



**Realizzazione di un impianto fotovoltaico
di potenza 19,94 MWp
presso Camposanto (MO)
e relative opere di connessione**

Progetto definitivo

Proponente

PV Italy 1 S.r.l.

Via Fabio Filzi, 7 - 20124 Milano (MI)

CF e PIVA 11515530969

OX2-1_PD_PEC_REL06

RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA-SISMICA

COMMESSA				LIVELLO	AMB.	ELAB.	NUM.	NOME FILE		SCALA
O	X	2	01	PD	PEC	REL	06	OX2-1_PD_PEC_REL06		-
REV.	DATA			REDAZIONE		VERIFICA		APPROVAZIONE	VERIFICATO	DESCRIZIONE
0	19 maggio 2025			S. Caponi		F. Pica.		F. Pica		Consegna
1										
2										
3										



COMPANY WITH
MANAGEMENT SYSTEM
CERTIFIED BY DNV GL
= ISO 9001 =
= ISO 14001 =
= ISO 45001 =

Sede di Roma

Via Cristoforo Colombo, 149 - 00147

Roma (RM)

Tel. 06/45678571

Web page: www.ambientesc.it

Altre sedi principali

Carrara (sede legale e operativa) Via Frassina, 21 - 54033 Carrara (MS) -
Tel. 0585/855624 - Fax. 0585/855617

Firenze Via di Soffiano, 15 - 50143 Firenze (FI) - Tel. 055/7399056 - Fax
055/7134442

Milano Via Tibullo, 2 - 20151 Milano (MI) - Tel. 02/45473370

Taranto Via Matera, km 598/I - 74014 Laterza (TA) - Mob. 347/1083531

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

Sommario

1. INTRODUZIONE	2
2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE	3
2.1 Inquadramento geografico	3
2.2 Inquadramento catastale	4
2.3 Rilievo drone e condizioni topografiche	5
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO	8
3.1 Geologia e quadro geodinamico-strutturale	8
3.1.1 Contesto geologico e stratigrafico	10
3.2 Geomorfologia dell'area	14
3.3 Idrogeologia	16
4. PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI)	22
5. PIANO GESTIONE RISCHIO ALLUVIONI (PGRA)	24
5.1 Pericolosità Alluvioni	28
6. INQUADRAMENTO SISMICO	29
6.1 Sorgenti sismogenetiche	30
6.2 Sismicità dell'area di Camposanto (MO)	32
6.3 Pericolosità sismica	33
6.4 Indagini geofisiche in Sito	35
6.4.1 Indagine sismica HVSR	35
6.4.2 Indagine sismica MASW	37
6.4.3 Indagine sismica a rifrazione	41
6.4.4 Determinazione della categoria di suolo di fondazione	52
7. AMPLIFICAZIONE SISMICA DEL SITO	53
7.1 Definizione dell'azione sismica di base	53
7.2 Definizione dell'azione sismica locale	55
7.2.1 Livello 1 di approfondimento	55
7.2.2 Livello 2 di approfondimento - Amplificazione stratigrafica Regione Emilia-Romagna	55
8. PERICOLOSITA' SISMICA DI SITO	58
9. Indagini geognostiche	60
9.1 Prove penetrometriche statiche CPT	60
9.2 Litostratigrafia e caratterizzazione geotecnica	66
10. VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	68
11. CONCLUSIONI	69
12. BIBLIOGRAFIA	70

*Relazione geologica, idrogeologica e sismica***1. INTRODUZIONE**

Il presente documento costituisce la relazione geologica, idrogeologica e sismica inserita all'interno del progetto definitivo *“Realizzazione di un impianto fotovoltaico da 19,94 MW presso Camposanto (MO)*. L'impianto, con una potenza nominale pari a 19,94 MWp e una potenza massima di immissione in rete di 17,6 MW, sarà progettato per integrarsi con la nuova Stazione Elettrica (SE) Terna per poi essere immessa nella rete elettrica nazionale.

Il progetto si propone di realizzare un impianto altamente performante e sostenibile, che sfrutta la tecnologia fotovoltaica per la produzione di energia pulita, con l'obiettivo di ottimizzare l'efficienza e ridurre al minimo l'impatto ambientale.

