

AGENZIA PER LA SICUREZZA TERRITORIALE
E LA PROTEZIONE CIVILE

PIANO EMERGENZA DISSESTO – ANNUALITA' 2019

Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri del 27 febbraio 2019 “Assegnazione di risorse finanziarie di cui all'articolo 1, comma 1028, della legge 30 dicembre 2018, n. 145”

Piano degli interventi urgenti approvato con Decreto n. 36 del 29/03/2019 del Presidente della Regione Emilia-Romagna Stefano Bonacini in qualità di Commissario delegato.

PO DI GORO (PROVINCIA DI FERRARA)LAVORI DI REALIZZAZIONE DI UN BANCONE PER EVITARE IL PERICOLO DI FONTANAZZI
IN DESTRA PO DI GORO FRA GLI STANTI 133 E 135 IN LOCALITA' CORONELLA
STREMENDI PIANO DEGLI INTERVENTI URGENTI – ANNUALITA' 2019 DI CUI ALL'ART.2
C.1 DPCM DEL 27/02/2019 – COD. INT. 14293

FE-E-801

CUP:B13H19000000001

PROGETTO DEFINITIVO/ESECUTIVO

APRILE 2019

ELABORATO:

RELAZIONE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDAZIONE	VERIFICA
00	PRIMA EMISSIONE	APRILE 2019	S. Bianchi	G.M. Orlandi
01				

RUP

Dott. Ing. TOMMASO SETTIN20133 MILANO – via Bassini, 23 – tel. 0226681264
fax 0226681553 – E-Mail: etatec@etatec.it*Prof. Ing. ALESSANDRO PAOLETTI*
*Dott. Ing. STEFANO CROCI**Studio Associato di Geologia Spada*24020 RANICA (BG) – via Donizetti, 17
tel. 035516090 – 035513738
E-Mail: info@studiogeospada.it*Dott. Geol. MARIO SPADA*
Dott. Geol. GIAN MARCO ORLANDI
Dott. Geol. SUSANNA BIANCHI**ARCHITETTURA E CITTA' STUDIO ASSOCIATO**
architettura e paesaggio43123 PARMA – via Archimede, 2
tel. 0521491914, fax 0521243969
E-Mail: info@assarch.it*Dott. Arch. PAOLA CAVALLINI*
Dott. Arch. MICHELE MUSIARI

TIPOLOGIA

PD/PE

COMMESSA

250-40

DOCUMENTO

ATTI

NUMERO

A.3.2

SCALA

INDICE

1.0 PREMESSE ED OPERE DI PROGETTO	3
2.0 PROGRAMMA DI LAVORO E FONTI CONSULTATE	7
3.0 ASSETTO GEOMORFOLOGICO ED IDROLOGICO	9
4.0 ASSETTO GEOLOGICO	12
4.1 Assetto geologico strutturale	19
5.0 ASSETTO IDROGEOLOGICO	21
6.0 SISMICITA' DELL'AREA	27
6.1 Classificazione sismica e pericolosità sismica di base	29
6.2 Risposta sismica locale: densificazione e liquefazione	31
7.0 ASSETTO GEOLOGICO TECNICO DI DETTAGLIO	35
8.0 SUBSUDENZA DEL SUOLO	39
9.0 ANALISI CHIMICA DEI TERRENI IN SITO	44
10.0 INDAGINE ELETTROMAGNETICA	46
11.0 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE ED INDICAZIONI PROGETTUALI	48
ALLEGATI	54

1.0 PREMESSE ED OPERE DI PROGETTO

La presente relazione ha lo scopo di illustrare e dettagliare le caratteristiche geologiche, idrogeologiche e sismiche del tratto di PO di Goro, in Comune di Berra (FE), presso la località Coronella Stremendi.

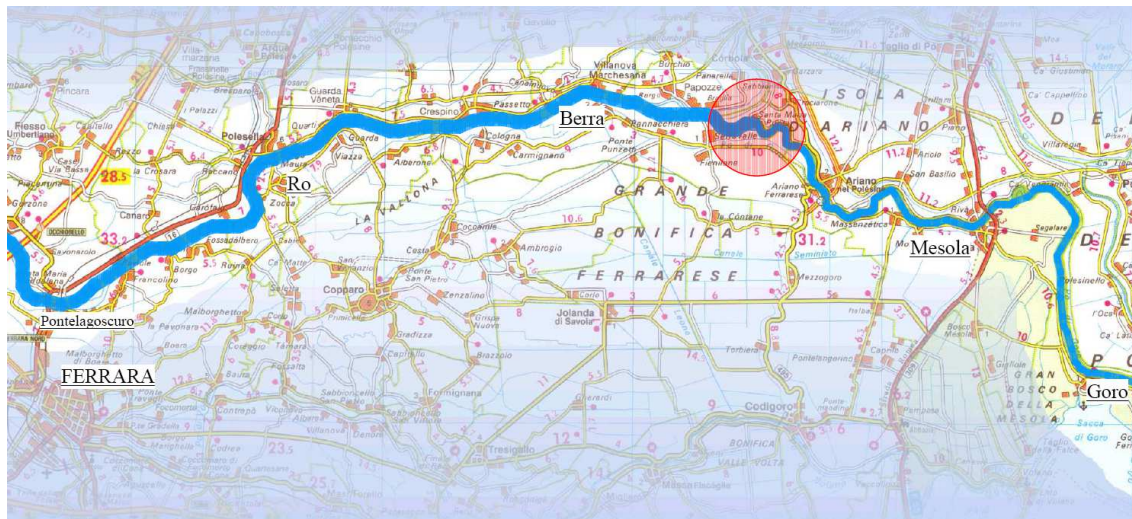


Fig. 1: Corografia, a grande scale, dell'area di intervento

La stessa è parte integrante del progetto definitivo-esecutivo delle opere, predisposto da ETATEC Studio Paoletti s.r.l. *lavori di realizzazione di un bancone per evitare il pericolo di fontanazzi in destra del Po di Goro, tra gli stanti 133 e 135, in località Coronella Stremendi (FE-14293) su incarico di A.I.PO – Agenzia Interregionale per il Fiume Po.*

L'arginatura destra del Po di Goro è posta a difesa dei centri abitati nei comuni rivieraschi (Berra, Mesola e Goro) nonché di altri comuni limitrofi e si estende per circa 41 Km dal suo incile, ubicato in località Serravalle del Comune di Berra (FE), sino al mare in località Gorino del Comune di Goro (FE).

Il piano campagna retrostante la tratta di arginatura in oggetto, al pari del restante territorio del Delta del Po, è per buona parte soggiacente rispetto al livello medio del

mare, pertanto la salvaguardia idraulica del territorio è interamente affidata alla tenuta dei manufatti arginali.

Lungo l'arginatura destra del Po di Goro, nella tratta interessata (sponda destra, stanti 133 – 135), anche in condizioni di non elevate quote idrometriche si manifestano intensi fenomeni di filtrazione e fontanazzi a piano campagna con il conseguente rischio di collasso delle arginature per sifonamento.

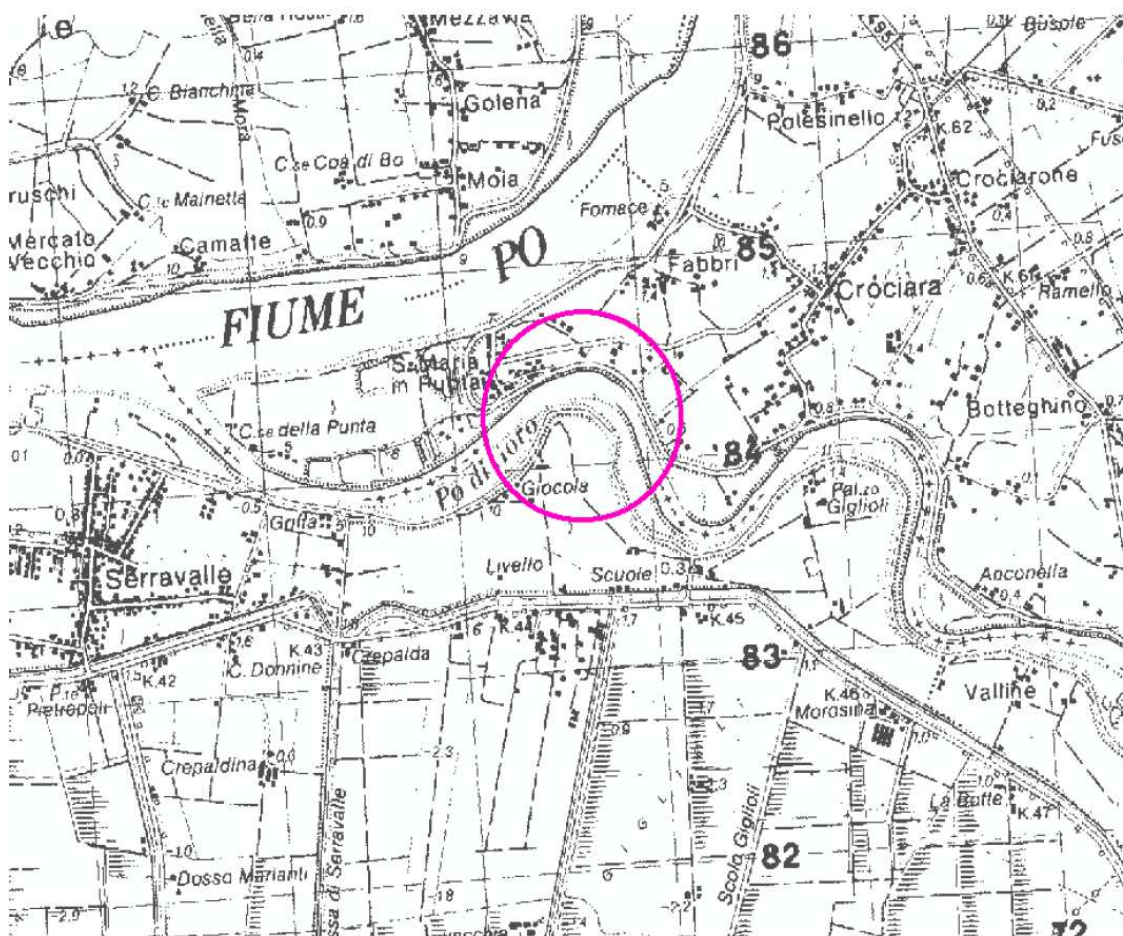


Fig. 2: Ubicazione area di interesse.

Al fine di conseguire il grado di sicurezza idraulica idoneo a garantire la salvaguardia del territorio risulta pertanto necessario procedere al potenziamento dell'attuale sagoma arginale mediante la costruzione a piano campagna di un bancone di appesantimento, in

analogia ad altri interventi realizzati nelle tratte a monte ed a valle di quella in argomento che hanno positivamente risolto problemi simili.

L'intervento tende sostanzialmente a conseguire un potenziamento del rilevato arginale al fine di migliorare la resistenza del manufatto nei riguardi dei fenomeni di filtrazione e di sifonamento nella tratta interessata.

Il materiale da utilizzare per il bancone verrà prelevato in loco, nell'area golenale oltre l'argine, con uno scavo della profondità massima di 2-3 metri dal p.c..

Il volume complessivo del nuovo bancone è di circa 27.000 mc, di cui circa 2.000 mc per lo scavo di ammorsamento, con successivo riporto e circa 25.000 prelevati dalla zona golenale ed utilizzati per realizzare l'opera, come visualizzato nella fig. 3.

Il bancone ha un'altezza massima, rispetto all'attuale p.c. di circa 2-2,5 metri.

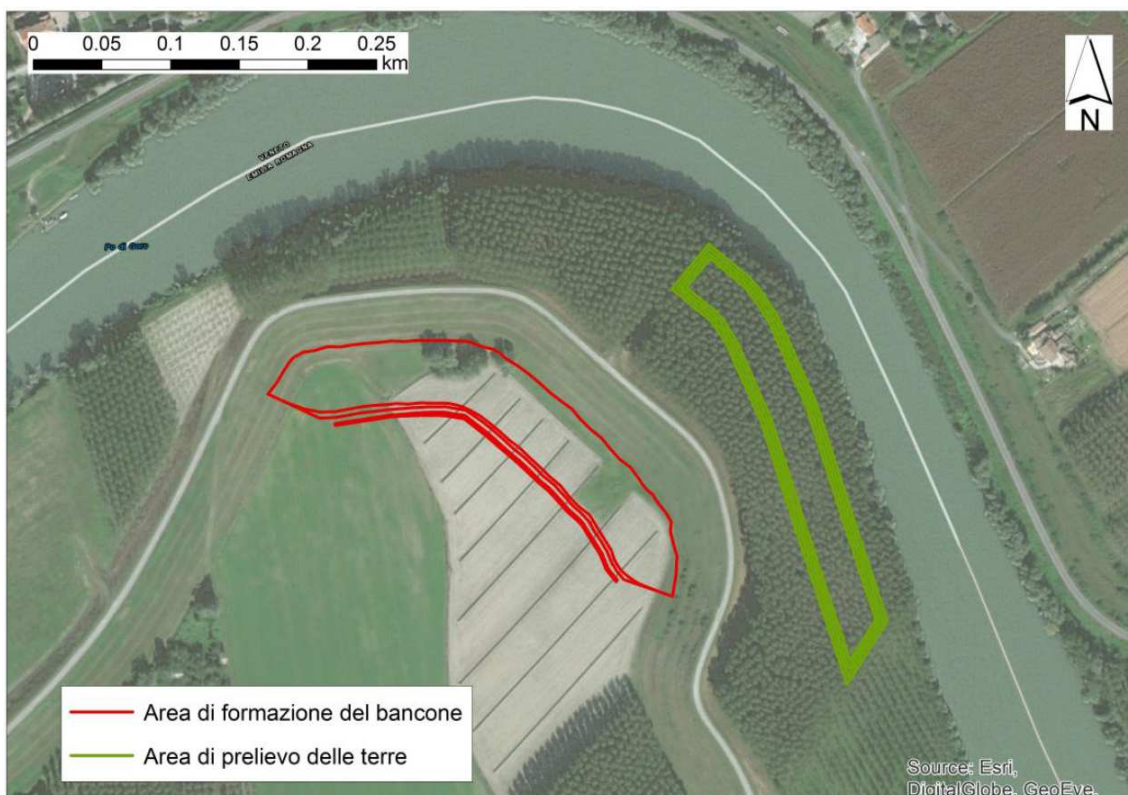


Fig. 3: Opere di progetto (in rosso l'area in cui verrà realizzato il bancone di appesantimento; in verde la zona interessata dall'escavazione del materiale per realizzare l'opera.

Ai volumi in precedenza indicati vanno aggiunti quelli relativi allo scotico del terreno di coltivo ed al successivo riposizionamento dello stesso, sia nella zona di scavo (circa 4.000 mc) che in quella del bancone (circa 5.000 mc).

L'intervento è completato dalla realizzazione di un fosso di drenaggio a 4 metri dal piede del bancone e lungo circa 360 metri e dal ripristino della viabilità esistente lungo il coronamento arginale al termine dei lavori.

Le analisi seguenti fanno riferimento principalmente alla documentazione tecnica disponibile sia nella letteratura scientifica che presso gli Enti territoriali.

La stessa è stata integrata e rianalizzata sulla base dei dati puntuali acquisiti durante i rilievi geologici di dettaglio effettuati dagli Scriventi in sito.

La presente relazione si concentra sugli aspetti geologici, idrogeologici e sismici di interesse a supporto delle valutazioni e delle analisi progettuali.

2.0 PROGRAMMA DI LAVORO E FONTI CONSULTATE

Per la stesura della presente relazione si è fatto riferimento alla seguente documentazione di carattere tecnico e scientifico disponibile:

1. Boccaletti M. et al. (2004), *“Carta sismotettonica della Regione Emilia-Romagna”*
Regione Emilia-Romagna, Servizio geologico, sismico e dei suoli – CNR, Istituto di Geoscienze e Georisorse, Firenze - SELCA, Firenze
2. Boccaletti M. et al. (1985) *“Considerations on the seismotectonics of the Northern Apennines”*, Tectonophysics, 117, 7-38
3. Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000, *Foglio 187 – Codigoro* - ISPRA – Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna
4. Castiglioni G.B., Bondesan A., Bondesan M., Cavallin A. & Gasperi G. (Eds.) (1998) *“Carta Geomorfologica della Pianura Padana”*. S.EL.CA., Firenze
5. Comune di Berra (2017) *“Microzonazione sismica II livello – relazione illustrativa ed elaborati grafici”*
6. Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016). *“DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database”* Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
7. Pieri M. & Groppi G. (1981) *“Subsurface geological structure of the Po Plain (Italy)”* C.N.R. Progetto Finalizzato Geodinamica, Pubbl. n°414, 1-13
8. Regione Emilia-Romagna, ENI-AGIP (1998) *“Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna”* (A cura di Di Dio). S.EL.CA. (Firenze) pp. 120

9. Regione Emilia-Romagna Servizio Geologico Sismico e dei Suoli, (2012) –
“*Terremoto 2012 - geologia, rilievi agibilità, analisi dei danni*” pp. 64
10. Unione dei Comuni Terre e Fiumi (2011) “Piano Strutturale Comunale – Quadro
conoscitivo – Relazione geologico ambientale (report e tavole grafiche).

Ulteriori elementi cartografici, in formato .pdf o in formato shape sono stati presi dal:

- SITO del Servizio Geologico e dei Suoli e web-gis con cartografie e banche dati
geologiche.

A supporto del presente progetto è stato fornito un DTM recente da AIPO.

