

		EGP CODE <b>GRE.EEC.K.21.IT.P.12082.00.119.02</b>
		PAGE 1 di/of 69

**TITLE:** RELAZIONE GEOLOGICA

**AVAILABLE LANGUAGE:** IT

## IMPIANTO FOTOVOLTAICO LA CASELLA FV2 (12082) RELAZIONE GEOLOGICA

Il Tecnico



File:

GRE.EEC.K.21.IT.P.12082.00.119.02\_Relazione geologica

02	13/07/2021	Terza Emissione	A.S.	A.S.	L.S.
01	18/06/2021	Seconda Emissione	A.S.	A.S.	L.S.
00	05/08/2020	Prima Emissione	G. C.	M.I.	L.S.
REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	VERIFIED	APPROVED

EGP VALIDATION																			
COLLABORATORS					VERIFIED BY					VALIDATED BY									
PROJECT / PLANT <b>LA CASELLA FV2 (12082)</b>		EGP CODE																	
		GROUP	FUNCTION	TYPE	ISSUER		COUNTRY	TEC	PLANT			SYSTEM	PROGRESSIVE		REVISION				
		GRE	EEC	K	2	1	I	T	P	1	2	0	8	2	0	0	1	1	9
CLASSIFICATION					UTILIZATION SCOPE														

This document is property of Enel Green Power Solar Energy S.r.l. It is strictly forbidden to reproduce this document, in whole or in part, and to provide to others any related information without the previous written consent by Enel Green Power Solar Energy S.r.l.



EGP CODE

**GRE.EEC.K.21.IT.P.12082.00.119.02**

PAGE

2 di/of 69

## Sommario

1. PREMESSA.....	3
8.1 GENERALITÀ.....	3
8.2 SCOPO DEL LAVORO E METODOLOGIE DI INDAGINE .....	4
8.3 RACCOMANDAZIONI E NORMATIVE TECNICHE.....	4
2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E CARTOGRAFICO .....	6
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	8
3.1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO – STRUTTURALE GENERALE .....	8
3.2. ASSETTO GEOLOGICO-STRUTTURALE LOCALE .....	10
4. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO .....	15
4.1. INQUADRAMENTO GENERALE E CARATTERI GEOMORFOLOGICI .....	15
5. VINCOLI TERRITORIALI .....	17
6. PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO DI ALLUVIONI (PGRA) .....	22
7. IDROGEOLOGIA .....	28
7.1. CLIMA.....	28
7.2. ASSETTO IDROGEOLOGICO LOCALE .....	29
8. CARATTERISTICHE SISMICHE GENERALI .....	30
8.1 SISMICITÀ E TETTONICA ATTIVA .....	30
8.1.1 LE SORGENTI SISMOGENETICHE .....	30
8.1.2 ITHACA – DATABASE DELLE FAGLIE CAPACI.....	32
8.3. SISMICITÀ STORICA .....	36
8.4 PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE .....	39
9. CATEGORIA DI SOTTOSUOLO .....	42
10 SPETTRO DI RISPOSTA.....	46
10 POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE .....	63
11 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....	66
12 CONCLUSIONI.....	68
13 BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA.....	69



## 1. PREMESSA

### 8.1 GENERALITÀ

La presente relazione è stata redatta su incarico di Green&Green srl a supporto della progettazione di un lotto di impianti fotovoltaici a terra da 4,4 MW, ubicato in località La Casella, nel comune di Sarmato (PC) e Castel San Giovanni (PC), proposto da Enel Produzione S.P.A..

Scopo del presente studio è stato quello di verificare le caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e la pericolosità sismica del sito, al fine di valutarne la compatibilità con gli interventi in progetto.

Quanto di seguito riportato costituisce una prima analisi delle caratteristiche geologico-tecniche dell'area di studio, risultato di una serie di sopralluoghi effettuati in campo ad integrazione di dati bibliografici; ovviamente il carattere preliminare del lavoro, evidenziato dalla caratterizzazione litologica dei terreni non su base geognostica, quanto bibliografica, sarà superato con l'approntamento di una mirata e puntuale campagna d'indagini geognostiche e di laboratorio, da programmare ed effettuare nelle successive fasi di affinamento progettuale.

Il lavoro è stato svolto in ottemperanza al DM 17/01/2018: "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni" e alla L.R. 30/10/2008 n.19 con le modifiche apportate dalla L.R. 6 luglio 2009 n.6 e dalla L.R. 23 dicembre 2016 n. 25 contenuta nel B.U.R 44 del 12/03/2010: Norme per la riduzione del rischio sismico.

La presente relazione si completa con i seguenti allegati ed elaborati grafici, cui si rimanda per maggiori dettagli:

- CARTA GEOLITOLOGICA
- CARTA GEOMORFOLOGICA
- RAFFRONTO CON IL PAI

La compatibilità dell'opera in oggetto è stata studiata anche in relazione alle Norme di Attuazione del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino del fiume Po.

Nelle successive fasi progettuali, le ipotesi e le prescrizioni contenute nella presente relazione dovranno essere necessariamente verificate. Se il confronto tra i dati forniti dalla presente relazione e quelli provenienti da osservazioni dirette dovesse evidenziare differenze sostanziali, nel pieno rispetto del D.M. 17/01/2018, le indagini dovranno essere necessariamente integrate e le opere adeguate alle eventuali criticità riscontrate.

## 8.2 SCOPO DEL LAVORO E METODOLOGIE DI INDAGINE

L'obiettivo del lavoro è stato quello di fornire una visione preliminare d'insieme delle caratteristiche generali del sito investigato; in particolare, lo studio è stato impostato seguendo quelle che sono le direttive ministeriali e regionali, allo scopo di:

- definire le principali caratteristiche geologiche;
- definire i lineamenti geomorfologici del territorio;
- valutare e ricostruire lo schema di circolazione idrica sotterranea e superficiale, ovvero i caratteri idrogeologici e idraulici;
  - Esporre le caratteristiche simiche generali

## 8.3 RACCOMANDAZIONI E NORMATIVE TECNICHE

La presente relazione e gli studi ad essa associati sono redatti in conformità a quanto previsto dalla normativa tecnica, fra cui di seguito sono elencati i principali riferimenti:

- ✓ L. 08/08/1985 n. 431: "Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 27 giugno 1985, n. 312, recante disposizioni urgenti per la tutela delle zone di particolare interesse ambientale (G.U. 22 agosto 1985, n. 197)";
- ✓ Decreto Ministero dei Lavori Pubblici n. 47 (11 marzo 1988) "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione"
- ✓ Circolare Min. LL.PP: 24 settembre 1988 n° 30483: "Istruzioni riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione".
- ✓ L. 18/05/89 n. 183: "Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo".
- ✓ Eurocodice 8 – Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture. Parte 5: Fondazioni, Strutture di contenimento ed Aspetti geotecnici (1998).
- ✓ Circolare Ministero Lavori Pubblici 24 settembre 1988 n.30483 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Istruzioni per l'applicazione". (Pres. Cons. Superiore — Servizio Tecnico Centrale).

- ✓ D.M. LL.PP. del 14/02/1992 Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.
- ✓ D.M. 9 Gennaio 1996 Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche
- ✓ D.M. 16 Gennaio 1996 Norme Tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi
- ✓ Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C. Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996
- ✓ Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG. Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996
- ✓ Decreto n. 159 del 14.9.2005 Normative Tecniche per le costruzioni in zona sismica
- ✓ Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 20 marzo 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 (ordinanza n. 3274 – Allegati 1, 2 e 3);
- ✓ D.G.R n. 47 del 10/02/2004 – "Prime disposizioni per l'attuazione dell'Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 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»;
- ✓ Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al DM 17/01/2018.
- ✓ Circolare NTC 2018 – Nuove norme sismiche per il calcolo strutturale CIRCOLARE 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP.. Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.
- ✓ O.P.C.M. 13/11/2010 n. 3907: "Contributi per gli interventi di prevenzione del rischio sismico";
- ✓ L.R. 30/10/2008 n.19; con le modifiche apportate dalla L.R. 6 luglio 2009 n.6 e dalla L.R. 23 dicembre 2016 n. 25 contenuta nel B.U.R 44 del 12/03/2010: Norme per la riduzione del rischio sismico.

È necessario ricordare che le norme stesse tengono conto del fatto che, lo studio in fase di progetto, non è sufficiente per definire nei dettagli la reale situazione geologico-tecnica. È necessario pertanto che, in base a quanto disposto dalle norme medesime, sia da eseguirsi, in

relazione alle esigenze della fase costruttiva, il controllo delle ipotesi di progetto attraverso i dati ottenuti con verifiche nel corso dei lavori.

## 2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E CARTOGRAFICO

L'area oggetto del presente studio ricade nel territorio comunale di Sarmato (PC), in destra idrografica del fiume Po, ed ha una superficie di 6,3 ha ed ha una quota media di 52 m s.l.m..

I riferimenti geografici più prossimi all'area di interesse sono il centro abitato di Sarmato a sud ed il centro abitato di Castel San Giovanni a sud-ovest della zona di interesse progettuale.

Le coordinate baricentriche del sito di intervento, espresse nel sistema WGS84 UTM 33N, sono le seguenti:

### Area Impianto 1:

- Area impianto 1 riferita alla Conversion Unit 1 (CU1), nella quale trovano ubicazione la cabina SCADA (SC1) e la cabina utente (UT1));
- Cavidotto MT interno di impianto

fuso 32N zona T, 538270E, 4992409N.

### Area Impianto 2:

- Area impianto 2 riferita alla Conversion Unit 2 (CU2), nella quale trovano ubicazione la cabina SCADA (SC2) e la cabina utente (UT2));
- Cavidotto MT interno di impianto

fuso 32N zona T, 538308E, 4992141N.

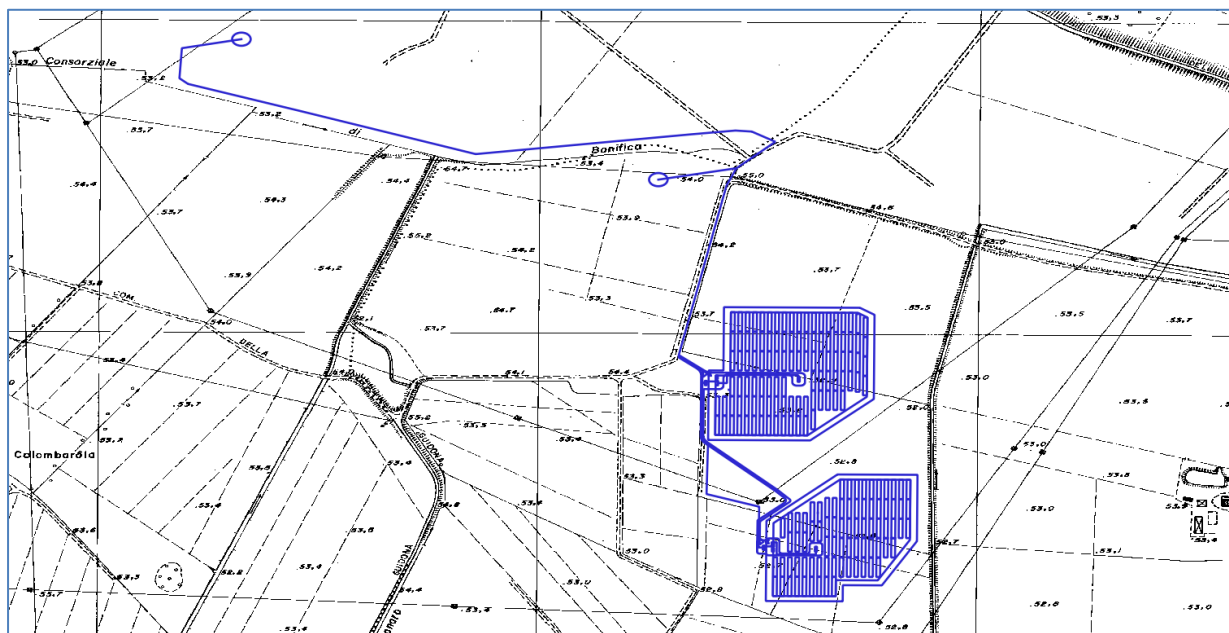
Coordinate UTM-WGS84		
	E	N
Area 1	538270	4992409
Area 2	538308	4992141

Nell'elaborazione del presente lavoro è stato necessario avvalersi di carte topografiche, tecniche e tematiche ed in particolare, è stata visionata la seguente cartografia:

- ✓ Carta Tecnica Regionale - Tavoleta N. 161110
- ✓ Foglio n°60, Sezione III, quadrante SO "Sarmato" (IGM- Serie 25- ediz.1, anno 1985);
- ✓ Foglio n°60, Sezione III, quadrante NO "Chignolo Po" (IGM- Serie 25- ediz.1, anno 1985);



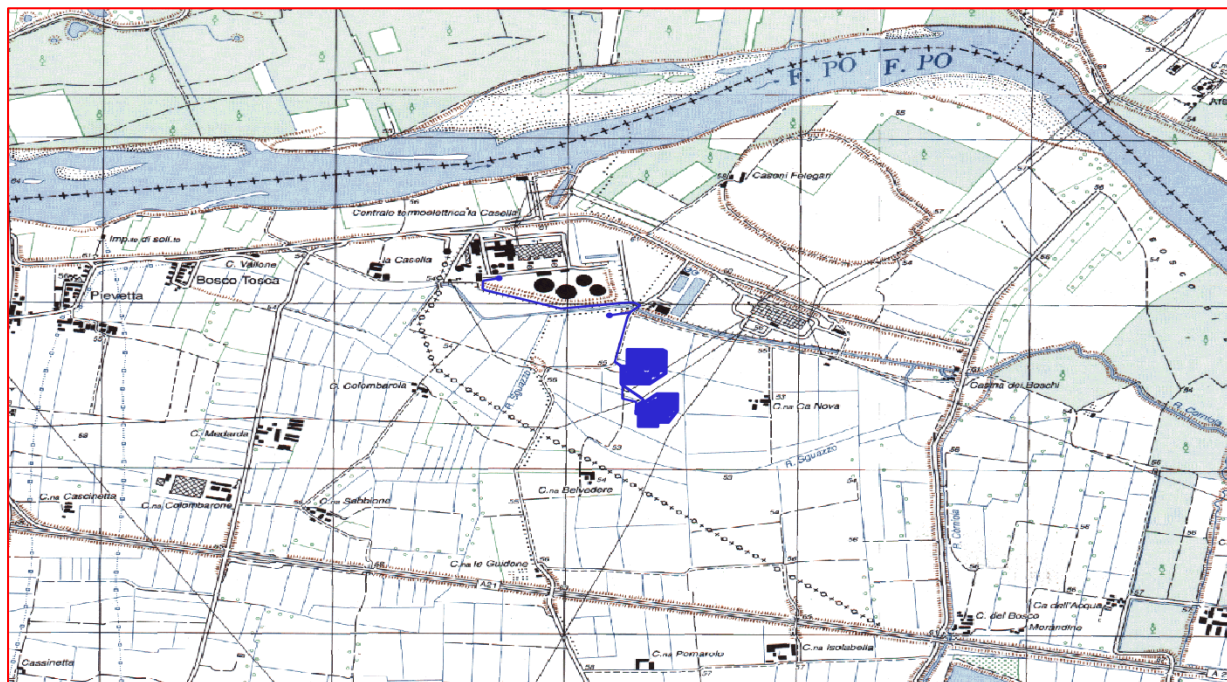
- ✓ Elaborati cartografici del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del Bacino del Fiume Po (PAI), del Piano di Gestione del Rischio Alluvione (PGRA) e del Piano di Tutela delle Acque.



**Figura 2.1 – Inquadramento territoriale dell'area di studio su base CTR multiscala (area di impianto e opere di connessione in blu).**



**Figura 2.2 – Inquadramento dell'area di studio con riferimento all'area di impianto di nuova realizzazione su immagine satellitare; in blu l'area di impianto e le opere di connessione.**



**Figura 2.3 – Sovrapposizione area di studio (Inpianto+opere di connessione) su base topografica IGM 1:25000 (Livello WMS Geoportale Nazionale).**

### 3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

#### 3.1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO – STRUTTURALE GENERALE

Il settore territoriale in esame ricade nella media pianura padana, in destra idrografica del fiume Po, estendentesi dal margine meridionale del pedeappennino fino alla bassa pianura ascrivibile alla sedimentazione padana. Recenti studi effettuati per la ricostruzione degli acquiferi nella Pianura Emiliano Romagnola (Regione Emilia Romagna, ENI-AGIP, 1998. Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia- Romagna. A cura di G. Di Dio) hanno permesso di individuare i corpi sedimentari sepolti e di approfondire la comprensione dell'evoluzione globale del bacino padano. In profondità sono presenti depositi legati a cicli trasgressivo regressivi Plio-Pleistocenici, in alcuni casi affioranti come per esempio nell'alveo del torrente Stirone, o sulle conoidi appenniniche. I cicli sono legati all'approfondimento e successiva continentalizzazione del bacino marino che ha interessato in più riprese l'area attualmente occupata dalla valle Padana. A scala padana la successione plio-quaternaria ha carattere regressivo, con alla base sabbie e peliti torbiditiche seguite da un prisma sedimentario fluvio-deltizio, progradante, ricoperto al tetto da depositi continentali. Nel sottosuolo della pianura emiliano romagnola sono state riconosciute 3 grandi discontinuità deposizionali corrispondenti ad altrettanti eventi tettonici, determinanti la chiusura del bacino padano e l'accavallamento delle falde appenniniche. Nonostante la Pianura Padana non presenti in





superficie nessun elemento per definire l'assetto strutturale, il sottosuolo è caratterizzato da una serie di superfici di distacco che lo dividono in diversi corpi cuneiformi secondo un modello di embrici est vergenti. Sotto l'aspetto strutturale infatti la pianura emiliana è compresa nell'arco delle pieghe emiliane, caratterizzate da due distinti fasci di *thrust* a vergenza appenninica: il primo, più meridionale, detto fronte di accavallamento appenninico (P.T.F.), definisce il limite della catena appenninica affiorante; il secondo, detto fronte di accavallamento esterno (E.T.F.), definisce il limite dell'Appennino sepolto. Per quanto riguarda i fronti esterni dell'Appennino settentrionale a sud del Fiume Po, essi formano tre archi principali, che da ovest a est sono:

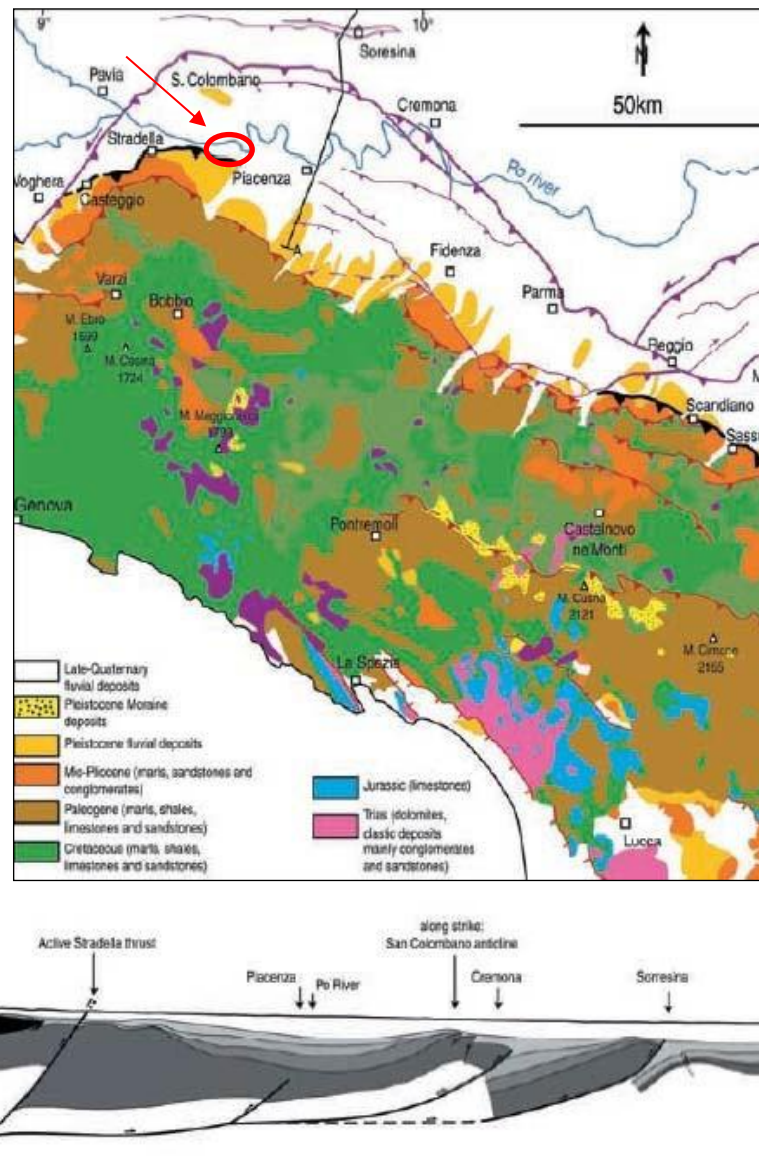
- a) l'arco del Monferrato;
- b) l'Arco delle Pieghe Emiliane;
- c) l'Arco delle Pieghe Ferraresi e Romagnole.

L'attività quaternaria di queste strutture, oltre che dalla sismicità, è testimoniata dalle caratteristiche del campo di stress locali, dall'influenza esercitata sul drenaggio e dalle deformazioni di orizzonti geologici recenti.

Entrando più nel dettaglio, il territorio comunale di Sarmato è caratterizzato da alcune strutture sepolte: strutture attive e recenti con età inferiore a 1 milione di anni, determinate sulla base di dati morfologici di superficie e di dati geologici di sottosuolo.

Sono state individuate due linee di sovrascorrimento con possibili riattivazioni nel settore Nord e Sud a vergenza opposta ed andamento NW-SE; questi fronti hanno età del Pliocene-Pleistocene inferiore, da 4.5 a 1.0 Ma (da Structural Model of Italy, 1: 500.000); mentre a Nord dell'asse viario dell'Autostrada A21, sia ha un fronte di accavallamento (sovrascorrimento) attivo della successione carbonatica mesocenozoica.

Negli affioramenti della pianura piacentina, non sono presenti chiare evidenze di deformazioni recenti: i depositi della successione del margine (pianura-collina), si presentano pressoché indeformati e si immergono blandamente sotto i depositi alluvionali padani.



**Figura 3.1 - Estratto della Mappa geologica dell'Appennino Settentrionale (Servizio Geologico d'Italia, 1983) e sezioni geologiche interpretate dalle sezioni sismiche (da Pieri e Groppi, 1981). Area di studio cerchiata in rosso.**

### 3.2. ASSETTO GEOLOGICO-STRUTTURALE LOCALE

L'Appennino Piacentino da un punto di vista strutturale, è il risultato di un vero e proprio impilamento d'unità tettoniche originariamente distribuite su una superficie ben più estesa. Le principali formazioni che affiorano nella parte collinare e montana del territorio appartengono alle Unità Liguri e sono costituite da depositi torbiditici e da flysch marnoso calcarei e arenacei, che si sono depositati tra il Cretaceo e l'Eocene su un substrato di tipo oceanico. Le formazioni geologiche appartenenti alle singole unità tettoniche, sotto l'effetto di spinte orogenetiche di compressione dirette verso NE, hanno dapprima subito una sorta d'arricciamento (pieghe) e, successivamente, con la ripresa o il persistere delle spinte stesse, una vera e propria traslazione verso ne, con conseguente accavallamento dell'una sull'altra. Le grandi direttrici strutturali quali



EGP CODE

**GRE.EEC.K.21.IT.P.12082.00.119.02**

PAGE

11 di/of 69

linee e fronti di faglia ecc, sono orientati ortogonalmente al senso della spinta, ossia secondo l'allineamento NO-SE.

Questo schema tettonico è applicabile a gran parte dell'area collinare ed a quella di montagna del territorio, ossia alla zona situata a sud dell'allineamento Vernasca-Gropparello-Ponte dell'Olio- Rivergaro-Agazzano-Pianello-Ziano P.no.

Lo schema relativo all'area situata a nord-ovest di tale allineamento, cioè verso la pianura, è sostanzialmente differente. Le formazioni geologiche che caratterizzano questa parte della provincia, sono di più recente formazione, non sono state pertanto direttamente coinvolte nelle vicissitudini tettoniche prima menzionate, o al massimo hanno risentito solo dei movimenti più recenti. In realtà l'area pedemontana ha partecipato al generale fenomeno di sollevamento in massa che ha interessato l'intero apparato dell'Appennino Piacentino, pur non subendo sostanziali deformazioni.

I primi rilievi collinari a ridosso della pianura, sono costituiti dalla successione plio-pleistocenica, rappresentata da unità argilloso-siltose, con caratteristica morfologia calanchiva, o da componenti sabbioso arenitiche. La fascia di pianura infine è caratterizzata da depositi quaternari, alluvioni fluviali e fluviolacustri che hanno colmato il bacino padano.