La presente relazione, sintesi e compendio dei dati disponibili e quelli provenienti da indagini geofisiche eseguite appositamente nell'area di intervento, è finalizzata alla definizione dell'assetto geologico, geomorfologico, idrogeologico e sismico del sito, con particolare riguardo alla definizione delle caratteristiche litostratigrafiche ed alle proprietà fisico meccaniche dei terreni coinvolti dalle opere in progetto, per la valutazione della fattibilità dell'intervento sulla base del modello geologico, sismico e geotecnico preliminare dell'area, necessario alla successiva progettazione esecutiva delle nuove opere di fondazione e strutturali. Tale documento è stato redatto sulla base delle informazioni bibliografiche disponibili e a seguito delle indagini geognostiche e geofisiche che sono state eseguite nell'area di studio.

Nello specifico, nel presente documento si riporta:

- inquadramento territoriale;
- inquadramento geologico, geomorfologico, idrogeologico e sismico;
- risultati delle indagini eseguite;
- analisi dei risultati e indicazioni propedeutiche finalizzate alla successiva fase progettuale.

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

2.1 Inquadramento geografico

L'area in progetto appartiene alla bassa pianura modenese, caratterizzata da una morfologia pianeggiante, è ubicata nella parte centrale della regione dell'Emilia-Romagna, nel comune di Camposanto in provincia di Modena.

L'area è ubicata a nord del centro storico cittadino, in un'area a contesto rurale a destinazione mista artigianale-industriale e agricola. Il lotto indagato da un punto geomorfologico si dispone sub-pianeggiante, ad una quota altimetrica media di 15 m s.l.m., in corrispondenza dei depositi alluvionali argilloso-sabbiosi e sabbioso-argillosi. L'area è delimitata a nord da via Dogaro e dal Fosso Gorzano, a est dall'infrastruttura ferroviaria "Bologna-Verona".

Geograficamente l'area è rappresentata nella CTR RL (Carta Tecnica Regionale della Regione Emilia-Romagna) alla scala 1: 10.000 con coordinate baricentriche dell'area (WGS 84):

Latitudine: 44°48'7.79"N

Longitudine: 11° 8'21.77"E



Figura 1 - Ubicazione del Sito e delle opere di connessione (fonte Google Earth)

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

2.2 Inquadramento catastale

L'area dell'impianto ricade all'interno del Foglio n.13 del catasto del comune di Camposanto, identificato con il codice B566. Di seguito i dati catastali dell'area di studio.

