



AIPO

Agenzia Interregionale per il fiume Po



COMUNE DI STAGNO LOMBARDO
Provincia di Cremona

SETTORE POLITICHE ENERGETICHE PATRIMONIO AMBIENTE SERVIZI LAVORI PUBBLICI

Titolo del Progetto

**CR-E-815 Rifacimento chiavica del Fossadone sull'Argine Maestro sinistro del fiume Po
in Comune di Stagno Lombardo (CR) - Cod OPERA 936 - CUP B53H19000290002 - CIG 82186558A7**

Livello di progettazione

PROGETTO DEFINITIVO



Progettazione
Ing. Gian Lorenzo Bernini
Ing. Rosaria Ragazzini
Geologia e Geotecnica
Dott. Geol. Alberto Trivioli

Indagini
Geognostiche:



Titolo

Relazione geologica

Numero

2020-815-CR-GE01

REVISIONE	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
02	28.08.2020	Aut. Paesaggistica	RR	RR	FA
03	23.12.2020	Progetto Definitivo	RR	RR	FA

Sommario

1	PREMESSA	2
1	RELAZIONE GEOLOGICA-SISMICA.....	5
1.1	Quadro di riferimento geologico	5
1.2	Quadro di riferimento stratigrafico	9
1.3	Caratteri geomorfologici del territorio comunale	15
1.4	La "Fascia di Meandreggiamento del fiume Po"	15
1.5	Forme dovute all'attività antropica	18
1.6	Modello geologico derivante dalle indagini	19
1.6.1.	Stratigrafia e aspetti idrogeologici	20
1.6.2.	Valori di permeabilità	20
1.6.3.	Commento alla sezione A-A'	26
1.7	Componente geologica del PGT (Piano di Governo del Territorio)	31
1.8	Sismicità.....	34
2	RELAZIONE GEOTECNICA	40
2.1	Indagini in sito.....	40
2.2	Analisi di laboratorio	41
2.3	Stratigrafia dei terreni di fondazione (modello geologico).....	44
2.4	Caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione.....	46
2.5	Microzonazione sismica, stima delle Vs30 e valutazione della categoria di sottosuolo di fondazione.....	47
2.5.1.	Caratteristiche sismiche del terreno	51
2.5.2.	Vita nominale di progetto, classi d'uso e periodo di riferimento.....	51
2.6	PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE – ANALISI DI 2° LIVELLO.....	53
2.6.1.	Scelta della scheda di riferimento	53
2.6.2.	Scelta della curva T-Fa	55
2.6.3.	Calcolo del periodo proprio del sito	55
2.6.4.	Fattore d'amplificazione	55
2.6.5.	Confronto tra i valori soglia calcolati dalla Regione Lombardia per il Comune	55
2.7	STATI LIMITE E RELATIVE PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO	57
2.8	VERIFICHE ALLA LIQUEFAZIONE	62
3	CONCLUSIONE	67

1 PREMESSA

Le presenti relazioni geologica-sismica e geotecnica, concernono i risultati delle indagini geognostiche, lo studio geologico-sismico e la stima dei parametri geotecnici per il progetto esecutivo di adeguamento e potenziamento della chiavica Fossadone in Comune di Stagno Lombardo (CR).

Lo studio e le indagini geologico-geotecnico-sismiche, nelle loro fasi di attuazione, sono stati eseguiti con particolare attenzione alle prescrizioni previste dalle norme specifiche vigenti in materia di opere di fondazione (D. 17 gennaio 2018 – Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni” - NTC 2018).

In accordo con la normativa si è provveduto ad effettuare la caratterizzazione e modellazione geologica del sito e, in base all'intervento in progetto, l'esecuzione delle indagini geotecniche, la successiva caratterizzazione fisico-meccanica delle litologie presenti nel volume significativo di terreno e la definizione dei modelli geotecnici di sottosuolo.

I dati sono stati integrati con quelli derivanti dalla letteratura e dalla cartografia tematica ufficiale esistenti; in particolare si è fatto riferimento all'indagine geologica di supporto al P.G.T. comunale di Stagno Lombardo redatto ai sensi della L.R. 12/2005 e della D.g.r. 30.11.2011 n. IX/2616 e s.m.i. a cura del Dott. Geol. Marco Daguali.

In fase d'esecuzione degli scavi per la realizzazione dei corpi fondazionali si prescrive di verificare, mediante supervisione geologica, le considerazioni di natura geologico-geotecnica assunte in questo elaborato.

Il presente elaborato fornisce una schematizzazione del terreno di fondazione di tipo litologico-stratigrafico e sismico e delle sue caratteristiche geotecniche per consentire ai progettisti delle strutture di dimensionare le opere di fondazione.

Da indicazioni ricevute dalla committenza, la classe d'uso delle strutture in progetto di nuova realizzazione rientra nella classe IV, caratteristica di “Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità” con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, in presenza di azioni sismiche.

Il territorio oggetto di intervento ricade nel Comune di Stagno Lombardo classificato a bassa sismicità in Zona 3, ai sensi dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri (n. 3274 – 20 marzo 2003 – G.U. n. 105 dell'8-5-2003 e alla Delibera della Giunta Regionale Lombardia 11/07/2014 n.X/2129 – Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia) “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”.

La caratterizzazione e la modellazione geologica e sismica del sito sono esposte nella Relazione Geologica (Cap.2); le indagini, la caratterizzazione e la modellazione geotecnica sono esposte nella Relazione Geotecnica (Cap.3).

Nelle figure seguenti è riportata l'area oggetto di studio.

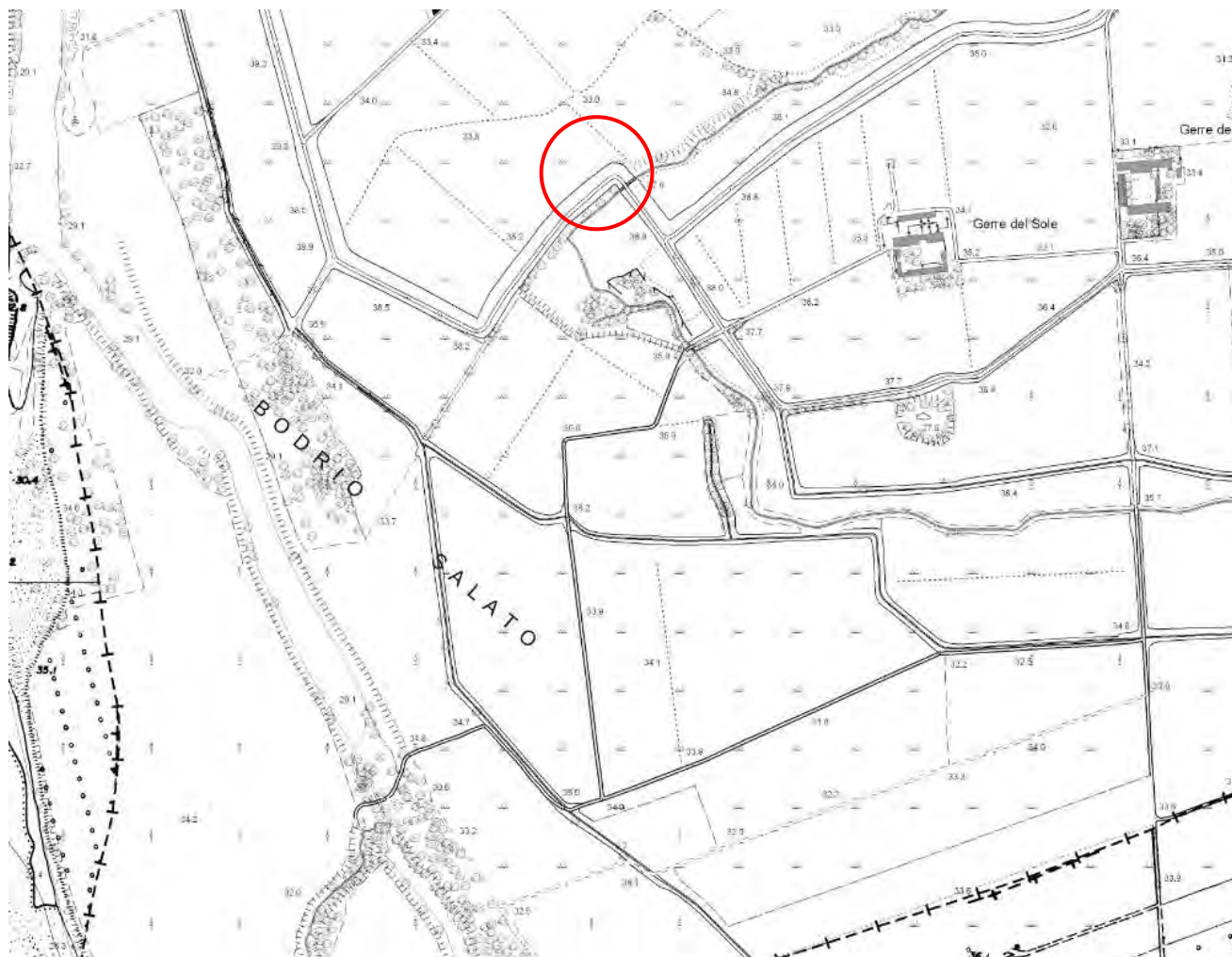


Figura 1: Estratto CTR 1.5000 Provincia di Cremona

○ Area oggetto di Studio



Figura 2: Foto aerea dell'area oggetto di studio

○ Area oggetto di Studio



Figura 3: Foto aerea dell'area oggetto di studio

○ Area oggetto di Studio

1 RELAZIONE GEOLOGICA-SISMICA

Per la parte geologica generale si è fatto ampio riferimento alla relazione geologica generale del febbraio 2012 redatta da Geol. Marco Dagupati per il PGT del Comune di Stagno Lombardo.

1.1 Quadro di riferimento geologico

Il territorio di Stagno Lombardo s'inserisce nelle ampie strutture regionali della pianura: in un ampio raggio affiorano solo depositi continentali di origine fluviale che, in questa zona, sono caratterizzati da condizioni di giacitura decisamente uniformi.

Tuttavia, al di sotto dei depositi continentali affioranti nell'ambito di indagine (che raggiungono lo spessore di migliaia di metri), è presente un basamento di origine marina per il quale le prospezioni geofisiche, eseguite nei decenni scorsi soprattutto a scopo di ricerca petrolifera, hanno permesso di rilevare una situazione strutturale complessa e non priva di significato neotettonico.

In linea generale, il bacino sedimentario corrispondente alla Pianura Padana si colloca nell'estremità settentrionale della microplacca Adria (un promontorio della zolla africana) che, sin dal tardo Cretacico, è stata coinvolta dallo scontro di due catene di opposta convergenza: l'Appennino settentrionale (N-vergente) e le Alpi meridionali (S-vergenti).

Studi sulla base della sequenza plio-quadernaria nella porzione centrale e meridionale della Pianura Padana (Pieri e Groppi, 1981) mostrano lo sviluppo di tre grandi archi costituiti da thrust ciechi N-vergenti che costituiscono il fronte più avanzato della struttura appenninica settentrionale: l'Arco del Monferrato (Elter e Pertusati, 1973), l'Arco Emiliano (sul quale si sviluppa il territorio di Stagno Lombardo) e l'Arco Ferrarese-Romagnolo. In corrispondenza del margine appenninico sepolto, gli eventi tettonici hanno strutturato una serie di bacini di "piggy-back" sul fronte della placca Adria, dove una potente successione sin-orogenetica è andata progressivamente depositandosi.

Sebbene la definitiva strutturazione del substrato sepolto venga tradizionalmente associata a una fase pliocenica media-inferiore (databile dalla discordanza esistente tra i sedimenti pliopleistocenici marini ed il substrato più antico), è opinione sempre più diffusa che i depositi alluvionali quadernari siano stati coinvolti in fasi neotettoniche, condizionando così anche la morfogenesi più recente (Braga et al., 1976; Pieri e Groppi, 1981; Burrato et. al., 2003).

A sostegno di questo fatto, molti Autori indicano sia gli affioramenti di sedimenti prewurmiani che emergono sul "Livello Fondamentale della Pianura" in prossimità degli assi di alcune strutture positive del substrato (zone di Romanengo, Volongo, Cavatigozzi), sia alcune sintomatiche "anomalie" che si manifestano in taluni tratti dei principali corsi d'acqua.

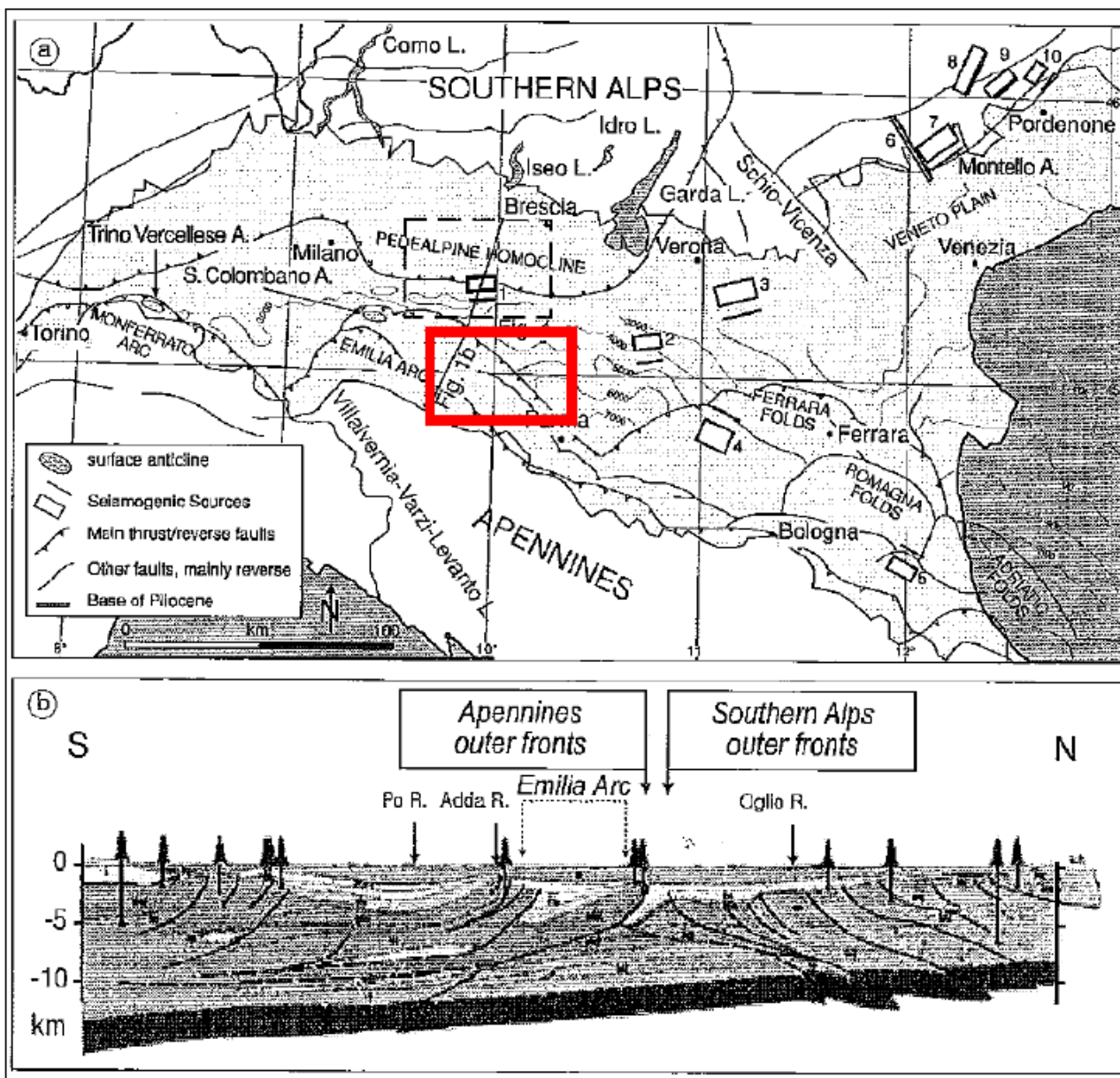


Figura 4: Schema tettonico del substrato della Pianura Padana ("Pieri and Groppi, 1981" in "Burrato et al.", 2003)

Lo stesso percorso del fiume Po, nel tratto compreso tra Cremona e Stagno Lombardo, potrebbe essere stato condizionato dagli assi strutturali del substrato: nel tratto citato il Fiume è caratterizzato da una significativa "rettificazione" rispetto ai tratti più a monte ed a valle e subisce un brusco cambio di direzione (da W-E a NW-SE), disponendosi sub-parallelo agli assi strutturali profondi. Anche l'altezza della scarpata morfologica principale (che scompare progressivamente ad E di Cremona lungo il margine del Livello Fondamentale della Pianura) potrebbe essere un ulteriore effetto del condizionamento neotettonico recente (Olocene) in corrispondenza delle principali strutture anticlinali.

I dati sul sottosuolo profondo nei pressi di Cremona, infatti, evidenziano nel substrato prequaternario una struttura sinclinale con asse a direzione e vergenza appenniniche ("Struttura di Cremona"), interessata sul fianco meridionale da una faglia inversa di significativo rigetto, anch'essa orientata WNW – ESE e vergenza verso quadranti settentrionali.

La struttura è stata giudicata neotettonicamente attiva anche nel Pleistocene superiore, mentre l'attività tettonica del thrust sembra essersi conclusa nel Pliocene (AQUATER, 1978).

Le indagini sismo-tettoniche finora condotte sulle strutture sepolte precedentemente descritte non ne hanno evidenziato una attività più recente, anche se documenti storici attestano che il 3 gennaio 1117 la città di Cremona venne colpita da un terremoto altamente distruttivo (Manini, 1819).

Nonostante gli importanti condizionamenti tettonici probabilmente attivi anche in epoca molto recente, non si rilevano concrete situazioni di rischio derivanti da sismi di superficie; l'ambito comunale, infatti, risulta classificato come zona sismica 4 (Ordinanza del Pres. Cons. Ministri n. 3274 del 20.03.2003).

A tale proposito va considerato come anche nelle aree sismicamente più attive della penisola italiana, i tempi di ritorno per i grandi terremoti siano superiori a 1000 anni, mentre l'attuale catalogo storico dei terremoti (considerato completo per eventi di magnitudo superiore a 5.5 solo dopo il 17° secolo) potrebbe non coprire adeguatamente il ciclo sismico della maggior parte delle aree sismogenetiche padane. Tuttavia, il confronto tra le deformazioni verticali a lungo termine (a partire dal Pleistocene superiore) e quelle a breve termine, calcolato utilizzando correlazioni geomorfologiche e misure geodetiche (De Martini et al., 1998), dimostra come per molti dei thrust attivi una buona parte dell'energia venga rilasciata in modo asismico: tale fattore giustificerebbe comunque l'attività neotettonica e il condizionamento della sedimentazione e dei lineamenti morfologici di superficie (Burrato et al., 2003), pur riducendo il rischio sismico a cui è esposta la Pianura Padana.

CARTA GEOLOGICA

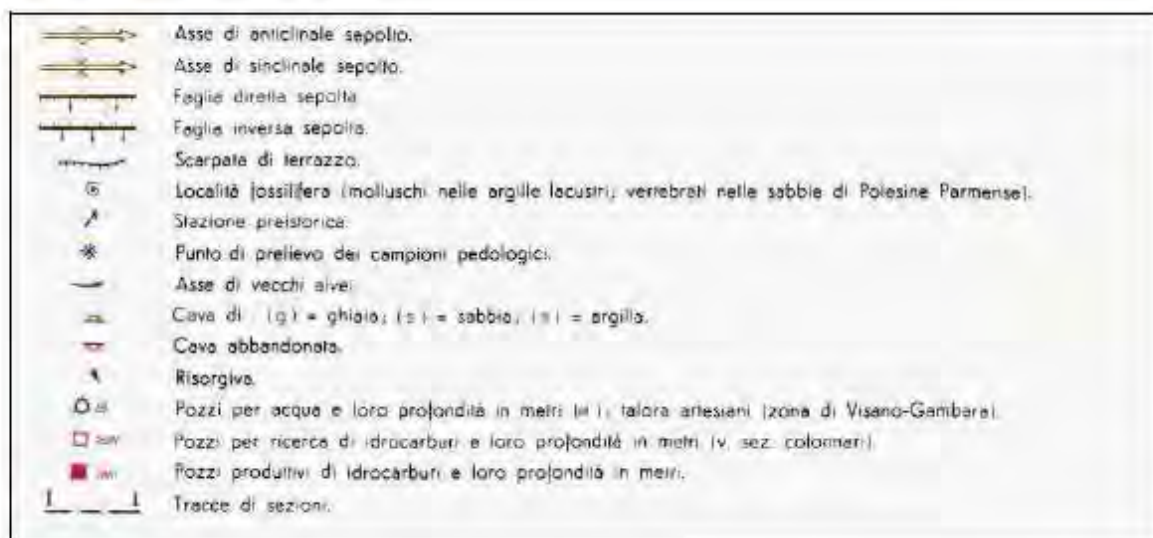
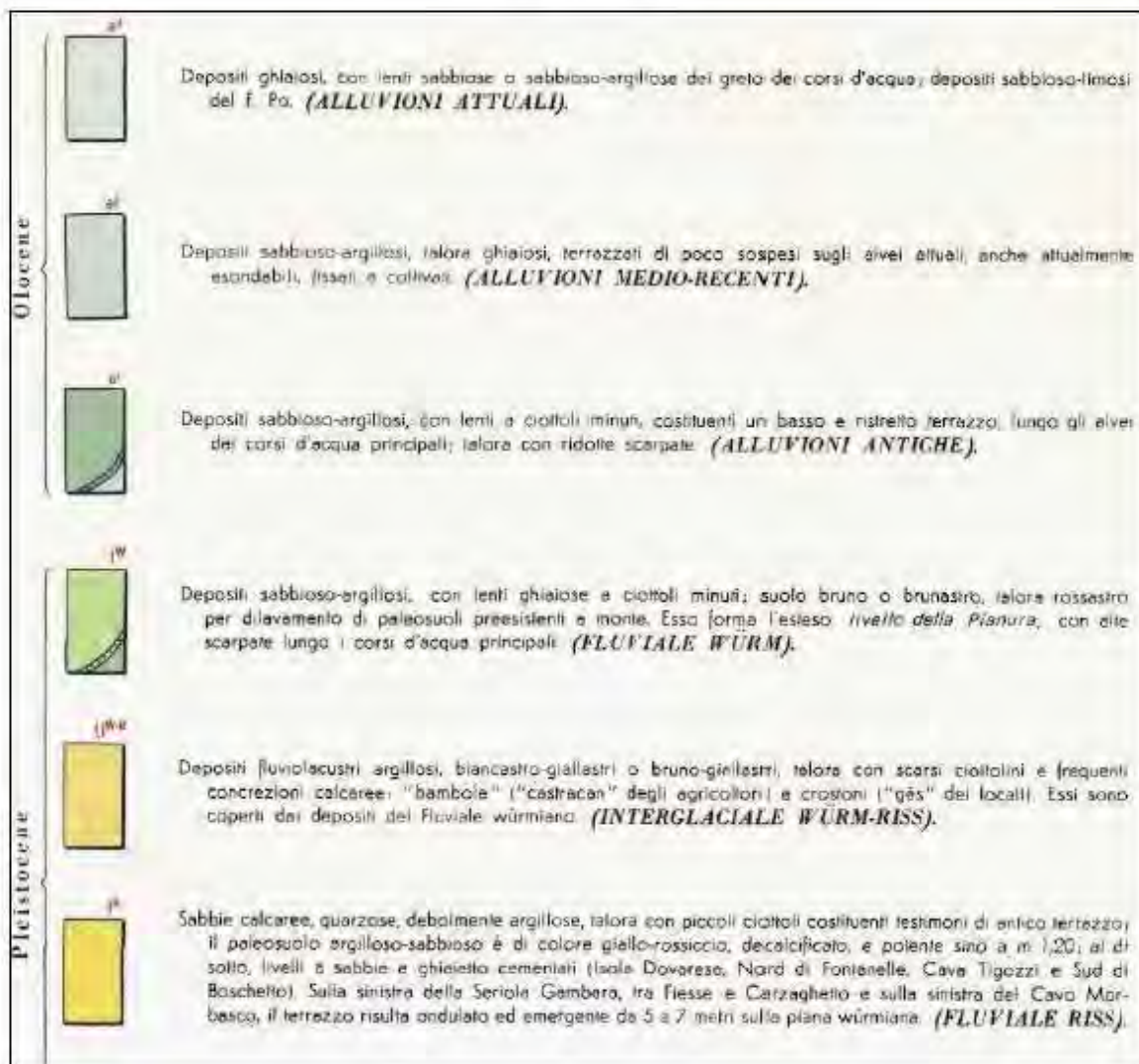


Figura 5: Stralcio della Carta Geologica d'Italia (Foglio 61 "Cremona")

○ Area oggetto di Studio

L'area in oggetto ricade nella zona dei terreni afferenti all'Olocene.

LEGENDA



1.2 Quadro di riferimento stratigrafico

Come evidenziato dalla cartografia geologica ufficiale (Carta Geologica della Lombardia scala 1:250.000 e Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 - Foglio n. 61 "Cremona"), le unità affioranti in un intorno significativo dell'area comunale di Stagno Lombardo sono di origine continentale.

Tali unità, caratteristiche di ambienti deposizionali di natura fluviale e di età compresa tra il Pleistocene medio - superiore e l'Olocene, sono:

- **Alluvioni attuali** - sono i depositi sabbiosi e/o limosi, con lenti ghiaiose a ciottoli minuti, affioranti all'interno dell'alveo ordinario del fiume Po in corrispondenza delle principali barre di deposito; essi sono separati altimetricamente dalle alluvioni medio-recenti lungo le ripe fluviali e vengono sommersi durante le piene ordinarie.

- **Alluvioni medio-recenti (Olocene)** - si tratta delle alluvioni affioranti con continuità lungo fasce più o meno ampie sulle sponde del Po e sono costituite da depositi di granulometria variabile tra la ghiaia e l'argilla. Sono depositi talora terrazzati, fissati e coltivati, di poco sospesi sull'alveo attuale del Po, anche inondabili in occasione di piene straordinarie ove non adeguatamente protetti da rilevati arginali.

- **Alluvioni antiche (Olocene inferiore)** - sono depositi ghiaiosi, sabbiosi, limosi ed argillosi presenti in modo discontinuo nelle valli oloceniche del reticolato idrografico. Le alluvioni antiche, affioranti in modo discontinuo, sono poste in posizione intermedia tra il Livello Fondamentale della Pianura e la piana alluvionale dei corsi d'acqua e, unitamente alle alluvioni recenti ed attuali, costituiscono l'intervallo cronostratigrafico olocenico della Provincia di Cremona.

- **Fluvioglaciale Wurm (Pleistocene superiore)** - è costituito da depositi sabbiosi e sabbioso-limosi con lenti ghiaiose a ciottoli minuti; l'Unità presenta un suolo bruno o brunastro, talora rossastro, per dilavamento di paleosuoli preesistenti a monte. I depositi costituiscono il substrato del Livello Fondamentale della Pianura (o Piano Generale Terrazzato).

Il limite tra le unità stratigrafiche oloceniche più recenti e quella più antica, così come quello tra i depositi olocenici e quelli pleistocenici, non è sempre delimitato da netti lineamenti morfologici (come avviene per altre zone di pianura), motivo per il quale nella tavola 1 CARTA GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA, di cui se ne riporta un estratto, esso è talora cartografato con segno discontinuo.

Secondo tale elaborato (dedotto anche dalla Carta Geologica d'Italia), il limite stratigrafico tra i depositi pleistocenici ed olocenici corre in prossimità del confine settentrionale del Comune di Stagno Lombardo: per un certo tratto il limite corrisponde alla scarpata (riva sinistra) del paleoalveo del fiume Po ripercorso dal C. Fossadone. A N della C.na Solata, il limite inverte direzione (SSW-NNE) e mette a contatto i depositi pleistocenici con le alluvioni antiche del Po. A partire da tale località, il contatto non corrisponde più ad un preciso lineamento morfologico; si riscontrano invece a piano campagna una serie di piccole scarpate (con dislivelli dell'ordine di pochi decimetri), fra loro sub-parallele, degradanti in direzione NNW-SSE.