Tutti i dati sopra indicati sono stati rivisti e rielaborati sulla scorta dei rilievi geologici e geomorfologici di dettaglio eseguiti nell’area.

A supporto del presente progetto è stato anche effettuato un campionamento dei terreni nell’area golenale che saranno interessati dall’attività di scavo.

Gli stessi sono stati inviati ad un laboratorio certificato per sottoporli ad un’analisi di caratterizzazione chimica, per la gestione delle terre e rocce da scavo nell’ambito del cantiere in conformità con le vigenti disposizioni normative.

Inoltre per la stesura per Piano di Sicurezza e Coordinamento è stata effettuata una indagine elettromagnetica, finalizzata alla ricerca di anomalie connesse ad oggetti metallici sepolti, per le valutazioni relative alla bonifica bellica.

Le mappe di conducibilità elettrica realizzate durante l’investigazione hanno evidenziato alcuni elementi interessanti in relazione ai terreni di sottofondo, elementi che verranno analizzati nel paragrafo specifico.

3.0 ASSETTO GEOMORFOLOGICO ED IDROLOGICO

Il territorio in esame si colloca nel settore sud orientale della pianura padana in destra idrografica del Fiume Po, il cui corso scorre immediatamente a nord ed in corrispondenza della diramazione del Po di Goro.

Il paesaggio, piatto e uniforme, è interrotto e dominato dagli argini di questo ramo deltizio che presenta qui andamento meandriforme.

L'area di interesse si colloca in prossimità del primo meandro (figure 1-2-4).

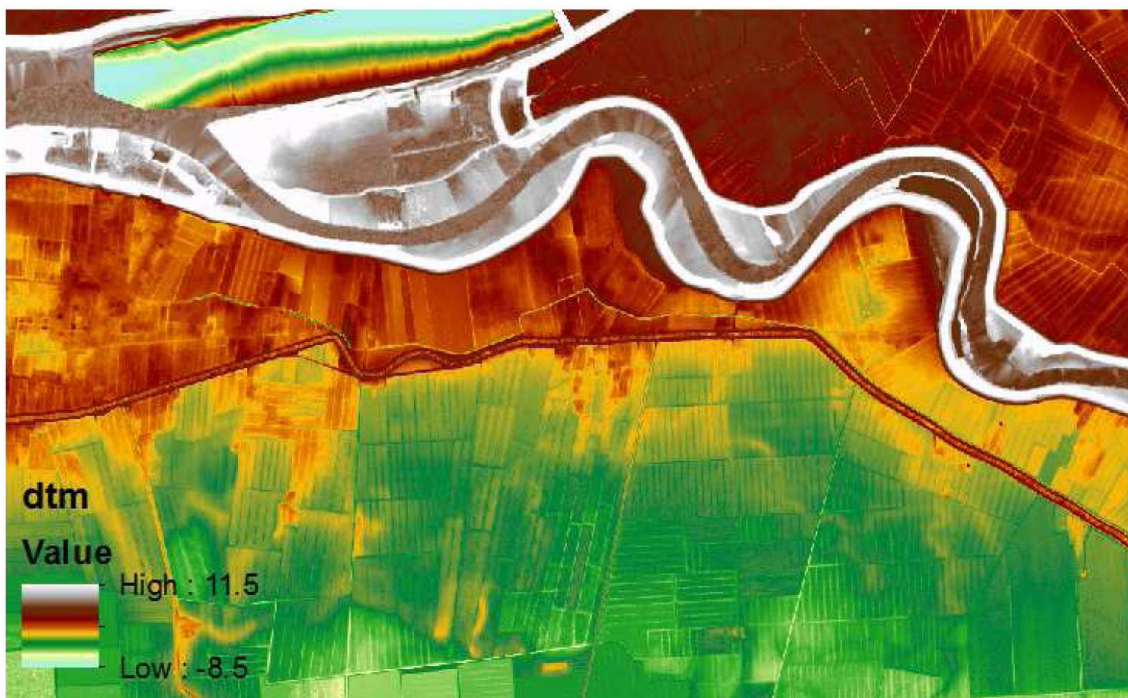


Fig. 4: Modello digitale dell'area in esame. In verde le aree depresse (sotto il livello medio del mare) e in bianco i maggiori rilevati (argini); in marroncino e arancione le aree con quote intermedie.

Il territorio è caratterizzato da quote medie comprese tra circa -2 m e + 2 m s.l.m.

In particolare (figura 4), le quote degli argini sono circa 9,7-9,8 metri s.l.m. mentre la piana prossima agli argini raggiunge quote minime intorno ai 0 m s.l.m e massime intorno a 1,5 m s.l.m..

La goleni interna agli argini presenta quote comprese tra 3 e 4 m s.l.m.

A sud del Canale Bianco, i cui argini costituiscono un rilevato fino a 1 m s.l.m., la piana raggiunge quote al di sotto del livello del mare (fino a -3 m s.l.m.).

Questa configurazione appare piuttosto stabile dal confronto con la cartografia storica: la carta del territorio ferrarese del 1814 (figura 5).

Tale cartografia mostra, infatti, che, almeno da quella data in avanti, il maggiore cambiamento del territorio riguarda la bonifica delle “valli” osservabili a sud (il tutto senza considerare una possibile variazione delle quote altimetriche per effetto della subsidenza, di cui si dirà in seguito).



Fig. 5: Carta del territorio Ferrarese del 1814 nei pressi dell'area di interesse.

Il territorio in esame è solcato a sud da diversi canali di bonifica con funzioni irrigue, di scolo e promiscue (irriguo/scolo).

Lo stesso ricade all'interno del bacino di scolo Leone (figura 6), appartenente al sistema scolante nel Po di Volano, ed in particolare nell'area dell'ex Consorzio di Bonifica I Circondario Polesine di Ferrara.

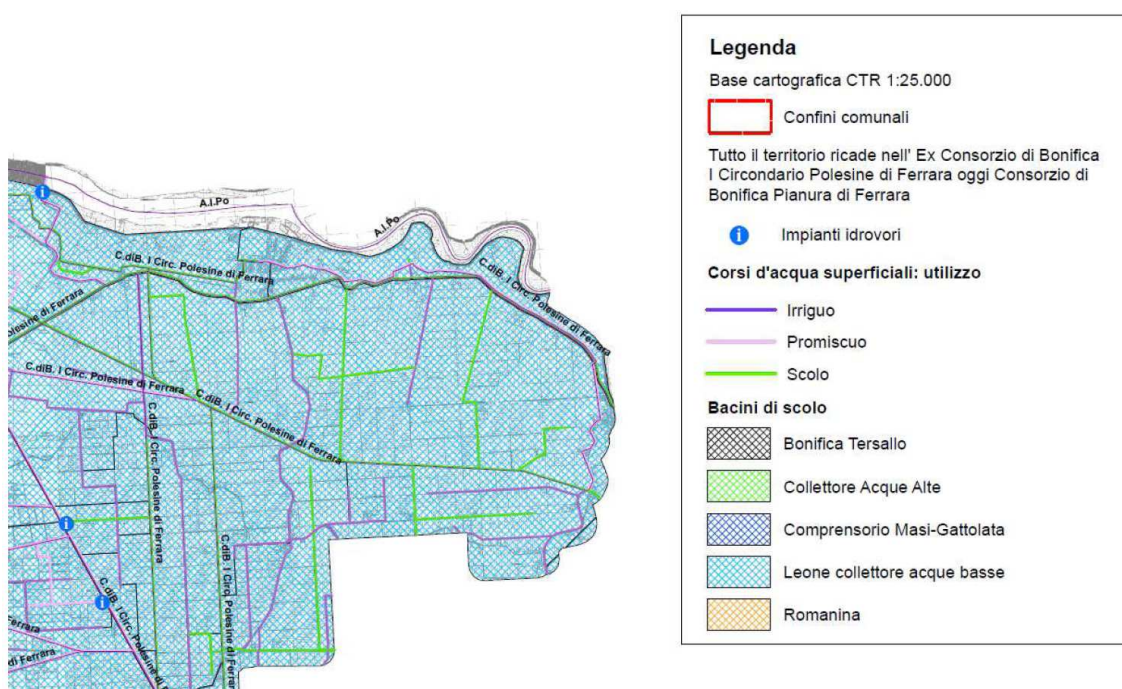


Fig. 6: Stralcio della TAV. 9 - Carta delle bonifiche e dei canali, allegata al “Quadro Conoscitivo, Relazione Geologico Ambientale” del Piano Strutturale Comunale Unione dei Comuni Terre e Fiumi.

La gestione del fiume Po è in capo ad AIPO – Agenzia Interregionale per il fiume PO, che è il Committente del presente intervento.

4.0 ASSETTO GEOLOGICO

L'area di interesse è situata in Pianura Padana che, da un punto di vista geodinamico, è il bacino perisuturale plio-quadernario formatosi in seguito all'orogenesi dell'Appennino settentrionale.

Il bacino è soggetto a subsidenza differenziata sia nel tempo che nello spazio, con movimenti verticali controllati dai caratteri strutturali e litologici presenti in profondità. Una spessa successione di depositi plio-quadernari, con una marcata tendenza regressiva, costituisce il riempimento di questo bacino, presentando alla base sabbie e peliti torbiditiche, seguite da un prisma sedimentario fluviodeltizio, progradante, ricoperto al tetto da depositi continentali.

Il riempimento del bacino ed il successivo passaggio alla sedimentazione continentale, non sono avvenuti in maniera progressiva e continua, ma sono il risultato di eventi tettonico-sedimentari "parossistici", separati nel tempo da periodi di marcata subsidenza bacinale e movimenti ridotti delle strutture compressive.

Ciò ha originato numerose superfici di discontinuità stratigrafica, che hanno permesso di suddividere i depositi di riempimento del bacino padano in unità stratigrafiche principali (Supersistema del Pliocene medio-superiore, Supersistema del Quadernario Marino e Supersistema Emiliano-Romagnolo).

La stratigrafia nell'area di interesse, con riferimento all'approccio utilizzato nella Carta Geologica alla scala 1:50000 del progetto CARG (figure 7 e 8), è descritta di seguito.

I depositi quadernari più recenti sono raggruppati nel Supersistema Emiliano-Romagnolo.

Questa sequenza, in questo settore, è costituita *dall'alternanza ciclica di corpi sedimentari limosi e argillosi, con corpi sedimentari a granulometria prevalentemente sabbiosa*, indotta da fasi deposizionali differenti nei vari sistemi.

All'interno del supersistema sono state distinte sequenze di rango inferiore, denominate Sintemi, delimitate da superfici di discontinuità indotte da eventi tettonici minori a carattere locale e/o da oscillazioni climatico-eustatiche; a loro volta i Sintemi vengono suddivisi in unità minori (Subsintemi e Unità).

Il Sintema più recente è il Sintema Emiliano Romagnolo (AES) che presenta spessori massimi da poche decine di metri, nei pressi della fascia pedeappenninica, fino ad oltre 500 m, nel settore dell'area di interesse.

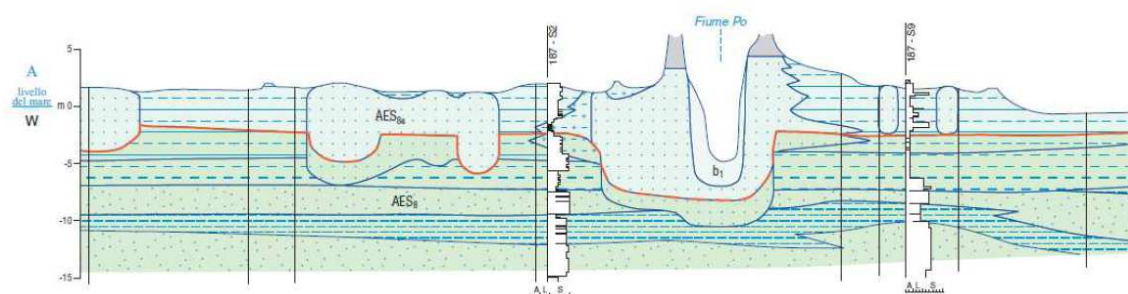
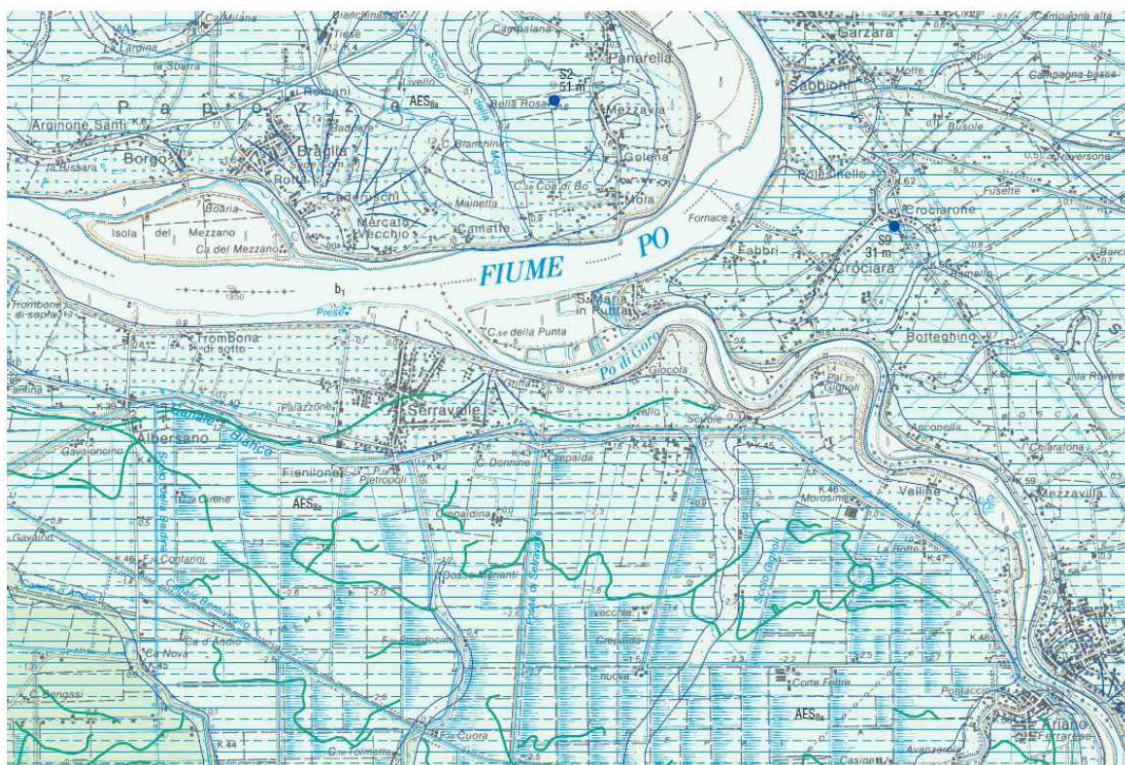
La base del sintema è attribuita, per posizione stratigrafica, al Pleistocene medio (350-450.000 anni secondo Regione Emilia Romagna & ENI-AGIP, 1998).

Esso è costituito dall'alternanza d'argille, limi e sabbie d'ambienti marini, deltizi e continentali, che registrano un'evoluzione globalmente shallowing.

In affioramento, AES è costituito da sabbie di riempimento di canale distributore, da sedimenti di argine e rotta, da fanghi di piana interdistributrice, da sabbie di duna eolica, di cordone litorale e spiaggia sommersa e da limi ed argille di baia interdistributrice.

Il sintema è organizzato in cinque cicli deposizionali trasgressivo-regressivi, ciascuno avente uno spessore sul centinaio di metri.

I tre cicli superiori corrispondono ai Subsintemi di Bazzano (AES6), Villa Verucchio (AES7) e Ravenna (AES8).



PIANA DELTIZIA



Sabbie di riempimento di canale distributore

Sabbie da medie a fini, prive di bioclasti, con laminazioni trattive. Strati amalgamati e mal definiti, spesso organizzati in sequenze positive (*fining upward*), formanti corpi nastriformi, a sezione lenticolare biconvessa, spessi fino ad oltre 10 m e larghi diverse centinaia di metri, che corrispondono a canali distributori del Fiume Po. Le sabbie sono localmente ricoperte da argille e limi d'abbandono fluviale (es. Po di Volano).



Sabbie e limi di argine e rotta di canale distributore

Alternanze di sabbie da medie a finissime, spesso limose, talvolta ricche d'intraclasti argillosi, che sfumano lateralmente in alternanze limoso-argillose. Frammenti legnosi possono essere localmente abbondanti, i bioclasti sono normalmente assenti. Strati da sottili a medi, frequentemente gradati, con base netta od erosiva, depositi da eventi di tracimazione e rotta di canale distributore. Formano corpi a geometria nastriforme, spessi vari metri.



Argille, limi e torbe di piana interdistributrice dulcicola

Argille ed argille limose con intercalazioni di limi, argille organiche e torbe, particolarmente abbondanti nella parte occidentale del foglio. Sparsi bioclasti di molluschi continentali, quali gasteropodi polmonati e lamellibranchi d'acqua dolce (es. *Limnea palustris*), talvolta resti legnosi, anche abbondanti. Strutture sedimentarie e stratificazione sono frequentemente oblitrate dall'intensa bioturbazione, altrove è preservata una fitta laminazione piano-parallela o sottili strati sabbioso-limosi gradati da tracimazione fluviale. Corpi tabulari lateralmente molto estesi, con spessori fino a 15 m, depositi in piane inondabili, stagni e paludi dolci, sviluppate in aree depresse fra canali distributori.

