

**INTERVENTI PREVISTI DAL PROGRAMMA DI ATTUAZIONE DEL PNRR
MISSIONE 2, COMPONENTE 4, INVESTIMENTO 3.3 “RINATURAZIONE DELL’AREA DEL PO”
FINANZIATO DALL’UNIONE EUROPEA – NEXTGENERATIONEU**

PROGETTO DI FATTIBILITA’ TECNICO ED ECONOMICA

**INTERVENTO N. 27 - KM 406 – L - ER
ROCCABIANCA (PR), MOTTA BALUFFI E TORRICELLA DEL PIZZO (CR)**

CODICE ELABORATO:

PF.0.2.7.GEO.GE.R.T.0.0.1.A

TITOLO ELABORATO:

Relazione geologica e geotecnica

SCALA	COMMESSA	WBS			CODICE			REVISIONE
-	16299	Fase	Scheda	Opera	Argomento	Tipo. Elab.	Progressivo	Rev.
		PF	027	GEO	GE	RT	001	A

PROGETTAZIONE

Raggruppamento temporaneo di professionisti

Mandataria



Mandanti



STAZIONE APPALTANTE

**Agenzia Interregionale
per Il Fiume Po**
Strada G. Garibaldi n.75
43121 Parma (PR)

**Responsabile Unico
del Procedimento**
Ing. Mirella Vergnani

Responsabile dell'integrazione delle prestazioni specialistiche
Ing. Stefano Luca Possati

Coordinatore della Sicurezza in fase di progettazione
Ing. Andrea Piacenti

**Responsabile
dell'elaborato**
ENGEO S.r.l.
Geol. Francesco Cerutti

A	07/08/2023	Prima emissione	M. Raimondo	F. Cerutti	S.L. Possati
REV	Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO Progetto di fattibilità tecnica ed economica	
INTERVENTO N. 27 – KM 406 – L - ER ROCCABIANCA (PR), MOTTA BALUFFI E TORRICELLA DEL PIZZO (CR)	
<i>Codice elaborato:</i>	PF.0.2.7.GEO.GE.R.T.0.0.1.A
<i>Titolo elaborato:</i>	Relazione geologica e geotecnica

pag. 1 / 36

Sommario

1	PREMESSE.....	2
1.1	Riferimenti normativi	2
1.2	Intervento in progetto	3
2	GEOLOGIA.....	5
2.1	Inquadramento geologico.....	5
2.1.1	Subsidenza.....	8
2.1.2	Geosito Lanca di Gerole	10
2.2	Caratteri geologici locali.....	12
3	GEOMORFOLOGIA.....	14
3.1	Inquadramento geomorfologico.....	14
3.1	Caratteri geomorfologici locali.....	16
4	IDROGEOLOGIA	19
4.1	Inquadramento idrogeologico.....	19
4.2	Caratteri idrogeologici locali	24
5	SISMICA.....	25
5.1	Sismicità del territorio.....	25
5.2	Classificazione sismica	27
5.3	Scenario di pericolosità sismica locale	30
6	GEOTECNICA	31
7	ALLEGATI	32
Allegato A	Carta geologica	33
Allegato B	Carta geomorfologica	34
Allegato C	Carta idrogeologica	35

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO	
Progetto di fattibilità tecnica ed economica	
INTERVENTO N. 27 – KM 406 – L - ER	
ROCCABIANCA (PR), MOTTA BALUFFI E TORRICELLA DEL PIZZO (CR)	
<i>Codice elaborato:</i>	PF.0.2.7.GEO.GE.R.T.0.0.1.A
<i>Titolo elaborato:</i>	Relazione geologica e geotecnica

1 **PREMESSE**

La presente relazione descrive lo studio geologico e geotecnico effettuato a supporto del progetto di fattibilità tecnica ed economica dell'intervento di cui alla scheda n. 27, nell'ambito del PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - Rinaturazione dell'area del Po.

Detto studio nel rispetto della normativa vigente, richiamata nel successivo paragrafo 1.1, e, in particolare, delle "Norme tecniche per le costruzioni", di cui al Decreto ministeriale 17 gennaio 2018, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 8 del 20 febbraio 2018, ha comportato lo svolgimento delle seguenti attività:

1. raccolta e analisi critica di tutta la documentazione geologica, geotecnica e sismica pregressa;
2. rilevamento geologico e geomorfologico di campagna;
3. modellazione geologica del sito oggetto d'intervento, sulla base dei dati di cui ai punti precedenti;
4. caratterizzazione delle forme e dei processi morfologici che definiscono l'area di studio;
5. caratterizzazione dei complessi idrogeologici presenti in zona, con definizione della struttura degli acquiferi e della dinamica delle acque sotterranee;
6. macrozonazione sismica e analisi della sismicità storica dell'area sulla base dei cataloghi parametrici;
7. microzonazione sismica di primo livello della porzione di territorio indagata;
8. correlazione delle unità definite nel modello geologico con i parametri geotecnici e definizione preliminare del modello geotecnico del sottosuolo;
9. stesura della presente relazione geologica e geotecnica a corredo della quale sono stati redatti: i seguenti allegati (consultabili in calce alla relazione stessa):
 - Allegato A - Carta geologica
 - Allegato B – Carta geomorfologica
 - Allegato C – Carta idrogeologica

1.1 Riferimenti normativi

- Circolare 21/01/2019 n° 7 C.S.LL.PP. – Istruzioni per l'applicazione dell' "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le costruzioni" di cui al DM 17.01.2018
- D.G.R Emilia-Romagna 23/07/2018 n° 1164 - Aggiornamento della classificazione sismica di prima applicazione dei Comuni dell'Emilia-Romagna
- Decreto ministeriale 17/01/2018 – Norme Tecniche per le Costruzioni
- Decreto ministeriale 14/01/2008 – Testo unitario – Norme Tecniche per le Costruzioni Allegati A e B
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n° 36 del 27/07/2007

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO	
Progetto di fattibilità tecnica ed economica	
INTERVENTO N. 27 – KM 406 – L - ER	
ROCCABIANCA (PR), MOTTA BALUFFI E TORRICELLA DEL PIZZO (CR)	
<i>Codice elaborato:</i>	PF.0.2.7.GEO.GE.R.T.0.0.1.A
<i>Titolo elaborato:</i>	Relazione geologica e geotecnica

pag. 3 / 36

- D.G.R. Lombardia 30/03/2016 – n° x/5001 linee di indirizzo costruzioni in zona sismica
- L.R. Lombardia n° 33 del 12/10/2015 - Disposizioni in materia di opere o di costruzioni e relativa vigilanza in zona sismiche
- Delibera n° 2129 del 11/07/2014 - Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia
- L.R. Emilia-Romagna n° 19 del 30/10/2008 - Norme per la riduzione del rischio sismico
- O.P.C.M. n° 3519 (2006) - Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone
- O.P.C.M. n° 3274 (2003) - Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica
- Eurocodice 8 (1998) – Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture. Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (UNI-EN 1998-5:2005);
- Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole Generali – UNI-EN 1997-1:2013
- Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo UNI EN 1997-2:2007

1.2 Intervento in progetto

Il progetto in esame prevede l'abbassamento di una porzione del pennello di navigazione posto in destra idraulica, in corrispondenza della progressiva chilometrica 405. La lunghezza complessiva del tratto di pennello su cui intervenire è pari a circa 317 m, con un abbassamento della quota di sommità dell'ordine di 3 m (da circa 27 m s.l.m. a 24 m s.l.m.).

Tali lavori saranno effettuati al fine di ridurre l'artificialità dell'alveo, consentendo la riattivazione e riapertura di lanche e rami abbandonati, che avverrà grazie all'attività erosiva del corso d'acqua. Gli scavi dei terreni, infatti, sono stati limitati al massimo, contenendoli entro un volume complessivo pari a circa 38'000 m³, tutto riutilizzato in loco.

Contestualmente agli interventi idraulico-morfologici, ne saranno effettuati di ambientali-naturalistici, quali:

- la riqualificazione di aree umide
- l'esecuzione di un rimboschimento con corredo floristico riconducibile agli habitat di interesse comunitario 92A0 e 91F0
- delle azioni finalizzate al controllo delle specie alloctone invasive.

Tutti i lavori sopradescritti saranno effettuati nei Comuni di Motta Baluffi e Torricella del Pizzo (CR), in Regione Lombardia, seppure il territorio delimitato nella scheda si estenda anche in Emilia-Romagna, nel Comune di Roccabianca (PR).

Coerentemente con quanto disposto dalle NTC 2018 (Cap. 2.4), in accordo con i Progettisti, sono stati definiti i seguenti parametri di progetto:

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO Progetto di fattibilità tecnica ed economica	
INTERVENTO N. 27 – KM 406 – L - ER ROCCABIANCA (PR), MOTTA BALUFFI E TORRICELLA DEL PIZZO (CR)	
<i>Codice elaborato:</i>	PF.0.2.7.GEO.GE.R.T.0.0.1.A
<i>Titolo elaborato:</i>	Relazione geologica e geotecnica

pag. 4 / 36

- VITA NOMINALE: “Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale” $V_n \geq 50$ anni (come definito dalla Tab. 2.4.I delle N.T.C. 01/2018);
- CLASSE D'USO: Classe II: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
- PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA: Considerata la classe d'uso III, il coefficiente d'uso risulta $C_u=1$ (cfr. Tab. 2.4.II delle N.T.C. 01/2018), e di conseguenza la Vita di Riferimento dell'opera in progetto è $VR = V_n \cdot C_u = 50 \cdot 1 = 50$ anni.

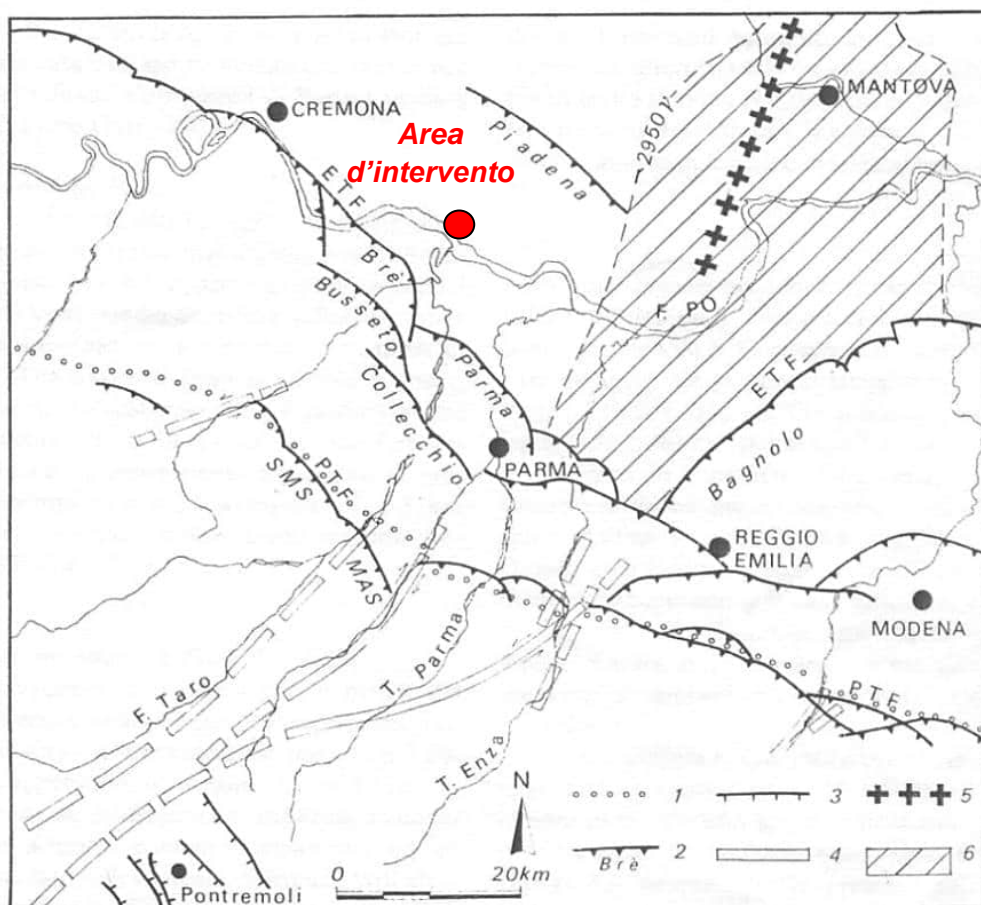
2 GEOLOGIA

2.1 Inquadramento geologico

Il territorio in esame appartiene al settore centrale della Pianura Padana la cui evoluzione geologica risulta connessa allo sviluppo della catena alpina e di quella appenninica, costituendo, sin dal tardo Cretacico, la parte frontale delle due sistemi ad opposta convergenza. Dal Pliocene ad oggi tale depressione, dal profilo asimmetrico, con minore inclinazione del lato settentrionale, è stata progressivamente colmata da sedimenti dapprima marino-transizionali e quindi strettamente continentali.

Dal punto di vista strutturale l'area oggetto di studio si inserisce in un contesto geodinamico caratterizzato da una tettonica a stile compressivo, che ha determinato un generale raccorciamento del margine appenninico e dell'edificio padano.

Tale raccorciamento si è prodotto attraverso due importanti fasci paralleli di strutture di embricazione sepolte aventi direzione NW-SE e vergenza verso NE (cfr. Figura 1 e Figura 2), le cui superfici di distacco interessano la copertura mesozoica e terziaria



1) Margine morfologico appenninico. 2) Strutture Agip citate nel testo. 3) Faglie normali della fossa tettonica della Lunigiana. 4) Linee trasversali di ordine maggiore. 5) Asse di alto del «basamento magnetico». 6) Massimo dell'anomalia magnetica residua (oltre 2950 γ).

Figura 1 – Schema strutturale del margine e del fronte appenninico

Il fascio più settentrionale (*External Thrust Front* = ETF), coincidente con l'allineamento Cremona-Parma-Reggio Emilia, appartiene all'arco delle "*Pieghe Emiliane*", che dall'Appennino vogherese si estendono fino alla linea del Sillaro: esso risulta costituito da un sistema di *thrust* ciechi ed arcuati in pianta, interessati da discontinuità trasversali con probabile componente di movimento trascorrente.

Il fascio meridionale (*Pedeapenninic Thrust Front* = PTF), coincidente con il margine morfologico appenninico, si sviluppa nel sottosuolo in corrispondenza dei terrazzi pre-wurmiani. Anche questo fronte risulta coinvolto da discontinuità trasversali (linee) coincidenti con alcuni corsi d'acqua appenninici (Stirone, Taro, Baganza ed Enza), che delimitano settori a diverso comportamento tettonico-sedimentario.