Alquanto interessante risulta invece l'esteso affioramento di alluvioni oloceniche antiche che occupa la porzione settentrionale del Comune di Stagno Lombardo: il limite stratigrafico tra i depositi antichi e quelli recenti corrisponderebbe alla linea percorsa dalla Roggia Riale fino a C.na Lago Scuro e poi dal Dugale Pozzolo. Non è da escludere che le emergenze idriche che si osservano lungo la R. Riale e i fenomeni sorgentizi da cui si origina la Sorgiva Grasselli in prossimità del confine comunale di Pieve d'Olmi siano manifestazioni sorgentizie in corrispondenza di un contatto tra unità stratigrafiche caratterizzate da differente permeabilità e trasmissività (sorgenti di contatto?).

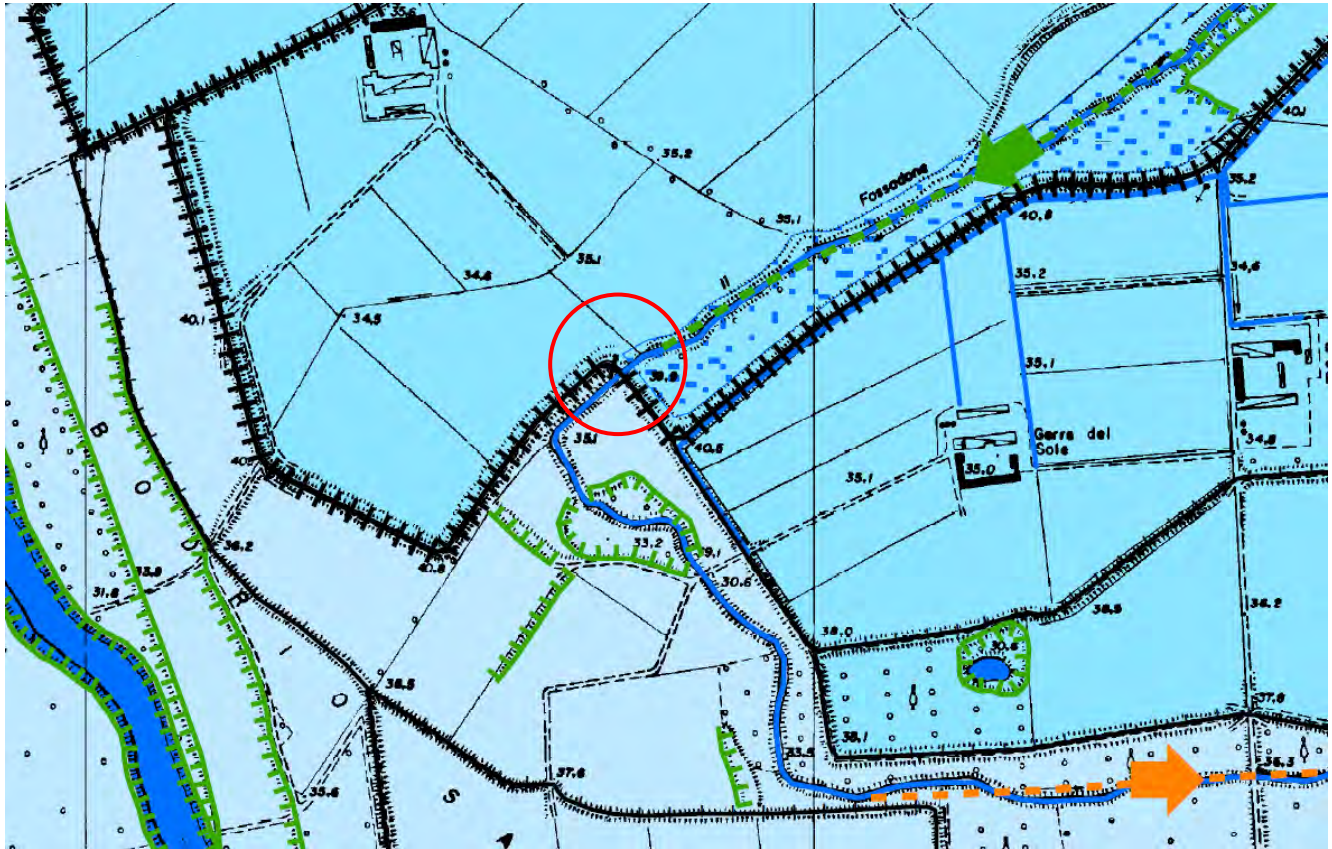



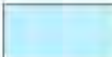



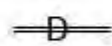






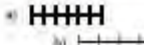
Figura 6: Estratto carta geologica e geomorfologica TAV.1

○ *Area oggetto di Studio*

L'area in oggetto ricade nella zona dei terreni caratterizzati da depositi alluvionali antichi. L'area oggetto di studio ricade anche in Area morfologicamente depressa con falda talvolta subaffiorante.

L'andamento generale del livello della falda tradizionale evidenzia linee di flusso con direzione prevalente N-S con valori di soggiacenza (4-7 m).

E' ipotizzabile un innalzamento della falda sino a 1÷2 m circa dal p.c. in periodi di massima ricarica dell'acquifero, in concomitanza di particolari situazioni di piena fluviale eccezionale e di prolungati eventi meteorici.

LEGENDA		
UNITA' STRATIGRAFICHE (dalla Carta Geologica d'Italia, F.S.I. "Cemina")	SIMBOLO	UNITA' GEOMORFOLOGICHE
OLOCENE		
ALLUVIONI OLOCENICHE DEL PO		FASCIA DI MEANDREGGIAMENTO DEL PO
ALLUVIONI ATTUALI Depositi prevalentemente sabbiosi del grato del Fiume Po		Forme deposizionali poste all'interno dell'alveo lucido del Fiume Po (sole, bare di accrescimento, ecc.)
DEPOSITI ALLUVIONALI MEDIO-RECENTI Depositi sabbioso-limosi, talora ghiaiosi, terrazzati, di poco sospesi sugli alvei attuali, anche attualmente erodibili, fissati e coltivi (Olocene medio-superiore)	 1)	Sistema di terrazzi fluviali del Po, sospesi di pochi metri sull'alveo attivo e fissato da: 1) una superficie modellata sui depositi recenti, attraversata dall'insieme delle forme fluviali che vengono riativate in occasione delle piene principali;
	 2)	2) una superficie parzialmente protetta dalle inondazioni, attraversata da inondazioni al verificarsi di piene straordinarie, in occasione delle quali prevalgono fenomeni deposizionali (fascia di inondazione per piene straordinarie);
DEPOSITI ALLUVIONALI ANTICHI (*) Depositi sabbioso-argillosi, con fessure a piccoli canali, erodibili in basso e ricetto terrazzo, sviluppati tra il Livello Fondamentale della Pianura ed i depositi olocenici medio-recenti (Olocene inferiore)	 3)	3) una superficie esterna all'alveo attuale, da tempo indurita dai fenomeni morfologici e sedimentari del corso d'acqua.
PLEISTOCENE		
DEPOSITI FLUVIALI ANTICHI Alluvioni fluvio-glaciali e fluviali, prevalentemente sabbiose, con lenti limose e sottili livelli ghiaiosi e con strati di alterazione superficiale di debole spessore, generalmente bruno-rossi		Livello Fondamentale della Pianura (o Fiume Generale Terrazzo): superficie erosiva, polifase modellata sui corpi sedimentari formati per aggradazione fluviale durante il Pleistocene.
Limite presunto, privo di evidenze a piano campagna.		
ELEMENTI STRUTTURALI MODELLATI NEL SUBSTRATO PRE-QUATERNARIO SEPOLTO		
Asse di simmetria seguita		
PRINCIPALI ELEMENTI MORFOLOGICI		
Scarpa morfologica generalmente associata a forme fluviali recenti		
Spinta fluviale soggetta ad erosione		
Traccia planimetrica di antico percorso fluviale (paludoso) a) estinto; b) parzialmente riattivabile in occasione delle piene del Po		
Depressioni morfologiche, generalmente derivanti da fenomeni erosivi di origine fluviale (buchi), con acqua di falda affiorante		
Area morfologicamente depressa (con falda affiorante)		
Retinale idrografica		
ELEMENTI ANTROPICI		
Rilevati agricoli, principale o secondario (a), secondari o generali (b)		

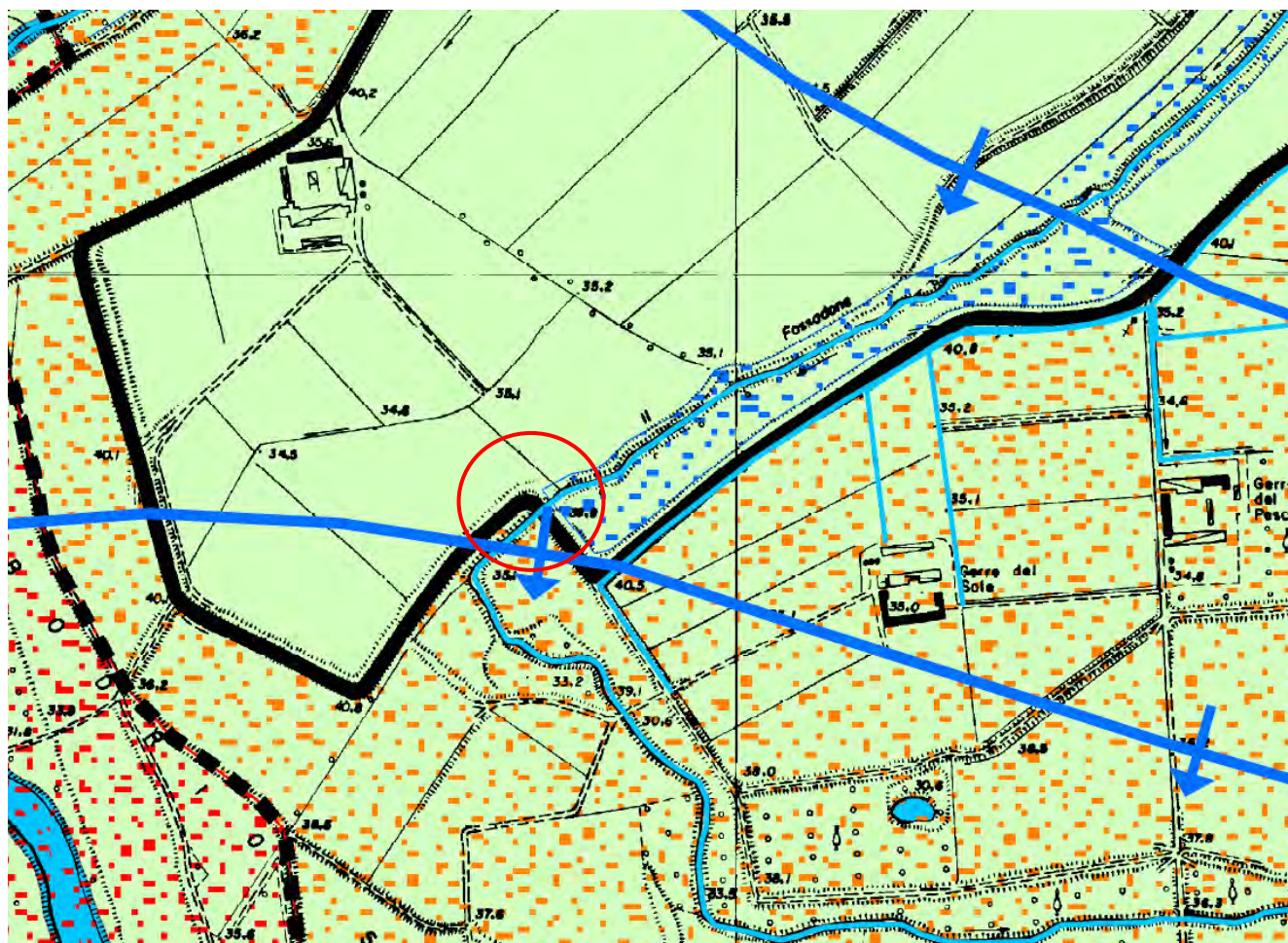


















Figura 7: Estratto carta idrogeologica TAV.4

○ Area oggetto di Studio

L'area in oggetto ricade nella zona dei terreni caratterizzati da una vulnerabilità dell'acquifero superficiale da alta a elevata
– Acquifero generalmente libero, privo di coperture superficiali.

LEGENDA	
CORPI IDRICI SOTTERRANEI E SUPERFICIALI	
Linea isopiezometrica della falda superficiale e relativa quota in m s.l.m. (rilievo piezometrico: anno 2001).	
Direzione di flusso della falda superficiale.	
Reticolo idrografico.	
Depressione morfologica con acqua di falda affiorante.	
Fenomeni sorgentizi.	
ELEMENTI ANTROPICI	
Pozzo acquedottistico.	
PERMEABILITA' MEDIA DEI DEPOSITI SUPERFICIALI	
 BASSA - Terreni di natura limosa e argillosa (2-3 m) a copertura di depositi sabbiosi di discreta permeabilità.	
 DISCRETA - Depositi sabbiosi privi di significative coperture fini.	
SOGGIACENZA MEDIA (S) DELLA SUPERFICIE PIEZOMETRICA (*)	
 $S \leq 2 \text{ m}$	 $2 < S \leq 5 \text{ m}$
(*) La soggiacenza nella fascia sviluppata a margine del Po va intesa come un valore di primo riferimento in quanto soggetta a consistenti escursioni piezometriche correlabili con il regime idrometrico del vicino corso d'acqua.	
VULNERABILITA' DELL'ACQUIFERO SUPERFICIALE	
 DA BASSA A MODERATA - Acquifero da confinato a semi-confinato, protetto da coperture di natura limo-argillosa; la falda subaffiorante può comunque dar luogo a condizioni di elevata esposizione dell'acquifero alla pressione antropica di superficie.	
 DA ALTA A ELEVATA - Acquifero generalmente libero, privo di coperture superficiali (*).	
(*) I complessi rapporti d'interscambio idrico tra acque sotterranee e Po, soprattutto durante le piene del fiume, incrementano il grado di esposizione della falda a potenziali agenti inquinanti idroveicolabili e aumentano gli indici di vulnerabilità.	
AREE VULNERABILI DAL PUNTO DI VISTA IDRAULICO	
Fascia di prima esondazione del Fiume Po.	
Fascia di esondazione del Po per piene straordinarie (T = 200 anni).	
Fascia di potenziale esondazione del reticolo idrico secondario.	
 Traccia delle sezioni stratigrafiche presentate in relazione geologica generale.	

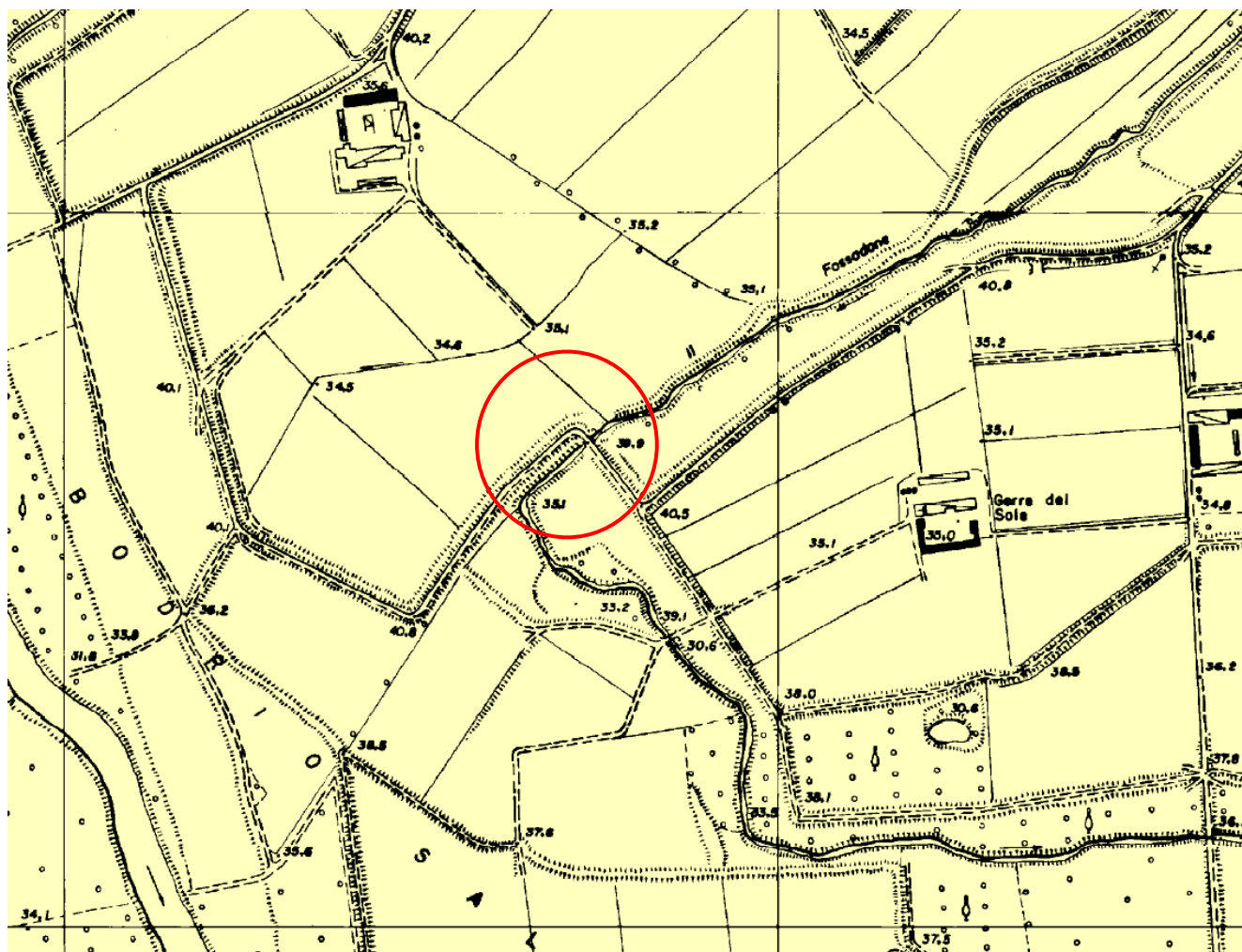


Figura 8: Estratto carta scenari di pericolosità sismica locale TAV.5

○ Area oggetto di Studio

L'area in oggetto ricade nella zona Z4a caratterizzata dalla presenza di depositi alluvionali e fluvioglaciali granulari e/o coesivi.

LEGENDA			
SIGLA	SCENARIO DI PERICOLOSITA' SISMICA	EFFETTI	CLASSE DI PERICOLOSITA' SISMICA
Z4a	Zona con presenza di depositi alluvionali e fluvioglaciali granulari e/o coesivi.	Amplificazioni litologiche.	H2

1.3 Caratteri geomorfologici del territorio comunale

Il Comune di Stagno Lombardo è posto nel settore centro-meridionale della pianura cremonese, è interamente compreso fra le quote di 38 e 29 m s.l.m. e si presenta in larga parte come una superficie pianeggiante all'interno del solco vallivo occupato dalle alluvioni oloceniche (antiche, recenti ed attuali) del Fiume Po: esse incidono ed interrompono a N la continuità dei sedimenti wurmiani del "Livello fondamentale della pianura".

Vengono di seguito riportati i due sistemi morfologici che caratterizzano il territorio comunale:

1. la "Fascia di meandreggiamento del fiume Po", costituito da una serie di ripiani di origine alluvionale;
2. il "Livello Fondamentale della Pianura".

L'area in esame rientra come riportato in Tav. 1 nella Fascia di Meandreggiamento.

1.4 La "Fascia di Meandreggiamento del fiume Po"

La fascia di meandreggiamento olocenica del Po è costituita da un sistema di terrazzi alluvionali sospesi alcuni metri sopra l'alveo attivo del corso d'acqua. All'interno del sistema morfologico i singoli ripiani non sono sempre chiaramente riconoscibili (soprattutto in corrispondenza della sua porzione più antica) sia perché modificati dall'intensa pratica agronomica (la quale tende ad occultare i lineamenti di più esili dimensioni), sia perché rimaneggiati o "ricoperti" dagli intensi fenomeni alluvionali succedutisi nell'Olocene. Tuttavia, all'interno del sistema olocenico si riconoscono tre fasce distinte:

- Una superficie modellata nei depositi più recenti, interessata dall'insieme delle forme fluviali (scarpate, depressioni morfologiche ecc.), dovute all'azione modellatrice del Po, che vengono ancora riattivate in occasione delle piene principali. Si tratta della fascia di prima esondazione del corso d'acqua, compresa fra l'alveo attivo del Po e l'argine più vicino al fiume (argine di frontiera) tra quelli golenali.
- Una superficie parzialmente protetta dalle esondazioni attraverso una serie di argini secondari (o di golena), ancora interessata da inondazioni al verificarsi di piene straordinarie. Seppur allagabile per piene particolarmente intense (la superficie corrisponde alla fascia B del P.A.I.), quest'area non è più interessata dal deflusso principale della corrente e la ridotta velocità dell'acqua di piena non è in grado di produrre (o riattivare) fenomeni erosivi significativi (a meno di eventi rovinosi derivanti dalla rottura dei rilevati arginali di golena). In questo settore, durante le piene, prevalgono i fenomeni deposizionali del materiale più fine (sabbia, limo e argilla) in sospensione nell'acqua.
- Una superficie esterna all'area golenale, da tempo indisturbata dai fenomeni morfologici e sedimentari del corso d'acqua. Secondo gli Autori della Carta Geologica d'Italia, questa fascia, esterna alle precedenti, è modellata in parte nei depositi alluvionali più antichi del Po (Olocene inf.) e in parte in quelli medio-recenti (Olocene medio).

Come innanzi premesso, l'apparente monotonia planare olocenica rappresenta solo semplicisticamente la configurazione media della pianura di Stagno Lombardo e maschera in realtà una situazione più complessa riconducibile a molteplici fasi deposizionali ed erosive, dipendenti dai numerosi fenomeni di origine fluviale succedutisi in un passato anche molto recente.

Nel corso del rilevamento di dettaglio del territorio di Stagno Lombardo sono stati riconosciuti e parzialmente cartografati una serie di elementi morfologici: si tratta in genere di piccoli ripiani, dossi e depressioni la cui evidenza è tanto maggiore quanto più ci si avvicina al fiume Po. Frequentemente è risultato molto difficile separare la componente artificiale dall'originale assetto naturale: a tale scopo sono spesso intervenuti criteri di continuità areale, interpolando le scarpate morfologiche e le rotture di pendenza i cui dislivelli sono contenuti nell'ordine di pochi decimetri.

Per meglio interpretare i processi morfologici e sedimentari fluviali che hanno dato vita a questo lembo di territorio, si ricorda come il Po presenti, in questo tratto di pianura, un tipico alveo a meandri di pianura alluvionale soggetta a inondazione durante le piene maggiori.

I meandri sono forme fluviali in rapida evoluzione a causa della facile erodibilità delle sponde sabbiose. La pianura circostante, per effetto dei depositi abbandonati durante le inondazioni, tende ad innalzarsi, aumentando nel tempo il dislivello tra il fondo dell'alveo ed il piano di inondazione. L'innalzamento degli argini naturali limita a sua volta le esondazioni, cosicché i materiali solidi, depositati in alveo durante le fasi di decrescita delle piene, determinano la pensilità del fiume sulla pianura circostante e ne favoriscono le esondazioni.

In relazione alla morfogenesi fluviale, è noto come il meandro di pianura mostri una spiccata tendenza ad accentuarsi. Il filone centrale della corrente si sposta verso la parte esterna del meandro e corre in vicinanza della sponda concava, contrariamente a quanto avviene su quella convessa. In una successione di meandri, quindi, la corrente lambisce successivamente la riva destra e la sinistra, descrivendo sinuosità maggiori di quelle mostrate dall'alveo: la capacità erosiva del filone principale della corrente, perciò, tende ad aumentare la sinuosità del fiume in ogni ansa, sottoponendo la riva concava ad una erosione progressiva. Sulla sponda convessa, invece, la corrente, più lenta rispetto alla riva concava, abbandona una parte del carico trasportato e deposita la cosiddetta "barra di meandro o lobo" (di natura prevalentemente sabbiosa). Il risultato morfometrico è pertanto quello di una riva concava generalmente più ripida di quella convessa.

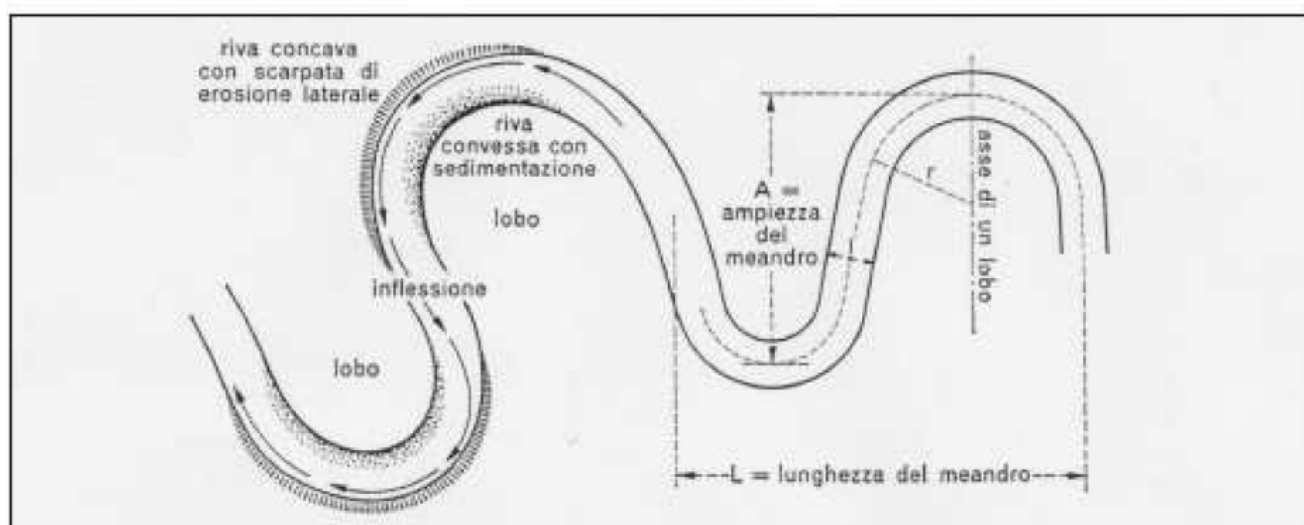


Figura 9: Terminologia ed elementi morfologici dei meandri fluviali (da "Geomorfologia, 1989 – G.B. Castiglioni)

La progressiva tendenza all'accentuazione di un meandro porta al fenomeno indicato come "salto di meandro", la cui forma relitta è un ramo del corso d'acqua indicato con il nome di lanca o mortizza che, nel tempo, è soggetto ad un progressivo impaludamento ed interrimento con depositi fini (argilla e limo), caratterizzati da una diffusa componente organica ("clayplug" della letteratura anglosassone).

Letto in chiave dinamica, il modello morfo-deposizionale fornisce spiegazione ad ogni forma presente sul territorio di Stagno Lombardo, sia essa attiva o inattiva; i fenomeni morfogenetici, infatti, assumono significato sia come agenti responsabili delle forme inattive (i paleoalvei), sia come elemento di pericolosità in corrispondenza delle rive attuali del corso d'acqua.

Ricorrendo all'analisi morfologica e morfometrica sono state riconosciute numerose tracce di paleoalvei, riconducibili ad antichi percorsi del Po; in particolare:

1. La traccia di paleomeandro attualmente percorsa dal C. Fossadone a NW dell'abitato di Stagno Lombardo, passando per C.na Solata. Il paleoalveo è evidenziato da modeste scarpate erosive (antiche rive del fiume), frequentemente rimaneggiate da interventi antropici. La scarpata più evidente è quella che si sviluppa a N di C.na Solata che, secondo gli Autori della C.G.I., rappresenta il limite stratigrafico fra le Unità pleistoceniche e quelle oloceniche.
2. Il meandro abbandonato di cui sopra si interrompe verso S in corrispondenza di un secondo paleomeandro (più recente del primo), sviluppato intorno alla frazione di Brancere. Il lineamento morfologico è caratterizzato da una

netta depressione, delimitata da scarpate ben conservate. Il paleoalveo è occupato a N dal "Po Morto" e, per il rimanente tratto, dal Fossadone fino alla sua intersezione con l'arginatura maestra.