FRONTE DELTIZIA E PIANA DI SABBIA



Sabbie di duna eolica

Sabbie fini molto ben cernite, prive di bioclasti, ad eccezione di sporadici gasteropodi polmonati. Stratificazione inclinata ad alto angolo a scala plurimetrica. Formano campi allungati prevalentemente danneggiati dall'escavazione antropica, ma che talora conservano un'ottima espressione morfologica (es. Italba-Massenzatica), con elevazioni residue dell'ordine dei 12 m. Morfologie e strutture registrano la prevalente azione del Vento di Bora.



Sabbie di cordone litorale e spiaggia

Sabbie da medie a fini, ricche di bioclasti, in strati da sottili a medi, spesso amalgamati. Faune relativamente diversificate a molluschi e foraminiferi, spesso concentrate in strati da tempesta. Gradazioni dirette e strutture da onda o trattive. I corpi sabbiosi possono raggiungere lo spessore di 15 m e nella parte centrale del foglio formano un'estesa piana di sabbia, marcata dalla successione di numerosissimi cordoni costieri arcuati. Subordinate argille e limi, con base netta e spessori decimetrici. Le sabbie si sono sedimentate in ambienti di retrospiaggia, spiaggia emersa e sommersa, scanno e bocca deltizia; i sedimenti fini in piccoli stagni salmastri ubicati in depressioni d'intercordone non cartografabili.



Argille e limi bioclastici di palude salmastra e laguna

Argille, argille limose e limi argillosi, talvolta arricchiti in sostanza organica, con subordinati strati sabbioso-limosi gradati da rotta di canale distributore. Frequenti resti di molluschi in associazioni oligotipiche, dominate da *Cerastoderma glaucum*. Strati da medi a sottilissimi, prevalentemente amalgamati dalla bioturbazione. Formano corpi con spessori fino a qualche metro, con base netta su sabbie costiere. Nella parte orientale del foglio, argille limoso-sabbiose bioturbate, con faune più diversificate, spesso concentrate in strati da tempesta, con intercalazioni di sabbie gradate di ventaglio da tempesta marina (*spill over fan*). Sedimenti depositi in ambienti di palude salmastra, baia interdistributrice e laguna, talvolta ancora soggetti ad un'attiva dinamica sedimentaria (Sacca di Goro).

Fig. 7: Stralcio della Foglio CARG 187 "Codigoro" presso l'area di interesse. Viene riportata anche la sezione geologica superficiale la cui traccia corre immediatamente a nord dell'area di interesse

I primi 40 metri di sottosuolo sono attribuibili alla parte superiore di AES7 e AES8, di seguito descritti.

Subsintema di Villa Verucchio (AES7)

Questa unità è presente solo nel sottosuolo e non affiora mai direttamente.

Nel Foglio Codigoro il subsintema è stato interamente attraversato per uno spessore complessivo di 95 m.

I 10 m inferiori registrano una rapida evoluzione trasgressiva, da condizioni di piana alluvionale con episodi drenati e paleosuoli, ad una barra sabbiosa trasgressiva, fino a fanghi di mare aperto. Segue una spessa successione progradante regressiva, formata da fanghi di prodelta e sabbie deltizie.

La parte centrale del subsintema è formata da depositi di piana deltizia ed alluvionale a cui seguono, con contatto brusco, 20 m di sabbie medio-grossolane di media pianura

alluvionale fredda, che si correlano con livelli a resti di mammiferi singlaciali (rinoceronte lanoso, mammut, renna). Le sabbie sono limitate a tetto da una superficie netta ed erosiva, verosimilmente terrazzata.

Il subsintema di Villa Verucchio è attribuito all'intervallo compreso fra c.a. 125.000 anni e c.a. 17.000 anni BP (Pleistocene superiore).

Subsintema di Ravenna (AES8) ed unità di Modena (AES8a)

Questo subsintema forma la parte sommitale del sistema Emiliano-Romagnolo Superiore: esso comprende gran parte dei sedimenti che costituiscono la pianura emiliano-romagnola e le sottostanti prime decine di metri di sottosuolo.

Il tetto coincide con la superficie topografica attuale.

Nella pianura alluvionale è caratterizzato dalla presenza di depositi costituiti da argille e limi ed alternanze limoso-sabbiose da tracimazione fluviale (piana inondabile, argine, rotta, ecc.), alternate a sabbie di riempimento di canale.

Nell'area costiera, il subsintema forma un'ampia piana di sabbia, solcata da cordoni litorali, intercalati dai corpi dei fiumi appenninici e, a partire dalla latitudine di Ravenna, dei canali distributori del Delta del Po.

Nelle aree depresse fra un cordone e l'altro, possono essere presenti sottili depositi argillosi di palude costiera salmastra.

Sedimenti fini sono ben sviluppati nelle aree interdistributrici del Delta del Po, depositi sia in ambienti dulcicoli, sia salmastri, anche di formazione relativamente recente (es. Valli di Comacchio).

I suoli maturi sono praticamente assenti nell'area del Delta del Po, sia per la natura permeabile e relativamente stabile delle sabbie litorali, sia per la bonifica e la messa a coltura recente di molte aree, precedentemente sommerse.

I depositi affioranti (figura 7) nell'intorno dell'area di interesse, sono riconducibili a sistemi deposizionali deltizi; In particolare, si osservano i depositi sabbiosi di canale distributore del Po di Goro che passano lateralmente a depositi fini di piana interdistributrice.

L'alveo inciso attuale del fiume Po è classificato “b1 – depositi alluvionali in evoluzione” (Olocene). Si tratta in prevalenza di sabbie, con subordinati limi argillosi attualmente in evoluzione in alveo e nelle aree adiacenti interessate dalle piene.

L'assetto sopra descritto è ben illustrato nella sezione geologica di figura 7, in cui l'alveo inciso è caratterizzato dalla presenza di depositi sabbiosi (sabbie da medie a fini di riempimento di canale distributore) che passano, verso l'esterno, prima a sabbie e limi di argine e di rotta di canale, fino ad argille e limi e torbe di piana.

Nel sottosuolo, i sedimenti di AES8 sono articolati in una porzione trasgressiva ed in una regressiva.

Il limite fra AES8 ed AES7 si trova all'interno di facies di piana alluvionale.

In queste aree, AES7 è caratterizzato da depositi grossolani di canale e rotta fluviale e dalla presenza di tracce di pedogenesi.

La parte inferiore di AES8 è dominata da depositi di pianura mal drenata, con episodi palustri e mancanza di alterazione pedogenetica, che sfumano lateralmente in sedimenti salmastri.

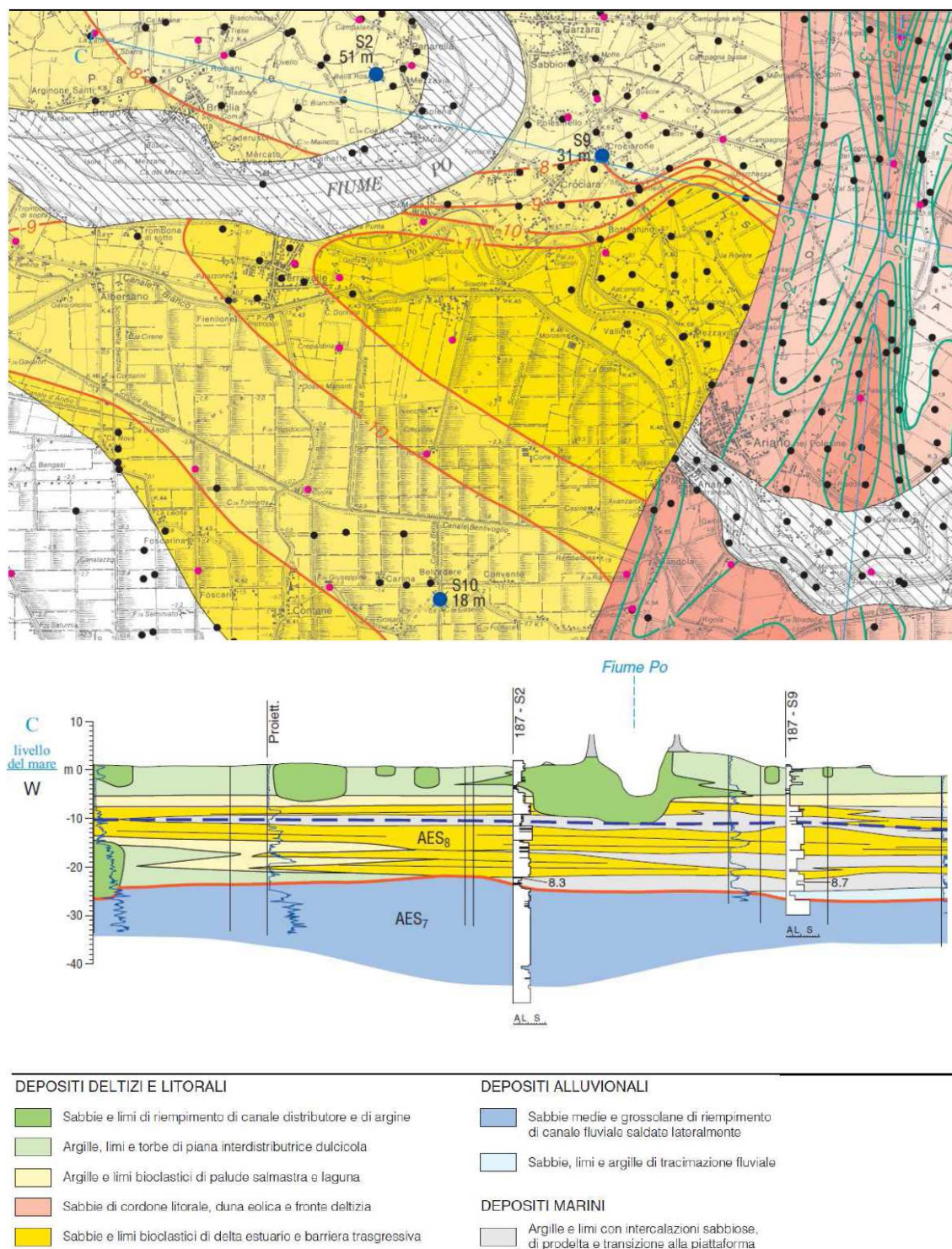


Fig. 8: Stralcio della Carta di Sottosuolo allegata al Foglio CARG 187 “Codigoro” presso l’area di interesse. Viene riportata anche la sezione geologica la cui traccia corre immediatamente a nord dell’area di interesse.

La sezione geologica di figura 8 evidenzia, in maniera semplificata, la medesima struttura geologica con passaggio, dal fiume alla vicina pianura, da sabbie e limi di canale e di argine ad argille, limi e torbe di piana interdistributrice.

4.1 Assetto geologico strutturale

Da un punto di vista dell'assetto strutturale la fascia di bassa pianura in esame si pone al margine del contesto tettonico di stile compressivo che è alla base dell'edificazione della catena Appenninica e della formazione del suo fronte sepolto.

La deformazione si è manifestata attraverso due importanti fasci paralleli di strutture a falde sepolte aventi direzione NW-SE e vergenza verso NE, le cui superfici di distacco interessano la copertura mesozoica e terziaria.

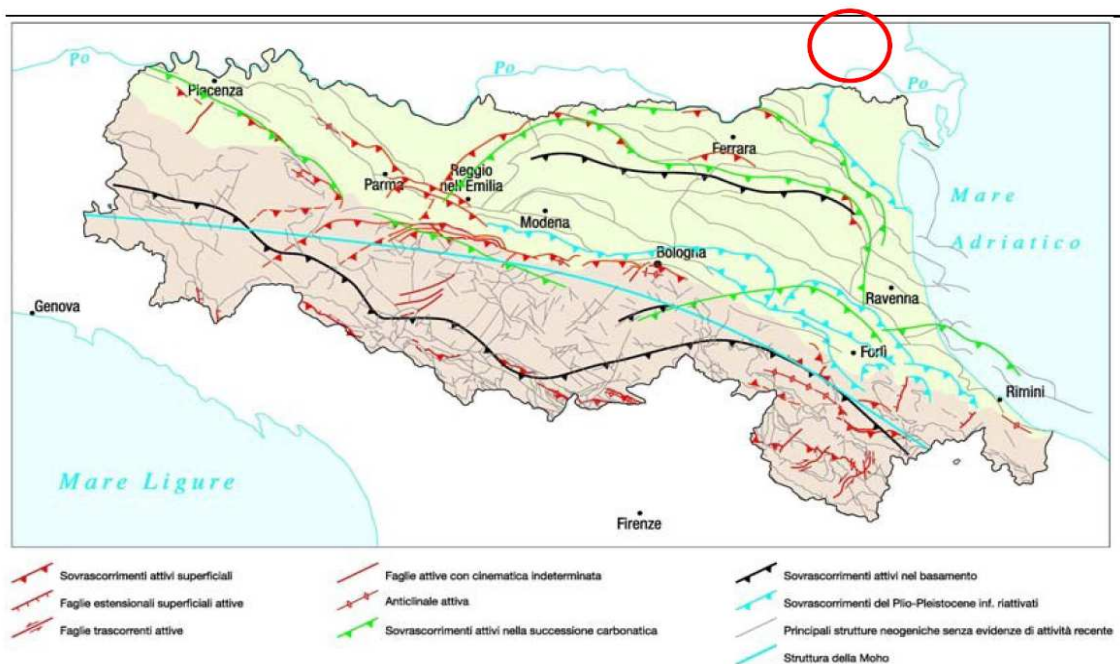


Fig. 9: Assetto strutturale dell'Emilia-Romagna (da: "Note illustrative – Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna" - Servizio Geologico Sismico e dei Suoli - Regione ER- 2004)

La fascia di lineamenti strutturali più settentrionali, denominata Fronte di accavallamento esterno, appartiene all'arco delle "Pieghe Emiliane e Ferraresi" che

costituiscono il fronte della catena appenninica, sepolto dai sedimenti quaternari padani, che circa all'altezza del Po sovrascorre verso nord sulla piattaforma padano-veneta.

La fascia meridionale coincide con il margine morfologico appenninico.

In prossimità dell'area in esame, i lineamenti strutturali osservabili sono le propaggini più distali delle discontinuità del fronte appenninico e si trovano a grandi profondità sepolti da spesse coltri di sedimenti apparentemente indeformati (figura 10).

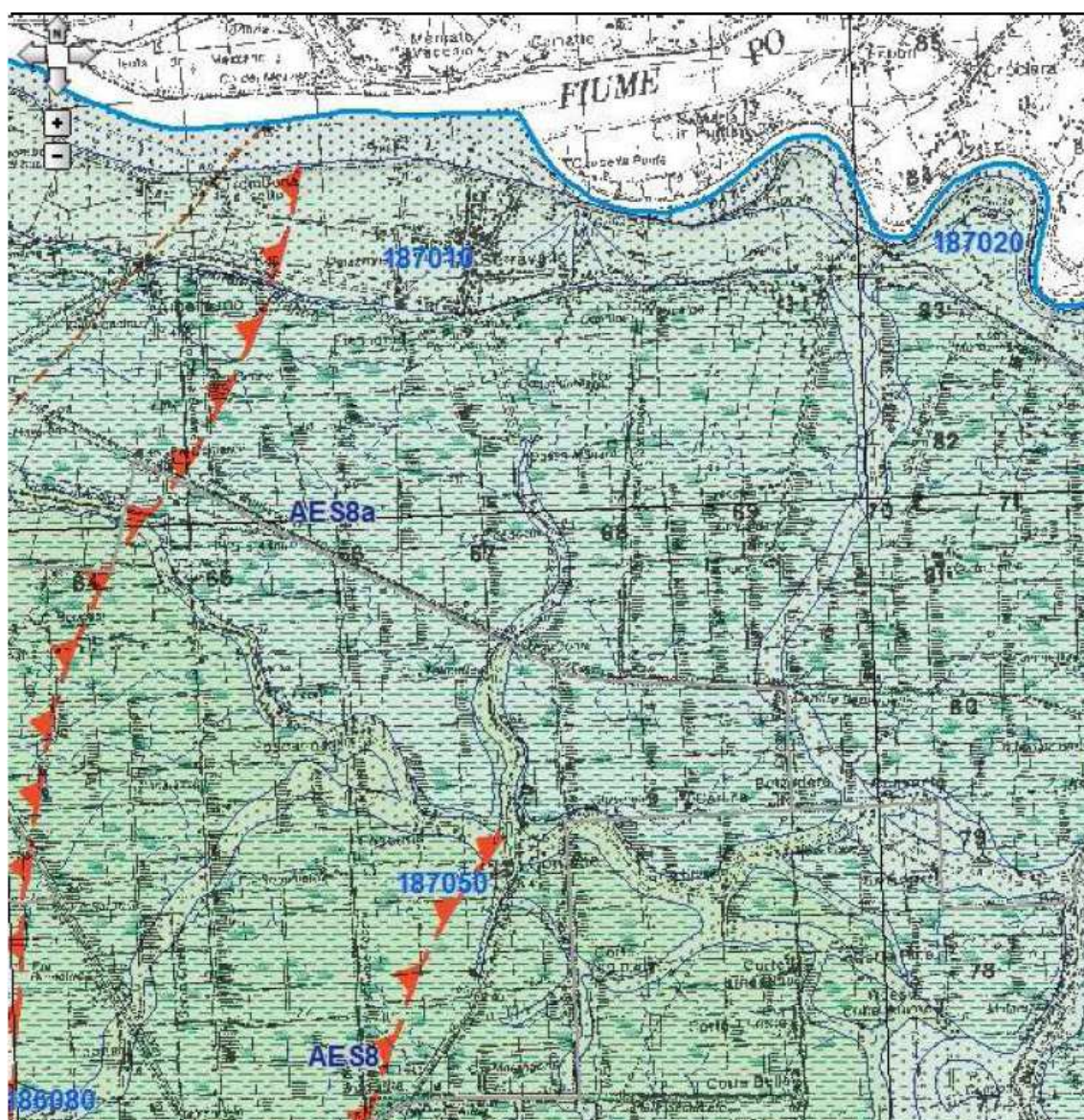


Fig. 10: Sovrascorrimenti (tratti rossi) sepolti in prossimità dell'area di interesse

5.0 ASSETTO IDROGEOLOGICO

L'architettura stratigrafica influenza l'assetto idrogeologico del sottosuolo.