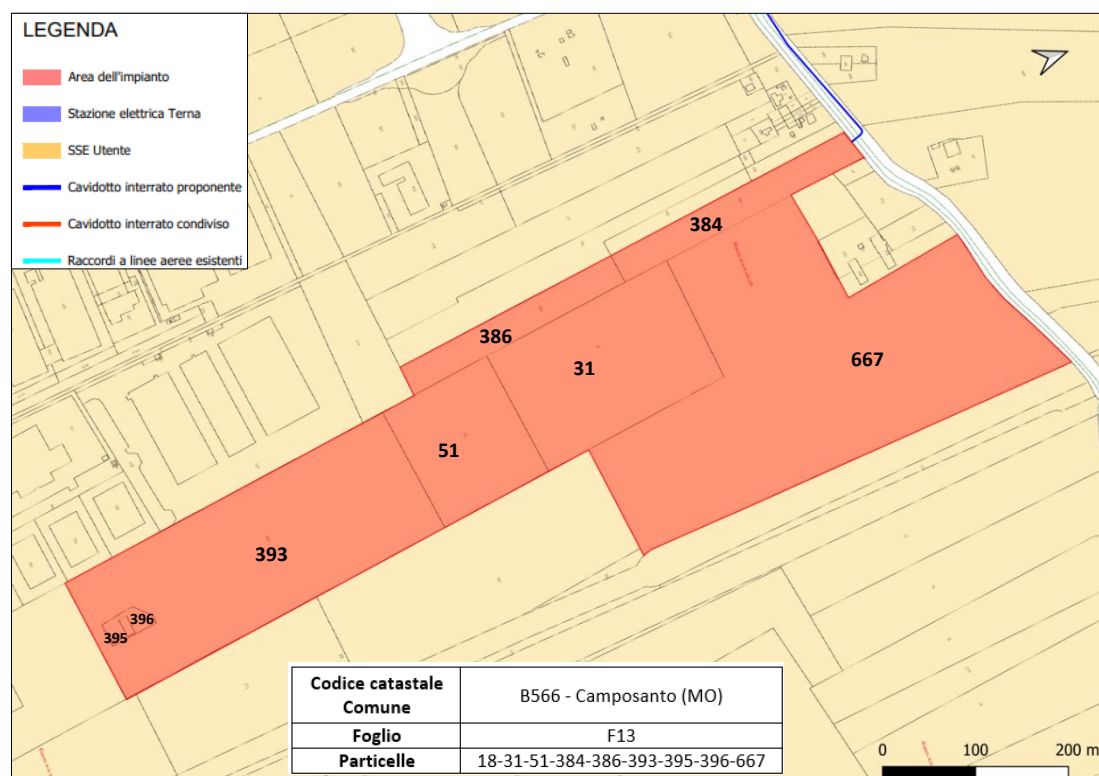


Figura 2 – Stralcio mappa catastale: ubicazione area impianto FV (fonte <https://geoportale.cartografia.agenziaentrate.gov.it/>)

Di seguito vengono forniti i dati catastali dei terreni del Comune di Camposanto (cod. catastale B566) in cui ricadono le opere illustrate in Figura 3 (parte finale del cavidotto MT, cavidotto AT, la SSEU, la SE di Terna):

Descrizione	Cavidotto MT in ingresso (ultimi 30 m)	SSEU	Cavidotto AT	SE di Terna
Foglio	F4			
Particelle	184	184	184-74-70	70-173