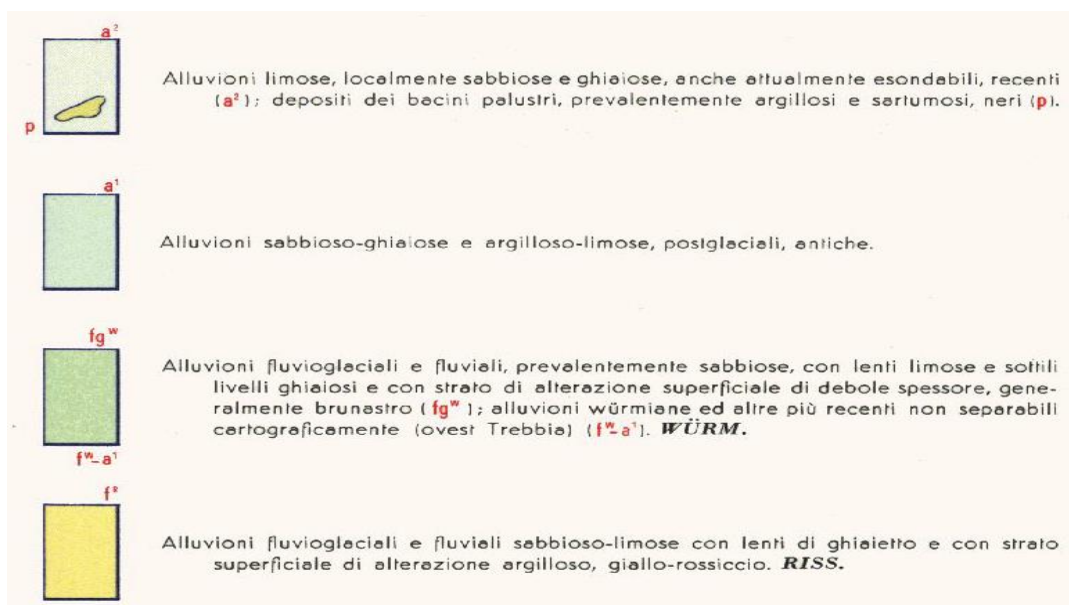


Figura 3.2.1 – Inquadramento dell'area di progetto (in magenta) su stralcio della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000

La geologia dell'area in esame, sita nel comune di Sarmato, è costituita da una sequenza sedimentaria olocenica. In particolare nella porzione interessata dell'intervento in progetto sono presenti:



Nella precedente figura vengono anche riportate le indagini geognostiche disponibili nel database regionale, che comprendono anche due sondaggi a carotaggio continuo eseguiti nei pressi dell'area di progetto (circa 500 m dall'area di impianto). Di seguito si riportano le stratigrafie schematiche di riferimento.



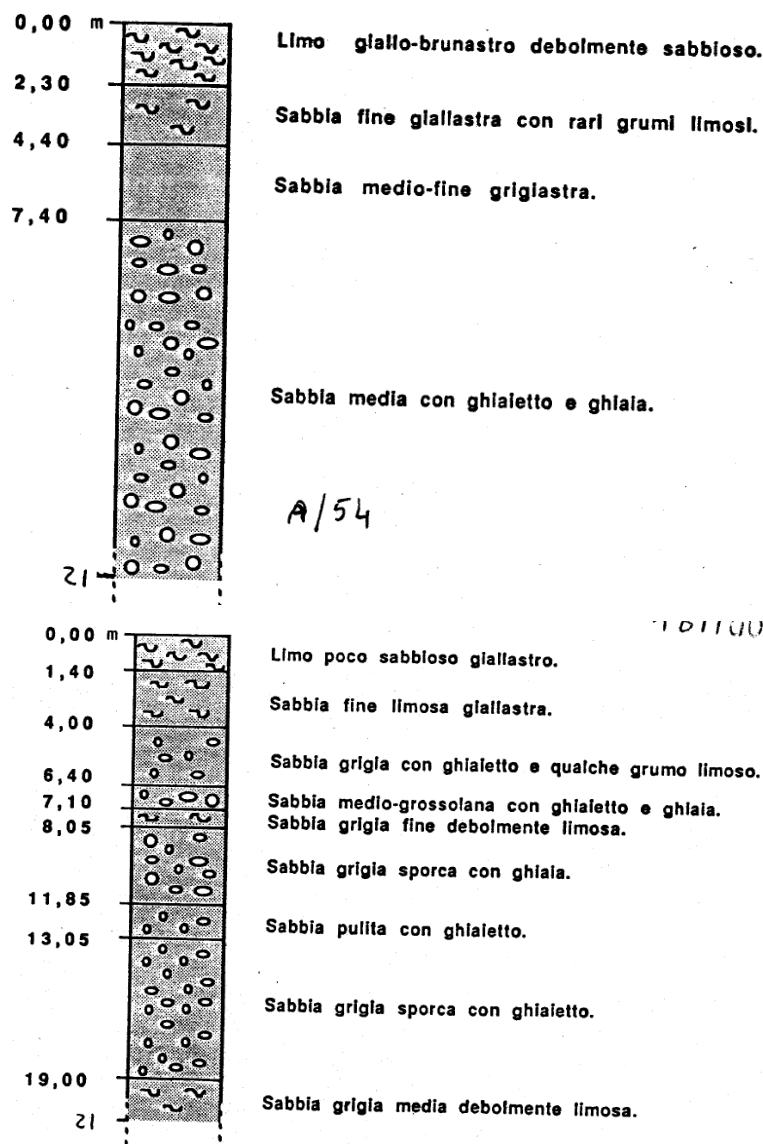


Figure 3.2 – Colonne litostratigrafiche di riferimento dell'area; le stratigrafie sono sostanzialmente coerenti fra loro (fonte [161100P402.pdf \(regione.emilia-romagna.it\)](https://www.regione.emilia-romagna.it/161100P402.pdf)).

La litologia superficiale, di spessore pari a circa 1,5-2,5 m è costituita da litotipi prevalentemente limosi, mentre il resto della colonna litostratigrafica presenta una netta dominanza sabbiosa, con minori frazioni sabbiose e in parte limose. Che la dominante granulometria fosse sabbioso-ghiaiosa era intuibile dalla presenza di una cava attiva di materiale inerte, posta a circa 50-60 m dal bordo orientale dell'area di progetto. L'immagine satellitare permette anche di apprezzare l'allagamento dell'area di cava, fattispecie che, unitamente alla presenza del fiume Po immediatamente a nord, fa sì che l'area sia da considerare caratterizzata da una falda freatica a pelo libero a bassa profondità.

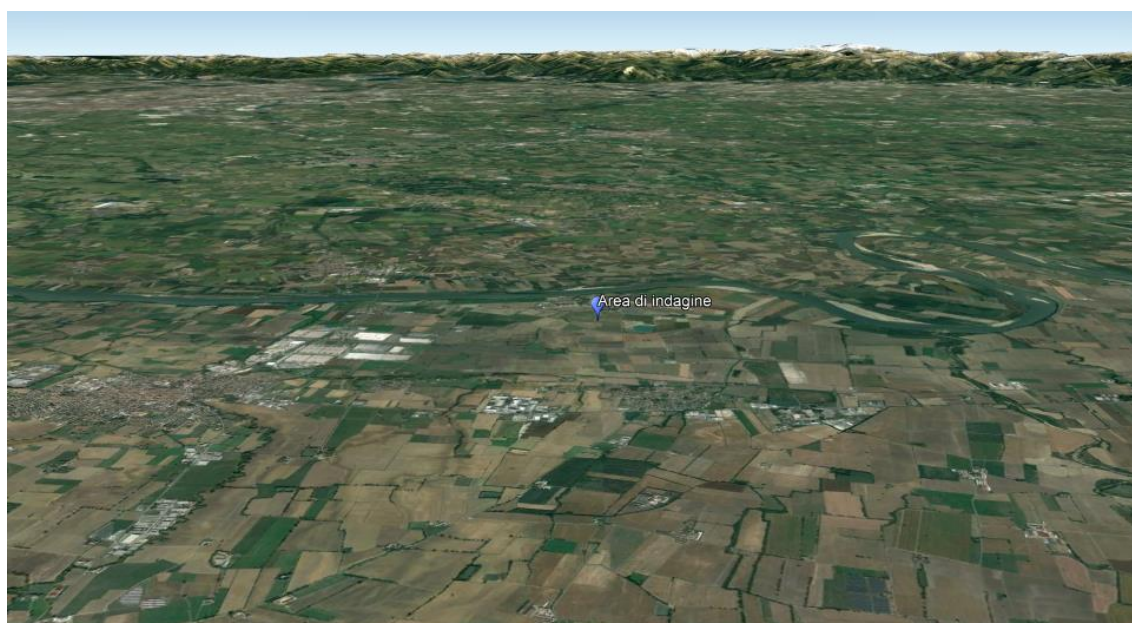
L'ambiente deposizionale è di tipo continentale, in particolare di piana fluviale meandriforme. Per maggiori informazioni per quanto concerne lo spessore e le caratteristiche geolitologiche e geotecniche degli strati si rimanda alle fasi progettuali successive.

## 4. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

### 4.1. INQUADRAMENTO GENERALE E CARATTERI GEOMORFOLOGICI

Il territorio comunale di Sarmato si sviluppa nella fascia di meandreggiamento del Fiume Po ed in quella pedecollinare, la morfologia quindi, varia da pianeggiante a subpianeggiante.

Il settore centro meridionale del territorio comunale di Sarmato, presenta caratteri geomorfologici associati alla zona di pianura debolmente degradante da Sud-Ovest verso Nord-Est, la cui continuità risulta interrotta verso Sud dalla scarpata morfologica che si sviluppa immediatamente a valle del tracciato della Ferrovia Torino-Piacenza. A Nord di essa, la pianura è caratterizzata da una morfologia assai piatta (con gradienti topografici dell'ordine dell'1-2 ‰), mentre a Sud, la morfologia risulta più eterogenea, con settori sub-pianeggianti ad Est, e ripiani terrazzati ad Ovest.



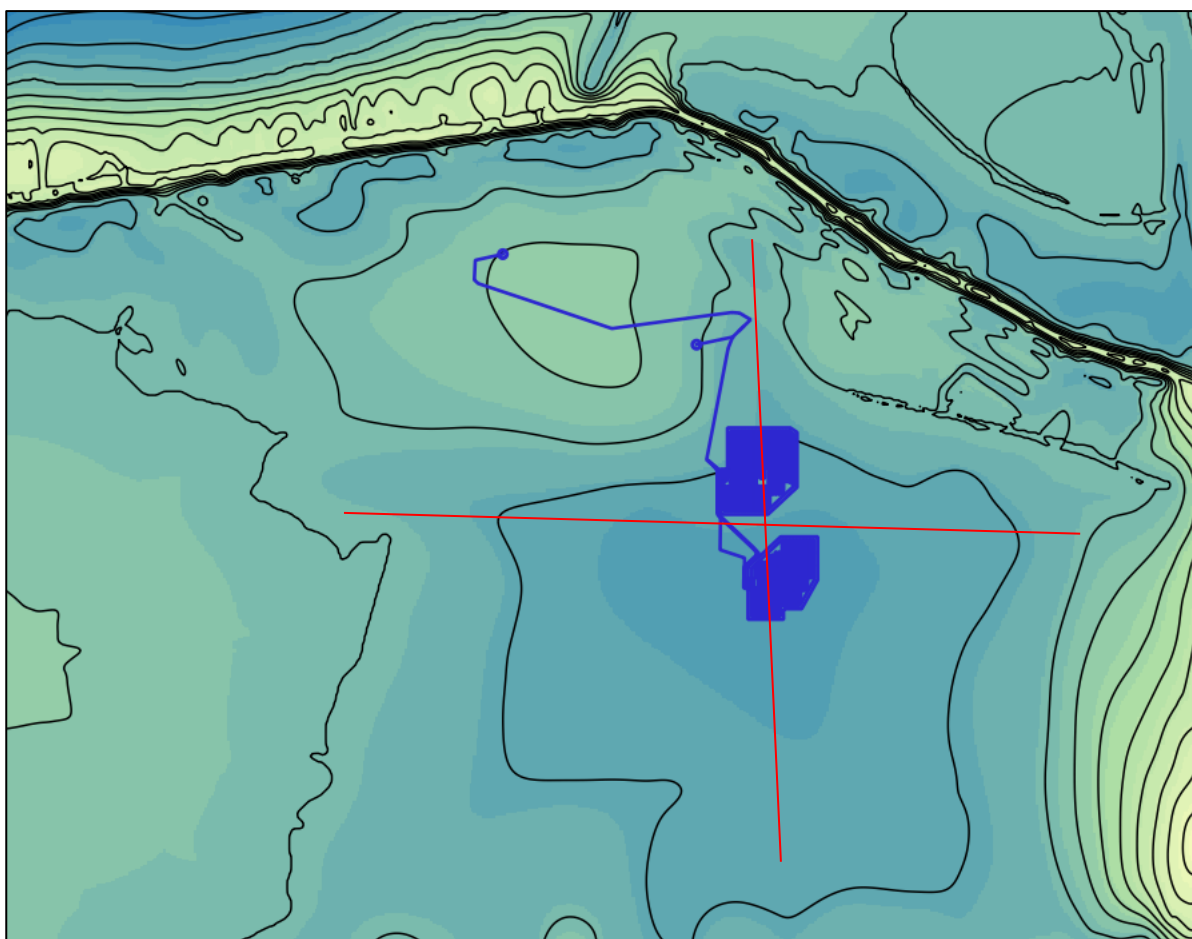
**Figura 4.1: Inquadramento 3D dell'area di studio su base satellitare.**

Il settore occidentale del territorio comunale di Sarmato, è caratterizzato da alti strutturali (pianalti terrazzati quaternari, formati a seguito di un'alternanza di cicli erosivi e di sedimentazione che si succedettero nel Pleistocene medio-superiore), con dislivelli massimi di circa 8-10 metri rispetto alla pianura circostante, e pendenze deboli, dell'ordine del 2-3%, solamente in corrispondenza dei rii minori a carattere inciso meandriforme, si possono avere locali pendenze maggiori, con aliquote del 6-8%, ma estremamente localizzate lateralmente ai corsi d'acqua stessi.

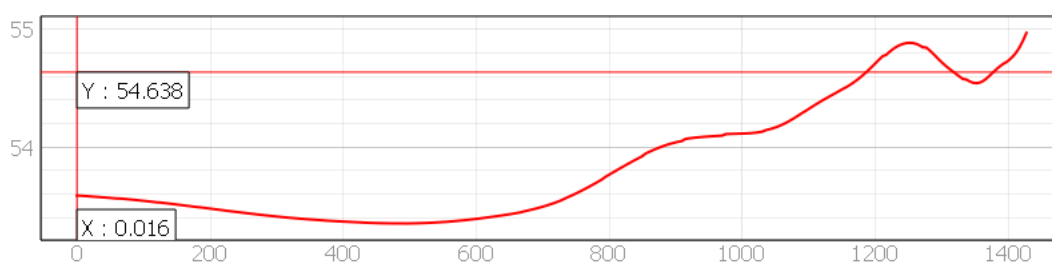
La morfologia è, quindi, generalmente poco accidentata: poche o nulle variazioni di pendenza e numerose incisioni torrentizie. In particolare, nella zona in esame, la forma del rilievo originario risulta modificata dagli interventi antropici. Le pendenze medie vanno da 0 al 15%. La

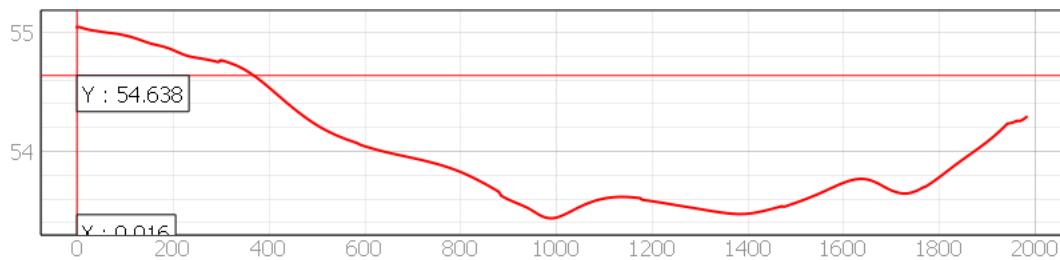
morfologia dell'area in oggetto è in stretta relazione con la natura dei terreni affioranti e con le vicissitudini tettoniche che, nel tempo, hanno interessato l'intera zona. L' area indagata è posta sulla destra idrografica del fiume Po, in un'area caratterizzata da un gran numero di alvei abbandonati (uno dei quali corrisponde all'attuale Rio Sguazzo), ben intuibili dalle immagini satellitari, e risulta compresa fra gli affluenti minori del Rio Boriacco e il Rio Corniola; a sud dell'area è presente il Canale di Bonifica.

Di srguito si riporta il modello digitale del terreno tratto dal database regionale (DTM 5x5 m), da cui sono tratte la carta delle pendenze e le sezioni orientate N-S e E-O attraversanti l'area di impianto.

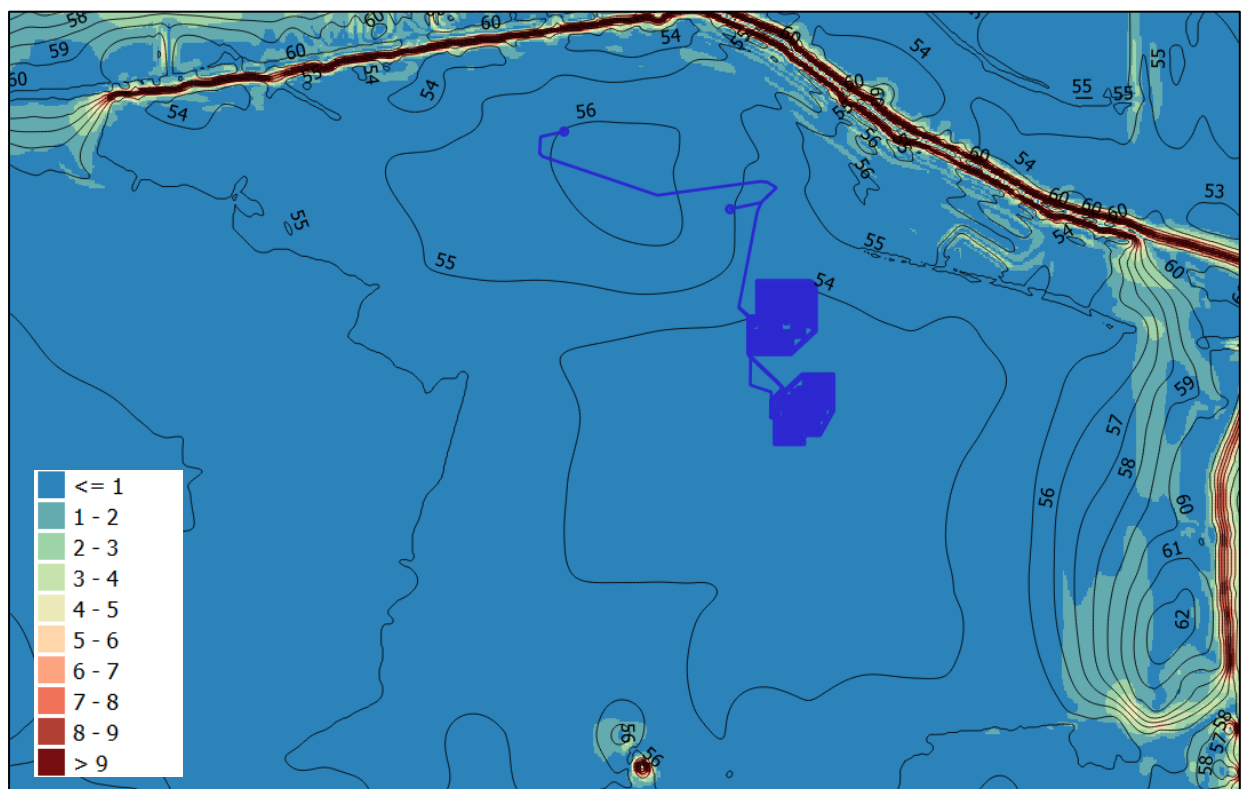


**Figure 4.1 – Modello digitale del Terreno (tratto dal database della Regione Emilia Romagna, DTM 5x5, liberamente scaricabile) e traccia delle sezioni (vedi figure a seguire). Toni freddi indicano quote minori.**





**Figure 4.2 - Sezioni attraversanti l'area di impianto; in alto sezione sud-nord, in basso sezione ovest-est. Scala verticale in metri, con forte esagerazione di scala.**



**Figure 4.3 – Carta delle pendenze (estrate dal DTM 5x5 m della Regione Emilia Romagna), con sovrapposte le curve di livello con equidistanza 1 m. Pendenze espresse in gradi.**

## 5. VINCOLI TERRITORIALI

L'obiettivo del PAI è quello di garantire al territorio del bacino del Po “un livello di sicurezza adeguato” rispetto ai fenomeni di dissesto idraulico e idrogeologico presenti. Gli strumenti per raggiungere l'obiettivo prevedono principalmente:

- ✓ una conoscenza approfondita del grado di rischio presente sul territorio e della sua possibile evoluzione;
- ✓ la pianificazione degli interventi necessari alla sua riduzione l'individuazione di norme per il miglior utilizzo del territorio;
- ✓ la diffusione di tutte queste informazioni.

Ai sensi della Legge 183/1989 “Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del



suolo”, il Piano di Bacino si configura come un piano territoriale di settore ed è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo, mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa e alla valorizzazione del suolo. Il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico presenta infatti un corpo normativo elaborato (composto da Norme di Attuazione e Direttive Tecniche) che è sottoposto ad un iter amministrativo complesso e in continuo aggiornamento. Obiettivo prioritario del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico è la riduzione del rischio idrogeologico entro valori compatibili con gli usi del suolo in atto, in modo tale da salvaguardare l'incolumità delle persone e ridurre al minimo i danni ai beni esposti. Esso quindi persegue l'obiettivo di garantire al territorio un livello di sicurezza adeguato rispetto ai fenomeni di dissesto idraulico e idrogeologico, attraverso il ripristino degli equilibri idrogeologici e ambientali, il recupero degli ambiti fluviali e del sistema delle acque, la programmazione degli usi del suolo ai fini della difesa, della stabilizzazione e del consolidamento dei terreni, il recupero delle aree fluviali, con particolare attenzione a quelle degradate, anche attraverso usi ricreativi. Il PAI consolida e unifica la pianificazione di bacino per l'assetto idrogeologico: esso coordina le determinazioni assunte con i precedenti stralci di piano e piani straordinari, apportando in taluni casi le precisazioni e gli adeguamenti necessari a garantire il carattere interrelato e integrato proprio del piano di bacino. Rispetto ai Piani precedentemente adottati il PAI contiene per l'intero bacino:

- a) il completamento del quadro degli interventi strutturali a carattere intensivo sui versanti e sui corsi d'acqua;
- b) l'individuazione del quadro degli interventi strutturali a carattere estensivo;
- c) la definizione degli interventi a carattere non strutturale, costituiti dagli indirizzi e dalle limitazioni d'uso del suolo nelle aree a rischio idraulico e idrogeologico e quindi:
  - ✓ il completamento della delimitazione delle fasce fluviali sui corsi d'acqua principali del bacino;
  - ✓ l'individuazione e perimetrazione delle aree a rischio idrogeologico, nella parte del territorio collinare e montano.

Il Piano stralcio per l'assetto idrogeologico dell'Autorità di Bacino del fiume Po, è stato approvato con il D.P.C.M. 24 maggio 2001. Il Piano individua, all'interno dell'ambito territoriale di riferimento, le aree interessate da fenomeni di dissesto idraulico e idrogeologico secondo le seguenti tipologie di fenomeni prevalenti: frane, esondazione e dissesti morfologici di carattere torrentizio lungo le aste dei corsi d'acqua (erosioni di sponda, sovraincisioni del thalweg, trasporto di massa), trasporto di massa sui conoidi, valanghe.

Più specificatamente per quanto concerne i comuni di Castel San Giovanni e Sarmato, vengono definite le fasce lungo il corso del fiume Po tracciate sulla base del grado di pericolosità



derivante dal verificarsi della piena di riferimento; in particolare esso definisce:

A. Fascia A di deflusso della piena: in essa il piano persegue l'obiettivo di garantire le condizioni di sicurezza assicurando il deflusso della piena di riferimento (tempo di ritorno 200 anni), il mantenimento e/o il recupero delle condizioni di equilibrio dinamico dell'alveo, e quindi favorire, ovunque possibile, l'evoluzione naturale del fiume in rapporto alle esigenze di stabilità delle difese e delle fondazioni delle opere d'arte, nonché a quelle di mantenimento in quota dei livelli idrici di magra;

B. Fascia B di esondazione della piena di riferimento (tempo di ritorno 200 anni): in essa il piano persegue l'obiettivo di mantenere e migliorare le condizioni di funzionalità idraulica ai fini principali dell'invaso e della laminazione delle piene, unitamente alla conservazione e al miglioramento delle caratteristiche naturali e ambientali;

C. Fascia C di inondazione per piena catastrofica: più gravosa di quella di riferimento (tempo di ritorno 500 anni o la massima piena registrata), in essa il PAI persegue l'obiettivo di integrare il livello di sicurezza alle popolazioni mediante la predisposizione prioritaria da parte degli Enti competenti di programmi di previsione e prevenzione.

