ing. Gianfranco Marchi  
Albo Ing. Ravenna n°342

Dott. Geol. Gianluca Benedetti  
Ordine Geol. Emilia-Romagna - Sez. A n° 1019

**RESPONSABILE INTEGRAZIONE  
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE**

Ing. Emilio Salsi  
Albo Ing. Reggio Emilia n° 945



**IL CONCESSIONARIO**

Autostrada Regionale  
Cispadana S.p.A.  
IL PRESIDENTE  
Graziano Pattuzzi

G										
F										
E										
D										
C										
B										
A	17.04.2012	EMISSIONE				Benedetti	G.Marchi	E.Salsi		
REV.	DATA	DESCRIZIONE				REDAZIONE	CONTROLLO	APPROVAZIONE		
IDENTIFICAZIONE ELABORATO										DATA: <b>MAGGIO 2012</b>
NUM. PROGR.	FASE	LOTTO	GRUPPO	CODICE OPERA WBS	TRATTO OPERA	AMBITO	TIPO ELABORATO	PROGRESSIVO	REV.	SCALA: -
5217	PD	0	D00	D0000	0	GT	RH	01	A	



## INDICE

<b>1. PREMESSA.....</b>	<b>4</b>
<b>2. NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>6</b>
2.1. NORMATIVE .....	6
2.2. ELABORATI DI PROGETTO DEFINITIVO .....	6
<b>3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE.....</b>	<b>9</b>
3.1. INQUADRAMENTO STRUTTURALE .....	9
3.2. INQUADRAMENTO STRATIGRAFICO .....	11
3.2.1. Sequenza deposizionale inferiore (Supersistema del Pliocene medio-superiore).....	13
3.2.2. Sequenza deposizionale intermedia (Supersistema del Quaternario marino).....	13
3.2.3. Sequenza deposizionale superiore (Supersistema Emiliano-Romagnolo).....	13
<b>4. GEOMORFOLOGIA .....</b>	<b>16</b>
4.1. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO .....	16
4.2. CARTA GEOMORFOLOGICA .....	17
4.2.1. Carta geomorfologica d'assieme scala 1:25000.....	17
4.2.1.1 <i>Forme fluviali</i> .....	17
4.2.1.2 <i>Elementi antropici</i> .....	19
4.2.2. Carta geomorfologica scala 1:5000.....	21
4.2.2.1 <i>Processo evolutivo dei principali corsi d'acqua</i> .....	22
<b>5. LINEAMENTI GEOLOGICI DI SUPERFICIE.....</b>	<b>27</b>
5.1. CARTOGRAFIA GEOLOGICA .....	27
5.1.1. Carta geologica d'assieme scala 1:25000.....	27
5.1.2. Carta geologica scala 1:5000.....	28
<b>6. SUBSIDENZA .....</b>	<b>29</b>
6.1. PREMESSA.....	29
6.2. SUBSIDENZA NELL'AREA DI INTERESSE .....	30
<b>7. INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO .....</b>	<b>33</b>
7.1. INDAGINI GEOGNOSTICHE TRATTA A1.....	34
7.2. INDAGINI GEOGNOSTICHE TRATTA A2.....	35
7.3. INDAGINI GEOGNOSTICHE TRATTA B.....	36
7.4. INDAGINI GEOGNOSTICHE TRATTA C.....	38
7.5. INDAGINI GEOGNOSTICHE TRATTA D.....	41

<b>8. PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO .....</b>	<b>44</b>
8.1. PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO TRATTA A1 .....	44
8.2. PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO TRATTA A2.....	45
8.3. PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO TRATTA B.....	46
8.4. PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO TRATTA C .....	48
8.5. PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO TRATTA D .....	49
<b>9. CARATTERISTICHE LITOSTRATIMETRICHE .....</b>	<b>51</b>
9.1. SEZIONE LITOSTRATIMETRICA.....	51
<b>10. IDROGEOLOGIA .....</b>	<b>53</b>
10.1. INQUADRAMENTO IDROSTRATIGRAFICO .....	53
10.2. DINAMICA DELLE ACQUE SOTTERRANEE.....	60
10.2.1. Circolazione superficiale nel Complesso Acquifero A0.....	60
10.2.2. Circolazione superficiale nel Complesso Acquifero A1.....	61
10.3. CARTOGRAFIA IDROGEOLOGICA .....	64
10.3.1. Carta idrogeologica d'assieme scala 1:25000 .....	64
10.3.2. Carta idrogeologica scala 1:5000 .....	65

## 1. PREMESSA

La presente relazione concerne lo studio degli aspetti geologici, geomorfologici ed idrogeologici connessi con la Progettazione Definitiva della viabilità D04-08 (ex 1FE) Raccordo Bondeno-Cento-Autostrada Cispadana.

Il tratto di viabilità oggetto della presente relazione si sviluppa ortogonale all'asse principale con direzione Nord-Sud e attraversa i comuni di Bondeno, Cento, Finale Emilia e Sant'Agostino per una lunghezza complessiva di circa 26 km. In particolare, il tracciato è stato suddiviso nei seguenti tratti:

- Tratto A1 lunghezza complessiva 2.987 km,
- Tratto A2 lunghezza complessiva 4.191 km,
- Tratto B lunghezza complessiva 1.639 km,
- Tratto C lunghezza complessiva 10.863 km,
- Tratto D lunghezza complessiva 6.180 km.

In ottemperanza alla normativa vigente "Norme tecniche per le costruzioni", di cui al Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008 il presente studio è stato articolato in una serie di valutazioni di carattere tematico, effettuate principalmente in riferimento allo studio preliminare nonché sulla base dei dati storico-bibliografici e di rilievi diretti di campagna. Ciò ha consentito di definire i lineamenti geologici, geomorfologici ed idrogeologici della zona in esame e di rappresentarli su cartografie di dettaglio.

La campagna d'indagini geognostiche ha previsto la realizzazione di sondaggi geognostici a carotaggio continuo, prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono e pozzetti esplorativi. I campioni prelevati nel corso della campagna di indagini in sito sono stati sottoposti a prove di laboratorio geotecnico. Per la documentazione relativa alle indagini in sito e di laboratorio si rimanda ai documenti allegati alle relazioni geotecniche delle varie tratte, in particolare:

- PD\_0\_D07\_D0000\_0\_GT\_RB\_01 - Relazione geotecnica - Raccordo Bondeno-Cento - Tratto A1;
- PD\_0\_D06\_D0000\_0\_GT\_RB\_01 - Relazione geotecnica - Raccordo Bondeno-Cento - Tratto A2;
- PD\_0\_D04\_D0000\_0\_GT\_RB\_01 - Relazione geotecnica - Raccordo Bondeno-Cento - Tratto B;
- PD\_0\_D05\_D0000\_0\_GT\_RB\_01 - Relazione geotecnica - Raccordo Bondeno-Cento - Tratto C;
- PD\_0\_D08\_D0000\_0\_GT\_RB\_01 - Relazione geotecnica - Raccordo Bondeno-Cento - Tratto D.



Le indagini geognostiche realizzate nell'ambito della progettazione definitiva, unitamente ai dati acquisiti da studi precedenti, hanno permesso la ricostruzione dell'assetto litostratigrafico e la caratterizzazione geologico-geotecnica del sito in esame.

## 2. NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

---

### 2.1. NORMATIVE

---

Le principali normative di riferimento sono riportate nel seguito:

- D.M. 14.01.2008, "Norme tecniche per le costruzioni";
- D.M. 06.05.2008, integrazione al D.M. 14 gennaio 2008;
- Circ. Min. II.TT. 02.02.2009, n. 617, "Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 14.01.2008";

### 2.2. ELABORATI DI PROGETTO DEFINITIVO

---

Il riferimento principale per il presente studio è costituito dal Progetto Preliminare dell'Autostrada Regionale Cispadana dal casello di Reggiolo-Rolo sulla A22 al casello di Ferrara Sud sulla A1. Infatti, nell'ambito della progettazione preliminare erano stati consultati e recepiti gli strumenti urbanistici disponibili presso le Amministrazioni Comunali e Provinciali, nonché tutte le informazioni per il territorio in esame disponibili presso il Servizio Geologico Regionale e le biblioteche universitarie.

Nell'ambito delle attività di progettazione della viabilità D04-08 (ex 1FE) sono state elaborate le cartografie tematiche di seguito elencate:

- PD\_0\_D00\_D0000\_0\_GT\_CG\_01 - Carta geologica d'assieme - scala 1:25000;
- PD\_0\_D07\_D0000\_0\_GT\_CG\_01 - Carta geologica - Raccordo Bondeno-Cento - Tratto A1 - scala 1:5000;
- PD\_0\_D06\_D0000\_0\_GT\_CG\_01 - Carta geologica - Raccordo Bondeno-Cento - Tratto A2 - scala 1:5000;
- PD\_0\_D04\_D0000\_0\_GT\_CG\_01 - Carta geologica - Raccordo Bondeno-Cento - Tratto B - scala 1:5000;
- PD\_0\_D05\_D0000\_0\_GT\_CG\_01 - Carta geologica - Raccordo Bondeno-Cento - Tratto C - Tav. 1/3 - scala 1:5000;
- PD\_0\_D05\_D0000\_0\_GT\_CG\_02 - Carta geologica - Raccordo Bondeno-Cento - Tratto C - Tav. 2/3 - scala 1:5000;

- PD\_0\_D05\_D0000\_0\_GT\_CG\_03 - Carta geologica - Raccordo Bondeno-Cento - Tratto C - Tav. 3/3 - scala 1:5000;
- PD\_0\_D08\_D0000\_0\_GT\_CG\_01 - Carta geologica - Raccordo Bondeno-Cento - Tratto D - Tav. 1/2 - scala 1:5000;
- PD\_0\_D08\_D0000\_0\_GT\_CG\_02 - Carta geologica - Raccordo Bondeno-Cento - Tratto D - Tav. 1/2 - scala 1:5000;
- PD\_0\_D00\_D0000\_0\_GT\_CE\_01 - Carta geomorfologica d'assieme – scala 1:25000;
- PD\_0\_D07\_D0000\_0\_GT\_CE\_01 - Carta geomorfologica - Raccordo Bondeno-Cento - Tratto A1 – scala 1:5000;
- PD\_0\_D06\_D0000\_0\_GT\_CE\_01 - Carta geomorfologica - Raccordo Bondeno-Cento - Tratto A2 – scala 1:5000;
- PD\_0\_D05\_D0000\_0\_GT\_CE\_01 - Carta geomorfologica - Raccordo Bondeno-Cento - Tratto C - Tav. 1/3 – scala 1:5000;
- PD\_0\_D05\_D0000\_0\_GT\_CE\_02 - Carta geomorfologica - Raccordo Bondeno-Cento - Tratto C - Tav. 2/3 – scala 1:5000;
- PD\_0\_D05\_D0000\_0\_GT\_CE\_03 - Carta geomorfologica - Raccordo Bondeno-Cento - Tratto C - Tav. 3/3 – scala 1:5000;
- PD\_0\_D08\_D0000\_0\_GT\_CE\_01 - Carta geomorfologica - Raccordo Bondeno-Cento - Tratto D - Tav. 1/2 – scala 1:5000;
- PD\_0\_D08\_D0000\_0\_GT\_CE\_02 - Carta geomorfologica - Raccordo Bondeno-Cento - Tratto D - Tav. 2/2 – scala 1:5000;
- PD\_0\_D04\_D0000\_0\_GT\_CE\_01 - Carta geomorfologica - Raccordo Bondeno-Cento - Tratto B - scala 1:5000;
- PD\_0\_D00\_D0000\_0\_GT\_CD\_01 - Carta idrogeologica d'assieme - scala 1:25000;
- PD\_0\_D07\_D0000\_0\_GT\_CD\_01 - Carta idrogeologica - Raccordo Bondeno-Cento - Tratto A1 - scala 1:5000;
- PD\_0\_D06\_D0000\_0\_GT\_CD\_01 - Carta idrogeologica - Raccordo Bondeno-Cento - Tratto A2 - scala 1:5000;
- PD\_0\_D05\_D0000\_0\_GT\_CD\_01 - Carta idrogeologica - Raccordo Bondeno-Cento - Tratto C - Tav. 1/3 – scala 1:5000;

- PD\_0\_D05\_D0000\_0\_GT\_CD\_02 - Carta idrogeologica - Raccordo Bondeno-Cento - Tratto C - Tav. 2/3 – scala 1:5000;
- PD\_0\_D05\_D0000\_0\_GT\_CD\_03 - Carta idrogeologica - Raccordo Bondeno-Cento - Tratto C - Tav. 3/3 – scala 1:5000;
- PD\_0\_D08\_D0000\_0\_GT\_CD\_01 - Carta idrogeologica - Raccordo Bondeno-Cento - Tratto D - Tav. 1/2 – scala 1:5000;
- PD\_0\_D08\_D0000\_0\_GT\_CD\_02 - Carta idrogeologica - Raccordo Bondeno-Cento - Tratto D - Tav. 2/2 – scala 1:5000;
- PD\_0\_D04\_D0000\_0\_GT\_CD\_01 - Carta idrogeologica - Raccordo Bondeno-Cento - Tratto B - scala 1:5000.

### 3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

---

#### 3.1. INQUADRAMENTO STRUTTURALE

---

Il tracciato della viabilità D04-08 (ex 1FE) si colloca nella porzione centro orientale della Pianura Padana a sud del fiume Po. La Pianura Padana è un ampio bacino d'avanfossa subsidente compreso tra la catena appenninica a sud e quella alpina a nord che, a partire dal Terziario, ha raccolto i sedimenti provenienti dallo smantellamento delle catene alpina e appenninica in formazione.

L'assetto strutturale di tale bacino, noto attraverso lo studio dei dati derivanti dalle indagini profonde per ricerche idriche e di idrocarburi (sondaggi, indagini geofisiche), spinti sino ad alcuni chilometri di profondità, appare assai complesso e strettamente legato alle dinamiche evolutive della catena subalpina e di quella appenninica.

In particolare la fascia posta tra la pianura e le prime colline dell'Appennino è stata ed è sede di intensi e complessi movimenti tettonici per la sua particolare posizione quasi "a cerniera" tra la catena appenninica in sollevamento e la pianura soggetta a subsidenza.

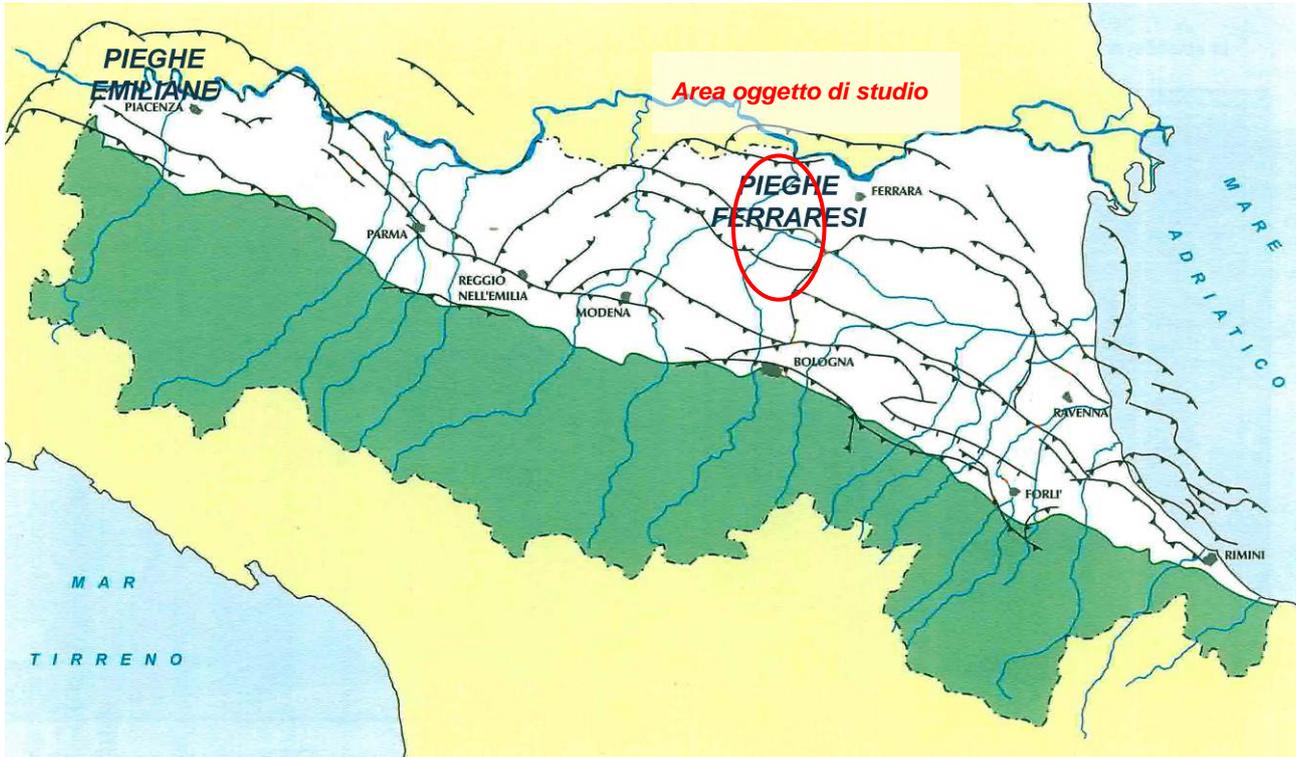
Lo stile tettonico compressivo ed il conseguente accorciamento crostale per convergenza e collisione tra la placca Europea e quella Africana è accompagnato, in quest'area, da un *pattern* deformativo e da un'attività sismica molto complessi.

L'esplorazione geofisica effettuata per la ricerca di idrocarburi mostra che dal punto di vista strutturale la Pianura Padana a sud del Po è caratterizzata dalla presenza di faglie inverse e sovrascorrimenti sepolti nord-vergenti, associati ad anticlinali e costituenti i fronti più esterni della catena appenninica (*Pieri e Groppi, 1975*). A tal riguardo si possono distinguere due archi di pieghe principali, che da ovest verso est sono l'Arco delle Pieghe Emiliane e l'Arco delle Pieghe Ferraresi-Romagnole (Figura 3.1-1), ed un motivo strutturale sepolto di pieghe pedappenniniche che marca il margine pedemontano della Regione, delimitando la zona collinare in sollevamento dall'antistante pianura subsidente (Figura 3.1-2).

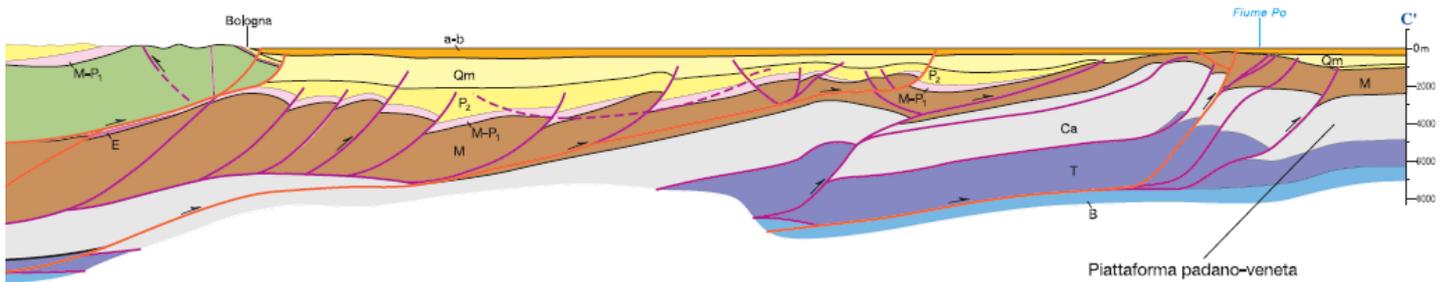
In particolare, il settore di Pianura in esame ricade, dal punto di vista strutturale, nella zona caratterizzata dalla presenza della Dorsale Ferrarese. Essa rappresenta il top del substrato mesozoico che modella in profondità la fossa sub-padana, ed assume l'aspetto di un *horst* delimitato da un grande fascio arcuato di pieghe e faglie inverse, che da Correggio (RE) si estende fino ad oltre le valli di Comacchio (FE).

In corrispondenza di tale struttura la copertura dei terreni pliocenici e quaternari in alcuni punti è ridotta a poche centinaia di metri.

L'andamento degli assi tettonici è tipicamente arcuato e la vergenza delle pieghe è, come per quelle della pianura romagnola, verso nord, cioè nello stesso senso delle altre strutture appenniniche.