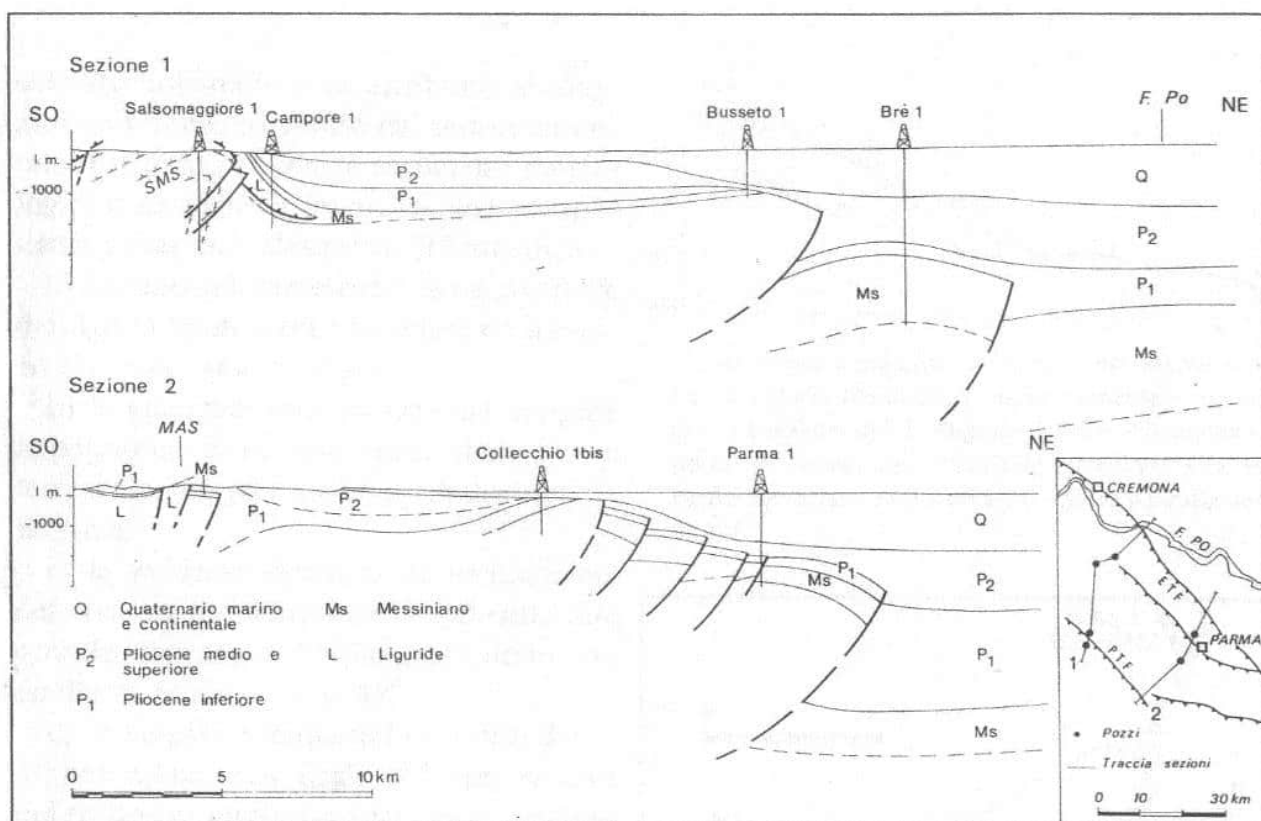


Figura 2 – Sezioni geologiche (da Pieri e Groppi, 1981). SMS = Struttura di Salsomaggiore; MAS = Struttura di M. Ardone

L'area d'intervento risulta ubicata a nord dell'ETF, fatto che giustifica l'elevato spessore dei depositi continentali.

L'evoluzione del bacino padano ha portato alla formazione di una successione di depositi a carattere regressivo, con alla base sabbie e peliti torbiditiche seguite da un prisma sedimentario fluvio-deltizio progradante, ricoperto al tetto da depositi continentali. Questo riempimento non è avvenuto in maniera progressiva e continua, ma è il risultato di eventi tettonico-sedimentari "parossistici", separati nel tempo da periodi di marcata subsidenza bacinale e movimenti ridotti delle strutture compressive.

L'interpretazione dei profili sismici eseguiti nel corso degli anni dall'AGIP ha permesso di riconoscere tre direzioni di progradazione: la prima, assiale, est-vergente, connessa al paleodelta del Po; le altre

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO Progetto di fattibilità tecnica ed economica	
INTERVENTO N. 27 – KM 406 – L - ER ROCCABIANCA (PR), MOTTA BALUFFI E TORRICELLA DEL PIZZO (CR)	
<i>Codice elaborato:</i>	PF.0.2.7.GEO.GE.R.T.0.0.1.A
<i>Titolo elaborato:</i>	Relazione geologica e geotecnica

pag. 7 / 36

due trasversali: una sud-vergente, originata dai sistemi deltizi ad alimentazione alpina e una nord-vergente, originata dai sistemi deltizi ad alimentazione appenninica.

Il territorio studiato ricade all'interno del sistema deposizionale pianura alluvionale di alimentazione assiale.

Le principali classi di sistemi deposizionali possono essere raggruppate come segue:

- Piana alluvionale ad alimentazione assiale (paleo-Po)
- Conoide alluvionale e piana alluvionale ad alimentazione alpina e appenninica
- Delta ad alimentazione assiale (paleo Po)
- Delta conoide alpino ed appenninico
- Piana costiera
- Piattaforma sommersa
- Scarpate sottomarina
- Piana bacinale.

Sulla base dei moderni concetti di stratigrafia sequenziale, ossia del metodo stratigrafico che utilizza le discontinuità e le superfici di continuità ad esse correlabili per suddividere la successione sedimentaria in sequenze deposizionali sono state riconosciute due sequenze principali, in risposta ad altrettanti eventi tettonici di sollevamento regionale, così denominate:

- Supersintema del Quaternario Marino (affiorante nella fascia collinare)
- Supersintema Quaternario Continentale

L'organizzazione verticale delle facies di questi sistemi deposizionali è costituita dall'alternanza ciclica di corpi sedimentari a granulometria fine, con corpi sedimentari a granulometria prevalentemente grossolana, indotta dalle disattivazioni e dalle successive riattivazioni dei sistemi deposizionali.

All'interno dei Supersintemi 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).

In particolare, il settore di territorio oggetto di studio ricade nella fascia di bassa pianura, costituita da una successione di sedimenti quaternari continentali riferibili alla deposizione operata nel tempo dal fiume Po con modesto contributo dei corsi d'acqua alpini e appenninici.

Lo spessore dei depositi continentali nella zona in esame è superiore ai 500 metri.

Trattasi, in generale, di depositi prevalentemente sabbiosi, ricoperti da una coltre limosa discontinua, tipici della piana a meandri. L'ambiente deposizionale può essere sia di paleoalveo del fiume Po che di barra fluviale

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO Progetto di fattibilità tecnica ed economica	
INTERVENTO N. 27 – KM 406 – L - ER ROCCABIANCA (PR), MOTTA BALUFFI E TORRICELLA DEL PIZZO (CR)	
Codice elaborato:	PF.0.2.7.GEO.GE.R.T.0.0.1.A
Titolo elaborato:	Relazione geologica e geotecnica

Nel primo caso la successione stratigrafica è tipicamente caratterizzata da sabbie con ghiaietto in facies di canale attivo, chiuse verso l'alto da una successiva *fining-upward* di riempimento canale (in sequenza sabbie, limi e, raramente, argille).

Quella dei depositi di barra fluviale è, invece, composta da sabbie, intervallate da livelli di spessore centimetrico di limo.

2.1.1 Subsidenza

Un fenomeno da valutare in contesti territoriali quale quello in esame è la subsidenza che consiste in un lento processo di abbassamento del suolo, generalmente, causato da fattori geologici (compattazione dei sedimenti, tettonica, isostasia), ma che, negli ultimi decenni, è stato localmente aggravato dall'azione dell'uomo.

La subsidenza naturale, generalmente, è stimata pari a qualche millimetro l'anno, pertanto, le sue conseguenze sono relativamente ridotte, manifestandosi, perlopiù, in tempi molto lunghi e su vasti areali. Diverso è il caso della subsidenza indotta e/o accelerata da cause antropiche (estrazione di fluidi dal sottosuolo o bonifiche), che raggiunge valori da dieci a oltre cento volte maggiori, e i suoi effetti si manifestano in tempi brevi determinando, in alcuni casi, la compromissione delle opere e delle attività umane interessate.

Al fine di valutare l'entità della subsidenza nel territorio in esame, si è fatto riferimento a misure derivanti dal telerilevamento effettuato mediante interferometria differenziale SAR, comunemente abbreviata in *DInSAR* (dall'inglese *Differential Interferometry SAR*), che consiste nell'utilizzo di due o più immagini SAR (radar ad apertura sintetica) con il fine di computare un interferogramma per ciascuna coppia, così da rappresentare la variazione in fase tra le due epoche di acquisizione. Questa tecnica può essere utilizzata sia per realizzare modelli digitali di elevazione del terreno che per ottenere mappe spaziali di deformazione, capaci di raggiungere una precisione millimetrica.

In particolare, sono stati consultati i dati catturati da due satelliti gemelli, denominati Sentinel-1A e Sentinel-1B, lanciati dall'Agenzia Spaziale Europea (ESA) per i quali è garantito il libero accesso tramite il programma *Copernicus*.

Così, riguardo al territorio oggetto di studio e al periodo compreso tra gennaio 2016 e novembre 2021, è stato possibile osservare quanto riportato in Figura 3 e in Figura 4.

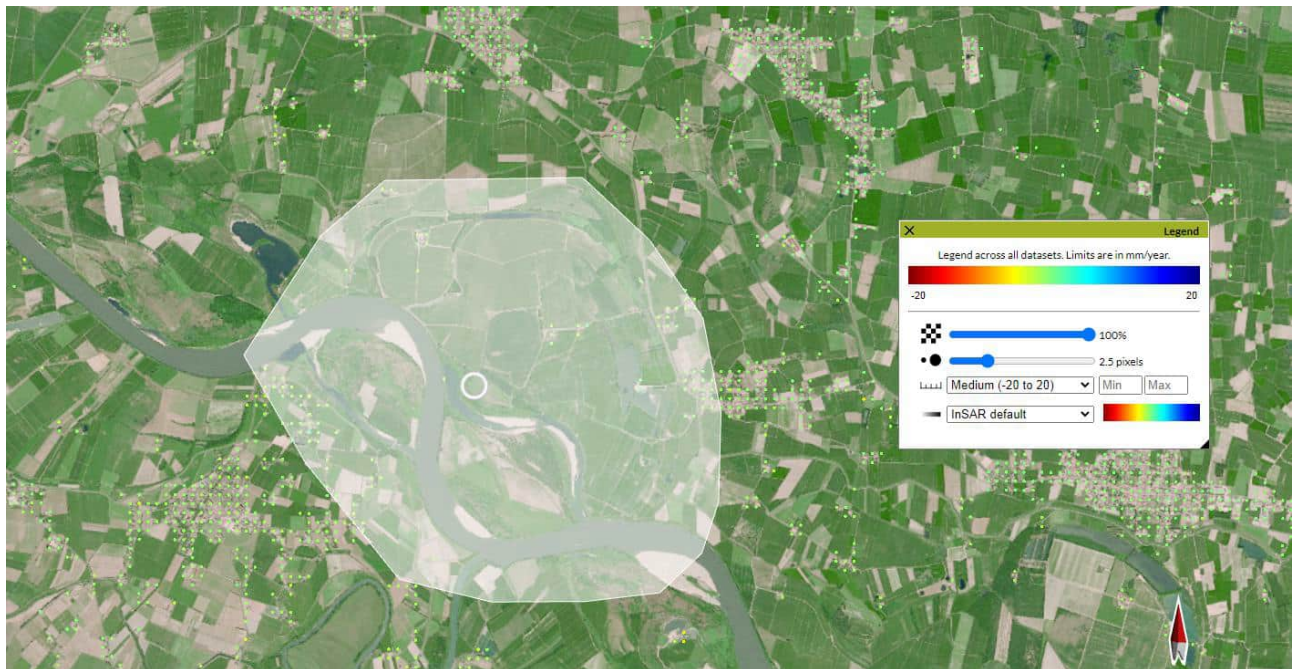


Figura 3 – Ubicazione dei punti di misura interferometrica distinti in base all'entità dei movimenti verticali registrati

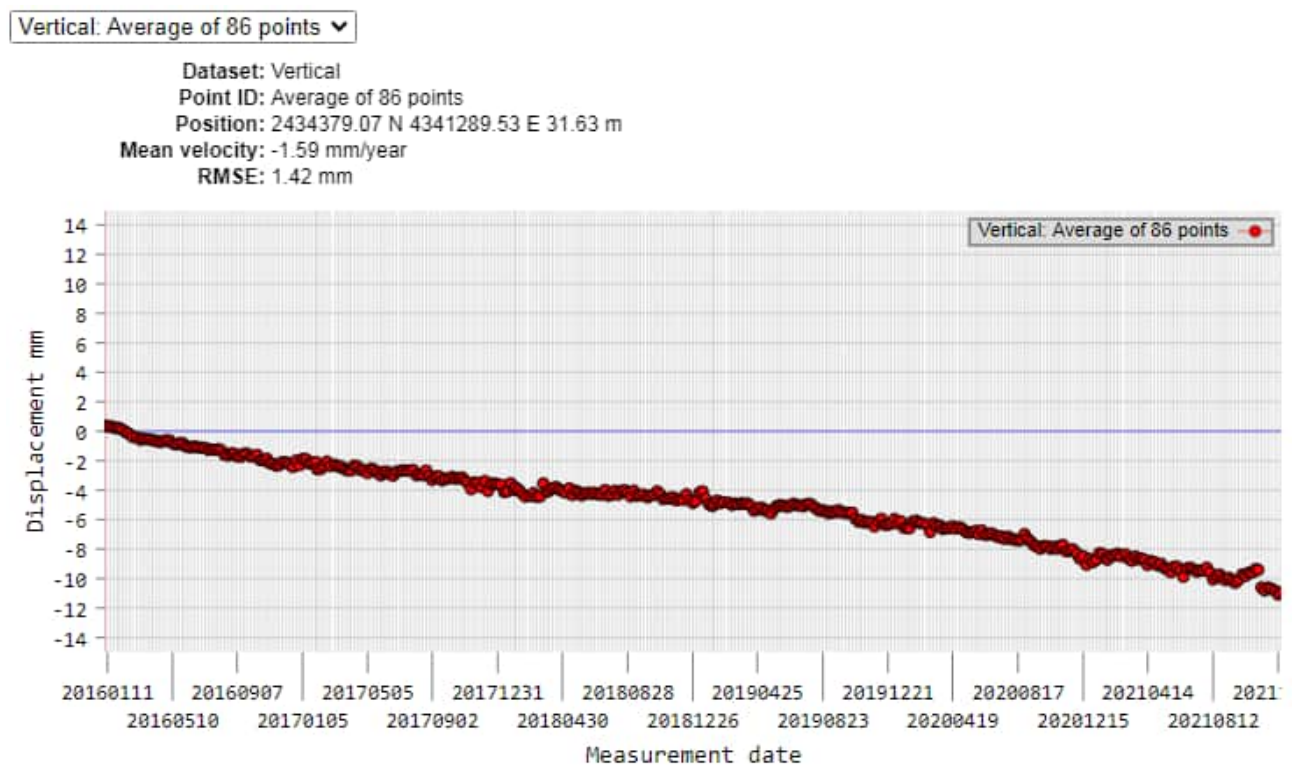


Figura 4– Grafico derivante dalle misure interferometriche relative a 86 punti ubicati all'interno e nell'intorno dell'area oggetto di studio

Dall'esame di tali immagini si evince una subsidenza media costante, nell'ordine dei 1.6 mm/anno; dunque, di entità tale da non comportare problemi particolari per gli interventi in progetto.

2.1.2 Geosito Lanca di Gerole

Gli approfondimenti effettuati hanno consentito di appurare che l'area d'intervento n° 27 ricade parzialmente all'interno del geosito di rilevanza comunitaria Lanca di Gerole. (cfr. Figura 5).