Il PAI prevale sugli strumenti di pianificazione di livello inferiore e gli enti territoriali (Province e Comuni) sono conseguentemente tenuti ad attuare il Piano nei settori di competenza, non solo applicando le disposizioni ivi contenute ma anche verificando la coerenza cartografica e normativa tra il PAI e i propri strumenti di pianificazione e piani di protezione civile e di emergenza. Tale verifica può rendere necessario o utile l'adeguamento di tali strumenti. L'adeguamento consente infatti di assumere nello strumento di pianificazione sotto ordinato le condizioni di rischio delineate dal PAI ma anche di specificare i contenuti del medesimo a livello locale, rivedere le previsioni e le norme contenute negli strumenti di pianificazione e, infine, proporre eventuali modifiche al PAI medesimo, nei limiti e con le modalità disposti dal PAI e dalle direttive appositamente emanate. Uno degli obiettivi principali dei percorsi di adeguamento al PAI degli strumenti di pianificazione sotto ordinati, è quello di delineare un quadro conoscitivo condiviso e aggiornato dei fenomeni di dissesto idraulico e geomorfologico, realizzando, rispetto al PAI, un sistema di tutela sul territorio non inferiore, basato su analisi territoriali non meno aggiornate e non meno di dettaglio. Tale obiettivo richiede un processo di coordinamento tra i diversi livelli di pianificazione nell'ambito dei rispettivi settori di competenza. In sede di adeguamento, il coordinamento tra i diversi enti è garantito dallo stesso iter dello strumento di pianificazione e si basa sulla specificazione dei contenuti tecnici dei Piani. Per quanto concerne i contenuti tecnici, in particolare dei Piani comunali (PSC), l'adeguamento degli strumenti urbanistici deve necessariamente riferirsi a tutti gli strumenti di pianificazione sovraordinati, considerando quindi, insieme al PAI, anche il Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP). Il PTCP è infatti riconosciuto dall'AdB come il principale strumento d'attuazione del PAI,

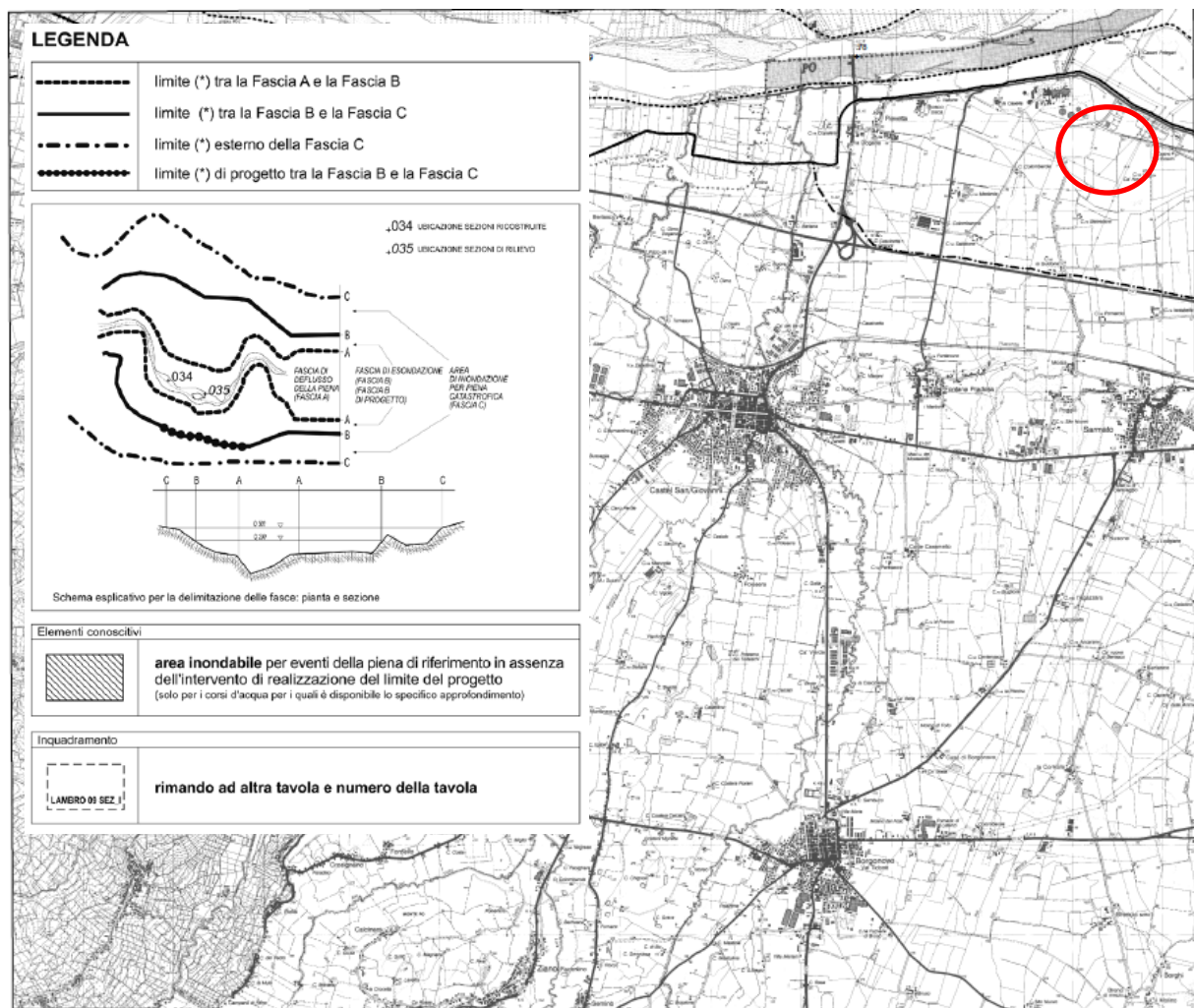
potendo anche assumere (ed ha assunto in effetti, come si dirà dopo), al raggiungimento dell'intesa di cui all'art. 57 del D.Lgs. 112/1998, il valore e gli effetti di piano di settore per le tematiche contenute nel PAI medesimo. In linea generale, vale il principio per cui i piani provinciali e comunali devono comunque stabilire un sistema di tutela del territorio non meno restrittivo rispetto a quello del PAI. In caso contrario, il PAI continua a prevalere sugli strumenti territoriali di livello inferiore fino a quando non si determina una eventuale modifica del PAI medesimo conseguente all'accoglimento delle proposte di modifica. Riguardo in particolare alle fasce fluviali, l'attività di adeguamento deve avvenire secondo le seguenti modalità: riguardo alle fasce fluviali individuate nell'Elaborato 8 del PAI ("Tavole di delimitazione delle fasce fluviali"), il PAI dispone che il Comune possa effettuare un adeguamento-recepimento, senza proporre modifiche al di fuori di quelle espressamente consentite dallo stesso PAI. Tuttavia, poiché gli strumenti urbanistici devono necessariamente riferirsi anche al PTCP e tale strumento individua fasce fluviali diverse dal PAI, sia nella cartografia sia nella disciplina, si determina una incongruenza che potrà essere sanata solo nel momento in cui lo stesso PTCP sarà adeguato al PAI. Anche in tema di fasce fluviali, infatti, l'adeguamento del PTCP comporta l'assunzione di un'unica cartografia di riferimento o comunque una definizione delle relazioni tra i contenuti più strettamente idraulici-geomorfologici del PAI e quelli anche ambientali e paesistici del PTCP, facilitando l'adeguamento degli strumenti urbanistici. In conclusione, l'adeguamento al PAI degli strumenti urbanistici viene effettuato nei riguardi del solo strumento provinciale se quest'ultimo è già adeguato al PAI. Diversamente, lo strumento comunale non potrà che adeguarsi ai due sistemi di fasce (PAI e PTCP) in modo congiunto. L'adeguamento recepimento consente le seguenti operazioni:

- eventuali rettifiche dei limiti delle fasce fluviali per il tracciamento alla scala dello strumento urbanistico comunale, nei limiti consentiti dal PAI (si veda l'art. 27, comma 3, delle Norme del PAI e il punto 2.2, lett. c, della direttiva regionale) e PTCP (si veda l'art. 6 delle Norme del Piano provinciale e, al fine di articolare le zone B2 e B3 della fascia B, le zone C1 e C2 della fascia C e la "fascia di integrazione dell'ambito fluviale" relativa ai corsi d'acqua minori, gli artt. 15, 15.2, 15.3, 16 e 17);
- eventuale revisione normativa, per ottenere una disciplina più particolareggiata ma comunque non meno restrittiva di quella del PAI (e PTCP);
- eventuale modifica delle previsioni dello strumento urbanistico in contrasto con la disciplina delle fasce di tutela fluviale.

Il "limite di progetto tra la fascia B e la fascia C" è un limite (esterno) di fascia B che si considera tale solo all'avvenuta realizzazione delle opere lineari di difesa (dalle esondazioni) previste lungo quel tratto. Di fatto, la porzione di fascia interna a tale limite (definita infelicitemente "fascia B di progetto") è e rimane fascia B (dunque non cambia classificazione conseguentemente alla

realizzazione delle opere sopra indicate) mentre la porzione di fascia esterna a tale limite si considera fascia B solo fino alla realizzazione delle opere di difesa, dopodiché si considera fascia C (si vedano l'art. 31, punto 5, delle Norme del PAI ed il punto 2.3 della direttiva regionale). Per le aree classificate come fascia A e B ricadenti all'interno dei centri edificati, l'AdB, al fine di minimizzare le condizioni di rischio, ha inteso dare priorità ai centri edificati nell'ambito delle verifiche relative alle previsioni urbanistiche contenute nelle fasce fluviali, dando la possibilità ai Comuni di operare modifiche allo strumento urbanistico (con le procedure ordinarie della pianificazione) e/o di introdurre una disciplina particolareggiata rispetto a classi di rischio accertate (si vedano l'art. 39 delle Norme del PAI ed il punto 2.4 della direttiva regionale).

Infine, per le aree ricadenti in fascia C, il PAI rimanda direttamente alla disciplina degli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica.



**Figura 5.1 - Inquadramento area di studio (in rosso) all'interno della carta PAI Carta di delimitazione delle fasce fluviali – TAV 161 scala 1:25000.**

L'area oggetto di studio, dalla consultazione della cartografia sopra riportata, risulta ricadere in fascia C.

A seguito di verifica presso gli uffici regionali dell'Autorità di Bacino del fiume Po e a seguito della consultazione degli shape-files disponibili, non è stato possibile riscontrare tavole inerenti al rischio idrogeologico dell'area relativo al rischio frana, ricadendo le aree di progetto in territorio di pianura.

## **6. PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO DI ALLUVIONI (PGRA)**

L'Autorità di Bacino del Fiume Po ha emanato il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA), approvato il 3 Marzo 2016, destinato a costituire il nuovo quadro conoscitivo di riferimento del Piano per l'Assetto Idrogeologico (PAI).

Il PGRA ha lo scopo di assicurare nel territorio del Distretto Idrografico Padano la riduzione delle potenziali conseguenze negative derivanti dalle alluvioni per la vita e la salute umana, per il territorio, per i beni, per l'ambiente, per il patrimonio culturale e per le attività economico sociali.

In estrema sintesi, il PGRA riconosce sul territorio 3 scenari di pericolosità idraulica, a loro volta riclassificati in 4 livelli di rischio (da R1 a R4) in base al possibile e prevedibile danno (elementi esposti).

Il PGRA ha elaborato specifiche mappature, realizzate distinguendo 3 diversi ambiti idrografici, individuati come:

1. RP (reticolo principale di pianura e di fondovalle);
2. RSCM (reticolo secondario collinare e montano);
3. RSP (reticolo secondario di pianura).

Gli scenari di pericolosità, idraulicamente paragonabili alle fasce fluviali A, B e C del PAI, sono così identificati:

1. P1: aree interessate da alluvione rara;
2. P2: aree interessate da alluvione poco frequente;
3. P3: aree interessate da alluvione frequente.

Direttiva Alluvioni		Pericolosità
Scenario	Tempo di ritorno	
Aree allagabili – scenario frequente Elevata probabilità di alluvioni (H = high)	20-50 anni (frequente)	<b>P3</b> elevata
Aree allagabili – scenario poco frequente Media probabilità di alluvioni (M = medium)	100-200 anni (poco frequente)	<b>P2</b> media
Aree allagabili – scenario raro Scarsa probabilità di alluvioni o scenari di eventi estremi (L = low)	500 anni o massimo storico registrato	<b>P1</b> bassa

**Figura 6.1 – Scenari delle aree allagabili e relativa pericolosità.**

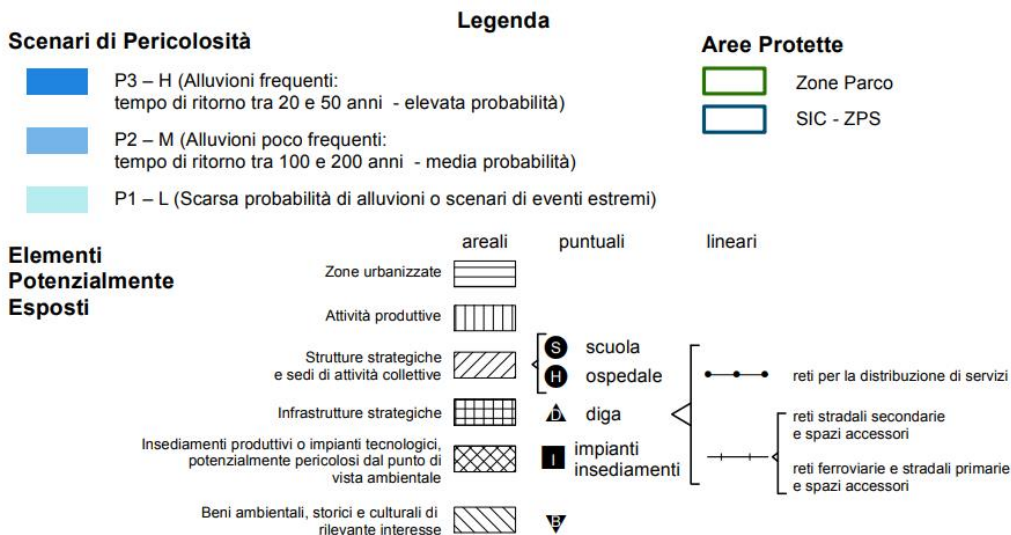
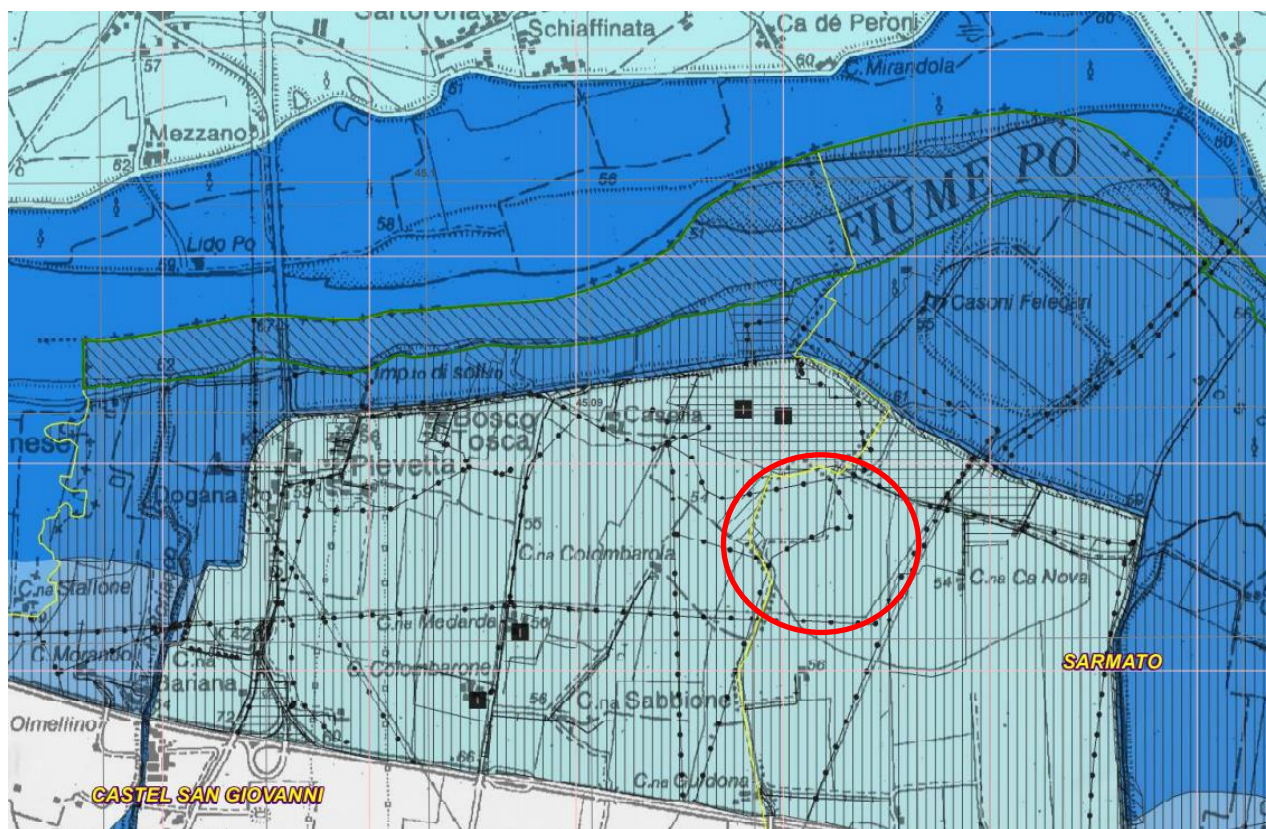
Le mappe del rischio segnalano la presenza nelle aree allagabili di elementi potenzialmente esposti (popolazione, servizi, infrastrutture, attività economiche, etc.) e il corrispondente grado di rischio, distinto in 4 classi rappresentate mediante colori: giallo (R1-Rischio moderato o nullo), arancione (R2-Rischio medio), rosso (R3-Rischio elevato), viola (R4-Rischio molto elevato).

Le mappe del rischio sono il risultato finale dell'incrocio fra le mappe delle aree allagabili per i diversi scenari di pericolosità prodotti e gli elementi esposti censiti raggruppati in classi di danno potenziale omogenee.

Le mappe di pericolosità sono state cartografate in base al Reticolo Principale e Secondario Collinare Montano (RP e RSCM) e al Reticolo Secondario Pianura (RSP).

Per quanto concerne Mappe Pericolosità ed Elementi esposti relative al Reticolo Principale e Secondario Collinare Montano (RP\_RSCM), l'area di intervento ricade in P1 "Scarsa probabilità di alluvioni o scenari di eventi estremi".

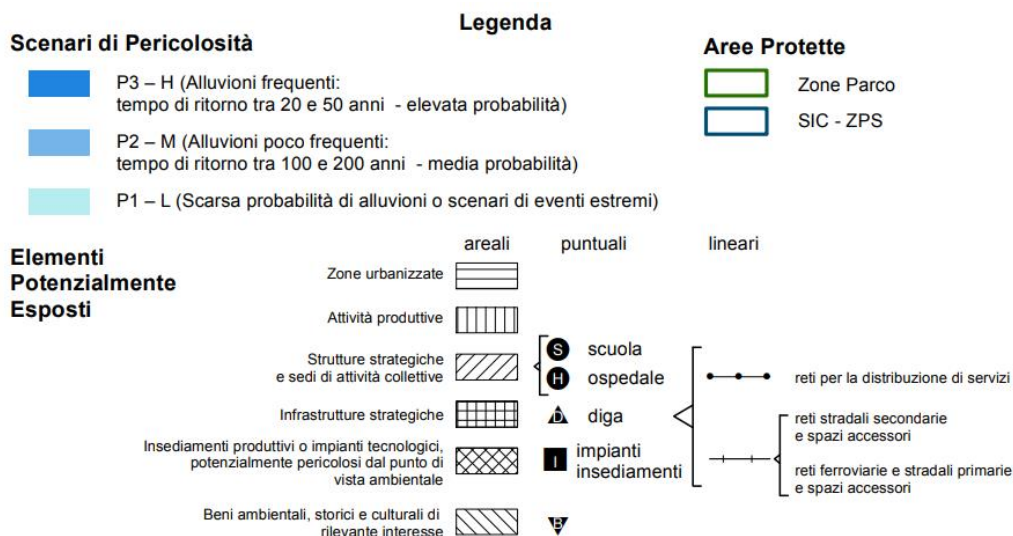
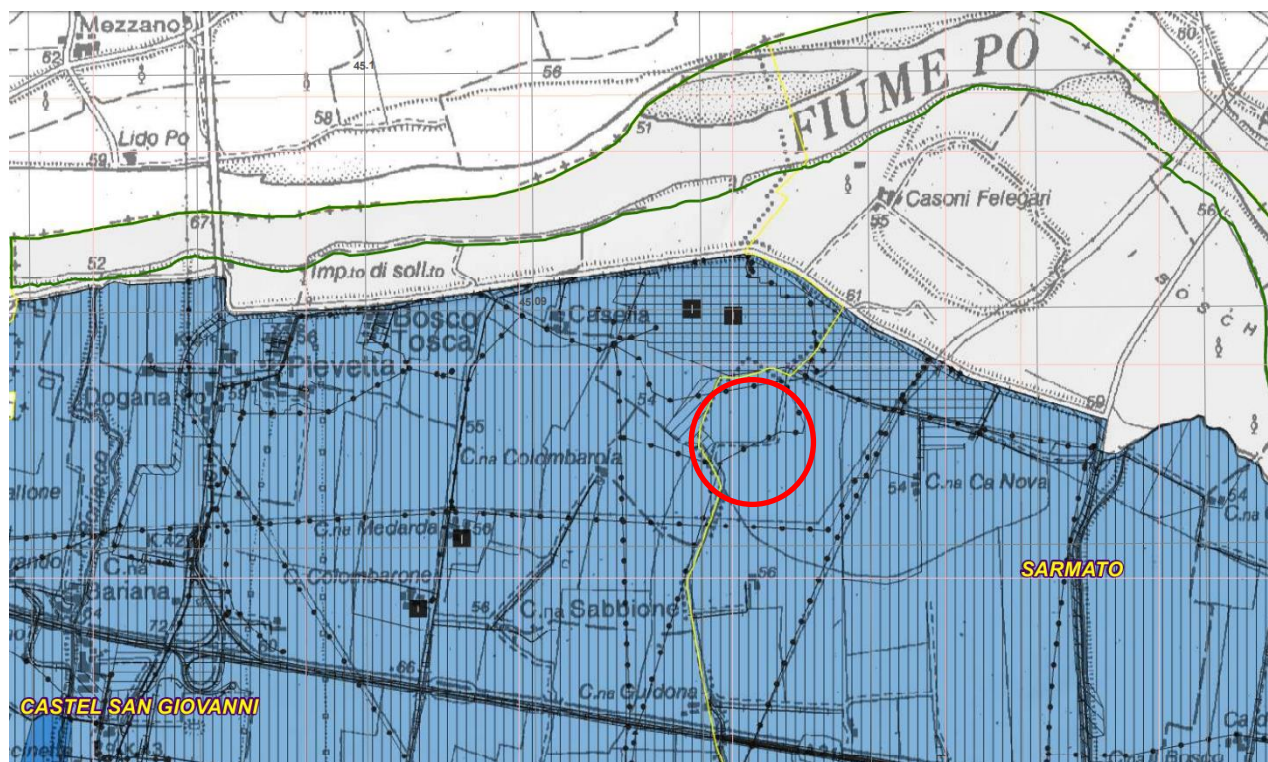




**Figura 6.2 - Inquadramento dell'area di intervento (in rosso) nella "Mappa della pericolosità e degli elementi potenzialmente esposti" (art. 6 della Direttiva 2007/60/CE e art. 6 del D.Lgs. 49/2010) –Tav. 161NO "Castel San Giovanni" dell'Ambito territoriale "Reticolo Principale e Secondario Collinare Montano (RP\_RSCM)," (PGRA).**

Per quanto concerne Mappe Pericolosità ed Elementi esposti relative al Reticolo Secondario Pianura (RSP), l'area di intervento ricade in P2 "alluvioni poco frequenti" (tempo di ritorno tra 100 e 200 anni – media probabilità) (fig. 6.1).