3. Altrettanto degno di interesse è il paleomeandro del Po ora occupato dal Colatore "Morta": l'alveo circonda le località di Isola Alta, Isola Bandera ed Isola Provaglio (da cui la toponomastica) nel settore occidentale del Comune di Stagno Lombardo. E' il più recente fra i paleomeandri finora descritti; le scarpate relitte hanno un'altezza che supera anche il metro, nonostante siano frequentemente interrotte e rimaneggiate a causa dei rilevati arginali.
4. Il quarto evidente paleomeandro è quello sviluppato in area golenale a S di C.na Gerre del Sole, ancora percorso dal Fossadone fino alla sua confluenza nel Po. La scarpata che delimita la riva convessa dell'antico meandro presenta pochi decimetri di dislivello, mentre quella concava supera anche il metro. Perpendicolarmente all'asse dell'antico alveo, a SE di "la Capanna" (Comune di Polesine P.se), è stato cartografato, quale forma quiescente, un canale di esondazione ed erosione del fiume Po, attraverso il quale defluisce l'acqua durante le piene. Tale lineamento è una delle cause dei fenomeni erosivi che si sono verificati in occasione della piena del 2000: favorita dall'argine consortile realizzato a protezione di "la Capanna", la corrente fluviale si sarebbe "incanalata" con direzione WSW-ENE fino in prossimità del Fossadone. Incontrando perpendicolarmente le scarpate del paleomeandro, l'alveo del Fossadone e le strutture arginali consortili, il flusso (divenuto turbolento) avrebbe aumentato la propria capacità erosiva: si spiegherebbero in questo modo sia il localizzato ed ingente dissesto dei rilevati arginali consortili, sia le depressioni antiche (bodri) e recenti (quest'ultime datate alla piena del 2000 e successivamente ritombate) manifestatesi in sponda sinistra del Fossadone a S di C.na Casotti.
5. In Tavola 1 inoltre è stato cartografato il paleomeandro nel quale scorre la Roggia Fossadone, a N e NE del "Balottino". Le uniche tracce di scarpata si rilevano in corrispondenza della riva concava a S della "C.na Caselle"; le tracce cartografiche del paleomeandro si esauriscono in corrispondenza della "Vigna", troncate dai segni di un canale di erosione riattivatosi durante la piena del 2000. Anche in questo caso si sono manifestati fenomeni di rottura degli argini consortili associati a profonde erosioni secondo un meccanismo molto simile a quello descritto in precedenza.
6. Anche se privo di chiare evidenze a piano campagna (i resti delle rive sono state fortemente rimaneggiati dagli interventi agronomici), è stato cartografato anche il paleomeandro percorso dal Dugale Valpaolina, sviluppato a NE di C.na Caselle fino a N di C.na Gambina.

In Tavola 1 sono state cartografate le superfici esondabili del fiume Po, del Colatore Fossadone e dello Scolo Morta. Mentre per il fiume Po e per lo Scolo Morta tali aree sono comprese entro arginature, per quanto concerne le aree esondabili del Colatore Fossadone, in mancanza di dati più precisi e maggiormente attendibili, esse sono state delimitate sulla base sia di testimonianze locali, sia di criteri topografici. Poiché il Colatore Fossadone sfocia nel fiume Po attraversando l'argine maestro ad W di Gerre del Sole, sussiste il pericolo di fenomeni di rigurgito del corso d'acqua in occasione degli eventi di piena. Per tale ragione l'attraversamento dell'argine maestro è regolato da paratoie che vengono chiuse durante le piene del fiume Po. Al fine di evitare pericolosi fenomeni di esondazione del Fossadone, si ricorre all'impiego di impianti di sollevamento mobili. La precarietà di tale misura e la mancanza di adeguate arginature di contenimento potrebbe provocare fenomeni di alluvionamento di aree più ampie rispetto a quelle cartografate: sarebbe pertanto opportuno calcolare adeguatamente le portate di piena del C. Fossadone, al fine di ricorrere a soluzioni strutturali ed idrauliche più corrette, quali la realizzazione di strutture arginali o l'impiego di impianti di sollevamento fissi opportunamente dimensionati.

In relazione alle aree esondabili del fiume Po, si desidera segnalare come l'area di golena (compresa fra l'arginatura maestra ed il fiume Po) sia fittamente percorsa da arginature secondarie realizzate allo scopo di proteggere i terreni e le strutture private ivi esistenti. Tali arginature proteggono dal Fiume solo in occasione di piene ordinarie mentre, in caso di portate eccezionali, il livello idrometrico può superare la quota dei rilevati secondari, inondando l'intera area golenale. La Tavola 1 reca pertanto la seguente distinzione:

- a) le aree di prima esondazione, comprese tra il fiume e la prima arginatura golenale (argine di frontiera);
- b) le aree esondabili in occasione di piene straordinarie, estese tra il limite della precedente fascia e l'arginatura maestra.

Con apposita simbologia inoltre, sono stati cartografati come quiescenti i canali di esondazione che risultano incisi rispetto al ripiano topografico circostante. Si tratta di depressioni profonde alcuni metri, riattivabili in occasione di piena del fiume Po; durante i periodi di magra, le depressioni sono occupate da ristagni di acqua, da affioramento della falda o da corsi d'acqua secondari (C. Fossadone e Scolo Morta). Nonostante la presenza di opere di difesa spondale, inoltre, sono state indicate come attive le scarpate relative alle rive del fiume Po, volendo così evidenziare la naturale tendenza erosiva dello stesso corso d'acqua.

Tra le forme inattive, la Carta Geomorfologica di Tav. 1 evidenzia anche le numerose depressioni note anche con il nome di "bodri" (in parte già tutelate dal P.T.C.P.). Sebbene si tratti di depressioni morfologiche imputabili a fenomeni erosivi fluviali, esiste una sensibile differenza rispetto al meccanismo genetico delle lanche (o mortizze) citato innanzi. La "lanca o mortizza", infatti, è una forma relitta di un ramo del corso d'acqua, abbandonato a causa di una diversione fluviale o di un salto di meandro. Il bodrio, invece, è il risultato di un fenomeno di erosione dovuto a flusso concentrato in occasione di eventi di piena. Nel caso della lanca, il risultato è pertanto quello di una depressione dalla forma allungata, spesso ospitata all'interno di un paleoalveo di cui si riconoscono ancora i lineamenti morfologici (scarpate morfologiche, lobi di meandro ecc.) mentre il bodrio è una forma isolata non associata ad altri elementi.

Chiari esempi della formazione di bodri sono quelli precedentemente descritti a SE di C.na Casotti ed a S della Vigna formatisi durante la piena del 2000. Tali elementi morfologici, da considerarsi abbandonati in quanto riconducibili ad un unico evento di piena, non sono stati cartografati sulla Tavola 1 in quanto già bonificati dai proprietari dei fondi mediante interventi di interrimento delle depressioni (documentati dalle immagini successive).

1.5 Forme dovute all'attività antropica

Pur non avendo ricostruito cronologicamente le azioni di bonifica che hanno modificato negli ultimi secoli l'assetto planoaltimetrico del territorio, si ritiene doveroso riconoscere l'importanza delle opere che hanno interessato il Comune di Stagno Lombardo le quali, sovrapponendosi alla naturale tendenza evolutiva del territorio, hanno reso vivibili zone altrimenti paludose o soggette alla dinamica evolutiva del reticolo idrografico, soprattutto per quanto riguarda la fascia di meandreggiamento del Fiume Po.

Fra le forme di natura antropica sono stati cartografati tutti i rilevati arginali (maestro e golenali) che proteggono il territorio dalle esondazioni del Po, i pennelli idrorepellenti a difesa delle sponde fluviali e gli ambiti territoriali estrattivi individuati dal Piano Cave provinciale.

Il fitto reticolato idrografico, inoltre, rappresenta una delle più importanti azioni antropiche per distribuire acqua ad uso irriguo e raccogliere e smaltire le colature.

1.6 Modello geologico derivante dalle indagini

Al fine di approfondire il grado di conoscenza del terreno di fondazione e quindi di costruire uno schema stratigrafico dell'area oggetto d'intervento, si è fatto riferimento a indagini geognostiche in sito, con metodologia diretta (carotaggi e prove penetrometriche) ed indiretta (geofisica).

Sono state eseguite sull'area nel corso del 2015 e 2020:

- n° 4 prove penetrometriche statiche a punta elettrica CPTU1, CPTU2, CPTU3 e CPTU4
- n° 2 indagini sismiche tipo MASW per la determinazione della Vs30
- n° 1 prova geoelettrica
- n° 2 sondaggi a carotaggio continuo CC1 e CC2
- n.°12 Prove di dissipazione durante le prove CPTU.
- n.°1 Piezometro a tubo aperto da 2" installato nel sondaggio S1

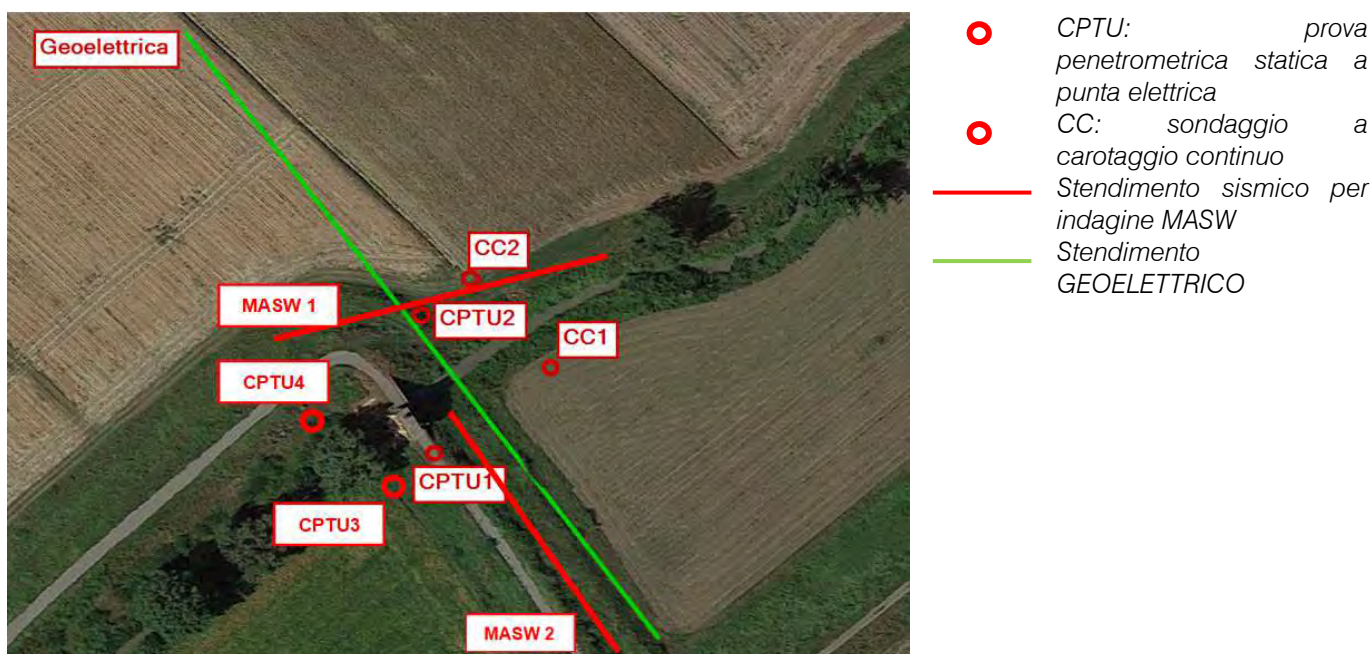


Figura 10: Schema ubicazione indagini geognostiche eseguite su foto aerea satellitare.

Nella tabella sottostante si riporta la profondità dal piano campagna raggiunta da ogni indagine. La falda, durante l'esecuzione delle indagini geognostiche nell'ottobre 2015 è stata rinvenuta a 9,63 m(CPTu1) , 5,05m(CPTu2) e a 5 m in CC2 e CC1, nel luglio 2020 è stata rinvenuta a 4,65 m (CPTu3).

E' ipotizzabile un innalzamento della falda sino a 2÷3 m circa dal p.c. in periodi di massima ricarica dell'acquifero, in concomitanza di particolari situazioni di piena fluviale eccezionale e di prolungati eventi meteorici; la falda freatica interferirà con le fondazioni delle strutture. Di tale evenienza si dovrà tener conto relativamente alle sottospinte idrauliche.

La CPTu1 si situa sul rilevato arginale e quindi ad una quota superiore rispetto alle restanti prove.

INDAGINE n°	Tipologia indagine	Profondità (m da p.c.)
CPTu1	Prova penetrometrica statica CPT	20,96
CPTu2	Prova penetrometrica statica CPT	20,26
CPTu3	Prova penetrometrica statica CPT	20,58
CPTu4	Prova penetrometrica statica CPT	20,40
CC1 – CAR1	Sondaggio a carotaggio continuo	15,00
CC2 – CAR2	Sondaggio a carotaggio continuo	15,00

Tabella 1. Quadro riassuntivo indagini geognostiche in sito eseguite

1.6.1. Stratigrafia e aspetti idrogeologici

Al fine di dettagliare al meglio la stratigrafia di sottosuolo nel settore di studio sono state allestite due sezioni perpendicolari.

La finalità delle sezioni è quella di permettere al progettista di comprendere le variazioni degli orizzonti in funzione della litologia e in particolare modo della permeabilità dei sedimenti.

1.6.2. Valori di permeabilità

Di seguito si riporta la procedura che ha portato alla definizione preliminare del K in correlazione con le prove granulometriche di laboratorio. Ciò è utile al progettista per il dimensionamento dell'opera.

Calcolo della K (coefficiente di permeabilità) attraverso stima indiretta utilizzando correlazioni empiriche.

Calcolo K - Formula di Hazen. Tratta da elementi di geotecnica P. Colombo - F. Colleselli

$$K = C * (d_{10})^2$$

dove C = 100-150 - d₁₀=espressa in cm - K = cm/sec

tratta di Advanced soil mechanics - Braja M. Das

$$K = C * (d_{10})^2 - d_{10}=\text{espressa in mm} - K = \text{cm/sec}$$

dove C = 1-1.5

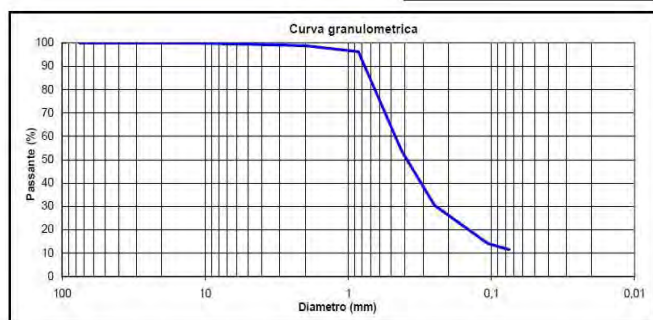
Calcolo della K utilizzando la formula di Hazen

Rapporto di prova N°	ISI_624-2015_GR1	Accettazione N°	624/2015
Committente	ISI Ingegneria e Ambiente		
Descrizione campione	Sabbia - Campione rimaneggiato		
Identificazione campione	S1 (7.50 m)		
Cantiere/Opera	Chiaviche Stagno Lombardo (CR)		
Data ricevimento	Data apertura	Data esecuzione prova	Data emissione
23/11/2015	25/11/2015	09/12/2015	17/12/2015

Massa totale essicata M1 (g)	630,6
Massa totale essicata M2 (g)	561,8
Massa essicata dei fini rimossi con il lavaggio M1-M2 (g)	68,8
Materiale nel recipiente di fondo P (g)	3,6

Setacci	Trattenuto	Trattenuto	Passante
mm	g	%	%
75	0,0	0,0	100,0
50	0,0	0,0	100,0
37,5	0,0	0,0	100,0
25	0,0	0,0	100,0
19	0,0	0,0	100,0
9,5	1,6	0,3	99,7
4,75	2,0	0,6	99,4
2,0	3,6	1,2	98,8
0,85	16,4	3,8	96,2
0,425	267,1	46,1	53,9
0,250	147,5	69,5	30,5
0,106	103,0	85,9	14,1
0,075	16,8	88,5	11,5

% Fini passanti allo staccio 0,075 mm	11,5
---------------------------------------	------



S.1 - Campione 1 - prof.: (7.50 m)

Tabella 4.

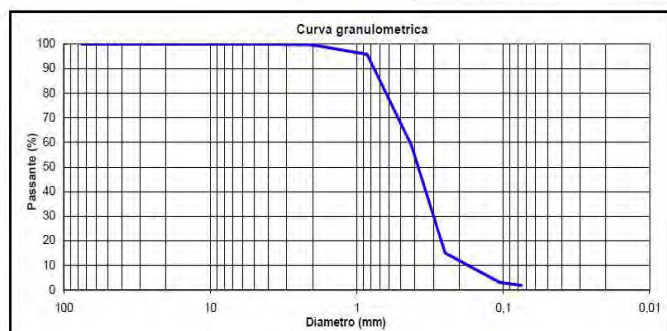
C	D10 (mm)	K (cm/sec)	K (m/sec)
1	0.07	0.0049	0.000049
1.5	0.07	0.00735	0.0000735

Rapporto di prova N°	ISI_624-2015_GR2	Accettazione N°	624/2015
Committente	ISI Ingegneria e Ambiente		
Descrizione campione	Sabbia - Campione rimaneggiato		
Identificazione campione	S1 (14.50 m)		
Cantiere/Opera	Chiaviche Stagno Lombardo (CR)		
Data ricevimento	Data apertura	Data esecuzione prova	Data emissione
23/11/2015	25/11/2015	09/12/2015	17/12/2015

Massa totale essicata M1 (g)	609,0
Massa totale essicata M2 (g)	600,5
Massa essicata dei fini rimossi con il lavaggio M1-M2 (g)	8,5
Materiale nel recipiente di fondo P (g)	2,5

Setacci	Trattenuto	Trattenuto	Passante
mm	g	%	%
75	0,0	0,0	100,0
50	0,0	0,0	100,0
37,5	0,0	0,0	100,0
25	0,0	0,0	100,0
19	0,0	0,0	100,0
9,5	0,0	0,0	100,0
4,75	0,0	0,0	100,0
2,0	2,4	0,4	99,6
0,85	23,2	4,2	95,8
0,425	224,8	41,1	58,9
0,250	266,9	84,9	15,1
0,106	72,7	96,9	3,1
0,075	8,0	98,2	1,8

% Fini passanti allo staccio 0,075 mm	1,8
---------------------------------------	-----



S.1 - Campione 2 - prof.: (14.50 m)

Tabella 5.

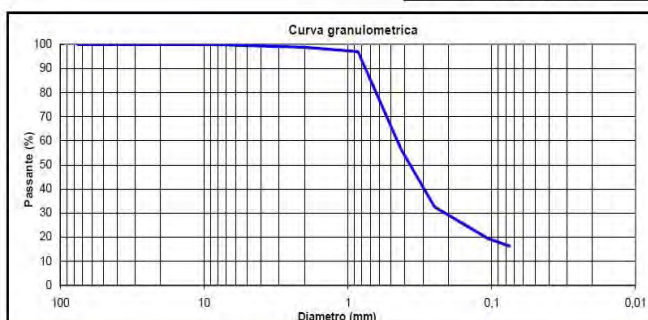
C	D10 (mm)	K (cm/sec)	K (m/sec)
1	0.18	0.0324	0.000324
1.5	0.18	0.0486	0.000486

Rapporto di prova N°	ISI_624-2015_GR3	Accettazione N°	624/2015
Committente	ISI Ingegneria e Ambiente		
Descrizione campione	Sabbia - Campione rimaneggiato		
Identificazione campione	CAR 2 (8.50 m)		
Cantiere/Opera	Chiaviche Stagno Lombardo (CR)		
Data ricevimento	Data apertura	Data esecuzione prova	Data emissione
23/11/2015	25/11/2015	09/12/2015	17/12/2015

Massa totale essicata M1 (g)	821,2
Massa totale essicata M2 (g)	694,8
Massa essicata dei fini rimossi con il lavaggio M1-M2 (g)	126,4
Materiale nel recipiente di fondo P (g)	7,0

Setacci	Trattenuto	Trattenuto	Passante
mm	g	%	%
75	0,0	0,0	100,0
50	0,0	0,0	100,0
37,5	0,0	0,0	100,0
25	0,0	0,0	100,0
19	0,0	0,0	100,0
9,5	0,0	0,0	100,0
4,75	4,6	0,6	99,4
2,0	5,2	1,2	98,8
0,85	15,2	3,0	97,0
0,425	334,5	43,8	56,2
0,250	194,3	67,4	32,6
0,106	107,6	80,5	19,5
0,075	26,4	83,8	16,2

% Fini passanti allo staccio 0,075 mm	16,2
---------------------------------------	------



CAR. 2 - Campione 1 - prof.: (8.50 m)

Tabella 6.

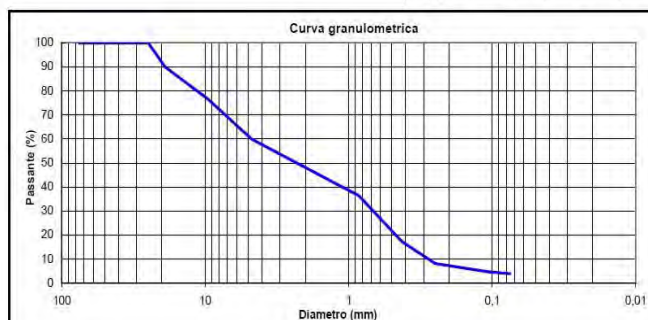
C	D10 (mm)	K (cm/sec)	K (m/sec)
1	0.035	0.001225	0.00001225
1.5	0.035	0.0018375	0.000018375

Rapporto di prova N°	ISI_624-2015_GR4	Accettazione N°	624/2015
Committente	ISI Ingegneria e Ambiente		
Descrizione campione	Sabbia - Campione rimaneggiato		
Identificazione campione	CAR 2 (11.50 m)		
Cantiere/Opera	Chiaviche Stagno Lombardo (CR)		
Data ricevimento	Data apertura	Data esecuzione prova	Data emissione
23/11/2015	25/11/2015	09/12/2015	17/12/2015

Massa totale essicata M1 (g)	1132,8
Massa totale essicata M2 (g)	1090,8
Massa essicata dei fini rimossi con il lavaggio M1-M2 (g)	42,2
Materiale nel recipiente di fondo P (g)	2,0

Setacci	Trattenuto	Trattenuto	Passante
mm	g	%	%
75	0,0	0,0	100,0
50	0,0	0,0	100,0
37,5	0,0	0,0	100,0
25	0,0	0,0	100,0
19	114,2	10,1	89,9
9,5	153,1	23,6	76,4
4,75	186,3	40,0	60,0
2,0	134,5	51,9	48,1
0,85	132,9	63,6	36,4
0,425	216,8	82,8	17,2
0,250	102,6	91,8	8,2
0,106	39,6	95,3	4,7
0,075	8,6	96,1	3,9

% Fini passanti allo staccio 0,075 mm	3,9
---------------------------------------	-----



CAR. 2 - Campione 2 - prof.: (11.50 m)

Tabella 7.

C	D10 (mm)	K (cm/sec)	K (m/sec)
1	0.3	0.09	0.0009
1.5	0.3	0.135	0.00135

Calcolo della K (coefficiente di permeabilità) utilizzando i grafici di Prough

Calcolo della K attraverso stima indiretta utilizzando correlazioni empiriche basandosi sugli andamenti delle curve relative ai grafici di Prough (fig. 15). In questo caso si utilizzano i valori relativi al diametro del passante 50%.

Visto che i campioni analizzati si riferiscono a sondaggi profondi sono state utilizzate le curve relative a sabbia densa. In base ai primi risultati ottenuti si è visto come utilizzando il coefficiente di uniformità pari a 5 i valori di permeabilità ottenuti fossero confrontabili con quelli ottenuti tramite la formula di Hazen. Mentre utilizzando il coefficiente di uniformità pari a 1.5 i valori si discostano in maniera sensibile.

Per cui nei calcoli effettuati in seguito si è sempre utilizzato il coefficiente di uniformità pari a 5.

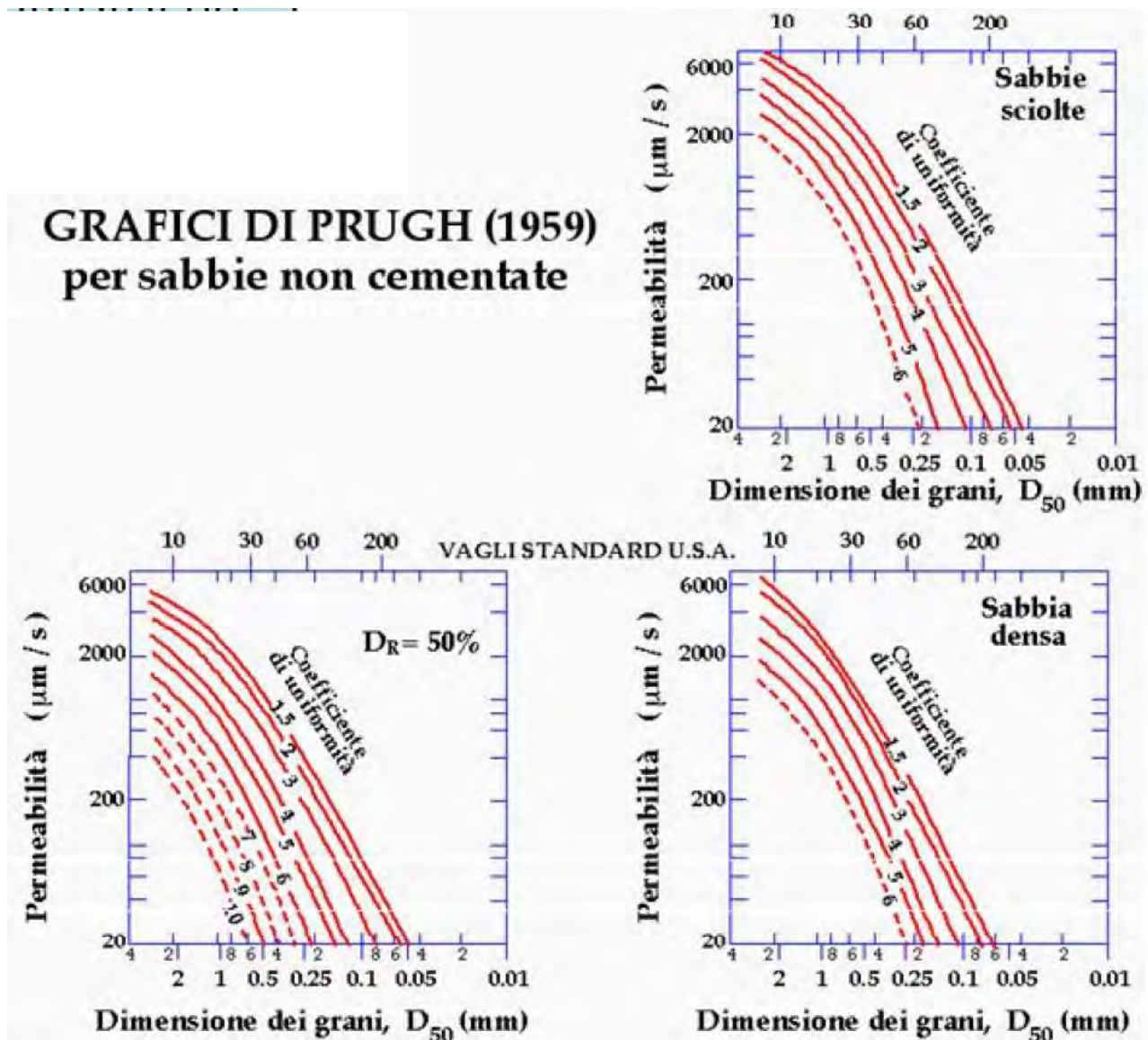


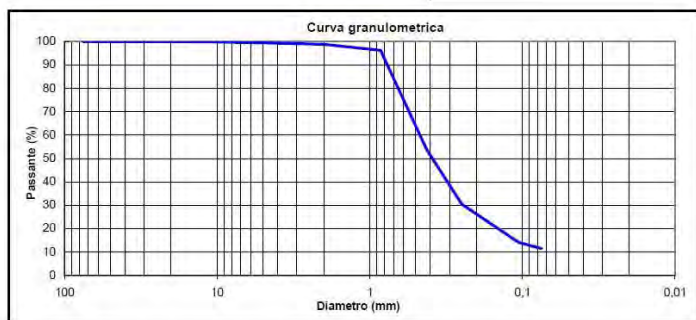
Figura 11: Grafici di Prugh

Rapporto di prova N°	ISI_624-2015_GR1	Accettazione N°	624/2015
Committente	ISI Ingegneria e Ambiente		
Descrizione campione	Sabbia - Campione rimaneggiato		
Identificazione campione	S1 (7.50 m)		
Cantiere/Opera	Chiaviche Stagno Lombardo (CR)		
Data ricevimento	Data apertura	Data esecuzione prova	Data emissione
23/11/2015	25/11/2015	09/12/2015	17/12/2015

Massa totale essicata M1 (g)	630,6
Massa totale essicata M2 (g)	561,8
Massa essicata dei fini rimossi con il lavaggio M1-M2 (g)	68,8
Materiale nel recipiente di fondo P (g)	3,6

Setacci	Trattenuto	Trattenuto	Passante
mm	g	%	%
75	0,0	0,0	100,0
50	0,0	0,0	100,0
37,5	0,0	0,0	100,0
25	0,0	0,0	100,0
19	0,0	0,0	100,0
9,5	1,6	0,3	99,7
4,75	2,0	0,6	99,4
2,0	3,8	1,2	98,8
0,85	16,4	3,8	96,2
0,425	267,1	46,1	53,9
0,250	147,5	69,5	30,5
0,106	103,0	85,9	14,1
0,075	16,8	88,5	11,5

% Fini passanti allo staccio 0,075 mm	11,5
---------------------------------------	------



S.1 - Campione 1 - prof.: (7.50 m)

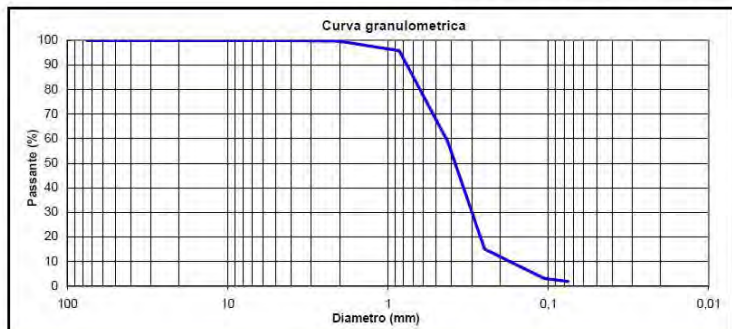
Tabella 8.