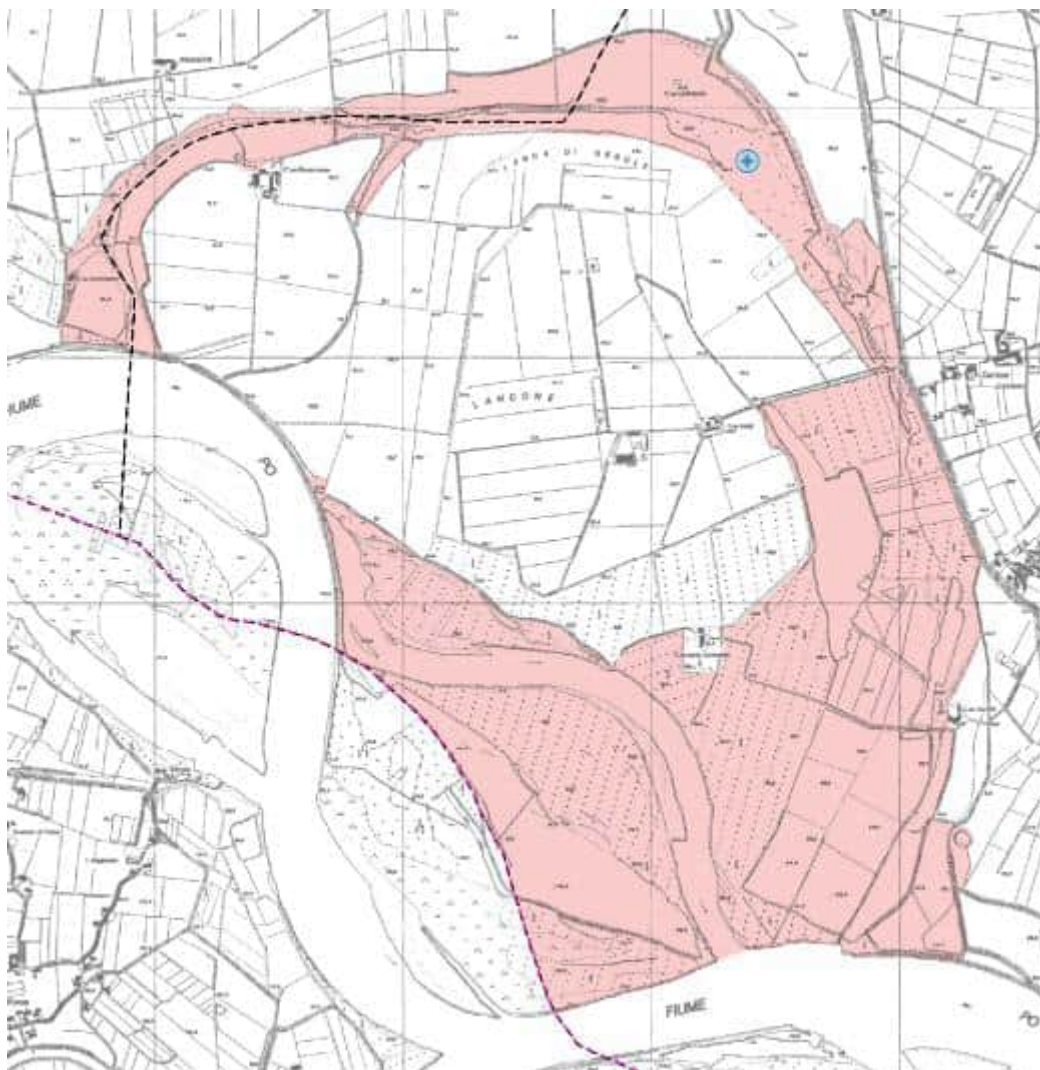


Figura 5 – Stralcio della TAV.24 Geosito n.24 – Lanca di Gerole, tratto da “I Geositi e loro elementi di interesse della Provincia di Cremona” facente parte del PTCP

Di seguito, si riporta la relativa descrizione tratta da “I Geositi e loro elementi di interesse della Provincia di Cremona” facente parte di una specifica Variante di Adeguamento Parziale del PTCP al Piano Territoriale Regionale

L'area denominata “Lanca di Gerole” rappresenta una delle tante aree presenti nel territorio provinciale di Cremona, soggette a regimi di tutela derivanti da leggi e atti di pianificazione regionale; la Riserva naturale “Lanca di Gerole” è stata istituita dalla Regione Lombardia con Determinazione di Consiglio n. 178 del 06.02.2001 e rappresenta un areale di elevato pregio naturalistico tutelato ai sensi dell'art. 11 della L.R 86/83.

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO	
Progetto di fattibilità tecnica ed economica	
INTERVENTO N. 27 – KM 406 – L - ER	
ROCCABIANCA (PR), MOTTA BALUFFI E TORRICELLA DEL PIZZO (CR)	
Codice elaborato:	PF.0.2.7.GEO.GE.R.T.0.0.1.A
Titolo elaborato:	Relazione geologica e geotecnica

Collocata in un tratto golenale del Fiume Po, tra i comuni di Motta Baluffi e Torricella del Pizzo (bassa pianura cremonese), essendo di rilevante interesse naturalistico e paesaggistico, viene inoltre classificata come Sito di Importanza Comunitaria "Lanca di Gerole" (SIC IT20A0013), e Zona a Protezione Speciale "Riserva Regionale Lanca di Gerole" (ZPS IT20A0402) che comprende anche tutto il territorio interno al meandro più esterno.

Il Piano Paesistico della Regione Lombardia lo definisce geosito, a livello puntuale, della provincia di Cremona, con un valore prevalente naturalistico. Sulla base di questi dati, e dall'analisi cartografica, è stato appositamente perimetrato facendo riferimento all'areale di SIC e non a quella della ZPS.

La riserva è composta da due ampi meandri abbandonati dal fiume (disposti concentricamente e a differente stadio evolutivo) e da un paleoalveo già quasi completamente interrto, in parte riattivato da pregresse attività estrattive. Il meandro più esterno è denominato Lanca di Gerole e riceve acqua solo saltuariamente in caso delle piene del fiume; quello più interno è più recente ed è denominato Lanca del Pennello, molto più vicino al Po, da cui riceve le acque. Nel settore sud-est si trova una difesa idraulica presso la quale sorge, invece, un bodrio.

I caratteri generali del territorio non si discostano, sotto il profilo geomorfologico, da quelli della restante parte delle aree perifluviali del principale fiume cremonese, trattandosi di ripiani costituiti da depositi recenti (Olocene). Questi, in genere sabbiosi o limosi, sono caratterizzati dalla presenza di forme del paesaggio relativamente effimere, come paleoalvei a diverso stadio evolutivo (qualche volta a tratti non più percettibili, a causa del loro livellamento e accorpamento ai limitrofi coltivi) derivati dall'abbandono di bracci e anse fluviali.

Come precedentemente accennato, l'area protetta fa parte della piana alluvionale del Po, nel sottoambito geomorfologico delle pianure alluvionali attuali e recenti, all'interno dell'ampia fascia di esondazione che accompagna il corso d'acqua principale. La superficie, pressoché coltivata, digrada verso sud con pendenze dell'ordine dell'1‰ e verso est con inclinazioni ancora inferiori, sottesa da alluvioni medio recenti e attuali, dove prevalgono le litologie sabbiose e sabbioso-limose.

Il Po e la piana costituiscono, naturalmente, gli elementi geomorfologici più importanti, ma una varietà di forme (spesso collegate a processi fluviali) diversifica e arricchisce il territorio; tra queste i bodri e gli altri specchi d'acqua, le lanche e le relative zone umide, gli orli di terrazzo e qualche piccolo corso d'acqua (più o meno artificializzato) associato soprattutto a lanche in avanzato stato di interrimento. L'evoluzione naturale di queste zone, oggi morfologicamente assai rilevanti tende a obliterare la presenza. Alcune piene del fiume Po possono comportare la loro chiusura con i sedimenti di stanca, per cui il loro mantenimento necessita di cospicue azioni antropiche per evitarne l'obliterazione.

Non mancano le morfologie di origine antropica, collegate soprattutto alla presenza di una cava e alle sistemazioni per fini agricoli.

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO Progetto di fattibilità tecnica ed economica	
INTERVENTO N. 27 – KM 406 – L - ER ROCCABIANCA (PR), MOTTA BALUFFI E TORRICELLA DEL PIZZO (CR)	
Codice elaborato:	PF.0.2.7.GEO.GE.R.T.0.0.1.A
Titolo elaborato:	Relazione geologica e geotecnica

ELEMENTI DI INTERESSE

In quanto tale, il geosito analizzato, è caratterizzato da alcuni elementi di interesse dal punto di vista naturalistico, sedimentologico ma soprattutto geomorfologico.

I principali elementi di interesse, che si sviluppano in quest'area sono dati dalle forme relitte che documentano l'evoluzione idraulica e morfologica del fiume, nonché dalle caratteristiche naturalistiche proprie di quest'area ripariale per le quali, per maggiori dettagli, si rimanda al Piano di Gestione del SIC recentemente redatto.

GRADI DI PROTEZIONE

Mentre dal punto di vista esclusivamente di interesse idrogeomorfologico, l'area andrebbe tutelata al livello 1, essendo in essa presenti elementi di riconosciuta importanza naturalistica, vegetazionale e faunistica (e come tali tutelati a livello comunitario come SIC e ZPS), la sua protezione viene posta al Livello di tutela 3. Peraltro, il sito risulta indicato (non arealmente) ed elencato nelle tavole e nei documenti del PTR - PPR della regione Lombardia e normato dall'art. 22 delle NTA degli stessi.

2.2 Caratteri geologici locali

Le caratteristiche geologiche locali sono state rappresentate, alla scala 1:5'000, nella Carta geologica di cui all'Allegato A.

In essa si osserva che, facendo riferimento alla cartografia geologica – Progetto CARG, elaborata secondo i concetti di stratigrafia sequenziale di cui si è già accennato nel paragrafo 2.1, i depositi affioranti nel taglio in esame appartengono sempre al **unità di Modena (AES8a)**, costituita da una successione sedimentaria la cui deposizione è inquadrabile nell'ambito degli eventi alluvionali che hanno caratterizzato gli ultimi 1.500 anni di storia evolutiva.

Trattasi di un'unità di rango gerarchico inferiore, distinta su base morfologica, archeologica e pedostratigrafica, all'interno del **Subsistema di Ravenna**.

I depositi sono costituiti da sabbie e limi stratificati con copertura di limi argillosi o limi sabbiosi. Lo spessore massimo raggiunto dall'unità è inferiore a 20 m. Il profilo di alterazione varia da qualche decina di centimetri fino a un metro.

La granulometria è in stretto rapporto con l'energia delle correnti fluviali che li hanno originati: i sedimenti grossolani sono il risultato di una deposizione avvenuta in ambiente di canale fluviale, di argine o di rotta, mentre, quelli fini di una sedimentazione per tracimazione avvenuta in zone distali dall'alveo attivo (piana inondabile).

La stratificazione è di tipo cuneiforme.

Il tetto è rappresentato dalla superficie deposizionale, per gran parte relitta, corrispondente al piano topografico. Il contatto di base è discordante sulle unità più antiche.

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO Progetto di fattibilità tecnica ed economica	
INTERVENTO N. 27 – KM 406 – L - ER ROCCABIANCA (PR), MOTTA BALUFFI E TORRICELLA DEL PIZZO (CR)	
<i>Codice elaborato:</i>	PF.0.2.7.GEO.GE.R.T.0.0.1.A
<i>Titolo elaborato:</i>	Relazione geologica e geotecnica

All'interno dell'Unità di Modena, in accordo con la tradizione della cartografia geologica preesistente, si distingue il **Deposito alluvionale in evoluzione (b1)** che è stato raffigurato in corrispondenza dell'alveo di magra e delle aree che vengono sommerse con maggiore frequenza.

L'intera zona rientra nell'ambiente deposizionale di piana a meandri del fiume Po.

Sulla base della tessitura, i depositi superficiali, grazie alle informazioni riprese dai geoportali regionali, rielaborate dagli scriventi, tenendo conto delle esigenze del presente studio, sono stati distinti in:

- Depositi prevalentemente sabbiosi, caratteristici di tutta la fascia golenale;
- Depositi prevalentemente limoso-sabbiosi e Depositi prevalentemente argillosi, cartografati solo in due piccole porzioni di territorio extragolenale, poste all'estremità orientale della Carta.

Nell'Allegato A, oltre ai tematismi sopradescritti, sono stati raffigurati:

- gli argini maestri
- gli argini golenali
- le opere idrauliche

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO Progetto di fattibilità tecnica ed economica	
INTERVENTO N. 27 – KM 406 – L - ER ROCCABIANCA (PR), MOTTA BALUFFI E TORRICELLA DEL PIZZO (CR)	
<i>Codice elaborato:</i>	PF.0.2.7.GEO.GE.R.T.0.0.1.A
<i>Titolo elaborato:</i>	Relazione geologica e geotecnica

3 GEOMORFOLOGIA

3.1 Inquadramento geomorfologico

Gli eventi morfogenetici, responsabili dell'attuale assetto del territorio in esame, sono riconducibili essenzialmente alla dinamica fluviale del periodo pleistocenico e olocenico, alla quale, nel periodo storico, si è sovrapposta l'attività antropica mirata alla stabilizzazione e alla modellazione delle superfici del suolo compatibilmente alle esigenze economiche, produttive ed insediative.

Le interazioni tra i vari fattori morfogenetici, all'esterno della golena, hanno dato luogo ad un paesaggio "congelato", relativamente omogeneo, contraddistinto da superfici pressoché piane, con gradiente topografico molto basso, debolmente degradanti verso nord-est, nella pianura emiliana, e verso sud-est, in quella lombarda.

Nelle aree di pertinenza del fiume Po, invece, si continua a osservare un'intensa evoluzione morfologica, condizionata principalmente dagli episodi di sedimentazione e di erosione. che si manifestano, in prevalenza, in occasione degli eventi di piena, e dalla presenza di opere di regolarizzazione del corso d'acqua, sia a difesa dalle esondazioni dei territori rivieraschi (rilevati arginali) sia per limitare le divagazioni dell'alveo (difese spondali e pennelli).

In particolare, va evidenziato che l'intervento n. 27 sarà realizzato nel tratto di Po, compreso tra foce Adda e foce Mincio, oggetto della sistemazione a corrente libera prevista dal Progetto Generale del 1931. Esso, finalizzato, al tempo stesso, alla difesa del suolo e alla navigabilità del corso d'acqua, si prefiggeva di concentrare la corrente del fiume in un solo canale, sbarrando i bracci secondari, fissando mediante opere le varie curve, alle quali andava dato un opportuno tracciato che avrebbe stabilizzato la posizione delle soglie, approfondendone i fondali, ed evitato la formazione gorgi, con forte potere erosivo.

Venne, così, ritenuto necessario che tale tracciato soddisfacesse le seguenti condizioni:

- a) curve regolari a tracciato parabolico, con semiparametri possibilmente non inferiori a 1.000 metri;
- b) larghezza del canale regolato sulle soglie di 300 metri;
- c) sviluppo del tracciato quasi uguale a quello naturale del filone, di circa 150 km;
- d) vertici delle curve ad una media distanza non eccessiva (2,8 km) in modo da conservare all'incirca lo stesso numero di passaggi che si riscontravano naturalmente nel fiume, per cui risultarono da realizzare 51 curve;
- e) utilizzazione, ove possibile, delle vecchie difese già esistenti per uno sviluppo di 23 km;
- f) sfocio degli affluenti nelle parti concave delle curve, allo scopo di rimuovere più facilmente i loro apporti solidi;
- g) maggiore possibile arretramento delle parti concave delle curve nelle alte sponde golenali, allo scopo di ridurre la lunghezza delle opere in alveo, molto più costose;
- h) avvicinamento del tracciato ai centri di maggiore commercio.
- i) altre condizioni di opportunità

I lavori eseguiti negli anni '30 e '40, consistenti soprattutto nella costruzione dei casseri e di brevi tratti di opere in alveo non potevano ostacolare le normali divagazioni dell'alveo di magra, per cui all'inizio degli anni '50 la corrente principale del fiume scorreva spesso lontano dal tracciato di progetto.

Dopo la catastrofica piena del 1951 vennero stanziati ingenti risorse finanziarie per interventi di difesa idraulica lungo tutto il corso del Po.

Poiché anche il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici aveva riconosciuto che la stabilizzazione dell'alveo di magra era necessaria al fine di evitare che le divagazioni della corrente finissero per interessare pericolosamente gli argini maestri, una parte dei fondi destinati alla difesa idraulica furono assegnati alla Sezione Autonoma del Genio Civile per il Po per il completamento dei lavori di sistemazione dell'alveo, previsti nel progetto del 1931.

I relativi lavori, eseguiti soprattutto negli anni '50 e '60 e riguardanti per la maggior parte il prolungamento delle opere in alveo, determinarono una decisa evoluzione morfologica dell'alveo: la corrente, asportando il terreno antistante i casseri, si adagiava contro le predisposte difese ed assumeva un andamento conforme al tracciato di progetto.