**FIGURA 3.1-1. AREA DI STUDIO CON LE PRINCIPALI STRUTTURE SEPOLTE DELL'APPENNINO SETTENTRIONALE (DA PIERI & GROPPI, 1981, MODIFICATA)**



**FIGURA 3.1-2. SEZIONE GEOLOGICA PASSANTE PER IL TRATTO PIÙ ORIENTALE DELLA PORZIONE DI PIANURA IN ESAME (STRALCIO DA AA. VV., 2004, "CARTA SISMOTETTONICA DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA")**

### 3.2. INQUADRAMENTO STRATIGRAFICO

---

L'area di studio si colloca interamente nella Pianura Padana, uno dei più grandi bacini sedimentari plio-quadernari subsidenti costituito da una spessa coltre di sedimenti marini in profondità e fluviali più in superficie che sono stati depositati dai corsi d'acqua alpini ed appenninici nell'antico Golfo Padano (insenatura del Mare Adriatico presente tra le Alpi e gli Appennini).

Il ritiro delle acque del Golfo Padano è avvenuto da Ovest verso Est e dai margini delle catene verso l'asse della pianura (*Gasperi e Pellegrini, 1984*) e non è stato né progressivo né univoco, ma è senz'altro avvenuto con movimenti alterni che hanno determinato nel sottosuolo un'alternanza di depositi marini e/o di transizione e di episodi di deposizione continentale (*Colombetti e altri, 1975*).

La profondità del bacino di sedimentazione è sempre stata limitata e l'accumulo di migliaia di metri di sedimenti è stato determinato da un'elevata velocità di subsidenza (progressivo abbassamento del terreno dovuto allo spontaneo costipamento dei sedimenti causato dal peso di quelli sovrastanti e a movimenti tettonici del substrato roccioso).

Le particolari condizioni strutturali instauratesi nei diversi settori della Pianura, e la subsidenza differenziata in conseguenza all'evoluzione tettonica dell'intero bacino terziario, hanno condizionato la sedimentazione che presenta frequenti variazioni di facies sia laterali che verticali. L'alternarsi di facies è inoltre legato alle glaciazioni, che si sono succedute nel Quaternario a causa di cambiamenti climatici avvenuti a partire dalla fine del Pliocene ed a variazioni globali del livello del mare.

Il riempimento del bacino è avvenuto con sedimenti in massima parte terrigeni, di notevole spessore, che denotano una subsidenza molto accentuata e un apporto detritico imponente. La maggior parte di questi depositi è sepolta al di sotto delle alluvioni fluviali del Pleistocene medio-superiore - Olocene, depositato dai fiumi Po, Secchia, Panaro e relativi affluenti.

La successione Plio-quadernaria ha carattere regressivo con alla base peliti e sabbie seguite da un corpo sedimentario fluvio-deltizio progradante, ricoperto al tetto da depositi continentali.

Come sopra accennato, il riempimento del bacino marino, fino alle condizioni di continentalità, avviene attraverso eventi tettonico-sedimentari separati nel tempo da periodi di forte subsidenza bacinale. Questo andamento ad impulsi successivi è testimoniato da numerose superfici di discontinuità stratigrafica che "marcano" le diverse fasi ed affiorano sul margine appenninico. La ricostruzione del loro andamento nel sottosuolo permette di definire il quadro stratigrafico secondo i criteri della stratigrafia sequenziale.

Si possono distinguere tre sequenze deposizionali (cicli sedimentari o deposizionali) composti a loro volta da sequenze o cicli base (Unità stratigrafiche) comprendenti un episodio sedimentario, solitamente ripetitivo, che determina il sistema deposizionale (Figura 3.2-1):

- Sequenza deposizionale inferiore (Supersistema del Pliocene medio-superiore, Di Dio, 1998; P1 e P2, Ricci Lucchi e al., 1982);
- Sequenza deposizionale intermedia (Supersistema del Quaternario marino, Di Dio, 1998; Qm, Ricci Lucchi e al., 1982);
- Sequenza deposizionale superiore (Supersistema Emiliano-Romagnolo, Di Dio, 1998; Qc, Ricci Lucchi e al., 1982).

La sequenza deposizionale inferiore è limitata verso il basso da una discontinuità che la separa dalla sottostante sequenza miocenica sommitale (M, Ricci Lucchi e al., 1982) attraverso depositi clastici ipovalini e continentali di mare interno (Formazione clastica continentale, Iaccarino e Papani, 1982).

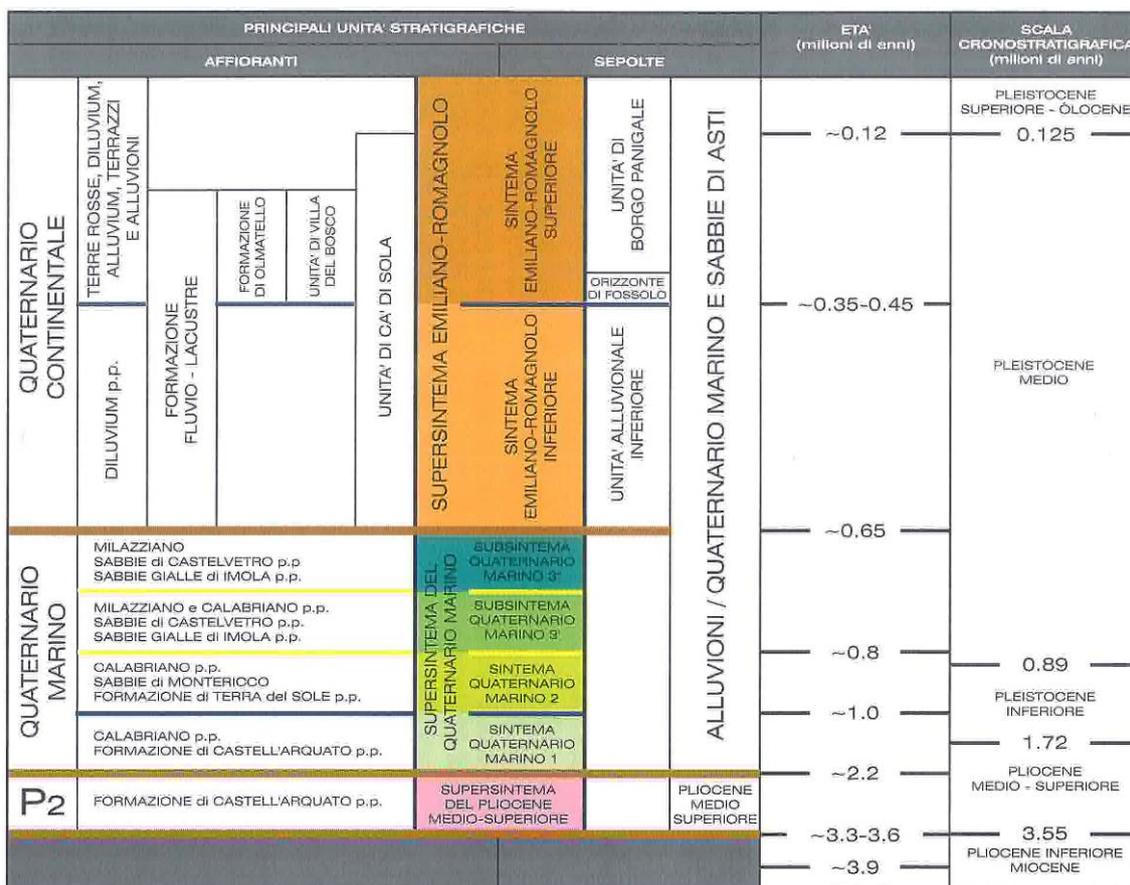


FIGURA 3.2-1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO STRATIGRAFICO DELL'AREA DI STUDIO (DAL SITO DEL SERVIZIO GEOLOGICO REGIONALE)

### **3.2.1. Sequenza deposizionale inferiore (Supersistema del Pliocene medio-superiore)**

È delimitata da due discontinuità che la separano inferiormente, attraverso una superficie di erosione e/o non deposizione, con la sequenza miocenico-pliocenico inferiore, e superiormente, attraverso una superficie di discontinuità conforme, con la sequenza deposizionale intermedia.

Costituisce la risposta sedimentaria ad una fase di quiescenza tettonica durante la quale prevale subsidenza bacinale con depositi ciclici di facies prevalentemente fini, successiva all'evento tettonico di sollevamento regionale della fase precedente.

All'interno del ciclo avvengono fasi di sollevamento che non alterano però sostanzialmente il carattere generale di subsidenza bacinale, mantenendosi nel complesso con caratteristiche di blanda regressione. La sedimentazione, prevalentemente argilloso-siltosa avviene in ambiente neritico infralitorale di piattaforma, è rapida ma viene compensata da un'elevata subsidenza.

Avviene probabilmente a spese di un sistema fluvio-deltizio o marino marginale progradante verso mare che determina l'instaurarsi delle condizioni per la deposizione della sequenza deposizionale intermedia.

### **3.2.2. Sequenza deposizionale intermedia (Supersistema del Quaternario marino)**

È delimitata sia superiormente che inferiormente da superfici di discontinuità conformi. È legata ad un evento tettonico di sollevamento che determina un'importante regressione regionale e la conseguente sedimentazione di un prisma sedimentario fluvio-deltizio progradante.

La sedimentazione, prevalentemente argillosa di fronte deltizio o costiera, costituisce nell'insieme una sequenza regressiva con passaggio da condizioni marine di piattaforma a depositi continentali (Milazziano e Calabriano della Carta geologica d'Italia; Sabbie di Castelvetro, Gasperi, 1987; Sabbie gialle di Imola, Ricci Lucchi e al., 1982).

I sedimenti terrigeni di origine marina ascrivibili alla Sequenza deposizionale intermedia o Supersistema del Quaternario marino si sono depositi a partire dalla fine del Pliocene (2.2 Ma), fino a 0,65 Ma (Pleistocene medio). In essi sono riconoscibili tre distinti cicli progradazionali (Qm1, Qm2 e Qm3) ben individuabili nei profili sismici AGIP.

### **3.2.3. Sequenza deposizionale superiore (Supersistema Emiliano-Romagnolo)**

In seguito ad una nuova fase di subsidenza bacinale e quiescenza tettonica avviene la deposizione di una sequenza costituita da depositi di piana alluvionale e conoide distale di alimentazione appenninica.

L'alternanza delle facies fini e grossolane è dovuta ad oscillazioni cicliche climatiche ed eustatiche che portano progressivamente alla massima espansione dell'area deposizionale (Diluvium p.p., Alluvium, Terrazzi ed Alluvioni della Carta geologica d'Italia; Formazione fluvio-lacustre, Cremaschi, 1982; Sistema

Emiliano-Romagnolo, Di Dio, 1998; Unità di Cà di Sola, Pianura alluvionale, Unità dei corsi d'acqua principali, Unità dei corsi d'acqua minori, Gasperi, 1997).

La sequenza deposizionale superiore viene interrotta da limitati sollevamenti tettonici con spostamento verso la pianura delle cerniere strutturali che causano la fine della trasgressione e l'inizio del terrazzamento alluvionale.

Per quanto riguarda i depositi continentali della Sequenza deposizionale superiore o Supersistema Emiliano-Romagnolo i tecnici del Servizio cartografico e geologico della Regione Emilia Romagna hanno riconosciuto due unità stratigrafiche principali:

- Sintema Emiliano Romagnolo Inferiore
- Sintema Emiliano Romagnolo Superiore.

Il Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore (SERI), depositatosi presumibilmente tra circa 0,65 e 0,45-0,35 Ma (Pleistocene medio), rappresenta la fase iniziale della sedimentazione continentale del Quaternario con limite inferiore e superiore di tipo erosivo. L'unità è sedimentata in un ambiente di piana alluvionale durante un periodo di subsidenza regionale, costituita in prevalenza da depositi fini con intercalazioni di corpi ghiaiosi e sabbiosi nastriformi, riferibili ad antichi paleovalvei fluviali, i quali diventano preponderanti in corrispondenza dell'apertura dei principali bacini vallivi sull'antistante pianura alluvionale.

Il sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (SERS) ha avuto origine, dopo un'importante fase tettonica di sollevamento regionale, con la quale ebbe inizio la rapida progradazione dei sistemi di conoide alluvionale nella zona antistante ai rilievi appenninici e dei sistemi fluvio-deltizi lungo la fascia del Po.

Nella sezione geologica di Figura 3.2-2 i depositi del SERS sono indicati con la sigla a; mentre, con la sigla b sono stati accorpati Sabbie gialle, Sabbie di Imola e depositi del SERI.

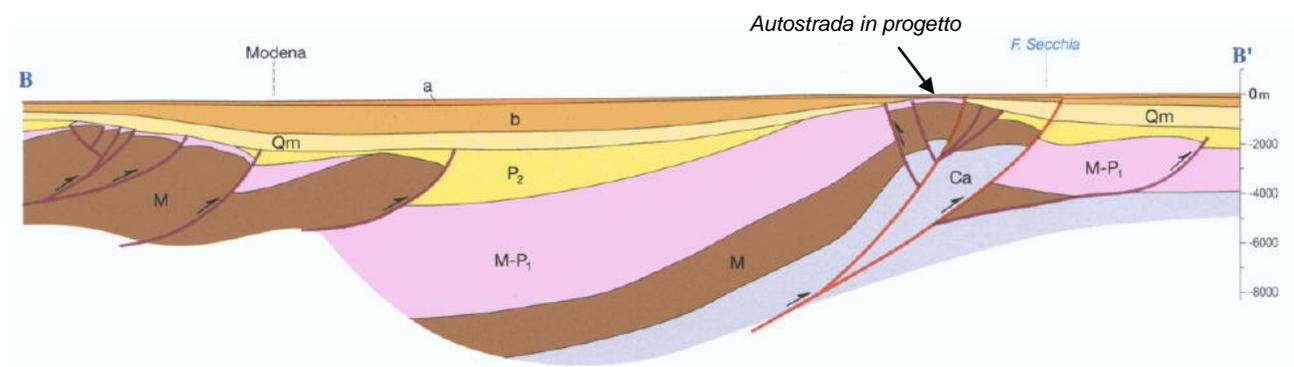
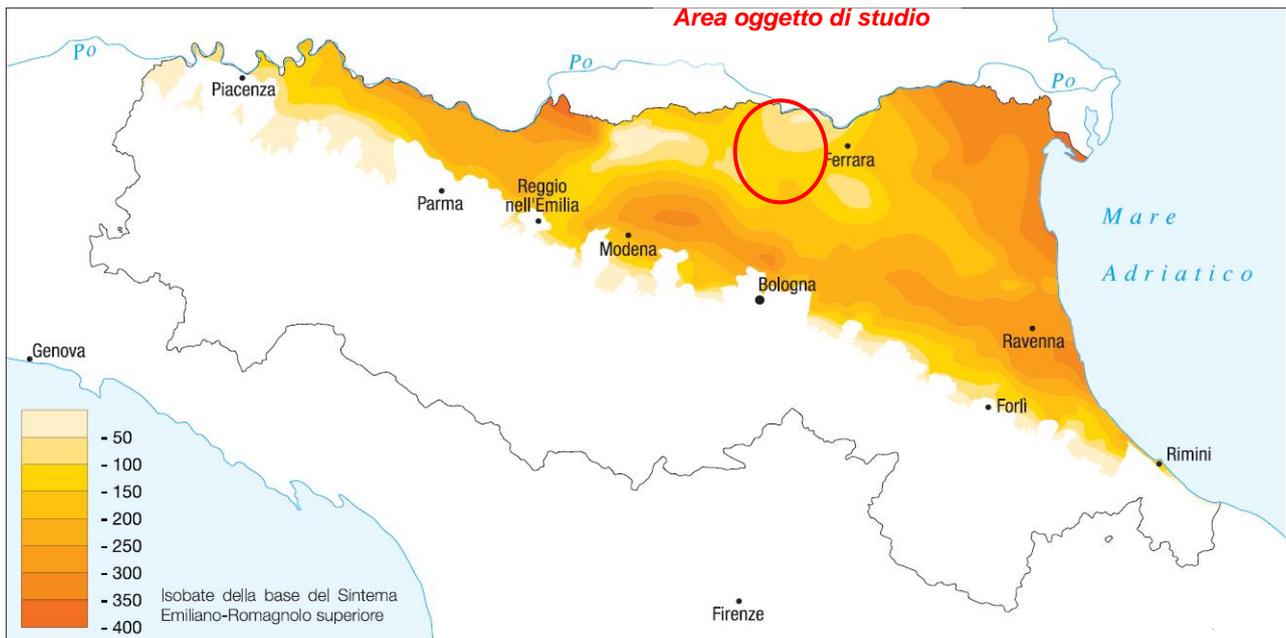


FIGURA 3.2-2. SEZIONE GEOLOGICA PASSANTE PER IL TRATTO PIÙ OCCIDENTALE DELLA PORZIONE DI PIANURA IN ESAME (DA AA. VV., 2004, "CARTA SISMOTETTONICA DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA")

In Figura 3.2-3 è rappresentata la quota della base del SERS, con sfumature di colore corrispondenti ad intervalli di 50 metri. Si osserva che nella porzione di pianura interessata dalla viabilità D04-08 (ex 1FE) essa risulta particolarmente superficiale.



**FIGURA 3.2-3. RAPPRESENTAZIONE DELLA BASE DEL SINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE (DA "NOTE ALLA CARTA SISMOTETTONICA DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA")**

## 4. GEOMORFOLOGIA

---

### 4.1. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

---

La geomorfologia descrive le forme del territorio in relazione ai processi geologici che vi avvengono. Nelle zone con quote inferiori a 50 m s.l.m. l'osservazione diretta delle forme è praticamente impossibile, mentre variazioni altimetriche anche lievi, ad esempio dovute a subsidenza differenziata, possono determinare marcate variazioni, in particolare della rete idrografica.

L'area interessata dalla viabilità D04-08 (ex 1FE) ricade all'interno della bassa pianura padana, in un contesto territoriale in cui il paesaggio, dal punto di vista morfologico, è caratterizzato dalla presenza di forme poco evidenti. Ciò risulta evidenziato anche dalle curve di livello che individuano quote sempre comprese tra i 7 e i 13 m s.l.m.

Ad un primo sguardo, l'andamento clivometrico del territorio di interesse, se si escludono le modificazioni artificiali, appare sostanzialmente pianeggiante, con pendenza pressoché costante e incisioni dovute alla rete scolante poco marcate. In realtà, ad un esame più attento, le morfologie del rilievo appaiono ben più articolate ed in stretta relazione con la paleoidrografia, che ha modellato le aree di pianura dando luogo a dossi e aree invece più depresse (concavità e zone di intradosso) con dislivelli apprezzabili.

Si rileva quindi in generale una superficie topografica piuttosto irregolare che degrada da sud verso nord, sostanzialmente verso il Po, con acclività inferiori all'1%.

Le forme del territorio sono essenzialmente legate alle dinamiche fluviali che hanno caratterizzato i corsi d'acqua negli ultimi secoli; quelli appenninici, che attraversano la pianura in senso SW-NE, e il fiume Po, che presenta direzione est-ovest, benché l'azione antropica di arginatura ne ha sicuramente bloccato la naturale evoluzione, impedendo agli alvei di divagare liberamente. Appare infatti abbastanza evidente che, in assenza di azioni dell'uomo, i corsi d'acqua avrebbero abbandonato il loro percorso attuale laddove si osservano meandri in fase terminale, sviluppando un percorso più rettilineo.

Va comunque segnalato che le morfologie del terreno non sono ben evidenti e rilevabili in sito, sia per le deboli pendenze in gioco, sia per l'intensa azione antropica di modellamento del terreno. Infatti, nei secoli, la comunità umana ha compiuto continue modifiche al territorio per renderlo compatibile all'insediamento e all'utilizzo agricolo. L'aspetto più evidente di tale attività è la suddivisione del territorio attraverso una rete di collettori artificiali, pressoché ortogonali tra di loro, che consentono a periodi alterni lo scolo e la distribuzione irrigua delle acque. Questa rete, in relazione al prevalere di depositi superficiali a bassa permeabilità e alla morfologia pianeggiante della zona, risulta essere molto sviluppata.

L'individuazione delle aree in rilievo e quelle depresse risulta invece più agevole attraverso l'analisi della distribuzione delle classi granulometriche dei depositi superficiali; in particolare l'identificazione delle aree depresse (valli, catini o bacini interfluviali) è marcata dalla presenza di depositi a tessitura fine e finissima. Queste zone erano fino a tempi recenti aree palustri e solo le opere di bonifica le hanno conferito l'aspetto attuale.

Di grande interesse possono essere inoltre considerati i "ventagli di rota" lungo gli alvei attuali dei fiumi e lungo i dossi corrispondenti ai paleoalvei, caratterizzati da granulometrie più grossolane, prevalentemente sabbiose ed ubicati generalmente in riva concava dei meandri, cioè in corrispondenza delle maggiori energie di corrente. Allontanandosi da essi si individuano sedimenti sempre più fini: a dominanza limosa, in corrispondenza degli argini distali, e argillosa nelle aree interfluviali.