Rapporto di prova N°	ISI_624-2015_GR2	Accettazione N°	624/2015
Committente	ISI Ingegneria e Ambiente		
Descrizione campione	Sabbia - Campione rimaneggiato		
Identificazione campione	S1 (14.50 m)		
Cantiere/Opera	Chiaviche Stagno Lombardo (CR)		
Data ricevimento	Data apertura	Data esecuzione prova	Data emissione
23/11/2015	25/11/2015	09/12/2015	17/12/2015

Massa totale essicata M1 (g)	609,0
Massa totale essicata M2 (g)	600,5
Massa essicata dei fini rimossi con il lavaggio M1-M2 (g)	8,5
Materiale nel recipiente di fondo P (g)	2,5

Setacci	Trattenuto	Trattenuto	Passante
mm	g	%	%
75	0,0	0,0	100,0
50	0,0	0,0	100,0
37,5	0,0	0,0	100,0
25	0,0	0,0	100,0
19	0,0	0,0	100,0
9,5	0,0	0,0	100,0
4,75	0,0	0,0	100,0
2,0	2,4	0,4	99,6
0,85	23,2	4,2	95,8
0,425	224,8	41,1	58,9
0,250	266,9	84,9	15,1
0,106	72,7	96,9	3,1
0,075	8,0	98,2	1,8

% Fini passanti allo staccio 0,075 mm	1,8
---------------------------------------	-----

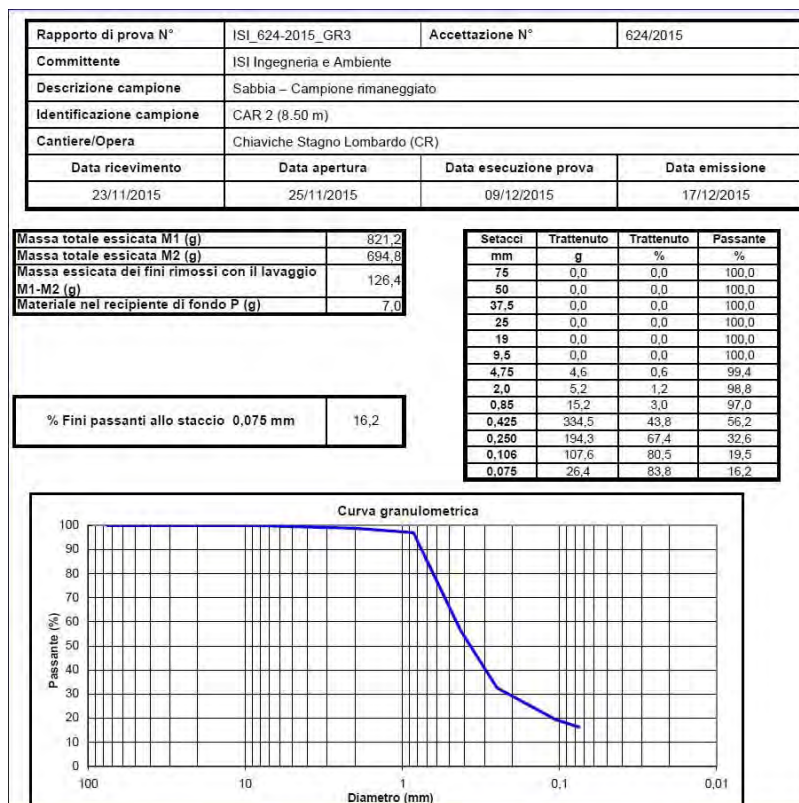


S.1 - Campione 2 - prof.: (14.50 m)

Tabella 9.

C	D50 (mm)	K (m/sec)
5	0.4	0.00009

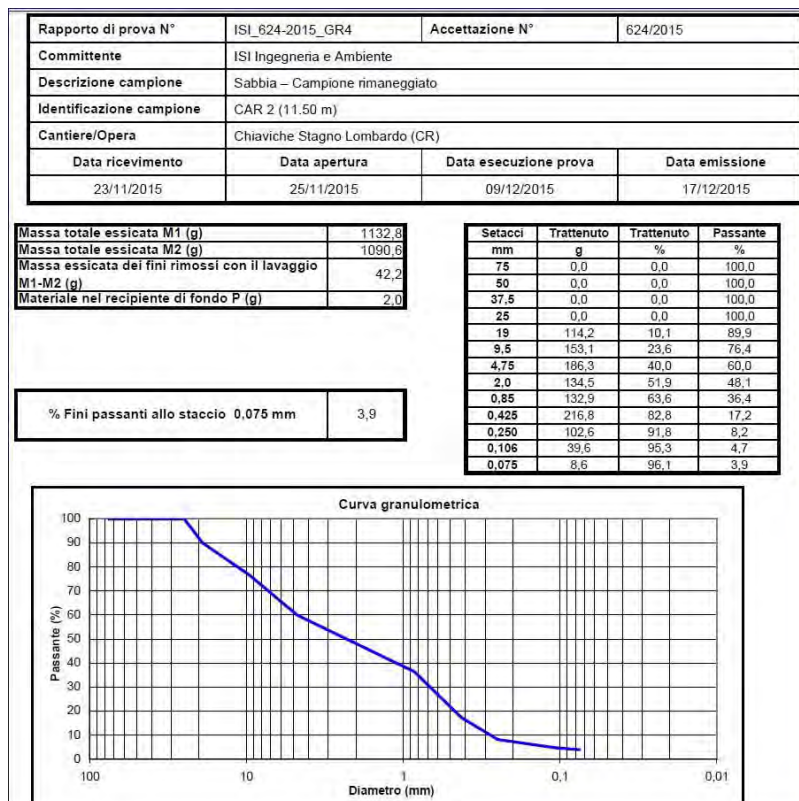
C	D50 (mm)	K (m/sec)
5	0.38	0.00008



CAR. 2 - Campione 1 - prof.: (8.50 m)

Tabella 10.

C	D50 (mm)	K (m/sec)
5	0.36	0.00006



CAR. 2 - Campione 2 - prof.: (11.50 m)

Tabella 11.

C	D50 (mm)	K (m/sec)
5	2.1	0.001

TABELLA RIASSUNTIVA DEL COEFFICIENTE DI PERMEABILITÀ (K) CALCOLATI PER I DIVERSI CAMPIONI

	Formula di Hazen (K - m/sec)	Formula di Hazen (K - m/sec)	Media Formula di Hazen (K - m/sec)	Grafici di Prough (K - m/sec)
S.1 - Campione1 prof.: (7.50 m)	0.000049	0.0000735	0.00006125	0.00009
S.1 - Campione2 prof.: (14.50 m)	0.000324	0.000486	0.000405	0.00008
CAR. 2 - Campione1 prof.: (8.50 m)	0.00001225	0.000018375	1.53125E-05	0.00006
CAR. 2 - Campione2 -prof.: (11.50 m)	0.0009	0.00135	0.001125	0.001

Tabella 12. Riassunto calcolo del coefficiente di permeabilità (K)

Nella tabella sovrastante vengono riportati i valori ottenuti tramite la Formula di Hazen e i Grafici di Prough. Per quanto riguarda la formula di Hazen è stata fatta una media dei due valori ottenuti. Confrontando i valori ottenuti tra Hazen e Prough si nota come mediamente, utilizzando i grafici di Prough, i valori di K siano più elevati. Unica eccezione per il Campione 2 (CC1) dove si ha un valore inferiore.

Per uniformità di valutazione in questo studio alla fine verranno considerati come valori maggiormente attendibili i valori medi calcolati tramite la formula di Hazen.

1.6.3. Commento alla sezione A-A'

La sezione ha un andamento SO-NE e passa per le prove geognostiche CPTu1 e CPTu2 e per il sondaggio CC2.

Per quanto riguarda l'interpretazione delle CPT è stato valutato soprattutto l'andamento e i valori della resistenza alla punta (MPa) che sono stati correlati con la stratigrafia e la litologia riscontrata nel sondaggio CC2.

Utilizzando i dati sopracitati è stato possibile correlare fisicamente i principali depositi di aggregazione relativi agli apporti del F. Po e probabilmente in misura molto minore anche a qualche apporto di tipo appenninico.

Inoltre è stato possibile suddividere questi depositi, in base alle loro caratteristiche granulometriche e alla loro architettura di sottosuolo, in diversi ambienti deposizionali.

In particolare i depositi con sabbia grossolana prevalente e livelli ghiaiosi sono correlabili con ambienti di canale fluviale abbandonato; i depositi con sabbia medio-fine prevalente sono stati correlati ad un ambiente deposizionale di argine prossimale mentre i depositi con limo sabbioso prevalente sono correlabili ad un ambiente di argine distale. Infine i depositi con argilla limosa ed argilla prevalente sono stati correlati ad un ambiente di piana inondabile.

Va sottolineato come nel CC2 al di sopra del tetto delle sabbie poste a circa 6-7 metri di profondità, siano presenti delle argille con prevalente contenuto organico che sono state associate ad un ambiente palustre. Questi depositi hanno uno spessore di circa 1,3-1,8 metri e come è possibile notare dalla sezione vanno in eteropia di facies con argille prevalenti di piana inondabile verso la CPT1.

Dalla sezione è possibile notare come il tetto delle sabbie si approfondisca parzialmente con andamento NE-SO; infatti dal CC2, dove si trova a circa 6,3 metri di profondità, verso la CPT1 il tetto ha un abbassamento assoluto di circa 1 metro. Questo andamento mette comunque in evidenza come il rischio assoluto di liquefazione diminuisca nel settore occidentale dell'area di studio.

Dal tetto delle sabbie, poste a circa 6-7 metri di profondità, i depositi di argine prossimale e canale fluviale si estendono fino a circa 20 metri di profondità con intervalli minori con presenza di depositi di argine distale (limo sabbioso). Va sottolineato come a circa 14-15 metri di profondità vi sia una base netta di sabbie grossolane, con verso l'alto anche passate di livelli ghiaiosi, che è fisicamente correlabile lungo tutta la sezione e che coincide con la base di un canale fluviale. Al di sotto sono ancora presenti depositi di argine prossimale e più raramente di argine distale.

Questa sezione ha consentito quindi di ricostruire la stratigrafia di sottosuolo e di correlare le litologie e granulometrie dei depositi ad ambienti deposizionali afferibili al sistema fluviale padano.

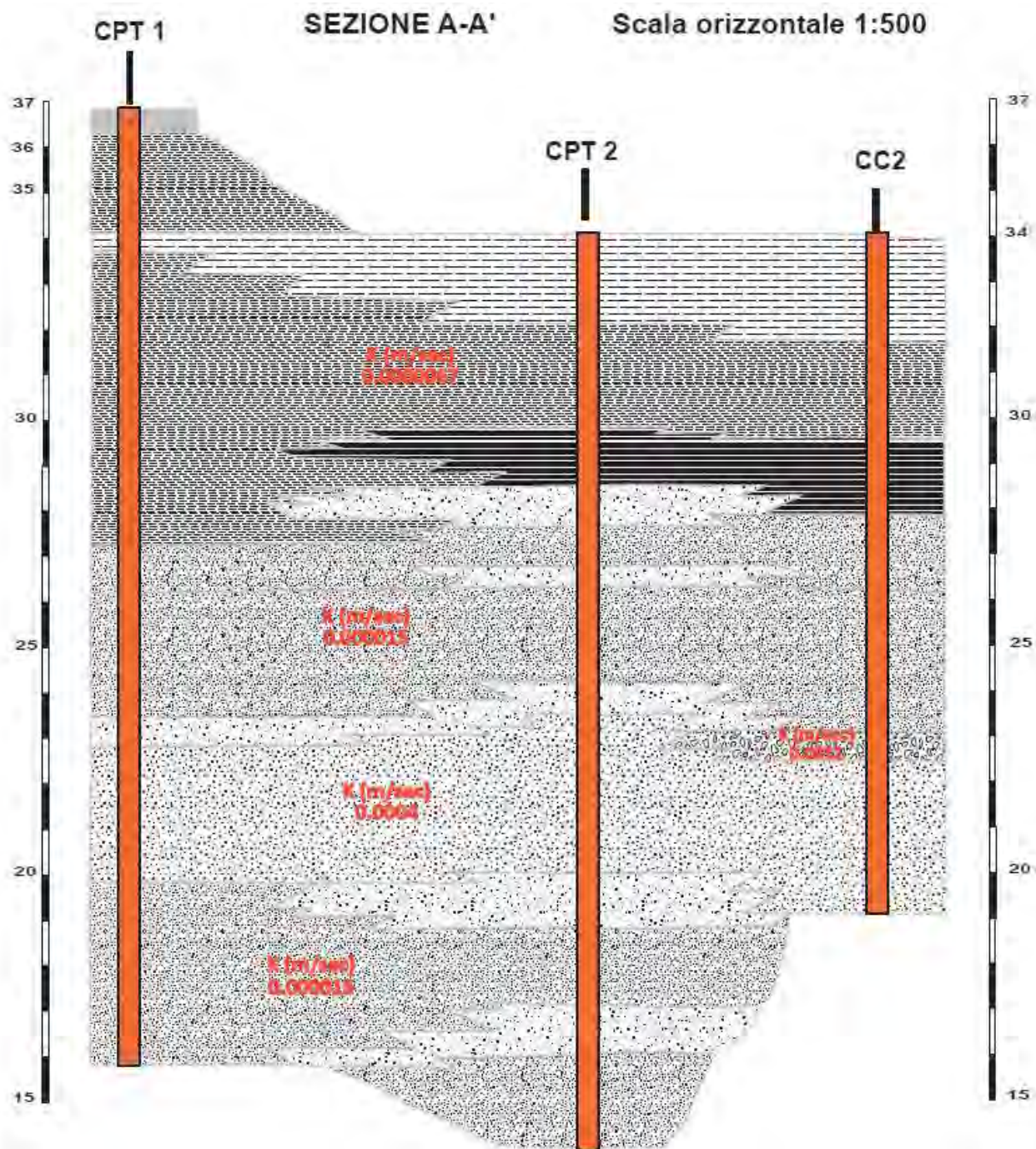
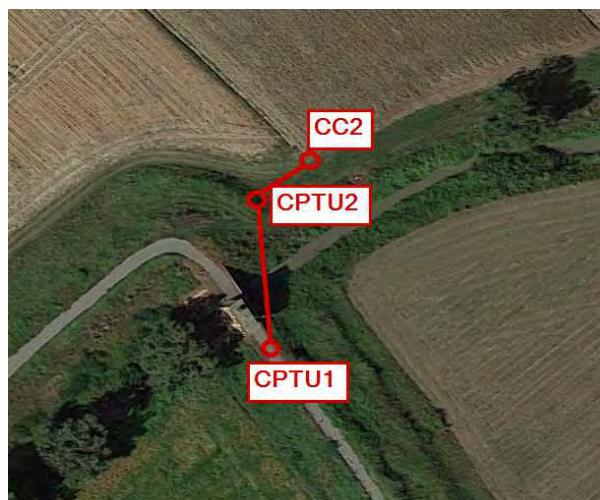


Figura 12: Sezione stratigrafica

TRACCIA SEZIONE AA'



Legenda

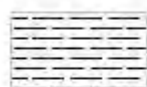


Argilla organica



Argilla

K (m/sec)
0.0000067



Argilla limosa



Limo sabbioso



Sabbia medio-fine

K (m/sec)
0.000015



Sabbia grossolana

K (m/sec)
0.0004



Sabbia grossolana
con livelli ghiaiosi

K (m/sec)
0.0011

SEZIONE B-B'

Scala orizzontale 1:500

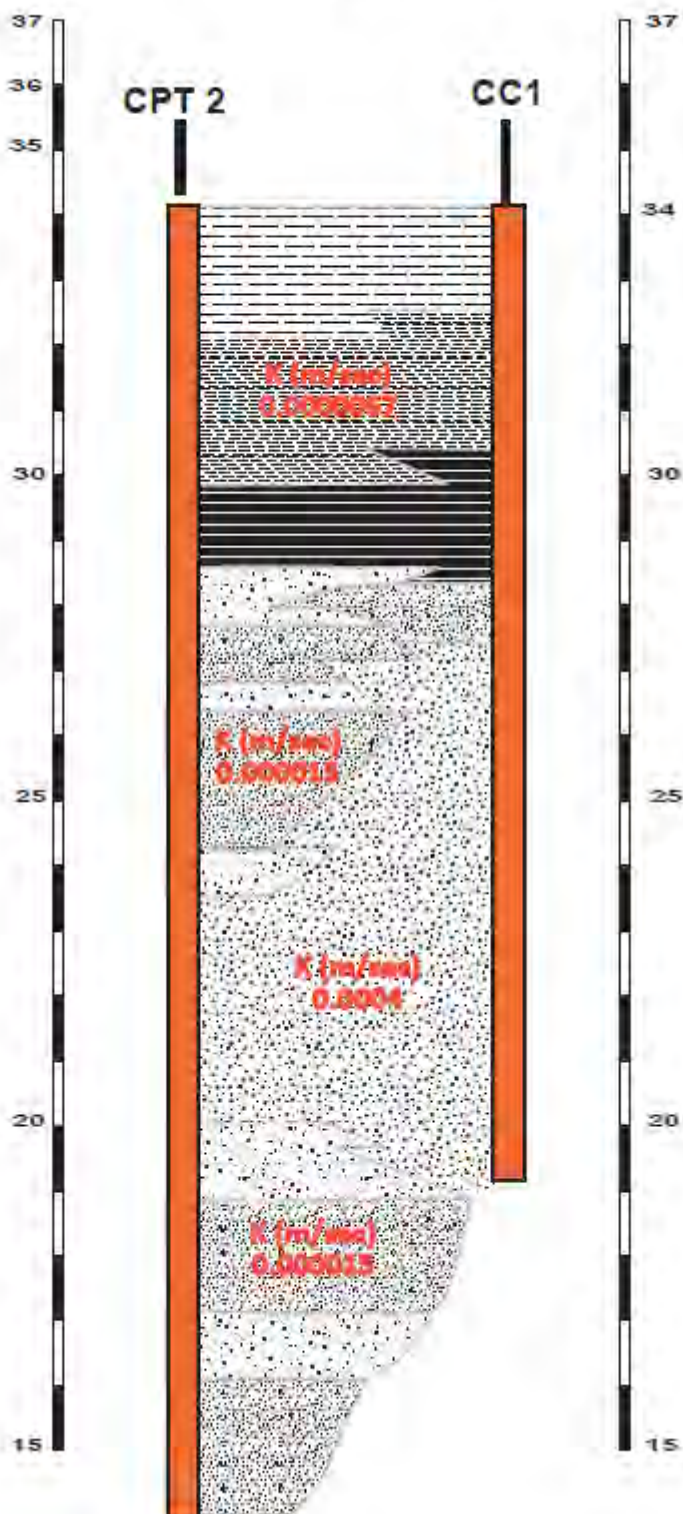
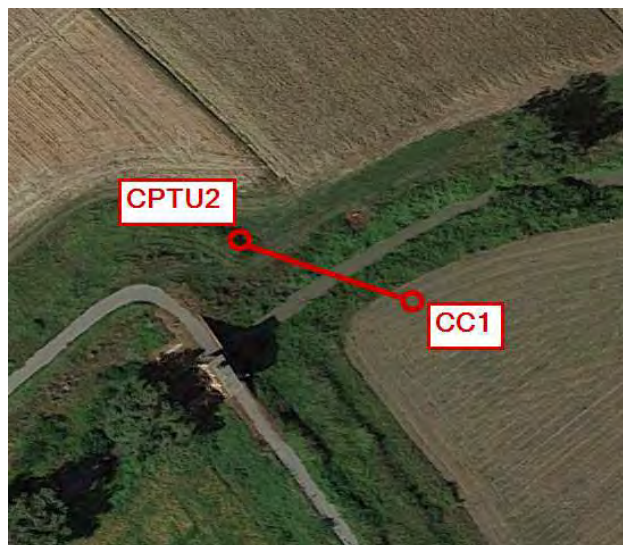


Figura 13: Sezione stratigrafica

TRACCIA SEZIONE BB'



Legenda



Argilla organica



Argilla

K (m/sec)
0.000067



Argilla limosa



Limo sabbioso



Sabbia medio-fine

K (m/sec)
0.000015



Sabbia grossolana

K (m/sec)
0.0004

1.7 Componente geologica del PGT (Piano di Governo del Territorio)

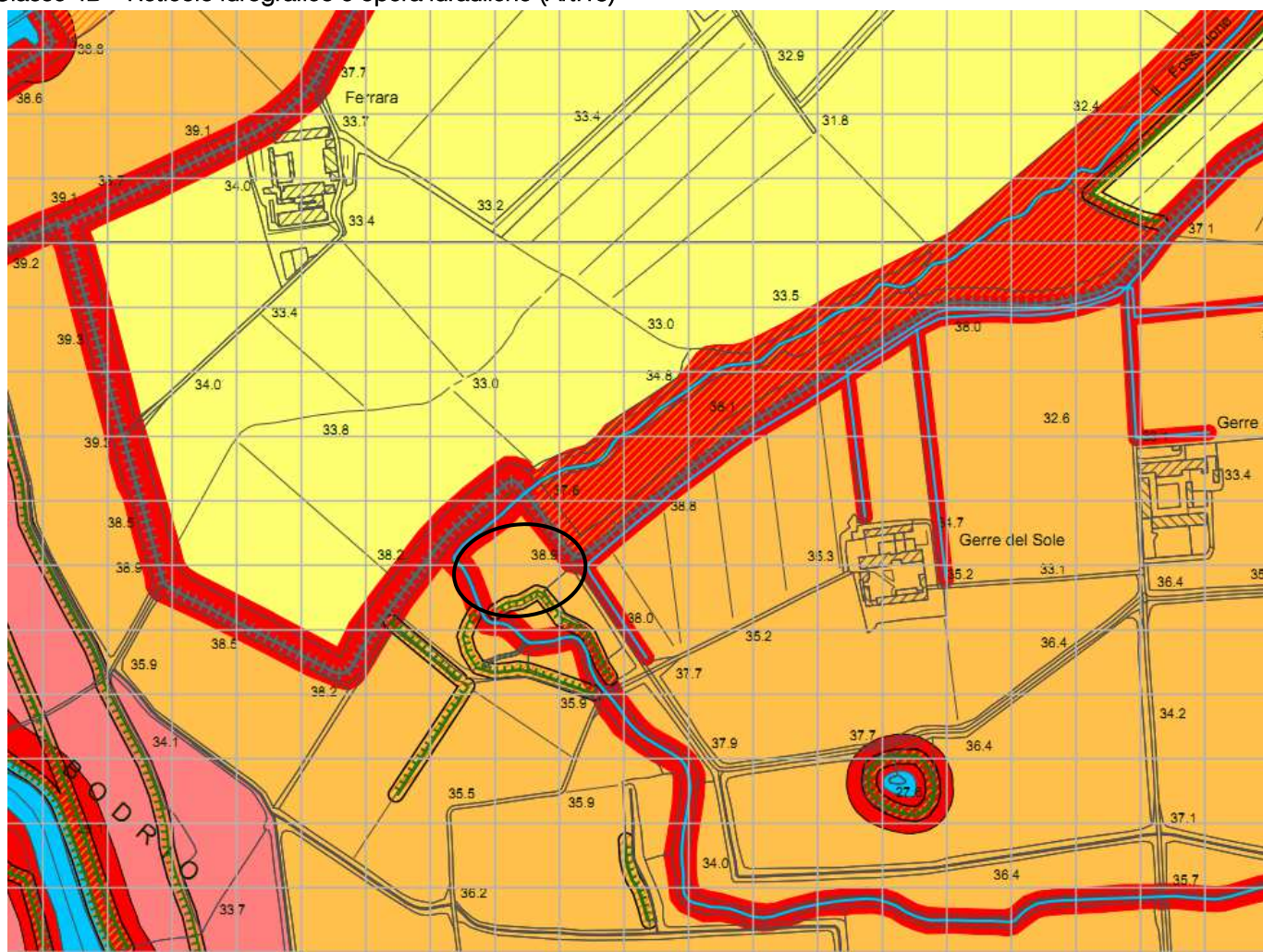
Sono di seguito riportate le caratteristiche geologico-sismiche del sito d'intervento, dedotte dallo Studio Geologico Idrogeologico Sismico comunale di Crema ai sensi della L.R. 12/2005 e s.m.i..

Secondo quanto riportato dal documento di PGT, l'area oggetto d'intervento edificatorio ricade nelle seguenti classi di fattibilità geologica e scenari di pericolosità sismica:


Classe di Fattibilità geologica e Tipo di limitazione alla fattibilità geologica:

CLASSE "4" - Fattibilità con gravi limitazioni

Classe 4B – Reticolo idrografico e opera idrauliche (Art.13)



LEGENDA

AMBITO DI APPLICAZIONE	ART.	LIMITAZIONI	PRESCRIZIONI
	4B	Art. 13	Reticolo idrografico e opere idrauliche.
			- Applicazione delle norme di Polizia Idraulica.

Ricadono nella Sottoclasse 4 di Fattibilità geologica con gravi limitazioni – L'alto rischio comporta gravi limitazioni per la modifica delle destinazioni d'uso delle particelle e dovrà essere esclusa qualsiasi nuova edificazione. Eventuali infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico potranno essere realizzate solo se non altrimenti localizzabili e per, una loro puntuale valutazione, nella fase progettuale dovrà essere redatto apposito studio che dimostri la compatibilità degli interventi previsti con la situazione di grave rischio.