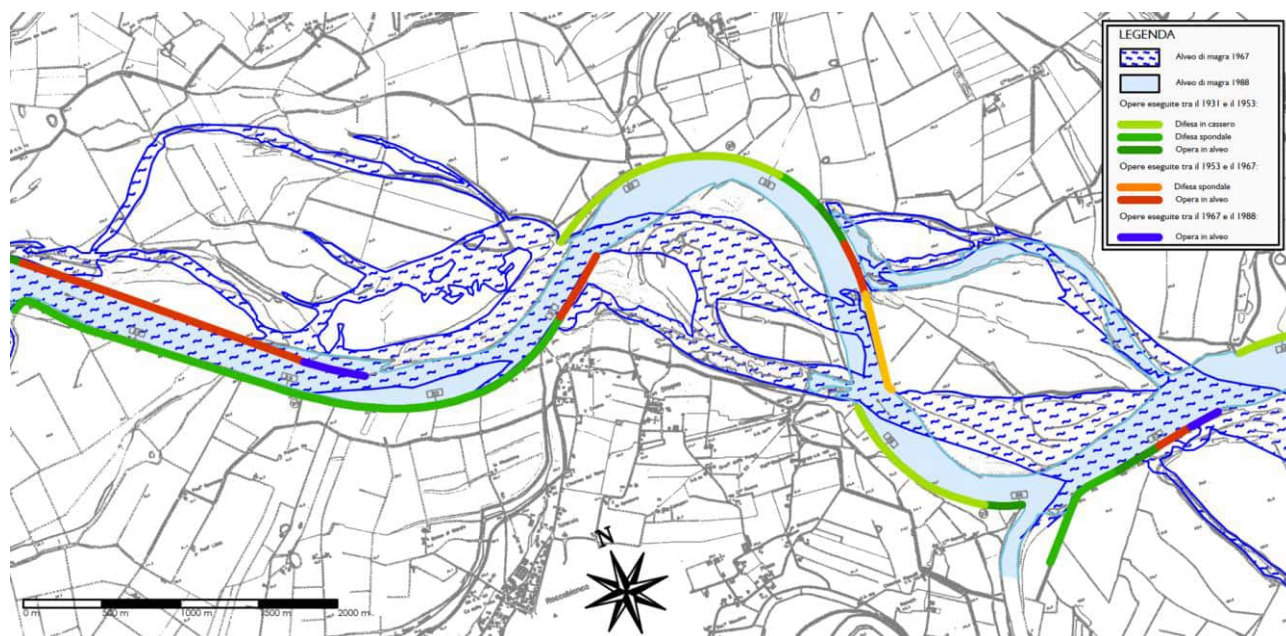


Figura 6 - Stralcio da Tavola 1.3.b - Carta dell'evoluzione dell'alveo di magra (1967-1988) da "Studio per l'acquisizione dei dati e della documentazione necessaria alla definizione del quadro conoscitivo di base per la progettazione preliminare della sistemazione a corrente libera del fiume Po nella tratta compresa tra Isola Serafini a foce Mincio" (G.C. Cerutti, 2006)

La canalizzazione dell'alveo di magra del Po ha determinato notevoli cambiamenti nell'ambiente fluviale. Se, sotto l'aspetto della difesa idraulica, sono stati raggiunti gli obiettivi che ci si volevano raggiungere (la corrente del fiume percorre il tracciato di progetto con un andamento regolare, per cui sono aumentati i fondali in corrispondenza dei dossi, mentre, la profondità dei gorgi è sensibilmente diminuita, riducendo i pericoli di franamento delle sponde), dal punto di vista naturalistico, sono state eliminate numerose isole, le lanche si sono completamente interrite, le aree

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO Progetto di fattibilità tecnica ed economica	
INTERVENTO N. 27 – KM 406 – L - ER ROCCABIANCA (PR), MOTTA BALUFFI E TORRICELLA DEL PIZZO (CR)	
<i>Codice elaborato:</i>	PF.0.2.7.GEO.GE.R.T.0.0.1.A
<i>Titolo elaborato:</i>	Relazione geologica e geotecnica

pag. 16 / 36

di deposito dietro le opere in alveo sono state coltivate a pioppeto, determinando la perdita di zone umide di elevato pregio ambientale.

Inoltre, la sistemazione dell'alveo di magra è stata individuata come una delle cause dell'abbassamento del *talweg*, insieme a:

- sistemazione dei bacini montani e costruzione di serbatoi;
- opere di difese delle sponde e soglie di fondo nei tratti di pianura degli affluenti;
- costruzione dello sbarramento di Isola Serafini;
- estrazione di sabbia e ghiaia dagli alvei del Po e degli affluenti.

Riguardo all'entità dell'inalveamento si può affermare che, nel tratto esame, rispetto al 1960, il fondo del fiume si sia abbassato mediamente di oltre 3,0 m, con conseguente danneggiamento delle opere sopraccitate, compreso il pennello oggetto d'intervento, per assestamento/deformazione del piede.

3.1 Caratteri geomorfologici locali

Gli elementi morfologici rilevati nell'area oggetto di studio e nel suo intorno sono stati raffigurati nella Carta geomorfologica dell'Allegato B, distinguendo:

Forme naturali:

- Alveo di magra del fiume Po (desunto da volo AIPo 2002)
- Sponda alta stabile o arretrata nel 1979-2002
- Fronte di erosione spondale attiva
- Tracce di alvei abbandonati incassati o situati allo stesso livello del p.c. circostante
- Barre fluviali di tipo laterale o di meandro, con eventuale presenza di canale di taglio
- Orli di scarpate da erosione fluviale
- Solchi erosivi di ampiezza non cartografabile
- Ventagli di esondazione
- Rotte di argine golenale (avvenute durante la piena del 2000)
- Budri (preesistenti al 1988, creati dalla piena del 1994 e 2000)
- Aree occupate da acque di falda o stagnanti

e

Forme antropiche:

- Rilevati arginali (distinguendo quelli maestri da quelli golenali)
- Opere di difesa idraulica (distinguendo quelle di tipo in cassero, spondali e in alveo costruite tra 1931-1953, 1953-1967 e dopo il 1988)
- Attività estrattive (cave a fossa attive, inattive o abbandonate, con falda affiorante, e impianti di vagliatura e stoccaggio)

D'interesse per la presente analisi geomorfologica è stato l'esame delle variazioni che l'alveo del fiume Po ha subito nel periodo recente, ovvero negli ultimi 100÷150 anni.

Allo scopo si può fare riferimento alla Figura 7 ove è riportato uno stralcio di Tav. 31 - Cartografia delle variazioni planimetriche dell'alveo fiume Po da confluenza Stura di Lanzo a Pontelagoscuro (Autorità di Bacino del fiume Po, 2008).

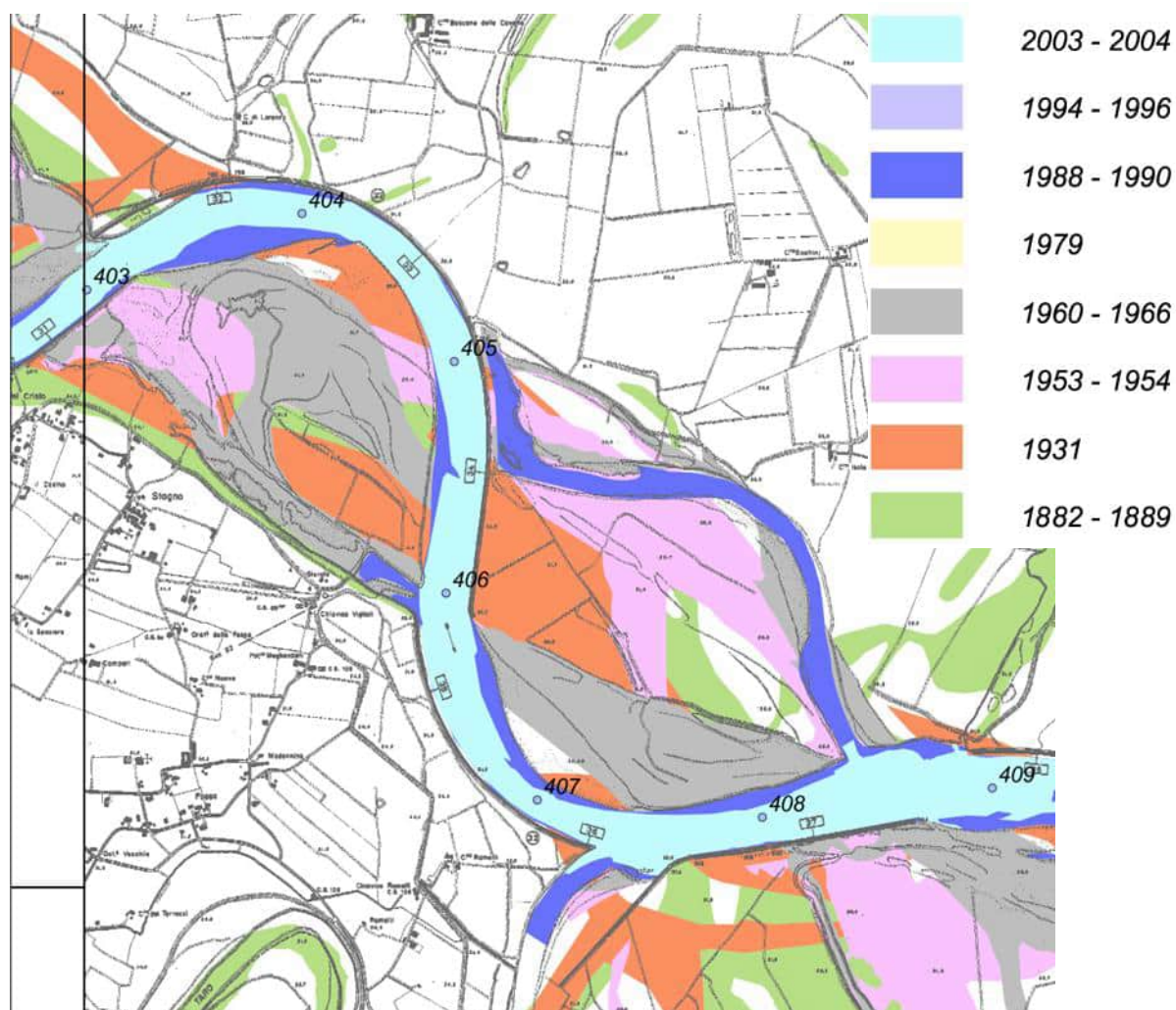


Figura 7 - Stralcio da Tav. 31 - Cartografia delle variazioni planimetriche dell'alveo fiume Po da confluenza Stura di Lanzo a Pontelagoscuro (Autorità di Bacino del fiume Po, 2008)

Dall'esame di tale figura, si osserva come nell'area oggetto di studio, il fiume Po, nel periodo storico considerato (1882-2004) ha subito numerose divagazioni, sia in destra che in sinistra idraulica, con un generale stato di erosione del fondo medio dell'alveo, mostrando una netta tendenza all'abbassamento.

Il tratto in esame risente fortemente della dinamica indotta dalla presenza dello sbarramento di Isola Serafini a monte, nonché della presenza di consistenti opere di regimazione, atte a mantenere condizioni favorevoli alla navigazione.

Come definito nel "Programma generale di gestione dei sedimenti dell'alveo del fiume Po – Stralcio confluenza Arda – incile Po di Goro" (Autorità di Bacino del fiume Po, 2005), nel tratto oggetto di studio, l'alveo di magra si presenta monocursale sinuoso, incassato in depositi prevalentemente

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO	
Progetto di fattibilità tecnica ed economica	
INTERVENTO N. 27 – KM 406 – L - ER	
ROCCABIANCA (PR), MOTTA BALUFFI E TORRICELLA DEL PIZZO (CR)	
Codice elaborato:	PF.0.2.7.GEO.GE.R.T.0.0.1.A
Titolo elaborato:	Relazione geologica e geotecnica
pag. 18 / 36	

sabbiosi da fini a molto fini, limosi, costituenti le sponde incise. Le forme di fondo (barre) sono costituite prevalentemente da sabbie e si configurano controllate essenzialmente dalle opere realizzate per la navigazione che regolano la divagazione dell'alveo attivo; si riscontra la presenza di un "substrato" sabbioso-ghiaioso nell'alveo di magra sommerso.

Nonostante la litologia prevalente nelle forme di fondo sia data da sabbie, le barre sono caratterizzate da altezza relativamente elevata e fronti inclinati.

In generale, domina una sostanziale condizione di deposito evidenziato dalla presenza di estesi depositi sabbiosi nell'alveo e nelle barre, con scarsa presenza di fenomeni erosivi.

Il quadro morfologico attuale dell'area in esame è infatti contraddistinto da una consistente deposizione, sia in destra idraulica e sia a tergo del pennello di navigazione oggetto di intervento (km 405), posto in sinistra idraulica, il quale concorre a limitare il trasporto solido verso valle.

Tra gli altri elementi morfologici spiccano alcuni orli di scarpata e diversi tratti di sponda alta stabile che si impostano nei depositi di barra prevalentemente sabbiosi. Fa eccezione, esternamente all'alveo inciso di sinistra idraulica, il tratto di sponda alta arretrata nel 1979-2002 che ha subito un tasso di arretramento dell'ordine di 2÷5 m, in accordo con l'attuale limite della sponda contrassegnata da un fronte attivo di erosione; in destra idraulica si segnala un fronte erosivo in corrispondenza di foce Taro. Tali fenomeni erosivi non rappresentano criticità potenziali ma solo fonte di alimentazione per il trasporto solido.

Diversamente, il restante tratto in esame dell'alveo di magra inciso risulta poco soggetto a fenomeni erosivi.

Il sistema arginale è costituito da rilevati maestri continui su entrambe le sponde che sottendono l'argine golenale. Quest'ultimo, nel tratto di sponda idraulica sinistra, in Comune di Torricella del Pizzo, ha subito una rottura a seguito dell'evento di piena del 2000 che ha comportato la formazione di alcuni budri.

Nella carta geomorfologica sono rappresentate le opere di sistemazione dell'alveo di magra da foce Adda a foce Mincio, previste nel progetto del 1931, censite grazie allo "Studio per l'acquisizione dei dati e della documentazione necessaria alla definizione del quadro conoscitivo di base per la progettazione preliminare della sistemazione a corrente libera del fiume Po nella tratta compresa tra Isola Serafini a foce Mincio" condotto nel 2005 a cura del dott. ing. Giancarlo Cerutti, in collaborazione con lo studio Engeo s.r.l..

In particolare, l'intervento previsto in sinistra idraulica (km 405) riguarda un'opera di difesa in alveo realizzata tra 1931 e il 1953, di lunghezza 372 m, di tipo flessibile ed avente corpo in sabbia rivestito da buzzoni e pietrame. Essa, come rilevato nel corso dello stesso studio e già anticipato nel paragrafo precedente, risulta in stato di dissesto per assestamento/deformazione del piede.

Quanto alle forme antropiche, all'interno dell'area in esame, nell'area golenale in sinistra idraulica, sono presenti alcune cave per l'estrazione di inerti, coltivate in presenza di falda idrica, e un impianto di vagliatura e stoccaggio.

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO Progetto di fattibilità tecnica ed economica	
INTERVENTO N. 27 – KM 406 – L - ER ROCCABIANCA (PR), MOTTA BALUFFI E TORRICELLA DEL PIZZO (CR)	
<i>Codice elaborato:</i>	PF.0.2.7.GEO.GE.R.T.0.0.1.A
<i>Titolo elaborato:</i>	Relazione geologica e geotecnica

4 IDROGEOLOGIA

4.1 Inquadramento idrogeologico

La pianura padana, dotata di una struttura idrogeologica caratterizzata dalla presenza di potenti livelli acquiferi porosi sfruttabili, rappresenta una delle maggiori riserve idriche europee.

Nel presente studio, per inquadrare tale tematica, si è fatto riferimento allo stato delle conoscenze descritto nell'Elaborato 2: Caratterizzazione, monitoraggio e classificazione dei corpi idrici sotterranei del Programma di Tutela e Uso delle Acque della Regione Lombardia (PTUA 2016) approvato con d.g.r. n. 6990 del 31 luglio 2017.

Considerato l'ambito territoriale d'interesse del presente studio, di seguito, ci si limiterà a descrivere solo il Complesso dei Depositi Quaternari che caratterizza l'intera pianura lombarda oltre a tutti quei settori di raccordo tra la pianura stessa e gli edifici montuosi (cfr. Figura 8 - Complesso dei Depositi Quaternari identificato nel PTUA 2016 della Regione Lombardia).