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

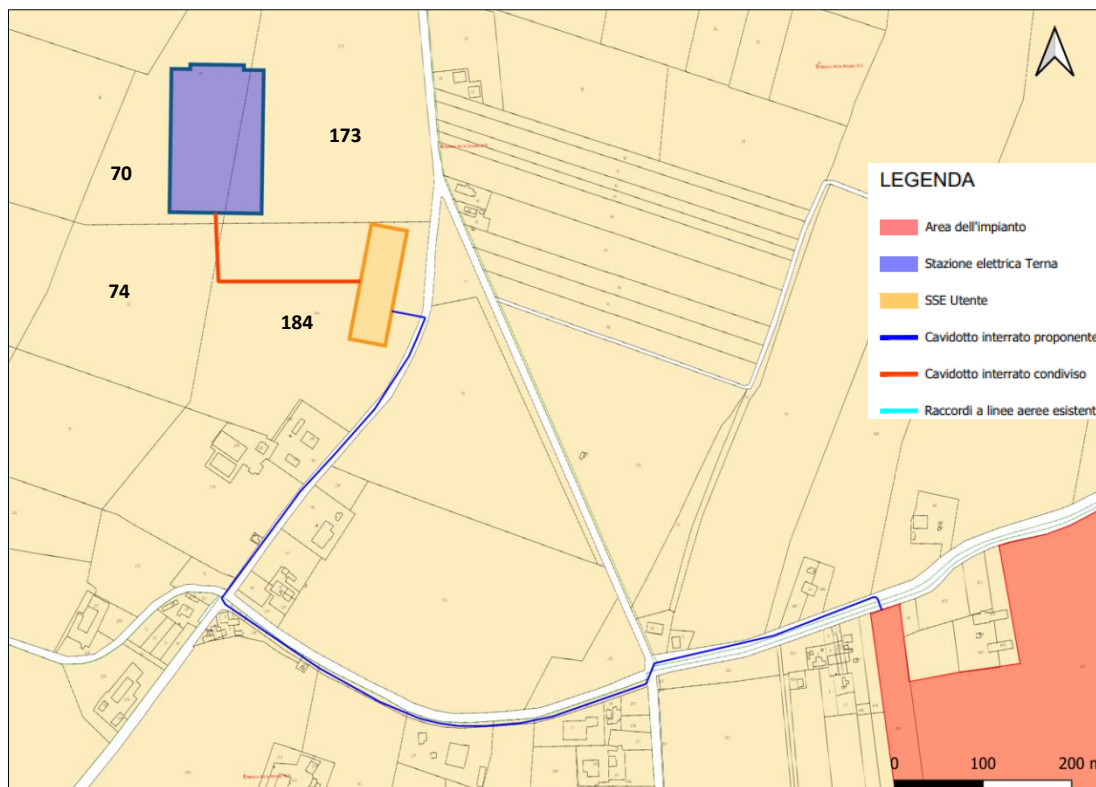


Figura 3 – Stralcio mappa catastale: Ubicazione opere di connessione (cavidotti MT, AT), SE Utente e SSE di Terna (fonte <https://geoportale.cartografia.agenziaentrate.gov.it/>)

2.3 Rilievo drone e condizioni topografiche

L'area dell'impianto che si estende circa 21 ha, è costituita da lotti di terreno per lo più a contesto agricolo, con morfologia pianeggiante e per l'88% (18,5 ha) coltivata. Il restante 12% (2,50 ha), situata nella zona centrale della area impianto, risulta incolta e, fino al 2007 sede del Campo di Volo dei Quattro Cantoni (Figura 4, area in giallo). Al centro dell'area dell'impianto fotovoltaico è presente un'area di circa 4,08 ha (Figura 5) che in passato era adibito a campo per voli leggeri; oggi l'area della pista di atterraggio/decollo risulta ripristinata per uso agricolo mentre l'area piazzale di manovra o sede di manufatti, risulta ancora presente, non demolita. In fase di progettazione verrà considerato anche la demolizione e smaltimento di tale piazzale.

Dal punto di vista topografico, secondo quanto osservato dai sopralluoghi effettuati, dai rilievi eseguiti con drone dell'area impianto e secondo quanto riportato nella tab. 3.2. IV delle NTC 2018, la caratteristica topografica dell'area risulta essere in categoria T1 (superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$).

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

Figura 4 - Ubicazione area impianto FV (rosso) e area ex “Campo di Volo dei Quattro Cantoni” (giallo) (fonte Google Earth)

Relazione geologica, idrogeologica e sismica



Figura 5 – Area impianto FV - Ubicazione dell'area ex campo di volo "CdV Quattro Cantoni (fonte Open Street Map e Google Earth)



Figura 6 – Rilievo fotografico dell'area impianto FV con drone

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO

3.1 Geologia e quadro geodinamico-strutturale

Il contesto geologico in cui ricade l'area in esame è quello del Bacino Padano che strutturalmente rappresenta un'area di avanfossa che si è originata per la subduzione della microplacca padano-adriatica al di sotto dell'orogene appenninico, e che ad oggi risulta collocata tra l'Appennino settentrionale (strutturata nel Miocene superiore-Pliocene inferiore) e il Sudalpino.

L'assetto strutturale delle successioni sepolte plio-pleistoceniche nel settore della pianura padana in esame è dato da una serie di pieghe e thrust ad andamento parallelo con orientazione circa nordovest-sudest ed è stato descritto a scala regionale nei lavori di Piei &oppi (1981), CNR (1990) e Regione Emilia-Romagna – CNR (2002, 2003).

Le strutture sepolte sotto la Pianura Padana sono note grazie a profili di sismica a riflessione e sondaggi profondi, realizzati per la ricerca di idrocarburi, da parte dell'AGIP. Queste strutture compressive hanno progressivamente coinvolto l'Avanfossa Appenninica in età geologica recente, durante il Neogene e il Quaternario.

All'interno delle pieghe che formano il fronte esterno della catena appenninica sepolta, è possibile distinguere (Pieri e Groppi, 1975) due fasci maggiori di pieghe, denominati "Arco delle Pieghe Emiliane", a nord-ovest, ed "Arco delle Pieghe Ferraresi-Romagnole", a sud-est.

L'arco orientale può essere suddiviso in tre strutture minori dette "Pieghe Ferraresi", "Pieghe Romagnole" e "Pieghe Adriatiche" (Bigi et al., 1990). Le Pieghe Ferraresi (Dorsale Ferrarese o "Ferrara Folds" in Pieri e Groppi, 1981) rappresentano le strutture più settentrionali, che si estendono tra Reggio Emilia e la costa adriatica, spingendosi a nord del Po tra Occhiobello e Ferrara (Bigi et al., 1990).