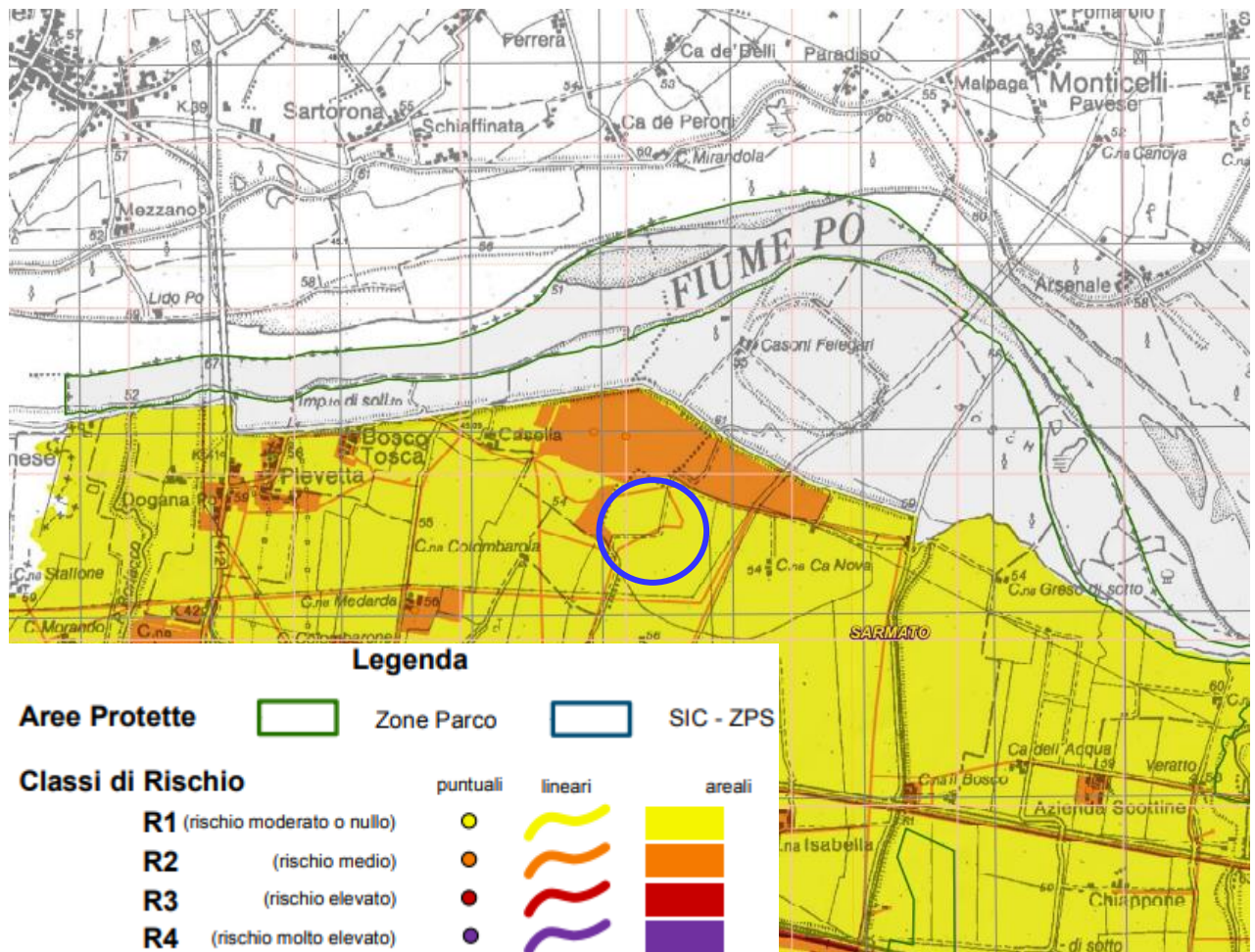


**Figura 6.3 - Inquadramento dell'area di intervento (in rosso) nella "Mappa della pericolosità e degli elementi potenzialmente esposti" (art. 6 della Direttiva 2007/60/CE e art. 6 del D.Lgs. 49/2010) –Tav. 161NO "Castel San Giovanni" dell'Ambito territoriale "Reticolo Secondario di Pianura (RSP)" (PGRA).**

Dalla consultazione della cartografia allegata al PGRA quindi, risultano due scenari ben distinti, relativi rispettivamente al Reticolo Principale e Secondario Collinare Montano (RP\_RSCM) e al Reticolo Secondario Pianura (RSP). L'area di intervento infatti, viene interessata da entrambi gli ambiti territoriali, ma con livelli di rischio differenti. Per l'RP\_RSCM, essa ricade nel livello di pericolosità P1 "Aree allagabili – scenario raro Scarsa probabilità di alluvioni o scenari di eventi estremi (L = low)", mentre per l'RSP, nel livello P2 "Aree allagabili – scenario poco frequente Media probabilità di alluvioni (M = medium)."

**Figura 6.4 - Inquadramento dell'area di intervento nella "Mappa del Rischio Potenziale" (art. 6 della Direttiva 2007/60/CE e art. 6 del D.Lgs. 49/2010) – Ambito territoriale "Reticolo Naturale Principale e Secondario (RP RSCM)".**





**Figura 6.5 - Inquadramento dell'area di intervento nella "Mappa della pericolosità e degli elementi potenzialmente esposti" (art. 6 della Direttiva 2007/60/CE e art. 6 del D.Lgs. 49/2010) – Ambito territoriale "Reticolo Secondario di Pianura (RSP)"**

La cartografia rappresentata consiste nella mappatura del rischio di alluvioni, predisposta in attuazione della Direttiva 2007/60/CE e del D.Lgs. 49/2010. In particolare, l'art. 6 comma 5 del D.Lgs. 49/2010 recita: "Le mappe del rischio di alluvioni indicano le potenziali conseguenze negative derivanti dalle alluvioni, nell'ambito degli scenari di cui al comma 2 e prevedono le 4 classi di rischio di cui al decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri in data 29 settembre 1998, pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 3 del 5 gennaio 1999 [...]". Il D.P.C.M. 29.09.98 "Atto di indirizzo e coordinamento per l'individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui all'art. 1, commi 1 e del D.L. 11.06.98, n. 180", richiamato nel D.Lgs. 49/2010, definisce quattro classi di rischio:

- R4 (rischio molto elevato): per il quale sono possibili perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture ed al patrimonio ambientale, la distruzione di attività socio-economiche.
- R3 (rischio elevato): per il quale sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, la interruzione

di funzionalità delle attività socio-economiche e danni relativi al patrimonio ambientale;

•R2 (rischio medio): per il quale sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità delle persone, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche;

•R1 (rischio moderato o nullo): per il quale i danni sociali, economici ed al patrimonio ambientale sono trascurabili o nulli.

Gli elementi a rischio di tipo puntuale (p.e. istituti scolastici) e lineari (p.e. viabilità stradale) sono stati rappresentati attribuendo al punto o alla linea il colore corrispondente al livello di rischio derivante dal calcolo.

## 7. IDROGEOLOGIA

### 7.1. CLIMA

L'area in esame presenta un tipico piuttosto continentale, quindi gli **inverni** sono leggermente più rigidi rispetto alle altre città della regione e le precipitazioni sono maggiori. Le minime invernali registrate sono addirittura minori in generale a quelle delle vicine città lombarde. Ma la vicinanza al fiume Po porta anche ad una forte umidità un po' in tutte le stagioni: non mancano la nebbia durante la stagione fredda e l'afa nel corso dell'estate. La neve è frequente, laddove le condizioni di circolazione atmosferica generale siano favorevoli.

L'analisi del regime pluviometrico dell'area in studio scaturisce da dati di precipitazione, reperiti presso i database dell'ARPAE, dalla stazione pluviometrica di Piacenza (PC).

In particolare, per quest'ultima le analisi pluviometriche condotte sul periodo di osservazione 1916-2018 indicano per la precipitazione mensile media, un massimo assoluto in ottobre (103mm) ed un minimo assoluto in febbraio (47 mm); complessivamente, il periodo più piovoso va da ottobre a dicembre, mentre il periodo più arido è compreso tra e marzo; il valore della precipitazione media annua è pari a 781 mm.

Nella tabella seguente, sono riportati i valori delle precipitazioni e temperature medie mensili, mentre nei grafici a seguire, sono rappresentati i valori di precipitazione media mensile.

	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Medie Temperatura (°C)	1.5	4.1	8.7	13.2	17.4	21.5	24	22.9	19.7	13.6	7.9	3
Temperatura minima (°C)	-1.7	0	3.8	7.7	11.9	15.6	17.9	17.2	14.4	9.5	4.4	0.3
Temperatura massima (°C)	4.7	8.2	13.6	18.8	22.9	27.4	30.1	28.7	25	17.7	11.5	5.7
Precipitazioni (mm)	53	47	54	69	73	47	51	62	70	103	85	67

**Figura 7.1 - Valori delle temperature e delle precipitazioni medie mensili e annuale nella stazione di Piacenza**



(PC).

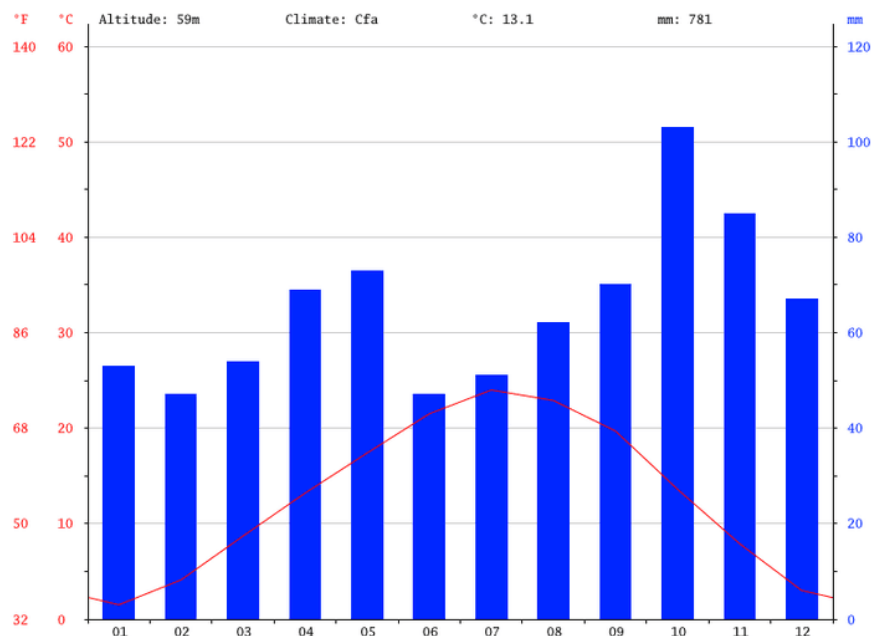


Figura 7.2 - Valori medi mensili di precipitazione riferiti alla stazione di Piacenza (PC).

## 7.2. ASSETTO IDROGEOLOGICO LOCALE

Com'è noto le proprietà idrogeologiche dei terreni valutabili qualitativamente durante le fasi di rilevamento di campagna sono: il tipo di permeabilità, identificabile nella natura genetica dei meati (primaria o per porosità, e secondaria o per fessurazione), ed il grado di permeabilità relativa definibile in prima analisi attraverso le categorie elevato, medio, scarso e impermeabile a cui sono associabili ampi intervalli di variazione del valore della conducibilità idraulica, (Civita, 1973; Bureau of Reclamation, 1985; Celico, 1988).

Le unità idrogeologiche sono caratterizzate dalla capacità di contenere (porosità) e di far defluire (permeabilità e trasmissività) l'acqua e/o altri fluidi, pertanto vengono generalmente classificate a seconda che le proprietà idrauliche sopradette siano dovute ai caratteri primari propri della roccia o che derivino da azioni meccaniche successive alla sua formazione; si parla dunque di porosità e permeabilità primaria o secondaria. Secondo questa assunzione, e tenendo conto delle caratteristiche litologiche, tessiturali, dello stato di tettonizzazione ecc. si possono raggruppare le formazioni in tre unità idrogeologiche principali:

- unità a permeabilità primaria;
- unità a permeabilità secondaria;
- unità a permeabilità mista.



Per quanto riguarda l'area in esame, l'alimentazione della falda principale, è da associare ad infiltrazioni delle acque superficiali provenienti dal bacino imbrifero del torrente Tidone nella zona apicale del conoide alluvionale (zona di Fabbiano nel Comune di Borgonovo V.T.). Nei settori di pianura, risulterà bassa l'infiltrazione efficace diretta dalla superficie topografica, per la presenza della coltre di copertura costituita da litologie scarsamente permeabili a componente prevalentemente argillosa limosa. Solamente a ridosso del Fiume Po, dove si hanno maggiori arricchimenti della frazione sabbiosa permeabili superficiali, si può avere un certo apporto di ricarica della falda, anche per infiltrazione diretta dal piano campagna. L'assetto idrogeologico generale di questo settore di pianura, è costituito da una serie di sistemi multi falde, associate ai differenti livelli litologici permeabili (a componente ghiaiosa sabbiosa), intervallati con serie impermeabili (argille e limi). I corpi permeabili ospitanti l'acquifero alluvionale principale superficiale, risultano direttamente connessi alle assise ghiaiose sabbiose costituenti il subalveo del T.Tidone e del Fiume Po a Nord, risentendo dei rispettivi carichi idraulici.

Nei settori limitrofi al T.Tidone ad Est, e soprattutto al Fiume Po a Nord, sono possibili interazioni tra la falda associata a questi ultimi e quella naturale del terreno, con periodi di alimentazione o drenaggio da parte del corso d'acqua rispetto alla falda naturale, secondo il carico idraulico e la profondità della falda stessa.

Sulla scorta della presenza del lago all'interno della cava di materiale inerte presente immediatamente a est e in base alle caratteristiche morfologiche e geologiche, che vedono l'area attraversata da divesti stazionamenti del paleo-alveo del Po, si può affermare con un certo margine di sicurezza che l'area è contrassegnata da una falda freatica a pelo libero a bassa profondità.

## **8. CARATTERISTICHE SISMICHE GENERALI**

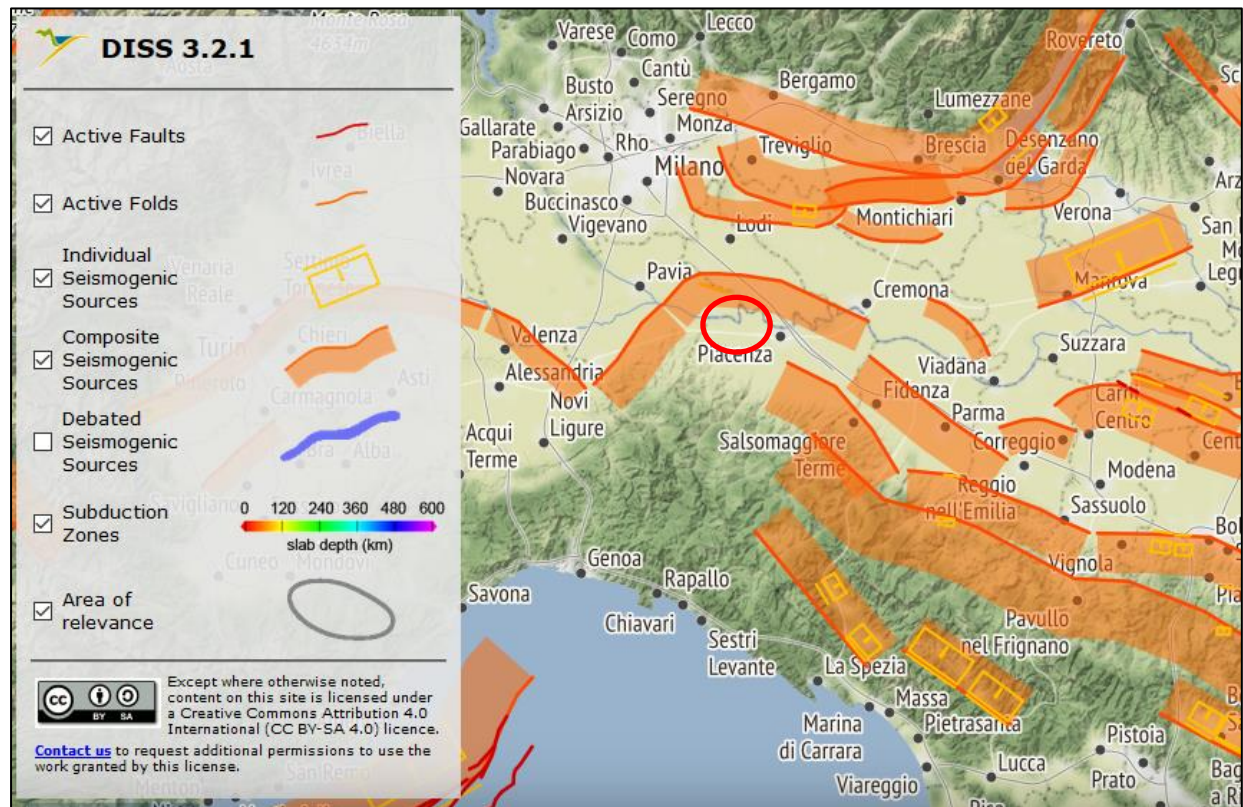
### **8.1 SISMICITÀ E TETTONICA ATTIVA**

La sismicità di questo territorio è associata alle grandi direttrici strutturali, quali linee e fronti di faglia ecc, orientati secondo l'allineamento NO-SE.

#### **8.1.1 LE SORGENTI SISMOGENETICHE**

Il primo passo per la definizione dell'azione sismica è quella di individuare le "sorgenti sismiche capaci" caratterizzanti l'area di studio. Per il presente studio si è fatto riferimento al DISS 3.2.1

(Database of Potential Sources for Earthquakes larger than M 5.5 in Italy) che individua per l'area oggetto del presente studio le sorgenti sismogenetiche.



**Figura 8.1 - Le Sorgenti Sismogenetiche dell'Emilia Romagna contenute nella nuova versione del "Database of Potential Sources for Earthquakes larger than M 5.5 in Italy"; con l'ubicazione dell'area in esame**

Nello specifico, in prossimità dell'area oggetto di esame, è presente una sorgente sismogenetica di seguito riportata:

Sorgente Portalbera-Cremona (ITCS044): questa sorgente composita si trova a cavallo della regione tra città di Pavia (a ovest) a Cremona (a est), tra le valli del Ticino e dell'Adda R., e appartiene al fronte di spinta esterno dell'Appennino settentrionale. Questo fronte è un sistema di faglie che va da N a NE sulla punta nord-occidentale della catena appenninica settentrionale, ben nella pianura padana.

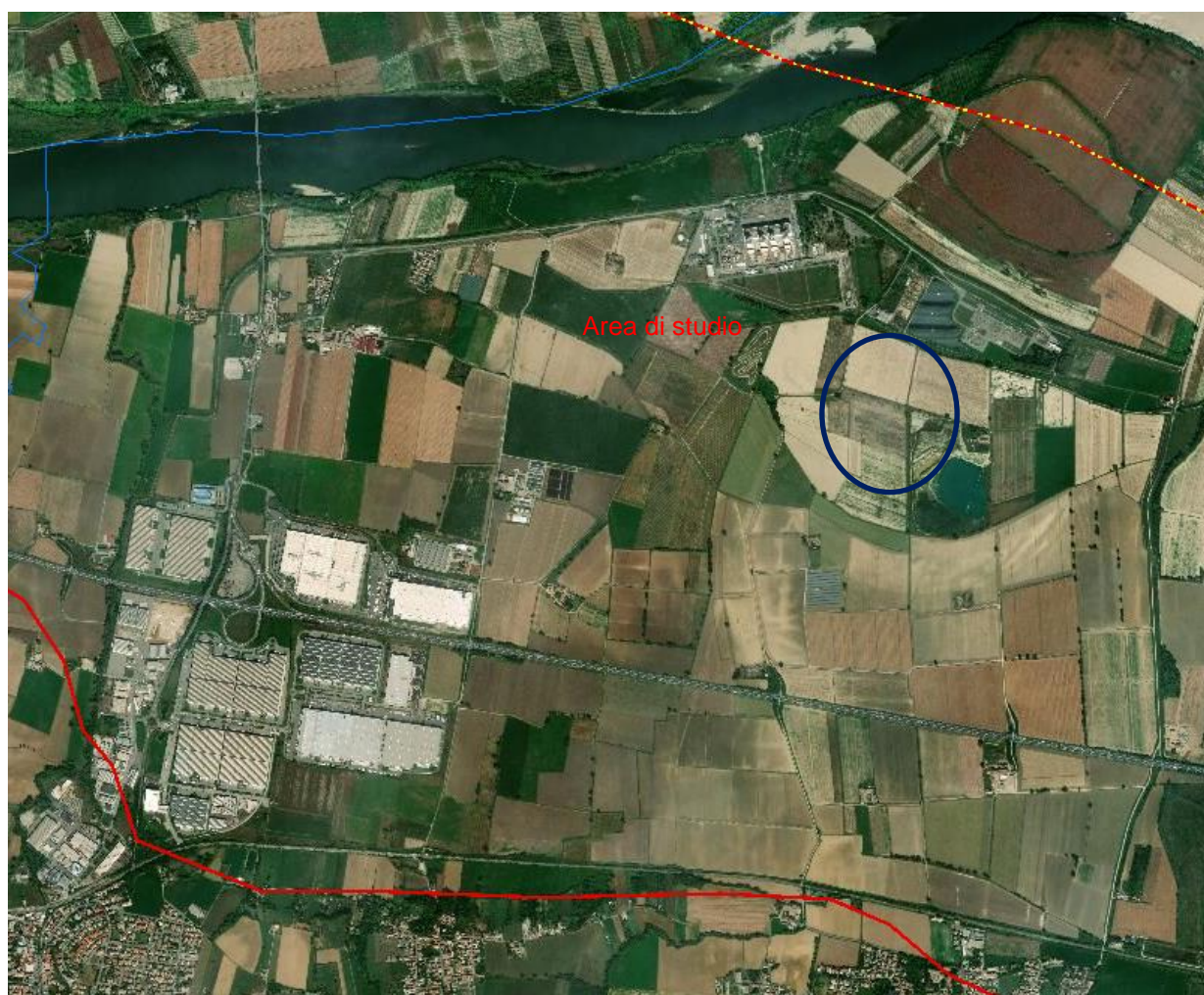
I cataloghi storici e strumentali (Boschi et al., 2000; Gruppo di Lavoro CPTI, 2004; Pondrelli et al., 2006; Guidoboni et al., 2007) mostrano una sismicità sparsa intermedia ( $4,5 < M_w < 5,0$ ) in questa regione, con l'eccezione del terremoto del 28 luglio 1276 ( $M_w 5,1$ ) e dell'evento del 15 maggio 1951 ( $M_w 5,2$ ) che colpì l'area di Lodigiano.

Questa fonte rappresenta l'ipotetico arco attivo in cui si avvicinano la spinta delle Alpi meridionali e l'Appennino e può spiegare la sismicità intermedia della regione e il suo potenziale sismogenico.



### 8.1.2 ITHACA – DATABASE DELLE FAGLIE CAPACI

Il catalogo ITHACA (ITaly HAZard from CApable faults) colleziona le informazioni disponibili sulle faglie capaci, cioè le faglie che potenzialmente possono creare deformazione tettonica permanente in superficie, che interessano il territorio italiano. ITHACA è uno strumento fondamentale per l'analisi di pericolosità ambientale e sismica, per la comprensione dell'evoluzione recente del paesaggio, per la pianificazione territoriale e per la gestione delle emergenze di Protezione Civile.



**Figure 8.1.1 - Le faglie capaci presenti in prossimità dell'area di studio, contenute nel database ITHACA (GeoMapViewer, ISPRA)**

Consultando il catalogo ITHACA, è stato possibile constatare che non vi sono faglie capaci nelle immediate vicinanze dell'area di intervento.

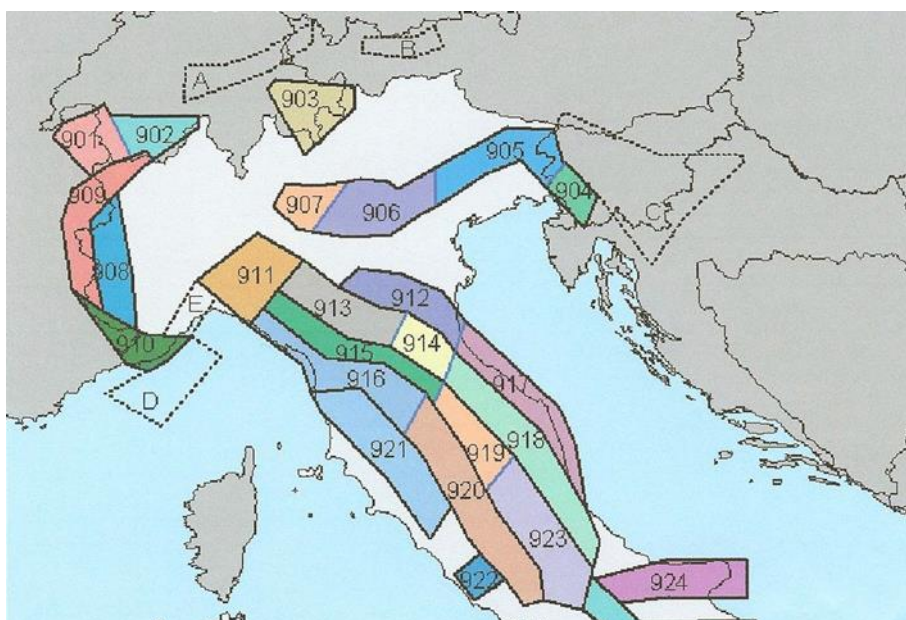
### 8.2 Macrozonazione sismica

Fino al 2002, la zonazione sismogenetica ZS4 (Scandone et alii, 2000) ha rappresentato il

punto di riferimento per la maggior parte delle valutazioni di pericolosità sismica nell'area italiana; gli sviluppi più recenti delle conoscenze in materia di sismogenesi hanno evidenziato alcune inconsistenze di tale modello di zonazione.