Le unità non affioranti e sepolte costituiscono un gruppo di acquiferi confinati, costituito da corpi porosi alternati ad intervalli poco permeabili.

L'acquifero più superficiale è localmente libero (l'acquifero freatico di pianura) e ricaricato dalle piogge e dal fiume, dove si trova in diretto contatto.

Gli acquiferi più profondi e confinati sono alimentati in zone più lontane ed esterne all'area di interesse (nelle zone più prossime al margine appenninico ed a quello alpino).

Sono presenti anche fenomeni di drenanza ed è possibile una comunicazione idraulica tra i vari acquiferi attraverso i pozzi che li attraversano.

L'acquifero freatico che è incluso nell'unità stratigrafica AES8, è costituito da sedimenti fini e da miscele di limo, sabbia ed argilla, che rappresentano depositi di canale, argine, tracimazione e piana inondabile.

Il suo spessore è assai modesto (< 10 m) e pertanto la sua importanza è trascurabile data anche la litologia prevalentemente fine dei depositi.

Questo acquifero è in diretto contatto con i corsi d'acqua superficiali oltre che con tutte le attività antropiche.

L'acquifero freatico può essere ricoperto da uno spessore variabile di depositi poco permeabili, il che di fatto lo rende un acquifero semi-confinato.

La Carta delle litologie di superficie e relative permeabilità allegata al Quadro Conoscitivo, Relazione Geologico Ambientale del Piano Strutturale Comunale Unione dei Comuni Terre e Fiumi (figura 11) mostra che nell'intorno dell'area di interesse le litologie affioranti sono generalmente caratterizzate da permeabilità bassa e molto

bassa, con zone estremamente limitate di affioramenti di limi e sabbie con permeabilità da bassa a media ed alta.

Il primo acquifero confinato corrisponde all'unità stratigrafica sopra descritta AES7.

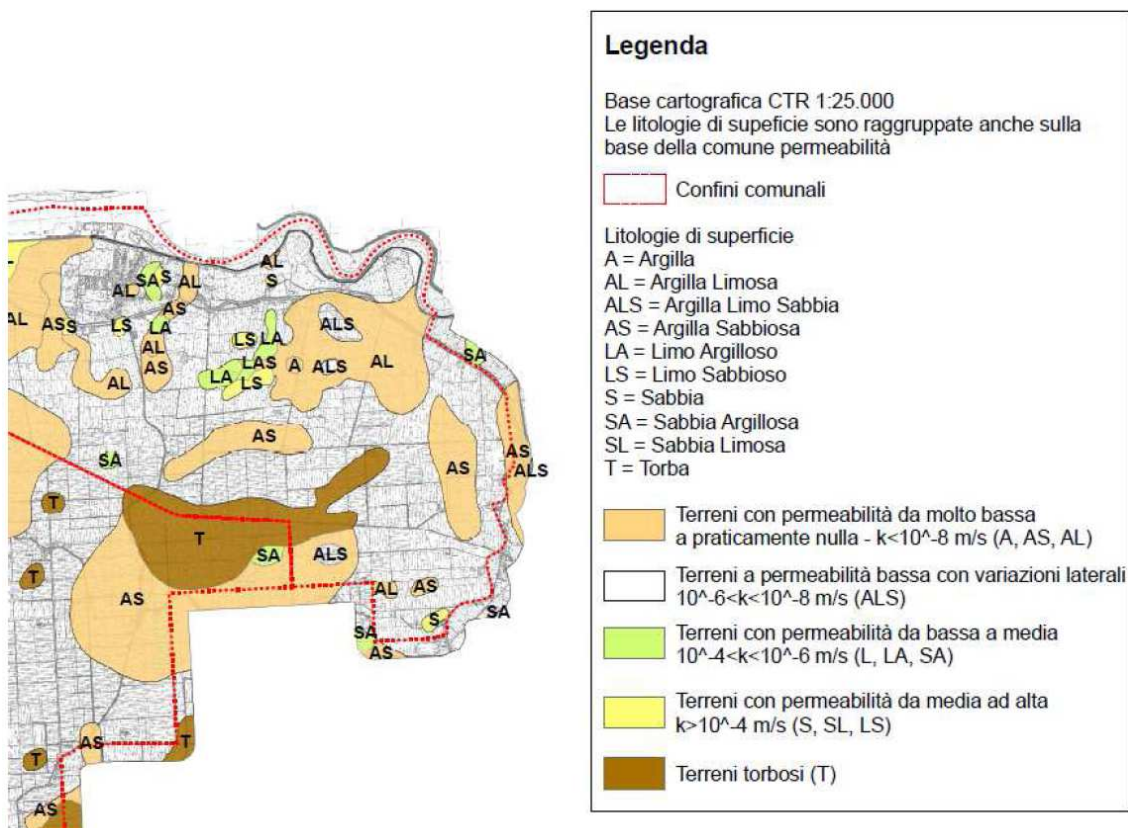


Figura 11: Stralcio della TAV. 4 - Carta delle litologie di superficie e relative permeabilità- scala 1:50.000 allegata al “Quadro Conoscitivo, Relazione Geologico Ambientale” del Piano Strutturale Comunale Unione dei Comuni Terre e Fiumi.

Nell'ambito del Quadro Conoscitivo del Piano Strutturale Comunale Unione dei Comuni Terre e Fiumi è stata svolta un'attività misura del livello della falda freatica.

Sono stati utilizzati in tutto 52 pozzi di monitoraggio e le misure sono state effettuate in due campagne distinte: la prima nel mese di dicembre 2008 (figura 12), la seconda nel mese di settembre 2009 (figura 13).

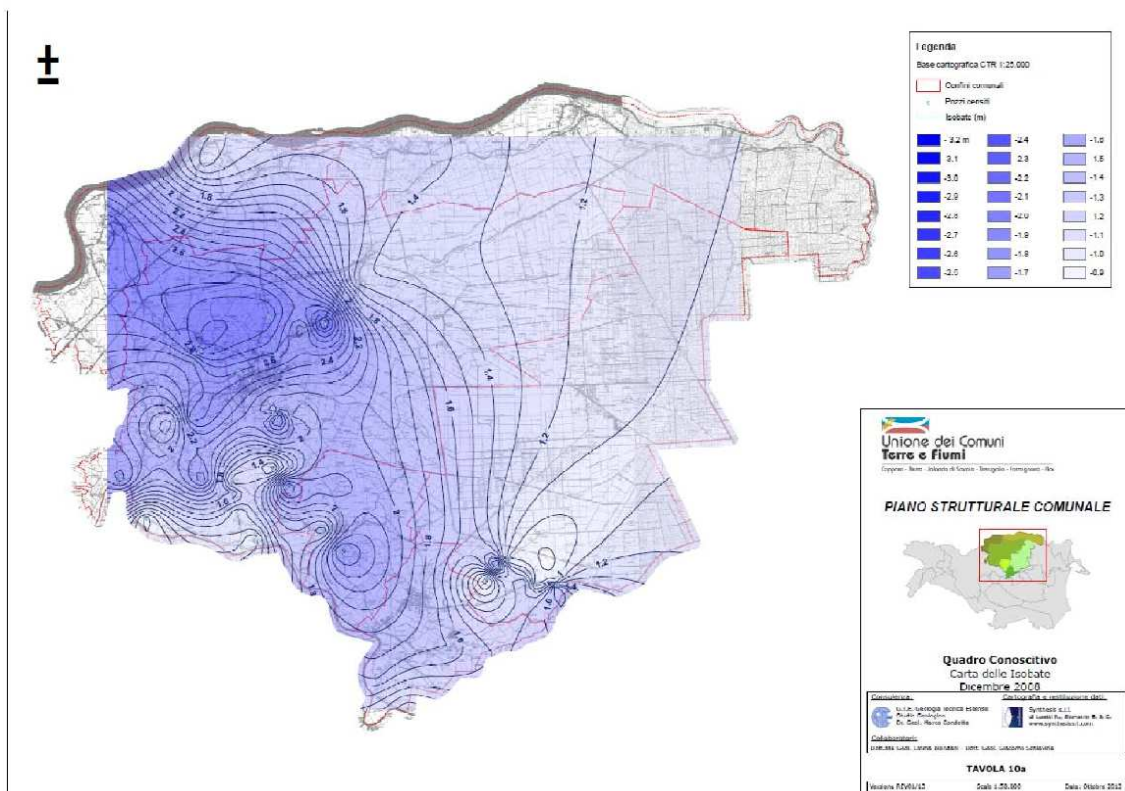


Figura 12: TAV. 10/A - Carta delle isobate dicembre 2008- scala 1:50.000 allegata al “Quadro Conoscitivo, Relazione Geologico Ambientale” del Piano Strutturale Comunale Unione dei Comuni Terre e Fiumi.

- Il periodo della prima campagna (figura 12), tra i mesi di novembre e dicembre, è generalmente caratterizzato dai maggiori apporti meteorici e conseguentemente minime portate dei canali di irrigazione
- Il periodo della seconda campagna di misure (figura 13), realizzata nel mese di settembre 2009, risulta a cavallo dei due mesi (giugno ed ottobre) solitamente caratterizzati dai minimi apporti meteorici e dalle massime portate dei canali di irrigazione.

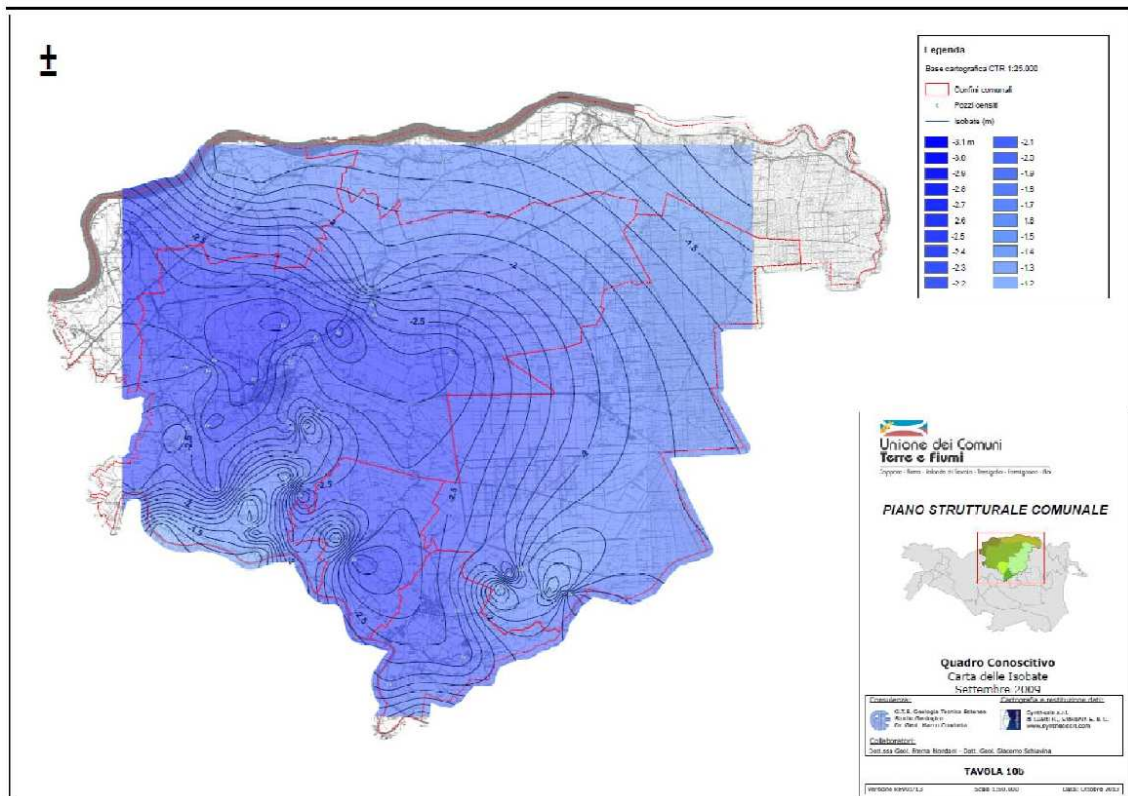


Figura 13: TAV. 10/B - Carta delle isobate settembre 2009 - scala 1:50.000 allegata al “Quadro Conoscitivo, Relazione Geologico Ambientale” del Piano Strutturale Comunale Unione dei Comuni Terre e Fiumi.

Come già detto, la prima campagna comprende il periodo generalmente caratterizzato dai maggiori apporti meteorici e conseguentemente minime portate dei canali di irrigazione, che comprende i mesi di novembre e dicembre.

Questa misura può rappresentare il massimo autunnale (figura 12).

Come si può notare gran parte del territorio indagato, presenta profondità della falda freatica (soggiacenza) compresa tra -1,50 mt e -1,00 mt, con i valori massimi compresi tra i -2,00 mt e i -3,00 mt prossimi ai centri abitati maggiori.

Si osserva nella mappa una risalita del livello della falda verso nord-est in corrispondenza dell'area in esame, dove l'isobata è intorno a -1.10-1,00 m da p.c..

La seconda campagna di misure, realizzata nel mese di settembre 2009, risulta prossima ai mesi solitamente caratterizzati dai minimi apporti meteorici (giugno ed ottobre) e dalle massime portate dei canali di irrigazione.

Questa misura può rappresentare il minimo estivo (figura 13).

Anche in questa seconda campagna si nota una netta distinzione fra le aree interessate dai maggiori centri abitati e quelle scarsamente popolate.

La gran parte del territorio indagato, presenta profondità della falda freatica compresa tra -2.00 mt e -1,50 mt, con i valori massimi compresi tra i -2,00 mt e i -2,50 mt, prossimi ai centri abitati maggiori.

Anche in questo caso la superficie della falda tende a risalire verso nord-est, con gradienti maggiori rispetto al periodo autunnale e con valori che si attestano nei pressi dell'area in esame sempre intorno a -1.20-1,00 m da p.c..

Sempre nell'ambito del quadro conoscitivo del Piano Strutturale Comunale Unione dei Comuni Terre e Fiumi viene condotto uno studio relativo alla vulnerabilità idrogeologica.

La figura 14 mostra lo stralcio della carta allegata nell'intorno dell'area in esame.

Da notare che presso l'area di interesse vengono mappati fenomeni di fuoriuscita delle acque per infiltrazione (fontanazzi) in corrispondenza dei meandri del Po di Goro; si tratta proprio delle problematiche oggetto del presente intervento.

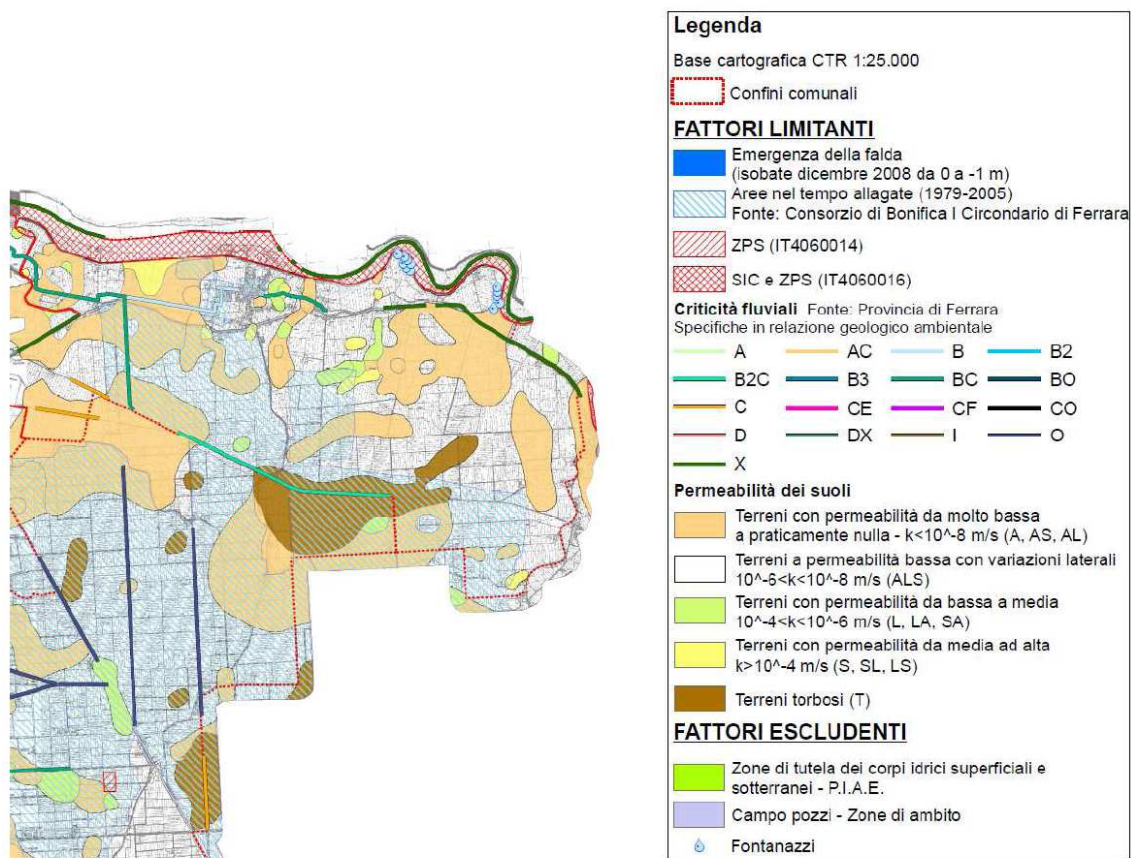


Figura 14 Stralcio della TAV. 11 - Carta della vulnerabilità idrogeologica - scala 1:50.000 allegata al “Quadro Conoscitivo, Relazione Geologico Ambientale” del Piano Strutturale Comunale Unione dei Comuni Terre e Fiumi.