Il modello concettuale della struttura idrogeologica di tale Complesso, ricostruito nel PTUA 2016, mantiene come solido punto di partenza lo studio Geologia degli Acquiferi Padani della Regione Lombardia, condotto tra il 1999 e il 2002, in collaborazione tra Regione Lombardia e Eni-Divisione Agip, il quale ha suddiviso i depositi alluvionali della pianura padana lombarda in 4 gruppi acquiferi:

- Gruppo acquifero A (Olocene-Pleistocene Medio)
- Gruppo acquifero B (Pleistocene Medio)
- Gruppo acquifero C (Pleistocene Medio)
- Gruppo acquifero D

anche se, nell'ambito del lavoro di ridefinizione dei corpi idrici:

- si evidenziano delle differenze di profondità delle superfici di base dei Gruppi Acquiferi, conseguenti al maggiore peso attribuito al dato stratigrafico diretto rispetto a quello indiretto che sta alla base delle interpretazioni Eni-Divisione Agip 2002;
- il Gruppo Acquifero D non è stato analizzato, in considerazione dell'elevata profondità.
- Il Gruppo Acquifero A, a partire dal limite tra alta e media pianura, è stato differenziato in 2 sottogruppi, denominati A1 e A2; fatto che ha consentito di delimitare verticalmente gli acquiferi superficiali, in comunicazione diretta con la superficie, generalmente sede dell'acquifero libero, dagli acquiferi intermedi e profondi, comunicanti solo localmente con gli acquiferi superficiali per interruzione degli acquitardi di separazione (in corrispondenza di paleovalvei o di eteropie laterali) o drenanza dagli stessi.

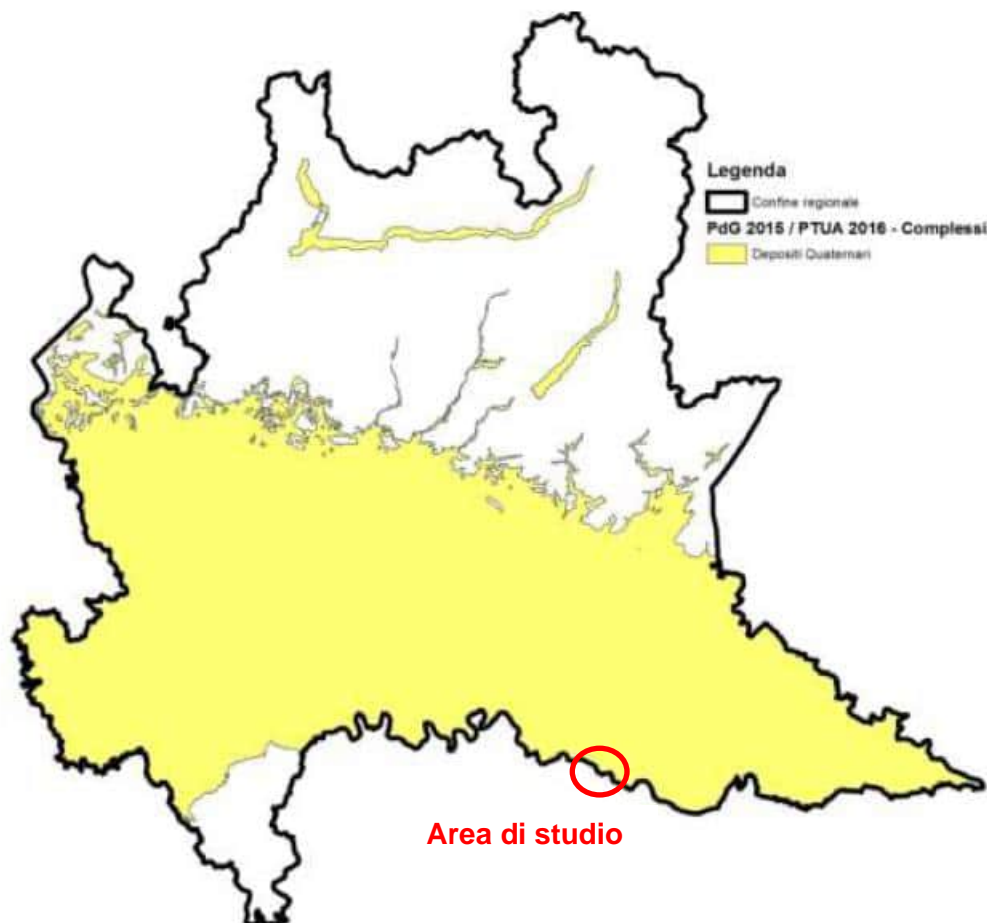


Figura 8 - Complesso dei Depositi Quaternari identificato nel PTUA 2016 della Regione Lombardia

La caratterizzazione verticale degli acquiferi di pianura è stata effettuata attraverso una maglia di sezioni regolari che riportano le stratigrafie dei pozzi ed i limiti di idrostruttura proposti e, per confronto:

- i limiti, ricostruiti attraverso l'andamento delle basi dei complessi idrogeologici, dei Gruppi Acquiferi di Regione Lombardia e ENI, rivisti;
- i limiti dell'acquifero superficiale come identificato nel PTUA 2006.

Per una migliore comprensione dei rapporti stratigrafici tra le unità e delle modalità di scambio idrico tra le diverse idrostrutture sono stati elaborati gli schemi dei rapporti stratigrafici.

Sono quindi state identificate tre idrostrutture principali di seguito elencate:

- ISS (Idrostruttura Sotterranea Superficiale), sede dell'acquifero libero, comprendente il Gruppo Acquifero A e B, nei settori di alta pianura Lombarda, e la porzione superiore del Gruppo Acquifero A (denominata Unità A1) nella media e bassa pianura.
- ISI (Idrostruttura Sotterranea Intermedia), sede di acquiferi da semiconfinati a confinati, comprendente la porzione profonda del Gruppo Acquifero A (denominata Unità A2) e il Gruppo Acquifero B presente nella media e bassa pianura.

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO Progetto di fattibilità tecnica ed economica	
INTERVENTO N. 27 – KM 406 – L - ER ROCCABIANCA (PR), MOTTA BALUFFI E TORRICELLA DEL PIZZO (CR)	
Codice elaborato:	PF.0.2.7.GEO.GE.R.T.0.0.1.A
Titolo elaborato:	Relazione geologica e geotecnica

- ISP (idrostruttura sotterranea profonda), sede di acquiferi confinati comprendente il Gruppo Acquifero C nei settori di alta e media pianura in cui esso è conosciuto tramite indagini dirette e captato.

I limiti tra idrostrutture sono stati posti in corrispondenza del tetto dell'acquitrando/acquiclude di separazione tra le due idrostrutture, in genere in corrispondenza del tetto di un livello significativamente spesso e continuo di argille e/o limi.

L'Idrostruttura Sotterranea Superficiale (ISS), in considerazione della tipologia d'intervento in progetto, è l'unica d'interesse per il presente studio. Essa è costituita da uno o più corpi acquiferi caratterizzati da permeabilità da alta a media, sede dell'acquifero libero, localmente semiconfinato, i cui limiti coincidono con:

- la superficie topografica (*top*);
- la superficie di separazione dal subcomplesso sottostante (*bottom*);
- i confini delle idrostrutture di pianura.

In genere l'ISS costituisce il subcomplesso maggiormente vulnerabile da un punto di vista sia quantitativo sia qualitativo, essendo posto in diretta comunicazione con la superficie topografica e con i corsi d'acqua superficiali che localmente ne riducono lo spessore complessivo.

L'idrostruttura costituisce un corpo idrico serbatoio attraverso cui i sottostanti subcomplessi (ISI e ISP) sono ricaricati/scaricati.

Come già indicato, in riferimento allo studio di Regione Lombardia e di Eni Divisione Agip (Geologia degli acquiferi padani della Regione Lombardia - 2002), il limite di base dell'Idrostruttura Sotterranea Superficiale, viene fatto coincidere, nell'Alta Pianura, con quello del Gruppo acquifero B; mentre nella Media e Bassa Pianura, con quello del sottogruppo A1. Esso varia tra quote di +300 m s.l.m., nell'alta pianura lombarda, a -50 m s.l.m. in corrispondenza della bassa pianura mantovana.

L'idrostruttura superficiale è caratterizzata da spessori minimi (20÷30 m) in alcuni settori della bassa pianura (aree alla confluenza tra Po e Ticino, nel basso cremonese e nel medio bresciano) e da un ispessimento nell'alta pianura dove raggiunge valori massimi superiori ai 100 m.

Questo subcomplesso è stato a sua volta suddiviso in 13 singoli corpi Idrici, differenziati gli uni dagli altri a seconda dell'ambito omogeneo in cui ricadono.

L'area in esame appartiene al **Corpo idrico sotterraneo superficiale di Bassa pianura Bacino PO**, con codice IT03GWBISBPPO. Tale corpo idrico si trova nel contesto morfologico della bassa pianura lombarda, in corrispondenza della piana alluvionale recente e attuale del Fiume Po, sviluppandosi in senso E-W, solo in sinistra idrografica del fiume Po nel settore occidentale e centrale e sia in destra che sinistra idrografica nel settore orientale, nel quale assume la maggiore estensione areale.

Comprende comuni delle provincie di Pavia, Lodi, Cremona e Mantova e i suoi confini coincidono, a nord, con le idrostrutture della Media Pianura, a sud, con l'ISS Oltrepò Pavese, nella parte occidentale, e con l'alveo del fiume Po corrispondente al confine con l'Emilia-Romagna nei settori centrali e orientali.



Figura 9 - Complesso dei Depositi Quaternari identificato nel PTUA 2016 della Regione Lombardia

L'idrostruttura è contenuta nel sottogruppo A1, costituito da depositi ghiaiosi e ghiaioso-sabbiosi nel settore occidentale e da depositi a granulometria più fine nel settore orientale, ovvero sabbie localmente limose con intercalazioni argillose.

Il corpo idrico assume caratteri di acquifero da libero a semiconfinato. Localmente (area Serravalle Po) l'acquifero risulta confinato entro livelli permeabili delimitati a tetto da livelli argillosi presenti a partire dalla superficie.

Il limite inferiore dell'idrostruttura, collocato a quote comprese tra 0 m s.l.m. e -50 m s.l.m tende ad approfondirsi verso i settori sud-orientali e orientali e il passaggio all'unità intermedia è identificato quasi ovunque dalla presenza dei livelli argillosi contenuti al tetto

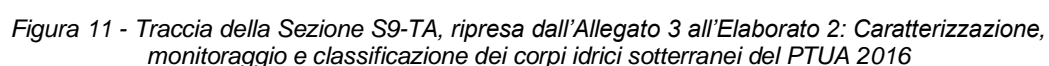
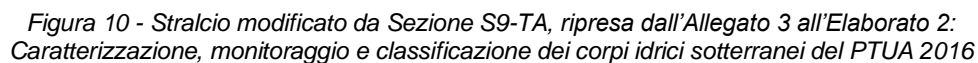
Lo spessore raggiunge massimi di 70 m nell'area di Suzzarra-Gonzaga (settore sud-orientale) e nell'estremo lembo orientale (area Felonica) e minimi di 20-25 m nel settore occidentale (Pancarana, Pinerolo Po) e nella porzione occidentale del settore orientale (Solarolo Rainero).

La ricostruzione dell'andamento piezometrico evidenzia la forte diminuzione del gradiente idraulico della falda rispetto alle aree di Alta e Media Pianura e minimi dislivelli rispetto alla superficie topografica.

Gli acquiferi, su entrambe le sponde, sono in equilibrio idraulico con il fiume Po, svolgendo un'azione di alimentazione, nei periodi di magra del fiume, o di drenaggio, in occasione delle piene.

Ai fini del presente lavoro, risulta di particolare interesse esaminare lo stralcio della Sezione S8-TA (cfr. Figura 10), ripresa dall'Allegato 3 all'Elaborato 2: Caratterizzazione, monitoraggio e classificazione dei corpi idrici sotterranei del PTUA 2016, prossima all'area in esame con andamento NW-SE (cfr. Figura 11).

In essa si osserva che, fino a circa 3040 m da piano campagna, dominano i depositi permeabili appartenenti all'ISS, sotto ai quali si rinviene un acquitardo, costituito da argille, limi e sabbie fini, con potenza analoga.



PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO Progetto di fattibilità tecnica ed economica	
INTERVENTO N. 27 – KM 406 – L - ER ROCCABIANCA (PR), MOTTA BALUFFI E TORRICELLA DEL PIZZO (CR)	
<i>Codice elaborato:</i>	PF.0.2.7.GEO.GE.R.T.0.0.1.A
<i>Titolo elaborato:</i>	Relazione geologica e geotecnica

4.2 Caratteri idrogeologici locali

Le peculiarità idrogeologiche locali della porzione di territorio interessata dall'intervento n. 27 sono state raffigurate nella Carta idrogeologica dell'Allegato C.

In essa, innanzitutto, sono state raffigurate le caratteristiche di permeabilità dei depositi di superficie, dato che 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.

La tavola è stata redatta con criterio idrolitologico, cioè, attribuendo alle unità litologiche già individuate nella Carta geologica dell'Allegato A, le classi di permeabilità descritte di seguito.

- Permeabilità da Bassa a Nulla – Attribuita ai depositi prevalentemente argillosi presenti in una porzione di territorio extra-golenale
- Permeabilità Bassa – Attribuita ai depositi prevalentemente limoso-sabbiosi presenti anch'essi fuori dalla golenale
- Permeabilità da Elevata a Media - Attribuita ai depositi prevalentemente sabbiosi, caratteristici dell'intera fascia compresa tra gli argini maestri

Sempre nell'Allegato C sono riportate delle informazioni relative alla dinamica delle acque sotterranee che, come già visto nel paragrafo precedente, hanno sede in un potente bancone (lo spessore è nell'ordine dei 30÷40 metri) di sedimenti permeabili depositi dal fiume Po.

L'intera zona golenale è stata retinata come fascia a flusso idrico alternato. Qui, infatti i livelli della superficie della falda e le direzioni del flusso idrico sotterraneo, risentono fortemente della presenza del fiume. Questi costituisce un limite laterale a potenziale imposto. Una variazione di quota idrometrica ingenera un movimento analogo nei livelli freatici anche se d'ampiezza minore e sfasato nel tempo a seconda della distanza e della permeabilità dei terreni interessati. Pertanto, il fiume risulta alimentante in fase crescente (effetto che assume dimensioni significative durante le lunghe piene autunnali e primaverili) mentre drena la falda quando decresce.

Se poi ci si concentra sull'area d'intervento, in considerazione della sua vicinanza all'alveo di magra e del fatto che, nel sottosuolo, dominano i terreni a permeabilità da media ad elevata, si può approssimare che i livelli della falda corrispondano con quelli idrometrici del fiume.

Differentemente, all'esterno della golenale l'influenza dei livelli idrici del Po è molto minore e il flusso idrico sotterraneo avviene con direzione generale verso NE, nella pianura emiliana, verso SE in quella lombarda.

Alla luce di quanto sopradescritto, l'area oggetto d'intervento, in considerazione della dominanza, nel sottosuolo, di depositi granulari permeabili e della presenza di una falda a pelo libero, in diretta comunicazione con l'alveo, è da considerarsi a vulnerabilità idrogeologica estremamente elevata, per quanto concerne gli acquiferi superficiali. Bisogna, altresì, tener conto che un potente acquitardo protegge le unità idrostratigrafiche più profonde di maggior pregio per gli usi idropotabili.

5 SISMICA

5.1 Sismicità del territorio

La storia sismica del territorio in esame è stata desunta da "*DBMI15, database macrosismico italiano*"¹, database realizzato dal Gruppo Nazionale per la Difesa dei Terremoti che contiene i dati macrosismici provenienti da studi dello stesso GNDT e di altri enti.

In particolare, nel presente studio, sono state utilizzate le informazioni relative a Casalmaggiore (CR), in quanto, è la località più vicina tra quelle caratterizzate da un numero significativo di eventi sismici.

La storia sismica di Casalmaggiore è riassunta, oltre che nel grafico di Figura 12, in Tabella 1, dove sono elencate le osservazioni, aventi intensità ≥ 3 , indicando per ciascuna di esse, oltre alla stessa intensità al sito (*Is*), la data e l'orario in cui si è verificato, l'intensità massima epicentrale in scala MCS (*Io*), e la magnitudo momento (*Mw*).