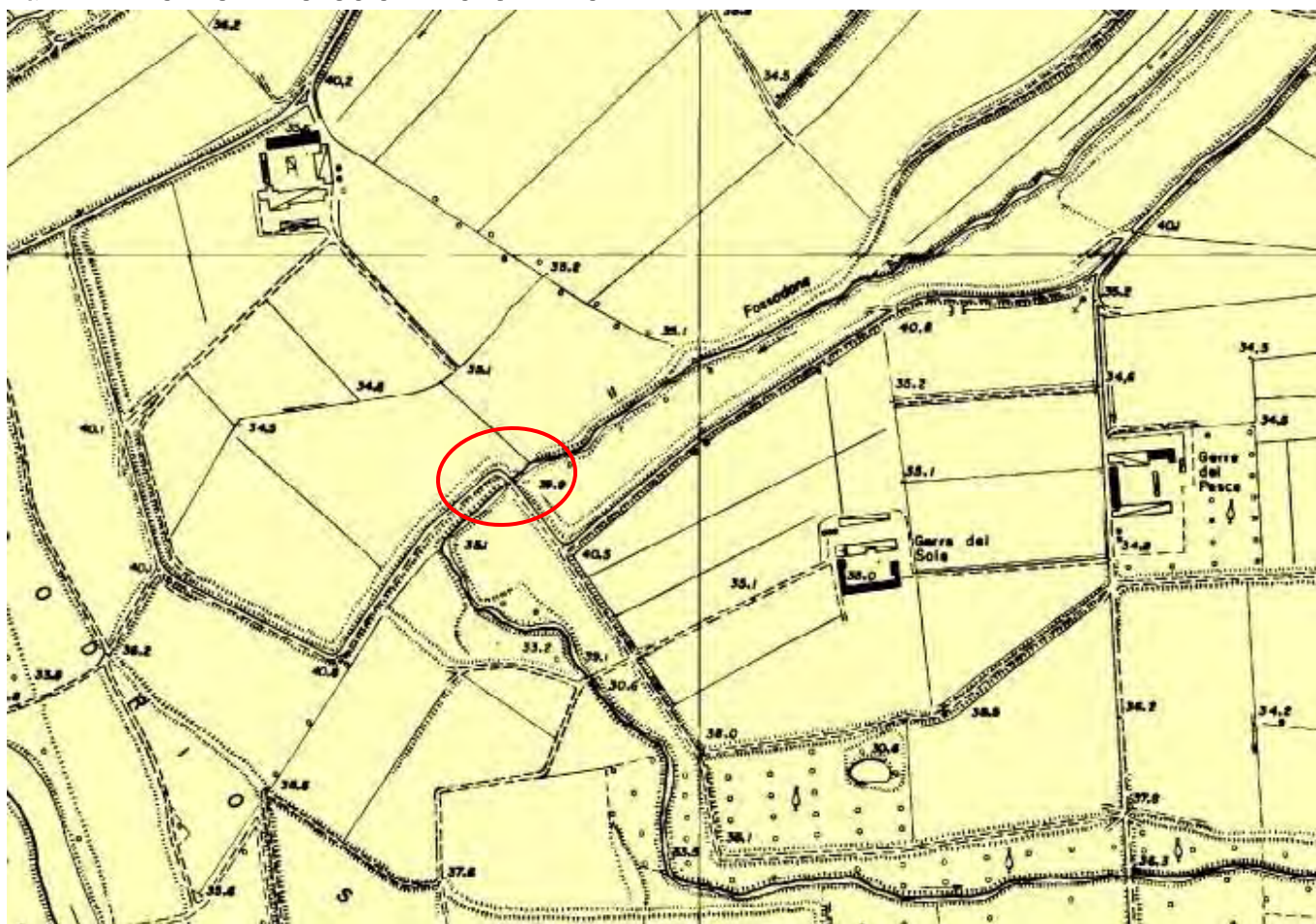
Articolo 13

CLASSE 4B - Reticolo idrografico

Rientra nella classe 4 tutto il reticolato idrografico (riconosciuto ai sensi della D.G.R. n. 7/7868 del 25.01.2002 e s.m.i.), relative opere idrauliche e fasce di rispetto estese dalla sommità di ciascuna sponda secondo specifica disciplina. In particolare, sul reticolo idrografico, opere idrauliche e relative fasce di rispetto vigono le norme di polizia idraulica (R.D. n. 523/1904 e s.m.i.) ed il Regolamento per le attività di gestione e trasformazione del demanio idrico e del suolo in fregio ai corpi idrici nel Comune di Stagno Lombardo, redatto ai sensi della D.G.R. n. 7/7868 del 25.01.2002 e s.m.i..

Scenario di Pericolosità sismica locale:

Z4a – AMPLIFICAZIONI LITOLOGICHE E GEOMETRICHE



In base a quanto riportato all'interno della Tavola della "Carta della Pericolosità Sismica Locale", allegata allo studio geologico del PGT comunale, l'intera area comunale rientra all'interno dello scenario di pericolosità sismica locale:

Z4a – zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi.

Poiché l'edificio in progetto ricade in una zona PSL Z4 ed in Zona Sismica 4, si deve eseguire il 2° livello di approfondimento sismico.

LEGENDA

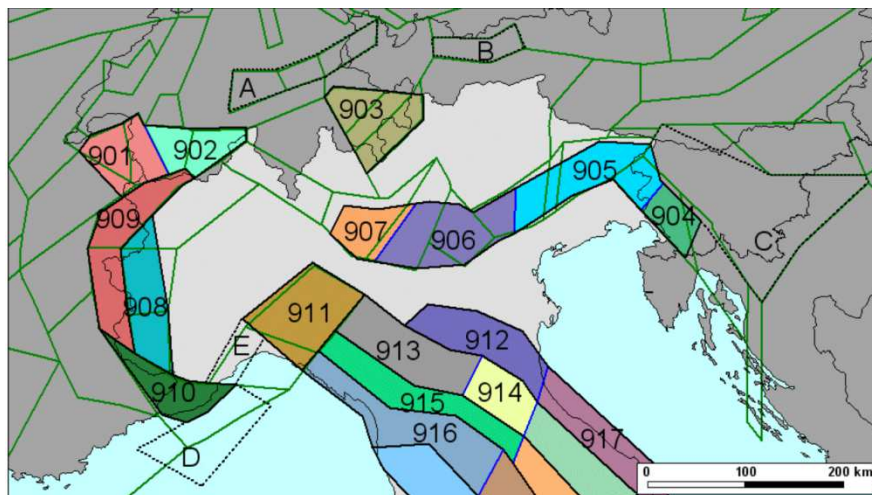
SIGLA	SCENARIO DI PERICOLOSITA' SISMICA	EFFETTI	CLASSE DI PERICOLOSITA' SISMICA
Z4a	Zona con presenza di depositi alluvionali e fluvioglaciali granulari e/o coesivi.	Amplificazioni litologiche.	H2

1.8 Sismicità

L'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia ha rimappato il territorio nazionale in zone sismogenetiche, tale zonazione viene definita ufficialmente ZS9 (Meletti e Valensise, 2004). Rispetto alle zonazioni precedenti, le zone sorgente sono state disegnate più vincolate rispetto alle sorgenti sismogenetiche e alla sismicità storica e strumentale e le aree circostanti sono state cautelate attraverso i normali effetti di propagazione della pericolosità sismica al di fuori delle zone sorgenti. La ZS9 può essere utilizzata in congiunzione con il nuovo catalogo CPTI2, e fornisce, inoltre, una stima della "profondità efficace", ovvero dell'intervallo di profondità nel quale viene rilasciato il maggior numero di terremoti in ogni zona sorgente, utilizzabile in combinazione con le relazioni di attenuazione determinate su base regionale, e fornisce, per ogni zona, un meccanismo di fagliazione prevalente.

La zonazione è costituita da 42 zone-sorgente, identificate da un numero che va da 901 a 936, che presentano limiti di colorazione nera e blu; i limiti neri definiscono limiti il cui tracciamento dipende esclusivamente da informazioni tettoniche o geologico-strutturali, il colore blu definisce, invece, suddivisioni di zone con uno stesso stile deformativo ma con differenti caratteristiche della sismicità, come la distribuzione spaziale degli eventi o la massima magnitudo rilasciata.

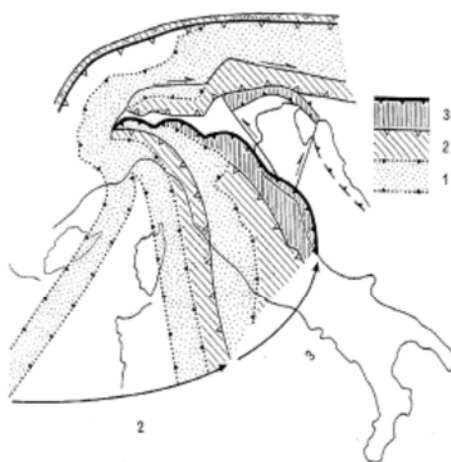
Il territorio in oggetto si trova al di fuori del gruppo di zonazioni sismogenetiche comprese tra la ZS 911 e la ZS 923 rappresentanti l'Appennino settentrionale e centrale ed il gruppo di zonazioni comprese tra la ZS 904 e la ZS 907; più in dettaglio ci troviamo a nord della zona sismogenetica 911 e della zonazione sismogenetica 913.



Zonizzazione sismogenetica ZS9 per il nord Italia

In dipendenza della presenza di estesi fronti di accavallamento nel sottosuolo della pianura padana e delle zone limitrofe, geodinamicamente attivi, e della spessa copertura alluvionale si genera un'attività sismica medio-bassa. Le strutture sismogenetiche attive sepolte, che sono identificabili in faglie che interessano soprattutto il substrato terziario (External Thrust Front e Pedeappenninic Thrust Front), sono responsabili dei principali fenomeni tellurici.

L'area appartiene ad una zona che storicamente è stata interessata da pochissimi eventi sismici. Nella seguente tabella sono riportati i principali terremoti storici (fino al 2006) per un raggio di 40 Km con centro dall'area in oggetto.



Tappe dell'accrezione tettonica delle Alpi Calcarea Meridionali e dell'Appennino dall'Oligocene al Pliocene (Castellarin et al., 1992, modif.): 1 - presunto fronte delle catene nel pre-Oligocene; 2 - fronte delle catene nel Miocene medio; 3 - fronte delle catene nel Plio- Pliocene

Area circolare con centro C (45.056, 10.064) e raggio 40 km
 a partire dal 217/01/01 fino al 2002/12/31

N	Tr	Anno	Me	Gi	Or	Mi	Se	AE	Rt	Np	Imx	Io	TI	Lat	Lon	TL	Maw	Daw	TW	Mas	Das	TS	Msp	Dsp	ZS9	TZ	Ncft	Nnt	Ncpt
74	DI	1303	3	22	23			PIACENZA	DOM	1	55	55		45.052	9.693	A	4.63	0.13		4.00	0.20		4.25	0.19	911	G		517	74
113	DI	1383	7	24	20			PARMA	DOM	7	55	55		45.058	9.915	A	4.63	0.13		4.00	0.20		4.25	0.19	911	A		597	113
130	DI	1409	11	15	11	15		Parma	CFTI	5	70	60	M	44.8	10.33	A	4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36	913	G	173	598	130
144	DI	1438	6	11	20			Parmense	CFTI	12	80	80		44.85	10.23	A	5.62	0.17		5.47	0.26		5.61	0.26	913	G	181	599	144
221	DI	1522	10	5	8			CREMONA	DOM	7	55	55		45.136	10.024	A	4.63	0.13		4.00	0.20		4.25	0.19			2011	221	
264	DI	1572	6	4	22			PARMA	DOM	8	70	70		44.851	10.422	A	5.13	0.23		4.74	0.34		4.93	0.32	913	A		604	264
333	DI	1628	11	4	15	15		PARMA	DOM	8	70	70		44.801	10.329	A	5.17	0.30		4.80	0.45		4.99	0.42	913	G		608	333
501	DI	1732	2	27				PARMA	DOM	1	60	60		44.801	10.329	A	4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36	913	G		611	501
511	DI	1738	11	5	30			PARMA	DOM	10	70	70		44.906	10.028	A	5.40	0.20		5.15	0.30		5.31	0.28	913	G		612	511
589	DI	1774	3	4				PARMA	DOM	2	60	60		44.801	10.329	A	4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36	913	G		613	589
780	DI	1829	9	6	19	30		CREMONA	DOM	2	65	65		45.136	10.024	A	5.03	0.33		4.60	0.49		4.80	0.45			2034	780	
1103	DI	1885	2	26	20	48		SCANDIANO	DOM	78	60	60		45.208	10.169	A	5.22	0.10		4.88	0.15		5.06	0.14			622	1103	
1124	DI	1886	10	15	2	20		COLLECCHIO	DOM	44	60	60		44.75	10.306	A	4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36	913	G		623	1124
1523	CP	1910	1	23	1	50		PONTE DELL'OLIO	POS85					44.9	9.633		4.63	0.13		4.00	0.20		4.25	0.19	911	G		525	1523
1931	CP	1937	9	17	12	19	5	PARMA OVEST	POS85					44.8	10.3		4.56	0.11		3.89	0.17		4.15	0.16	913	G		632	1931
1960	CP	1940	5	1	9	36	5	NOCETO	POS85					44.8	10.183		4.89	0.14		4.39	0.21		4.61	0.19	913	G		634	1960
2303	DI	1971	7	15	1	33	23	Parmense	CFTI	228	80	75	M	44.82	10.35	A	5.61	0.07		5.45	0.10		5.59	0.10	913	G	536	641	2303
2417	CP	1980	12	23	12	1	6	VERNASCIA	POS85					44.817	9.85		5.03	0.18		4.60	0.27		4.80	0.25	913	G		643	2417
2437	DI	1983	11	9	16	29	52	Parmense	CFTI	836	70	65		44.765	10.27	A	5.10	0.18	O	4.99	0.06		5.16	0.05	913	G			2435

Numero di record estratti: 19

Codice	descrizione	contenuto
CPTI04		
N	numero d'ordine del record	
Tr	tipo di record	DI: parametri calcolati da dati di base macrosismici; CP: parametri adottati da cataloghi parametrici
Anno	tempo origine: anno	
Me	tempo origine: mese	
Gi	tempo origine: giorno	
Or	tempo origine: ora	
Mi	tempo origine: minuto	
Se	tempo origine: secondo	
AE	denominazione dell'area dei massimi effetti	
Rt	codice dell'elaborato di riferimento	vedi tabella 1
Np	numero dei dati puntuali di intensità disponibili	
Imx	intensità massima x 10 (scala MCS)	
Io	intensità epicentrale x 10 (scala MCS)	
TI	codice di determinazione di Io	M: valore assegnato manualmente
Lat	localizzazione epicentrale: latitudine in gradi sessagesimali-decimali	
Lon	localizzazione epicentrale: longitudine in gradi sessagesimali-decimali	
TL	codice di localizzazione	A: localizzazione macrosismica automatica M: localizzazione macrosismica manuale S: localizzazione strumentale
--		
--		

Maw	Magnitudo momento	
Daw	Errore associato alla stima di Maw	
TW	codice di determinazione di Maw	O valore osservato
Mas	Magnitudo calcolata sulle onde di superficie	fino al 1980 coincide con Ma di CPTI99
Das	Errore associato alla stima di Mas	fino al 1980 coincide con Da di CPTI99
TS	Codice di determinazione delle magnitudo per la zona etnea	En: valore per il calcolo del quale è stata usata la relazione Io/Mm di Azzaro e Barbano (1997)
Msp	Magnitudo da utilizzare in combinazione con la relazione di attenuazione di Sabetta e Pugliese (1996)	per $M_s > 5.5$: $M_{sp} = M_s$ per $M_s \leq 5.5$: $M_{sp} = (M_s + 0.584) / 1.079$
Dsp	Errore associato alla stima di Msp	
ZS9	Zona sorgente di ZS9 cui l'evento è assegnato	
TZ	Codice di assegnazione alla zona sorgente	G: assegnazione geografica A: assegnazione ponderata cautelativa
Ncft	Numero progressivo dei record nel catalogo CFTI2	
Nnt	Numero d'ordine del record nel catalogo NT4.1.1	
Ncpt	Numero d'ordine del record nel catalogo CPTI99	

Estratto dal "Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani" (Gruppo di lavoro CPTI, 2004), terremoti con epicentro compreso in un raggio di 40 Km dall'area d'intervento.

Stagno Lombardo

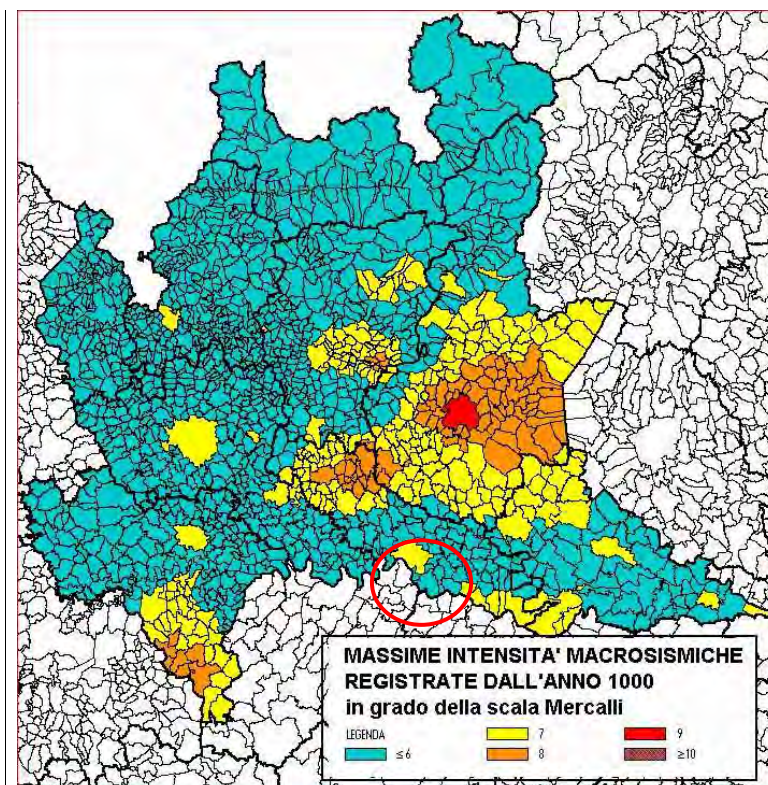


PlaceID	IT_19275
Coordinates (lat, lon)	45.075, 10.089
Municipality (ISTAT 2015)	Stagno Lombardo
Province	Cremona
Region	Lombardia
No. of reported earthquakes	3

Effects	Reported earthquakes									
Int.	Year	Mo	Da	Ho	Mi	Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
F	1832	03	13	03	30		Reggiano	97	7-8	5.51
3-4	1991	10	31	09	31	1	Emilia occidentale	134	5	4.33
3	2000	06	18	07	42	0	Pianura emiliana	304	5-6	4.40

Nella seguente mappa sono riportati i principali terremoti attuali (2009-2020) per un un raggio di 40 Km con centro dall'area in oggetto.



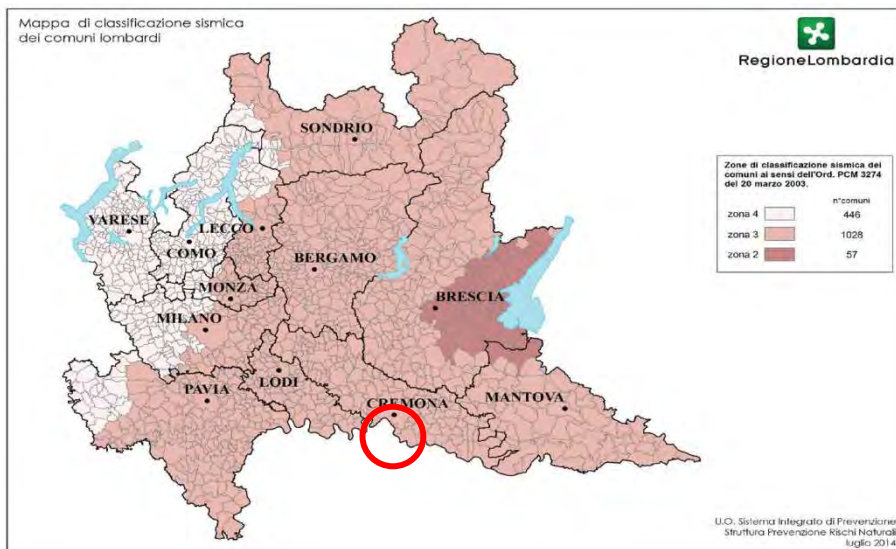


Carta della regione Lombardia delle "Massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani valutate a partire dalla banca dati macrosismici del GNDT e dai dati del Catalogo dei Forti Terremoti dell'ING" (Molin et al., 1996)

A conferma di quanto riportato in precedenza si riporta la carta delle "Massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani valutate a partire dalla banca dati macrosismici del GNDT e dai dati del Catalogo dei Forti Terremoti dell'INGV" (Molin et al., 1996) nella quale, per il territorio in oggetto viene indicato un terremoto minore o uguale al VI grado MCS.

Nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 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", pubblicata sul Supplemento Ordinario n. 72 alla Gazzetta Ufficiale n. 105 dell' 8 maggio 2003 e in base alla Delibera della Giunta Regionale Lombardia 11/07/2014 n.X/2129 – Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia il Comune di **Stagno Lombardo** viene classificato in zona 3.

Nella figura seguente viene riportata la nuova classificazione sismica della Regione Lombardia.



Riclassificazione sismica del territorio Lombardo in base Delibera della Giunta Regionale Lombardia 11/07/2014 n.X/2129

Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia

Nelle norme tecniche allegate all'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003 ogni zona sismica è contrassegnata da un diverso valore del parametro a_g (accelerazione orizzontale massima su suolo di categoria A).

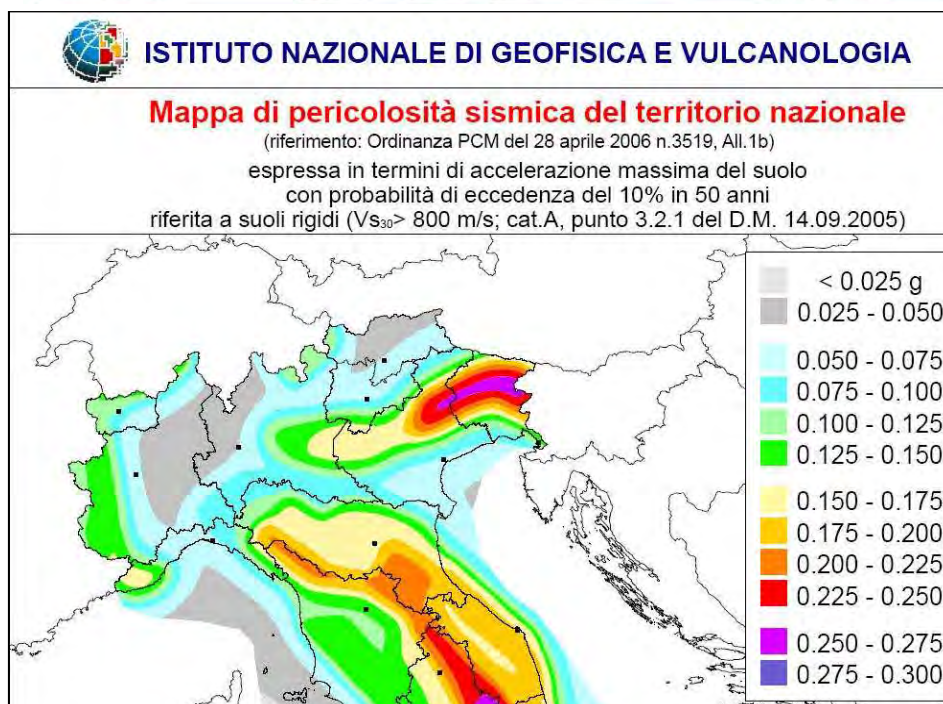
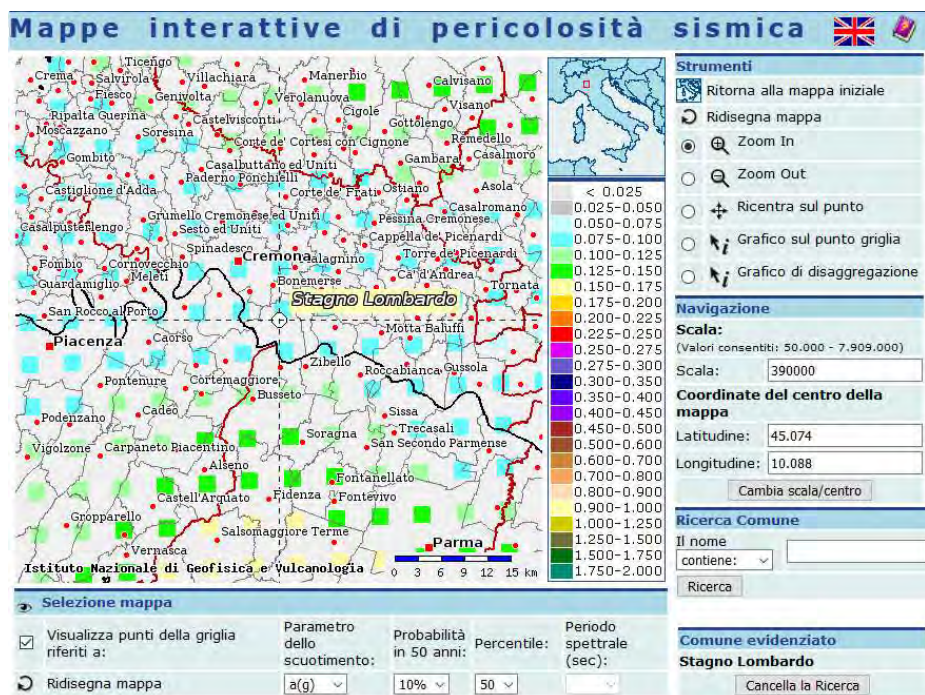
zona	accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10 % in 50 anni [a_g/g]	accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche) [a_g/g]
1	> 0,25	0,35
2	0,15-0,25	0,25
3	0,05-0,15	0,15
4	<0,05	0,05

Nelle classificazioni definite dai decreti emessi fino al 1984 la sismicità era definita attraverso il grado di sismicità S, nella classificazione proposta dal Gruppo di Lavoro del 1998 vennero invece proposte tre categorie sismiche (prima, seconda e terza) ed una categoria per i comuni Non Classificati, la nuova classificazione (Ordinanza del PCM n.3274/2003) prevede invece la suddivisione in quattro zone numerate da 1 a 4. Nello schema seguente si riporta la corrispondenza tra le diverse classificazioni.

Decreti fino al 1984	GdL 1998	Classificazione 2003
S = 12	Prima categoria	Zona 1
S = 9	Seconda categoria	Zona 2
S = 6	Terza categoria	Zona 3
Non classificato	Non classificato	Zona 4

La mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale, riportata nella figura seguente ed elaborata dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, approvata con Ordinanza n.3519 del Presidente del Consiglio dei Ministri del 28 Aprile 2006, è diventata la mappa di riferimento prevista dall'Ordinanza n.3274 del 2003, All.1.

In tale cartografia il comune di **Stagno Lombardo** ricade in una zona con accelerazione massima al suolo (a_{max}) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli molto rigidi ($V_{s30} > 800$ m/s; cat .A) compresa tra 0.075 e 0.100 g.



Estratto da "Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale" riferimento Ordinanza del 20 marzo 2003 n.3274 All.1.
 espressa in termine di accelerazione massima al suolo (a_{max}) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a
 suoli molto rigidi
 ($V_{s30} > 800$ m/s; cat .A .All.2.3.1)

2 RELAZIONE GEOTECNICA

2.1 Indagini in sito

Al fine di approfondire il grado di conoscenza del terreno di fondazione e quindi di costruire uno schema stratigrafico dell'area oggetto d'intervento, si è fatto riferimento a indagini geognostiche in sito, con metodologia diretta (carotaggi e prove penetrometriche) ed indiretta (geofisica), e a prove di laboratorio.