Nella Figura 7 si riporta un'immagine semplificata delle strutture geologiche sepolte caratteristiche della Pianura Padana centro-orientale; l'area di studio è ubicata nella parte meridionale del fascio di pieghe ferraresi (cerchio verde).

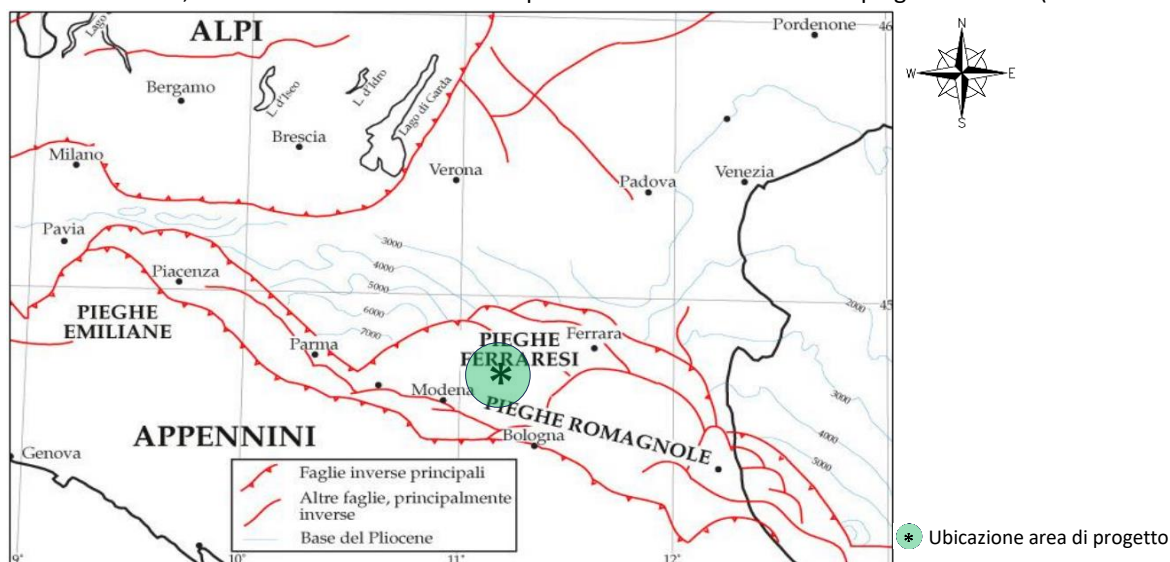


Figura 7 – Carta strutturale semplificata della Pianura Padana centro-orientale.

L'insieme delle Pieghe Ferraresi e delle Pieghe Romagnole rappresenta la culminazione strutturale che delimita, a nord, un ampio bacino di piggy-back (Ori e Friend, 1984), all'interno del quale si sono depositi notevoli spessori sedimentari che costituiscono la successione pliocenica marina e quaternaria marino-continentale. L'architettura stratigrafica dei depositi plio-quaternari è stata fortemente influenzata dalla deformazione tettonica e presenta spessori massimi nelle aree di sinclinale e minimi sulle anticlinali sepolte (Correggiari et al., 1992; Amorosi et al., 1997 a, b; Di Dio e Caporale,

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

1998; Di Dio e Molinari, 2000). Questo andamento è evidente anche dalle grandi variazioni laterali di spessore delle successioni più recenti, in buona parte deposte in condizioni di pianura alluvionale. Il Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore, deposto negli ultimi 450.000 anni circa (Regione Emilia-Romagna e ENI-AGIP, 1998) mostra spessori che variano da meno di 90 m in corrispondenza della culminazione dell'Anticlinale di Mirandola, ad oltre 400 m nelle aree di sinclinale più depressa. Queste grandi variazioni di spessore registrano quindi grandi variazioni laterali di subsidenza, indotte anche dalla deformazione delle strutture tettoniche sismogenetiche.