Altri elementi molto importanti nel modellamento del territorio sono le strutture tettoniche. Infatti, come verrà meglio descritto nel documento "PD\_0\_D00\_D0000\_0\_GT\_RH\_02 – Relazione sismica" questa regione risulta estremamente attiva dal punto di vista tettonico, attività che ha fortemente condizionato la dinamica fluviale quaternaria.

## 4.2. CARTA GEOMORFOLOGICA

---

Le principali caratteristiche morfologiche del territorio in esame sono state rappresentate graficamente nella cartografia geomorfologica allegata al presente studio. In particolare, gli elaborati geomorfologici prodotti a corredo del progetto definitivo sono i seguenti:

- Carta geomorfologica d'assieme scala 1:25000
- Carta geomorfologica scala 1:5000

Dall'analisi delle curve di livello si nota come tutto il territorio interessato dalla viabilità D04-08 (ex 1FE) si presenti come una pianura abbastanza monotona, con leggere variazioni di quota, positive, in corrispondenza dei dossi e degli argini fluviali e negative nelle aree depresse.

### 4.2.1. Carta geomorfologica d'assieme scala 1:25000

Di seguito, sono descritti i principali elementi morfologici rappresentati nella cartografia geomorfologica d'assieme distinguendo tra quelli riconducibili alla dinamica fluviale olocenica e quelli antropici.

#### 4.2.1.1 Forme fluviali

Tra le forme attribuibili a processi morfogenetici connessi alla dinamica fluviale si distinguono:

##### 4.2.1.1.1 **Aree depresse in pianura alluvionale**

In carta si presentano come grandi aree, con tipica forma a cucchiaio allungato, che le isoipse indicano a quota leggermente inferiore rispetto al territorio circostante. Di solito risultano comprese tra dossi fluviali.

In campagna è difficile poterle apprezzare in quanto, spesso, non è possibile cogliere la debole pendenza sviluppata su un'ampia superficie che le caratterizza.

In queste zone, durante i fenomeni di esondazione, vengono trasportate e depositate le porzioni più fini dei sedimenti, quando si verifica la decantazione da parte di acque che hanno ormai perso totalmente la loro energia.

La deposizione di terreni fini ha un duplice effetto. Innanzitutto, dato che questi si costipano maggiormente di quelli grossolani, si verifica un incremento naturale del dislivello rispetto alle zone più elevate. Inoltre, la presenza di depositi a bassa permeabilità facilita il ristagno delle acque nelle aree morfologicamente depresse.

#### 4.2.1.1.2 Dossi fluviali

Sia grazie all'analisi delle carte altimetriche che ai sopralluoghi di campagna, è stato possibile individuare la presenza dei dossi fluviali.

In carta, le curve di livello, in corrispondenza dei dossi descrivono forme convesse e allungate, delimitate da zone a maggiore pendenza della superficie topografica, in cui le isoipse si ravvicinano. In campagna sono visibili solo quelli più pronunciati che contrastano con il paesaggio circostante, presentandosi come degli "alti" morfologici.

Negli elaborati redatti a corredo del presente studio sono state distinte le seguenti tre tipologie di dossi:

- dosso del corso d'acqua attuale
- dosso fluviale relitto poco pronunciato
- dosso fluviale relitto molto pronunciato

Per i dossi relitti sono state indicati i corsi d'acqua che li hanno edificati, specificandone il periodo di attività, secondo la ricostruzione paleo-idrografica descritta nel paragrafo 4.2.2.1.

#### 4.2.1.1.3 Ventagli d'esondazione

I ventagli d'esondazione sono un elemento morfologico tipico nella piana fluviale inferiore, dove il basso gradiente topografico facilita le rotte dei fiumi che possono o rompere gli argini o tracimarli.

Durante gli eventi di piena infatti i fiumi aumentano la portata, il trasporto solido e la velocità. Con questi presupposti si verificano condizioni per cui il fiume in certe aree incomincia ad erodere l'argine, o raggiunge quote tali da arrivare a superarne il limite superiore. Quando il fiume esce dall'alveo si espande nella pianura alluvionale perdendo progressivamente energia di trasporto, si ha così la deposizione prima del materiale

più grossolano, in prossimità degli argini, poi di quello più fine nelle aree più distali.

Sono forme che in carta si riconoscono abbastanza bene e non presentano dubbi di carattere interpretativo. Infatti, le isoipse, in corrispondenza dei ventagli, descrivono circa degli archi sempre più ampi con quote che diminuiscono progressivamente spostandosi dalle aree in prossimità degli argini fino a raggiungere il livello della pianura circostante.

In campagna non sempre è facile osservarne la presenza in quanto si tratta di forme solitamente sviluppate a larga scala.

#### 4.2.1.2 *Elementi antropici*

All'interno di questa sezione di studio sono trattati quegli elementi morfologici che caratterizzano il territorio in esame della bassa pianura che non sono legati ad agenti morfogenetici naturali, ma all'azione dell'uomo. L'aspetto di questa porzione di territorio, infatti, è stato fortemente modificato, soprattutto in tempi recenti, allo scopo di renderlo più adatto allo sviluppo delle attività antropiche, in particolare, all'insediamento e all'utilizzo agricolo.

L'evidenza maggiore di tale attività è la realizzazione di una rete di collettori artificiali, pressoché perpendicolari tra di loro, che consentono, a periodi alterni, lo scolo e la distribuzione irrigua delle acque. Questa rete, in relazione al prevalere di depositi superficiali a bassa permeabilità e alla morfologia pianeggiante della zona, risulta essere molto sviluppata.

Va infatti ricordato che, fino all'incirca XI secolo d.c., tutte le zone a nord della via Emilia si presentavano perlopiù paludose, malsane e inadatte a qualsiasi tipo di coltivazione; situazione tipica di una pianura alluvionale già contraddistinta da cattivo drenaggio naturale e in cui le acque erano assai poco regolamentate.

L'opera di bonifica, ovvero, il complesso di opere e lavori eseguiti per rendere tali zone produttive per lo sfruttamento agricolo, cominciò dopo l'anno 1000. Nel reggiano e nel modenese ebbe un impulso decisivo nel XVII e nel XVIII secolo (cfr. bonifica Cornelio Bentivoglio, tra Enza e Secchia, e bonifica della bassa modenese, tra il Secchia e il Panaro) e nel periodo napoleonico. Nel ferrarese, invece, si ebbe una prima bonifica, fino alla fine del XVI secolo, grazie alla dinastia Estense, ma, successivamente, causa il susseguirsi di differenti dominazioni, dette opere vennero abbandonate e il risultato fu quello di un rapido ritorno alla condizione di palude; solo dopo l'Unificazione d'Italia si ebbe una ripresa della sistemazione del territorio che ha consentito di ottenere l'attuale stato dei luoghi.

Le opere di bonifica sono consistite in una integrale e minuziosa realizzazione di reti di canali affiancata a una nuova organizzazione del territorio in base ai nuovi terreni a disposizione.

Promotori ed autori di tali interventi furono principalmente i grandi feudatari ed i monasteri. A riguardo, va evidenziato l'importante ruolo assunto nell'area dall'Abbazia di Nonantola che oltre a diffondere nuove

tecniche di bonifica introdusse un nuovo sistema di ripartizione territoriale impostato sulle tracce delle aree interessate dal risanamento: le "partecipanze".



FIGURA 4.2-1. STRALCIO DI UN DOCUMENTO CHE RIPORTA UNA SUDDIVISIONE IN PARTECIPANZE

Si tratta di forme contrattuali di proprietà collettiva, ancora oggi attive in porzioni della provincia bolognese, ferrarese e modenese, che prevedono la suddivisione periodica degli appezzamenti di terreno tra gli aventi diritto: cioè i primogeniti maschi delle originarie famiglie firmatarie.

Tale forma di ordinamento fondiario, di origine tardo-medievale, e che interessa settori della zona in esame, in Comune di Cento e, in subordine di S. Agostino e Mirabello, ha determinato un particolare carattere di infrastrutturazione, anche morfologica, del territorio che riveste ormai carattere documentario.

Esigenze antropiche hanno portato anche all'edificazione di argini artificiali a fianco dei corsi d'acqua: sia del fiume Po, che dei torrenti appenninici, che dei principali canali. Detti argini, come già detto, per le aree di pianura extragolenali, hanno provocato una sorta di congelamento dello stato di fatto morfologico antecedente la loro realizzazione (con eccezione di quanto possa derivare dall'attività antropica), mentre l'attività morfodinamica fluviale resta attiva all'interno delle golene.

Nella Carta geomorfologica sono stati distinti gli argini principali, ovvero gli argini maestri dei corsi d'acqua più importanti che attraversano la zona (fiumi Secchia, Panaro e Reno, con relativo scolmatore) da quelli secondari che rappresentano degli elementi morfologici di minor importanza. Inoltre, sono state retinate a parte le aree golenali.



**FIGURA 4.2-2. FOTO DI TRE MACERI IN COMUNE DI SAN POSSIDONIO (DAL SITO DEL COMUNE)**

Un altro elemento caratteristico della zona è la presenza di numerosi specchi d'acqua, concentrati, soprattutto nella zona tra San Felice sul Panaro e lo scolmatore Reno.

Principalmente, essi sono impostati all'interno di scavi a forma rettangolare o quadrata, nei quali, in passato, si macerava la canapa (denominati, appunto, maceri; Figura 4.2-2). La profondità è limitata, di solito non superiore a 2,0 m, ma, in genere, consente di raggiungere il tetto della falda (altrimenti il fondo è stato impermeabilizzato e l'acqua viene introdotta artificialmente).

Una problematica importante per il progetto dell'infrastruttura autostradale è legata al fatto che alcuni di questi "stagni" attualmente sono stati riempiti per poter sfruttare la loro superficie come area coltivabile. Con materiale vario e disomogeneo, mai costipato e sempre appoggiato su un fondo ricchissimo di sostanza organica. Si segnala comunque che, in fase di esame delle indagini geognostiche realizzate lungo l'asse autostradale, non sono state evidenziate situazioni ascrivibili a tale contesto.

#### **4.2.2. Carta geomorfologica scala 1:5000**

La cartografia geomorfologica in scala 1:5000, oltre a rappresentare con maggiore dettaglio le forme già indicate nella cartografia al 25000 descritte nel paragrafo precedente riporta anche i tracciati dei principali

corsi d'acqua attivi nel passato la cui evoluzione ha profondamente condizionato lo sviluppo delle forme morfogenetiche del tratto di territorio in oggetto.

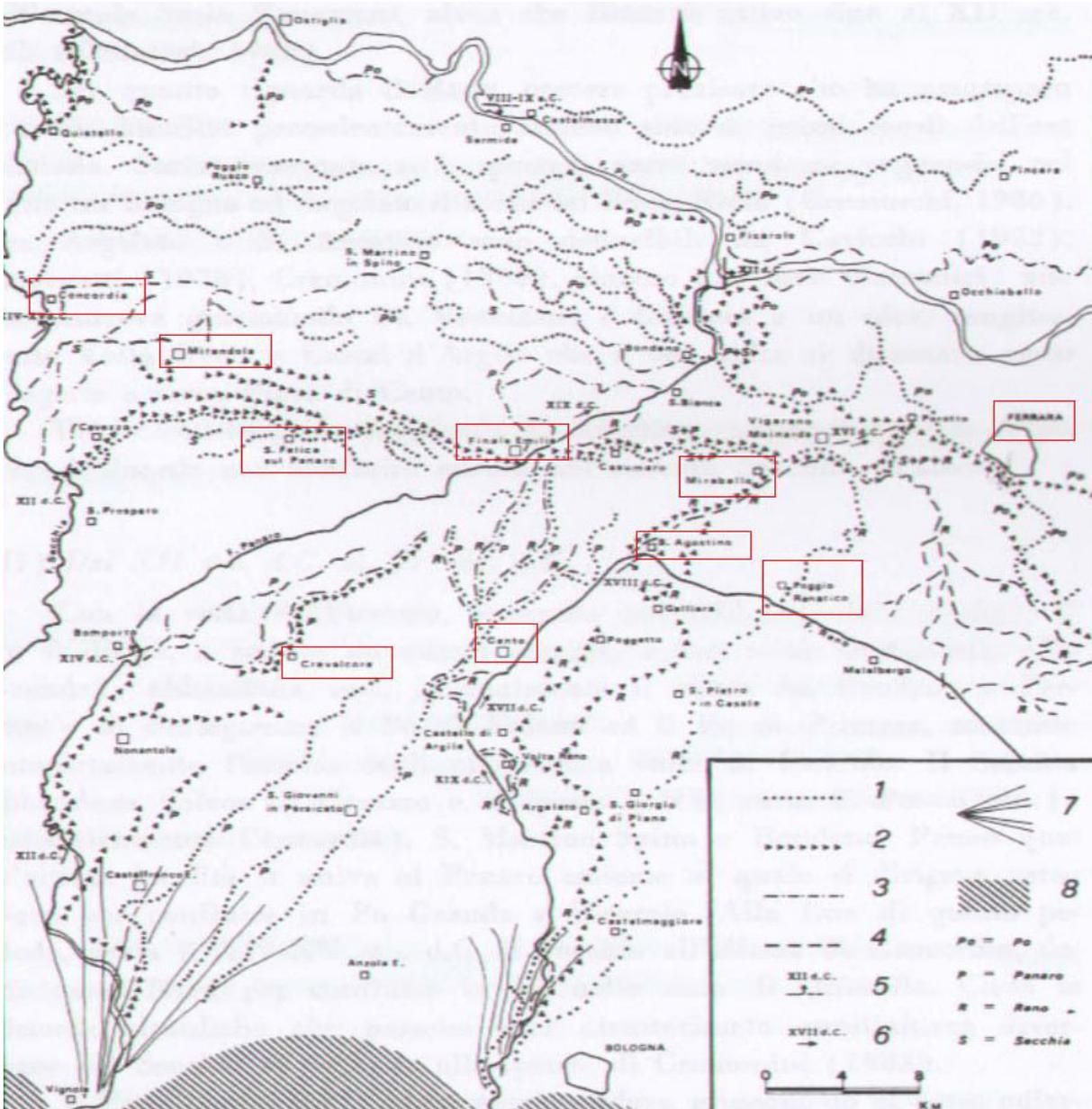
#### 4.2.2.1 Processo evolutivo dei principali corsi d'acqua

Come già indicato in precedenza, la dinamica fluviale ha svolto un ruolo di primo piano nella costruzione dell'assetto morfologico della porzione di pianura in esame.

Conseguentemente si è ritenuto importante cercare di definire il processo evolutivo dei principali corsi d'acqua (fiumi: Po, Secchia, Panaro e Reno) che attraversano e/o hanno attraversato la zona, con riferimento agli ultimi millenni.

Tale analisi è stata effettuata partendo da quanto emerso dalla lettura di pubblicazioni che hanno affrontato questo tematismo e verificandolo con le altre informazioni geomorfologiche acquisite nel corso del presente studio. Ciò ha consentito, in particolare, di accrescere lo stato delle conoscenze relative alle forme determinate da tracciati fluviali abbandonati, datandole e individuando i corsi d'acqua responsabili della loro messa in posto.

In Figura 4.2-3 si riporta la carta dei paleoalvei, dei fiumi Po, Panaro, Reno e Secchia nel settore di Pianura Padana compresa tra Bologna, Vignola ed il Po (tratto da Castaldini D., Raimondi S, 1985).



**LEGENDA: 1) PALEOALVEI ATTIVI PRIMA DELL'VIII SEC. A.C. (PER IL RENO FINO AI PRIMI SECOLI D.C.); 2) PALEOALVEI ATTIVI TRA L'VIII SEC. A.C. E IL XII SEC. D.C (PER IL RENO FINO AI PRIMI SECOLI D.C., E L'XI SEC. D.C.); 3) PALEOALVEI ATTIVI TRA IL XII E IL XV SEC. D.C.; 4) PALEOALVEI ATTIVI DOPO IL XV SEC. D.C.; 5) PRINCIPALI DEVIAZIONI FLUVIALI CON INDICAZIONI DELL'ETÀ; 6) PRINCIPALI TAGLI FLUVIALI CON INDICAZIONE DELL'ETÀ; 7) CONOIDE DEL PANARO E DEL RENO; 8) RILIEVI COLLINARI E APPENNINICI.**

**FIGURA 4.2-3. CARTA DEI PALEOALVEI, DEI FIUMI PO, PANARO, RENO E SECCHIA NEL SETTORE DI PIANURA PADANA COMPRESA TRA BOLOGNA, VIGNOLA ED IL PO (TRATTO DA CASTALDINI D., RAIMONDI S, 1985).**

#### 4.2.2.1.1 Fiume Secchia

Prima dell'VIII secolo a.C., il Secchia, dal margine appenninico, giungeva fino circa a San Prospero con un percorso più orientale e sub-parallelo a quello odierno. A partire da poco più a sud di questa località,

assumeva un andamento grossomodo Ovest–Est, toccando gli attuali paesi di Cavezzo, San Felice sul Panaro, Finale Emilia, Casumaro e Vigarano Mainarda, e ricevendo, in destra idrografica, le acque di Panaro e Reno. Infine, si immetteva nel Po nelle vicinanze di Ferrara.

Nei secoli successivi il fiume mantenne nel suo complesso la direttrice Cavezzo–Vigarano Mainarda, sebbene, nel primo tratto, fino all'attuale abitato di Finale Emilia, tendesse a deviare più a nord, verso la zona dove è stata edificata Mirandola.

Dopo il XII sec. d. C. il Secchia abbandonò l'alveo di Cavezzo per spostarsi più a nord–ovest, lungo un tracciato all'incirca identificabile con gli attuali abitati a San Possidonio, S. Martino Spino e Bondeno. Successivamente raggiungerà anche Concordia sul Secchia.

L'andamento attuale risale al XV secolo d.C.: infatti, proprio durante questo secolo, nei pressi di Concordia, avvenne la rotta responsabile della deviazione verso nord del fiume che così andò confluire nel Po a Nord di Quistello.

Il tracciato delle viabilità D04-08 (ex 1FE) si colloca in aree ove in passato si sviluppava il corso del fiume Secchia, per l'individuazione di tali porzioni di territorio si rimanda alla cartografia geomorfologica in scala 1:5000 allegata al presente studio.

#### 4.2.2.1.2 Fiume Panaro

Fino all'VIII sec. a.C. il Panaro presentava un corso più orientale rispetto a quello attuale e confluiva nel Secchia presso Finale Emilia.

Il corso d'acqua era interessato da intensi fenomeni di divagazione che si sviluppavano soprattutto nella zona di Castelfranco Emilia–San Giovanni in Persiceto e nell'area a nord-ovest di Cento dove transitava lungo alvei che, a partire dal XII sec. d. C., verranno occupati da Reno.

Dopo l'VIII sec. a.C., anche a seguito del richiamo provocato dalla subsidenza tettonica del modenese, l'asse del Panaro si sposta più verso ovest.

Poco più a nord dell'attuale corso della via Emilia, il fiume divagava all'interno dell'area compresa tra Castelfranco Emilia e l'attuale percorso, mentre, tra Crevalcore e Finale Emilia, occupava l'alveo dell'attuale scolo Papparazzo. Tracciato che rimarrà attivo fino al XII sec. d.C.

A partire dal XII sec. d. C., nuove rotte fluviali, sposteranno il corso d'acqua ancora più ad ovest, in particolare nelle valli a Nord di Crevalcore.

La rotta di Bomporto avvenuta nei primi del XIV secolo porterà ad un'ulteriore modifica del corso d'acqua che assumerà un andamento circa parallelo a quello attuale.

Successivamente, nel 1347, il Panaro venne immesso nel Naviglio, presso Bomporto, assumendo fino a Finale Emilia il corso che segue attualmente.

Nel XV secolo, analogamente a quello che successe al fiume Secchia, anche il tratto a sud di Finale Emilia assunse all'incirca il tracciato che presenta ora.

Il tracciato delle viabilità D04-08 (ex 1FE) si colloca in aree ove in passato si sviluppava il corso del fiume Panaro, per l'individuazione di tali porzioni di territorio si rimanda alla cartografia geomorfologica in scala 1:5000 allegata al presente studio.

#### 4.2.2.1.3 Fiume Reno

Il Reno, prima dell'VIII sec. a. C., nell'area di conoide, divagava da ovest verso est, mentre, più a nord, seguiva la direttrice che collega gli attuali paesi di San Giorgio in Piano, San Pietro in Casale, Poggio Renatico per poi arrivare ad immettersi nel sistema Secchia–Panaro. Questo andamento è stato mantenuto dal fiume fino ai primi secoli dell'era cristiana.