Sono state eseguite sull'area nel corso del 2015 e 2020:

- n° 4 prove penetrometriche statiche a punta elettrica CPTU1, CPTU2, CPTU3 e CPTU4
- n° 2 indagini sismiche tipo MASW per la determinazione della Vs30
- n° 1 prova geoelettrica
- n° 2 sondaggi a carotaggio continuo CC1 e CC2
- n.°12 Prove di dissipazione durante le prove CPTU.
- n.°1 Piezometro a tubo aperto da 2" installato nel sondaggio S1

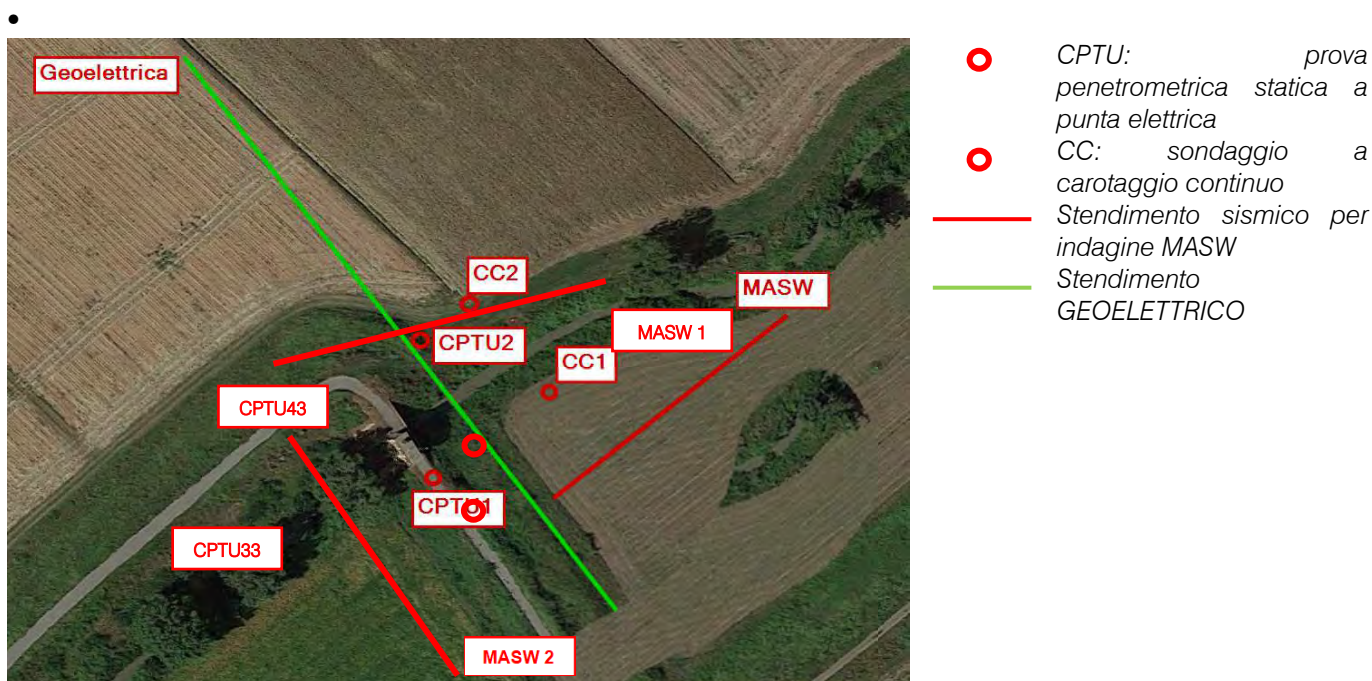


Figura 14: Schema ubicazione indagini geognostiche eseguite su foto aerea satellitare.

2.2 Analisi di laboratorio

Le analisi di laboratorio sono state condotte sia su campioni indisturbati dello strato a comportamento coesivo superficiale sia da campioni rimaneggiati prelevati negli strati sabbiosi.

Sui 4 campioni rimaneggiati delle porzioni sabbiose è stata eseguita una analisi granulometrica al fine di associare un valore di permeabilità di questi orizzonti confrontandoli anche con le prove di dissipazione svolte in sito.

Si riporta di seguito l'elenco delle prove di laboratorio eseguite sui campioni.

Servizio : ANALISI GEOTECNICHE DI LABORATORIO CANTIERE CHIAVICA STAGNO LOMBARDO

Data	Descrizione Attività / Servizio	
APERTURA CAMPIONE (DESCR.GEOT. POCKET PENET-VANE TEST) (RACC.AGI 1978)		
17/12/2015	G-5.010	S1 CI1 (2.30m -2.80m)
17/12/2015	G-5.010	S2 CI2 (4.00m -4.60m)
PROVA CONSOLID.EDOM.GRADINI CARICO FINO A 32 KG/CM (RACC.AGI 1994, ASTM D 2435)		
17/12/2015	G-5.270	S1 CI1 (2.30m -2.80m)
17/12/2015	G-5.270	S2 CI2 (4.00m -4.60m)
ELAB.PROVA EDOM.CON DET.GRAND.TERRENI E COEFF.av, mv, E, Cv e K (ASTM D 2435-70)		
17/12/2015	G-5.053	S1 CI1 (2.30m -2.80m)
17/12/2015	G-5.053	S2 CI2 (4.00m -4.60m)
PROVA DI TAGLIO DIRETTO (CD) ED ELABORAZ GRAFICA (AGI1994-ASTMD 3080-04)		
17/12/2015	G-5.280A	S1 CI1 (2.30m -2.80m)
17/12/2015	G-5.280A	S2 CI2 (4.00m -4.60m)
ANALISI GRANULOMETRICA X SETACCIATURA COMPR.FINI (CNR BU 23, ASTM-AGI/94)		
17/12/2015	G-5.080	S1 (7.50m)
17/12/2015	G-5.080	S1 (14.50m)
17/12/2015	G-5.080	CAR 2 (8.50m)
17/12/2015	G-5.080	CAR 2 (11.50m)

Di seguito si riporta una sintesi delle risultanze delle prove di laboratorio lasciando nel documento R.2.2 campagna delle indagini geognostiche tutti i report completi.

Campione S1 Cl1 (2,30m – 2,80m)

$c' = 0.11 \text{ kg/cm}^2$

$\phi' = 26.4^\circ$

Parametri edometrici

Tensione Verticale	cedimento	Indice dei vuoti	Coeff. cons. volumetrica	Coeff. compr. volumetrica	Modulo edometrico	Coeff. di permeabilità
-	-	e	c_v	m_v	E	K
K Pa	(mm)		(cm^2/s)	(g/cm^2) ⁻¹	(g/cm^2)	(m/s)
25	0,123	0,798	-	2,61E-05	38370	-
50	0,246	0,788	-	2,26E-05	44174	-
100	0,493	0,765	6,57E-03	2,48E-05	40266	1,6E-09
200	0,822	0,735	7,30E-03	1,68E-05	59440	1,2E-09
400	1,323	0,690	8,21E-03	1,32E-05	76028	1,1E-09
800	2,052	0,624	9,85E-03	9,96E-06	100420	9,8E-10
1600	2,962	0,542	1,23E-02	6,55E-06	152735	8,1E-10
3200	3,989	0,449	1,41E-02	3,93E-06	254355	5,5E-10
800	3,725	0,473				
200	3,425	0,500				
50	3,089	0,530				

Tabella 2.

Campione S2 Cl2 (4,00m – 4,60m)

$c' = 0.14 \text{ kg/cm}^2$

$\phi' = 25.8^\circ$

Parametri edometrici

Tensione Verticale	cedimento	Indice dei vuoti	Coeff. cons. volumetrica	Coeff. compr. volumetrica	Modulo edometrico	Coeff. di permeabilità
-	-	e	c_v	m_v	E	K
K Pa	(mm)		(cm^2/s)	(g/cm^2) ⁻¹	(g/cm^2)	(m/s)
25	0,729	1,054	1,19E-03	1,60E-04	6240	1,9E-09
50	1,241	1,005	1,97E-03	9,54E-05	10487	1,9E-09
100	1,873	0,938	2,63E-03	6,84E-05	14623	1,8E-09
200	2,503	0,870	3,65E-03	3,53E-05	28320	1,3E-09
400	3,242	0,791	4,69E-03	2,16E-05	46247	1,0E-09
800	4,040	0,706	5,18E-03	1,23E-05	81576	6,4E-10
1600	4,908	0,613	6,16E-03	7,05E-06	141837	4,3E-10
3200	5,800	0,518	7,30E-03	3,85E-06	259726	2,8E-10
800	5,512	0,549				
200	5,137	0,589				
50	4,733	0,632				

Tabella 3.

Campione S1 (7,50m) - Analisi granulometrica

% Fini passanti allo staccio 0,075 mm: 11,5%

Campione S1 (14,50m) - Analisi granulometrica

% Fini passanti allo staccio 0,075 mm: 1,8%

Campione CAR2 (8,50m) - Analisi granulometrica

% Fini passanti allo staccio 0,075 mm: 16,2%

Campione CAR2 (11,50m) - Analisi granulometrica

% Fini passanti allo staccio 0,075 mm: 3,9%

2.3 Stratigrafia dei terreni di fondazione (modello geologico)

Al fine di approfondire il grado di conoscenza del terreno di fondazione e quindi di costruire uno schema stratigrafico dell'area oggetto d'intervento, si è fatto riferimento alla preindicata indagine geognostica "in situ"; le prove penetrometriche statiche eseguite con punta conica sono state spinte alla profondità di 20 metri circa dal p.c. (suolo agricolo).

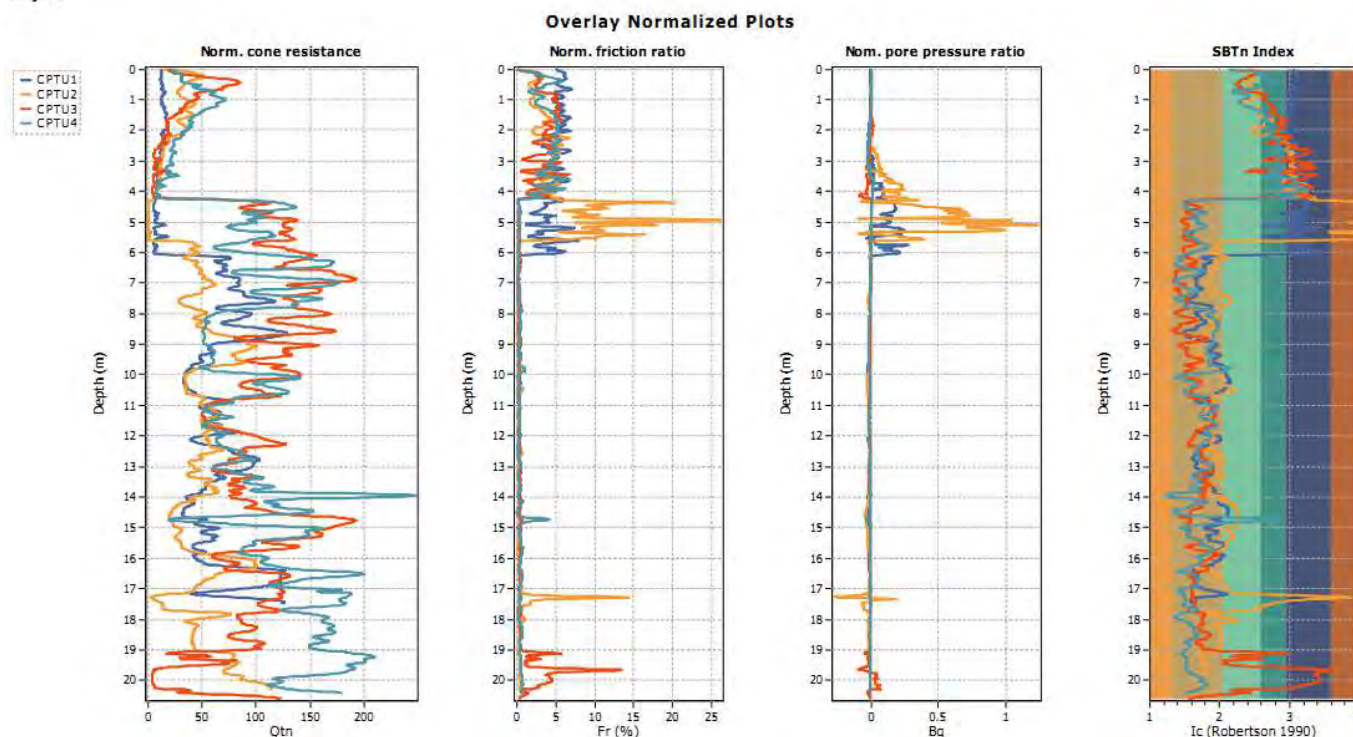
Facendo riferimento alle indagini eseguite, dal punto di vista stratigrafico il terreno oggetto di indagine, oltre ad un terreno vegetale (suolo agricolo) argilloso-limoso-sabbioso con uno spessore di 1 metri circa, fatte salve alcune eccezioni, è costituito in superficie e sino ad una profondità di 4-5,5 m dal p.c. da alternanze di terreni per lo più coesivi e semicoesivi, costituiti da argille e argille limose, da molli a poco consistenti consistenti in strati sottili; oltre, sino a 19-20 m circa, sono presenti alternanze di terreni per lo più granulari fini e localmente semigranulari costituiti da sabbie e sabbie-limose da moderatamente addensate a localmente addensate, tra 4-5 m e 15-16 m e addensate tra 15-16 m e 19-20 m dal p.c.; nella zona di monte della chiavica sono presenti sottili livelli limosi centimetrici che si rinvenivano a diverse profondità senza una precisa sistematicità.

Le indagini eseguite sull'area hanno individuato tuttavia una buona uniformità latero-verticale. Sottili orizzonti centimetrici granulari leggermente più grossolani (ghiaie minute) all'interno dei terreni granulari non costituiscono motivo di differenziazione dell'assetto litostratigrafico generale.



AMBIENTE E TERRITORIO SRL
 E-mail: ambienteeterritorio@gmail.com
 Web Site: www.ambienteeterritoriosrl.it

Project:



Comparativo prove CPTU

La falda si attesta a quote comprese tra 4 e 7 m circa dal p.c.; è ipotizzabile un innalzamento della falda sino a 1 ÷ 2 m circa dal p.c. in periodi di massima ricarica dell'acquifero ed in concomitanza di particolari situazioni di piena fluviale eccezionale e di prolungati eventi meteorici. La falda freatica interferirà con le strutture fondazionali.

La modellazione geologica dell'argine nei primi metri in corrispondenza del futuro intervento a partire dal piano stradale alla sommità dell'argine è la seguente:

MODELLO GEOLOGICO (dal piano campagna lato monte)		
Strato	Profondità strato da p.c. [m]	Litologia
A	0,00m ÷ 3,50m	Riporto di terreni per lo più coesivi e semicoesivi, costituiti da argille e argille limose, da molli a poco consistenti consistenti in strati sottili
B	3,50m ÷ 7,50/9,00m	Alternanze di terreni per lo più coesivi e semicoesivi, costituiti da argille e argille limose, da molli a poco consistenti consistenti in strati sottili
SOGGIACENZA MEDIA FALDA: 8,5 m circa dal p.c.		

La modellazione geologica del sito dei primi metri in corrispondenza del futuro intervento a partire dal piano campagna è la seguente:

MODELLO GEOLOGICO (dal piano campagna lato monte)		
Strato	Profondità strato da p.c. [m]	Litologia
A	0,00m ÷ 1,00m	Terreno vegetale (suolo agricolo) argilloso-limoso-sabbioso.
B	1,00m ÷ 5,50m	Alternanze di terreni per lo più coesivi e semicoesivi, costituiti da argille e argille limose, da molli a poco consistenti consistenti in strati sottili
C	5,50m ÷ 20,0m	Alternanze di terreni per lo più granulari fini e localmente semigranulari, costituiti da sabbie e sabbie-limose da moderatamente addensate a localmente addensate, tra 4-5 m e 15-16 m, e addensate tra 15-16 m e 19-20 m dal p.c.;
SOGGIACENZA MEDIA FALDA: 5 m circa dal p.c.		

MODELLO GEOLOGICO (dal piano campagna lato valle)		
Strato	Profondità strato da p.c. [m]	Litologia
A	0,00m ÷ 1,00m	Terreno vegetale (suolo agricolo) argilloso-limoso-sabbioso.
B	1,00m ÷ 4,00m	Alternanze di terreni per lo più coesivi e semicoesivi, costituiti da argille e argille limose, da molli a poco consistenti consistenti in strati sottili
C	4,00m ÷ 20,0m	Alternanze di terreni per lo più granulari fini e localmente semigranulari, costituiti da sabbie e sabbie-limose da moderatamente addensate a localmente addensate, tra 4-5 m e 15-16 m, e addensate tra 15-16 m e 19-20 m dal p.c.;
SOGGIACENZA MEDIA FALDA: 5 m circa dal p.c.		

2.4 Caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione

Per mezzo delle prove geognostiche effettuate in sito ed in laboratorio e sulla base delle conoscenze dei luoghi si è provveduto alla caratterizzazione stratigrafica e geotecnica dei terreni sottostanti interessati dalle future strutture fondazionali.

La modellazione geotecnica dell'argine nei primi metri in corrispondenza del futuro intervento a partire dal piano stradale alla sommità dell'argine è la seguente:

QUADRO GEOTECNICO-GEOMECCANICO SCHEMATICO

Strato	Profondità strato da p.c. [m]	Litologia Prevalente	Comportamento geomeccanico	Cu (Kg/cm ²)	C' (Kg/cm ²)	φ (°)	E (MPa)	γ (T/m ³)	K (m/s)	μ
A	0,0 ÷ 3,50	Riporto	Coesivo	0,30÷0,40	0,10÷0,12,5	10÷12,5	10÷12,5	1,95	10 ⁻⁶	0.2÷0.4
B	3,5÷7,5/9,0	Argille l.s.	Coesivo	0,25÷0,35	0,075÷0,10	7,5÷10	7,5÷10	1,95	10 ⁻⁶	0.2÷0.4

La modellazione geotecnica del sito alla base dell'argine è la seguente:

QUADRO GEOTECNICO-GEOMECCANICO SCHEMATICO

Strato	Profondità strato da p.c. [m]	Litologia Prevalente	Comportamento geomeccanico	Cu (Kg/cm ²)	C' (Kg/cm ²)	φ (°)	E (MPa)	γ (T/m ³)	K (m/s)	μ
A*	0,00 ÷ 1,00	Vegetale l.s.	*	*	*	*	*	*	*	*
B	1,00 ÷ 4,0/5,5	Argille l.s.	Coesivo	0,25÷0,35	0,075÷0,10	7,5÷10	7,5÷10	1,95	10 ⁻⁶	0.2÷0.4
C1	4,0/5,5 ÷ 15,5	Sabbie l.s.	Granulare	-	0,00÷0,05	25 ÷ 30	25÷35	1,95	10 ⁻⁴	0.2÷0.4
C2	15,5 ÷ 20,0	Sabbie l.s.	Granulare	-	0,00÷0,05	30 ÷ 35	35÷40	1,95	10 ⁻⁴	0.2÷0.4

(*) Tali materiali poiché saranno completamente asportati e/o by-passati dalle strutture di fondazione, non sono d'interesse per quanto attiene alle caratteristiche geomeccaniche.

Legenda:

Cu = coesione non drenata
 C' = coesione drenata
 φ = angolo d'attrito interno
 E = modulo di deformazione
 γ = peso di volume
 K = coefficiente di permeabilità
 μ = modulo di Poisson

2.5 Microzonazione sismica, stima delle Vs30 e valutazione della categoria di sottosuolo di fondazione

La recente D.G.R. 30 novembre 2011 – n. IX/2616 “Aggiornamento dei ‘Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, in attuazione dell’art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n. 12’, approvati con d.g.r. 22 dicembre 2005, n. 8/1566 e successivamente modificati con D.G.R. 28 maggio 2008, n. 8/7374”, riporta la metodologia per la valutazione dell’amplificazione sismica locale, in adempimento a quanto previsto dal D.M. 14.01.2008.

Tale metodologia prevede tre livelli di approfondimento (1°-2°-3°) con grado di dettaglio crescente: i primi due sono obbligatori in fase di pianificazione (con le opportune differenze in funzione della zona sismica di appartenenza), mentre il terzo è obbligatorio in fase di progettazione quando richiesto a seconda delle casistiche degli scenari di pericolosità sismica locale (PSL). Di seguito vengono sintetizzati gli adempimenti e le tempistiche in funzione della zona sismica di appartenenza.

	Livelli di approfondimento e fasi di applicazione		
	1° livello fase pianificatoria	2° livello fase pianificatoria	3° livello fase progettuale
Zona sismica 2-3	obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 se interferenti con urbanizzato e urbanizzabile, ad esclusione delle aree già inedificabili	<ul style="list-style-type: none"> - Nelle aree indagate con il 2° livello quando F_a calcolato > valore soglia comunale; - Nelle zone PSL Z1 e Z2.
Zona sismica 4	obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 solo per edifici strategici e rilevanti di nuova previsione (elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n. 19904/03)	<ul style="list-style-type: none"> - Nelle aree indagate con il 2° livello quando F_a calcolato > valore soglia comunale; - Nelle zone PSL Z1 e Z2 per edifici strategici e rilevanti.

PSL = Pericolosità Sismica Locale

Per quanto concerne il 1° livello d'approfondimento, in base a quanto riportato all'interno della Tavola 4b della "Carta della Pericolosità Sismica Locale", allegata allo studio geologico del PGT comunale, l'area rientra nello scenario di pericolosità sismica locale "Z4a – Zona di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali" con riferimento alla Tabella 1 di cui all'Allegato 5 alla D.G.R. n. 9/2616/11

Poiché l'opera in progetto ricade in Zona Sismica 4 e rientra nell'elenco degli edifici strategici e rilevanti (ai sensi del d.d.u.o. n. 19904/03), si può concludere che per l'intervento in oggetto sia richiesto un ulteriore approfondimento sismico oltre il 1° livello con l'analisi di 2° livello in fase pianificatoria.

Il 2° livello di approfondimento permette la caratterizzazione semiquantitativa degli effetti di amplificazione sismica attesi e l'individuazione, nell'ambito degli scenari qualitativi suscettibili di amplificazione (zone Z3 e Z4), di aree in cui la normativa nazionale risulta sufficiente o insufficiente a tenere in considerazione gli effetti sismici.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto è necessaria la classificazione dei terreni compresi tra il piano di imposta delle future fondazioni ed un substrato rigido di riferimento (bedrock) al fine di eseguire l'analisi di risposta sismica locale (RSL), ai sensi del punto 3.2.2. delle NTC-2018, con procedura semplificata: la classificazione può essere basata sulla stima dal piano di posa delle fondazioni dei valori della velocità media delle onde sismiche di taglio Vs.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{S,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

con:

- h_i spessore dell'i-esimo strato;
- $V_{S,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
- N numero di strati;
- H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_S non inferiore a 800 m/s.

Viceversa per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,eq}$ è definita dal parametro $V_{S,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

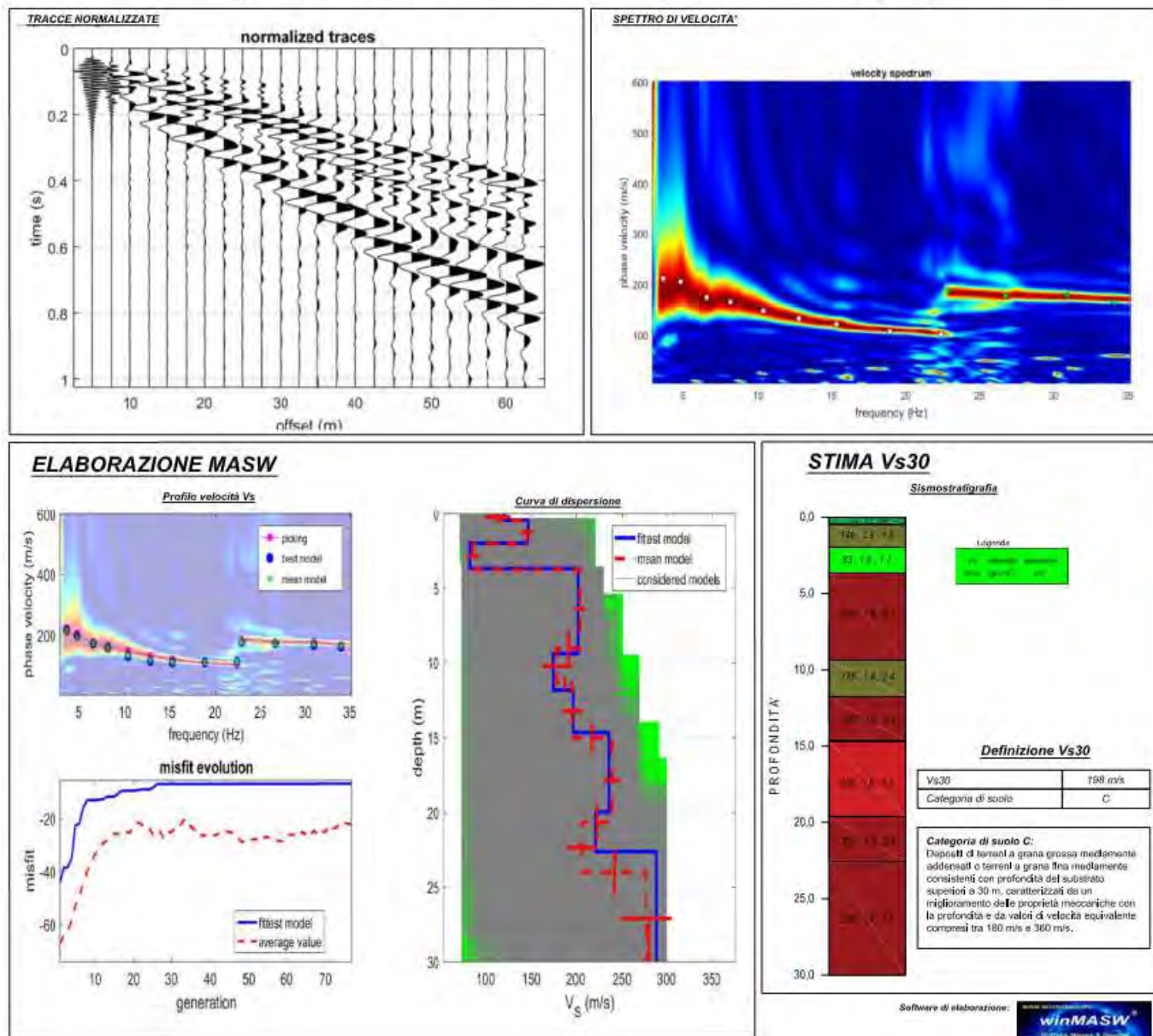
I parametri della V_s sono stati determinati integrando i dati ricavati da due prove di sismica attiva (MASW) eseguite direttamente sull'area.

Per le analisi dei dati acquisiti si è adottato il software "WINMASW".

I dati MASW sono stati elaborati (determinazione spettro di velocità, identificazione curve di dispersione, inversione/modellazione di queste ultime) per ricostruire il profilo verticale della velocità delle onde di taglio (V_S).