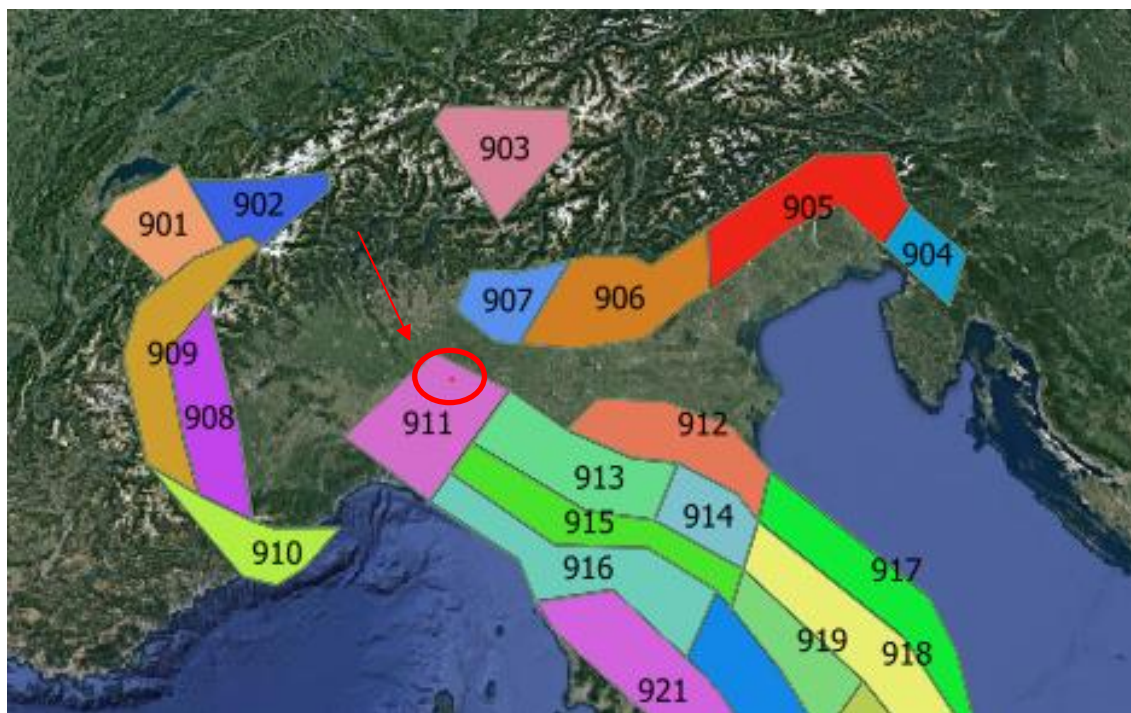
Per superare questo stato di cose si è convenuto di disegnare una nuova zonazione denominata ZS9 (Meletti & Valensise, 2004). Rispetto alle zonazioni precedenti le zone sorgente sono state disegnate più vincolate rispetto alle sorgenti sismogenetiche e alla sismicità storica e strumentale, e le aree circostanti sono state cautate attraverso i normali effetti di propagazione della pericolosità sismica al di fuori delle zone sorgente.

Per quanto riguarda il settore nord – occidentale dell'Appennino settentrionale, le cui zone sismotettoniche riconosciute sono rappresentate in Figura 8.2.1, si distingue la zona 911, comprendente il cosiddetto “arco di Pavia” e le strutture ad esso relative, che rappresenta il limite settentrionale dell'arco appenninico, costituendo un ruolo di svincolo tra il Sistema alpino e quello appenninico; il meccanismo di fagliazione prevalente risulta essere trascorrente. La zona 912, longitudinale rispetto all'asse della catena appenninica (fig.8.2.1), rappresenta la porzione più esterna della fascia in compressione dell'arco appenninico settentrionale; il meccanismo di fagliazione prevalente risulta indeterminato.



**Figura 8.2.1 - Zonazione sismogenetica ZS9**





**Figura 8.2.2 - Localizzazione dell'area di impianto (in rosso) sulla zonizzazione ZS9.**

I dati pubblicati dal Gruppo di Lavoro dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (marzo 2004) evidenziano che in questi anni di monitoraggio strumentale la magnitudo massima registrata è stata di 4.1 Md per la zona 911 alla profondità efficace di 8km. Nella tabella seguente sono riportati i dettagli delle misurazioni strumentali effettuate con riferimento alla zona 911.

**Tabella 1- Dati emersi dal monitoraggio strumentale della zona 911**

ZONA	Numero di eventi Md>2.0	Numero di eventi Md>2.5	Numero di eventi Md>3.0	Magnitudo massima (Md)	Classe di profondità (km)	Profondità efficace (km)
911	126	91	18	4.1	8-12	8

**Tabella 2- Valori della Magnitudo momento massima "Mwmax" - Zona Sismogenetica ZS9 (estratto da "Gruppo di Lavoro per la Redazione della Mappa di Pericolosità Sismica" - 2004).**

Zonazione sismica zs9	Numero zona sismica	Mwmax
Appennino settentrionale e centrale	911	5.45

Questa zonazione è stata elaborata riferendosi anche i più recenti background informativi sui terremoti ed in particolare le ultime banche dati relative alle sorgenti sismogeniche italiane DISS1 2.0 ed il già citato catalogo CPTI2. I cataloghi storici e strumentali (Boschi et al., 2000; Gruppo di Lavoro CPTI, 2004; Pondrelli et al., 2006; Guidoboni et al., 2007) mostrano nella regione una sismicità diffusa di grado intermedio ( $4,5 < M_w \leq 5,0$ ), con l'eccezione del



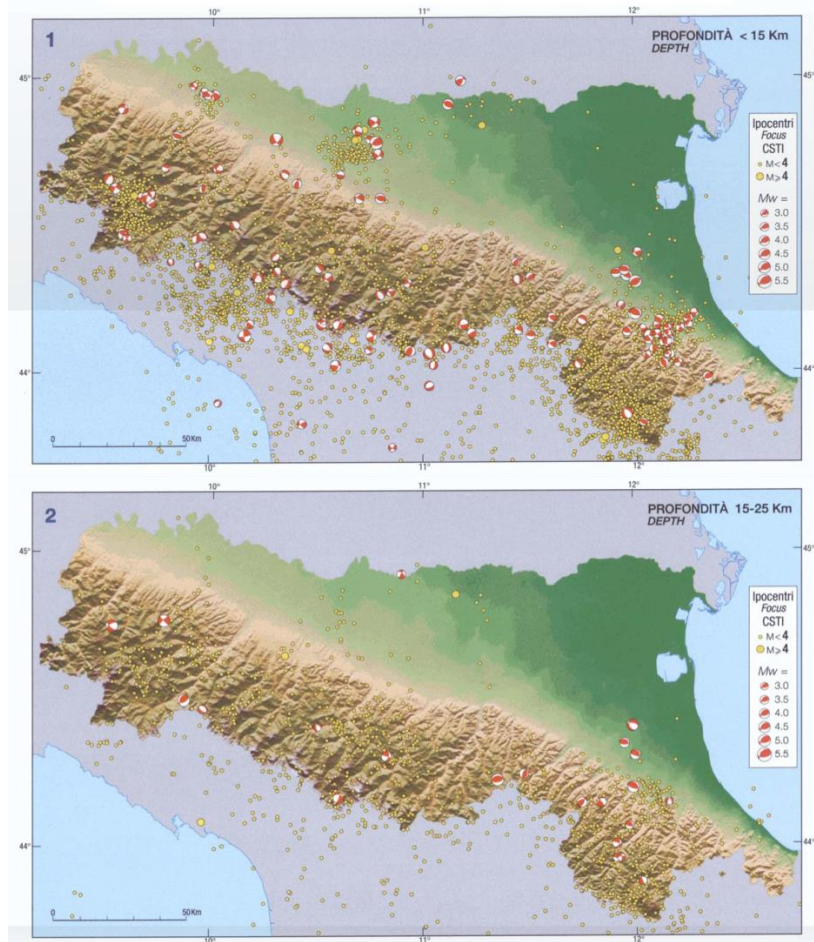
EGP CODE

**GRE.EEC.K.21.IT.P.12082.00.119.02**

PAGE

35 di/of 69

terremoto del Lodigiano del 28/7/1276 (Mw 5.1) e del 15/5/1951 (Mw 5.2). Per quanto riguarda la struttura ITCS045, questa sorgente è posta a cavallo della regione ad ovest della valle del Taro, e si colloca al passaggio tra il fronte di pieghe pedeappennico (a SE) ed il fronte di pieghe esterne dell'Appennino settentrionale (a N e NW). Si tratta di sistema di faglie vergenti verso NE, in parte costituite da piccoli archi, nel settore pedecollinare della catena dell'Appennino Settentrionale. I cataloghi storici e strumentali mostrano una mancanza di sismicità significativa in questa regione ad eccezione di alcuni terremoti di grado medio ( $4.5 < Mw < 5.0$ ) nei settori orientali e occidentali dell'area. La sismicità massima è stata assunta sulla base della sismicità regionale (Mw 5.5). Occorre segnalare come sia in fase di approfondimento l'identificazione di una sorgente sismogenetica interferente con il territorio comunale di Castel San Giovanni, indicata come ITDS001: Broni-Stradella da DISS 3.1. In particolare si segnala lo studio condotto da Benedetti, L. C., P. Tapponnier, Y. Gaudemer, I. Manighetti, and J. Van der Woerd (2003) "Geomorphic evidence for an emergent active thrust along the edge of the Po Plain: The Broni-Stradella fault.", riguardante l'evidenza geomorfologica di un thrust attivo emergente evidenziatosi attraverso una scarpata di faglia che taglia EW i depositi superficiali quaternari da Casteggio a Sarmato. Secondo questo studio la scarpata individuabile tra Sarmato e Montebello (PV), di cui la scarpata di Fontana Pradosa rappresenta un esempio dell'emergenza della faglia attiva impegante verso sud, il "thrust" di Stradella, che si estende verso est. Occorre precisare come l'evidenza morfologica sostenuta dagli autori, si collochi in area interessata dalle divagazioni dell'alveo del Fiume Po durante il Pleistocene superiore, per cui potrebbe trattarsi di un caso di "convergenza morfologica" tra un elemento del paesaggio di origine tettonica e uno di natura puramente erosiva.



**Figura 8.2.3 - Sismicità strumentale per intervalli di profondità degli ipocentri (< 15 km in alto; 15-25km in basso) – Fonte: Carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna – Servizio Geologico Sismico e dei Suoli.**

### 8.3. SISMICITÀ STORICA

L'Emilia-Romagna rappresenta un settore della catena appenninica esterna caratterizzato da una sismicità frequente che può essere definita media in relazione alla sismicità nazionale, con ipocentri dei terremoti localizzati non solo nella crosta superiore ma anche nel mantello. Nel settore di pianura in esame gli epicentri dei terremoti principali, con magnitudo compresa tra 4,0-4,5, risultano relativamente superficiali, essendo localizzati entro la profondità di 15 km. L'Emilia-Romagna è interessata da una sismicità che può essere definita media relativamente alla sismicità nazionale, con terremoti storici di magnitudo massima compresa tra 5,5 e 6 della scala Richter e intensità del IXX grado della scala MCS. Nel settore indagato i fenomeni sismici risultano di minore energia (Magnitudo < 5,5).

Nella tabella seguente sono riepilogati i dati sulla sismicità storica desunti dalla banca dati dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (Catalogo parametrico dei terremoti italiani 2015) relativi al territorio del Comune di Sarmato. Gli eventi sono attribuiti al giorno in cui si è prodotta la scossa più violenta. Sono indicati: il tempo origine del terremoto (anno, mese, giorno

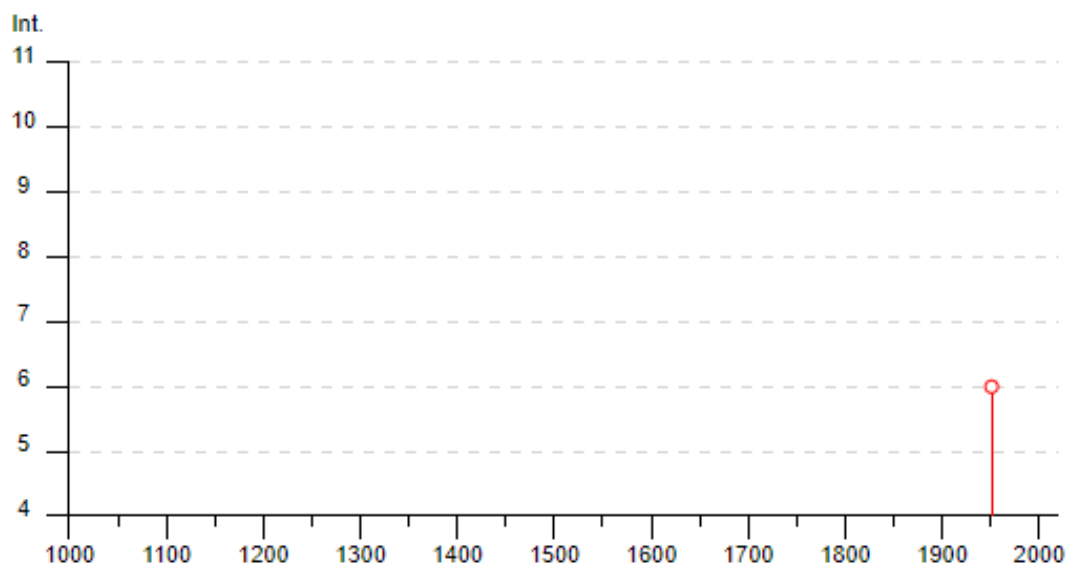
e ora) espresso come tempo medio di Greenwich, l'intensità epicentrale ( $I_0$ ), l'intensità al sito ( $I$ ) espressa in gradi della Scala Mercalli-Cancani-Sieberg, la magnitudo ( $M_w$ ) e l'epicentro inteso come definizione geografica della zona in cui ricade.

## Sarmato

PlaceID IT\_35570  
 Coordinate (lat, lon) 45.060, 9.490  
 Comune (ISTAT 2015) Sarmato  
 Provincia Piacenza  
 Regione Emilia-Romagna  
 Numero di eventi riportati 5

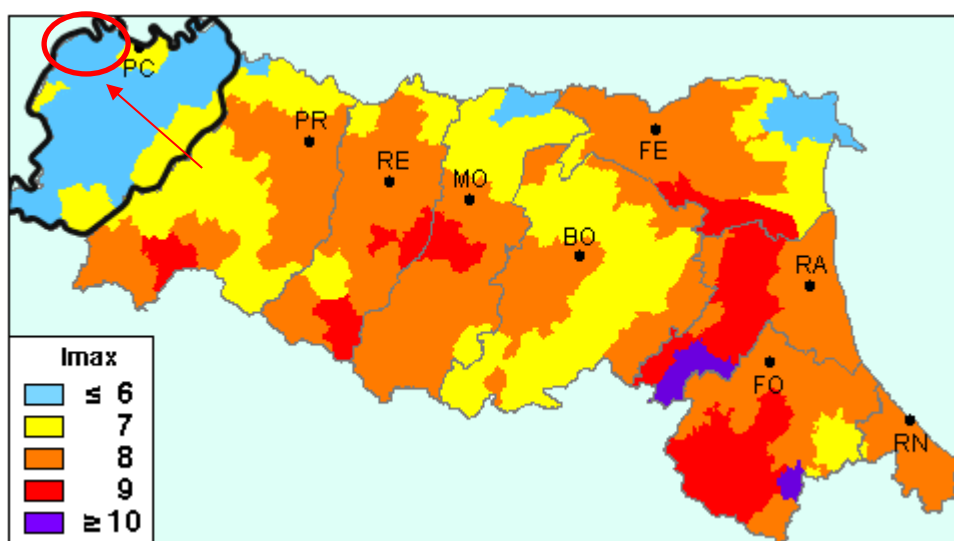
Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	$I_0$	$M_w$
6	<a href="#">🔗</a>	1951	05	15	22	54	Lodigiano	179	6-7	5.17
NF	<a href="#">🔗</a>	1986	12	06	17	07 1	Ferrarese	604	6	4.43
NF	<a href="#">🔗</a>	2002	11	13	10	48 0	Franciacorta	768	5	4.21
NF	<a href="#">🔗</a>	2005	04	13	18	46 0	Valle del Trebbia	163	4	3.68
NF	<a href="#">🔗</a>	2005	04	18	10	59 1	Valle del Trebbia	284	4	3.97

**Figura 8.3.1 - Sismicità storica di Sarmato (PC).**



**Tabella 8.3.2 - Sismicità storica di Sarmato (PC)**

In conclusione l'area interessata dal progetto è caratterizzata da una sismicità storica che è influenzata dall'attività sismica dell'Appennino settentrionale e si inserisce in un contesto di bassa pericolosità sismica, così come si evince anche dalla figura seguente tratta dalla carta delle massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani, la quale conferma che l'area in esame ha subito storicamente sismi  $\leq$  al VI grado della scala MCS.



**Figura 8.3.3 - Carta delle massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani (Molin, Stucchi, Valsenise, ingv <http://emidius.mi.ingv.it/GNDT/IMAX/imax.html>), con indicazione dell'area di studio in rosso.**





#### 8.4 PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE

In data 24 ottobre 2005 entra in vigore il D.M. 14/09/2005 "Norme Tecniche per le Costruzioni". La norma suddivide il territorio in zone sismiche, ciascuna contrassegnata da un diverso valore di parametro  $a_g$ , che rappresenta l'accelerazione orizzontale massima convenzionale su suolo di categoria A.

L'area in esame, che ricade nel comune di Sarmato dichiarato a rischio sismico 3, è caratterizzata da valori di  $a_g/g$  compresi tra 0,05 e 0,15g. La norma afferma che le zone 1, 2 e 3 possono essere suddivise in sottozone caratterizzate da valori di  $a_g$  intermedi rispetto ai massimi di ciascuna zona e intervallati da valori non minori di 0,025. In tal caso i vari territori saranno assegnati alle sottozone in base ai valori di  $a_g$  con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni".

Con l'OPCM 3519 del 28/04/2006 viene proposta una nuova zonizzazione con suddivisione degli intervalli di accelerazione più dettagliati, pari a 0,025. La figura successiva è tratta dalla mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale, espressa in termini di accelerazione massima del suolo ( $a_{max}$ ) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi ( $V_{s30} > 800$  m/sec; cat. A). Come si può notare, l'area in esame ricade in un settore caratterizzato da valori di accelerazione massima del suolo compresi tra 0,075g fino a 0,100g.

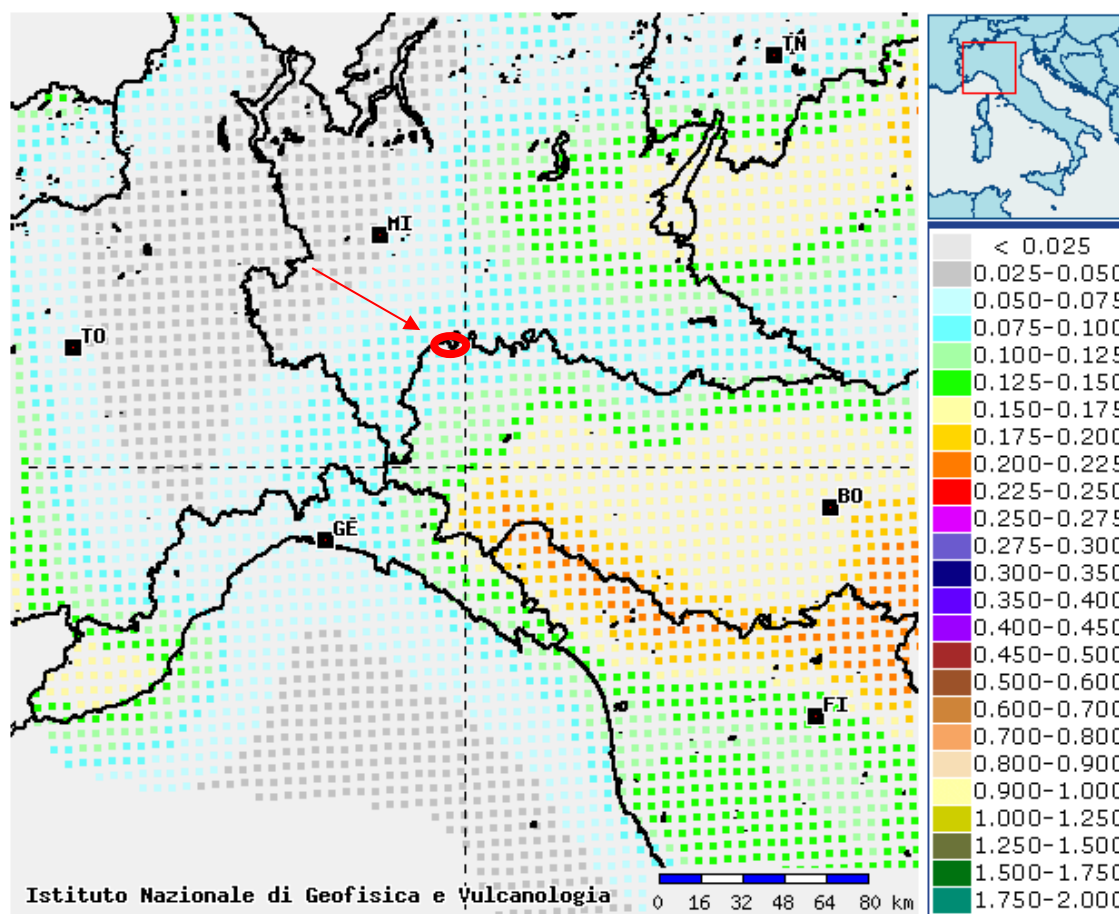
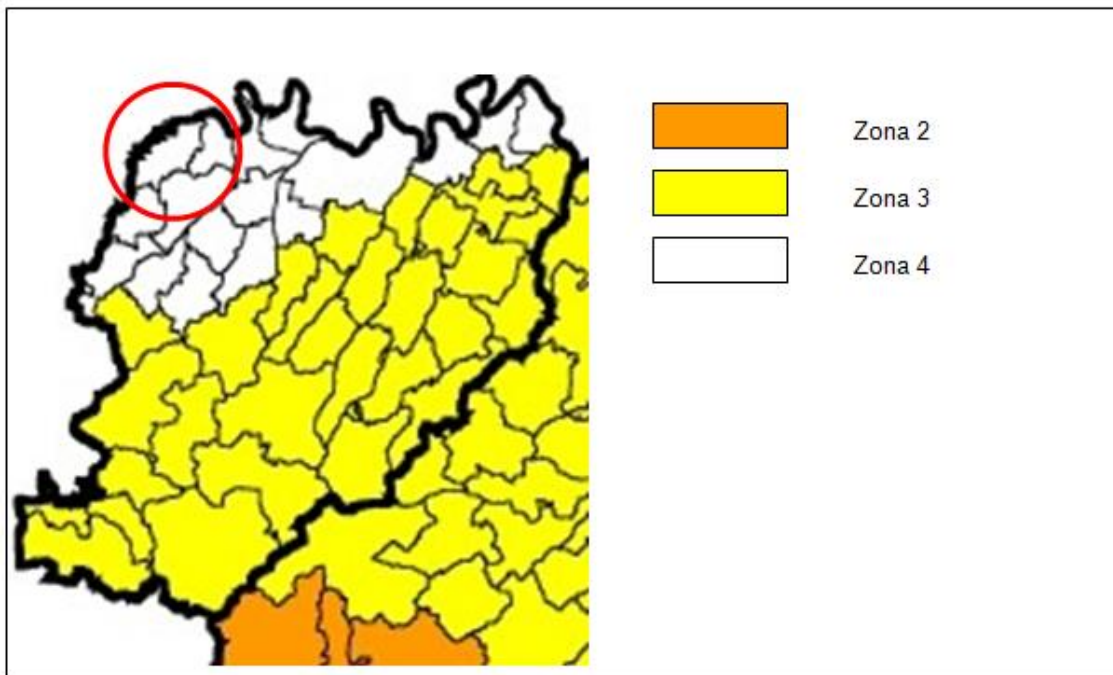


Figura 8.4.1 - Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (OPCM n.3519/2006), con indicazione dell'area di studio.

Secondo la mappa di classificazione sismica del territorio nazionale (Ordinanza n. 3274 del 20/03/2003 - OPCM n.3519/2006) aggiornata a Gennaio 2019, il Comune di Sarmato è classificato in Zona 3.