In seguito esso si è spostato verso occidente, seguendo, nel tratto tra Bologna ed Argelato, il corso dell'attuale fosso Riolo. Tra Argelato e S. Agostino il fiume si divideva in due percorsi: uno che scorreva circa tra Vanezzano e Galliera e un altro che congiungeva Volta Reno e Castel D'Argile che poi si diramava verso Poggetto e Pieve di Cento. Più a settentrione, raggiunto S. Agostino, proseguiva verso Vigarano Mainarda prima di confluire sempre nel sistema Secchia– Panaro.

Dal XII sec. d.C. fino al XV sec. d.C., il Reno fino in prossimità di Castel d'Argile era riuscito a stabilizzare il proprio corso su posizioni molto simili a quelle attuali (Casalecchio–Passo Padulle–Volta di Reno). A partire da Castel d'Argile divagava poi nella porzione di pianura a nord–ovest di Cento (resta traccia di almeno quattro paleoalvei ) immettendosi anche in vecchi percorsi del fiume Panaro con andamento grosso modo sud–nord. In tale periodo questo corso confluiva nel Panaro a valle di Finale Emilia, nella zona di Santa Bianca.

Verso il 1520, in seguito ad una rotta avvenuta presso Palazzo Ariosto (2,5 km a sud–ovest di Cento) il Reno si diresse dapprima nelle valli di Galliera e poi verso S. Agostino, Mirabello e Vigarano Mainarda.

A partire da Vigarano Mainarda deviava verso Sud e disperdeva le sue torbide nelle valli di Poggio Renatico e di Malalbergo. In questo periodo, dunque, il Reno non figurava tra gli affluenti del Po.

Un tentativo di riallacciare il Reno al Po venne praticato con la costruzione del canale Vigarano Mainarda–Porotto, che venne completato nel 1526. Questo progetto però si rivelò un vero e proprio fallimento: infatti nell'arco di 16 anni si verificarono circa 48 rotte, e a queste si aggiunse il completo interrimento del Po di Ferrara prima della fine del XVI secolo. Ai primi del XVII, intorno al 1604, al Reno venne restituita la libertà di espandersi nelle valli a sud–ovest di Ferrara.

Nella prima metà del XVIII secolo si verificò la Rotta Panfilia, 2 km a sud–ovest di S. Agostino. Da questo momento inizia così a delinearsi il corso attuale del fiume.

Tra il 1771 e il 1772 venne realizzata la sistemazione attuale tra la Rotta Panfilia ed il Cavo Passardo.

Un elemento molto importante che rientra all'interno dell'area di studio, è il Cavo Napoleonico: opera idraulica di notevoli dimensioni, costruita in pieno periodo napoleonico (1805), con lo scopo di portare verso il Po le acque del Reno, captate nella zona di Panfilia.

La sistemazione definitiva del Cavo si ebbe alla fine della seconda guerra mondiale, quando venne realizzato anche il tratto a sud di Bondeno (prima si immetteva direttamente nel Panaro). Attualmente esso svolge una duplice funzione: quella di canale scolmatore del Reno e come canale di distribuzione delle acque del Po a fini irrigui.

Il tracciato delle viabilità D04-08 (ex 1FE) si colloca in aree ove in passato si sviluppava il corso del fiume Reno, per l'individuazione di tali porzioni di territorio si rimanda alla cartografia geomorfologica in scala 1:5000 allegata al presente studio.

## 5. LINEAMENTI GEOLOGICI DI SUPERFICIE

---

### 5.1. CARTOGRAFIA GEOLOGICA

---

Ai fini del presente lavoro riveste particolare interesse l'analisi delle caratteristiche geologiche e litologiche dei terreni superficiali. La litologia permette, infatti, di dare un primo orientamento per la valutazione sia delle caratteristiche geotecniche che della permeabilità dei depositi sui quali saranno impostate le infrastrutture in progetto.

A tale scopo, le indicazioni contenute nel progetto preliminare sono state integrate da quelle acquisite durante la campagna di indagini geognostiche in sito. In particolare, gli elaborati geologici prodotti a corredo del progetto definitivo sono i seguenti:

- Carta geologica d'assieme scala 1:25000
- Carta geologica scala 1:5000

#### 5.1.1. Carta geologica d'assieme scala 1:25000

La cartografia geologica d'assieme è stata redatta con lo scopo di dare una panoramica generale della situazione geologica dell'area oggetto di studio, in accordo con la suddivisione in ambienti deposizionali e la situazione morfologica del territorio. Le unità rappresentate in tale cartografia sono le seguenti:

- Sabbie medie e grossolane, subordinatamente ghiaie e ghiaie sabbiose, limi e limi sabbiosi in strati di spessore decimetrico. Depositi di piana a meandri.
- Sabbie medie e fini in strati di spessore decimetrico passanti lateralmente ed intercalate a sabbie fini e finissime limose, subordinatamente limi sabbiosi, talora argillosi. Localmente sabbie medie e grossolane in corpi lenticolari e nastriformi. Depositi di canale ed argine prossimale.
- Sabbie medie e fini, limi e argille limose intercalati in strati di spessore decimetrico; localmente sabbie medie e grossolane in corpi lenticolari e nastriformi. Depositi di canale e argine indifferenziati.
- Limi sabbiosi, sabbie fini e finissime, argille limose e subordinatamente sabbie limoso-argillose intercalate in strati di spessore decimetrico. Depositi di argine distale.
- Argille limose, argille e limi argillosi laminati, localmente concentrazioni di materiali organici parzialmente decomposti. Sono localmente presenti aree a composizione più sabbiosa. Area interfluviale e depositi di palude.

Il tracciato stradale della viabilità di adduzione 1 FE non interessa in nessun tratto l'unità costituita da "sabbie medie e fini, limi e argille limose intercalati in strati di spessore decimetrico; localmente sabbie medie e grossolane in corpi lenticolari e nastriformi. Depositi di canale e argine indifferenziati".

### **5.1.2. Carta geologica scala 1:5000**

La carta geologica scala 1:5000 rappresenta la distribuzione areale dei depositi con riferimento ai primi metri dal piano campagna.

Di seguito si descrivono le unità riportate nella cartografia di riferimento:

- Depositi a granulometria prevalentemente sabbiosa e sabbioso limosa
- Depositi a granulometria prevalentemente limoso sabbiosa, da argillosi a debolmente argillosi
- Depositi a granulometria prevalentemente limosa e limoso argillosa
- Depositi a granulometria prevalentemente argillosa e argilloso limosa talora con presenza di residui vegetali e lenti di strati torbosi.

Il tracciato della viabilità D04-08 (ex 1FE) non interessa l'unità costituita da "Depositi a granulometria prevalentemente limoso sabbiosa, da argillosi a debolmente argillosi".

## 6. SUBSIDENZA

---

### 6.1. PREMESSA

---

La subsidenza è il fenomeno di abbassamento della superficie terrestre causato da cambiamenti che avvengono nel sottosuolo. A partire dal secondo dopoguerra è apparso chiaro che la Pianura Padana e, in particolare, quella emiliano romagnola, è soggetta a fenomeni estesi di subsidenza (Carminati et al., 2006). Questo processo, che può avere cause sia naturali che artificiali, diviene un vero e proprio fattore di rischio quando l'abbassamento del terreno è particolarmente forte o quando la topografia è già depressa e vicina, o al di sotto, del livello del mare.

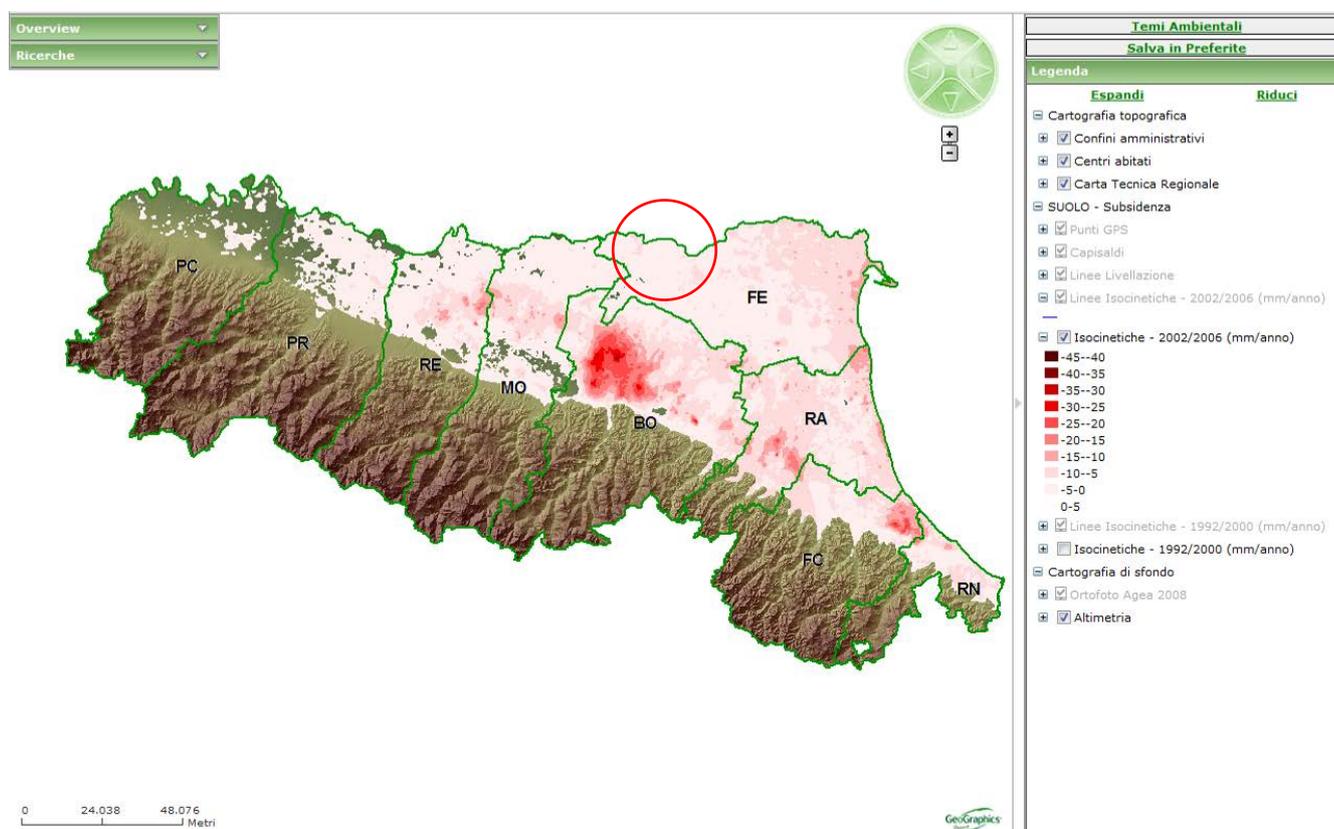
In generale, per una pianura alluvionale come quella dell'Emilia-Romagna i valori di subsidenza naturale attesi sono dell'ordine di  $-1 \div -3$  mm/anno mentre i valori effettivamente misurati nelle ultime decine d'anni sono quasi ovunque maggiori di  $-4$  mm/anno e con punte di  $-5$  cm/anno.

Nel territorio di pianura della regione Emilia-Romagna la subsidenza naturale è un fenomeno presente da alcuni milioni di anni ed è tuttora in atto. La subsidenza antropica, invece, si è resa manifesta soprattutto a partire dagli anni '50 del secolo scorso, ha raggiunto i suoi valori massimi negli anni '60-'80 ed è tuttora presente, pur avendo subito generalmente una forte riduzione. Le cause prevalenti sono riconducibili, in particolare, al prelievo di fluidi dal sottosuolo.

Il fenomeno è stato inizialmente monitorato da Enti diversi, in ambiti territoriali più o meno limitati, laddove si era manifestato con maggiore evidenza. Tali iniziative, ancorché utili a livello locale, rivelavano, a scala regionale, sovrapposizioni, disomogeneità e lacune. Al fine di superare tali difficoltà, Arpa Emilia Romagna, su incarico della Regione, Servizio Tutela e risanamento risorsa acqua, ha istituito nel 1997-98 una Rete Regionale di Controllo della Subsidenza e svolge attività di rilievo relative in particolare agli aspetti geometrici del fenomeno. Tale rete di monitoraggio consta di una rete di linee di livellazione di alta precisione integrata con una rete di stazioni di misura GPS. A partire dal 2005 il monitoraggio della Regione ha inoltre beneficiato, per la prima volta, di una tecnica di misura particolarmente innovativa che si basa su un'analisi delle variazioni di quota distribuite su tutta la superficie del territorio di pianura (Interferometria satellitare tipo SAR, Bitelli et al., 2005). Un cospicuo lavoro di omogeneizzazione dei dati di subsidenza disponibili per gli anni '70-'90 (Bitelli et al., 2000), e dei dati provenienti dalla Rete regionale ha permesso di elaborare delle carte dell'abbassamento del suolo in Emilia-Romagna che mettono in luce le aree più critiche e le relazioni con i principali ambienti geologici della pianura.

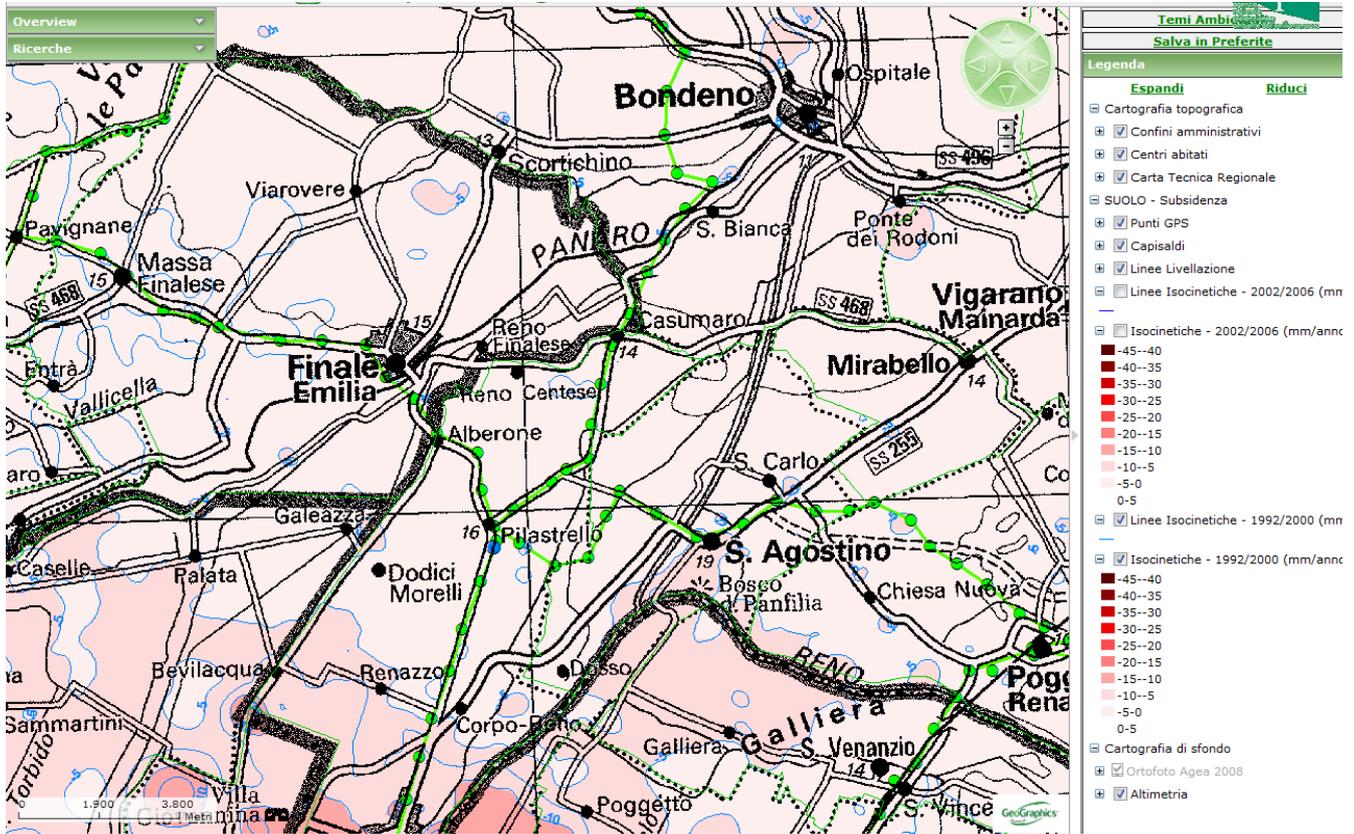
## 6.2. SUBSIDENZA NELL'AREA DI INTERESSE

In Figura 6.2-1 si riporta la cartografia delle velocità di movimento verticale del suolo della Pianura Padana. Come si può osservare l'area interessata dal tratto di viabilità D04-08 (ex 1FE) si colloca in zone interessate da bassi valori di subsidenza dell'ordine di 0÷-5.0 mm/anno.



**FIGURA 6.2-1. CARTOGRAFIA DELLE VELOCITÀ DI MOVIMENTO VERTICALE DEL SUOLO (PORTALE CARTOGRAFICO DI ARPA EMILIA-ROMAGNA)**

Nella figura seguente è riportata la cartografia delle velocità di movimento verticale del suolo della Pianura Padana rilevata negli anni 1992-2000 e 2002-2006 nell'area di interesse. In generale si osserva che i valori di subsidenza risultano dell'ordine di 0÷-5 mm/anno e il trend si è mantenuto pressoché costante in entrambi i periodi analizzati.



**FIGURA 6.2-2. CARTOGRAFIA DELLE VELOCITÀ DI MOVIMENTO VERTICALE DEL SUOLO (PORTALE CARTOGRAFICO DI ARPA EMILIA-ROMAGNA) NELL'AREA INTERESSATA DALLA VIABILITÀ D04-08 (EX 1FE). SI PUÒ OSSERVARE CHE NEGLI ANNI 1992-2000 I VALORI DI SUBSIDENZA SONO RISULTATI DELL'ORDINE DI 0÷5 MM/ANNO**

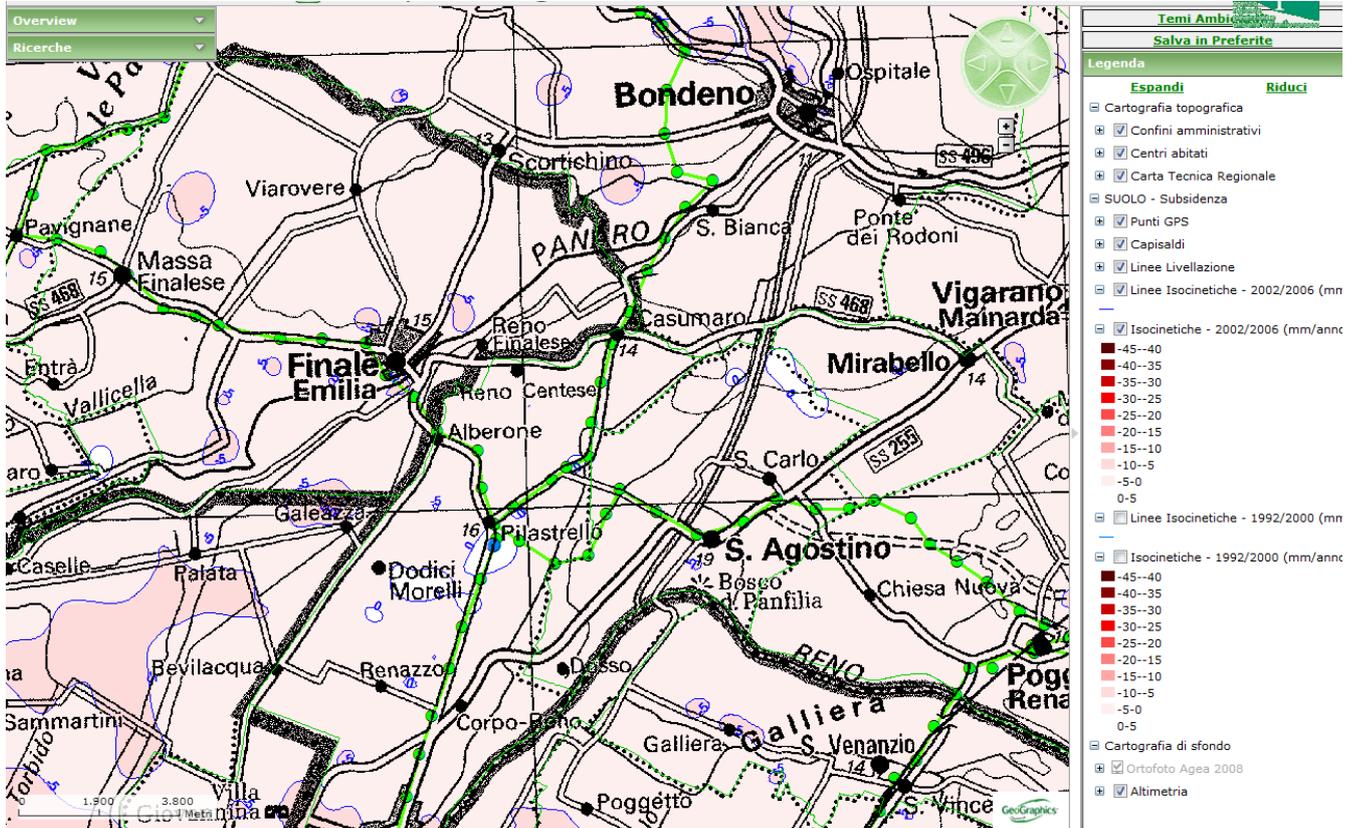


FIGURA 6.2-3. CARTOGRAFIA DELLE VELOCITÀ DI MOVIMENTO VERTICALE DEL SUOLO (PORTALE CARTOGRAFICO DI ARPA EMILIA-ROMAGNA) NELL'AREA INTERESSATA DALLA VIABILITÀ D04-08 (EX 1FE). SI PUÒ OSSERVARE CHE NEGLI ANNI 2002-2006 I VALORI DI SUBSIDENZA SONO RISULTATI DELL'ORDINE DI 0--5 MM/ANNO

## 7. INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO

L'area interessata dalla viabilità di adduzione 1 FE è stata indagata mediante una campagna di indagini geognostiche a supporto della progettazione definitiva.