L'area di Camposanto (MO) è situata nella porzione più settentrionale dell'ampia sinclinale di San Giovanni in Persiceto, mentre il confine settentrionale si trova nei pressi di un importante retroscorrimento dell'arco delle Pieghe Ferraresi sepolto che limita l'alto strutturale di Mirandola.

In Figura 8 si riporta lo stralcio della cartografia interattiva del sito web della Regione Emilia-Romagna (<https://servizimoka.regione.emilia-romagna.it/>) dell'area del territorio comunale di Camposanto (MO) dove vengono riportate le tracce sismiche realizzate per la ricerca degli idrocarburi passanti in prossimità dell'area di studio.

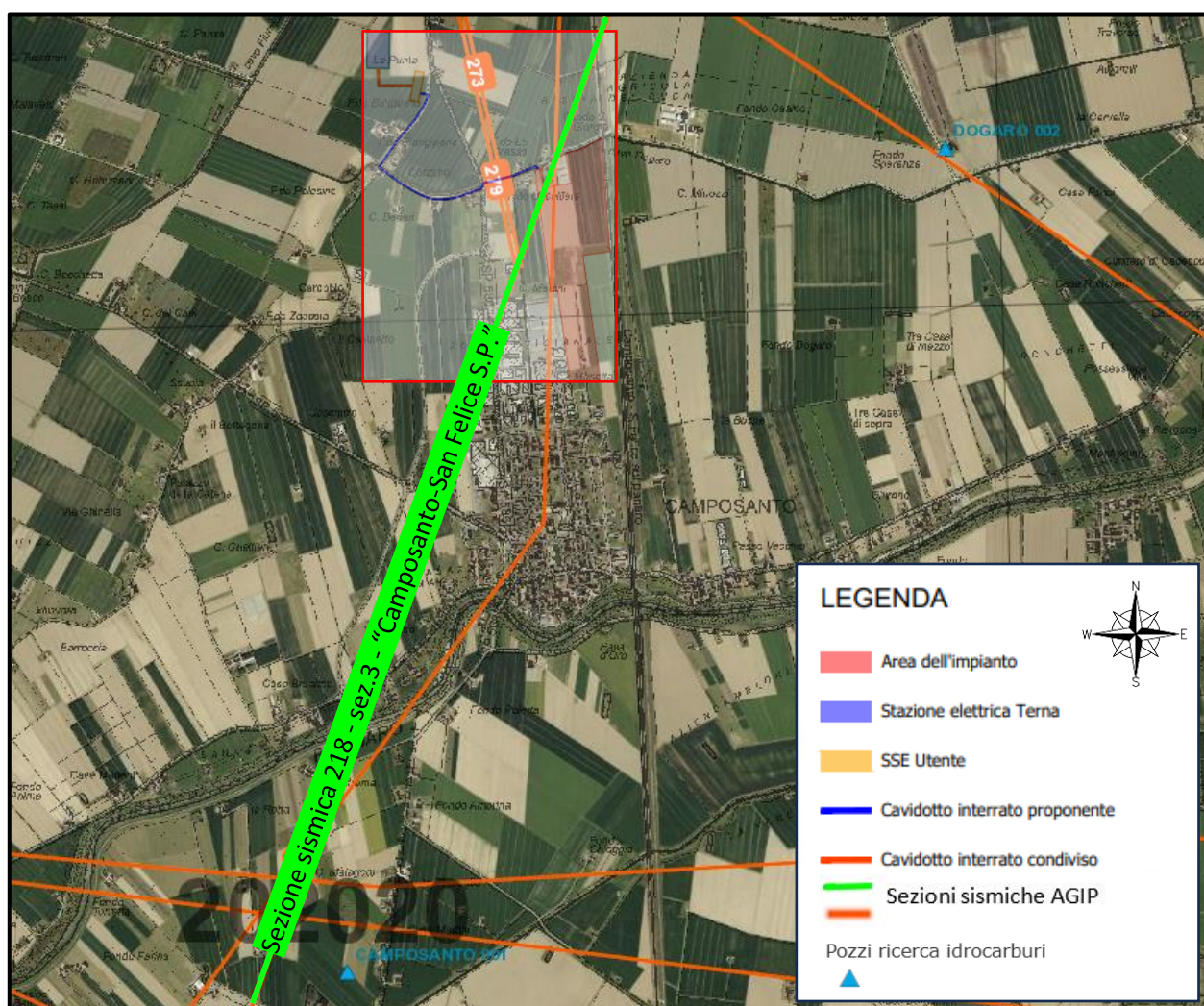


Figura 8 – Carta della Pianura Padana centro-orientale e ubicazione sezioni sismiche di AGIP nel territorio del Comune di Camposanto (MO)