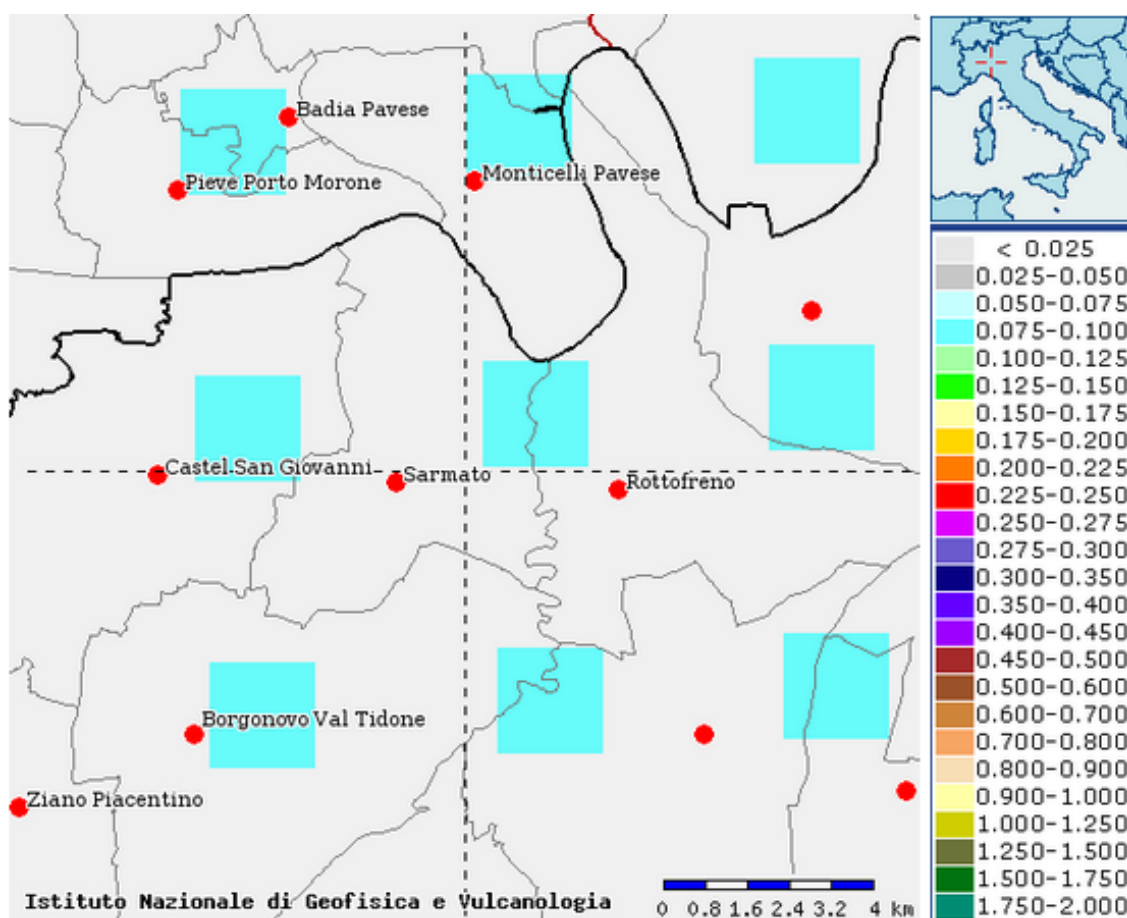
Zona sismica	Fenomeni riscontrati	Accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni
1	Zona con pericolosità sismica <b>alta</b> . Indica la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti.	$a_g \geq 0,25g$
2	Zona con pericolosità sismica <b>media</b> , dove possono verificarsi terremoti abbastanza forti.	$0,15 \leq a_g < 0,25g$
3	Zona con pericolosità sismica <b>bassa</b> , che può essere soggetta a scuotimenti modesti.	$0,05 \leq a_g < 0,15g$
4	Zona con pericolosità sismica <b>molto bassa</b> . E' la zona meno pericolosa, dove le possibilità di danni sismici sono basse.	$a_g < 0,05g$

Figura 8.4.2 - Livello di pericolosità delle zone sismiche suddivise in relazione all'accelerazione di picco su terreno rigido (OPCM 3519/06).



**Figura 8.4.3 - Nuova classificazione sismica del territorio regionale OPCM 3274/2003.**

Nella mappa di pericolosità sismica della figura seguente è confermato quanto detto a proposito della Figura 8.4.1; infatti, si evince come i valori medi (con deviazione standard) corrispondenti ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni (periodo di ritorno di 475 anni) della PGA (Peak Ground Acceleration, ovvero accelerazione massima al suolo) siano compresi nel range 0.075 – 0.100.



**Figura 8.4.4 - Mappa di pericolosità sismica di base (Fonte INGV)**

In conclusione, così come riportato anche nella “Carta di pericolosità sismica” presentata come elaborato integrante del seguente progetto, in accordo con la normativa vigente, l’area d’interesse si inserisce in un contesto di bassa pericolosità sismica.

## 9. CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

Ai fini della definizione dell’azione sismica di progetto, l’effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella tabella seguente, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio “VS”. I valori di VS sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all’approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio  $V_{Seq}$  (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;
- $V_S$  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.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Per depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{Seq}$  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.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite nella tabella seguente.

Categoria	Descrizione
A	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
B	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.
C	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.
D	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
E	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.



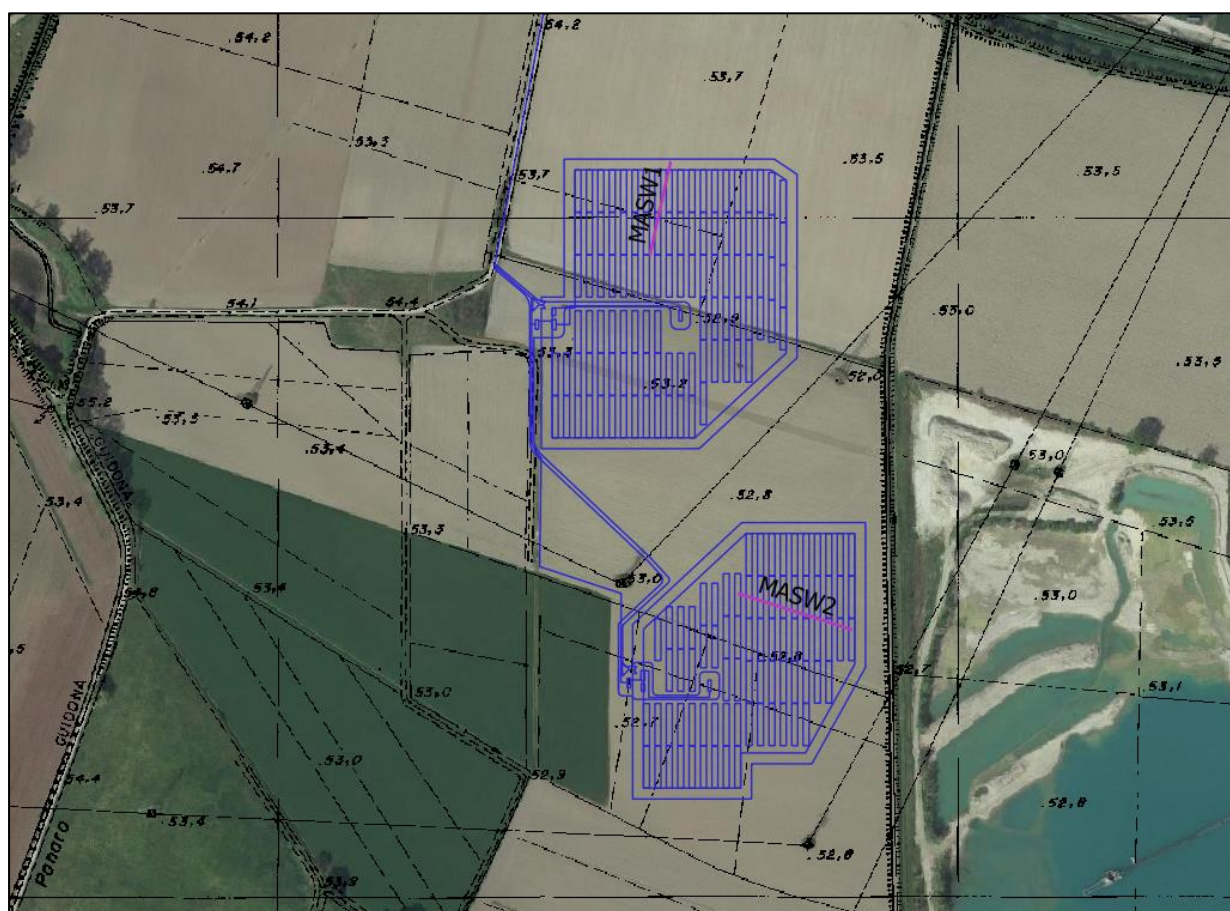
In generale il fenomeno dell'amplificazione sismica diventa più accentuato passando dalla classe A alla classe E.

Per queste cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono definibili come descritto al § 3.2.3 delle NTC 2018.

Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

A tal proposito, considerando l'estensione dell'area in esame, sarà necessario eseguire indagini idonee in sito (sismica tipo MASW, prove in foro tipo Down-Hole e/o sismica a rifrazione), che potranno consentire la misura diretta della velocità delle onde di taglio Vs.

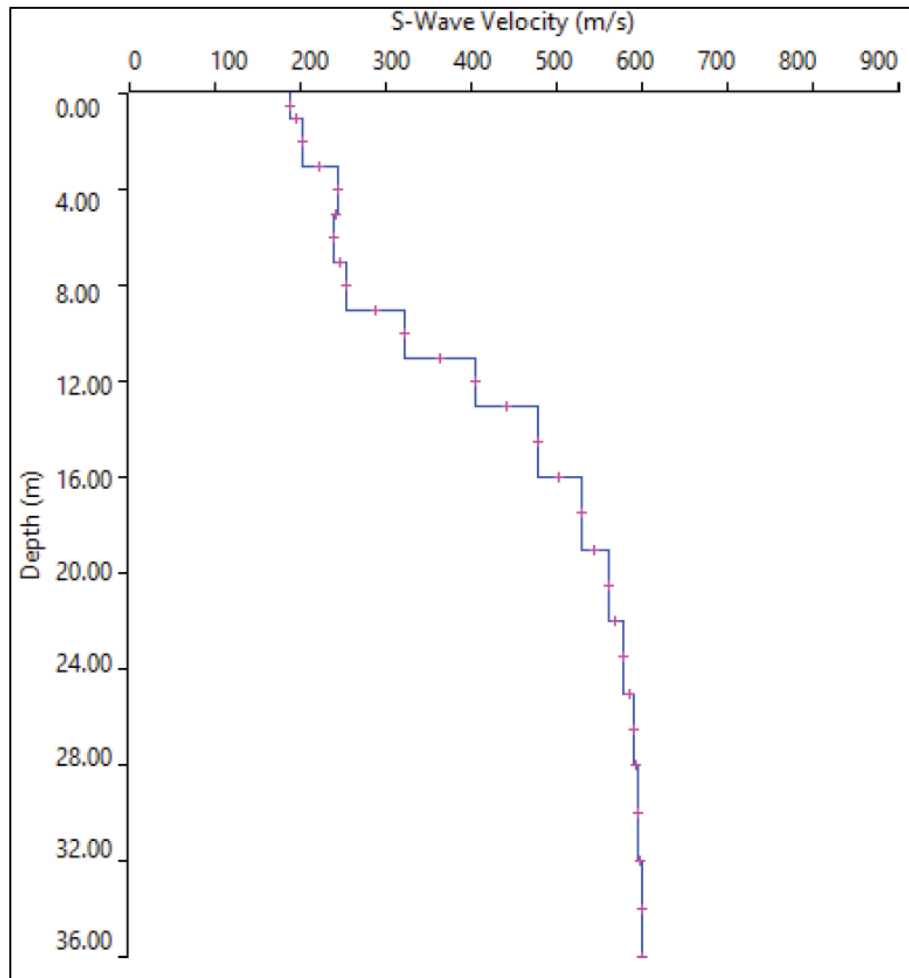
La committenza ha messo a disposizione n°2 profili verticali delle onde di taglio di tipo MASW, eseguite nell'ottobre 2020 dalla RTI Costag-Singea. Ognuna delle due aree in cui è suddiviso l'impianto di La Casella 2 è stata indagata per mezzo di un profilo MASW. Di seguito l'ubicazione delle indagini.



**Figura 9.1 – Ubicazione delle verticali MASW**

Di seguito si riportano i grafici dell'andamento delle onde di taglio S con la profondità.

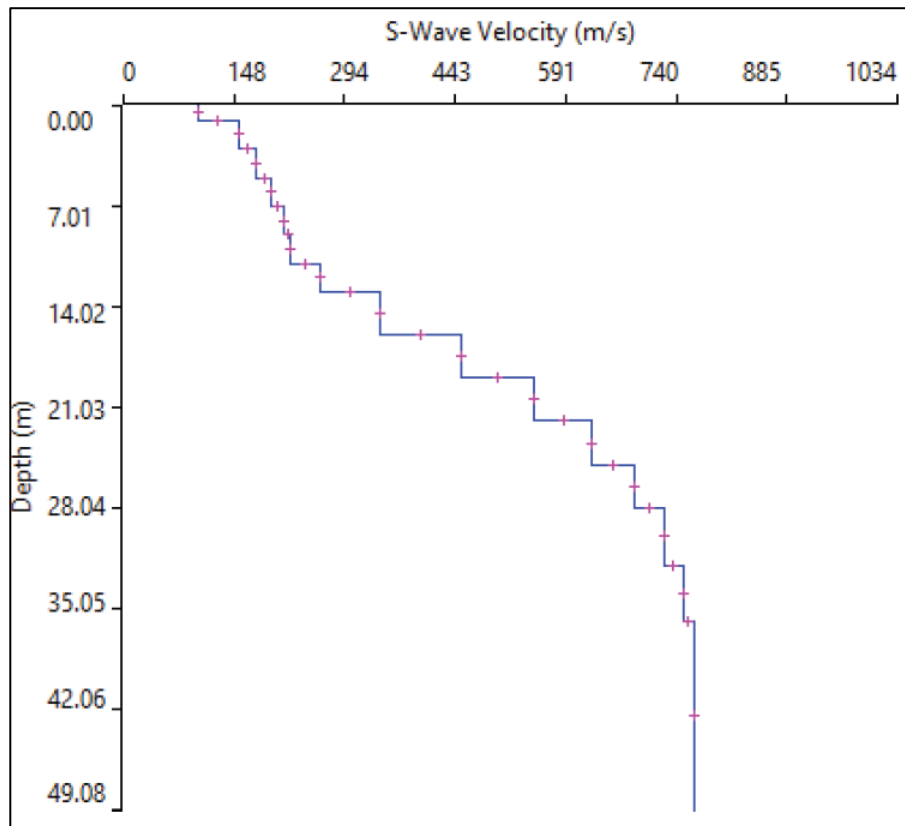
### **MASW1**



**Figura 9.2 – Profilo verticale delle onde di taglio MASW1.**

La velocità equivalente delle onde di taglio per il profilo MASW1 è di 367 m/s e ricade pertanto in categoria B.

## **MASW2**



**Figura 9.3 - Profilo verticale delle onde di taglio MASW2.**

La velocità equivalente delle onde di taglio per il profilo MASW2 è di 291 m/s e pertanto ricade in categoria C.

## **10 SPETTRO DI RISPOSTA**

Lo spettro di risposta, ai sensi delle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018, è sostanzialmente dipendente dalla strategia progettuale, dalla pericolosità sismica derivante dalla posizione (viene stabilita dall'INGV su oltre 11.000 nodi sul territorio nazionale), dalle caratteristiche morfologiche (tramite il parametro Categoria topografica) e dalle caratteristiche del suolo (esprese tramite il parametro Categoria di suolo di fondazione); se per gli altri parametri non ci sono variazioni, per la categoria di suolo di fondazione la variabilità implica spettri di risposta differenti, obbligando quindi alla suddivisione in due aree separate (che saranno chiamate Area Nord e Area Sud).

### ***Spettri Area Nord***

*Parametri di calcolo*

*Coordinate (ED50)* 45,085636° N; 9,487286° E

*Categoria topografica* T1

*Categoria di suolo* B

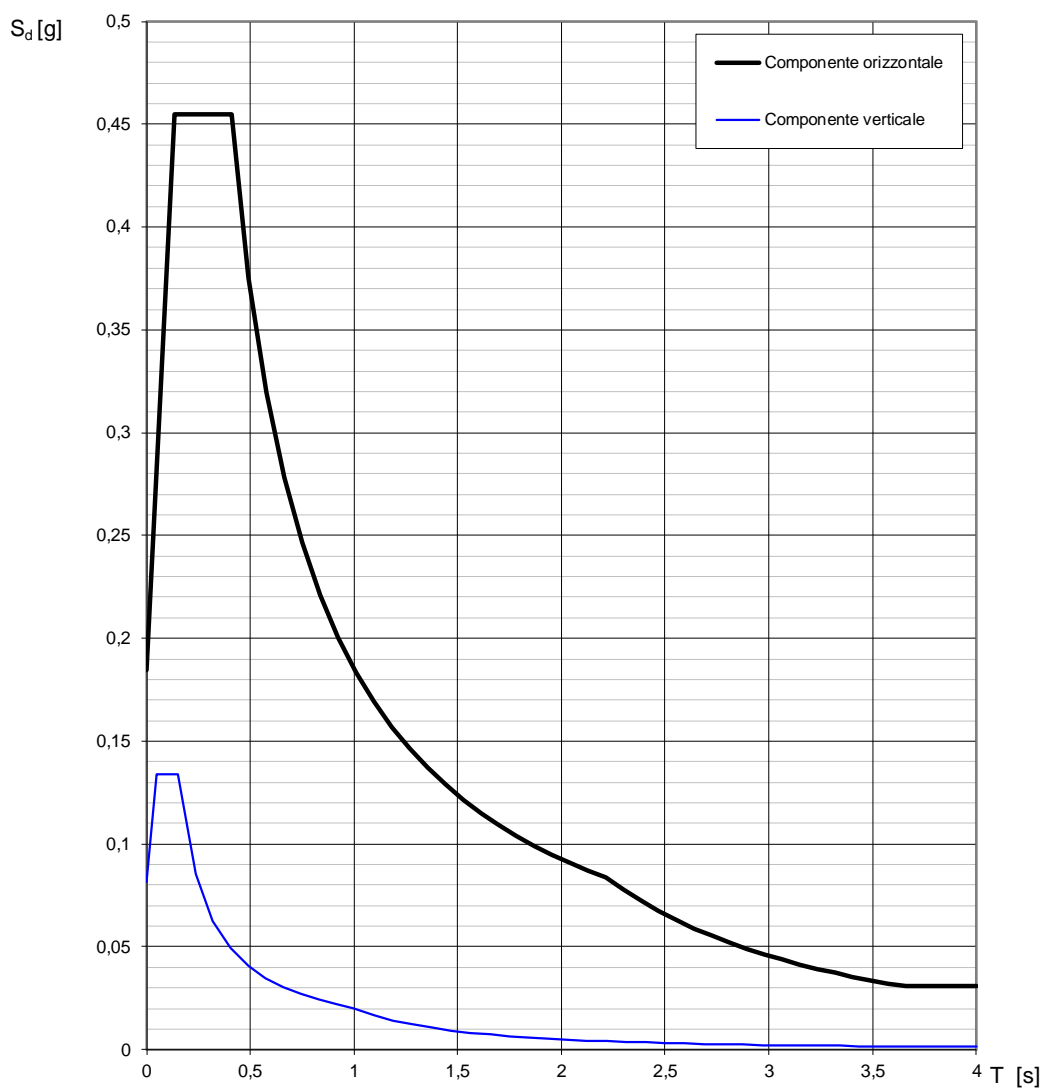
*Vita nominale* 50 anni

*Coefficiente d'uso Cu* 2

*Vita di riferimento VR* 100 anni

## SLC

### Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite SLC



**Figura 10.1 – Spettro di risposta elastico per lo stato limite SLC**



## Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLC

### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLC
$a_g$	0,154 g
$F_o$	2,465
$T_c$	0,289 s
$S_s$	1,200
$C_c$	1,410
$S_T$	1,000
$q$	1,000

### Parametri dipendenti

$S$	1,200
$\eta$	1,000
$T_B$	0,136 s
$T_C$	0,408 s
$T_D$	2,215 s

### Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C/3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_c \cdot T_c^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

### Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

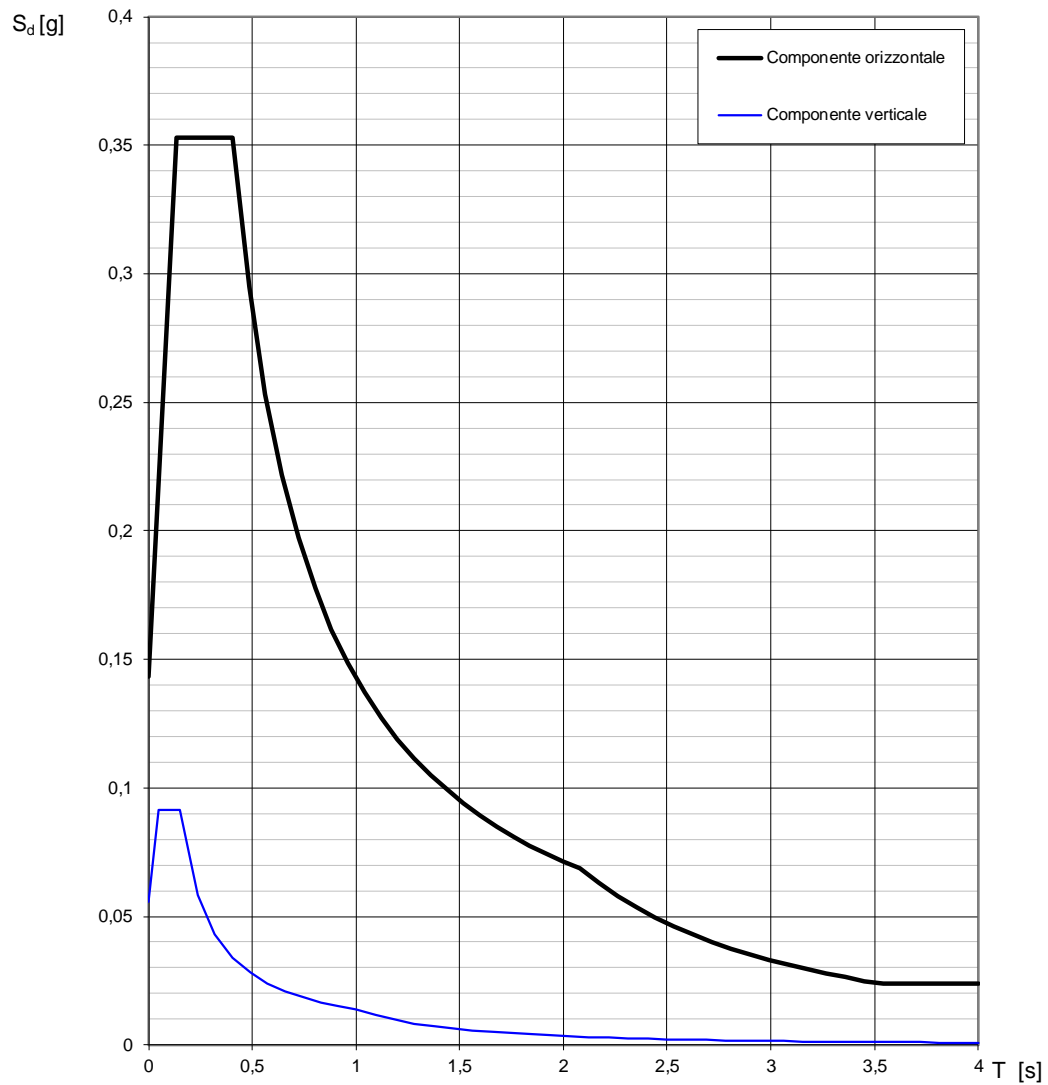
$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

### Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,184
$T_B$	0,136	0,455
$T_C$	0,408	0,455
	0,494	0,375
	0,580	0,320
	0,666	0,278
	0,752	0,247
	0,838	0,221
	0,924	0,201
	1,010	0,184
	1,096	0,169
	1,182	0,157
	1,268	0,146
	1,354	0,137
	1,440	0,129
	1,526	0,121
	1,612	0,115
	1,698	0,109
	1,784	0,104
	1,870	0,099
	1,957	0,095
	2,043	0,091
	2,129	0,087
$T_D$	2,215	0,084
	2,300	0,078
	2,385	0,072
	2,470	0,067
	2,555	0,063
	2,640	0,059
	2,725	0,055
	2,810	0,052
	2,895	0,049
	2,980	0,046
	3,065	0,044
	3,150	0,041
	3,235	0,039
	3,320	0,037
	3,405	0,035
	3,490	0,034
	3,575	0,032
	3,660	0,031
	3,745	0,031
	3,830	0,031
	3,915	0,031
	4,000	0,031

**Figura 10.2 – Tabulato spettro di risposta SLC**

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

**Figura 10.3 – Grafico spettro di risposta SLV**

## Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLV

### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0,119 g
$F_o$	2,464
$T_C$	0,286 s
$S_S$	1,200
$C_C$	1,413
$S_T$	1,000
$q$	1,000

### Parametri dipendenti

$S$	1,200
$\eta$	1,000
$T_B$	0,135 s
$T_C$	0,404 s
$T_D$	2,077 s

### Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C/3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

### Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

### Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,143
$T_B$	0,135	0,353
$T_C$	0,404	0,353
	0,484	0,295
	0,564	0,253
	0,643	0,222
	0,723	0,197
	0,803	0,178
	0,882	0,162
	0,962	0,148
	1,042	0,137
	1,121	0,127
	1,201	0,119
	1,281	0,111
	1,360	0,105
	1,440	0,099
	1,520	0,094
	1,599	0,089
	1,679	0,085
	1,759	0,081
	1,838	0,078
	1,918	0,074
	1,998	0,071
$T_D$	2,077	0,069
	2,169	0,063
	2,261	0,058
	2,352	0,054
	2,444	0,050
	2,535	0,046
	2,627	0,043
	2,718	0,040
	2,810	0,038
	2,901	0,035
	2,993	0,033
	3,085	0,031
	3,176	0,029
	3,268	0,028
	3,359	0,026
	3,451	0,025
	3,542	0,024
	3,634	0,024
	3,725	0,024
	3,817	0,024
	3,908	0,024
	4,000	0,024

**Figura 10.4 – Spettro di risposta in forma tabellare per lo stato limite SLV**

## SLD

### Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite SLD

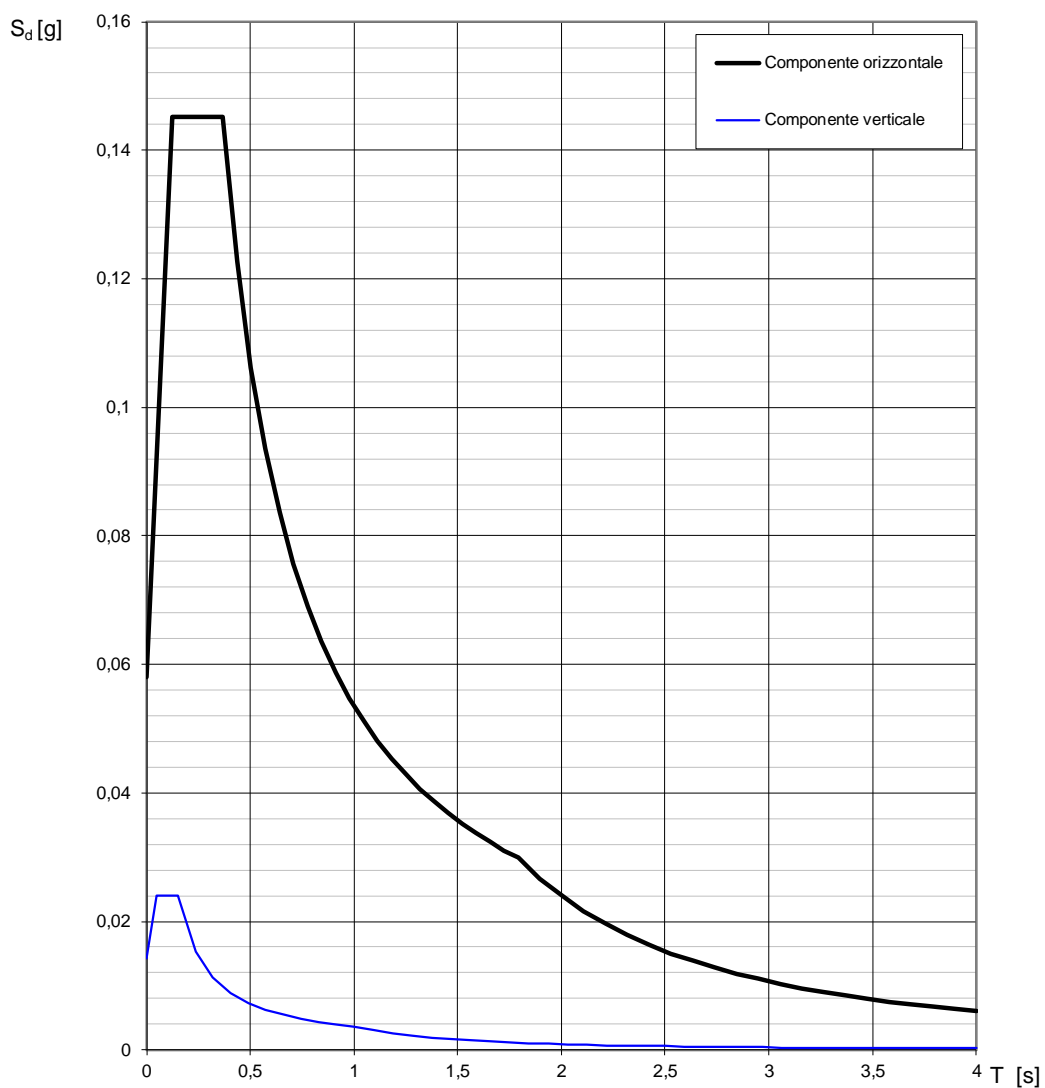


Figura 10.5 – Spettro di risposta stato limite SLD



## Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLD

### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
$a_g$	0,048 g
$F_o$	2,507
$T_c$	0,255 s
$S_s$	1,200
$C_c$	1,446
$S_T$	1,000
$q$	1,000

### Parametri dipendenti

$S$	1,200
$\eta$	1,000
$T_B$	0,123 s
$T_C$	0,369 s
$T_D$	1,793 s

### Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_c/3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_c = C_c \cdot T_c^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

### Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

### Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,058
$T_B$	0,123	0,145
$T_C$	0,369	0,145
	0,437	0,123
	0,504	0,106
	0,572	0,094
	0,640	0,084
	0,708	0,076
	0,776	0,069
	0,844	0,064
	0,911	0,059
	0,979	0,055
	1,047	0,051
	1,115	0,048
	1,183	0,045
	1,251	0,043
	1,318	0,041
	1,386	0,039
	1,454	0,037
	1,522	0,035
	1,590	0,034
	1,657	0,032
	1,725	0,031
$T_D$	1,793	0,030
	1,898	0,027
	2,003	0,024
	2,108	0,022
	2,213	0,020
	2,319	0,018
	2,424	0,016
	2,529	0,015
	2,634	0,014
	2,739	0,013
	2,844	0,012
	2,949	0,011
	3,054	0,010
	3,159	0,010
	3,264	0,009
	3,369	0,008
	3,475	0,008
	3,580	0,007
	3,685	0,007
	3,790	0,007
	3,895	0,006
	4,000	0,006

**Figura 10.6 – Tabulato spettro di risposta SLD**

## SLO

### Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite SLO

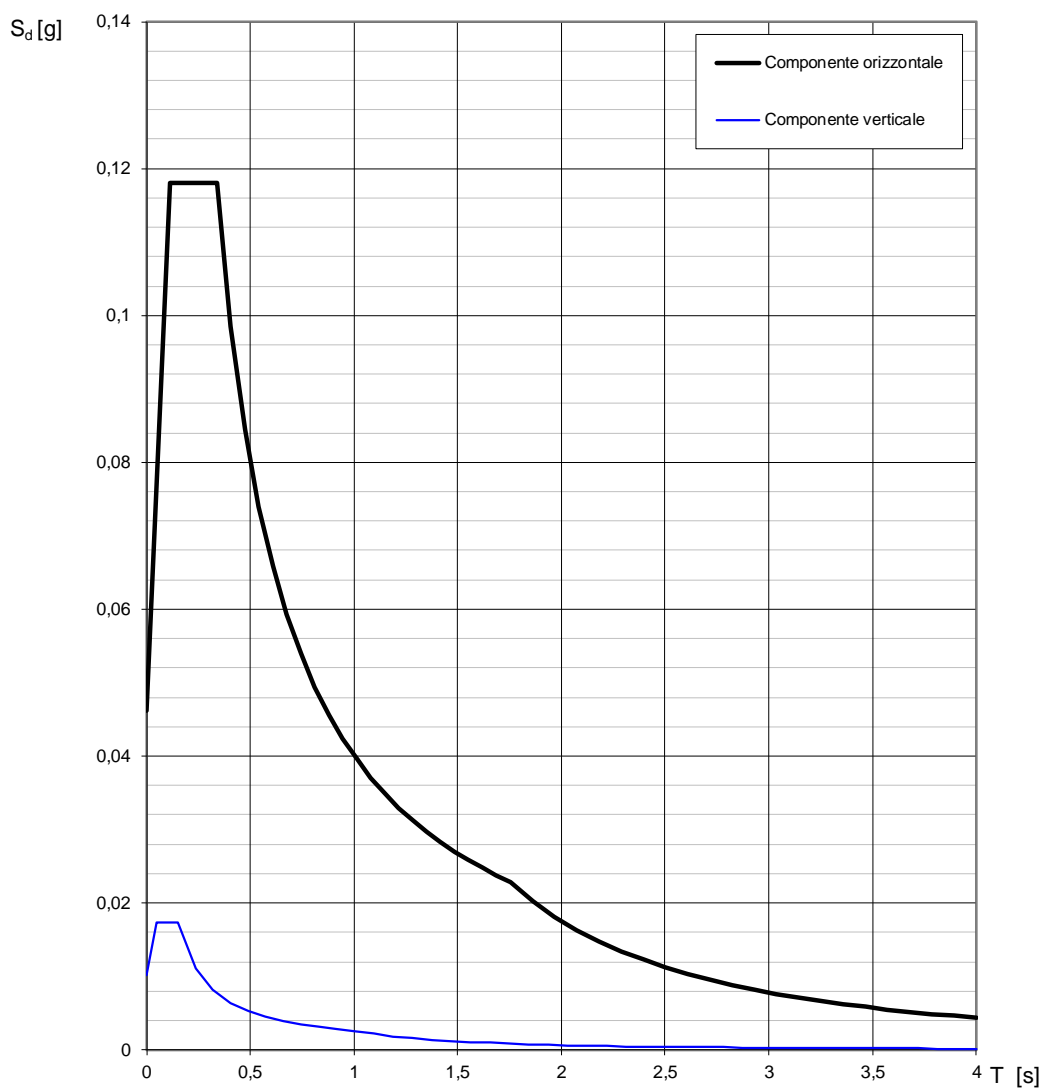


Figura 10.7 – Grafico spettro di risposta SLO

## Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLO

### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLO
$a_g$	0,039 g
$F_o$	2,553
$T_c$	0,230 s
$S_s$	1,200
$C_c$	1,476
$S_T$	1,000
$q$	1,000

### Parametri dipendenti

$S$	1,200
$\eta$	1,000
$T_B$	0,113 s
$T_C$	0,340 s
$T_D$	1,754 s

### Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_c/3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_c = C_c \cdot T_c^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

### Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

### Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,046
$T_B$	0,113	0,118
$T_C$	0,340	0,118
	0,407	0,099
	0,474	0,085
	0,542	0,074
	0,609	0,066
	0,676	0,059
	0,744	0,054
	0,811	0,049
	0,878	0,046
	0,946	0,042
	1,013	0,040
	1,081	0,037
	1,148	0,035
	1,215	0,033
	1,283	0,031
	1,350	0,030
	1,417	0,028
	1,485	0,027
	1,552	0,026
	1,619	0,025
	1,687	0,024
$T_D$	1,754	0,023
	1,861	0,020
	1,968	0,018
	2,075	0,016
	2,182	0,015
	2,289	0,013
	2,396	0,012
	2,503	0,011
	2,610	0,010
	2,717	0,010
	2,824	0,009
	2,931	0,008
	3,037	0,008
	3,144	0,007
	3,251	0,007
	3,358	0,006
	3,465	0,006
	3,572	0,006
	3,679	0,005
	3,786	0,005
	3,893	0,005
	4,000	0,004

**Figura 10.8 – Tabulato spettro di risposta SLO**

## Spettri Area Sud

### Parametri di calcolo

Coordinate (ED50)	45,083196° N; 9,488273° E
Categoria topografica	T1
Categoria di suolo	C
Vita nominale	50 anni
Coefficiente d'uso Cu	2
Vita di riferimento VR	100 anni

## SLC

### Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite SLC

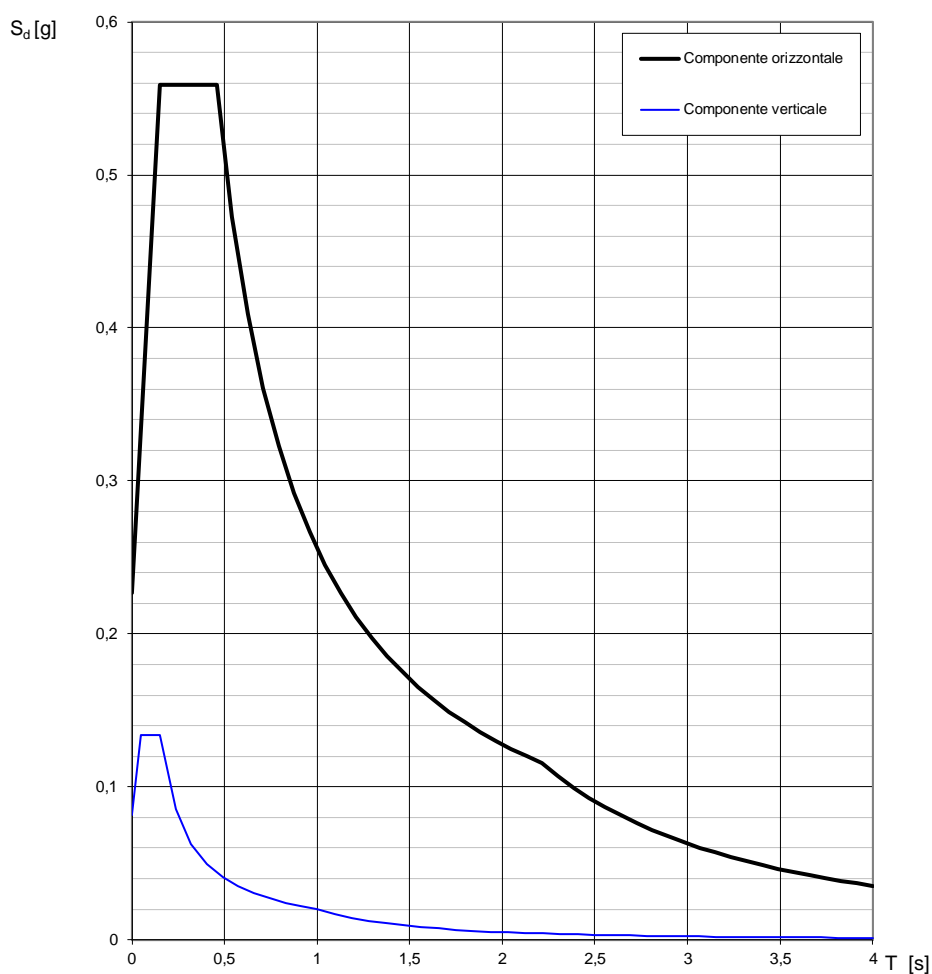


Figura 10.9 – Grafico spettro di risposta SLC



## Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLC

### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLC
$a_g$	0,154 g
$F_o$	2,465
$T_c$	0,289 s
$S_s$	1,472
$C_c$	1,581
$S_T$	1,000
$q$	1,000

### Parametri dipendenti

$S$	1,472
$\eta$	1,000
$T_B$	0,152 s
$T_C$	0,457 s
$T_D$	2,216 s

### Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_c/3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_c = C_c \cdot T_c^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

### Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

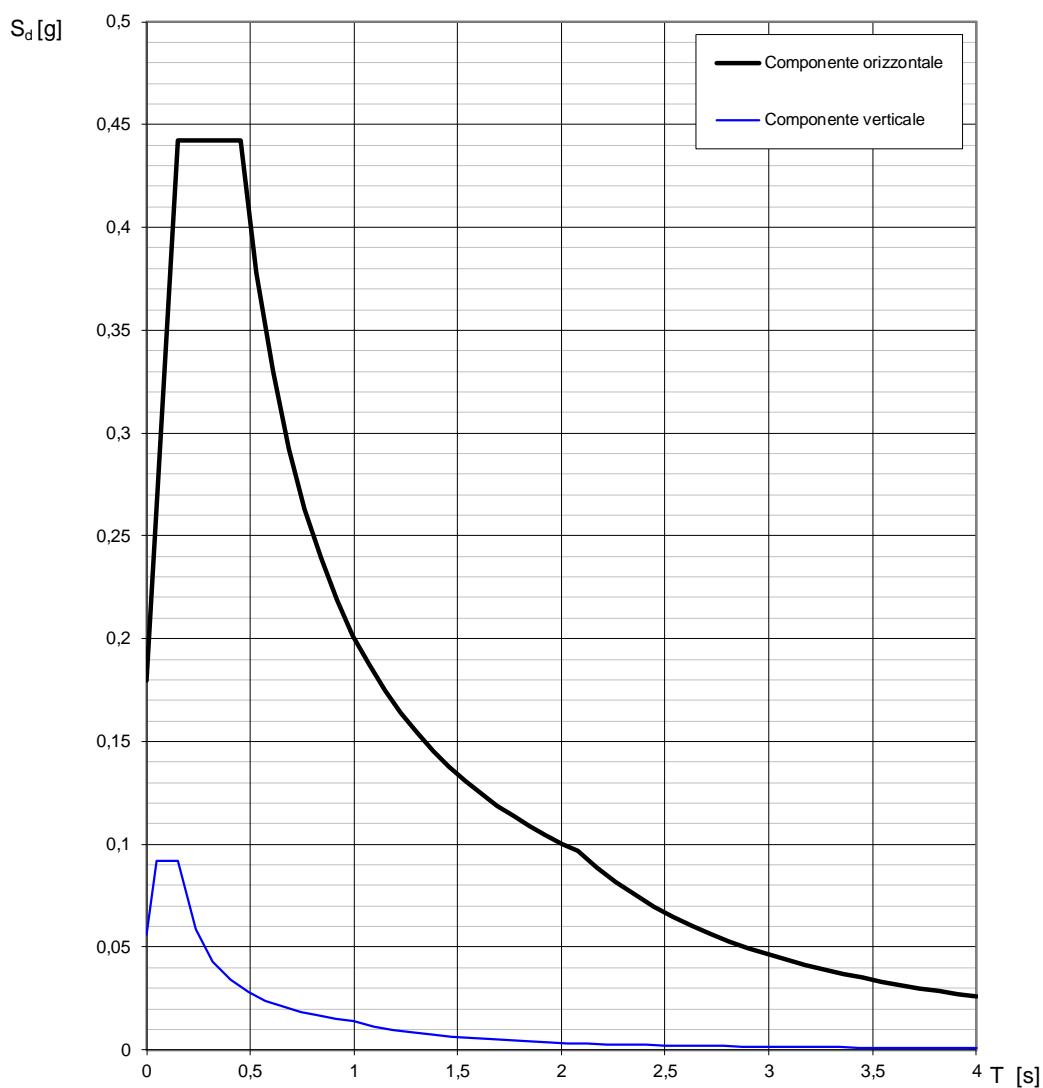
### Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,227
$T_B$	0,152	0,559
$T_C$	0,457	0,559
	0,541	0,472
	0,625	0,409
	0,709	0,361
	0,792	0,323
	0,876	0,292
	0,960	0,266
	1,044	0,245
	1,127	0,227
	1,211	0,211
	1,295	0,197
	1,378	0,185
	1,462	0,175
	1,546	0,165
	1,630	0,157
	1,713	0,149
	1,797	0,142
	1,881	0,136
	1,965	0,130
	2,048	0,125
	2,132	0,120
$T_D$	2,216	0,115
	2,301	0,107
	2,386	0,100
	2,471	0,093
	2,556	0,087
	2,641	0,081
	2,726	0,076
	2,811	0,072
	2,896	0,068
	2,980	0,064
	3,065	0,060
	3,150	0,057
	3,235	0,054
	3,320	0,051
	3,405	0,049
	3,490	0,046
	3,575	0,044
	3,660	0,042
	3,745	0,040
	3,830	0,039
	3,915	0,037
	4,000	0,035

**Figura 10.10 . Tabulato dei punti dello spettro di risposta SLC**

**SLV**

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



**Figura 10.11 – Grafico spettro di risposta per lo stato limite SLV**

## Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLV

### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0,120 g
$F_o$	2,465
$T_c$	0,286 s
$S_s$	1,500
$C_c$	1,587
$S_T$	1,000
$q$	1,000

### Parametri dipendenti

$S$	1,500
$\eta$	1,000
$T_B$	0,151 s
$T_C$	0,454 s
$T_D$	2,079 s

### Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_c/3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_c = C_c \cdot T_c^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

### Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

### Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,179
$T_B$	0,151	0,442
$T_C$	0,454	0,442
	0,531	0,378
	0,609	0,330
	0,686	0,293
	0,763	0,263
	0,841	0,239
	0,918	0,219
	0,996	0,202
	1,073	0,187
	1,150	0,175
	1,228	0,164
	1,305	0,154
	1,382	0,145
	1,460	0,138
	1,537	0,131
	1,614	0,124
	1,692	0,119
	1,769	0,114
	1,846	0,109
	1,924	0,104
	2,001	0,100
$T_D$	2,079	0,097
	2,170	0,089
	2,262	0,082
	2,353	0,075
	2,445	0,070
	2,536	0,065
	2,628	0,060
	2,719	0,056
	2,811	0,053
	2,902	0,050
	2,994	0,047
	3,085	0,044
	3,177	0,041
	3,268	0,039
	3,360	0,037
	3,451	0,035
	3,543	0,033
	3,634	0,032
	3,726	0,030
	3,817	0,029
	3,909	0,027
	4,000	0,026

**Figura 10.12 – Punti costitutivi dello spettro di risposta SLV**

## SLD

### Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite SLD

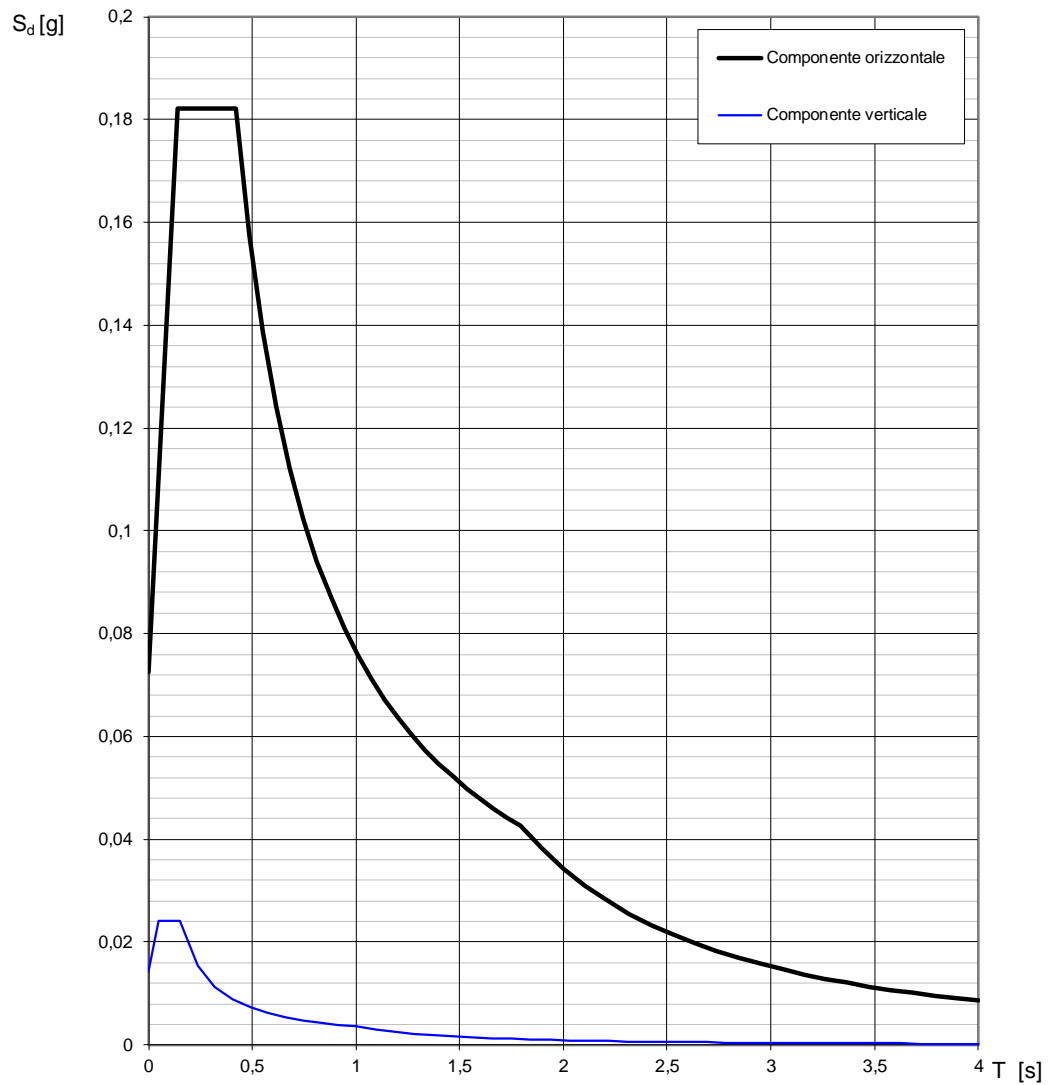


Figura 10.13 – grafico spettro di risposta SLD



## Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLD

### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
$a_g$	0,048 g
$F_o$	2,508
$T_c$	0,255 s
$S_s$	1,500
$C_c$	1,648
$S_T$	1,000
$q$	1,000

### Parametri dipendenti

$S$	1,500
$\eta$	1,000
$T_B$	0,140 s
$T_C$	0,420 s
$T_D$	1,794 s

### Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_c / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_c = C_c \cdot T_c^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

### Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

### Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,073
$T_B$	0,140	0,182
$T_C$	0,420	0,182
	0,486	0,158
	0,551	0,139
	0,617	0,124
	0,682	0,112
	0,747	0,102
	0,813	0,094
	0,878	0,087
	0,943	0,081
	1,009	0,076
	1,074	0,071
	1,140	0,067
	1,205	0,064
	1,270	0,060
	1,336	0,057
	1,401	0,055
	1,467	0,052
	1,532	0,050
	1,597	0,048
	1,663	0,046
	1,728	0,044
$T_D$	1,794	0,043
	1,899	0,038
	2,004	0,034
	2,109	0,031
	2,214	0,028
	2,319	0,026
	2,424	0,023
	2,529	0,021
	2,634	0,020
	2,739	0,018
	2,844	0,017
	2,949	0,016
	3,054	0,015
	3,159	0,014
	3,265	0,013
	3,370	0,012
	3,475	0,011
	3,580	0,011
	3,685	0,010
	3,790	0,010
	3,895	0,009
	4,000	0,009

**Figura 10.14 – tabulato dei punti dello spettro di risposta SLD**

## SLO

### Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite SLO

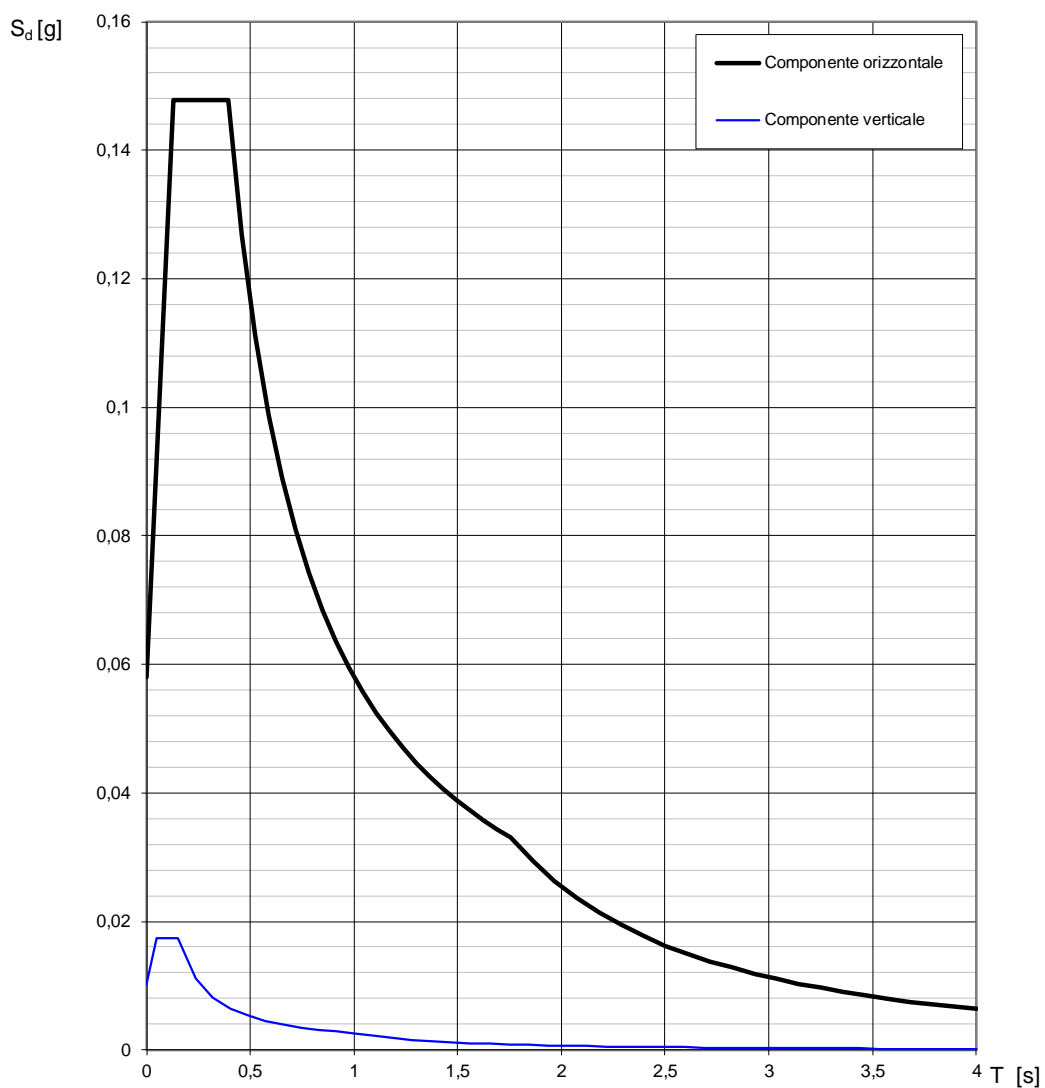


Figura 10.15 – Spettro di risposta SLO

## Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLO

### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLO
$a_g$	0,039 g
$F_o$	2,552
$T_C$	0,230 s
$S_S$	1,500
$C_C$	1,705
$S_T$	1,000
$q$	1,000

### Parametri dipendenti

$S$	1,500
$\eta$	1,000
$T_B$	0,131 s
$T_C$	0,392 s
$T_D$	1,755 s

### Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C/3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

### Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

### Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,058
$T_B$	0,131	0,148
$T_C$	0,392	0,148
	0,457	0,127
	0,522	0,111
	0,587	0,099
	0,652	0,089
	0,717	0,081
	0,782	0,074
	0,846	0,069
	0,911	0,064
	0,976	0,059
	1,041	0,056
	1,106	0,052
	1,171	0,050
	1,236	0,047
	1,300	0,045
	1,365	0,043
	1,430	0,041
	1,495	0,039
	1,560	0,037
	1,625	0,036
	1,690	0,034
$T_D$	1,755	0,033
	1,861	0,029
	1,968	0,026
	2,075	0,024
	2,182	0,021
	2,289	0,019
	2,396	0,018
	2,503	0,016
	2,610	0,015
	2,717	0,014
	2,824	0,013
	2,931	0,012
	3,038	0,011
	3,145	0,010
	3,252	0,010
	3,358	0,009
	3,465	0,008
	3,572	0,008
	3,679	0,008
	3,786	0,007
	3,893	0,007
	4,000	0,006

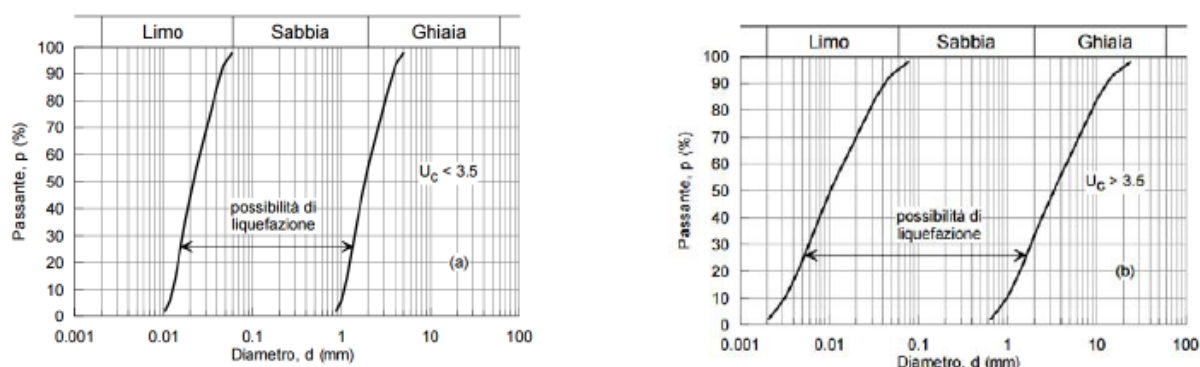
**Figura 10.16 – Tabulato punti spettro di risposta SLO**

## 10 POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Valutazioni circa la possibilità o meno di sviluppo di fenomeni di liquefazione durante eventuali attività sismiche vanno svolte in presenza di terreni granulari saturi, con fuso granulometrico a dominanza sabbiosa in condizioni sature. La liquefazione è una diminuzione di resistenza a taglio e/o rigidità causata dall'aumento di pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo, durante lo scuotimento sismico, tale da generare deformazioni permanenti significative o persino l'annullamento degli sforzi efficaci nel terreno.

L'aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni (NTC2018), così come già in parte riportato nelle NTC 2008, indica che le verifiche alla liquefazione per le opere possono essere omesse quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- accelerazioni massime attese al piano campagna in condizioni di campo libero inferiori a 0.1g;
- profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna suborizzontale e per strutture con fondazioni superficiali;
- depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N1)_{60} > 30$  oppure  $qc_{1N} > 180$  dove  $(N1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $qc_{1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
- distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 23(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  e in Figura 23(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .



**Figura 10.1 - Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione ai sensi delle NTC**



La valutazione del potenziale di liquefazione viene usualmente effettuata in due fasi: una fase di verifica preliminare di suscettibilità in cui si valutano le caratteristiche geologiche generali che possano eventualmente escludere delle verifiche analitiche del potenziale di valutazione. Di seguito si riporta un'immagine da cui si evince, essendo i depositi di età olocenica di letto fluviale e con falda a bassa profondità della falda, che la probabilità di liquefazione è da media ad alta, per cui occorre una verifica analitica.

### Criterio geologico

<i><b>Età del deposito</b></i>	<i><b>Profondità della falda</b></i>		
	<i><b>&lt; 9 m</b></i>	<i><b>9 ÷ 15 m</b></i>	<i><b>&gt; 15 m</b></i>
Olocene recente	Elevata	Bassa	Molto bassa
Alto Olocene	Moderata	Bassa	Molto bassa
Pleistocene recente	Bassa	Bassa	Molto bassa
Pleistocene antico e depositi anteriori	Molto bassa	Molto bassa	Molto bassa

<i><b>Categoria</b></i>	<i><b>Morfologia</b></i>	<i><b>Liquefazione</b></i>
A	Letti di fiume, antichi e recenti, paludi, terreni di bonifica, zone interdunari	Probabile
B	Conoidi, argini naturali, dune, pianure di esondazione, spiagge	Possibile
C	Terrazzi, colline, montagne	Improbabile

**Figura 10.2 - Criterio geologico per la valutazione di massima della suscettibilità alla liquefazione (fonte [Microsoft PowerPoint - 13b Liquefazione AA-2012\\_13.pptx \(unifi.it\)](#)).**

La verifica analitica può essere effettuata tenendo conto delle indagini geofisiche che sono state eseguite nelle aree di progetto, adottando il metodo di Andrus e Stokoe modificato (1997), che tiene conto delle onde di taglio. Per la verifica si tiene conto dei 4 orizzonti individuati dalle indagini (vedi paragrafo a seguire), verificando la condizione di liquefacibilità per la zona di tetto, che presenta le minori velocità delle onde di taglio, assumendo quindi un atteggiamento cautelativo. Il primo orizzonte, avendo un comportamento spiccatamente coesivo, viene omesso dalle verifiche; la falda è considerata a 2 m dal p.c..

La magnitudo massima è quella espressa regionalmente per la zona sismogenica di riferimento, mentre l'accelerazione è quella di normativa prevista per il comune di Sarmato, ovvero 0,15 g.

### Verifica II Orizzonte (2,5 m; 170 m/s)

VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE									
(da prove sismiche a rifrazione)									
Metodo semplificato									
Metodo di Andrus e Stokoe (1997) modificato									
PARAMETRI:									
$\gamma$	=	1,8	g/cm <sup>3</sup>						
$\sigma_{vo}$	=	0,45	kg/cm <sup>2</sup>						
$\sigma_{vo'}$	=	0,4	kg/cm <sup>2</sup>						
profondità della prova	=	250	cm						
profondità falda	=	200	cm						
$\gamma_{IDO}$	=	1	g/cm <sup>3</sup>						
Pressione neutra	=	0,05	kg/cm <sup>2</sup>						
z	=	2,5	m						
$V_s$	=	170							
$V_{S1C}$	=	220	m/s	FC<5%	FC=20%	FC>35%			
				220	210	200			
$V_{S1}$	=	213,76							
M	=	5,5							
MSF	=	2,78	se $M \leq 7,5$						
		2,21	se $M > 7,5$						
FORMULE:					RISULTATI:				
$V_{S1}$	=	$V_s(1/\sigma_{vo})^{0,25}$			213,76		$V_{S1}$		
R	=	$0,03 \cdot (V_{S1}/100)^2 + (0,9/(V_{S1C}-V_{S1})) \cdot (0,9/V_{S1C})$			0,277309777		R		
T	=	$0,65 \cdot ((a_{max}/g) \cdot (\sigma_{vo}/\sigma_{vo'}))^{1/MSF}$	se $M \leq 7,5$		0,03187617		$T_{M \leq 7,5}$		
			se $M > 7,5$		0,040114365		$T_{M > 7,5}$		
$a_{max}/g$	=	0,15							
$r_d$	=	0,80875							
Fs=R/T	>	1		se $M \leq 7,5$	8,699595159		Verificato Fs		
				se $M > 7,5$	6,91297942		Verificato Fs		

Figura 10.3 – Verifica a liquefazione II orizzonte: la verifica è soddisfatta, l'orizzonte non risulta liquefacibile.

### Verifica III Orizzonte (12,0 m; 300 m/s)

VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE									
(da prove sismiche a rifrazione)									
Metodo semplificato									
Metodo di Andrus e Stokoe (1997) modificato									
PARAMETRI:									
$\gamma$	=	1,8	g/cm <sup>3</sup>						
$\sigma_{vo}$	=	2,16	kg/cm <sup>2</sup>						
$\sigma_{vo'}$	=	1,16	kg/cm <sup>2</sup>						
profondità della prova	=	1200	cm						
profondità falda	=	200	cm						
$\gamma_{IDO}$	=	1	g/cm <sup>3</sup>						
Pressione neutra	=	1	kg/cm <sup>2</sup>						
z	=	12	m						
$V_s$	=	300							
$V_{S1C}$	=	220	m/s	FC<5%	FC=20%	FC>35%			
				220	210	200			
$V_{S1}$	=	289,07							
M	=	5,5							
MSF	=	2,78	se $M \leq 7,5$						
		2,21	se $M > 7,5$						
FORMULE:					RISULTATI:				
$V_{S1}$	=	$V_s(1/\sigma_{vo})^{0,25}$			289,07		$V_{S1}$		
R	=	$0,03 \cdot (V_{S1}/100)^2 + (0,9/(V_{S1C}-V_{S1})) \cdot (0,9/V_{S1C})$			0,233568007		R		
T	=	$0,65 \cdot ((a_{max}/g) \cdot (\sigma_{vo}/\sigma_{vo'}))^{1/MSF}$	se $M \leq 7,5$		0,005349448		$T_{M \leq 7,5}$		
			se $M > 7,5$		0,006731978		$T_{M > 7,5}$		
$a_{max}/g$	=	0,15							
$r_d$	=	0,082							
Fs=R/T	>	1		se $M \leq 7,5$	43,66207983		Verificato Fs		
				se $M > 7,5$	34,69529947		Verificato Fs		

Figura 10.4 – Verifica III Orizzonte: la verifica è soddisfatta, l'orizzonte non risulta liquefacibile.



Il tetto del quarto orizzonte è posto a profondità maggiore di 20 m, per cui è possibile omettere la verifica, in quanto a tale profondità la liquefazione non è possibile a causa della tensione di confinamento.

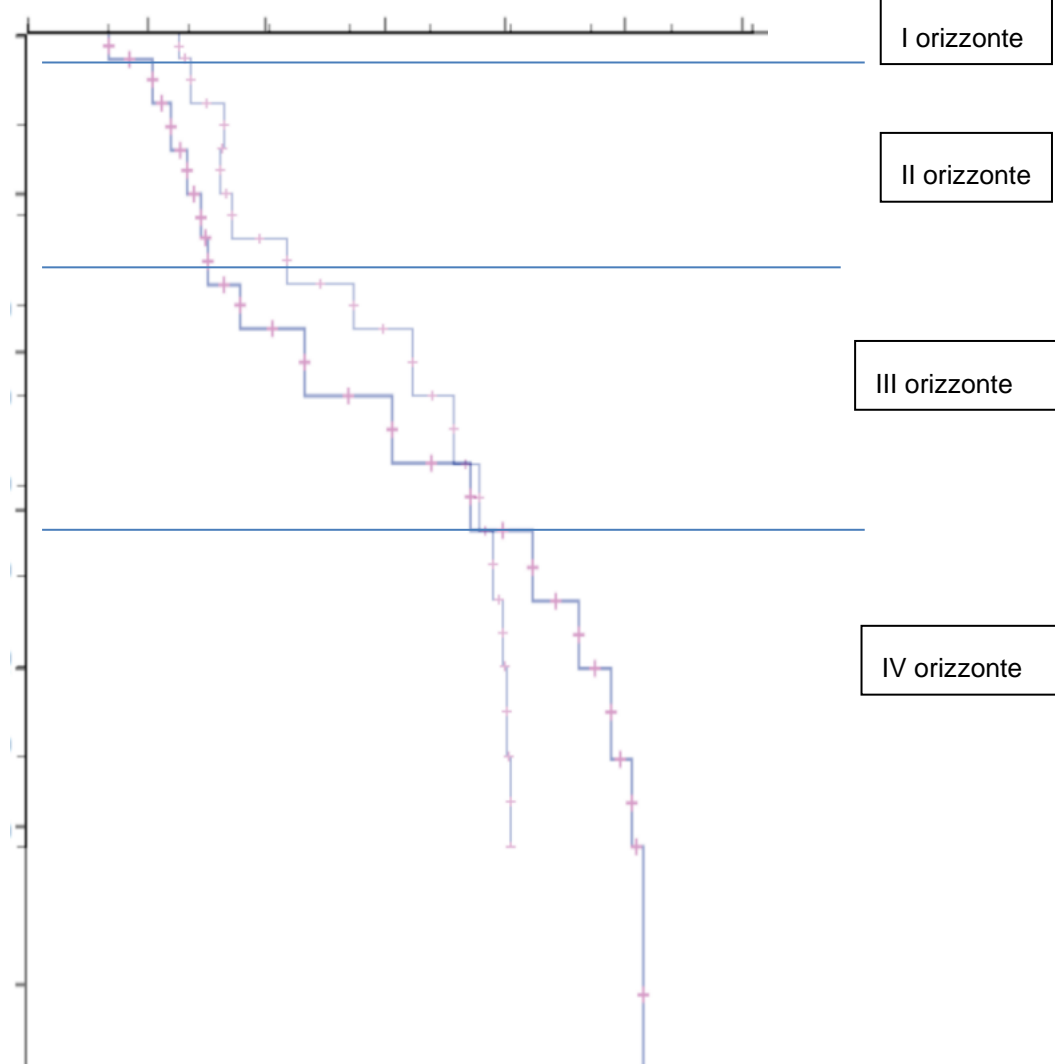
In definitiva, pur essendo la velocità delle onde di taglio piuttosto bassa negli orizzonti sottoposti a verifica, la liquefazione non avviene a causa delle accelerazioni attese al suolo piuttosto basse, nonostante l'area sia passata dalla categoria 4 alla categoria 3 nel 2018, a seguito della riclassificazione susseguente il sisma del 2012 che ha colpito l'area emiliana.

## 11 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Sulla base dei dati tratti dalla bibliografia specifica di settore e soprattutto grazie alle indagini geofisiche messe a disposizione dalla committenza (n°2 profili MASW) e alla presenza di n°2 sondaggi a carotaggio continuo effettuati nei dintorni, è possibile ricostruire un modello di riferimento per la caratterizzazione geologica e geotecnica delle aree di progetto. Occorre preliminarmente dire che, pur mostrando categorie di sottosuolo differenti, i modelli di velocità delle onde S mostrano un andamento simile, con orizzonti piuttosto chiaramente assimilabili, ragion per cui si ritiene opportuno fornire il medesimo modello geotecnico per le due aree.

Le due aree presentano andamento simile, ma non sovrapponibile, come visibile nella figura di seguito, ottenuta scalando i due grafici e sovrapponendoli. È possibile distinguere in entrambi i grafici 4 orizzonti significativi in termini di rigidità sismica, con un generale miglioramento delle caratteristiche meccaniche con la profondità, andamento da ritenersi comune a causa dell'aumento della tensione litostatica. Il primo orizzonte corrisponde all'orizzonte superficiale a tessitura limosa e in parte sabbiosa, mentre gli orizzonti sottostanti sono tutti a netta dominanza sabbiosa (vedi colonne stratigrafiche disponibili nel paragrafo di caratterizzazione locale), con minori frazioni ghiaiose e localmente limose.

Il profilo litotecnico è quindi caratterizzato da un orizzonte superficiale a carattere coesivo, seguito da un profilo altrove spiccatamente attritivo, con valori geotecnici in miglioramento con la profondità. Un tratto del cavidotto affronterà l'attraversamento di un canale di bonifica, da effettuare in TOC (Trivellazione Orizzontale Controllata, tecnologia *no-dig*); tale scelta progettuale impone una ottima conoscenza delle caratteristiche geologiche e geotecniche, poiché la presenza di eventuali orizzonti con ghiaie grosse, ciottoli e blocchi può impedire tale soluzione tecnica o condizionarla pesantemente.



**Figura 11.1 – Sovrapposizione profili di velocità MASW1 e MASW2 e definizione degli orizzonti significativi.**

A seguire si riporta la tabella di riferimento dei parametri geotecnici da utilizzare in sede di calcolo, ricordando che l'Area Nord ha Categoria di suolo B e l'Area Sud ha categoria C.

Orizzonte	Litologia presunta	Profondità (m)	Peso di volume $\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	Angolo di attrito $\phi$ (°)	Coesione $c'$ (kPa)	Coesione non drenata $c_u$ (kPa)
I	Limi di copertura	0,0-1,5	1,7	22	8	18
II	Sabbie prevalenti (limosa e ghiaiosa a tratti)	1,5-10,0	1,8	30-32	0-2	0-4
III	Sabbie prevalenti con ghiaia	10,0-19,0	1,9	35	0	0
IV	Sabbie prevalenti	19,0-35,0	2,0	32	0-2	0-4





## 12 CONCLUSIONI

Lo studio ha consentito di inquadrare le principali caratteristiche di natura geologico-tecnica del territorio interessato dalle opere in progetto, al fine di fornire un panorama delle conoscenze dell'area ed effettuare una valutazione, sotto il profilo progettuale, per caratterizzare i terreni interessati da tutte le diverse tipologie di opere.

Questa prima analisi delle caratteristiche geologico-tecniche dell'area è stata condotta partendo da un insieme di dati bibliografici e cartografici, integrati con la realizzazione di indagini geofisiche direttamente in situ e ha permesso di evidenziare le caratteristiche geomorfologiche e litostratigrafiche del contesto naturale in cui saranno inserite le opere in progetto.

Dal punto di vista litologico, sull'area rilevata, i terreni affioranti sono rappresentati da alluvioni limose superficialmente, seguiti da una successione a prevalente carattere sabbioso, talora con modeste frazioni limose e più comuni frazioni ghiaiose.

L'area è caratterizzata da un assetto planimetrico privo di dislivelli significativi e con pendenza congruentemente molto basse, per cui l'area non è interessata in alcun modo da fenomeni franosi; l'area è d'altronde collocata sulla destra idrografica del fiume Po (distanza sponda attuale-impianto circa 1,1 km) ed è interessata da una fascia considerata a rischio esondazione definita come Fascia C (area di inondazione per piena catastrofica). Si può asserire che l'area di interesse possiede una sostanziale stabilità geomorfologica e che i processi geomorfici sono legati esclusivamente alla dinamica fluviale del Po e del reticolo minore di pianura.

L'area d'interesse progettuale si inserisce in un contesto di bassa pericolosità sismica, difatti secondo la mappa di classificazione sismica del territorio nazionale, il Comune di Sarmato è classificato in Zona 3, caratterizzata congruentemente da valori di  $a_g$  0.05  $a_g$  – 0.15  $a_g$ .

L'insieme dei dati presentati dovranno essere integrati da un'accurata e puntuale campagna di indagini, da programmare ed effettuare nelle successive fasi di progettazione.

In conclusione, fermo restando le indicazioni e prescrizioni fornite nel presente elaborato, si esprime parere geologico favorevole alla realizzazione del progetto, prestando particolare attenzione tecnica alla realizzazione della TOC, che richiede un'ottima conoscenza delle caratteristiche geologiche e geotecniche dell'area. Si sottolinea inoltre che l'area è caratterizzata da falda a bassa profondità, per cui è da attendersi che gli scavi possano essere interessati da fenomeni di allagamento e rifluimento, in particolare appena sia oltrepassata la coltre superficiale limosa; occorre quindi prevedere la stabilizzazione preventiva di eventuali fronti di scavo.



EGP CODE

**GRE.EEC.K.21.IT.P.12082.00.119.02**

PAGE

69 di/of 69

### 13 BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- Carta Tecnica Regionale 1:5000 – Geoportale Emilia Romagna
- Rischio sismico comune di Sarmato: <https://www.tuttitalia.it/emilia-romagna/80-sarmato/rischio-sismico/>
- Sito INGV: <http://zonesismiche.mi.ingv.it/>
- <https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/suolo>
- <https://pai.adbpo.it/index.php/documentazione-pai/>