Le indagini in sito consistono in sondaggi geognostici a carotaggio continuo, prove penetrometriche statiche con punta meccanica, prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono.

Durante l'esecuzione delle indagini geognostiche sono stati prelevati campioni disturbati ed indisturbati sottoposti a prove di laboratorio geotecnico.

Le indagini geognostiche sono descritte nel seguito divise per i vari tratti di cui si compone la viabilità 1 FE, in particolare:

- Tratta A1
- Tratta A2
- Tratta B
- Tratta C
- Tratta D

L'ubicazione planimetrica delle indagini è riportata nelle planimetrie ubicazione indagini scala 1:5000 delle tratte precedentemente descritte, in particolare:

- PD\_0\_D07\_D0000\_0\_GT\_PG\_01 – Planimetria ubicazione indagini geognostiche in sito Viabilità D04-08 (ex 1FE) - Raccordo Bondeno - Cento – Tratto A1;
- PD\_0\_D06\_D0000\_0\_GT\_PG\_01 – Planimetria ubicazione indagini geognostiche in sito Viabilità D04-08 (ex 1FE) - Raccordo Bondeno - Cento – Tratto A2;
- PD\_0\_D08\_D0000\_0\_GT\_PG\_01 – Planimetria ubicazione indagini geognostiche in sito Viabilità D04-08 (ex 1FE) - Raccordo Bondeno - Cento – Tratto D – Tav. 1/2;
- PD\_0\_D08\_D0000\_0\_GT\_PG\_02 – Planimetria ubicazione indagini geognostiche in sito Viabilità D04-08 (ex 1FE) - Raccordo Bondeno - Cento – Tratto D – Tav. 2/2;
- PD\_0\_D05\_D0000\_0\_GT\_PG\_03 – Planimetria ubicazione indagini geognostiche in sito Viabilità D04-08 (ex 1FE) - Raccordo Bondeno - Cento – Tratto C – Tav. 1/3;
- PD\_0\_D05\_D0000\_0\_GT\_PG\_04 – Planimetria ubicazione indagini geognostiche in sito Viabilità D04-08 (ex 1FE) - Raccordo Bondeno - Cento – Tratto C – Tav. 2/3;

- PD\_0\_D05\_D0000\_0\_GT\_PG\_05 – Planimetria ubicazione indagini geognostiche in sito Viabilità D04-08 (ex 1FE) - Raccordo Bondeno - Cento – Tratto C – Tav. 3/3;
- PD\_0\_D04\_D0000\_0\_GT\_PG\_01 – Planimetria ubicazione indagini geognostiche in sito Viabilità D04-08 (ex 1FE) - Raccordo Bondeno - Cento – Tratto B.

## 7.1. INDAGINI GEOGNOSTICHE TRATTA A1

Le indagini geognostiche in sito effettuate nel corso della campagna indagini di Progetto Definitivo sono riportate nel seguito:

- n. 3 prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono (CPTU), eseguite da Imprefond srl di Trieste (TS), spinte a profondità di 20 m circa da piano campagna. Durante l'esecuzione delle prove penetrometriche sono state effettuate prove di dissipazione sia negli orizzonti incoerenti sia coesivi;
- n. 3 pozzetti esplorativi (PZ), eseguiti da Imprefond srl di Trieste (TS), eseguiti fino a 2,5 metri di profondità da piano campagna.

Durante l'esecuzione dei sondaggi sono inoltre state effettuate le seguenti attività:

- prelievo di campioni rimaneggiati di terreno;
- esecuzione di prove di carico su piastra.

UN RIEPILOGO DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE PRECEDENTEMENTE DESCRITTE È RIPORTATO IN TABELLA 7-1 E IN

Tabella 7-2; per ogni prova si riportano le coordinate del punto di indagine nel sistema Gauss-Boaga e la quota in metri rispetto al livello del mare.

TABELLA 7-1: QUADRO RIASSUNTIVO DELLE PROVE PENETROMETRICHE ESEGUITE

Codice	Tipo di indagine	Coordinate Gauss-Boaga		Quota del p.c. [m. slm]
		Est	Nord	
1FE-CPTU501	Prova penetrometrica	1682811,531	4960076,519	10,750
1FE-CPTU502	Prova penetrometrica	1682499,871	4959110,252	11,570
1FE-CPTU503	Prova penetrometrica	1682094,231	4957906,740	12,720

TABELLA 7-2: QUADRO RIASSUNTIVO DEI POZZETTI ESPLORATIVI ESEGUITI

Codice	Tipo di indagine	Coordinate Gauss-Boaga		Quota del p.c. [m. slm]
		Est	Nord	
1FE-PZ501	Pozzetto esplorativo	1682868,154	4960153,541	10,900
1FE-PZ502	Pozzetto esplorativo	1682484,580	4959036,741	11,020
1FE-PZ503	Pozzetto esplorativo	1682123,502	4958002,259	12,450

I certificati delle indagini geognostiche in sito realizzate nella campagna indagini di Progetto Definitivo, sono riportate nei documenti inerenti le indagini elencati al paragrafo 2.2 del presente documento.

## **7.2. INDAGINI GEOGNOSTICHE TRATTA A2**

Le indagini geognostiche in sito effettuate nel corso della campagna indagini di Progetto Definitivo sono riportate nel seguito:

- n. 3 sondaggi stratigrafici a carotaggio continuo (BH), eseguiti da Imprefond srl di Trieste (TS), spinti a profondità di 25 m da piano campagna.

Durante l'esecuzione del sondaggio sono inoltre state effettuate le seguenti attività:

- rilievo stratigrafico;
  - rilievo speditivo della consistenza mediante prove con pocket penetrometer e scissometro sul materiale carotato;
  - rilievo del livello di falda;
  - prelievo di campioni indisturbati con campionatore a pareti sottili tipo Shelby;
  - esecuzione di prove penetrometriche dinamiche in foro di tipo SPT (Standard Penetration Test) con punta aperta e recupero del campione rimaneggiato;
  - installazione di piezometri a tubo aperto di tipo Norton Ø4" e di tipo Casagrande.
- n. 8 prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono (CPTU), eseguite da Imprefond srl di Trieste (TS), spinte a profondità comprese tra 20 e 35 m circa da piano campagna. Durante l'esecuzione delle prove penetrometriche sono state effettuate prove di dissipazione sia negli orizzonti incoerenti sia coesivi;
  - n. 4 pozzetti esplorativi (PZ), eseguiti da Imprefond srl di Trieste (TS), eseguiti fino a 2,5 metri di profondità da piano campagna.

Durante l'esecuzione dei sondaggi sono inoltre state effettuate le seguenti attività:

- prelievo di campioni rimaneggiati di terreno;
- esecuzione di prove di carico su piastra.

Un riepilogo delle indagini geognostiche precedentemente descritte è riportato da Tabella 7-3 a Tabella 7-5; per ogni prova si riportano le coordinate del punto di indagine nel sistema Gauss-Boaga e la quota in metri rispetto al livello del mare.

**TABELLA 7-3: QUADRO RIASSUNTIVO DEI SONDAGGI STRATIGRAFICI ESEGUITI**

Codice	Tipo di indagine	Coordinate Gauss-Boaga		Quota del p.c. [m. slm]
		Est	Nord	
1FE-BH1	Sondaggio stratigrafico	1683052,942	4962998,312	10,950

Codice	Tipo di indagine	Coordinate Gauss-Boaga		Quota del p.c. [m. slm]
		Est	Nord	
1FE-BH2	Sondaggio stratigrafico	1682796,751	4960909,773	12,370
1FE-BH502	Sondaggio stratigrafico	1683616,704	4960270,913	11,950

TABELLA 7-4: QUADRO RIASSUNTIVO DELLE PROVE PENETROMETRICHE ESEGUITE

Codice	Tipo di indagine	Coordinate Gauss-Boaga		Quota del p.c. [m. slm]
		Est	Nord	
1FE-CPTU2	Prova penetrometrica	1683165,253	4963247,46	11,24
1FE-CPTU3	Prova penetrometrica	1682860,409	4962688,261	10,75
1FE-CPTU4	Prova penetrometrica	1682699,754	4962292,051	10,89
1FE-CPTU5	Prova penetrometrica	1682505,489	4961132,792	11,538
1FE-CPTU6	Prova penetrometrica	1682872,62	4960873,096	11,607
1FE-CPTU7	Prova penetrometrica	1683621,161	4960374,162	11,383
1FE-CPTU8	Prova penetrometrica	1684028,739	4959980,63	12,908
1FE-CPTU505	Prova penetrometrica	1683690,560	4960333,720	11,920

TABELLA 7-5: QUADRO RIASSUNTIVO DEI POZZETTI ESPLORATIVI ESEGUITI

Codice	Tipo di indagine	Coordinate Gauss-Boaga		Quota del p.c. [m. slm]
		Est	Nord	
1FE-PZ2	Pozzetto esplorativo	1683149.105	4963195.806	11,360
1FE-PZ3	Pozzetto esplorativo	1682692.725	4962291.084	10,980
1FE-PZ4	Pozzetto esplorativo	1682448.145	4961704.375	11,110
1FE-PZ5	Pozzetto esplorativo	1683395.916	4960496.791	11,510

I certificati delle indagini geognostiche in sito realizzate nella campagna indagini di Progetto Definitivo, sono riportate nei documenti inerenti le indagini elencati al paragrafo 2.2 del presente documento.

### 7.3. INDAGINI GEOGNOSTICHE TRATTA B

Le indagini geognostiche in sito effettuate nel corso della campagna indagini di Progetto Definitivo sono riportate nel seguito:

- n. 1 sondaggio stratigrafico a carotaggio continuo (BH), eseguito da Imprefond srl di Trieste (TS), spinto a profondità di 25 m da piano campagna.

Durante l'esecuzione del sondaggio sono inoltre state effettuate le seguenti attività:

- o rilievo stratigrafico;

- rilievo speditivo della consistenza mediante prove con pocket penetrometer e scissometro sul materiale carotato;
  - rilievo del livello di falda;
  - prelievo di campioni indisturbati con campionatore a pareti sottili tipo Shelby;
  - esecuzione di prove penetrometriche dinamiche in foro di tipo SPT (Standard Penetration Test) con punta aperta e recupero del campione rimaneggiato;
  - installazione di piezometro di tipo Casagrande.
- n. 5 prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono (CPTU), eseguite da Imprefond srl di Trieste (TS), spinte a profondità di 20 m circa da piano campagna. Durante l'esecuzione delle prove penetrometriche sono state effettuate prove di dissipazione sia negli orizzonti incoerenti sia coesivi;
- n. 3 pozzetti esplorativi (PZ), eseguiti da Imprefond srl di Trieste (TS), eseguiti fino a 2,5 metri di profondità da piano campagna.
- Durante l'esecuzione dei sondaggi sono inoltre state effettuate le seguenti attività:
- prelievo di campioni rimaneggiati di terreno;
  - esecuzione di prove di carico su piastra.

Un riepilogo delle indagini geognostiche precedentemente descritte è riportato da Tabella 7-6 a Tabella 7-8; per ogni prova si riportano le coordinate del punto di indagine nel sistema Gauss-Boaga e la quota in metri rispetto al livello del mare.

**TABELLA 7-6: QUADRO RIASSUNTIVO DEI SONDAGGI STRATIGRAFICI ESEGUITI**

Codice	Tipo di indagine	Coordinate Gauss-Boaga		Quota del p.c. [m. slm]
		Est	Nord	
1FE-BH3	Sondaggio stratigrafico	1683361,213	4966078,323	12,00

**TABELLA 7-7: QUADRO RIASSUNTIVO DELLE PROVE PENETROMETRICHE ESEGUITE**

Codice	Tipo di indagine	Coordinate Gauss-Boaga		Quota del p.c. [m. slm]
		Est	Nord	
1FE-CPTU1	Prova penetrometrica	1683359,401	4964066,006	11,502
1FE-CPTU9	Prova penetrometrica	1683413,472	4965740,765	11,436
1FE-CPTU10	Prova penetrometrica	1683143,034	4966580,588	14,027
1FE-CPTU11	Prova penetrometrica	1683026,491	4966986,557	13,85
1FE-CPTU504	Prova penetrometrica	1683374,267	4965309,799	11,210

**TABELLA 7-8: QUADRO RIASSUNTIVO DEI POZZETTI ESPLORATIVI ESEGUITI**

Codice	Tipo di indagine	Coordinate Gauss-Boaga		Quota del p.c. [m. slm]
		Est	Nord	
1FE-PZ1	Pozzetto esplorativo	1683357,822	4964087,92	11,420

Codice	Tipo di indagine	Coordinate Gauss-Boaga		Quota del p.c. [m. slm]
		Est	Nord	
1FE-PZ6	Pozzetto esplorativo	1683384,101	4965917,896	11,840
1FE-PZ504	Pozzetto esplorativo	1683287,828	4964937,863	11,660

I certificati delle indagini geognostiche in sito realizzate nella campagna indagini di Progetto Definitivo, sono riportate nei documenti inerenti le attività propedeutiche alla progettazione, ed elencati al paragrafo 2.2 del presente documento.

## 7.4. INDAGINI GEOGNOSTICHE TRATTA C

Le indagini geognostiche in sito effettuate nel corso della campagna indagini di Progetto Definitivo sono riportate nel seguito:

- n. 16 sondaggi stratigrafici a carotaggio continuo (BH), eseguiti da Imprefond srl di Trieste, spinti a profondità comprese tra 30 m e 50 m da piano campagna.

Durante l'esecuzione dei sondaggi sono inoltre state effettuate le seguenti attività:

- rilievo stratigrafico;
  - rilievo speditivo della consistenza mediante prove con pocket penetrometer e scissometro sul materiale carotato;
  - rilievo del livello di falda;
  - prelievo di campioni indisturbati con campionatore a pareti sottili tipo Shelby;
  - esecuzione di prove penetrometriche dinamiche in foro di tipo SPT (Standard Penetration Test) con punta aperta e recupero del campione rimaneggiato;
  - installazione di piezometri a tubo aperto di tipo Norton Ø4" e di tipo Casagrande.
- n. 24 prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono (CPTU), eseguite da Imprefond srl di Trieste, spinte a profondità comprese tra 20 m e 40 m circa da piano campagna. Durante l'esecuzione delle prove penetrometriche sono state effettuate prove di dissipazione sia negli orizzonti incoerenti sia coesivi;
  - n. 3 prove con cono sismico (SCPT), eseguite da Imprefond srl di Trieste, spinte a profondità di 30 m circa da piano campagna;
  - n. 18 pozzetti esplorativi (PZ), eseguiti da Imprefond srl di Trieste, eseguiti fino a 2.5 metri di profondità da piano campagna.

Durante l'esecuzione dei sondaggi sono inoltre state effettuate le seguenti attività:

- prelievo di campioni rimaneggiati di terreno;

- o esecuzione di prove di carico su piastra.

Un riepilogo delle indagini geognostiche precedentemente descritte è riportato da Tabella 7-9 a Tabella 7-12; per ogni prova si riportano le coordinate del punto di indagine nel sistema Gauss-Boaga e la quota in metri rispetto al livello del mare.

TABELLA 7-9: QUADRO RIASSUNTIVO DEI SONDAGGI STRATIGRAFICI ESEGUITI

Codice	Tipo di indagine	Coordinate Gauss-Boaga		Quota del p.c. [m. slm]
		Est	Nord	
BH247	Sondaggio stratigrafico	1686017,734	4965102,941	10,664
BH248	Sondaggio stratigrafico	1686084,757	4965154,587	10,604
BH250	Sondaggio stratigrafico	1687500,796	4965038,379	10,810
BH251	Sondaggio stratigrafico	1687627,668	4964955,473	10,707
BH253	Sondaggio stratigrafico	1688094,662	4964973,5	10,997
BH254	Sondaggio stratigrafico	1688385,759	4965015,281	10,677
BH539	Sondaggio stratigrafico	1683982,805	4963722,803	9,969
BH540	Sondaggio stratigrafico	1683792,355	4963977,61	10,656
BH541	Sondaggio stratigrafico	1684316,694	4963987,93	11,036
BH542	Sondaggio stratigrafico	1684851,858	4964728,299	10,433
1FE-BH4	Sondaggio stratigrafico	1687767,518	4966106,851	10,220
1FE-BH6	Sondaggio stratigrafico	1688073,812	4968751,653	9,565
1FE-BH7	Sondaggio stratigrafico	1688231,252	4969160,487	9,081
1FE-BH8	Sondaggio stratigrafico	1688880,372	4970219,775	8,820
1FE-BH506	Sondaggio stratigrafico	1688701,445	4968670,212	9,490
1FE-BH507	Sondaggio stratigrafico	1688958,230	4968922,191	9,250

TABELLA 7-10: QUADRO RIASSUNTIVO DELLE PROVE PENETROMETRICHE ESEGUITE

Codice	Tipo di indagine	Coordinate Gauss-Boaga		Quota del p.c. [m. slm]
		Est	Nord	
1FE-CPTU1	Prova penetrometrica	1683359,401	4964066,006	11,502
1FE-CPTU14	Prova penetrometrica	1688553,061	4966831,873	10,974
1FE-CPTU15	Prova penetrometrica	1688728,283	4966982,286	10,444
1FE-CPTU17	Prova penetrometrica	1688352,381	4967582,844	10,006
CPTU567	Prova penetrometrica	1683921,794	4963763,609	9,902
CPTU568	Prova penetrometrica	1684010,373	4963704,694	10,347
CPTU569	Prova penetrometrica	1684336,183	4963975,229	10,965
CPTU570	Prova penetrometrica	1684482,983	4964430,772	10,455
CPTU571	Prova penetrometrica	1685134,495	4965082,139	10,322
CPTU279	Prova penetrometrica	1686022,254	4965162,742	10,806
CPTU284	Prova penetrometrica	1686468,493	4965129,848	10,590
CPTU285	Prova penetrometrica	1686889,907	4965014,781	10,449

Codice	Tipo di indagine	Coordinate Gauss-Boaga		Quota del p.c. [m. slm]
		Est	Nord	
CPTU286	Prova penetrometrica	1687576,915	4964992,873	10,730
CPTU287	Prova penetrometrica	1687659,568	4964930,456	10,752
CPTU288	Prova penetrometrica	1688054,681	4964950,889	11,088
CPTU289	Prova penetrometrica	1688115,860	4965008,841	11,067
1FE-CPTU18	Prova penetrometrica	1688073,495	4968072,995	9,813
1FE-CPTU19	Prova penetrometrica	1688076,767	4968739,365	9,401
1FE-CPTU21	Prova penetrometrica	1688229,353	4969193,231	8,956
1FE-CPTU22	Prova penetrometrica	1688370,587	4969784,121	9,020
1FE-CPTU518	Prova penetrometrica	1688720,892	4968229,569	9,440
1FE-CPTU519	Prova penetrometrica	1688701,445	4968664,208	9,870
1FE-CPTU521	Prova penetrometrica	1688943,549	4968889,865	8,800
1FE-CPTU522	Prova penetrometrica	1689154,859	4969565,072	8,850

TABELLA 7-11: QUADRO RIASSUNTIVO DELLE PROVE CON CONO SISMICO ESEGUITE

Codice	Tipo di indagine	Coordinate Gauss-Boaga		Quota del p.c. [m. slm]
		Est	Nord	
1FE-SCPT20	Prova con cono sismico	1688237,873	4968769,749	9,400
1FE-SCPT520	Prova con cono sismico	1688929,926	4968767,749	8,800
1FE-SCPT566	Prova con cono sismico	1683888,428	4963560,942	10,207

TABELLA 7-12: QUADRO RIASSUNTIVO DEI POZZETTI ESPLORATIVI ESEGUITI

Codice	Tipo di indagine	Coordinate Gauss-Boaga		Quota del p.c. [m. slm]
		Est	Nord	
PZ254	Pozzetto esplorativo	1686522,251	4965149,029	10,642
PZ255	Pozzetto esplorativo	1687007,650	4964994,215	10,413
PZ256	Pozzetto esplorativo	1687682,904	4964932,664	10,925
PZ257	Pozzetto esplorativo	1688356,240	4965031,513	10,354
PZ542	Pozzetto esplorativo	1683845,751	4963903,634	10,334
PZ543	Pozzetto esplorativo	1684443,159	4964363,129	10,478
PZ544	Pozzetto esplorativo	1684814,016	4964823,145	10,464
PZ545	Pozzetto esplorativo	1685270,967	4965121,629	10,393
1FE-PZ8	Pozzetto esplorativo	1687116,740	4965472,218	10,850
1FE-PZ9	Pozzetto esplorativo	1687921,560	4966108,339	9,832
1FE-PZ10	Pozzetto esplorativo	1688659,993	4966927,878	10,453
1FE-PZ11	Pozzetto esplorativo	1688426,446	4967588,385	9,932
1FE-PZ12	Pozzetto esplorativo	1688058,296	4968309,178	9,519
1FE-PZ13	Pozzetto esplorativo	1688225,396	4969147,187	9,271

Codice	Tipo di indagine	Coordinate Gauss-Boaga		Quota del p.c. [m. slm]
		Est	Nord	
1FE-PZ14	Pozzetto esplorativo	1688372,847	4969800,641	8,902
1FE-PZ15	Pozzetto esplorativo	1689272,190	4970382,593	8,721
1FE-PZ512	Pozzetto esplorativo	1688719,892	4968335,056	9,440
1FE-PZ514	Pozzetto esplorativo	1689120,253	4969555,738	8,850

I certificati delle indagini geognostiche in sito realizzate nella campagna indagini di Progetto Definitivo sono elencati al paragrafo 2.2 del presente documento.