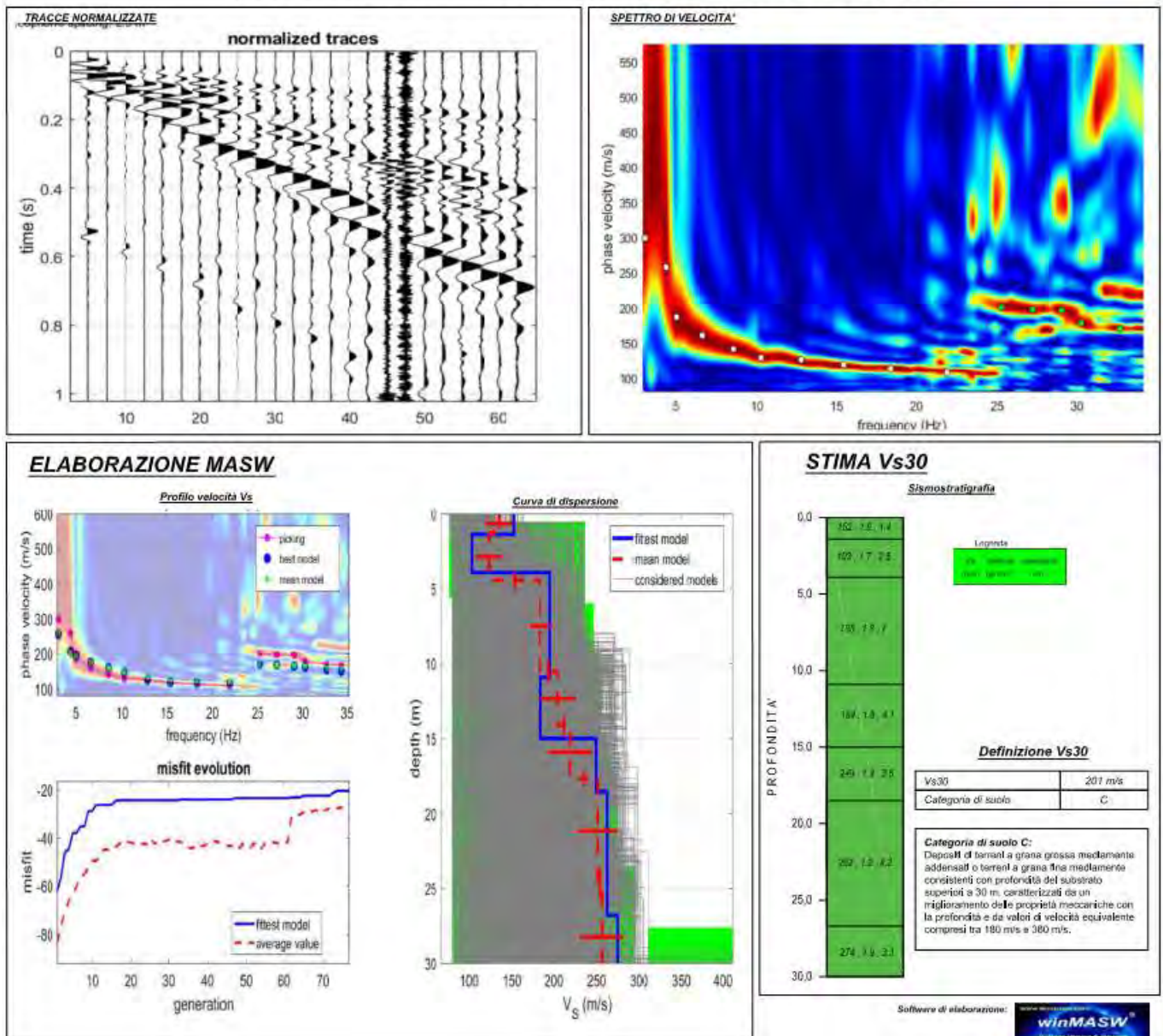
Di seguito si riportano le tracce sismiche registrate e le successive elaborazioni eseguite.

prova: MASW1 - località: Stagno Lombardo (CR)



Dalle elaborazioni eseguite (procedure di inversione) si ricava una velocità Vs 30 (calcolata da 0 a 30 m) pari a circa 198 m/s.

prova: MASW2 - località: Stagno Lombardo (CR)



Dalle elaborazioni eseguite (procedure di inversione) si ricava una velocità Vs 30 (calcolata da 0 a 30 m) pari a circa 201 m/s.

Nelle NTC-2018 per valutare l'effetto della risposta sismica locale si può fare riferimento ad un approccio semplificato che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento così come riportato nella tabella seguente.

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

Estratto dalle NTC-2018 (tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo)

Relativamente alla valutazione della Risposta Sismica Locale del sito con procedura semplificata (NTC-2018), che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento, il valore di $V_{s,eq}$ (198 m/s-201 m/s) ricavato a partire dal piano campagna è compreso nell'intervallo che definisce la CATEGORIA DI SOTTOSUOLO "C".

2.5.1. Caratteristiche sismiche del terreno

Topografia: T1 (superficie pianeggiante) - Categoria di suolo di fondazione: C

2.5.2. Vita nominale di progetto, classi d'uso e periodo di riferimento

VITA DELLA STRUTTURA

Trattandosi di una "costruzione con livello di prestazione elevata" l'opera in progetto ha una vita nominale, intesa come il numero di anni nel quale l'opera, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata, pari a 100 anni.

Tab. 2.4.I – Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

CLASSE D'USO

La classe d'uso delle strutture in progetto, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso in presenza di azioni sismiche, rientra nella classe IV, caratteristica di "costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti".

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Classe III: 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.

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Classi d'uso (NTC- 2018)

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento detto vita di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U .

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

Tab. 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso C_U

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

Per le strutture in progetto le vite di riferimento V_R risulta pari a 200 anni.

2.6 PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE – ANALISI DI 2° LIVELLO

La procedura, D.G.R. 30 novembre 2011 – n. IX/2616, consiste in un approccio semiquantitativo e fornisce la stima della risposta sismica dei terreni in termini di valore di Fattore di amplificazione (Fa).

Gli studi sono condotti con metodi quantitativi semplificati, validi per la valutazione delle amplificazioni litologiche e morfologiche e sono utilizzati per zonare l'area di studio in funzione del valore di Fa. Il valore di Fa si riferisce agli intervalli di periodo tra 0.1-0.5 s e 0.5-1.5 s; i due intervalli di periodo nei quali viene calcolato il valore di Fa sono stati scelti in funzione del periodo proprio delle tipologie edilizie presenti più frequentemente nel territorio regionale; in particolare l'intervallo tra 0.1-0.5 s si riferisce a strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide, mentre l'intervallo tra 0.5-1.5 s si riferisce a strutture più alte e più flessibili.

Nel caso in oggetto viene considerato lo scenario per gli effetti litologici non essendovi per l'area oggetto d'intervento amplificazioni sismiche per effetti morfologici.

Il piano di riferimento per i successivi calcoli è assunto pari all'attuale piano campagna.

2.6.1 Scelta della scheda di riferimento

In base alla stratigrafia dell'area e all'andamento delle Vs con la profondità, ricavato dall'indagine con la metodologia MASW, per l'area oggetto d'intervento si è scelta la scheda per la "litologia sabbiosa", che rappresenta meglio i terreni presenti lungo la verticale d'intervento, per la quale la curva Vs-z sperimentale riferita all'indagine sismica effettuata è compresa nel campo di validità.

EFFETTI LITOLOGICI – SCHEDA LITOLOGIA SABBIOSA

PARAMETRI INDICATIVI

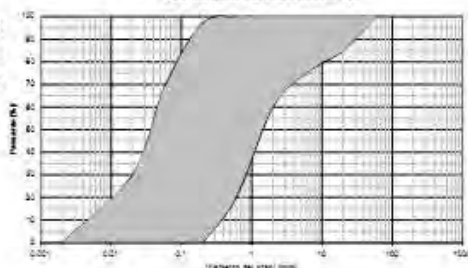
GRANULOMETRIA:

Da sabbia con ghiaia e ciottoli a limo e sabbia passando per sabbie ghiaiose, sabbie limose, sabbie con limo e ghiaia, sabbie limose debolmente ghiaiose, sabbie ghiaiose debolmente limose e sabbie

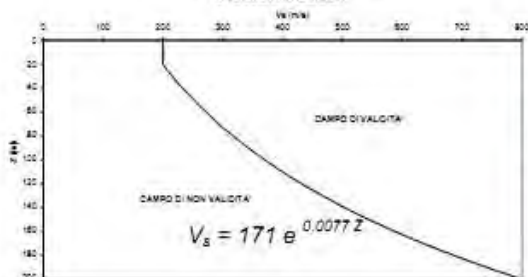
NOTE:

Comportamento granulare
Struttura granulo-sostenuta
Clasti con $D_{max} > 20$ cm inferiori al 15%
Frazione ghiaiosa inferiore al 25%
Frazione limosa fino ad un massimo del 70%

FUSO GRANULOMETRICO INDICATIVO



ANDAMENTO DELLE V_s CON LA PROFONDITA' LITOLOGIA SABBIOSA



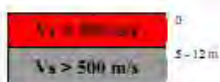
Profondità primo strato (m)

	1-5	5-12	12-15	15-18	18-20	20-25	25-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	100-110	110-120	120-130	130-140	140-150	150-160	160-180
200	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
250	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
300	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
350	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
400	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
450	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
500	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
550	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
600	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
650	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
700	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

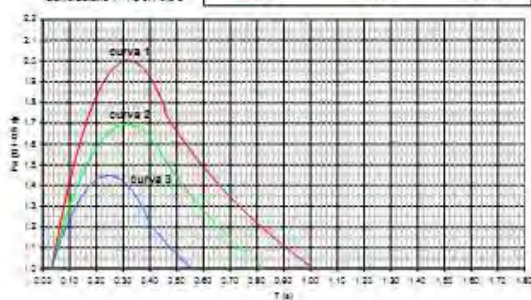
ove
la sigla NA indica $Fa = 1$

il riquadro rosso indica la condizione stratigrafica per cui è necessario utilizzare le curve 1

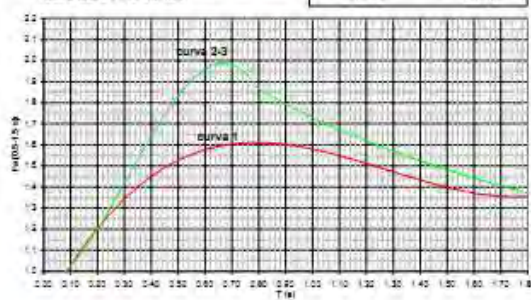
CONDIZIONE: strato con spessore compreso tra 5 e 12 m e velocità media V_s minore o uguale a 300 m/s poggianti su strato con velocità maggiore di 500 m/s



Correlazione $T - Fa$ (0.1-0.5 s)



Correlazione $T - Fa$ (0.5-1.5 s)



Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico	Tratto rettilineo
1	$0.03 \leq T \leq 0.50$ $Fa_{0.03-0.5} = -12.21 T^2 + 7.79 T + 0.76$	$0.50 \leq T \leq 1.00$ $Fa_{0.5-1.0} = 1.01 - 0.94 \ln T$	$T \geq 1.00$ $Fa_{1.0-1.5} = 1.00$
2	$0.03 \leq T \leq 0.45$ $Fa_{0.03-0.45} = -8.85 T^2 + 5.44 T + 0.54$	$0.45 \leq T \leq 0.80$ $Fa_{0.45-0.8} = 0.93 - 0.88 \ln T$	$T \geq 0.80$ $Fa_{0.8-1.0} = 1.00$
3	$0.03 \leq T \leq 0.40$ $Fa_{0.03-0.4} = -9.88 T^2 + 4.77 T + 0.58$	$0.40 \leq T \leq 0.65$ $Fa_{0.4-0.65} = 0.82 - 0.85 \ln T$	$T \geq 0.65$ $Fa_{0.65-1.0} = 1.00$

Curva	$0.08 \leq T \leq 1.80$ $Fa_{0.08-1.8} = 0.57 T^2 - 2.19 T + 2.38 T + 0.81$
1	$0.08 \leq T \leq 0.80$ $Fa_{0.08-0.8} = -8.11 T^2 + 5.79 T^2 + 0.44 T + 0.93$
2	$0.80 \leq T \leq 1.80$ $Fa_{0.8-1.8} = 1.73 - 0.61 \ln T$

2.6.2. Scelta della curva T-Fa

Per quanto concerne la scelta della curva T-Fa, in accordo con le velocità medie della Vs30 si utilizza la curva 2 (VERDE) del grafico T-Fa 0.1-0.5 sec. e la curva (VERDE) del grafico T-Fa 0.5-1.5 sec

2.6.3. Calcolo del periodo proprio del sito

Il periodo proprio del sito T necessario per l'utilizzo della scheda di valutazione è calcolato considerando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità Vs è uguale o superiore a 800 m/s ed utilizzando la seguente equazione dove hi e Vsi sono lo spessore e la velocità dello strato i-esimo del modello:

$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^n h_i}{\left(\frac{\sum_{i=1}^n V_{s_i} \times h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \right)}$$

Si ottiene così un valore del periodo proprio del sito pari a 0,7.

2.6.4. Fattore d'amplificazione

Dalla lettura dei grafici si ottengono i seguenti valori di Fa per i due periodi tipici 0,1-0,5 s (strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide) e 0,5-1,5 s (strutture più alte e più flessibili):

	Fa	Fa
Periodo	0,1-0,5 s	0,5-1,5 s
Fattore calcolato	1,15	1,98

2.6.5. Confronto tra i valori soglia calcolati dalla Regione Lombardia per il Comune

Il parametro di Fa calcolato per ciascun comune della Regione Lombardia rappresenta il valore di soglia oltre il quale lo spettro proposto dalla normativa risulta insufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione presente nel sito.

Nella tabella sottostante sono riportati i valori soglia calcolati dalla Regione (soglie_lomb.xls) per il Comune di Stagno Lombardo:

COMUNE	Periodo	Valori soglia			
		B	C	D	E
STAGNO LOMBARDO	0.1 - 0.5s	1,4	1,8	2,1	1,9
STAGNO LOMBARDO	0.5 - 1.5s	1,7	2,4	4,0	3,0

Considerando che per l'area in oggetto la categoria di suolo è la C, ne deriva che il valore di $Fa_{0,1-0,5}$ calcolato è risultato pari a 1,15 ed è inferiore valore di Soglia 0,1-0,5 pari a 1,8 per il suolo C a Stagno Lombardo; anche il valore di $Fa_{0,5-1,5}$ che è risultato pari a 1,98 è inferiore al valore di Soglia 0,5-1,5 pari a 2,4 per il suolo C a Stagno Lombardo.

Tipo di Suolo "C"	Fa	Fa
Periodo	0,1-0,5 s	0,5-1,5 s
Fattore calcolato	1,15	1,98
Fattore soglia comunale	1,8	2,4

Nel caso in cui il valore di Fa sia inferiore al valore di soglia corrispondente la normativa è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione litologica del sito e quindi si applica lo spettro previsto dalla normativa.

Nel caso in cui il valore di Fa sia superiore al valore di soglia corrispondente la normativa è insufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica e quindi è necessario, in fase di progettazione edilizia, o effettuare analisi più approfondite (3° livello) o utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore, con il seguente schema: anziché lo spettro della categoria di suolo B si utilizzerà quello della categoria di suolo C; nel caso in cui la soglia non fosse ancora sufficiente si utilizzerà lo spettro della categoria di suolo D; anziché lo spettro della categoria di suolo E si utilizzerà quello della categoria di suolo D.

Nel caso in oggetto, essendo prevista la realizzazione di strutture edificatorie basse rientranti nel periodo proprio compreso nell'intervallo tra 0,1-0,5 sec, poiché il valore di Fa calcolato è risultato inferiore al valore di soglia corrispondente non si dovrà effettuare un'analisi più approfondita (3° livello) e utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo "C" essendo:

$Fa_{0,1-0,5} 1,15 < Soglia_{0,1-0,5} 1,8$ (suolo "C") Verificato!

In conclusione nel caso di intervalli di periodo tra 0,1 e 0,5 s, che si riferiscono a strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide (come quella in esame), per suoli appartenenti alla categoria C, si registrano valori di Fa inferiore alla soglia calcolata dalla Regione Lombardia.

La normativa nazionale (NTC-2018) è quindi sufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione locale dovuta alla litologia.

2.7 STATI LIMITE E RELATIVE PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli stati limite di esercizio sono:

- Stato Limite di Operatività (SLO): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- Stato Limite di Danno (SLD): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono:

- Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV): a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC): a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella tabella sottostante.

Stati Limite	P _{VR} : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V _R	
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Probabilità di superamento P_{VR} al variare dello stato limite considerato

Qualora la protezione nei confronti degli stati limite di esercizio sia di prioritaria importanza, i valori di PVR forniti in tabella devono essere ridotti in funzione del grado di protezione che si vuole raggiungere.

Ai fini della definizione dell'Azione Sismica di progetto occorre valutare gli effetti che le condizioni stratigrafiche locali hanno sulla Risposta Sismica Locale.

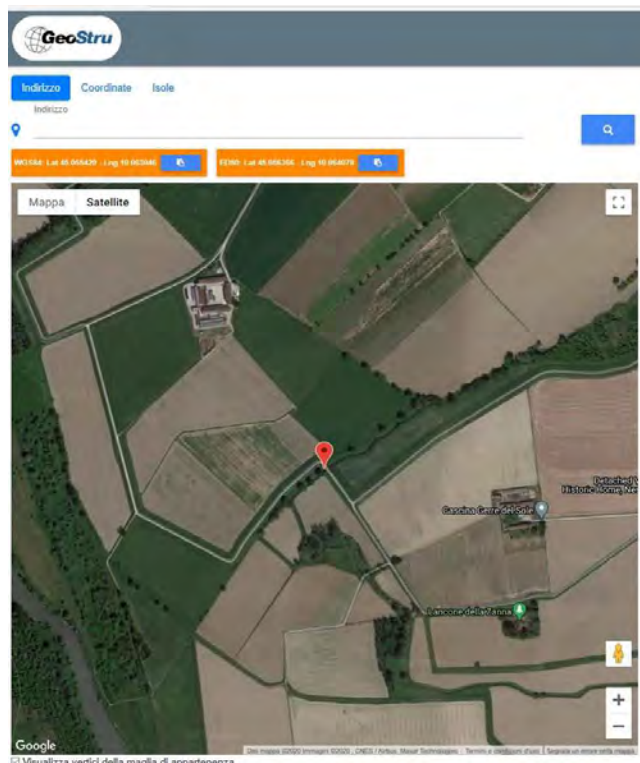
Sulla base degli esiti dell'indagine in situ, il suolo di fondazione dell'area di studio a partire dal piano fondazionale ricade come già detto nella categoria di tipo D.

Per la determinazione dell'azione sismica occorre considerare anche il contributo derivante dalla morfologia superficiale. Per condizioni topografiche complesse occorre predisporre specifiche analisi di Risposta Sismica Locale; nel caso in cui la topografia non presenti particolare complessità, è possibile adottare la seguente classificazione:

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Trattandosi di zona pianeggiante, l'area in esame ricade nella categoria T1, a cui non è attribuibile alcun fenomeno di amplificazione sismica legato alle condizioni topografiche.

Nel caso specifico, ci si riferisce a costruzioni con Classe dell'edificio IV (Coefficiente $C_u = 2$) e Vita nominale $VN = 100$ anni.



Stati limite

Classe Edificio

IV. Funzioni pubbliche o strategiche importanti...

Vita Nominale: 100

Interpolazione: Media ponderata

$C_u = 2$

Stato Limite	T_r [anni]	a_g [g]	F_0	T_c^* [s]
Operatività (SLO)	120	0.057	2.577	0.273
Danno (SLD)	201	0.068	2.569	0.286
Salvaguardia vita (SLV)	1898	0.138	2.614	0.322
Prevenzione collasso (SLC)	2475	0.150	2.621	0.326
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	200			

Coefficienti sismici

Tipo: Stabilità dei pendii e fondazioni

☐ Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m): $U.S.$ (m):

Cat. Sottosuolo: C

Cat. Topografica: T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1.50	1.50	1.48	1.46
CC Coeff. funz. categoria	1.61	1.59	1.53	1.52
ST Amplificazione topografica	1.00	1.00	1.00	1.00

☐ Acc.ne massima attesa al sito [m/s²]: 0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
k_h	0.017	0.020	0.049	0.053
k_v	0.009	0.010	0.025	0.026
A_{max} [m/s²]	0.837	1.002	2.010	2.145
Beta	0.200	0.200	0.240	0.240

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

☒ Ricerca per coordinate

LONGITUDINE
 10.06408

LATITUDINE
 45.05637

☐ Ricerca per comune

REGIONE
 Lombardia

PROVINCIA
 Cremona

COMUNE
 Stagno Lombardo

Elaborazioni grafiche
 Grafici spettri di risposta
 Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche
 Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito



Reticolo di riferimento



Controllo sul reticolo
☐ Sito esterno al reticolo
☐ Interpolazione su 3 nodi
☒ Interpolazione corretta

Interpolazione
 media ponderata

La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

INTRO

FASE 1

FASE 2

FASE 3

FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) - V_N
 50
 info

Coefficiente d'uso della costruzione - C_U
 2
 info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) - V_R
 100
 info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) - T_R
 info

Stati limite di esercizio - SLE


SLO - $P_{VR} = 81\%$	60
SLD - $P_{VR} = 63\%$	101

Stati limite ultimi - SLU

SLV - $P_{VR} = 10\%$	949
SLC - $P_{VR} = 5\%$	1950

Elaborazioni
 Grafici parametri azione
 Grafici spettri di risposta
 Tabella parametri azione

Strategia di progettazione




LEGENDA GRAFICO
 ---□--- Strategia per costruzioni ordinarie —■— Strategia scelta


INTRO


FASE 1

FASE 2

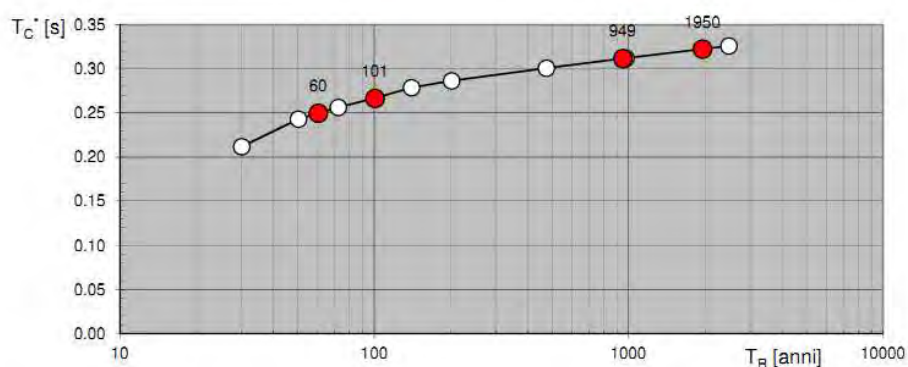
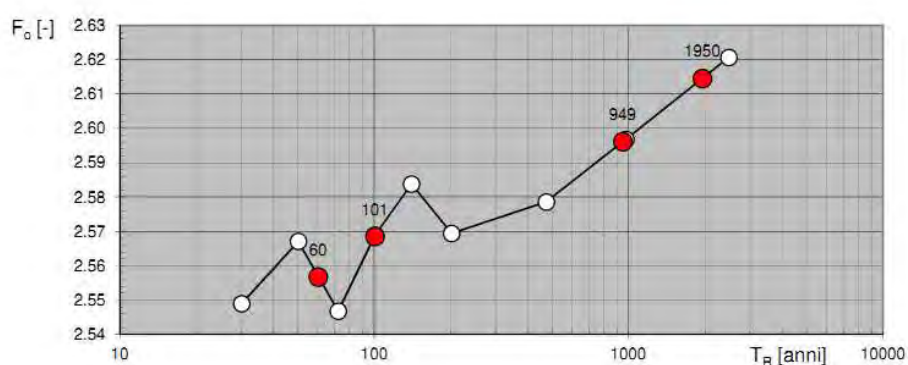
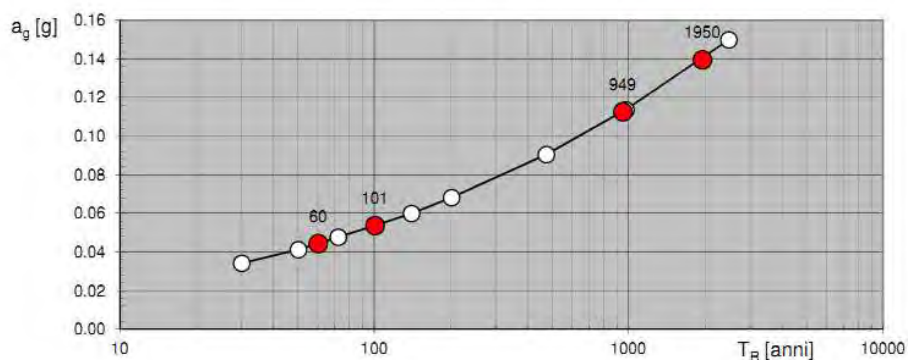
FASE 3


 ingegneria e ambiente


 SUBSOIL
 INQUADRI GEOTECNICI E AMBIENTALI SU DATI CENSI


 @T
 Ambiente e Territorio Srl
 Ambiente e Territorio Srl

59

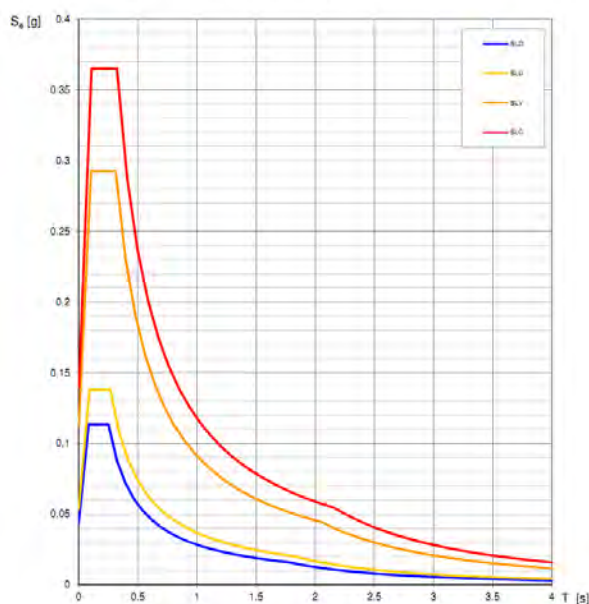
Valori di progetto dei parametri a_g , F_o , T_c^* in funzione del periodo di ritorno T_R


La verifica dell'ideoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

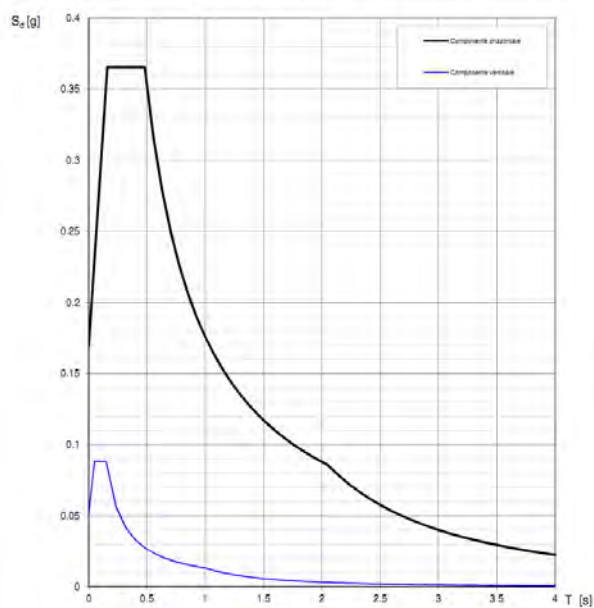
Valori dei parametri a_g , F_o , T_c^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno SL

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_c^* [s]
SLO	60	0.044	2.557	0.250
SLD	101	0.054	2.569	0.267
SLV	949	0.113	2.596	0.312
SLC	1950	0.140	2.615	0.322

Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite



Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV



FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Stato Limite

Stato Limite considerato **SLV** info

Risposta sismica locale

Categoria di sottosuolo **C** info

Categoria topografica **T1** info

$S_E = 1.500$

$C_C = 1.543$ info

$H/H = 1.000$

$S_T = 1.000$ info

(h =quota sito, H =altezza rilievo topografico)

Compon. orizzontale

☐ Spettro di progetto elastico (SLE)

☒ Spettro di progetto inelastico (SLU)

Amplificazione $\xi = 5\%$

$\eta = 1.000$ info

Fattore $q_0 = 1.5$

Regol. in altezza **no** info

Compon. verticale

Spettro di progetto

Fattore $q = 1.5$

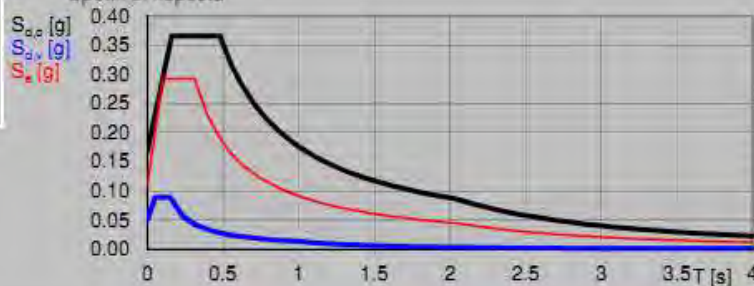
$\eta = 0.667$ info

Elaborazioni

Grafici spettri di risposta

Parametri e punti spettri di risposta

Spettri di risposta



— Spettro di progetto - componente orizzontale
— Spettro di progetto - componente verticale
— Spettro elastico di riferimento (Cat. A+T1, $\xi = 5\%$)

INTRO

FASE 1

FASE 2

FASE 3

2.8 VERIFICHE ALLA LIQUEFAZIONE

La liquefazione è il processo per il quale si giunge all'annullamento della resistenza al taglio di terreni qualora sottoposti allo scuotimento di un terremoto.