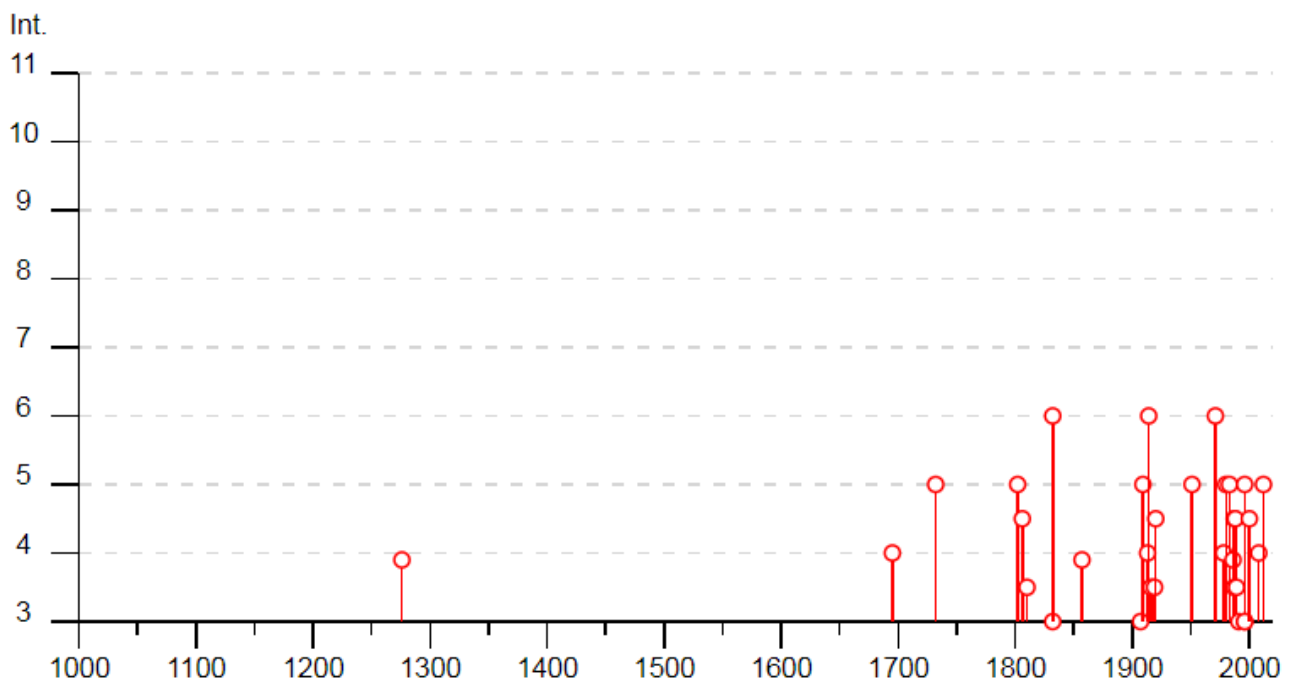


Figura 12 - Grafico che riassume la storia sismica del comune di Casalmaggiore

Is	Data			Orario			Area epicentrale	Io	Mw
	Year	Mo	Da	Ho	Mi	Se			
F	1276	7	29	18	30		Monferrato	5	4.81
4	1695	2	25	5	30		Asolano	10	6.4
5	1732	2	4	18	20		Parma	5-6	4.65
5	1802	5	12	9	30		Valle dell'Oglio	8	5.6
4-5	1806	2	12				Reggiano	7	5.21

¹ 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. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>

INTERVENTO N. 27 – KM 406 – L - ER**ROCCABIANCA (PR), MOTTA BALUFFI E TORRICELLA DEL PIZZO (CR)**Codice elaborato: **PF.0.2.7.GEO.GE.R.T.0.0.1.A**Titolo elaborato: **Relazione geologica e geotecnica**

pag. 26 / 36

Is	Data			Orario			Area epicentrale	Io	Mw
	Year	Mo	Da	Ho	Mi	Se			
3-4	1810	12	25	0	45		Pianura emiliana	6	5.06
3	1832	3	11	6	45		Carpi	5	4.51
6	1832	3	13	3	30		Reggiano	7-8	5.51
F	1857	2	1				Parmense-Reggiano	6-7	5.11
NF	1904	6	10	11	15	28	Frignano	6	4.82
NF	1906	8	25	3	11		Parmense	5	4.25
3	1907	4	25	4	52		Veronese	6	4.79
5	1909	1	13	0	45		Emilia Romagna orientale	6-7	5.36
NF	1911	2	19	7	18	30	Forlivese	7	5.26
4	1913	11	25	20	55		Appennino parmense	4-5	4.65
6	1914	10	27	9	22		Lucchesia	7	5.63
NF	1915	1	13	6	52	43	Marsica	11	7.08
3-4	1916	5	17	12	50		Riminese	8	5.82
3-4	1919	6	29	15	6	13	Mugello	10	6.38
4-5	1920	9	7	5	55	40	Garfagnana	10	6.53
2-3	1931	4	14	22	13		Valli Giudicarie	6	4.77
2-3	1937	9	17	12	19	5	Parmense	7	4.77
5	1951	5	15	22	54		Lodigiano	6-7	5.17
6	1971	7	15	1	33	23	Parmense	8	5.51
4	1978	12	25	22	53	41	Bassa modenese	5	4.39
5	1980	12	23	12	1	6	Piacentino	6-7	4.57
5	1983	11	9	16	29	52	Parmense	6-7	5.04
F	1986	12	6	17	7	19.77	Ferrarese	6	4.43
4-5	1987	4	24	2	30	27.04	Reggiano	6	4.64
3-4	1987	5	2	20	43	53.32	Reggiano	6	4.71
4-5	1988	3	15	12	3	16.17	Reggiano	6	4.57
3-4	1989	9	13	21	54	1.5	Prealpi Vicentine	6-7	4.85
3	1991	10	31	9	31	18.63	Emilia occidentale	5	4.33
5	1996	10	15	9	55	59.95	Pianura emiliana	7	5.38
3	1996	10	26	4	56	54.1	Pianura emiliana	5-6	3.94
3	1996	11	25	19	47	53.85	Pianura emiliana	5-6	4.29
NF	1996	12	16	9	9	53.08	Pianura emiliana	5-6	4.06
NF	1998	2	21	2	21	13.3	Pianura emiliana	5	3.93
4-5	2000	6	18	7	42	7.68	Pianura emiliana	5-6	4.4
4	2008	12	23	15	24	21.77	Parmense	6-7	5.36
5	2012	1	25	8	6	37.09	Pianura emiliana	5-6	4.98

Tabella 1 – Massimi eventi sismici censiti a Casalmaggiore

Dalla lettura di Tabella 1 si evidenzia che i massimi eventi sismici censiti a Casalmaggiore si sono verificati il 13 marzo del 1832, il 27 ottobre 1914 e il 15 luglio 1971 tutti con un'intensità del VII grado della scala MCS. L'epicentro viene indicato rispettivamente nel Reggiano, nella Lucchesia e nel Parmense.

5.2 Classificazione sismica

L'Ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003, suddivide il territorio italiano in 4 zone sismiche con diversi livelli di accelerazione sismica di progetto. Secondo tale ordinanza i Comuni di Motta Baluffi e Torricella del Pizzo (CR), nella sopracitata classificazione, sono stati identificati in zona 4 (a sismicità molto bassa), cui corrispondono valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo (a_g), con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, minori di $0,05 \cdot g$ (dove g è l'accelerazione di gravità), mentre i Comuni di Roccabianca, Sissa e Trecasali (PR), sono stati identificati in zona 3 (a sismicità bassa), cui corrispondono valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo (a_g), con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, compresa tra $0.05g$ e $0.15g$ (dove g è l'accelerazione di gravità).

La Delibera X/2129 del 11/07/2014 della Regione Lombardia aggiorna questa classificazione, individuando i Comuni di Motta Baluffi e Torricella del Pizzo in zona 3, cioè con accelerazione compresa tra $0.05g$ e $0.15g$ (Figura 13).

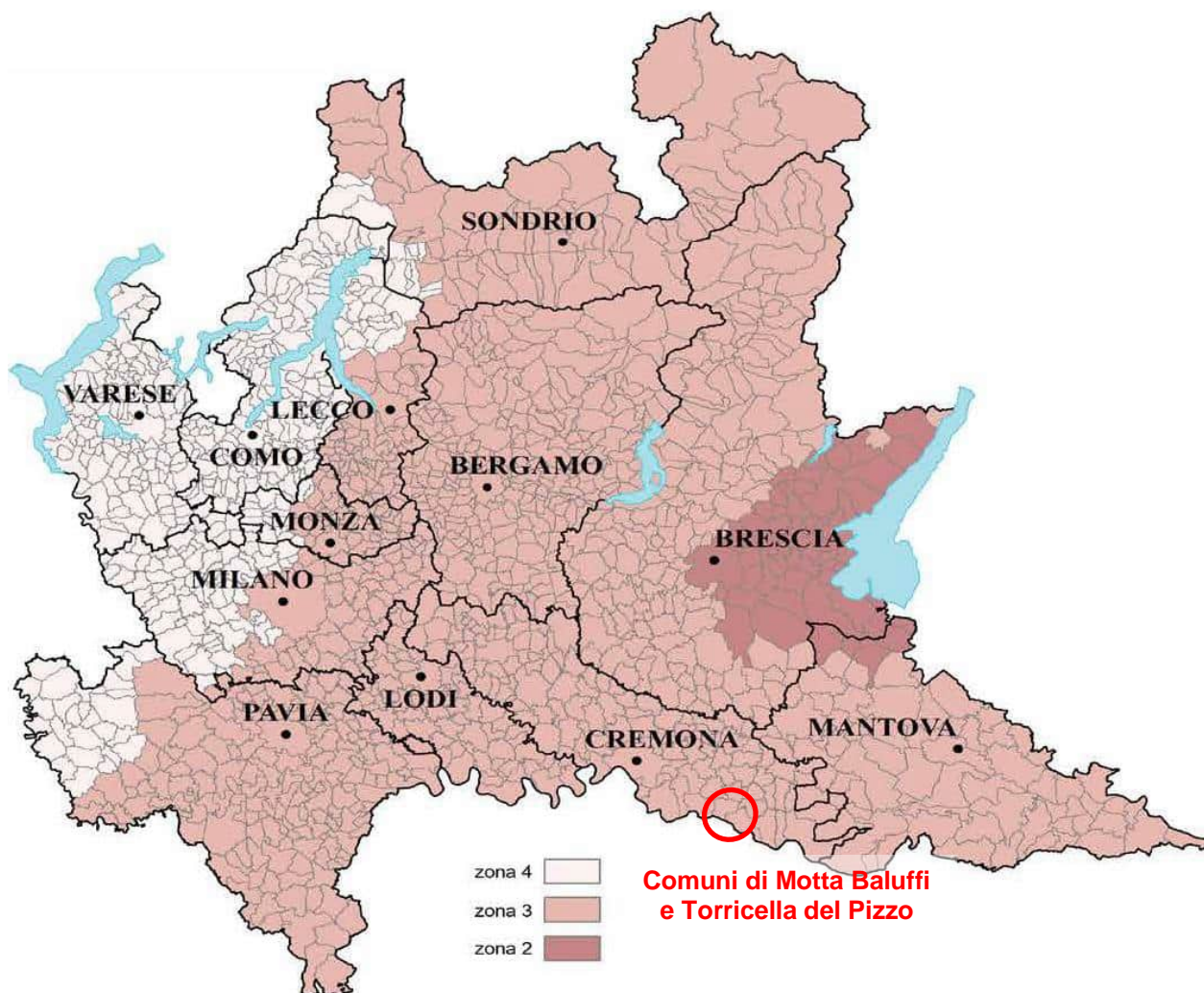


Figura 13 - Classificazione sismica dei Comuni della Regione Lombardia a seguito della Delibera X/2129 del 2014

La delibera 23 luglio 2018 n.1164 della giunta regionale dell'Emilia-Romagna aggiorna la classificazione sismica di prima applicazione dei comuni riclassificando il territorio. Secondo tale aggiornamento, come indicato in Figura 14, il territorio comunale di Roccabianca e Sissa Trecasali, sono identificati in zona 3 (a sismicità bassa), cui corrispondono valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo (a_g), con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, inferiori a $0,15 \cdot g$ (dove g è l'accelerazione di gravità).

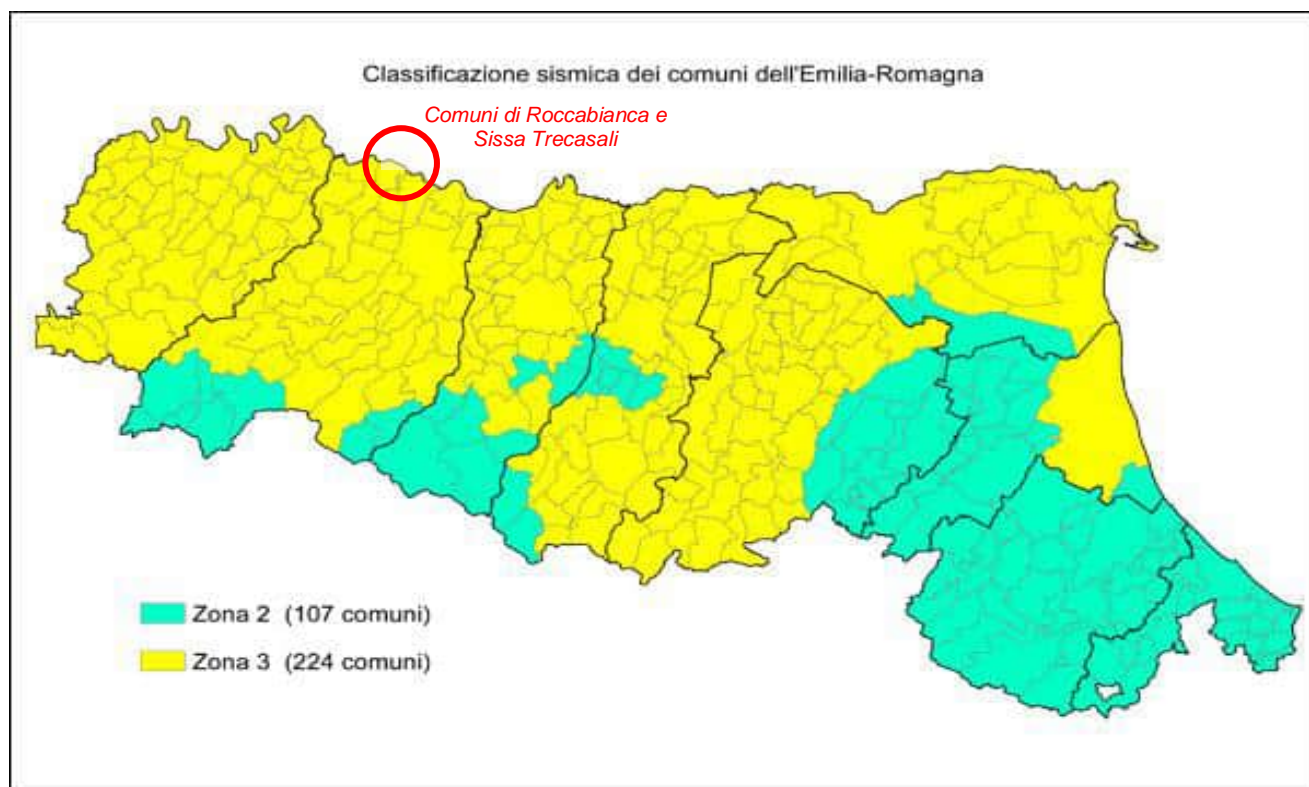


Figura 14 - Classificazione sismica dei Comuni della Regione Emilia-Romagna

Tale classificazione ha tuttavia esclusivo valore amministrativo; infatti, alle Norme Tecniche per le costruzioni del D.M. 14-01-2008, è allegato un documento sulla pericolosità sismica (Allegato A), in cui l'azione sismica sulle costruzioni è valutata a partire dalla pericolosità sismica di base, più semplicemente chiamata pericolosità sismica che costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

Le azioni di progetto si ricavano, ai sensi delle N.T.C., dalle accelerazioni a_g e dalle relative forme spettrali. Le forme spettrali previste sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri:

- a_g accelerazione orizzontale massima del terreno;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_c^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Questi tre parametri sono definiti in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento; cfr. Figura 15), i cui nodi non distano fra loro più di 10 km, per diverse probabilità di superamento in 50 anni e per diversi periodi di ritorno (variabili tra 30 e 975 anni).