## 7.5. INDAGINI GEOGNOSTICHE TRATTA D

Le indagini geognostiche in sito effettuate nel corso della campagna indagini di Progetto Definitivo sono riportate nel seguito:

- n. 5 sondaggi stratigrafici a carotaggio continuo (BH), eseguiti da Imprefond srl di Trieste (TS), spinti a profondità comprese tra 30 m e 50 m da piano campagna.

Durante l'esecuzione dei sondaggi sono inoltre state effettuate le seguenti attività:

- o rilievo stratigrafico;
  - o rilievo speditivo della consistenza mediante prove con pocket penetrometer e scissometro sul materiale carotato;
  - o rilievo del livello di falda;
  - o prelievo di campioni indisturbati con campionatore a pareti sottili tipo Shelby;
  - o esecuzione di prove penetrometriche dinamiche in foro di tipo SPT (Standard Penetration Test) con punta aperta e recupero del campione rimaneggiato;
  - o installazione di piezometri a tubo aperto di tipo Norton Ø4" e di tipo Casagrande.
- n. 2 sondaggi a distruzione di nucleo con esecuzione di prove sismiche in foro di tipo cross-hole (CH), eseguiti da Imprefond srl di Trieste (TS) spinti fino a 30 m di profondità da piano campagna;
  - n. 12 prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono (CPTU), eseguite da Imprefond srl di Trieste (TS), spinte a profondità comprese tra 20 m e 40 m circa da piano campagna. Durante l'esecuzione delle prove penetrometriche sono state effettuate prove di dissipazione sia negli orizzonti incoerenti sia coesivi;
  - n. 5 pozzetti esplorativi (PZ), eseguiti da Imprefond srl di Trieste (TS), eseguiti fino a 2,5 metri di profondità da piano campagna.

Durante l'esecuzione dei sondaggi sono inoltre state effettuate le seguenti attività:

- prelievo di campioni rimaneggiati di terreno;
- esecuzione di prove di carico su piastra.

Un riepilogo delle indagini geognostiche precedentemente descritte è riportato da Tabella 7-13 a Tabella 7-16; per ogni prova si riportano le coordinate del punto di indagine nel sistema Gauss-Boaga e la quota in metri rispetto al livello del mare.

**TABELLA 7-13: QUADRO RIASSUNTIVO DEI SONDAGGI STRATIGRAFICI ESEGUITI**

Codice	Tipo di indagine	Coordinate Gauss-Boaga		Quota del p.c. [m. slm]
		Est	Nord	
1FE-BH9	Sondaggio stratigrafico	1689226,187	4971252,397	11,223
1FE-BH10	Sondaggio stratigrafico	1688280,453	4972696,958	8,166
1FE-BH11	Sondaggio stratigrafico	1688235,579	4973887,974	8,048
1FE-BH12	Sondaggio stratigrafico	1688471,245	4974423,226	9,101
1FE-BH13	Sondaggio stratigrafico	1688955,657	4975355,526	9,059

**TABELLA 7-14: QUADRO RIASSUNTIVO DEI CROSS-HOLE ESEGUITI**

Codice	Tipo di indagine	Coordinate Gauss-Boaga		Quota del p.c. [m. slm]
		Est	Nord	
1FE-CH9	Cross-hole	1689230,102	4971249,95	11,019
1FE-CH12	Cross-hole	1688475,813	4974421,974	9,06

**TABELLA 7-15: QUADRO RIASSUNTIVO DELLE PROVE PENETROMETRICHE ESEGUITE**

Codice	Tipo di indagine	Coordinate Gauss-Boaga		Quota del p.c. [m. slm]
		Est	Nord	
1FE-CPTU23	Prova penetrometrica	1689368,365	4970606,732	9,175
1FE-CPTU24	Prova penetrometrica	1689312,633	4971297,883	10,466
1FE-CPTU25	Prova penetrometrica	1689203,414	4971430,894	9,348
1FE-CPTU26	Prova penetrometrica	1689192,185	4971441,230	9,370
1FE-CPTU27	Prova penetrometrica	1688841,967	4971843,196	8,199
1FE-CPTU28	Prova penetrometrica	1688123,992	4972625,899	7,752
1FE-CPTU29	Prova penetrometrica	1688076,925	4972922,254	7,263
1FE-CPTU30	Prova penetrometrica	1688311,299	4974261,999	9,453
1FE-CPTU31	Prova penetrometrica	1688333,970	4974338,484	10,149
1FE-CPTU32	Prova penetrometrica	1688447,296	4974384,863	10,071
1FE-CPTU32A	Prova penetrometrica	1688533,669	4974666,824	7,670
1FE-CPTU33	Prova penetrometrica	1688971,693	4975348,689	8,874
1FE-CPTU34	Prova penetrometrica	1689593,316	4975501,351	8,506

TABELLA 7-16: QUADRO RIASSUNTIVO DEI POZZETTI ESPLORATIVI ESEGUITI

Codice	Tipo di indagine	Coordinate Gauss-Boaga		Quota del p.c. [m. slm]
		Est	Nord	
1FE-PZ16	Pozzetto esplorativo	1689125,084	4971538,004	8,562
1FE-PZ17	Pozzetto esplorativo	1688346,867	4972511,730	8,035
1FE-PZ18	Pozzetto esplorativo	1688103,277	4973543,187	7,517
1FE-PZ19	Pozzetto esplorativo	1688512,080	4974540,717	8,192
1FE-PZ20	Pozzetto esplorativo	1689420,023	4975424,131	8,384

I certificati delle indagini geognostiche in sito realizzate nella campagna indagini di Progetto Definitivo sono elencati al paragrafo 2.2 del presente documento.

## 8. PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO

---

### 8.1. PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO TRATTA A1

---

I campioni rimaneggiati prelevati durante l'esecuzione dei pozzetti esplorativi realizzati nel corso della campagna indagini di Progetto Definitivo, sono stati sottoposti a prove di laboratorio, sia sul terreno naturale sia sui campioni di terreno miscelati con calce; in particolare:

- Prove su terreno naturale
  - apertura del campione con descrizione;
  - classificazione secondo UNI EN ISO 14688;
  - analisi granulometrica secondo ASTM D422 per setacciatura e per sedimentazione;
  - determinazione del contenuto naturale d'acqua;
  - determinazione dei limiti di Atterberg;
  - determinazione del contenuto di sostanza organica;
  - determinazione del contenuto di solfati e nitrati;
  - determinazione del consumo iniziale di calce (CIC).
- Prove su terreno naturale miscelato con calce (secondo tre valori di percentuale di calce)
  - determinazione dei limiti di Atterberg;
  - prova di costipamento Proctor "AASHTO Modificata";
  - definizione dell'indice di portanza immediato (IPI);
  - prova CBR post-saturazione.

Le prove di laboratorio sono state effettuate dalla Tecnolab di Ortona (CH).

I certificati delle prove di laboratorio utilizzate per lo studio geologico-geotecnico dell'area, sono riportate nei documenti elencati al paragrafo 2.2 del presente documento.

## 8.2. PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO TRATTA A2

---

Al fine di caratterizzare dal punto di vista geotecnico i terreni, i campioni indisturbati prelevati durante la campagna indagini di Progetto Definitivo, sono stati sottoposti a prove di laboratorio; in particolare:

- Prove di classificazione
  - apertura del campione con descrizione;
  - classificazione secondo UNI EN ISO 14688;
  - analisi granulometrica secondo ASTM D422 per setacciatura e per sedimentazione;
  - determinazione del contenuto naturale d'acqua;
  - determinazione dei limiti di Atterberg;
  - determinazione del peso di volume allo stato naturale;
  - determinazione del peso specifico dei grani.
  
- Prove meccaniche
  - prova triassiale non consolidata non drenata (U.U.);
  - prova triassiale consolidata e non drenata con misura delle pressioni interstiziali (C.I.U.);
  - prova di taglio diretto (T.D.);
  - prova di compressione non confinata (ELL);
  - prova di compressibilità edometrica con diagramma deformazione/tempo e determinazione dei coefficienti  $M$ ,  $C_v$ ,  $C_\alpha$  e  $k$ .

Inoltre, i campioni rimaneggiati prelevati durante l'esecuzione dei pozzetti esplorativi realizzati nel corso della campagna indagini di Progetto Definitivo, sono stati sottoposti a prove di laboratorio, sia sul terreno naturale sia sui campioni di terreno miscelati con calce; in particolare:

- Prove su terreno naturale
  - apertura del campione con descrizione;
  - classificazione secondo UNI EN ISO 14688;
  - analisi granulometrica secondo ASTM D422 per setacciatura e per sedimentazione;
  - determinazione del contenuto naturale d'acqua;

- determinazione dei limiti di Atterberg;
  - determinazione del contenuto di sostanza organica;
  - determinazione del contenuto di solfati e nitrati;
  - determinazione del consumo iniziale di calce (CIC).
- Prove su terreno naturale miscelato con calce (secondo tre valori di percentuale di calce)
    - determinazione dei limiti di Atterberg;
    - prova di costipamento Proctor "AASHTO Modificata";
    - definizione dell'indice di portanza immediato (IPI);
    - prova CBR post-saturazione.

Le prove di laboratorio sono state effettuate dalla Tecnolab di Ortona (CH).

I certificati delle prove di laboratorio utilizzate per lo studio geologico-geotecnico dell'area, sono riportate nei documenti elencati al paragrafo 2.2 del presente documento.

### 8.3. PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO TRATTA B

---

Al fine di caratterizzare dal punto di vista geotecnico i terreni, i campioni indisturbati prelevati durante la campagna indagini di Progetto Definitivo, sono stati sottoposti a prove di laboratorio; in particolare:

- Prove di classificazione
  - apertura del campione con descrizione;
  - classificazione secondo UNI EN ISO 14688;
  - analisi granulometrica secondo ASTM D422 per setacciatura e per sedimentazione;
  - determinazione del contenuto naturale d'acqua;
  - determinazione dei limiti di Atterberg;
  - determinazione del peso di volume allo stato naturale;
  - determinazione del peso specifico dei grani.
- Prove meccaniche
  - prova triassiale non consolidata non drenata (U.U.);
  - prova triassiale consolidata e non drenata con misura delle pressioni interstiziali (C.I.U.);

- prova di taglio diretto (T.D.);
- prova di compressione non confinata (ELL);
- prova di compressibilità edometrica con diagramma deformazione/tempo e determinazione dei coefficienti  $M$ ,  $C_v$ ,  $C_\alpha$  e  $k$ .

Inoltre, i campioni rimaneggiati prelevati durante l'esecuzione dei pozzetti esplorativi realizzati nel corso della campagna indagini di Progetto Definitivo, sono stati sottoposti a prove di laboratorio, sia sul terreno naturale sia sui campioni di terreno miscelati con calce; in particolare:

- Prove su terreno naturale
  - apertura del campione con descrizione;
  - classificazione secondo UNI EN ISO 14688;
  - analisi granulometrica secondo ASTM D422 per setacciatura e per sedimentazione;
  - determinazione del contenuto naturale d'acqua;
  - determinazione dei limiti di Atterberg;
  - determinazione del contenuto di sostanza organica;
  - determinazione del contenuto di solfati e nitrati;
  - determinazione del consumo iniziale di calce (CIC).
- Prove su terreno naturale miscelato con calce (secondo tre valori di percentuale di calce)
  - determinazione dei limiti di Atterberg;
  - prova di costipamento Proctor "AASHTO Modificata";
  - definizione dell'indice di portanza immediato (IPI);
  - prova CBR post-saturazione.

Le prove di laboratorio sono state effettuate dalla Tecnolab di Ortona (CH).

I certificati delle prove di laboratorio utilizzate per lo studio geologico-geotecnico dell'area, sono riportate nei documenti elencati al paragrafo 2.2 del presente documento.

## 8.4. PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO TRATTA C

---

Al fine di caratterizzare dal punto di vista geotecnico i terreni, i campioni indisturbati prelevati durante la campagna indagini di Progetto Definitivo, sono stati sottoposti a prove di laboratorio; in particolare:

- Prove di classificazione
  - apertura del campione con descrizione;
  - classificazione secondo UNI EN ISO 14688;
  - analisi granulometrica secondo ASTM D422 per setacciatura e per sedimentazione;
  - determinazione del contenuto naturale d'acqua;
  - determinazione dei limiti di Atterberg;
  - determinazione del peso di volume allo stato naturale;
  - determinazione del peso specifico dei grani.
  
- Prove meccaniche
  - prova triassiale non consolidata non drenata (U.U.);
  - prova triassiale consolidata e non drenata con misura delle pressioni interstiziali (C.I.U.);
  - prova di taglio diretto (T.D.);
  - prova di compressione non confinata (ELL);
  - prova di compressibilità edometrica con diagramma deformazione/tempo e determinazione dei coefficienti  $M$ ,  $C_v$ ,  $C_\alpha$  e  $k$ .

Inoltre, i campioni rimaneggiati prelevati durante l'esecuzione dei pozzetti esplorativi realizzati nel corso della campagna indagini di Progetto Definitivo, sono stati sottoposti a prove di laboratorio, sia sul terreno naturale sia sui campioni di terreno miscelati con calce; in particolare:

- Prove su terreno naturale
  - apertura del campione con descrizione;
  - classificazione secondo UNI EN ISO 14688;
  - analisi granulometrica secondo ASTM D422 per setacciatura e per sedimentazione;
  - determinazione del contenuto naturale d'acqua;

- determinazione dei limiti di Atterberg;
  - determinazione del contenuto di sostanza organica;
  - determinazione del contenuto di solfati e nitrati;
  - determinazione del consumo iniziale di calce (CIC).
- Prove su terreno naturale miscelato con calce (secondo tre valori di percentuale di calce)
    - determinazione dei limiti di Atterberg;
    - prova di costipamento Proctor "AASHTO Modificata";
    - definizione dell'indice di portanza immediato (IPI);
    - prova CBR post-saturazione.

Le prove di laboratorio sono state effettuate dalla Tecnolab di Ortona (CH).

I certificati delle prove di laboratorio utilizzate per lo studio geologico-geotecnico dell'area sono riportate nei documenti elencati al paragrafo 2.2 del presente documento.

## 8.5. PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO TRATTA D

---

Al fine di caratterizzare dal punto di vista geotecnico i terreni, i campioni indisturbati prelevati durante la campagna indagini di Progetto Definitivo, sono stati sottoposti a prove di laboratorio; in particolare:

- Prove di classificazione
  - apertura del campione con descrizione;
  - classificazione secondo UNI EN ISO 14688;
  - analisi granulometrica secondo ASTM D422 per setacciatura e per sedimentazione;
  - determinazione del contenuto naturale d'acqua;
  - determinazione dei limiti di Atterberg;
  - determinazione del peso di volume allo stato naturale;
  - determinazione del peso specifico dei grani.
- Prove meccaniche
  - prova triassiale non consolidata non drenata (U.U.);

- prova triassiale consolidata e non drenata con misura delle pressioni interstiziali (C.I.U.);
- prova di taglio diretto (T.D.);
- prova di compressione non confinata (ELL);
- prova di compressibilità edometrica con diagramma deformazione/tempo e determinazione dei coefficienti  $M$ ,  $C_v$ ,  $C_\alpha$  e  $k$ .

Inoltre, i campioni rimaneggiati prelevati durante l'esecuzione dei pozzetti esplorativi realizzati nel corso della campagna indagini di Progetto Definitivo, sono stati sottoposti a prove di laboratorio, sia sul terreno naturale sia sui campioni di terreno miscelati con calce; in particolare:

- Prove su terreno naturale
  - apertura del campione con descrizione;
  - classificazione secondo UNI EN ISO 14688;
  - analisi granulometrica secondo ASTM D422 per setacciatura e per sedimentazione;
  - determinazione del contenuto naturale d'acqua;
  - determinazione dei limiti di Atterberg;
  - determinazione del contenuto di sostanza organica;
  - determinazione del contenuto di solfati e nitrati;
  - determinazione del consumo iniziale di calce (CIC).
- Prove su terreno naturale miscelato con calce (secondo tre valori di percentuale di calce)
  - determinazione dei limiti di Atterberg;
  - prova di costipamento Proctor "AASHTO Modificata";
  - definizione dell'indice di portanza immediato (IPI);
  - prova CBR post-saturazione.

Le prove di laboratorio sono state effettuate dalla Tecnolab di Ortona (CH).

I certificati delle prove di laboratorio utilizzate per lo studio geologico-geotecnico dell'area sono riportate nei documenti elencati al paragrafo 2.2 del presente documento.

## 9. CARATTERISTICHE LITOSTRATIMETRICHE

### 9.1. SEZIONE LITOSTRATIMETRICA

La definizione della stratigrafia di dettaglio dei terreni di fondazione del tratto di viabilità di adduzione in oggetto è rappresentata nei profili geologici in scala 1:5000/1:200 delle varie tratte in cui si divide la 1FE, in particolare:

- PD\_0\_D07\_D0000\_0\_GT\_FG\_01 - Profilo geologico/idrogeologico - Raccordo Bondeno-Cento - Tratto A1;
- PD\_0\_D06\_D0000\_0\_GT\_FG\_01 - Profilo geologico/idrogeologico - Raccordo Bondeno-Cento - Tratto A2;
- PD\_0\_D04\_D0000\_0\_GT\_FG\_01 - Profilo geologico/idrogeologico - Raccordo Bondeno-Cento - Tratto B;
- PD\_0\_D05\_D0000\_0\_GT\_FG\_01 - Profilo geologico/idrogeologico 1FE - Raccordo Bondeno-Cento - Tratto C - Tav. 1/3;
- PD\_0\_D05\_D0000\_0\_GT\_FG\_02 - Profilo geologico/idrogeologico - Raccordo Bondeno-Cento - Tratto C - Tav. 2/3;
- PD\_0\_D05\_D0000\_0\_GT\_FG\_03 - Profilo geologico/idrogeologico - Raccordo Bondeno-Cento - Tratto C - Tav. 3/3;
- PD\_0\_D08\_D0000\_0\_GT\_FG\_01 - Profilo geologico/idrogeologico - Raccordo Bondeno-Cento - Tratto D - Tav. 1/2;
- PD\_0\_D08\_D0000\_0\_GT\_FG\_02 - Profilo geologico/idrogeologico - Raccordo Bondeno-Cento - Tratto D - Tav. 2/2.

La definizione delle caratteristiche litostratimetriche è stata basata sull'interpretazione e correlazione dei risultati della totalità delle indagini effettuate oltre che sulle conoscenze già acquisite in relazione ai dati già disponibili (banca dati dell'Ufficio Geologico della Regione Emilia Romagna, dati a corredo degli studi geologici per i PRG).