6.0 SISMICITA' DELL'AREA

Il territorio in esame è caratterizzato, nel complesso, da una sismicità di grado basso - molto basso.

L'area in esame, rispetto al sistema di pieghe ferraresi, si colloca in una zona posta al di fuori delle sorgenti sismogenetiche come mostrato dalla figura 9.

Secondo l'ultima zonazione sismogenetica pubblicata ZS9 (30/06/2012), questo territorio non rientra in alcuna zona, ponendosi esternamente alla zona 912 (figura 15).

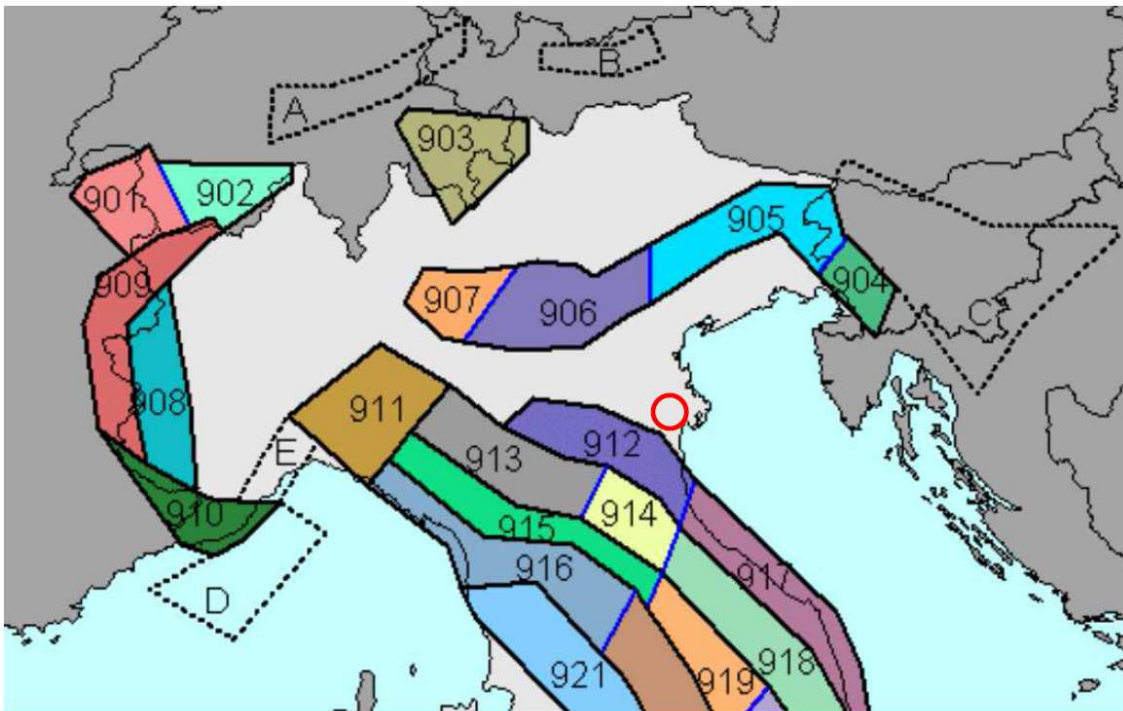





Figura 15: Mappa zone sismiche (estratto da App. 2 al Rapporto Conclusivo-Zonazione Sismogenetica ZS9-INGV). L'area in esame è racchiusa dal cerchio rosso.

La storia sismica più recente del comune di Berra è riassunta in figura 16 in cui sono evidenziati i principali eventi sismici verificatisi dall'anno 1900 a oggi (dall'anno 1000 al 1900 non sono riportati eventi) come estratti dal Catalogo Parametrico Italiano dei Terremoti (CPTI15).

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
5		1909	01	13	00	45	Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36
NF		1986	12	06	17	07	1 Ferrarese	604	6	4.43
4		1987	05	02	20	43	5 Reggiano	802	6	4.71
3		1989	09	13	21	54	0 Prealpi Vicentine	779	6-7	4.85
NF		2002	11	02	10	57	4 Ferrarese	79	4	4.21

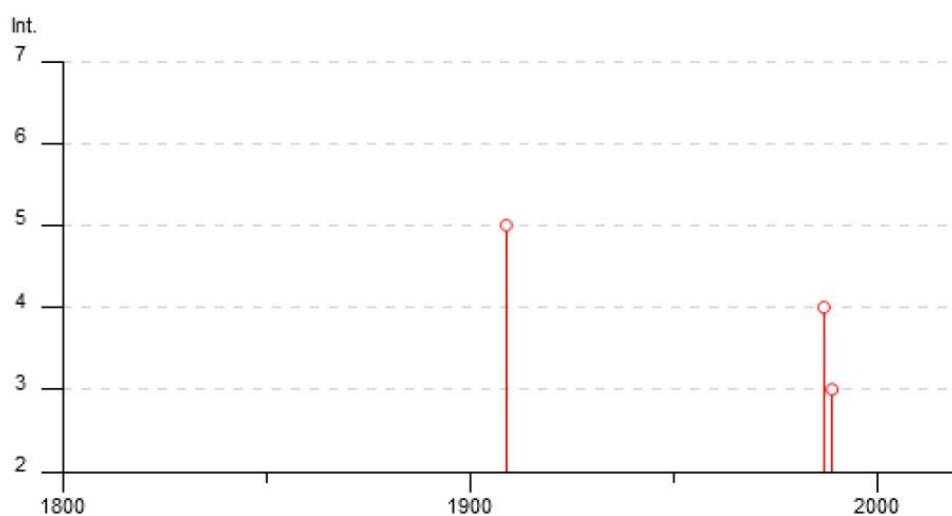


Figura 16: Elenco (sopra) e grafico (sotto) degli eventi sismici registrati presso Berra tra il 1909 e il 2002 (dati estratti da <https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15>)

L'evento principale, di intensità macrosismica IMCS = 5, percepito presso il comune di Berra, è avvenuto nel 1909 e ha avuto epicentro nella zona di Bologna.

A questi eventi si aggiunge quello del 20 maggio 2012 non riportato nel catalogo, con epicentro nella Bassa modenese, in occasione del quale è stata registrata una magnitudo pari a 5.9 della scala Richter.

Tale sisma è stato seguito da numerosissime altre scosse, di cui 6 di magnitudo superiore a 5.

L'evento di magnitudo $M_w=5.9$ del 20/5/2012 è stato risentito in tutto il Nord Italia e le shakemap calcolate subito dopo l'evento confermano queste osservazioni.

In particolare, nella zona epicentrale le accelerazioni massime (PGA) sono state stimate fino a 0.3g, ossia il 30% dell'accelerazione di gravità. Analoga accelerazione è stata calcolata per il sisma del 29/05/2012, che ha presentato una magnitudo pari a 5.8 della scala Richter.

Il picco massimo d'accelerazione registrato, in occasione dell'evento più forte (IA) è di 0.309 g, e corrisponde alla componente verticale.

I picchi corrispondenti alle due componenti orizzontali (0.264 in direzione SUD-NORD e 0.261 in direzione OVEST-EST) risultano inferiori.

La sequenza sismica ha prodotto gravi danni in una vasta area delle province di Modena, Ferrara, Mantova e Bologna. In particolare, appaiono gravemente danneggiate, in prossimità delle aree epicentrali, le strutture storiche in laterizio pieno ed i capannoni industriali prefabbricati in c.a.

6.1 Classificazione sismica e pericolosità sismica di base

La Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (figura 17, http://zonesismiche.mi.ingv.it/documenti/mappa_opcm3519.pdf), elaborata dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia e recepita dall'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3519 del 2005, indica valori di accelerazione orizzontale di base $A_g = 0.050-0.075$ g.

Dal punto di vista della pericolosità sismica locale il Comune di Berra era stato inserito in classe sismica 4 con OPCM 3274; tale classificazione è stata recentemente rivista dalla Regione Emilia Romagna che ha inserito il comune in classe sismica 3.

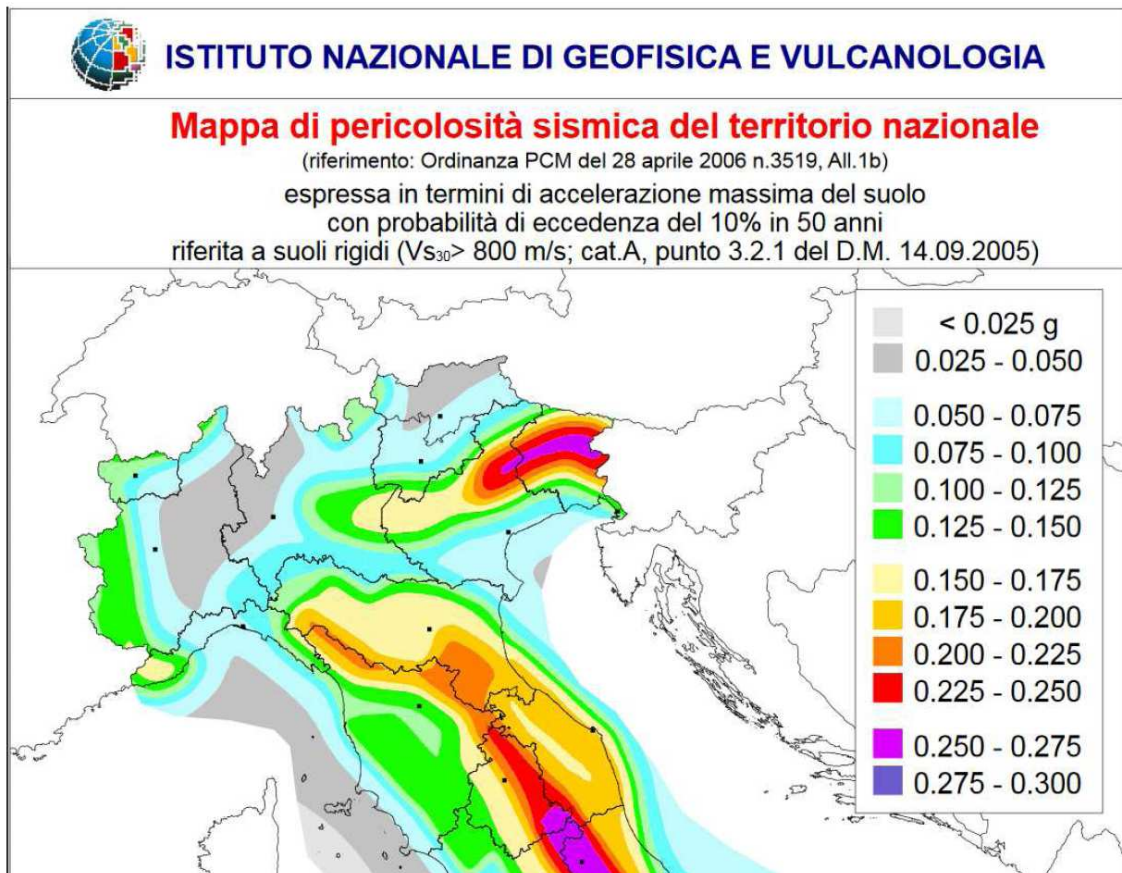


Figura 17: Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale, espressa in termini di accelerazione massima del suolo (a_{max}) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli molto rigidi ($V_{s30} > 800$ m/s) (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia).

Ad un dettaglio maggiore, considerando i nodi della griglia in cui è stato suddiviso il territorio regionale (allegato 4 - DGR 2193/2015) ed i valori di accelerazione associati ai punti griglia più vicini, spostandosi da ovest verso est (dalla frazione di Cologna verso Serravalle passando per Berra), i valori diminuiscono progressivamente:

- valori di 0.0708 g (zona di Cologna),
- valori di 0.0674 g (Cologna - Berra),
- valori di 0.0644 g (Berra - Serravalle),
- valori di 0.0626 g (zona di Serravalle).

6.2 Risposta sismica locale: densificazione e liquefazione

Per quanto la risposta sismica locale, nell'ambito del Quadro Conoscitivo, Relazione Geologico Ambientale" del Piano Strutturale Comunale Unione dei Comuni Terre e Fiumi è stata prodotta la "Carta delle aree suscettibili di effetti locali" (figura 18) in cui sono stati rappresentati tutti gli aspetti geologici e geomorfologici del territorio in esame che possono determinare amplificazione del segnale sismico, cedimenti, instabilità dei terreni, fenomeni di liquefazione, rotture del terreno, ecc..

Nel settore in esame, il fattore che può determinare effetti negativi dovuti alla risposta sismica locale riguarda la diffusa presenza di terreni coesivi poco consistenti, con valori di resistenza non drenata molto bassi (tra 0.05 kg/cm² e 0.7 kg/cm²), che possono dar luogo ad eventuali cedimenti post-sismici.

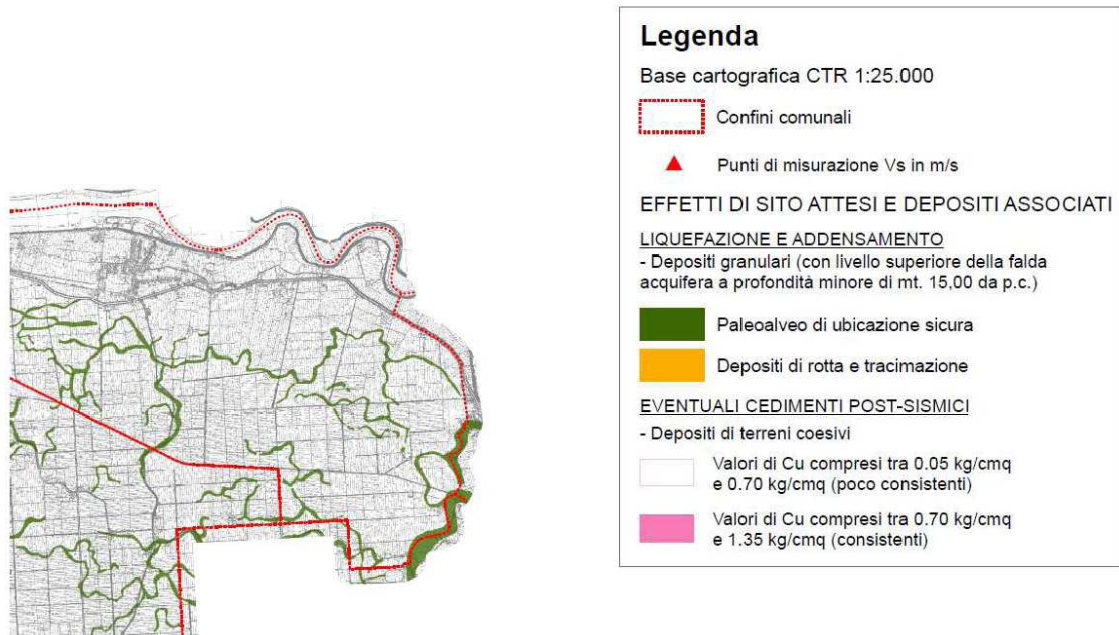


Figura 18: : Stralcio della TAV. 14 - Carta delle aree suscettibili di effetti locali- scala 1:50.000 allegata al "Quadro Conoscitivo, Relazione Geologico Ambientale" del Piano Strutturale Comunale Unione dei Comuni Terre e Fiumi.

Lo studio di microzonazione sismica del Comune di Berra (2017) fornisce ulteriori importanti risultati.

Bisogna sottolineare che gli studi hanno riguardato le aree urbanizzate (Berra e frazioni) e l'area di interesse non è stata interessata direttamente dagli approfondimenti.

Le informazioni riportate di seguito aiutano comunque a definire un quadro generale di riferimento anche nella zona di intervento.

L'area dell'intero territorio comunale di Berra è caratterizzata da valori di velocità delle onde di taglio S (V_s) caratteristici di terreni da molto soffici (argille e torbe con $V_s < 180$ m/s) a compatti/addensati (sabbie del Po con $V_s > 200$ m/s).

Le velocità delle onde S, nel complesso, tendono ad aumentare con la profondità in modo abbastanza graduale fino all'interfaccia tra i depositi di pianura deltizia di età olocenica e le sabbie medio-grossolane di riempimento canale (canale distributore) del fiume Po di età pleistocenica.

In corrispondenza di tale superficie, posta a profondità variabile, che in media corrisponde all'intervallo 15-25 m circa, le V_s subiscono un deciso innalzamento per poi tornare ad aumentare gradualmente con la profondità.

L'elaborazione delle curve HVSR, associate ai profili MASW e non, ha permesso di estendere la modellazione delle V_s fino a profondità di circa 100 m.