Per liquefazione si intende l'annullamento di resistenza al taglio di terreni saturi sotto sollecitazioni di taglio cicliche o monotoniche, in conseguenza delle quali il terreno raggiunge una condizione di fluidità pari a quella di un fluido viscoso. Il fenomeno, che si verifica in particolare nelle sabbie fini e nei limi in falda con densità da media a bassa e a granulometria piuttosto uniforme, avviene quando la pressione dell'acqua nei pori aumenta progressivamente fino ad eguagliare la pressione di confinamento e conseguentemente la tensione efficace si riduce a zero.

In generale si può osservare che i depositi più facilmente liquefacibili sono i terreni recenti, i terreni di bonifica ed in generale i depositi non consolidati caratterizzati da:

- profondità dello strato potenzialmente liquefacibile < 15 m dal p.c.;

- falda molto superficiale (profondità inferiore ai 5 m dal p.c.);
- densità relativa $D_r < 60\%$;
- diametro medio: $0,02 \text{ mm} < D_{50} < 2 \text{ mm}$;
- frazione dei fini (diametro < 0.005 mm) < 15%

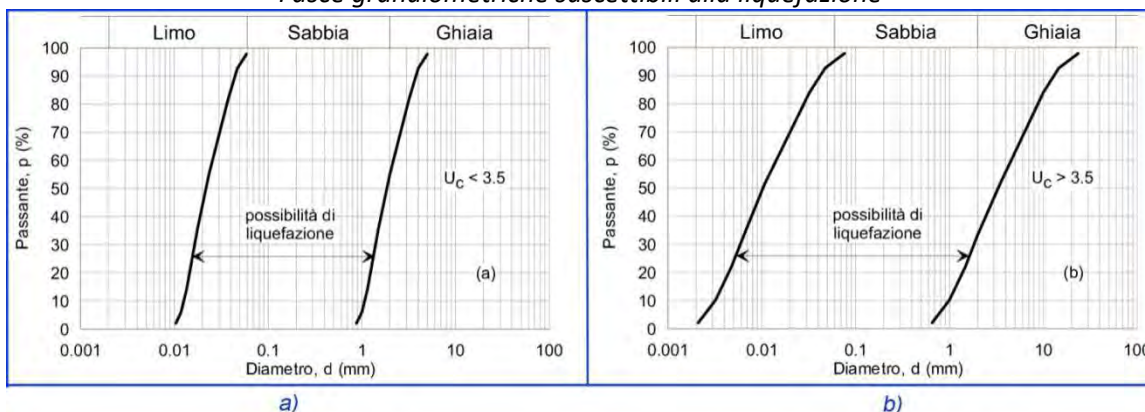
Le condizioni scatenanti che riguardano le caratteristiche sismiche sono:

- magnitudo $M > 5,5$;
- $PGA > 0,15 \text{ g}$;
- durata > 15-20 sec.

Per quanto concerne gli aspetti relativi alla stabilità del sito nei confronti del fenomeno della liquefazione si fa presente che la vigente normativa tecnica per le costruzioni (NTC18) precisa che la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1 g
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 metri dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni dirette superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata (N_{160}) $60 > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$, dove (N_{160})60 è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate in a) della seguente immagine, nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$, ed in b) della medesima nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$ (b), dove $U_c = D_{60}/D_{10}$ con D_{60} diametro equivalente passante al 60% e D_{10} diametro equivalente passante al 10%.

Fasce granulometriche suscettibili alla liquefazione



E' noto i che i materiali più suscettibili a fenomeni di liquefazione in seguito a sollecitazioni sismiche sono quelli prettamente sabbiosi sciolti posti sotto falda a profondità relativamente basse.

Considerato che nessuna delle cinque condizioni di cui sopra elencate è soddisfatta, a buona ragione possiamo considerare che i terreni presenti lungo la verticale dell'area d'intervento siano potenzialmente liquefacibili e suscettibili di cedimenti post-sismici. Alla luce di ciò, si è proceduto alla verifica della liquefazione sulla base delle prove CPT eseguite nell'area oggetto di studio.

La verifica consiste nella stima alle varie profondità di un coefficiente di sicurezza dato dal rapporto fra la resistenza alla liquefazione del terreno (CRR) e lo sforzo di taglio ciclico indotto dal sisma (CSR).

$$F_s = \frac{CRR}{CSR}$$

Le verifiche possono essere di tipo puntuale (singoli livelli) o globale (sull'intera colonna stratigrafica).

Il parametro CRR può essere ottenuto attraverso correlazioni semi-empiriche con prove in sito (prove penetrometriche statiche, dinamiche (SPT) o mediante misura delle velocità delle onde S. La grandezza CSR è funzione dell'accelerazione sismica orizzontale max in superficie e della magnitudo. Le NTC 2018 non indicano un valore specifico di F_s di riferimento, lasciando al progettista la scelta e la motivazione del margine di sicurezza.

L'Eurocodice 8 suggerisce, nel caso di impiego di correlazioni semi-empiriche, che un terreno debba essere considerato liquefacibile se lo sforzo di taglio indotto dal terremoto superi l'80% della resistenza mobilitata dal terreno.

$$CSR \geq 0.80 CRR$$

Questo comporta un coefficiente di sicurezza limite pari a $F_s = CRR/CSR = 1.25$.

In accordo con l'Eurocodice 8, per considerare i depositi non liquefacibili, il valore di F_s calcolato deve essere maggiore di 1,25.

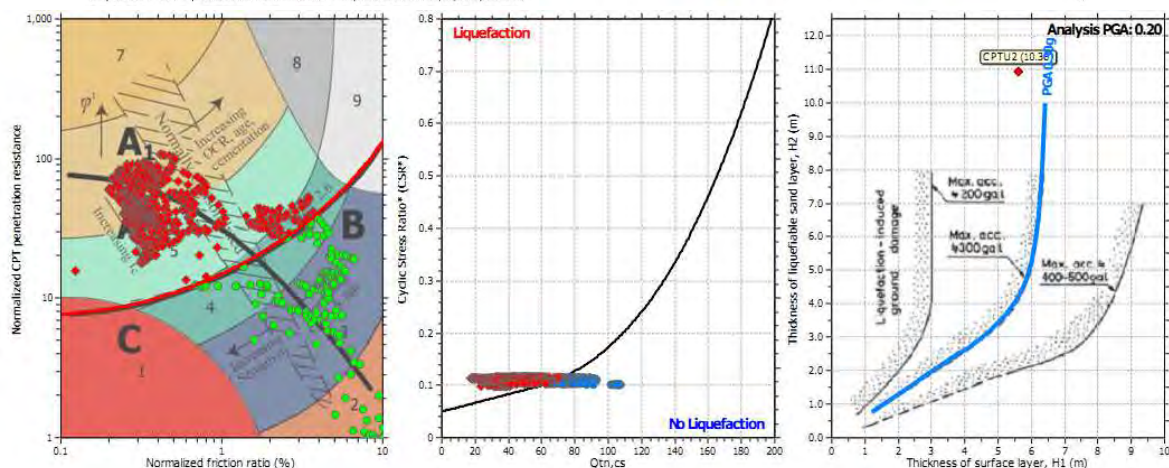
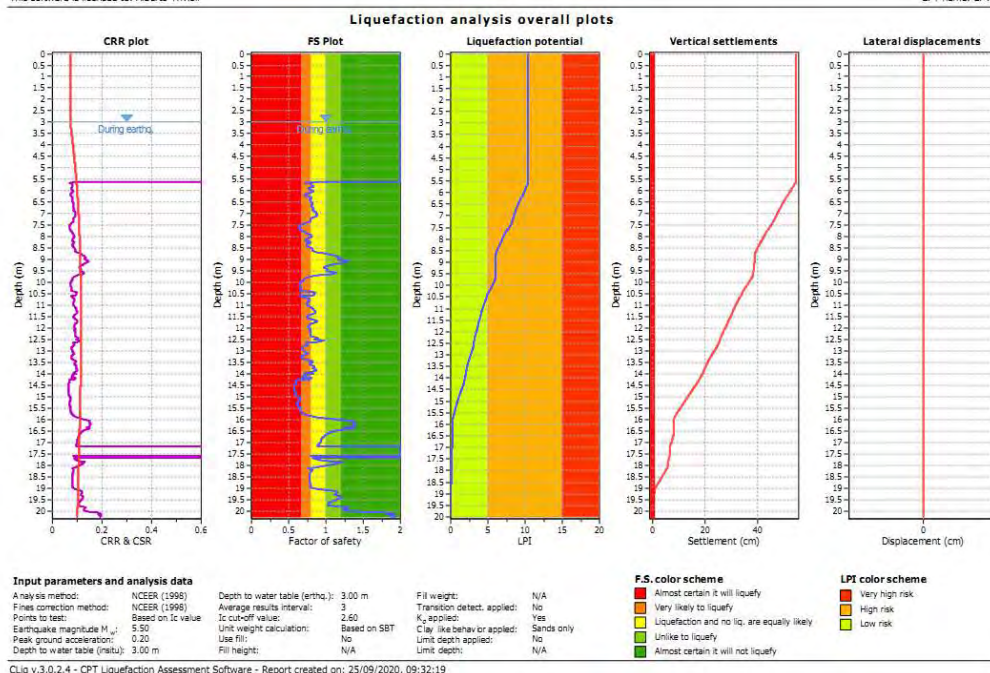
Sempre in accordo con la normativa vigente si è adottata una procedura di calcolo semplificata.

Per la verifica alla liquefazione sono stati utilizzati i dati provenienti dalle prove CPTu eseguite nell'area, una Magnitudo pari a 5,50 Richter (valore ricavato mediante disaggregazione ricadendo all'esterno della zona sismogenetica ZS912), ed una accelerazione massima ($ag_{max} = ag_{SsSt}$) in superficie pari a 0,204, essendo l'accelerazione attesa per la zona dalla classificazione nazionale pari a 0,138 g, il coefficiente d'amplificazione stratigrafica pari a 1,48 (Suolo C) e il coefficiente di amplificazione topografica pari a 1.

Per le elaborazioni si è utilizzato il software CLiq v.3.0.2.4 della Geologismiki Geotechnical Software utilizzando il metodo Boulanger & Idriss (2014); utilizzando nel software i dati di tutte le prove penetrometriche CPTu effettuate nell'area risulta che per i terreni costituenti i depositi nell'area oggetto di studio l'indice di potenziale liquefazione (LPI o IL, Iwasaki et al. 1982) è compreso tra 0,9 e 10,36 mentre la stima dei cedimenti post sismici è compresa tra 8,3 e 54,52 cm. I valori massimi calcolati di indice di potenziale liquefazione (10,36) e di cedimento post-sismico (54,52 cm) si sono registrati nella prova penetrometrica CPTu 2 per la quale sono qui esposti i risultati dei calcoli.

This software is licensed to: Alberto Trivoli

CPT name: CPTU2



In base alla Classificazione di Sonmez (2003), a cui si deve far riferimento secondo la DGR 630/2019 per la microzonazione sismica in Emilia-Romagna, dagli indici di potenziale liquefazione massimi calcolati nella prova CPTu 3 risulta che il Potenziale di liquefazione è "Basso", dalla prova CPTu 4 risulta che il Potenziale di liquefazione è "Moderato" mentre dalle prove CPTu 1 e CPTu 2 il Potenziale di liquefazione è "Alto".

TABELLA 1 – CLASSI DI POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE SECONDO SONMEZ (2003)

LPI	Potenziale di liquefazione
0	Non liquefacibile (FSL ≥ 1.2)
$0 < LPI \leq 2$	Basso
$2 < LPI \leq 5$	Moderato
$5 < LPI \leq 15$	Alto
$15 < LPI$	Molto alto

Sono qui di seguito esposti i dati riepilogativi dell'indice di potenziale liquefazione e dei cedimenti post-sismici calcolati per ogni prova penetrometrica CPTu effettuata.

Project title : Adeguamento della Chiavica Fossadone
Location : Stagno Lombardo (CR)

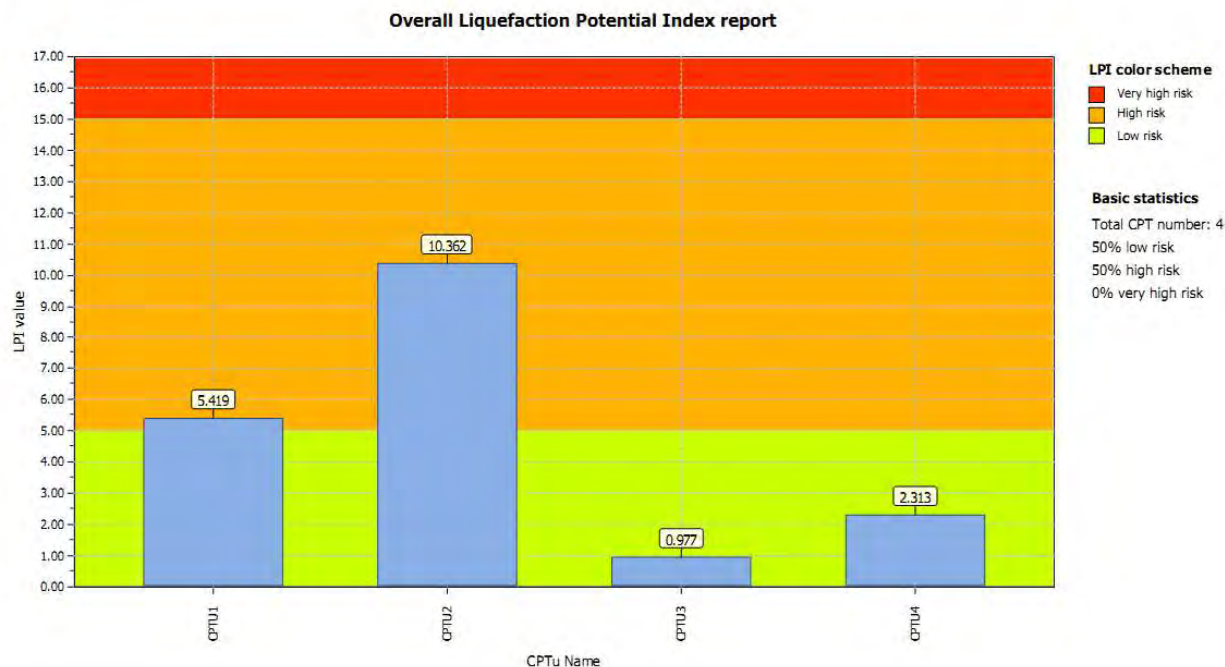


Grafico riepilogativo indici di potenziale liquefazione

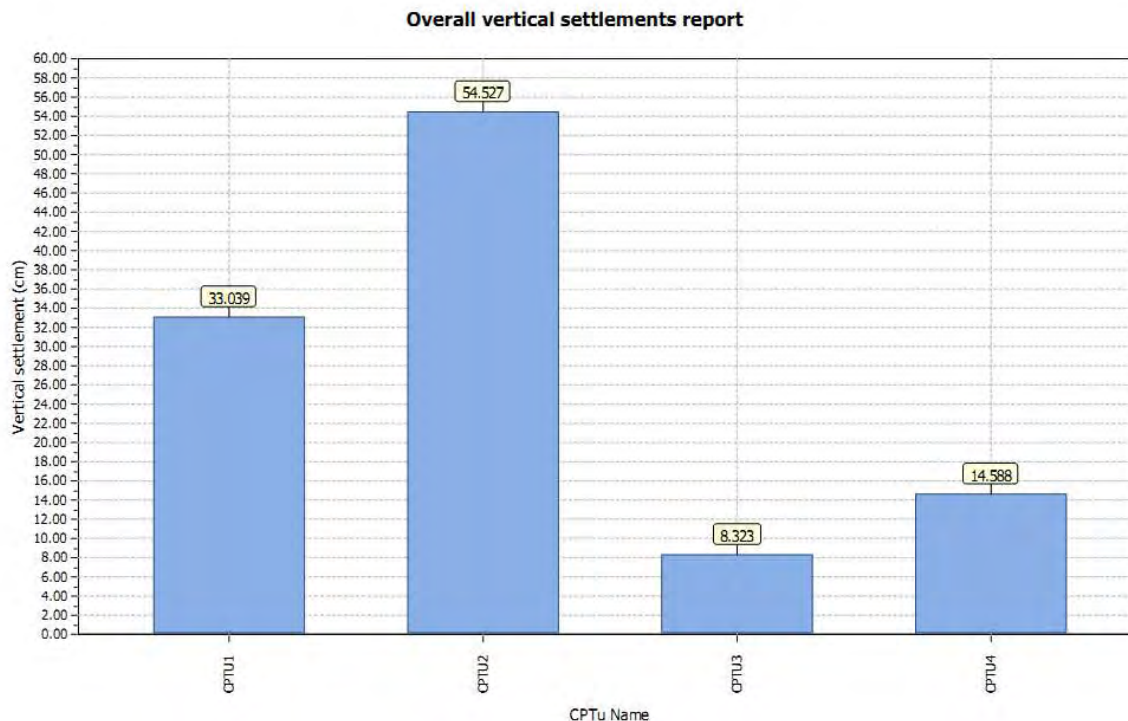


Grafico riepilogativo cedimenti post-sismici

Si allega inoltre il grafico comparativo delle elaborazioni della verifica alla liquefazione e della stima dei cedimenti post-sismici eseguiti anche con altri metodi di calcolo; il metodo utilizzato nelle elaborazioni è quello di Boulanger & Idriss (2014) corrispondente alle colonne rosse nelle figure seguenti.

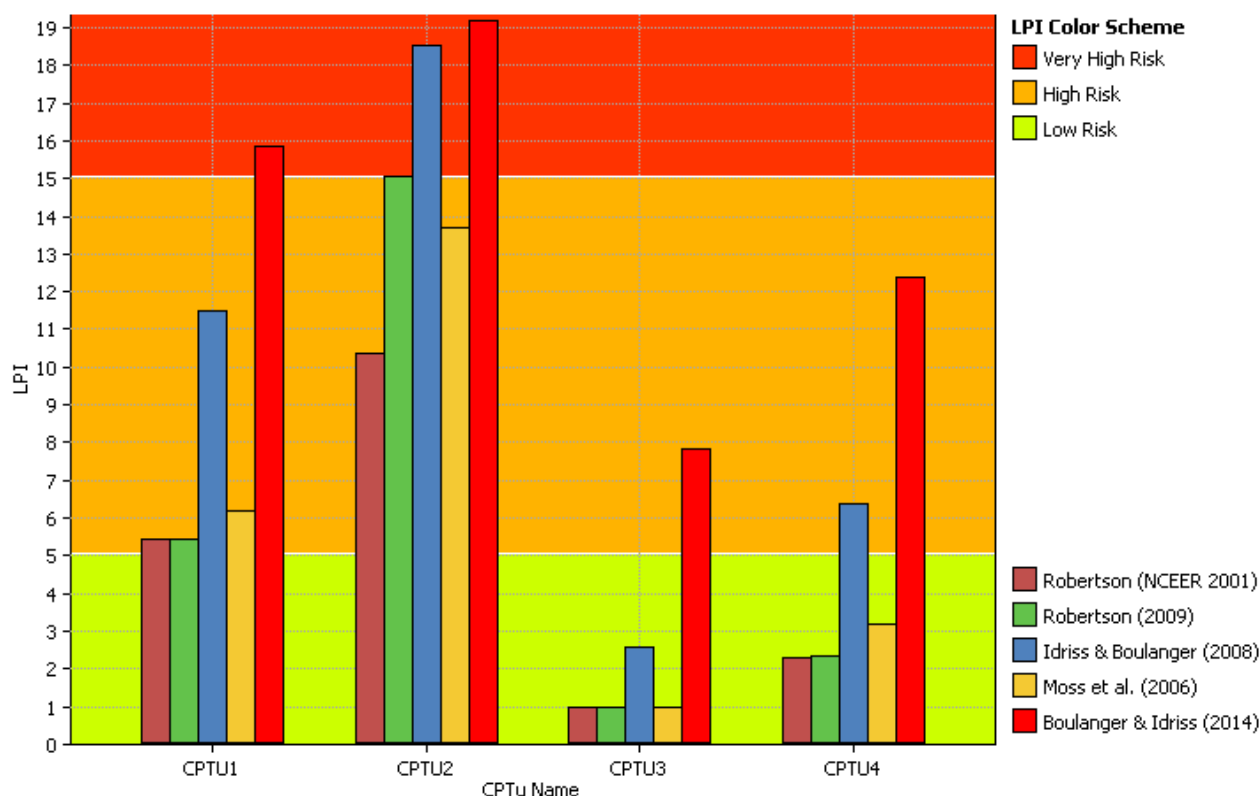


Grafico confronto dei metodi - indici di potenziale liquefazione

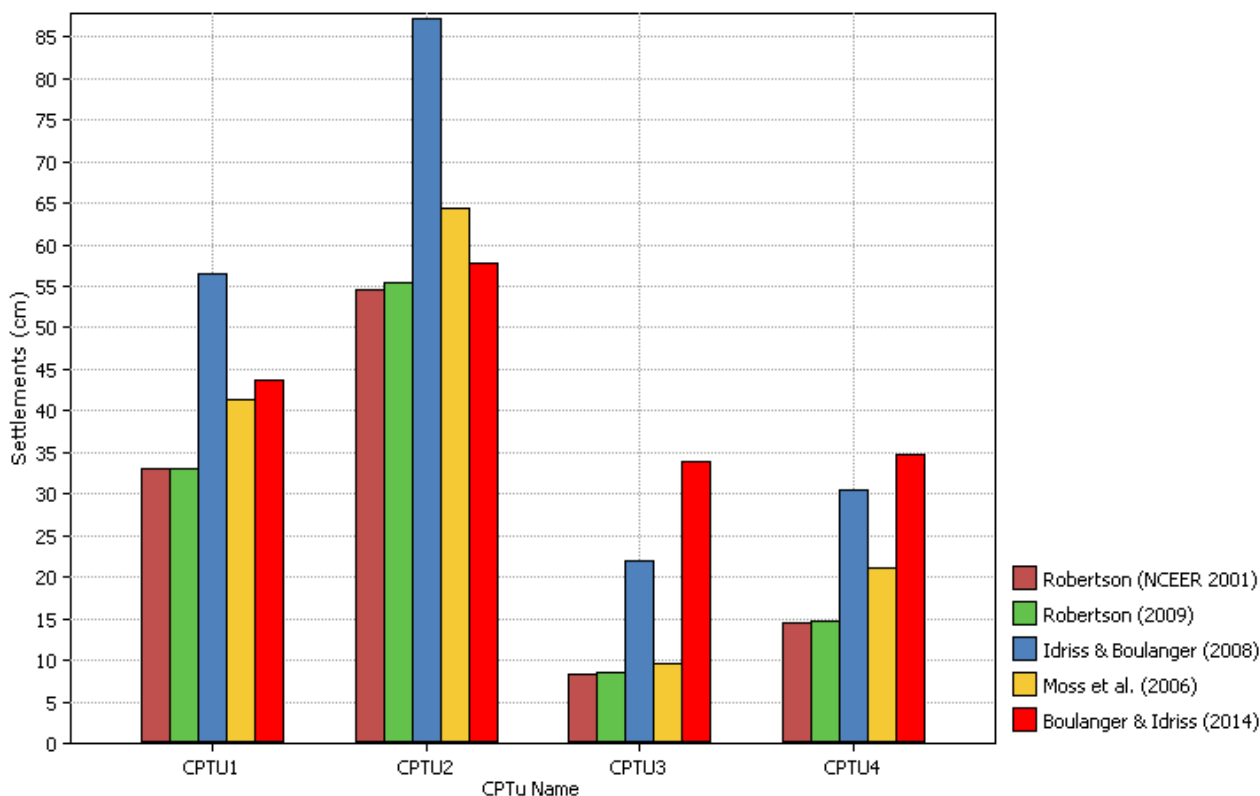


Grafico confronto dei metodi - cedimenti post-sismici

3 CONCLUSIONE

Le presenti relazioni geologica-sismica e geotecnica hanno riguardato i risultati delle indagini geognostiche, lo studio geologico-sismico e la stima dei parametri geotecnici per il progetto esecutivo di adeguamento e potenziamento della chiavica Fossadone in Comune di Stagno Lombardo (CR).

Lo studio e le indagini geologico-geotecnico-sismiche, nelle loro fasi di attuazione, sono stati eseguiti con particolare attenzione alle prescrizioni previste dalle norme specifiche vigenti in materia di opere di fondazione (D. 17 gennaio 2018 – Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni” - NTC 2018).

In fase d'esecuzione degli scavi per la realizzazione dei corpi fondazionali si prescrive di verificare, mediante supervisione geologica, le considerazioni di natura geologico-geotecnica assunte in questo elaborato.

Il presente elaborato fornisce una schematizzazione del terreno di fondazione di tipo litologico-stratigrafico e sismico e delle sue caratteristiche geotecniche per consentire ai progettisti delle strutture di dimensionare le opere di fondazione.

Da indicazioni ricevute dalla committenza, la classe d'uso delle strutture in progetto di nuova realizzazione rientra nella classe IV, caratteristica di “Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità” con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, in presenza di azioni sismiche.

Il territorio oggetto di intervento ricade nel Comune di Stagno Lombardo classificato a bassa sismicità in Zona 3, ai sensi dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri (n. 3274 – 20 marzo 2003 – G.U. n. 105 dell'8-5-2003 e alla Delibera della Giunta Regionale Lombardia 11/07/2014 n.X/2129 – Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia) “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”.

Ai fini della definizione della azione sismica di progetto, i terreni di fondazione presenti lungo la verticale dell'area d'intervento, da quanto si è potuto sino ad ora accertare nei primi 30 m di profondità, appartengono alla categoria “C”.

Considerando che per l'area in oggetto il valore di F_a calcolato è risultato inferiore al valore di Soglia per il suolo C calcolato dalla Regione Lombardia per il Comune di Stagno Lombardo, la normativa nazionale è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione litologica del sito e pertanto non si dovrà effettuare un'analisi più approfondita (3° livello) e si potrà utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo “C”. In conclusione la normativa nazionale (NTC-2018) è quindi sufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione locale dovuta alla litologia.

Sempre dallo studio di microzonazione sismica eseguito si evince che la zona d'intervento è suscettibile di alcuni fenomeni di liquefazione e di cedimenti a seguito di eventi sismici importanti.

La caratterizzazione e la modellazione geologica e sismica del sito sono espone nella Relazione Geologica (Cap.2); le indagini, la caratterizzazione e la modellazione geotecnica sono espone nella Relazione Geotecnica (Cap.3).

Il peculiare assetto geologico-morfologico e sismico non privo di criticità induce a prescrivere l'impiego di fondazioni indirette profonde per l'intervento edificatorio previsto. Ciò premesso, si rimanda tuttavia al progettista calcolatore delle strutture la scelta della tipologia fondazionale da utilizzare sull'area, anche in considerazione della tipologia ed entità dei carichi statici della struttura in elevazione che si dovrà realizzare.

In conclusione, da quanto emerge dal presente elaborato in ordine alle caratteristiche geo-morfologiche, idrogeologiche e sismiche del sito, fatte salve le prescrizioni impartite, l'area oggetto di studio è suscettibile di intervento edificatorio.

Parma, ottobre 2020

Dott. Geol. Alberto Trivioli