Nelle sezioni, oltre alle stratigrafie dei sondaggi a carotaggio continuo, sono stati riportati gli andamenti del rapporto di frizione (*friction Ratio*  $Fr=(Rl/Rp)*100$ ) espresso in percentuale delle prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono. Le interpretazioni per la definizione delle caratteristiche

litostratimetriche hanno tenuto conto anche dei corrispondenti valori di "Resistenza penetrometrica" (qc).

Le unità individuate nell'ambito dell'elaborazione del profilo geologico sono descritte nel seguito:

- Rilevati antropici;
- Argille, argille limose e debolmente limose o sabbiose, limi, limi argillosi e debolmente argillosi o sabbiosi, di colore nocciola, marrone, grigio e nerastro. Localmente sono presenti striature rossastre e ocra, venature nerastre per presenza di frustoli carboniosi e resti torbosi, e concrezioni calcaree millimetriche (calcinelli).
- Limi sabbiosi e sabbie limose, talora debolmente argillose di colore nocciola, marrone e grigio.
- Sabbia fine, talora debolmente limosa di colore nocciola, marrone e grigio, da poco a mediamente addensate. Intercalate all'unità si rinvengono talora livelli di spessore centimetrico e decimetrico ascrivibili ad altre unità geotecniche.

## 10. IDROGEOLOGIA

---

### 10.1. INQUADRAMENTO IDROSTRATIGRAFICO

---

Le informazioni per definire lo stato delle acque sotterranee sono principalmente state ricavate dalla consultazione della bibliografia esistente, ed in particolare dalla pubblicazione “Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna”, (Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998), in cui viene presentata per la prima volta a scala dell’intera regione una stratigrafia dei depositi quaternari continentali e marino marginali presenti nel margine appenninico e nel sottosuolo padano, che inquadra questi depositi nel quadro evolutivo del sollevamento della catena appenninica e del simultaneo riempimento del bacino padano-adriatico.

Tale studio è stato condotto attraverso l’analisi dei dati della sismica industriale di ENI-AGIP, tarati con le stratigrafie dei pozzi per idrocarburi e dei pozzi per acqua più profondi tra quelli disponibili nella banca dati geognostici del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna.

Le sequenze deposizionali descritte in precedenza (par. 3.2) sono costituite da Unità stratigrafiche separate tra loro da superfici di discontinuità, che sui principali fronti di accavallamento della catena corrispondono a discordanze angolari osservabili sia in affioramento che nei profili sismici, riferibili a distinte fasi di attivazione tettonica. Tali unità stratigrafiche, potendo essere saturate da acque dolci, salmastre o salate per le loro caratteristiche geometriche o petrografiche, costituiscono degli acquiferi, cioè svolgono funzioni di raccolta, immagazzinamento e condotta delle acque sotterranee.

Più Unità stratigrafiche o loro parti che complessivamente assumono caratteristiche idrologiche omogenee costituiscono Unità idrogeologiche. Una Unità idrogeologica possiede quindi le seguenti caratteristiche:

- è costituita da corpi geologici complessi con geometrie e caratteri petrografici complessi, legati geneticamente, che costituiscono il “serbatoio”;
- comprende un livello basale impermeabile o poco permeabile;
- può contenere più acquiferi essendo formata da più Unità stratigrafiche o parti di esse;
- se è assente un’area di ricarica diretta ed è idraulicamente separata da quelle confinanti il livello piezometrico è indipendente dai livelli piezometrici di quelle adiacenti.

In particolare, alle suddette unità stratigrafiche corrispondono altrettante unità idrostratigrafiche che vengono utilizzate per lo studio del sottosuolo; le corrispondenze tra le unità sono le seguenti (Figura 10.1-1):

- il “Supersistema del Quaternario marino” corrisponde al “Gruppo acquifero C”;

- il "Sintema emiliano-romagnolo inferiore" corrisponde al "Gruppo acquifero B";
- il "Sintema emiliano-romagnolo superiore" corrisponde al "Gruppo acquifero A".

PRINCIPALI UNITA' STRATIGRAFICHE				ETA' (milioni di anni)	SCALA CRONOSTRATIGRAFICA (milioni di anni)	UNITA' IDROSTRATIGRAFICHE				
AFFIORANTI		SEPOLTE				GRUPPO ACQUIFERO	COMPLESSO ACQUIFERO			
QUATERNARIO CONTINENTALE	TERRE ROSSE, DILUVIUM, ALLUVIUM, TERRAZZI E ALLUVIONI	FORMAZIONE DI OLIMATELLO	UNITA' DI VILLA DEL BOSCO	UNITA' DI CA' DI SOLA	ALLUVIONI / QUATERNARIO MARINO E SABBIE DI ASTI	PLEISTOCENE SUPERIORE - OLOCENE	A	A1		
								A2		
	A3									
	A4									
QUATERNARIO MARINO	DILUVIUM p.p.	FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE	SUPERINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO	SINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE	UNITA' DI BORGOPANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO	B	B1		
								B2		
	B3									
	B4									
P2	MILAZZIANO SABBIE di CASTELVETRO p.p. SABBIE GIALLE di IMOLA p.p.	SUPERINTEMA DEL QUATERNARIO MARINO	SUBSISTEMA QUATERNARIO MARINO 3'	SINTEMA QUATERNARIO MARINO 3'	ORIZZONTE DI FOSSOLO	PLEISTOCENE INFERIORE	C	C1		
	MILAZZIANO e CALABRIANO p.p. SABBIE di CASTELVETRO p.p. SABBIE GIALLE di IMOLA p.p.							SUBSISTEMA QUATERNARIO MARINO 2'	SINTEMA QUATERNARIO MARINO 2'	C2
	CALABRIANO p.p. SABBIE di MONTERICCO FORMAZIONE di TERRA del SOLE p.p.							SINTEMA QUATERNARIO MARINO 1'	SINTEMA QUATERNARIO MARINO 1'	C3
	CALABRIANO p.p. FORMAZIONE di CASTELL'ARQUATO p.p.							SUPERINTEMA DEL PLIOCENE MEDIO-SUPERIORE	PILOCENE MEDIO SUPERIORE	C4
				~3.3-3.6	3.55	PILOCENE INFERIORE MIOCENE	ACQUITARDO BASALE	C5		
				~3.9						

**FIGURA 10.1-1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRATIGRAFICO E IDROSTRATIGRAFICO DELLA PIANURA PADANA (R.E.R., ENI-AGIP 1998)**

L'Unità basale ha un'area di ricarica remota, limitati scambi idraulici con quella superiore, è permeata con acque a basso tasso di rinnovamento ed è scarsamente sfruttata. L'Unità di tetto è permeata da acque dolci a diversi livelli e sono quindi individuabili diversi acquiferi. Poiché i sedimenti che la compongono sono, a grande scala, lenticolari e tendono a diminuire granulometricamente da sud a nord, i livelli acquiferi tendono a differenziarsi determinando un sistema monostrato compartimentato (Colombetti e al. 1980; Paltrinieri e al., 1990).

Grazie alla gran mole di dati sismici messi a disposizione nello studio "Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna", è stato possibile mappare in scala 1.250.000 in tutta la pianura emiliano - romagnola la profondità del limite basale dei tre gruppi acquiferi.

Le carte mostrano come gli andamenti dei limiti basali delle tre unità siano chiaramente influenzati dai principali fronti di accavallamento della catena sepolta, e come, conseguentemente, lo spessore delle unità sia maggiore nelle sinclinali e minore sulle anticlinali.

Al di sopra dei limiti basali dei tre gruppi acquiferi, che generalmente mostrano uno spessore dell'ordine di alcune centinaia di metri, si individuano potenti intervalli argilloso-limosi spessi sino ad alcune decine di metri, con geometria tabulare e continuità laterale di estensione regionale, che costituiscono delle barriere di permeabilità (acquitardo o acquiclude) continue, isolando idraulicamente tra di loro i tre gruppi acquiferi. Il flusso idrico rimane pertanto confinato all'interno della medesima unità, ad esclusione delle zone in cui avviene la ricarica diretta dei gruppi acquiferi.

Come si evince in Figura 10.1-1 i tre gruppi acquiferi sono a loro volta suddivisi in complessi acquiferi di rango inferiore; tale suddivisione è sostanzialmente legata alla marcata ciclicità dei depositi all'interno delle varie sequenze deposizionali.

Sono stati distinti 4 complessi acquiferi nei gruppi acquiferi A e B, e 5 complessi acquiferi nel gruppo acquifero C. I complessi acquiferi vengono denominati con un numero progressivo dall'alto stratigrafico verso il basso, posto dopo il nome del gruppo acquifero (ovvero A1, A2, A3, ...).

In generale si osserva che ogni complesso acquifero è costituito da una porzione inferiore prevalentemente fine seguita da una superiore prevalentemente grossolana; lo spessore di ogni complesso acquifero è dell'ordine di alcune decine di metri. All'interno di ogni complesso acquifero la porzione grossolana viene denominata sistema acquifero, la porzione fine sistema acquitardo. Questi livelli a bassa permeabilità (acquitardi o acquicludi) causano una ulteriore compartimentazione all'interno dei tre gruppi acquiferi e fanno sì che i diversi complessi acquiferi siano tra loro isolati idraulicamente, ad esclusione delle zone in cui avviene la ricarica diretta di queste unità.

Dal punto di vista genetico, la ciclicità espressa dai complessi acquiferi viene messa in relazione ad eventi climatici che causano l'alternarsi di attivazioni e disattivazioni dei sistemi fluviali e deltizi.

I lavori svolti nell'ambito della realizzazione della Carta Geologica di Pianura, hanno permesso di dettagliare ulteriormente la stratigrafia proposta in "Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna". In particolare si è distinta una unità pellicolare denominata A0, posta superiormente ad A1; questa unità corrisponde a depositi di età pleistocenica terminale ed olocenica, sedimentatisi dopo l'ultima glaciazione.

L'unità A0 comprende quindi i depositi presenti nel primo sottosuolo della pianura, nonché gran parte di quelli affioranti.

Le porzioni grossolane di A0 sono costituite da corpi non molto estesi, volumetricamente poco rilevanti, e, quando non sono amalgamate a depositi permeabili dell'unità A1, costituiscono degli acquiferi sfruttati esclusivamente a fini domestici. Ciò si verifica in un'ampia zona della pianura emiliana, interposta tra le conoidi appenniniche e i complessi acquiferi di pertinenza padana, di ampiezza sempre maggiore spostandosi da ovest verso est (cartografata, cautelativamente, considerando amalgamati anche corpi permeabili separati tra loro da uno spessore di argilla potente sino a due metri circa).

Alla luce di quanto sopra detto l'intero acquifero regionale è pertanto costituito da un complesso sistema

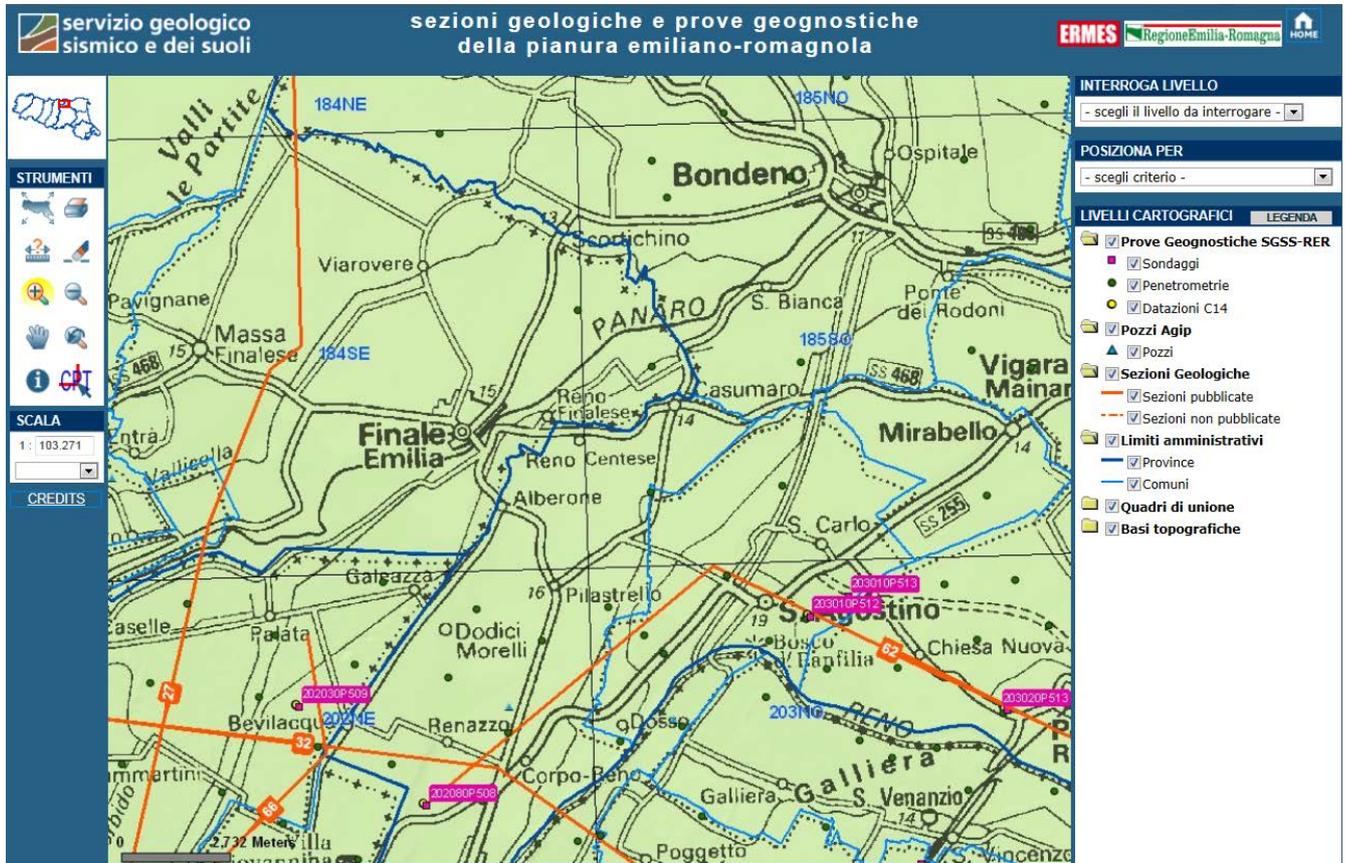
multifalda, caratterizzato dalla gerarchizzazione degli acquiferi e degli acquitardi più sopra descritta. Tutte le falde presenti sono in condizioni confinate, ad esclusione delle zone in cui avviene la ricarica diretta degli acquiferi.

Questo inquadramento strutturale sostituisce il modello di acquifero che considerava i livelli impermeabili presenti nel sistema come non continui, e pertanto l'intera pianura emiliano-romagnola veniva assimilata ad un acquifero monostrato con un'unica falda in continuità, libera, parzialmente confinata o in pressione procedendo da ovest verso est.

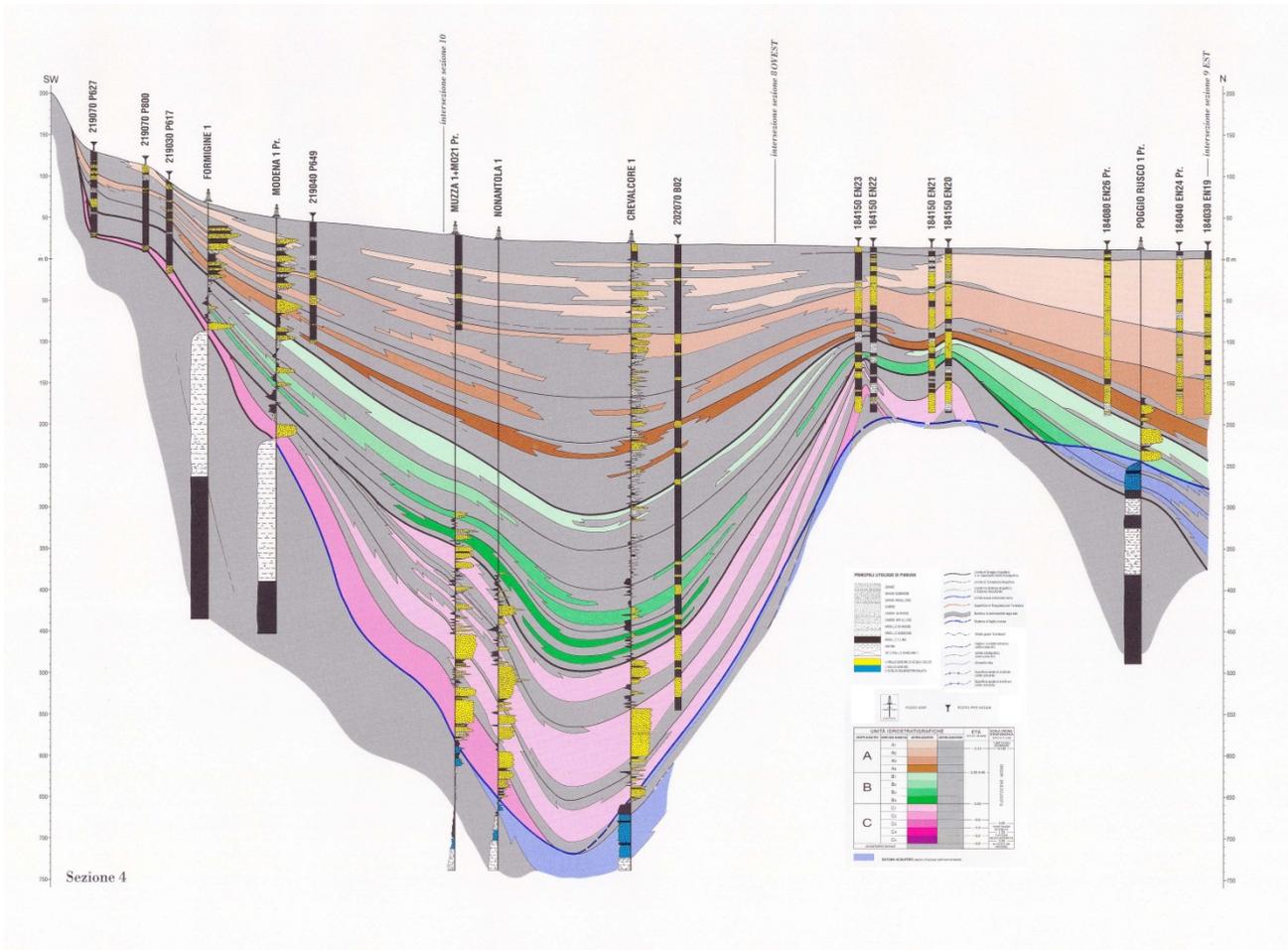
Esaminando le sezioni geologiche della pianura emiliano-romagnola disponibili sul sito del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli è possibile ricostruire a grandi linee la struttura degli acquiferi.

All'interno delle singole sezioni, i gruppi acquiferi sono rappresentati con colori differenti: marrone per il gruppo acquifero A, verde per il gruppo acquifero B e rosa per il gruppo acquifero C; mentre gli strati colorati in grigio corrispondono agli acquitardi (Figura 10.1-3).

In corrispondenza dell'area di interesse del presente studio non è ubicata nessuna sezione geologica specifica. In generale comunque si può affermare che, come si evince dalla sezione geologica n. 27 (Figura 10.1-2) ubicata in adiacenza all'area interessata dalla viabilità 1 FE che ha direzione SW-N, nel settore a N più vicino al fiume Po, la percentuale di strati permeabili è molto alta, mentre, più a sud, essi tendono ad assottigliarsi, fino a formare lenti di limitato spessore senza continuità laterale. Tale aspetto è più marcato nella porzione superiore del pacco sedimentario esaminato (Figura 10.1-3).