Lo studio di microzonazione sismica Comunale, sulla base delle prove analizzate e dei risultati ottenuti, integrando inoltre tutte le informazioni e le conoscenze di carattere geologico e geomorfologico, fornisce un modello di sottosuolo di sintesi dell'intero territorio.

UNITA'	DESCRIZIONE	PERIODO	PROFONDITA'	COMPATTEZZA ADDENSAMENTO DEPOSITO	FREQ. RISONANZA PRINCIPALE	Vs MEDIA
A	Unità dei canali distributori e delle aree interdistributrici di piana deltizia	OLOCENE	0-20 m circa	soffice (frazione coesiva) addensamento medio-scarso (frazione granulare)	1-2 Hz ampiezza in genere moderata $2 < F_0 < 3$	$V_s < 180$ m/s
C	Unità della pianura alluvionale pleistocenica del Fiume Po	PLEISTOCENE	> 15-20 m circa	addensamento medio-alto (granulare)		$V_s > 200$ m/s

Figura 19: Tabella riassuntiva delle caratteristiche sismiche dei depositi di sottosuolo nel Comune di Berra, tratto da Studio di microzonazione sismica di II livello Comune di Berra – Relazione Illustrativa – Regione Emilia-Romagna Comune di Berra (2017).

L'unità A è costituita da tutti quei depositi di età olocenica (10000 anni fa – attuale) depositisi in ambiente di piana deltizia del fiume Po (ndr AES8).

L'Unità C è rappresentata dalle sabbie pleistoceniche di pianura alluvionale del Po (ndr AES7).

Tutti i depositi dell'Unità A e Unità C sono suscettibili di amplificazione locale per risonanza stratigrafica; si possono invece trascurare gli effetti topografici in quanto l'area è pianeggiante.

I depositi appartenenti all'Unità A sono, per le loro caratteristiche tessiturali, di consistenza e per le profondità a cui si trovano, suscettibili di instabilità per densificazione (frazione coesiva soffice) e liquefazione (frazione granulare incoerente satura).

L'Unità B, caratterizzata da argille miste ad abbondante frazione organica ed a significativi spessori di torba (> 1 m) non è presente nel territorio comunale di Berra.

Il valore del fattore di amplificazione presso la frazione Serravalle (più vicina all'area di interesse) stimato nell'ambito dello studio è pari a 1.3.

In generale, nell'area comunale di Berra sono diffusi depositi fini, coesivi, soffici e molto soffici caratterizzati da valori medi di resistenza a rottura in condizioni non drenate (breve termine) < 70 KPa.

Resistenze medie inferiori a tale valore di soglia (come indicato nella DGR 2193/2015 nell'allegato A3 – Capitolo B – paragrafo B3) unitamente ai valori stimati di velocità delle onde di taglio S, in genere risultati < 180 m/s, indicano la predisposizione alla densificazione ovvero allo sviluppo di cedimenti potenzialmente rilevanti in caso di scuotimento indotto dall'azione ciclica e dinamica del sisma.

Le zone, invece, caratterizzate anche dalla presenza di depositi incoerenti-granulari nei primi 20 m da p.c., quali sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi, con scarso grado di addensamento e sotto falda, sarebbero zone di attenzione per instabilità dovuta a potenziale liquefazione.

Tuttavia, per l'intero territorio comunale di Berra, le accelerazioni orizzontali di base sono molto basse e si attestano su valori compresi tra 0.0708 g e 0.0626 g.

Questi valori di base, se moltiplicati per il fattore di amplificazione stratigrafica F.A. caratteristico del settore in esame non raggiungono in nessun caso il valore limite pari a 0.1 g indicato nella DGR2193/2015 al punto 2 del paragrafo 1 – Allegato A3.

Al di sotto di tale valore, secondo quanto indicato nella normativa di riferimento, si può assumere che, anche in presenza dei caratteri predisponenti il fenomeno di liquefazione (presenza di terreni incoerenti, sciolti, saturi) come nel caso in questione, le probabilità che si manifestino fenomeni del genere sono scarse o nulle.

7.0 ASSETTO GEOLOGICO TECNICO DI DETTAGLIO

Al fine di avere informazioni di dettaglio sull'assetto geologico e geologico tecnico delle aree di intervento è possibile fare riferimento ai documenti allegati al “Quadro Conoscitivo, Relazione Geologico Ambientale” del Piano Strutturale Comunale Unione dei Comuni Terre e Fiumi (2013).

Le sezioni geologico tecniche riportate sono prossime all'area di interesse in corrispondenza dei due estremi A' e B' (figura 20) e rappresentano i corpi geologici suddivisi sia sulla base della litologia che in base alla resistenza alla punta delle prove penetrometriche.

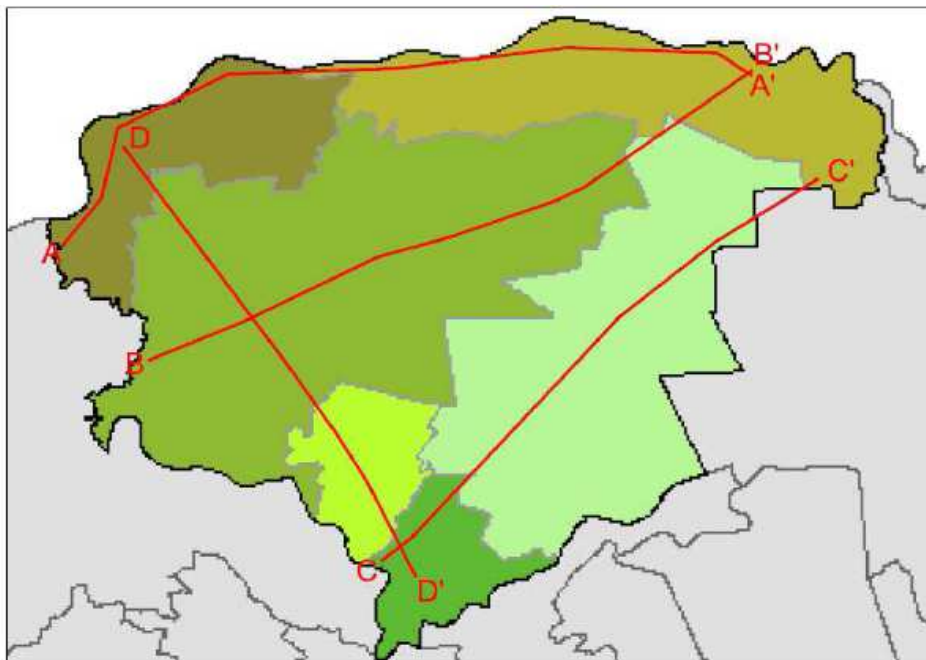


Figura 20: Ubicazione delle sezioni litologiche tratte da TAV. 15 - Profili litostratigrafici - allegata al “Quadro Conoscitivo, Relazione Geologico Ambientale” del Piano Strutturale Comunale Unione dei Comuni Terre e Fiumi.

STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA SPADA
di Spada Mario Bianchi Susanna e Orlandi Gian Marco

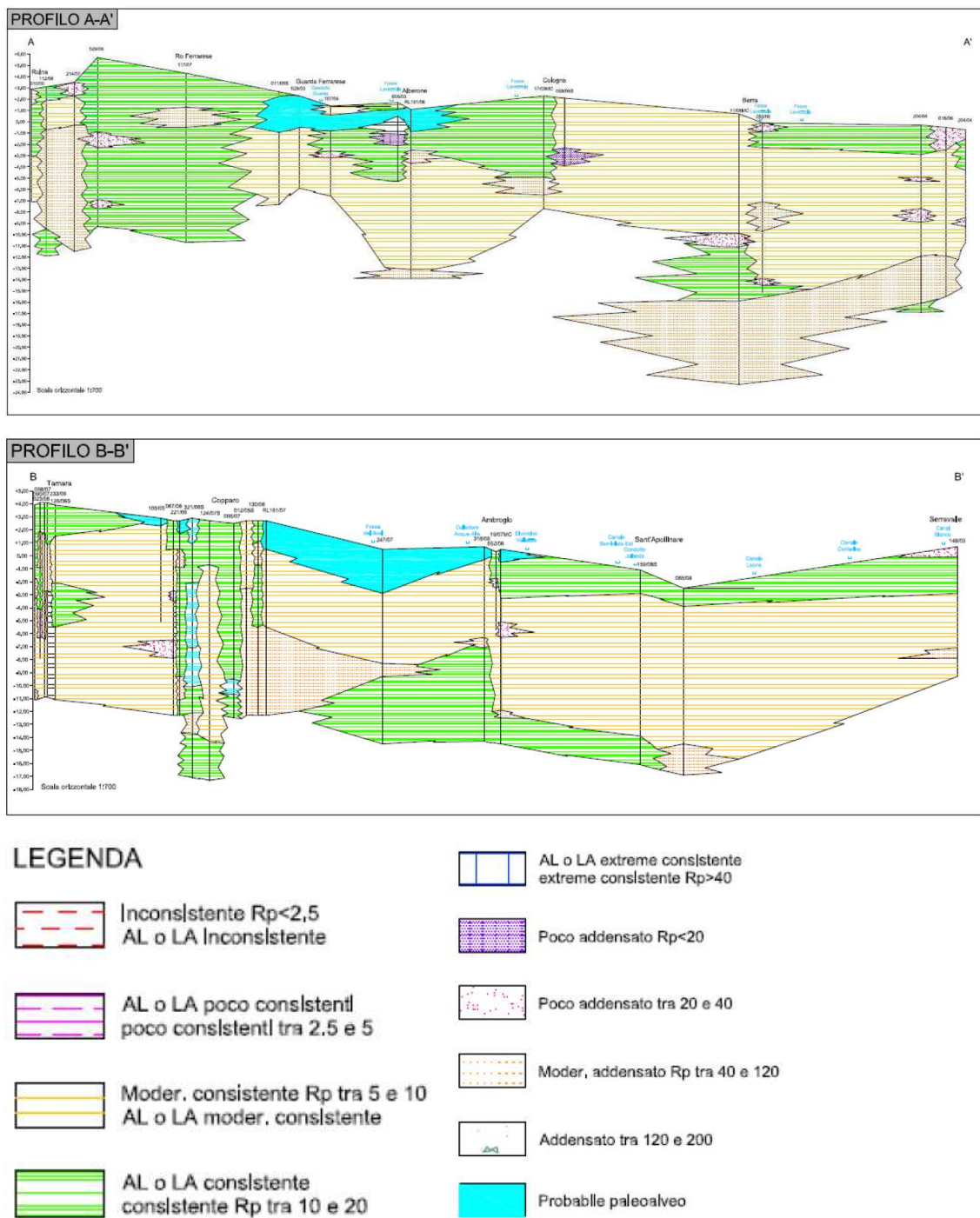


Figura 21: Sezioni litologiche A-A' e B-B' con legenda tratte da TAV. 15 - Profili litostratigrafici allegata al "Quadro Conoscitivo, Relazione Geologico Ambientale" del Piano Strutturale Comunale Unione dei Comuni Terre e Fiumi.

In corrispondenza dell'estremo A' si incontrano nei primi 2-3 metri lenti di depositi poco addensati con Rp pari a 20-40 che passano lateralmente ad argille limose e limi argillosi consistenti con Rp pari a 10-20.

Inferiormente si osserva una successione di circa 8-10 metri di argille limose e limi argillosi moderatamente consistenti con Rp pari a 5-10; al di sotto si osservano corpi lenticolari con spessori variabili tra qualche metro fino a 7-8 metri composti da sedimenti moderatamente addensati con Rp tra 40 e 120 (figura 21).

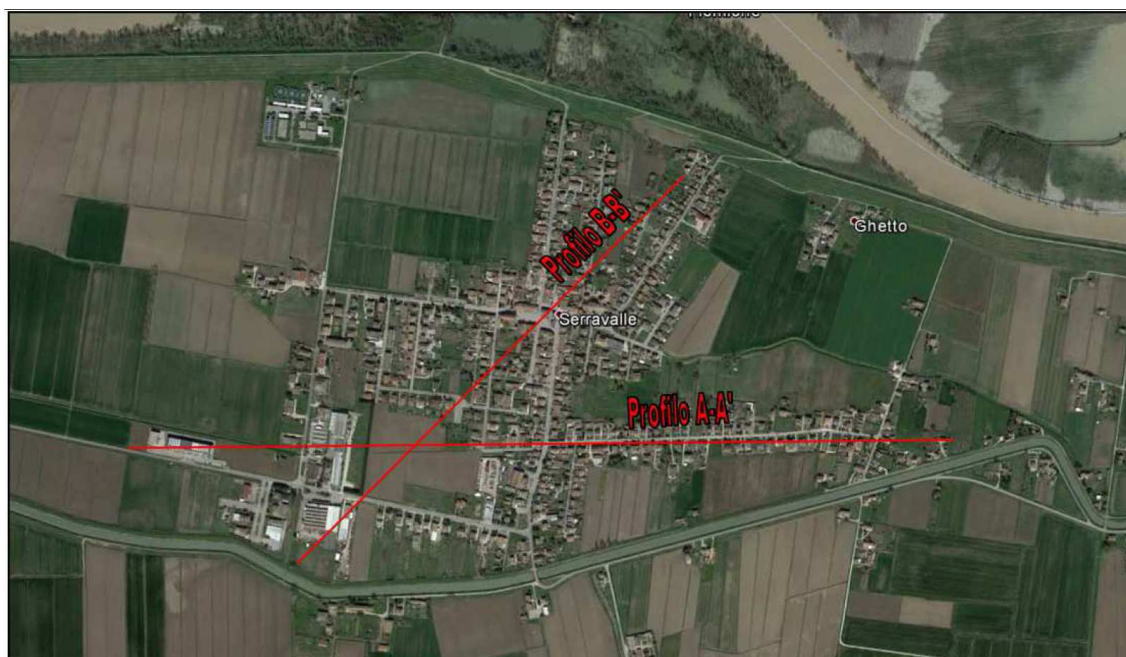
In corrispondenza dell'estremo B' si incontrano nei primi 3-4 metri lenti di depositi poco addensati con Rp paria 20-40 che passano lateralmente ad argille limose e limi argillosi consistenti con Rp paria 10-20.

Inferiormente si osserva una successione fino ad oltre 10 metri di argille limose e limi argillosi moderatamente consistenti con Rp pari a 5-10 (figura 21).

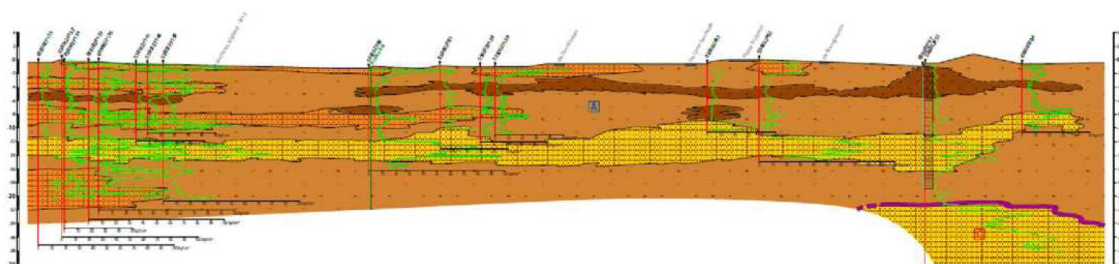
Una ulteriore ricostruzione dell'architettura litologica del sottosuolo, con ancora un maggiore dettaglio, è riportata nello studio di microzonazione sismica di II livello del Comune di Berra.

La sezione geologica più prossima all'area in esame (figura 22, margine destro), presso la frazione di Serravalle, mostra che i primi 20 metri (ndr AES8) sono caratterizzati da prevalenti limi e argille, talora organiche, con possibili lenti di spessore massimo circa di 1-2 metri di sabbie e sabbie limose di riempimento di canale intorno ai 10 metri di profondità dal piano campagna.

Sono segnalati anche livelli torbosi, con spessori inferiore al metro, a profondità intorno ai 4 metri dal piano campagna. Al di sotto dei 20 m p.c. sono presenti sabbie e sabbie limose di riempimento di canale per spessori plurimetrici (ndr AES7).



Profilo A-A'







Litologie	
	Limi e argille, talora organiche
	Sabbie e limi di canale/argine/barra/rotta (R_p media $< 50 \text{ kg/cm}^2$)
	Sabbie/sabbie limose di riempimento canale (R_p media $> 50 \text{ kg/cm}^2$)
	Torbe e argille organiche

Figura 22: Traccia e Sezione litologica presso Serravalle, tratta da Studio di microzonazione sismica di II livello Comune di Berra – Relazione Illustrativa – Regione Emilia-Romagna Comune di Berra (2017).