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

Nella Figura 9 si riporta l'interpretazione della sezione sismica n.218 "sez.3 - Camposanto-San Felice S.P.". La sezione mette in evidenza la tipica geometria delle strutture tettoniche compressive sepolte sotto i depositi alluvionali che si sono originati durante l'orogenesi appenninica.

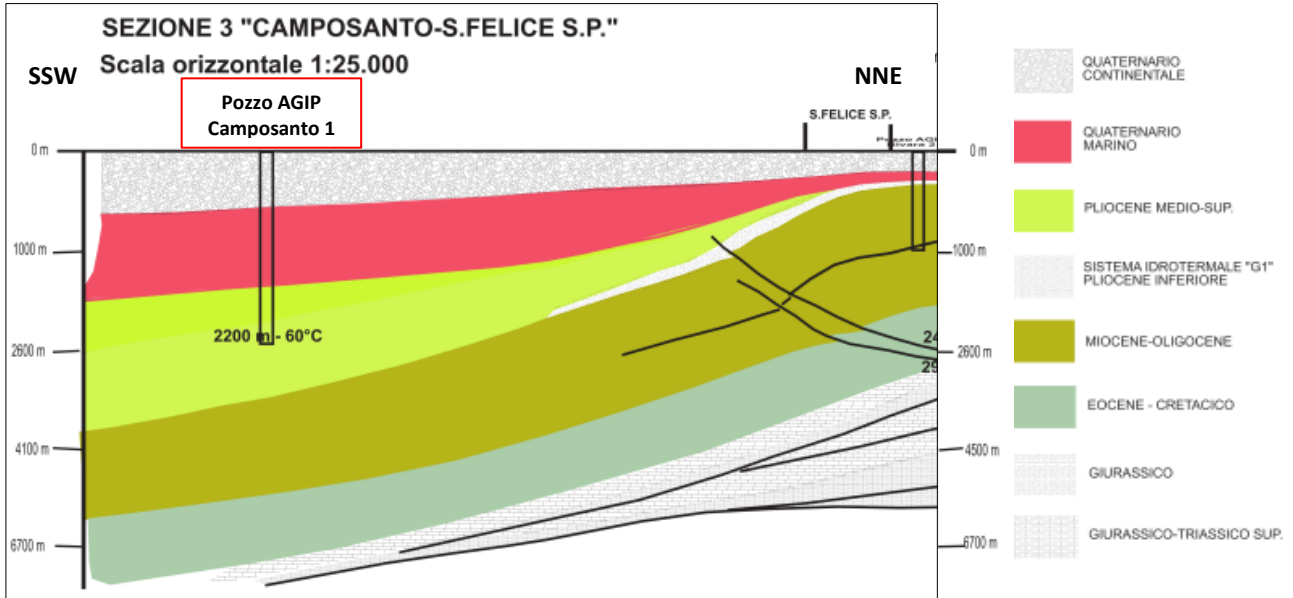


Figura 9 – Interpretazione geologica della sezione sismica n.218 (AGIP) – nel tratto Camposanto-San Felice

3.1.1 Contesto geologico e stratigrafico

Le aree di intervento da progetto ricadono nella Carta Geologica a scala 1:100.000 del Foglio 75 - "Mirandola". La stratigrafia di superficie, dalle unità più antiche a quelle più recenti, è formata da:

- Depositi alluvionali (stratigrafia di superficie):
 - S: sabbie e terreni prevalentemente sabbiosi
 - as: argille sabbiose e sabbie argillose
 - argille e terreni prevalentemente argillosi
 - aNaCl: argille ipercolloidali e salate della Burana

L'area dell'impianto FV, delle opere di connessione, della stazione elettrica Utente (SE) e della Sottostazione Elettrica di Terna (SSE) si appoggiano su terreni alluvionali composti da argille sabbiose e sabbie argillose (as) (Figura 10). Le unità dei depositi alluvionali di superficie fanno parte dell'era Quaternaria più recente.