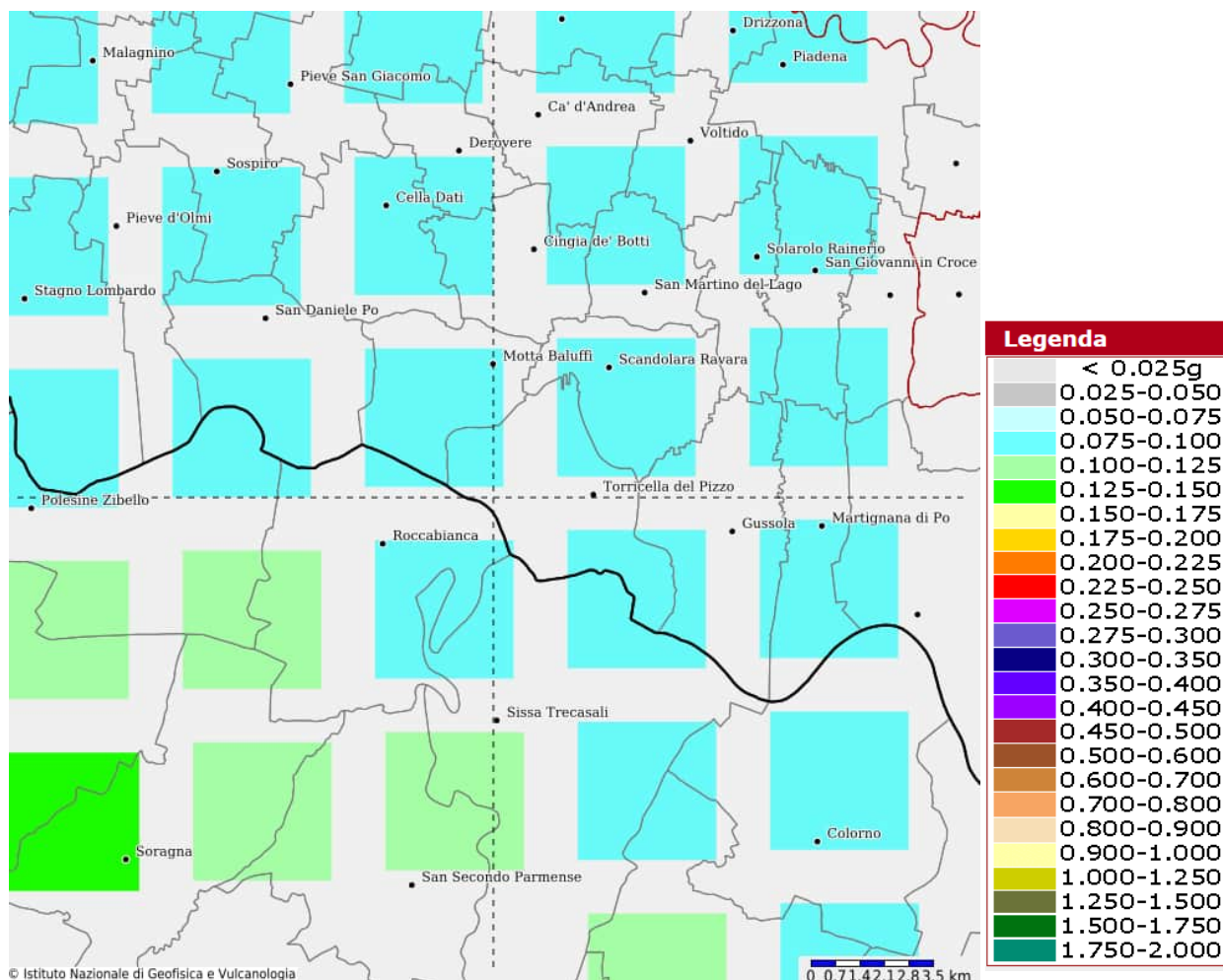


Figura 15 - Mappatura dell'accelerazione orizzontale massima del terreno (a_g) con tempi di ritorno di 475 anni

Per determinare il tempo di ritorno (T_R) si utilizza l'espressione:

$$T_R = \frac{V_R}{\ln(1 - P_{V_R})}$$

dove V_R (nel caso in esame, come visto nel paragrafo 1.1, pari a 50 anni) è il periodo di riferimento della costruzione, mentre P_{V_R} è la probabilità di superamento nel periodo di riferimento.

Inoltre, sono stati definiti gli stati limite che forniscono le probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{V_R} (vedi Tab. 3.2.I del Paragrafo 3.2.1 delle NTC 01/2018): pari al 5%, per lo Stato Limite di prevenzione dal Collasso (SLC), pari al 10%, per quello di salvaguardia della Vita (SLV), pari al 63%, per quello di Danno (SLD) e, pari all'81%, per quello di Operatività (SLO).

Nel caso in cui il sito in esame non ricada nei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri a_g , F_0 , T_C^* possono essere ricavati come media pesata dei valori assunti nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, utilizzando come pesi gli

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO Progetto di fattibilità tecnica ed economica	
INTERVENTO N. 27 – KM 406 – L - ER ROCCABIANCA (PR), MOTTA BALUFFI E TORRICELLA DEL PIZZO (CR)	
Codice elaborato:	PF.0.2.7.GEO.GE.R.T.0.0.1.A
Titolo elaborato:	Relazione geologica e geotecnica

pag. 30 / 36

inversi delle distanze tra il punto in questione ed i quattro vertici. Analogamente, qualora l'attuale *pericolosità sismica* su *reticolo di riferimento* non contempli il periodo di ritorno T_R corrispondente alla V_R e alla P_{VR} fissate, il valore del generico parametro a_g, F_0, T_C^* ad esso corrispondente potrà essere ricavato per interpolazione.

Alla luce di quanto sopra indicato, i valori dei tre parametri necessari per la determinazione delle azioni sismiche in corrispondenza dell'area oggetto d'intervento sono riportati nella seguente tabella.

Stato Limite	Tempo di ritorno T_R (anni)	a_g (g)	F_0	T_C^* (s)
SLO	30	0.034	2.564	0.216
SLD	50	0.041	2.578	0.250
SLV	475	0.085	2.640	0.310
SLC	975	0.104	2.671	0.324

Tabella 2 – Valori dei parametri a_g, F_0, T_C^ per i tempi di ritorno associati a ciascun stato limite*

5.3 Scenario di pericolosità sismica locale

Sulla base degli studi di microzonazione di primo livello riguardanti il territorio in esame, si può affermare che l'area d'intervento è suscettibile ai seguenti effetti locali:

- amplificazioni litologiche
- cedimenti e/o liquefazione dei suoli.

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO Progetto di fattibilità tecnica ed economica	
INTERVENTO N. 27 – KM 406 – L - ER ROCCABIANCA (PR), MOTTA BALUFFI E TORRICELLA DEL PIZZO (CR)	
<i>Codice elaborato:</i>	PF.0.2.7.GEO.GE.R.T.0.0.1.A
<i>Titolo elaborato:</i>	Relazione geologica e geotecnica

6 GEOTECNICA

Come già esposto, il primo sottosuolo della porzione di territorio in esame è caratterizzato, in corrispondenza dell'alveo di magra e delle golene, dalla dominanza di depositi prevalentemente sabbiosi, da fini a molto fini, mentre, nelle fasce extra-golenali, dominano i depositi prevalentemente argillosi e limoso-sabbiosi.

I terreni sabbiosi e tendenzialmente sabbiosi sono caratteristici di ambienti deposizionali di medio-alta energia, in cui la sedimentazione è dominata dagli apporti grossolani lasciati dalle correnti trattive. Tali depositi, dal punto di vista geotecnico, si configurano a comportamento granulare.

A livello preliminare, l'assetto stratigrafico in corrispondenza dell'area d'intervento, previsto in destra idraulica al km 405, all'interno di un unico ambiente di barra fluviale, si può considerare discretamente omogeneo.

Maggiori informazioni, sia di carattere litologico che di carattere geotecnico, si avranno una volta completata la campagna di indagini in corso di esecuzione, per la quale si rimanda al successivo capitolo 7.

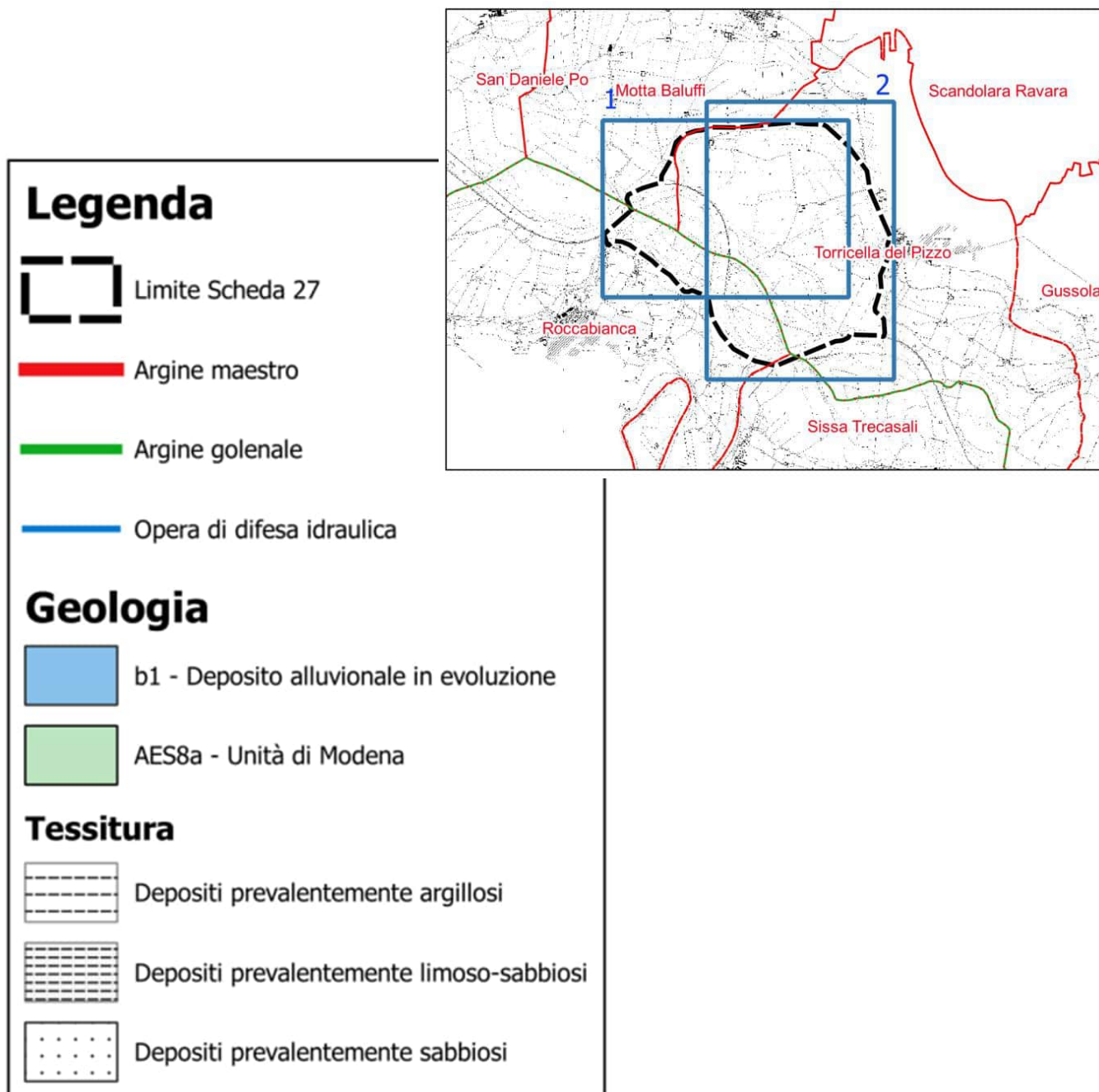
Nel frattempo, in questa fase, dovendo esaminare un progetto di fattibilità tecnica ed economica privo di particolari complessità geotecniche (è previsto solo l'abbassamento di una porzione di pennello e scavi con scarpate a bassa pendenza), si è fatto riferimento sia a quanto presente in bibliografia che a indagini pregresse eseguite nelle vicinanze dell'area di studio.

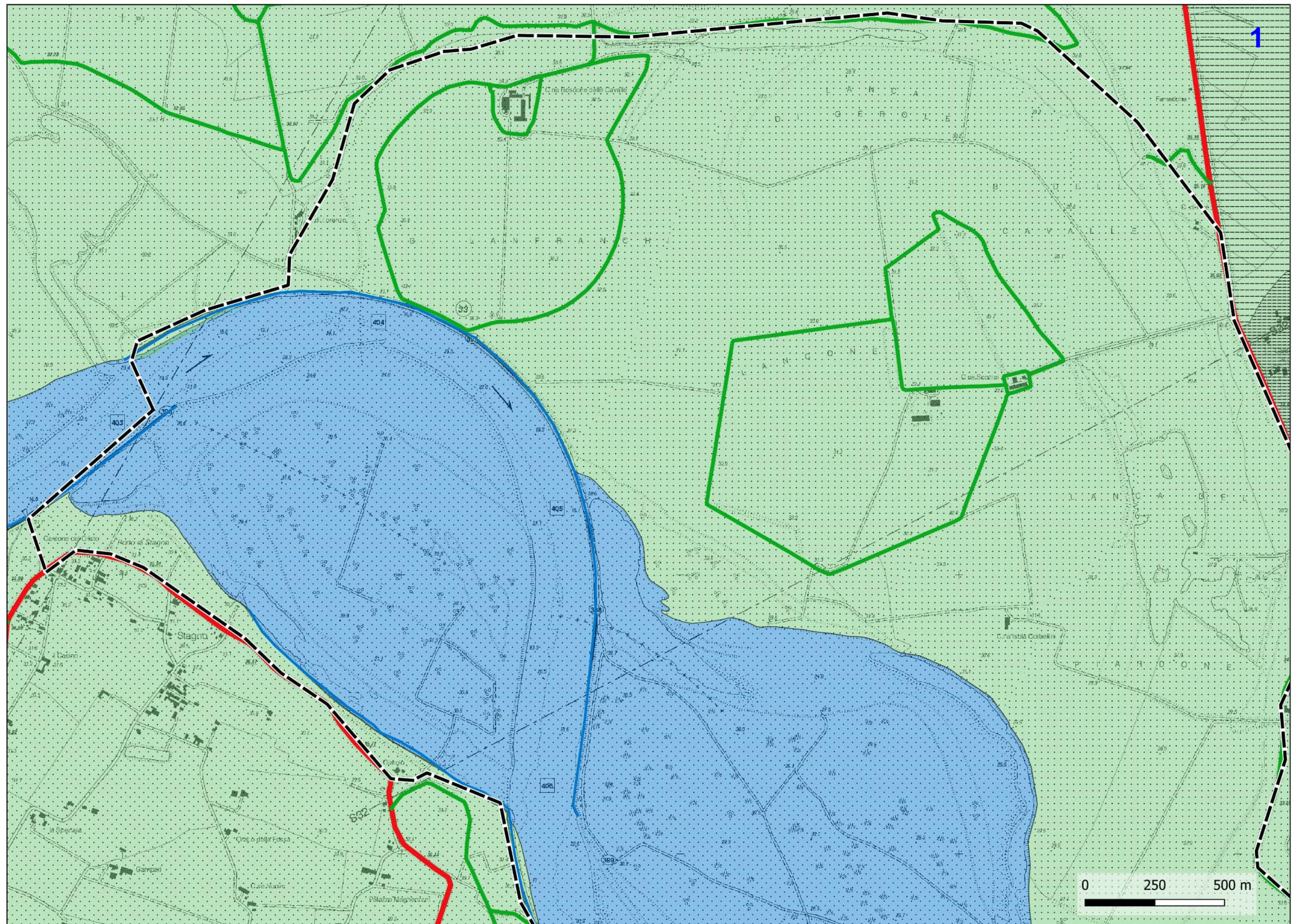
Sulla base di tali informazioni, in attesa dei risultati della campagna geognostica che consentiranno, in fase di progettazione esecutiva, di definire i valori caratteristici e di effettuare le verifiche di legge, si è stimato che le sabbie sopradescritte siano caratterizzate dai seguenti parametri (espressi come *range*):