8.0 SUBSUDENZA DEL SUOLO

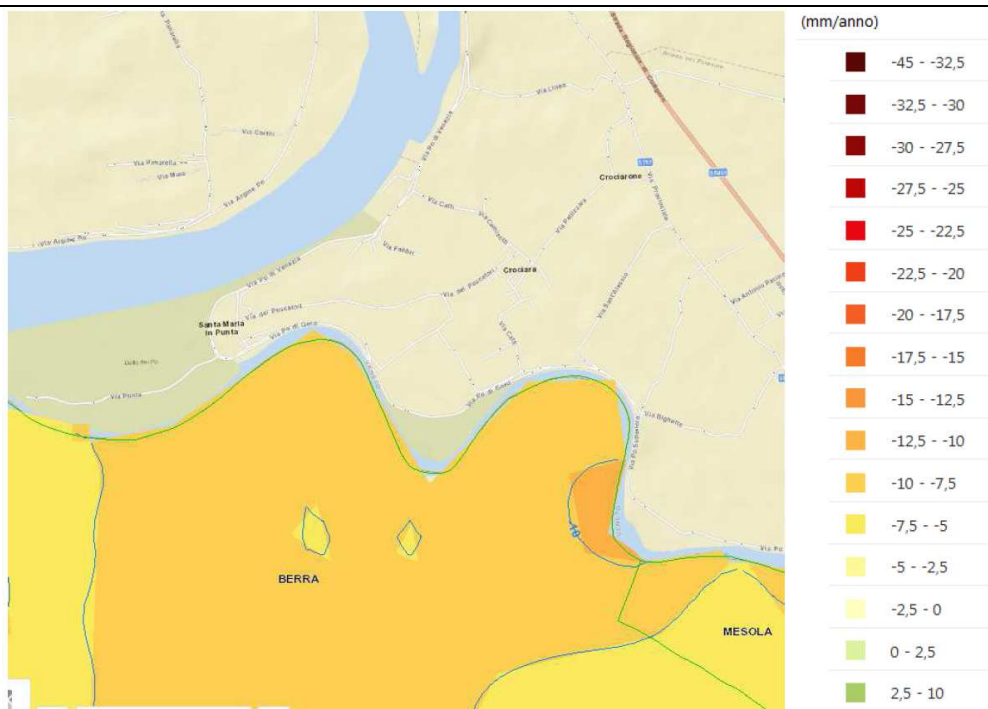
Alla luce del contesto morfologico, caratterizzato da estese aree depresse e da canale fluviale praticamente pensile con livello idrometrico superiore alle zone di piana, geologico ed idrogeologico, nonché delle storiche problematiche delle aree di intervento è certamente necessario considerare i dati pregressi riguardo i movimenti verticali del suolo ovvero la subsidenza.

Vengono riportati di seguito una serie di stralci delle mappe di velocità verticale del suolo relative alle campagne di monitoraggio 1992-2000, 2002-2006, 2006-2011 e 2011-2016, tramite interferometria condotte da ARPAE per conto della Regione Emilia-Romagna.

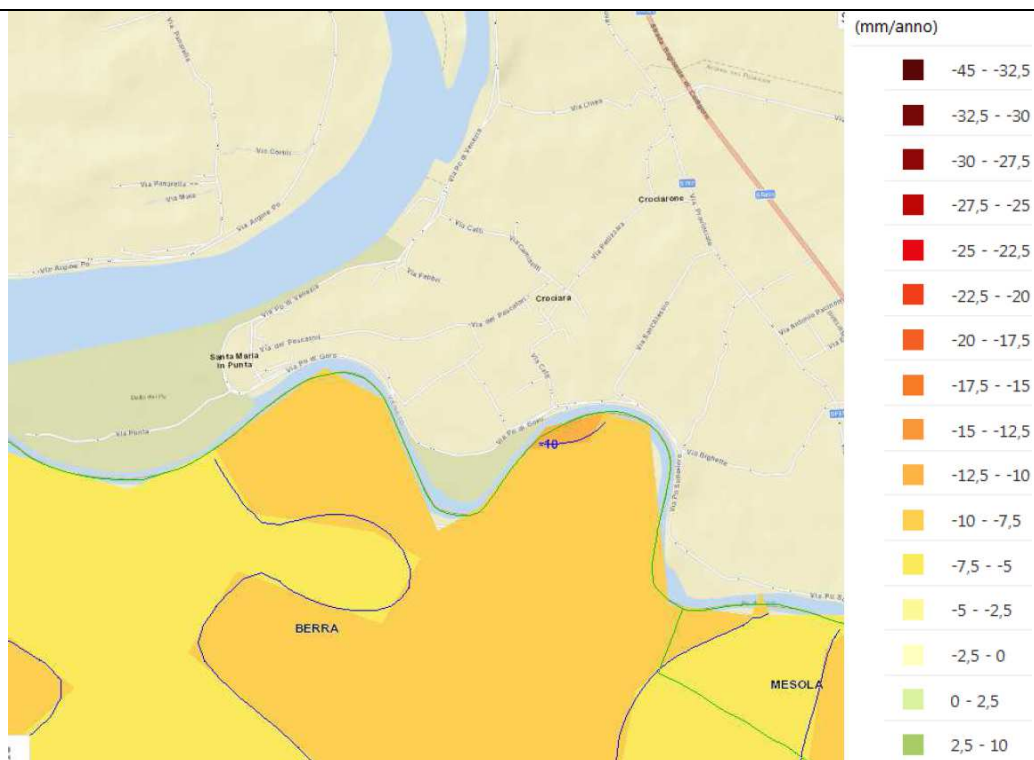
L'area di interesse mostra i seguenti tassi di abbassamento del suolo (figura 23):

- 1992-2000: velocità comprese tra i 7,5 e i 10 mm/anno, localmente superiori a 10 mm/anno. In aree più distali rispetto l'area in esame prevalgono velocità comprese tra 5 e 7,7 mm/anno;
- 2002-2006: velocità comprese tra i 7,5 e i 10 mm/anno. In aree più distali rispetto l'area in esame prevalgono velocità inferiori a 5 mm/anno;
- 2006-2011: velocità comprese tra 2,5 e 5 mm/anno, localmente superiori a 5 mm/anno e inferiori a 7,5 mm/anno;
- 2011-2016: velocità generalmente intorno ai 2,5 mm/anno (inferiori a 5 e superiori a 0 m/anno).

ANNI 1992 – 2000



ANNI 2002 – 2006



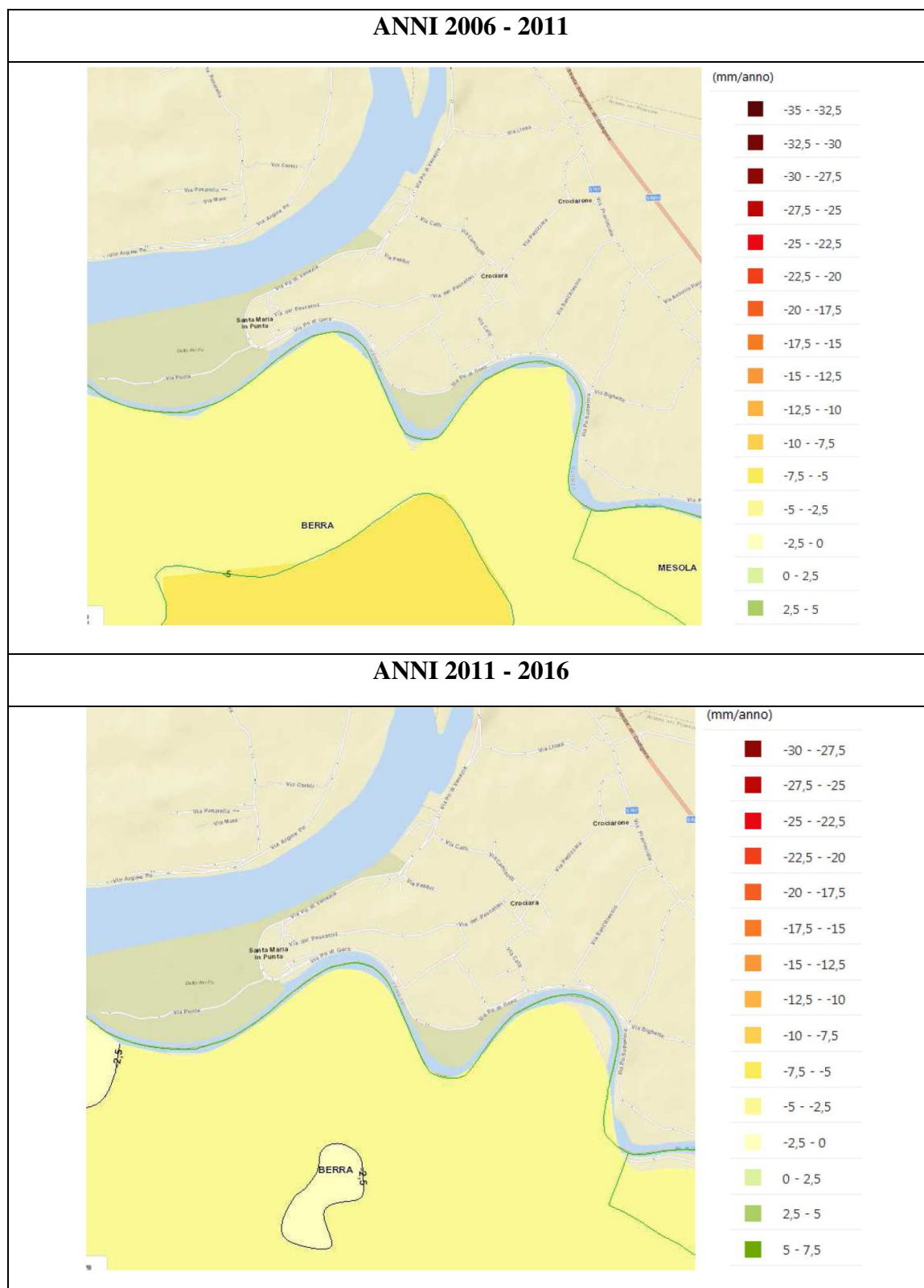


Figura 23: Velocità del movimento del suolo rilevate nelle diverse campagne di monitoraggio con tecnica interferometrica (Arpae – Regione Emilia-Romagna).

Nell'ambito della Relazione Geologico Ambientale del Quadro Conoscitivo del Piano Strutturale Comunale Unione dei Comuni Terre e Fiumi vengono ipotizzate alcuni fattori che possono essere causa del fenomeno di abbassamento del suolo osservato:

- abbassamenti della falda freatica per fini di bonifica. Tale pratica, iniziata su vaste aree fin dal tempo degli Estensi, è stata intensificata nei primi decenni del XX secolo con l'ausilio delle macchine idrovore. La bonifica è stata completata già nella prima metà del secolo scorso ma le idrovore lavorano ancora per regolamentare il livello della falda freatica.
- abbassamenti dei livelli piezometrici di falde a grande profondità, causati da emungimenti di acqua e gas per lo sfruttamento degli idrocarburi. Questa pratica è stata interrotta già dall'inizio della seconda metà del secolo scorso.
- abbassamenti dei livelli piezometrici di falde a bassa e media profondità, causati da emungimenti di acqua per scopi industriali agricoli e civili.

La presenza di cedimenti del suolo, anche in aree dove non risultano essere state praticate né estrazioni di acqua né di idrocarburi e possono essere considerati ormai irrilevanti anche gli abbassamenti connessi alle bonifiche, chiama in causa altri meccanismi, probabilmente connessi alla subsidenza naturale come ad esempio la compattazione dei depositi recenti.

I rilievi dei cedimenti del suolo di figura 23 mostrano una progressiva riduzione nel tempo dell'entità dei cedimenti, passati da 7-10 mm/anno a circa 2-2,5 mm.

L'andamento che apparentemente si manifesta è quindi quello di una progressiva diminuzione della subsidenza.

Tuttavia, a causa delle variazioni delle condizioni di acquisizione ed elaborazione dei dati nei diversi monitoraggi, i risultati non sono perfettamente confrontabili in termini di valori assoluti.

Considerando valido questo trend di diminuzione, esso potrebbe essere spiegato con la diminuzione dei quantitativi estratti dalle falde, anche a causa della chiusura di molti impianti industriali, oltre al fatto che il prelievo dalle falde profonde risulta oggi regolamentato.

Per quanto riguarda la distribuzione spaziale della subsidenza si può notare a scala dell'intero delta padano, un maggiore abbassamento in corrispondenza del canale distributore del Po di Goro e valori minori nelle piane interdistributrici (figura 24).

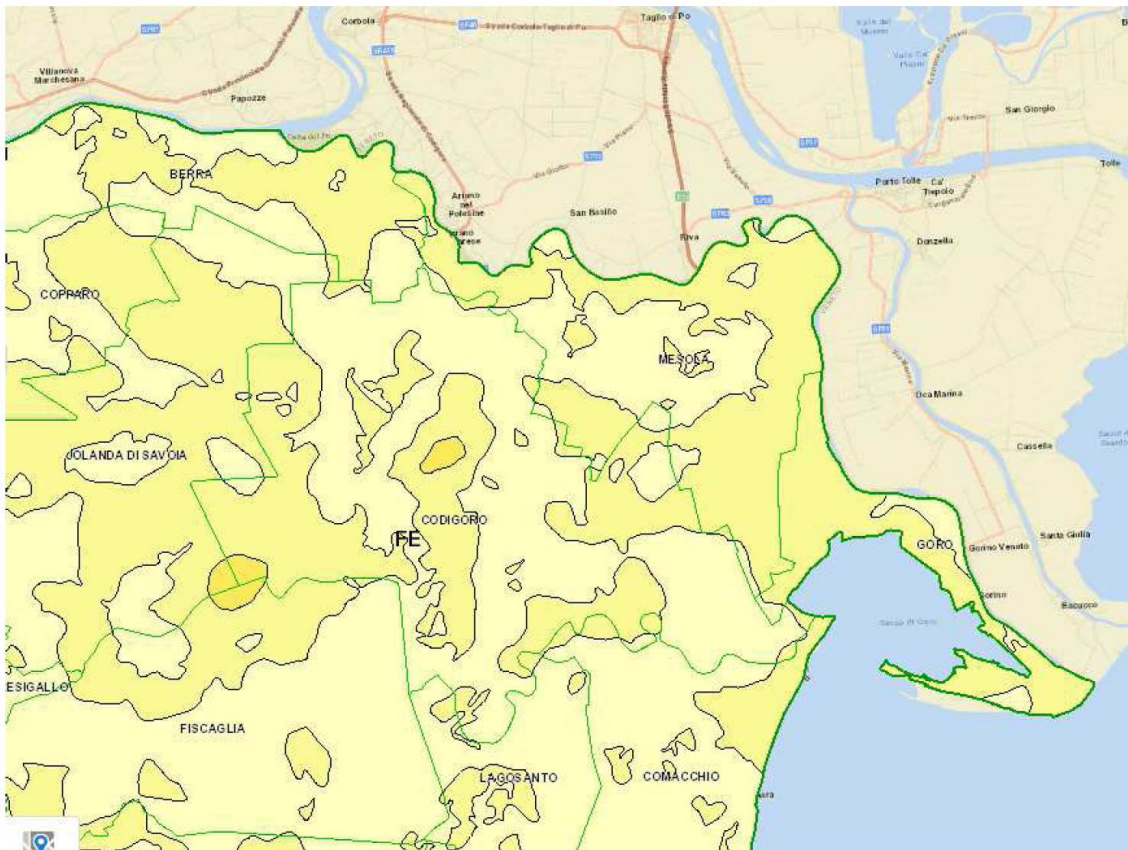


Figura 24: Monitoraggio 2011-2016; si può notare una maggiore velocità di abbassamento lungo il corso del Po di Goro rispetto alle aree depresse limitrofe.

9.0 ANALISI CHIMICA DEI TERRENI IN SITO

Le attività di scavo per le opere di progetto avverranno nell'area golenale prospiciente la zona interessata dal bancone di appesantimento.

Il progetto prevede di utilizzare i materiali di scavo nell'ambito del cantiere, come terre e rocce di scavo.

La zona interessata dagli scavi è attualmente adibita a pioppeto e non vi sono informazioni di attività anomale nel passato.

Al fine di confermare l'assenza di contaminazione dei terreni e consentirne l'uso nell'ambito del cantiere si è quindi deciso di prelevare un campione di terreno, con l'esecuzione di un saggio manuale, per un'analisi di caratterizzazione chimica.

Nel saggio effettuato non sono state rilevate anomalie di sorta nei terreni di scavo.

I terreni campionati risultano costituiti da sabbie fini.

Le analisi sono state effettuate dal Laboratorio Consulenze Ambientali S.p.A. di Scanzorosciate (BG), per conto dello Scrivente Studio.

Il protocollo di analisi ha previsto la verifica di tutti i parametri del set analitico minimale dalla norma (tabella 4.1 del DPR 120/2017), e precisamente:

- metalli
 - arsenico,
 - cadmio,
 - cobalto,
 - nichel,
 - piombo,
 - rame,

- zinco,
 - mercurio,
 - cromo totale,
 - cromo VI,
 - amianto
- idrocarburi C > 12

Il referto ufficiale è riportato in allegato 1.

Le analisi non evidenziano anomalie di sorta.

Il campione rientra nei limiti di legge di Tab. 1A.

10.0 INDAGINE ELETTROMAGNETICA

Per la stesura per Piano di Sicurezza e Coordinamento è stata effettuata una indagine elettromagnetica, finalizzata alla ricerca di anomalie connesse ad oggetti metallici sepolti, per le valutazioni relative alla bonifica bellica.

L'indagine è stata Commissionata da AIPO alla società specializzata Subsoil s.r.l. di Montecchio Emilia (RE) ed i risultati, cui si rimanda per maggiori dettagli, sono integralmente allegati al PSC.

Nell'ambito della presente relazione geologica risultano certamente interessanti le mappe di conducibilità elettrica realizzate durante l'investigazione, relative alla zona golenale che sarà oggetto di escavazione per il prelievo del materiale necessario alla realizzazione del bancone.

L'immagine seguente mostra le mappe di conducibilità elettrica a diverse quote dal p.c.:
-1 metri, - 2 metri e - 3 metri.