**FIGURA 10.1-2. UBICAZIONE PLANIMETRICA DELLA SEZIONE IDROSTRATIGRAFICA N. 27 CON ANDAMENTO SUD OVEST-NORD, PASSANTE IN ADIACENZA ALL' AREA INTERESSATA DAL TRACCIATO DELLA VIABILITÀ D04-08 (EX 1FE) (SERVIZIO GEOLOGICO, SISMICO E DEI SUOLI DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA)**



**FIGURA 10.1-3. SEZIONE IDROSTRATIGRAFICA N. 27 CON ANDAMENTO SUD OVEST-NORD, PASSANTE IN ADIACENZA ALL' AREA INTERESSATA DAL TRACCIATO DELLA VIABILITÀ D04-08 (EX 1FE) (SERVIZIO GEOLOGICO, SISMICO E DEI SUOLI DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA)**

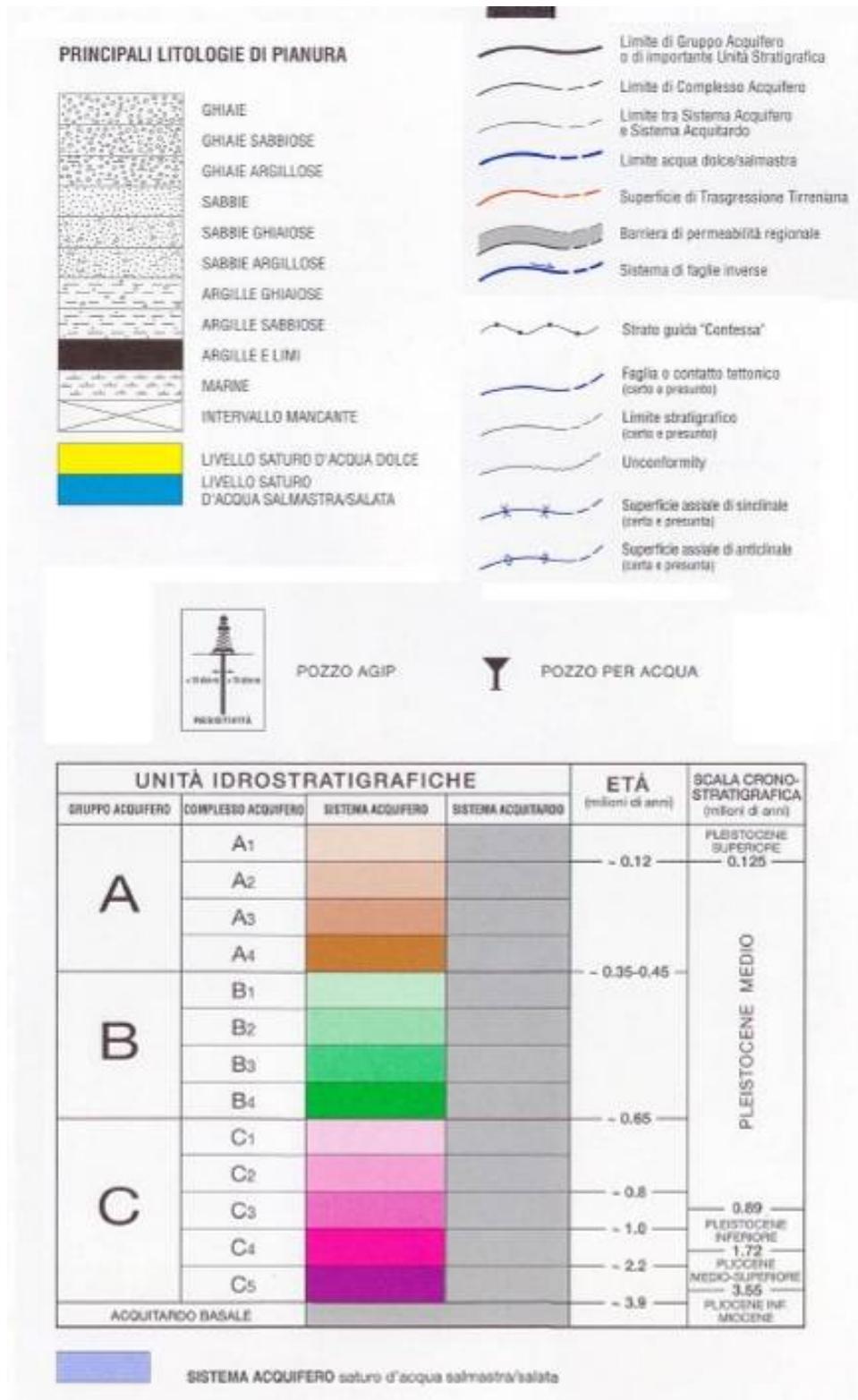


FIGURA 10.1-4. LEGENDA DELLA SEZIONE IDROSTRATIGRAFICA

## 10.2. DINAMICA DELLE ACQUE SOTTERRANEE

Alla luce del quadro idrostratigrafico illustrato nel paragrafo precedente, per la descrizione della dinamica delle acque sotterranee bisogna distinguere tra la circolazione che avviene nei terreni più superficiali (appartenenti al complesso acquifero A0) e quella relativa gli orizzonti sabbiosi depositati dal fiume Po (appartenenti al complesso acquifero A1).

### 10.2.1. Circolazione superficiale nel Complesso Acquifero A0

Il primo sottosuolo dell'area attraversata dal ramo di viabilità D04-08 (ex 1FE) è costituito da depositi prevalentemente fini (vedi sezioni geologiche), a litologia argilloso-limosa, caratterizzati da bassi valori di permeabilità. Solo a partire dai 15-20 m di profondità si incontra un orizzonte plurimetrico, che tende ad approfondirsi in direzione nord, di materiali più grossolani (limi e sabbie) con caratteristiche di permeabilità più elevate.

I livelli piezometrici misurati nella strumentazione installata lungo il tracciato della 1FE appaiono piuttosto depressi rispetto al piano di campagna e lontani dai valori di norma attesi nel periodo invernale per questa porzione di territorio.

Pertanto al fine di meglio valutare la soggiacenza della falda sono stati utilizzati i risultati di una rete di monitoraggio della falda "ipodermica", ovvero del livello freatico nei primi metri dal piano di campagna, messa a punto dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna (disponibile al sito <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/>). Tale rete di monitoraggio è costituita da una serie di pozzetti di profondità pari a 3 m, monitorati in continuo. La distribuzione della rete di monitoraggio è molto ampia, anche se con una densità di punti piuttosto bassa, come si evince dalla planimetria generale riportata in Figura 10.2-1. In corrispondenza dell'area in oggetto è presente un unico pozzetto che può essere ritenuto significativo che ha sigla 13MO.



FIGURA 10.2-1. UBICAZIONE PLANIMETRICA DEL POZZETTO DI MONITORAGGIO DELLA FALDA "IPODERMICA" – 13MO (NON IN SCALA)

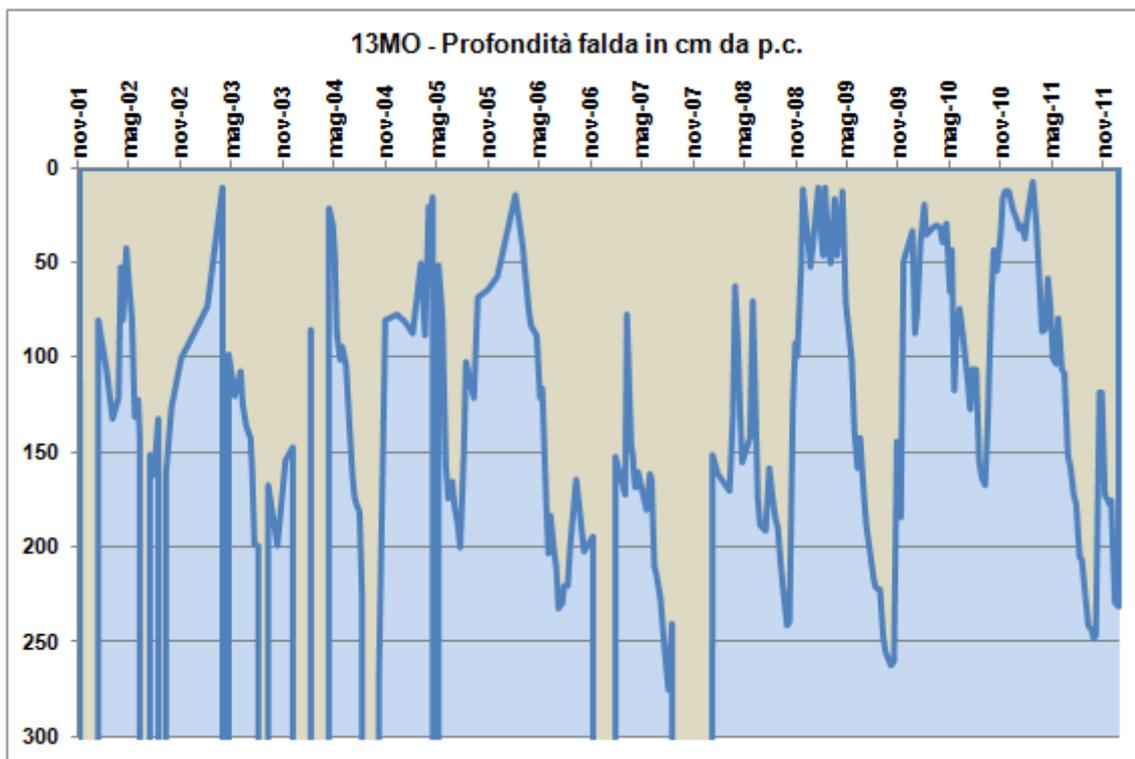


FIGURA 10.2-2. POZZETTO DENOMINATO 13MO

Esaminando la profondità della falda da piano campagna, registrata all'interno del pozzetto 13MO si evince che, nonostante le risultanze del monitoraggio piezometrico attualmente in essere individuino livelli piezometrici eccezionalmente bassi (come conseguenza di un lungo periodo caratterizzato dalla quasi totale assenza di apporti meteorici), la serie storica dei rilievi all'interno del pozzetto 13 MO mostra frequentemente, nei periodi invernali e primaverili, livelli freatici ben più alti e spesso prossimi al piano di campagna con valori che si attestano a 0,20÷0,30 m di profondità.

I dati storici e le esperienze pregresse, unitamente alle informazioni raccolte presso la popolazione locale, hanno evidenziato che nell'area di interesse le falde presentano una soggiacenza piuttosto variabile durante l'anno, collocandosi a quote molto prossime dal piano campagna nei periodi caratterizzati da apporti meteorici intensi e soprattutto nel periodo invernale/primaverile. È evidente quindi che i livelli di soggiacenza eccezionalmente bassi misurati nel corso della campagna di rilievi e monitoraggio effettuata risultano affetti da una anomalia conseguente il prolungato periodo siccitoso estivo e la quasi totale assenza di apporti meteorici, protrattasi fino a tutto marzo 2012.

### 10.2.2. Circolazione superficiale nel Complesso Acquifero A1

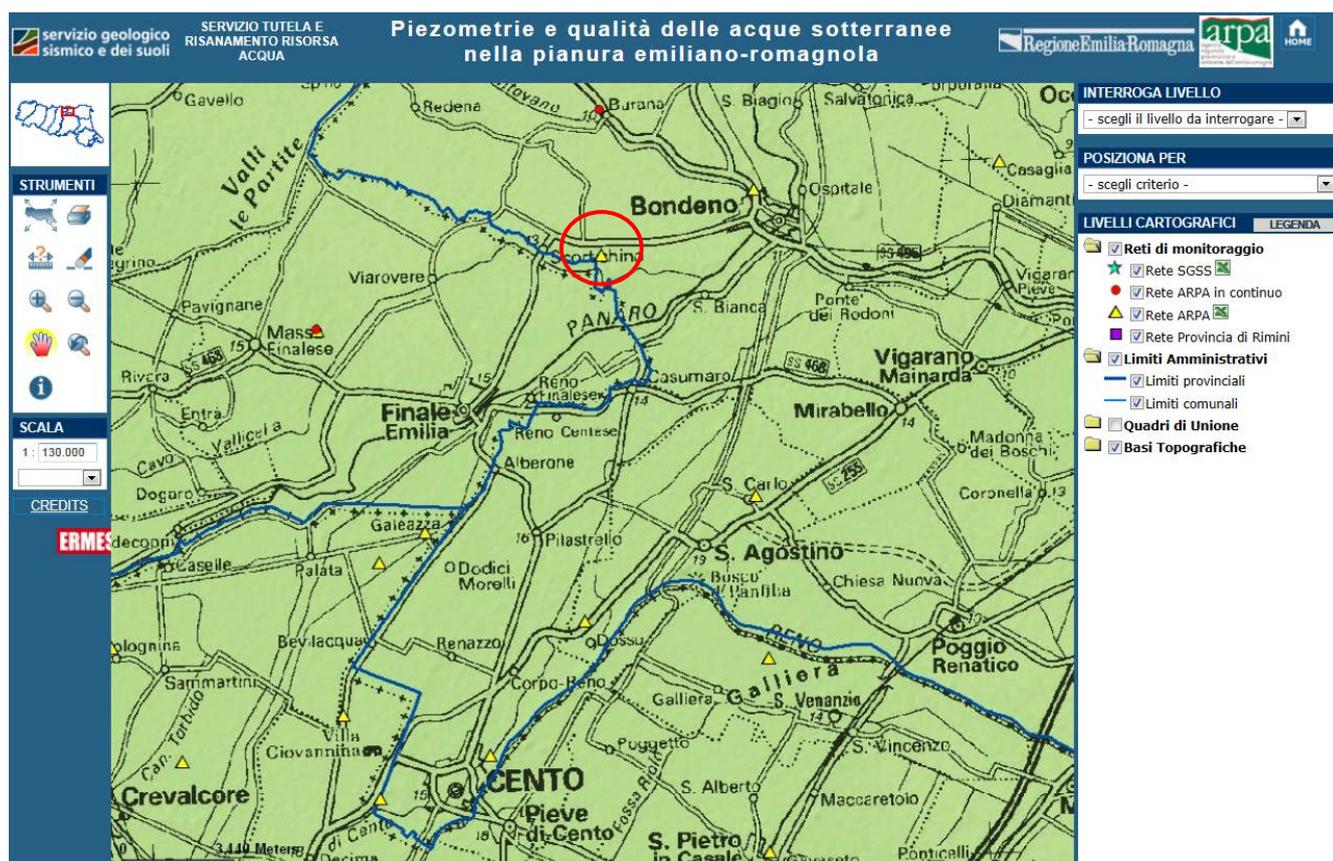
La situazione idrodinamica è molto differente per quel che concerne i depositi sabbiosi sedimentati dal fiume Po che, come descritto nei paragrafi precedenti, si rinvergono a partire da profondità di 15 ÷ 20 m da p.c.

L'elevata permeabilità di questi depositi consente, infatti, una buona circolazione idrica per cui essi possono essere accorpate in un unico acquifero all'interno del quale ha sede una falda con caratteristiche comuni in tutta la porzione di territorio in esame.

La soggiacenza dei livelli statici dal piano campagna è variabile, soprattutto in relazione alle variazioni altimetriche della superficie topografica: generalmente risulta compresa nei primi 15-20 m di profondità.

L'alimentazione è da attribuire principalmente agli apporti idrici provenienti dalle falde che hanno sede nei corpi acquiferi del settore più occidentale della pianura, mentre, la ricarica per infiltrazione da parte delle acque superficiali, sia meteoriche che dei corsi d'acqua, risulta molto ridotta. La direzione di flusso è da ovest/sud-ovest verso est/nord-est. Il gradiente idraulico è molto ridotto, dell'ordine del 0,1‰.

Nelle figure seguenti si riporta una planimetria (Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna) con l'ubicazione di un pozzo ARPA che intercetta l'acquifero A1 (Figura 10.2-3) mentre per la scheda dello stesso si rimanda alla Figura 10.2-4 ed alla Figura 10.2-5.



**FIGURA 10.2-3. RETI DI MONITORAGGIO DELLA FALDA NELL'AREA DI INTERESSE. NELLA PLANIMETRIA SONO INDICATI I POZZI CHE INTERCETTANO L'ACQUIFERO A1**



**FIGURA 10.2-4. POZZO ARPA FE53-00 UBICATO A EST DELL'ABITATO DI SCORTICHINO (COMUNE DI BONDENO)**



**FIGURA 10.2-5. LIVELLI DI FALDA (ACQUIFERO A1) MISURATI NEL POZZO ARPA FE53-00 UBICATO A EST DELL'ABITATO DI SCORTICHINO (COMUNE DI BONDENO)**

### 10.3. CARTOGRAFIA IDROGEOLOGICA

La determinazione della permeabilità dei depositi superficiali fornisce le informazioni necessarie alla quantificazione dei meccanismi di ricarica legati all'infiltrazione delle acque meteoriche, nonché alla valutazione del grado di protezione degli acquiferi superficiali.

Poiché la valutazione delle caratteristiche idrogeologiche è strettamente collegata alla granulometria dei terreni, la carta idrogeologica è stata elaborata con criterio idrolitologico, cioè, alle classi litologiche definite nella carta della litologia di superficie è stato attribuito un determinato valore di conducibilità idraulica.

L'associazione dei valori numerici alle classi litologiche si basa sul confronto con terreni consimili a permeabilità nota. A riguardo, in Figura 10.3-1 è riportata la tabella che definisce i valori ed i limiti convenzionali fra il tipo granulometrico formazione e grado di permeabilità, utilizzata anche nel presente studio per definire la permeabilità dei depositi rilevati.

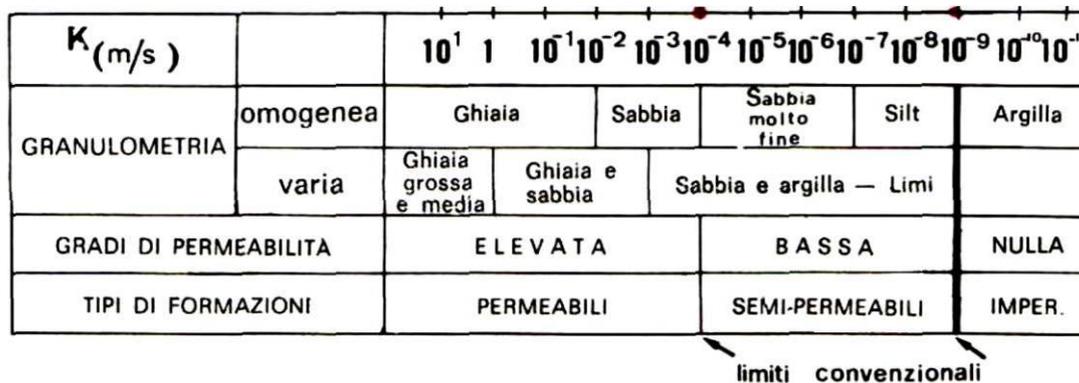


FIGURA 10.3-1. VALORI DEL COEFFICIENTE DI PERMEABILITÀ (DA CASTANY, 1982)

Gli elaborati idrogeologici prodotti a corredo del progetto definitivo sono i seguenti:

- Carta idrogeologica d'assieme scala 1:25000
- Carta idrogeologica scala 1:5000

#### 10.3.1. Carta idrogeologica d'assieme scala 1:25000

Le classi di permeabilità attribuite alle unità individuate dalla cartografia geologica in scala 1:25000 sono le seguenti:

- Depositi a permeabilità elevata - coefficiente di permeabilità  $k > 10^{-6}$  m/sec; sabbie grossolane, medie e fini, subordinatamente ghiaie e ghiaie sabbiose, limi e limi sabbiosi in strati di spessore

decimetrico. Talora possono essere presenti intercalazioni limose e limoso argillose di spessore decimetrico. Depositi di canale, di piana a meandri e di argine.

- Depositi a media permeabilità - coefficiente di permeabilità  $10^{-6} > k > 10^{-9}$  m/sec; limi sabbiosi, sabbie fini e finissime, argille limose e subordinatamente sabbie limoso-argillose intercalate in strati di spessore decimetrico. Depositi di argine distale.
- Depositi a bassa permeabilità - coefficiente di permeabilità  $k < 10^{-9}$  m/sec; argille limose, argille e limi argillosi laminati, localmente concentrazioni di materiali organici parzialmente decomposti. Sono localmente presenti aree a composizione più sabbiosa. Area interfluviale e depositi di palude.

### **10.3.2. Carta idrogeologica scala 1:5000**

Le tre classi di permeabilità riferite ai depositi prevalenti nei primi metri di profondità dal piano campagna sono i seguenti:

- Depositi a permeabilità elevata - coefficiente di permeabilità  $k > 10^{-6}$  m/sec; depositi a granulometria prevalentemente sabbiosa e sabbioso limosa. Sabbie medie e fini, organizzate in strati di spessore decimetrico, intercalate a sabbie fini e finissime limose; subordinatamente sono presenti limi e limi argillosi. Localmente sabbie medie e grossolane talora ghiaiose.
- Depositi a media permeabilità - coefficiente di permeabilità  $10^{-6} > k > 10^{-9}$  m/sec; depositi a granulometria prevalentemente limoso sabbiosa, da argillosi a debolmente argillosi.
- Depositi a bassa permeabilità - coefficiente di permeabilità  $k < 10^{-9}$  m/sec; depositi a granulometria prevalentemente limosa e limoso argillosa, limi, limi argillosi con locali e rare intercalazioni di limi sabbiosi e sabbie limose nonché depositi a granulometria prevalentemente argillosa e argilloso limosa talora con presenza di residui vegetali e lenti di strati torbosi.