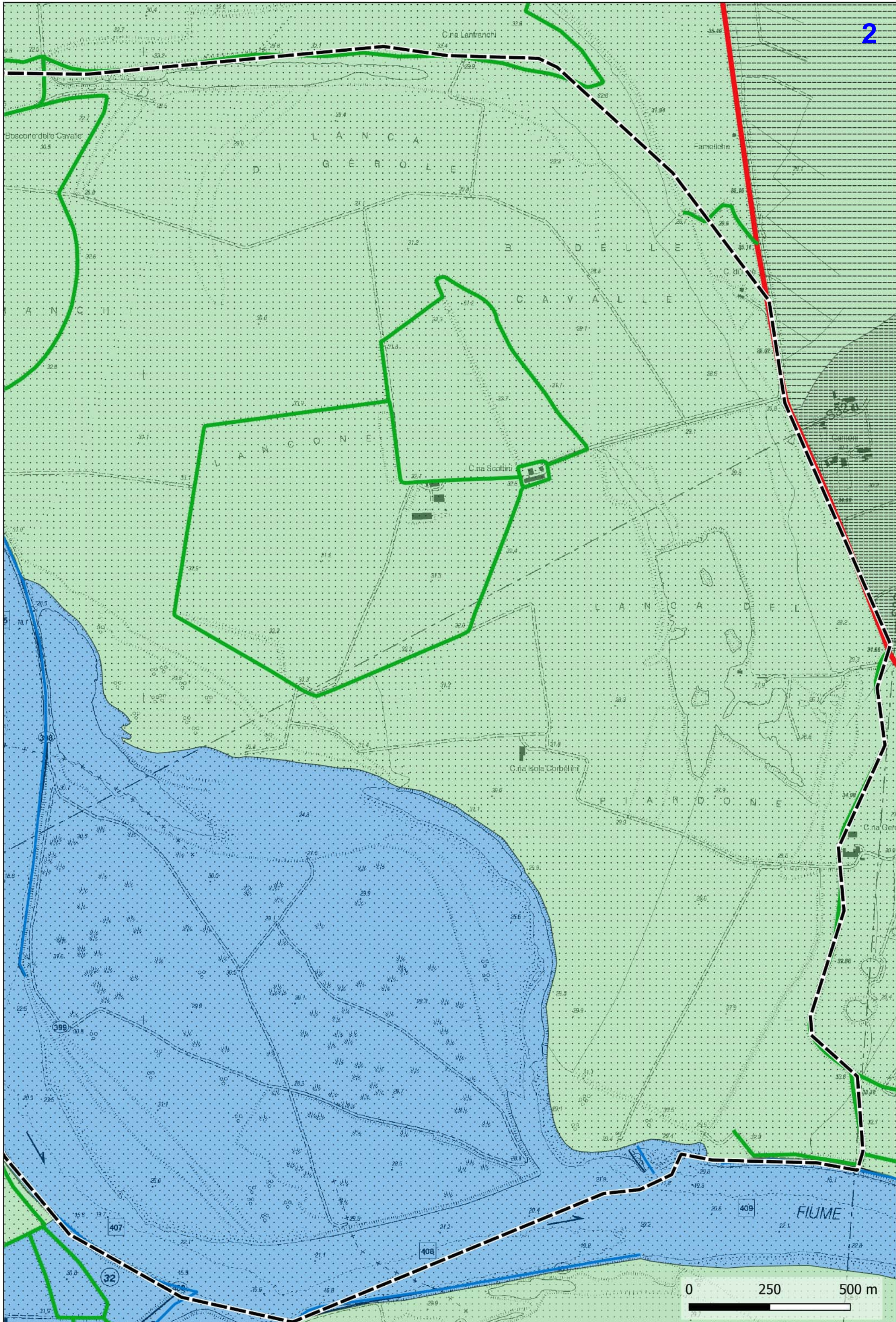
- angolo di attrito in termini di pressioni efficaci $\phi' = 30^\circ \div 35^\circ$
- peso specifico $\gamma = 19 \div 20 \text{ kN/m}^3$.

7 **ALLEGATI**

Allegato A Carta geologica







Allegato B Carta geomorfologica

Legenda



Alveo di magra desunto da volo AIPo 2002

Argini

Argine maestro

Argine golenale

Opere di difesa idraulica

Difesa in cassero costruita tra il 1931 e il 1953

Difesa in cassero costruita tra il 1953 e il 1967

Difesa spondale costruita tra il 1931 e il 1953

Opera in alveo costruita tra il 1953 e il 1967

Opera in alveo costruita tra il 1931 e il 1953

Opere in alveo costruite dopo il 1988

GEOMORFOLOGIA

Processi evolutivi delle sponde

Sponda alta stabile

Sponda alta arretrata nel 1979-2002
tasso tra 2 e 5

Fronte di erosione spondale attiva

Alvei abbandonati

Alveo abbandonato situato allo stesso livello del p.c. circostante

Alveo abbandonato incassato rispetto al p.c. circostante

Barre

Barra laterale (Side bar)

Barra di meandro (Point bar)

Canale di taglio (Chute channel)

Forme dovute alla presenza e all'azione delle acque

Orlo di scarpata o solco erosivo

Solco erosivo di ampiezza non cartografabile

Ventaglio di esondazione

Budrio preesistente al 1988

Budrio creato dalla piena del 1994

Budrio creato dalla piena del 2000

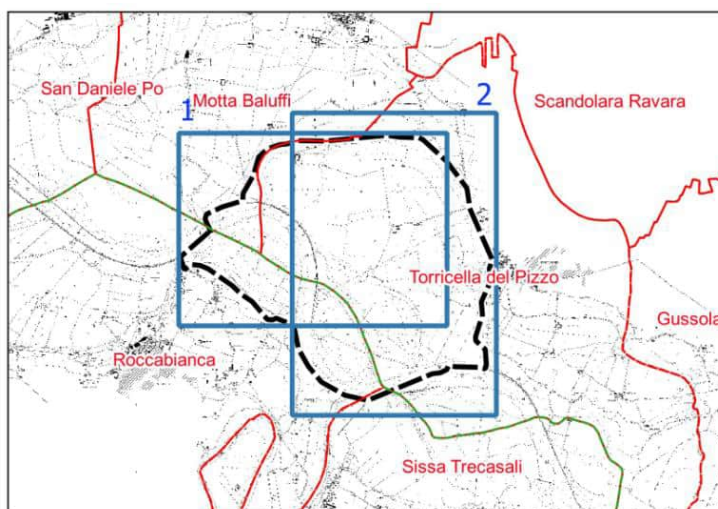
Rotta di argine golenale avvenuta durante la piena del 2000

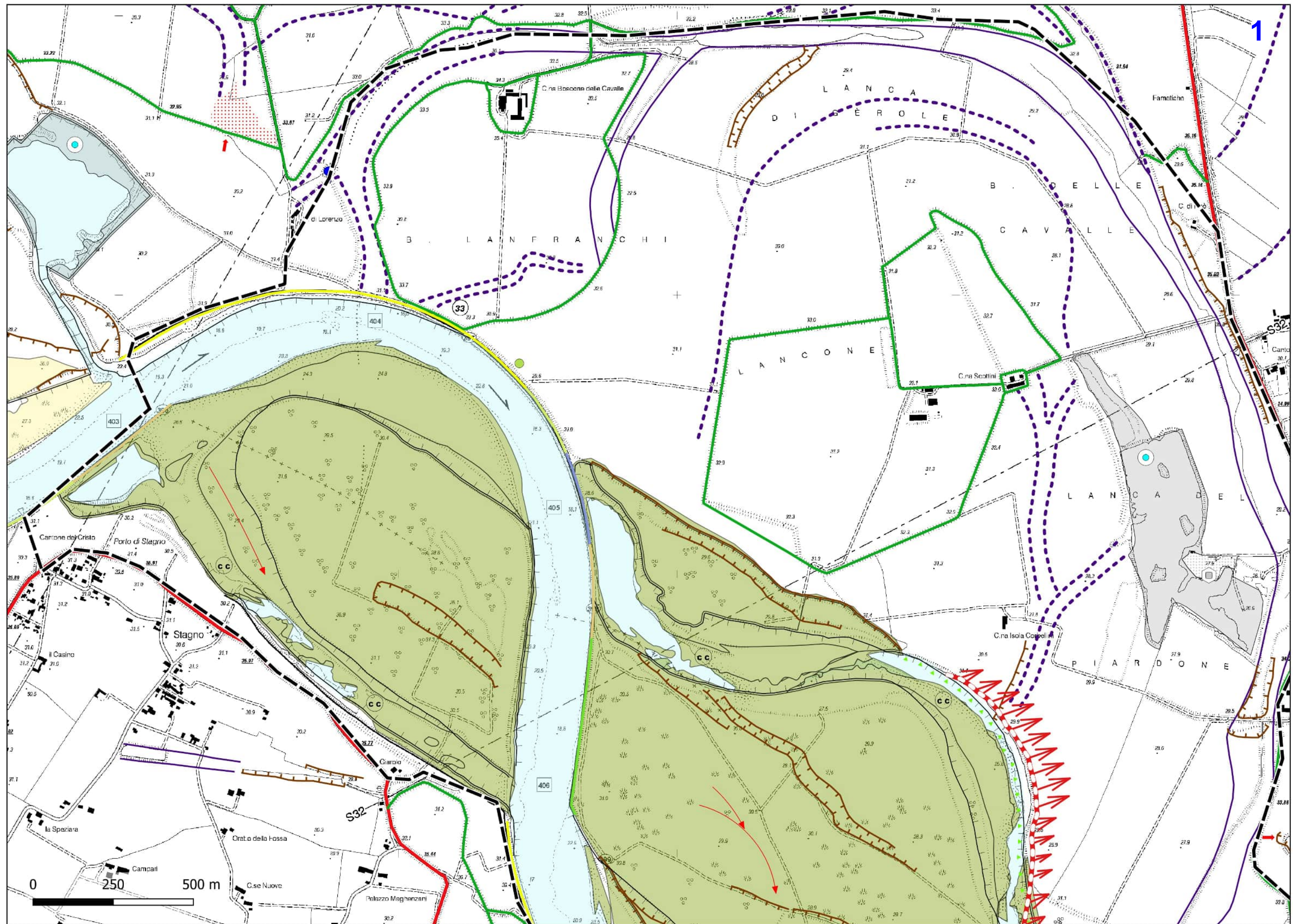
Area occupata da acque di falda o stagnanti

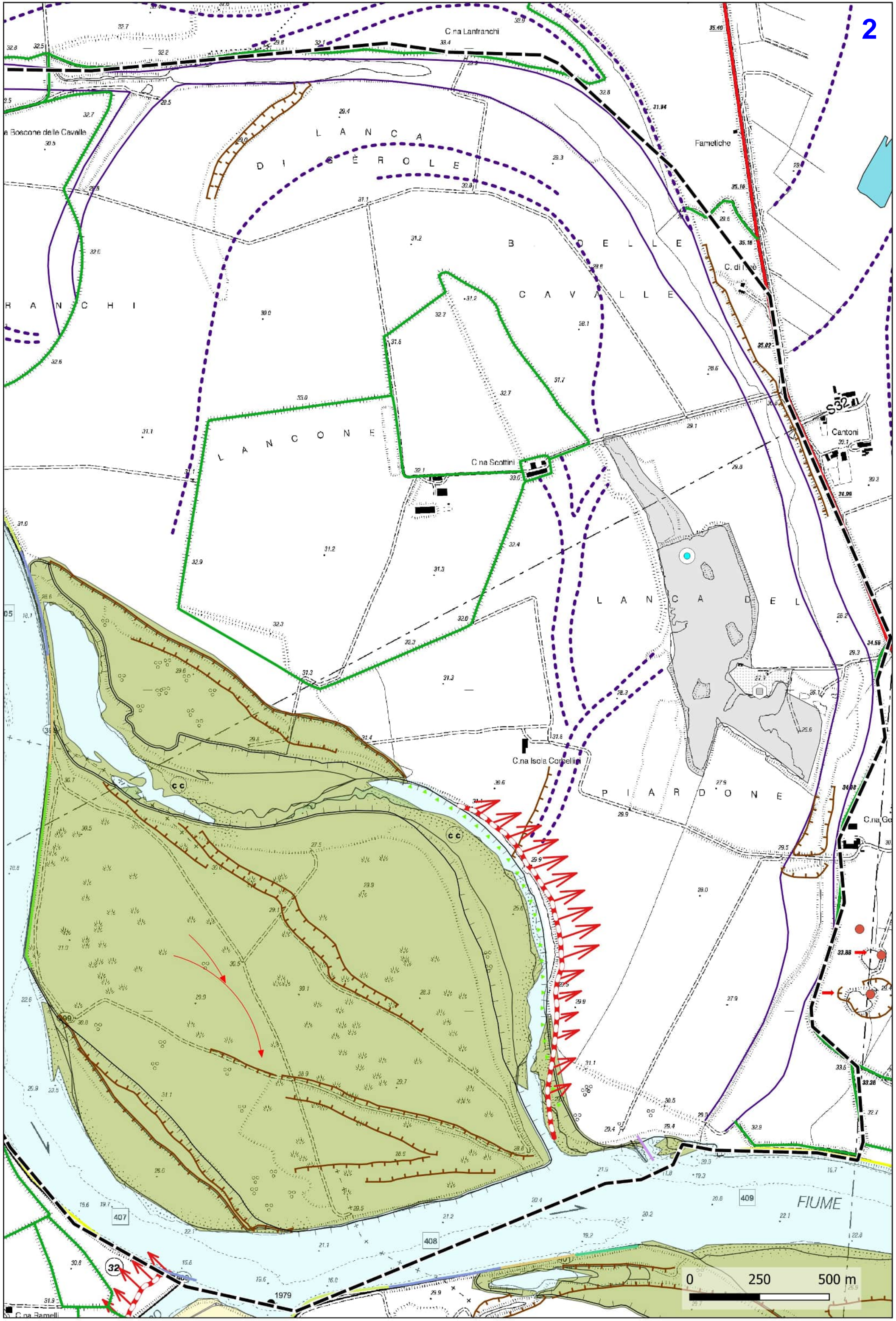
Usi antropici

Cave e riporti

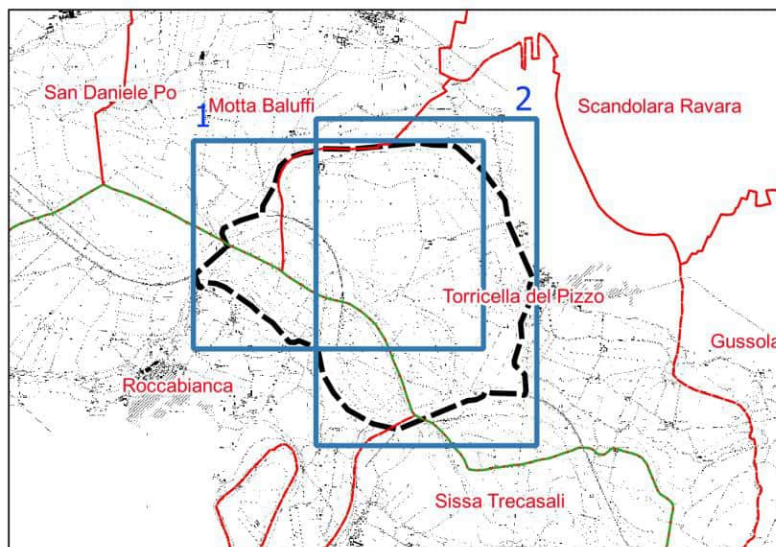
Cava a fossa attiva, inattiva o abbandonata, con falda affiorante







Allegato C Carta idrogeologica



Legenda



Limite Scheda 27



Argine golenale



Argine maestro



Alveo di magra desunto dal volo AIPo fiume Po 2002

Idrogeologia

Dinamica delle acque sotterranee



Direzione di flusso



Fascia a flusso idrico alternato

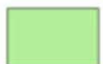
Permeabilità



Da Bassa a Nulla



Bassa



Da Elevata a Media