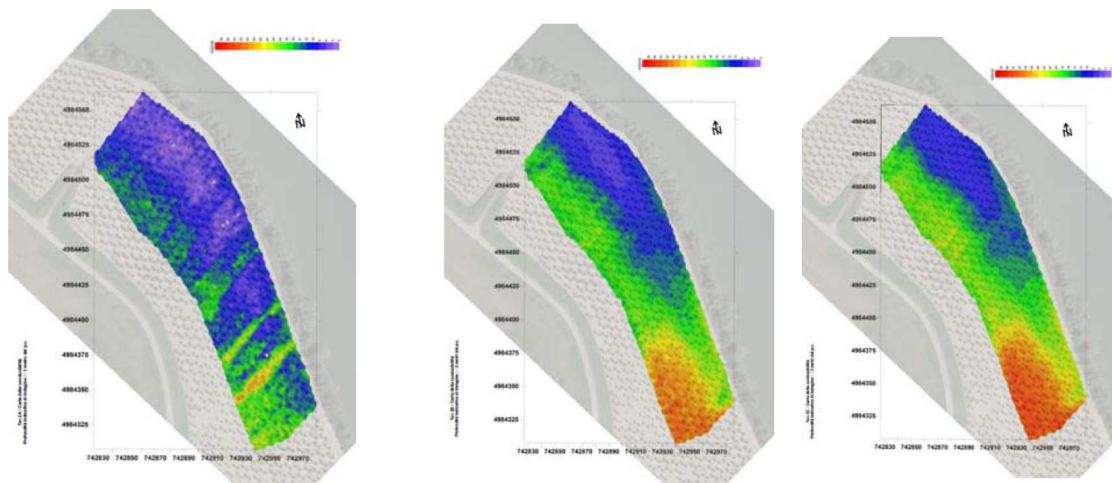


Figura 25: Mappe di conducibilità elettrica dell'area di escavazione a diverse profondità dal p.c. (a sinistra: - 1 metro da p.c. / centrale: - 2 metri dal p.c. / a destra: - 3 metri dal p.c.) (Fonte: Subsoil "Indagine elettromagnetica – rapporto tecnico" – aprile 2019)

Il colore blu indica conducibilità elettriche con valori variabili tra 2 ed 11 mS/m, associabili a depositi di natura sabbiosa e ghiaiosa.

Il colore verde comprende valori di conducibilità elettrica tra 12 e 25 mS/m, che indicano una diminuzione granulometria, con il passaggio a sabbie fini prevalenti, con frazione limoso argillosa.

Infine la colorazione rossa indica valori di conducibilità elettrica variabili tra 25 e 40 mS/m ed è associabile a terreni con una significativa percentuale di limi ed argille.

Le mappe di figura 25 evidenziano una dominanza in superficie di terreni sabbiosi, come per altro osservato durante i rilievi di terreno e nel campionamento per l'analisi chimica.

A profondità variabili da 2 a 3 metri dal p.c. si evidenzia una differenziazione litologica, con un passaggio dalle sabbie, che sono prevalenti nella zona nord vicino al corso del fiume, fino a depositi con maggiore componente limoso-argillosa verso sud, avvicinandosi all'argine.

Il range granulometrico è in linea con quanto descritto nei paragrafi precedenti, come anche l'aumento della componente fine in profondità, allontanandosi dall'alveo attivo.

11.0 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE ED INDICAZIONI PROGETTUALI

La presente relazione ha lo scopo di illustrare e dettagliare le caratteristiche geologiche, idrogeologiche e sismiche del tratto di territorio in sponda destra del Po di Goro, in località Coronella Stremendi del Comune di Berra (FE), a supporto del progetto dei lavori di realizzazione di un bancone per evitare il pericolo di fontanazzi in destra del Po di Goro, tra gli stanti 133 e 135 (FE-14293).

Lungo l'arginatura destra del Po di Goro, nella tratta interessata, anche in condizioni di non elevate quote idrometriche, si manifestano intensi fenomeni di filtrazione e fontanazzi a piano campagna con il conseguente rischio di collasso delle arginature per sifonamento.

L'intervento prevede la costruzione lato campagna di un bancone di appesantimento, per un potenziamento del rilevato arginale al fine di migliorare la resistenza del manufatto nei riguardi dei fenomeni di filtrazione e di sifonamento nella tratta interessata.

Il materiale da utilizzare per il bancone verrà prelevato in loco, nell'area golenale oltre l'argine, con uno scavo della profondità massima di 2-3 metri dal p.c., per un volume complessivo di circa 25.000 mc di scavo e riporto (figura 3).

L'altezza massima del riporto per il bancone di appesantimento arginale è dell'ordine di 2,0 – 2,5 metri.

L'elemento geomorfologico caratterizzante il territorio è il Po di Goro, con le sue imponenti arginature (figura 4).

Il territorio è caratterizzato da quote medie comprese tra circa -2 m e + 2 m s.l.m. Le quote degli argini sono circa 9,7-9,8 metri s.l.m. mentre la piana prossima agli argini

raggiunge quote minime intorno ai 0 m s.l.m e massime intorno a 1,5 m s.l.m.. La golena interna agli argini presenta quote comprese tra 3 e 4 m s.l.m.

A sud del Canale Bianco, i cui argini costituiscono un rilevato fino a 1 m s.l.m., la piana raggiunge quote al di sotto del livello del mare (fino a -3 m s.l.m.).

L'intero areale di intervento ricade, geologicamente, nel Subsistema di Ravenna - Unità di Modena (Olocene).

I depositi affioranti nell'intorno dell'area di interesse, sono riconducibili a sistemi deposizionali deltizi; in particolare, si osservano i depositi sabbiosi di canale distributore del Po di Goro che passano lateralmente a depositi fini di piana interdistributrice.

L'alveo inciso attuale del fiume Po è classificato *“b1 – depositi alluvionali in evoluzione” (Olocene)*. Si tratta in prevalenza di sabbie, con subordinati limi argillosi attualmente in evoluzione in alveo e nelle aree adiacenti interessate dalle piene.

In sintesi l'alveo inciso è caratterizzato dalla presenza di depositi sabbiosi (sabbie da medie a fini di riempimento di canale distributore – figura 7) che passano, verso l'esterno, prima a sabbie e limi di argine e di rotta di canale, fino ad argille e limi e torbe di piana.

Questo dato è stato confermato anche dalle indagini elettriche effettuate dalla Soc. Subsoil per le valutazioni sulla bonifica bellica.

A questi elementi vanno aggiunti i rilevati arginali, di origine antropica e generalmente realizzati con limi e limi sabbiosi poco compressibili.

Dal punto di vista geologico e geologico tecnico nella zona del bancone di appesantimento i primi 20 metri sono caratterizzati da prevalenti limi ed argille, talora

organiche, con possibili lenti di spessore massimo circa di 1-2 metri di sabbie e sabbie limose.

In generale nei primi 2-4 metri si trovano lenti di depositi poco addensati, che passano lateralmente ad argille limose e limi argillosi consistenti.



Figura 26: Documentazione fotografica del saggio manuale nella zona della golena, costituito da sabbie fini di colore marrone.

Dal punto di vista idrogeologico la porzione superiore del sottosuolo è caratterizzata da litologie a permeabilità da media a molto bassa; in queste condizioni l'acquifero superficiale è generalmente poco produttivo e spesso discontinuo, connesso alla geologia locale.

Nel territorio di Berra la soggiacenza della falda varia mediamente da 1-2 a 3-4 metri, in base alle zone, nonché chiaramente in relazione al periodo dell'anno ed all'annata meteorologica.

Nella zona di interesse, in base ai dati disponibili sia nella stagione autunnale che al termine del periodo estivo, la falda è prossima al piano campagna con valori dell'ordine di 1,00-1,50 metri dal p.c.



Figura 27: Piede esterno dell'argine nell'areale di intervento, con evidenti segnali di fuoriuscite di acqua.

Dal punto di vista della pericolosità sismica locale il Comune di Berra era stato inserito in classe sismica 4 con OPCM 3274; tale classificazione è stata recentemente rivista dalla Regione Emilia Romagna che ha inserito il comune in classe sismica 3.

La classificazione non modifica l'entità dei picchi di accelerazione previsti dalla zonizzazione del territorio Italiano, che nel caso specifico rimangono comunque bassi / molto bassi e si attestano su valori compresi tra 0.0708 g e 0.0626 g.

Questi valori di base, se moltiplicati per il fattore di amplificazione stratigrafica F.A. caratteristico del settore in esame non raggiungono in nessun caso il valore limite pari a 0.1 g indicato nella DGR2193/2015 al punto 2 del paragrafo 1 – Allegato A3 come soglia per il possibile innesco dei fenomeni di liquefazione.

In queste condizioni, secondo quanto indicato nella normativa di riferimento, si può assumere che, anche in presenza dei caratteri predisponenti (presenza di terreni incoerenti, sciolti, saturi, proprio come nel caso in questione) le probabilità che si manifestino fenomeni di liquefazione sono scarse o nulle.

Una ulteriore verifica effettuata nell'ambito della presente relazione ha riguardato il problema della subsidenza, storicamente presente in queste aree per molteplici fattori (abbassamenti della falda freatica per fini di bonifica, abbassamenti dei livelli piezometrici di falde a grande profondità, causati da emungimenti di acqua e gas per lo sfruttamento degli idrocarburi, abbassamenti dei livelli piezometrici di falde a bassa e media profondità causati da emungimenti di acqua per scopi industriali agricoli e civili, subsidenza naturale come ad esempio la compattazione dei depositi recenti).

I rilievi dei cedimenti del suolo monitorati da ARPAE Regione Emilia Romagna a partire dal 1992 al 2016 (figura 23) mostrano valori di abbassamento del suolo, variabili da 7-10 mm/anno a circa 2-2,5 mm.

L'andamento che apparentemente si manifesta è quindi quello di una progressiva diminuzione della subsidenza, con valori contenuti (0-2,5 mm negli ultimi anni).

L'altezza massima del riporto per la realizzazione del bancone è dell'ordine di 2,0 – 2,5 metri, quindi in generale contenuta.

I terreni del sottofondo, come dettagliato nella relazione, sono a prevalente natura fine (limi, argille, con anche lenti di torbe), poco consistenti e compressibili.

E' quindi probabile che in sede di realizzazione dell'opera si svilupperanno da subito i cedimenti a breve termine, connessi al progressivo aumento del carico litostatico ed alle operazioni di compattazione.

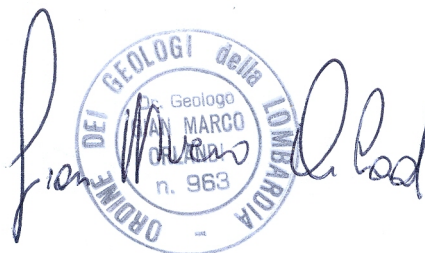
Sarà quindi necessario prevedere nel capitolato dei lavori l'obbligo per l'impresa di provvedere alle operazioni di ricarica, per il raggiungimento ed il mantenimento delle quote di progetto fino al collaudo dei lavori stessi.

Nel tempo potranno svilupparsi i cedimenti di lungo termine, che però dovrebbero avere entità contenute e non tali da pregiudicare la funzionalità dell'intervento, anche in considerazione del basso valore di subsidenza del suolo registrato negli ultimi anni.

Milano, aprile 2019

STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA SPADA

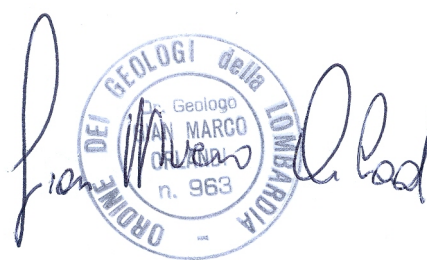
Dott. Geol. Gian Marco Orlandi



The image shows a handwritten signature in blue ink, which appears to be 'Gian Marco Orlandi'. Overlaid on the signature is a circular blue ink stamp. The stamp contains the text 'ORDINE DEI GEOLOGI della LOMBARDIA' around the perimeter. In the center, it reads 'Geologo', 'GIAN MARCO ORLANDI', and 'n. 963'.

ALLEGATI

Allegato n° 1: Analisi chimica dei terreni



The image shows a handwritten signature in blue ink, which appears to be 'Gian Marco Orlandi', written over a circular professional stamp. The stamp is also in blue ink and contains the following text: 'ORDINE DEI GEOLOGI della LOMBARDIA' around the perimeter, 'Geologo' at the top center, 'GIAN MARCO' in the center, and 'n. 963' at the bottom center.

**Spett.: STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA SPADA,
ORLANDI E BIANCHI
VIA DONIZETTI, 17
24020 RANICA (BG)**

Rapporto di Prova N. 2809 - 2019 del 23/04/2019

Campionamento eseguito da: Cliente
Data ricevimento: 05/04/19
Categoria Merceologica: TERRENI
Descrizione Campione: Sabbie - Berra (FE)
Data inizio prova: 08/04/19
Data di Campionamento: 02/04/19
Data termine prova: 23/04/19

Prova	UM	Valore	Inc.	Limite	Metodica
Frazione inferiore a 2 mm*	% m/m	80,8			CA PO 8 23 2011 Rev. 1
(#) Amianto*	mg/kg s.s.	< 100		Max 1000	(20) DM 06/09/1994 GU N. 288 10/12/1994 All. 1 Met.B
Arsenico	mg/kg s.s.	8	± 5	Max 20	(20) UNI EN 13657:2004 + APAT CNR IRSA 3020 Man 29 2003
Cadmio	mg/kg s.s.	< 0,8		Max 2	(20) UNI EN 13657:2004 + APAT CNR IRSA 3020 Man 29 2003
Cobalto*	mg/kg s.s.	8		Max 20	(20) UNI EN 13657:2004 + APAT CNR IRSA 3020 Man 29 2003
Cromo	mg/kg s.s.	44	± 21	Max 150	(20) UNI EN 13657:2004 + APAT CNR IRSA 3020 Man 29 2003
Cromo esavalente	mg/kg s.s.	< 2		Max 2	(20) EPA 3060A 1996 + EPA 7196A 1992
Mercurio	mg/kg s.s.	< 0,1		Max 1	(20) EPA 7473 2007
Nichel	mg/kg s.s.	57	± 35	Max 120	(20) UNI EN 13657:2004 + APAT CNR IRSA 3020 Man 29 2003
Piombo	mg/kg s.s.	9	± 4	Max 100	(20) UNI EN 13657:2004 + APAT CNR IRSA 3020 Man 29 2003
Rame	mg/kg s.s.	19	± 9	Max 120	(20) UNI EN 13657:2004 + APAT CNR IRSA 3020 Man 29 2003
Zinco	mg/kg s.s.	56	± 26	Max 150	(20) UNI EN 13657:2004 + APAT CNR IRSA 3020 Man 29 2003
Idrocarburi con C>12	mg/kg s.s.	< 10		Max 50	(20) UNI EN 14039:2005

Documento con firma digitale avanzata ai sensi della normativa vigente

Pagina 1 di 2

**Committente: STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA SPADA,
ORLANDI E BIANCHI**

Rapporto di Prova N. 2809 - 2019 del 23/04/2019

(20) D.Lgs. 152/2006 SO GU n. 88 del 14.04.2006 Tab. 1/A All. 5 al Titolo V - Siti ad uso residenziale - SO alla G.U. n. 88 del 14.04.2006

Giudizio di conformità - non oggetto di accreditamento ACCREDIA

Terreno conforme ai limiti della Tabella 1A Allegato 5 alla parte quarta del Decreto Legislativo n° 152/2006. Siti ad uso Verde pubblico, privato e residenziale.

Note:

Il rapporto riguarda esclusivamente il campione sottoposto a prova e non può essere riprodotto parzialmente, salvo approvazione scritta da parte di questo Laboratorio. Il campione viene conservato in laboratorio per 10 gg dopo la data di stampa. L'incertezza di misura, espressa come incertezza estesa, è stata ottenuta con fattore di copertura $K=2$, corrispondente ad un intervallo di fiducia di circa il 95%. UM=Unità di Misura; Inc.=Incertezza estesa; (#)=Prova subappaltata; A=Assente, P=Presente; per il parametro Colore 0 = Conforme - 1= Non conforme. Eventuali informazioni inerenti il campionamento, non riportate nel presente rapporto, sono presenti nel verbale di prelievo qualora esso sia effettuato da un tecnico di Consulenze Ambientali SpA. Sui Rapporti di prova riferiti ad analisi effettuate ai fini dell'autocontrollo si precisa che il numero di iscrizione al Registro Regione Lombardia è 030016301001. Eventuali prove microbiologiche presenti sul Rapporto di prova sono eseguite in piastra singola in conformità alla ISO 7218, se eseguite su più diluizioni. Se alla voce "Campionamento eseguito da" compare la dicitura Tecnico/i C.A. si intende Tecnico/i Consulenze Ambientali SpA. CA PO = Procedura interna del laboratorio Consulenze Ambientali SpA. Il segno "<" nella colonna del risultato indica che la sostanza in questione non è quantificabile perché al di sotto del limite di quantificazione del laboratorio. In merito alle sommatorie: i valori singoli che non raggiungono il limite di quantificazione non sono stati considerati; le sommatorie, ove non diversamente specificato, vengono eseguite secondo la convenzione Lower Bound (tale approccio prevede di considerare il contributo alla sommatoria di ogni addendo non rilevabile pari a zero). Per la prova "Cianuri totali" metodo M.U. 2251:2008, il risultato è stato corretto per il fattore di recupero.

* = Prova/Campionamento non accreditata/o da ACCREDIA

Responsabile di Laboratorio

Dr. Raffaella Gibellini

Chimico

Ordine dei Chimici Provincia di Bergamo
Iscrizione n° 164

Documento con firma digitale avanzata ai sensi della normativa vigente

Pagina 2 di 2