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

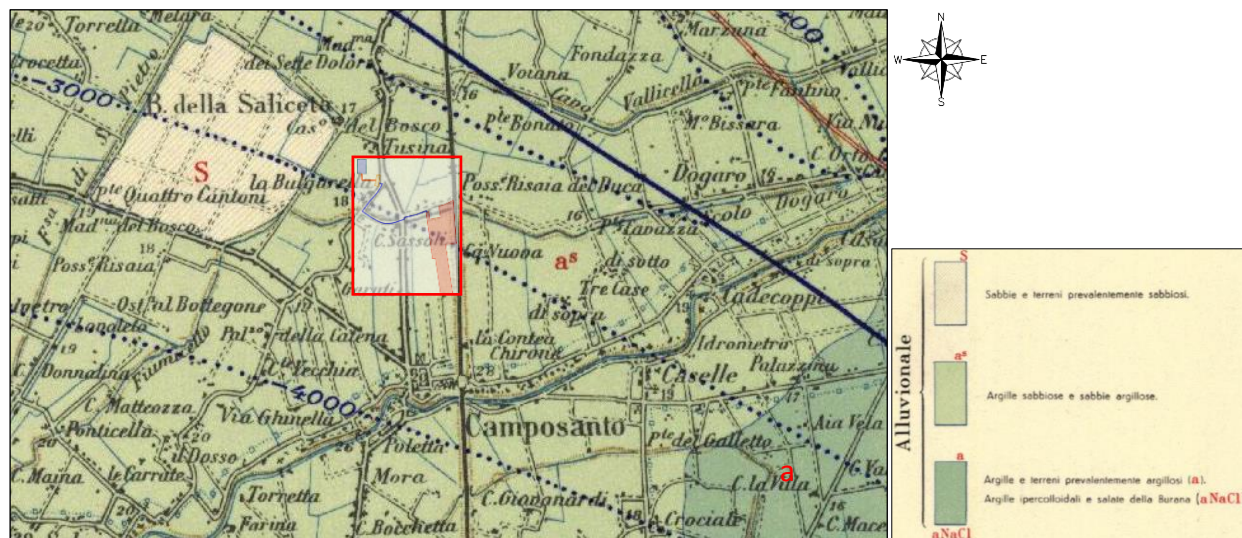


Figura 10 – Stralcio della Carta Geologica “Mirandola” - Foglio 75 e ubicazione dell’area di studio (in rosso)

La stratigrafia profonda, non affiorante nell’area del Foglio Geologico n.75, è stata ricostruita grazie ai log stratigrafici dei pozzi esplorativi di AGIP del 1950 (Figura 11) realizzati nell’intorno del Comune di Camposanto (Camposanto_001 e pozzo Dogaro_002 - <https://www.videpi.com>):

- Quadernario:
 - Olocenico-Pleistocenico (Q): deposito fluviale, lagunare e alla base salmastro
 - Calabriano (Cal): Argille marine
- Pliocene (P1): Argille marine
- Miocene:
 - Messiniano (m⁴): sabbie e argille sabbiose alternanti
 - Elveziano (m²): marna sabbiosa

in Figura 11 si riporta la cartografia interattiva del sito della Regione Emilia-Romagna <https://servizimoka.regione.emilia-romagna.it>) con le posizioni delle sezioni sismiche realizzate da AGIP per la ricerca petrolifera, in particolare la sezione n.243 la cui interpretazione geologica stilizzata è riportata in Figura 12.

La sezione sismica n.243 attraversa da nord a sud parte dell’area impianto, la cittadina di Camposanto e il Fiume Panaro, si approfondisce fino a 30 m da p.c..

Il profilo mette in evidenza un sottosuolo Quadernario con eterogeneità verticale ed orizzontale tipica dei sedimenti di ambienti deposizionali fluviali, lacustri e salmastri caratteristici di queste aree.

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

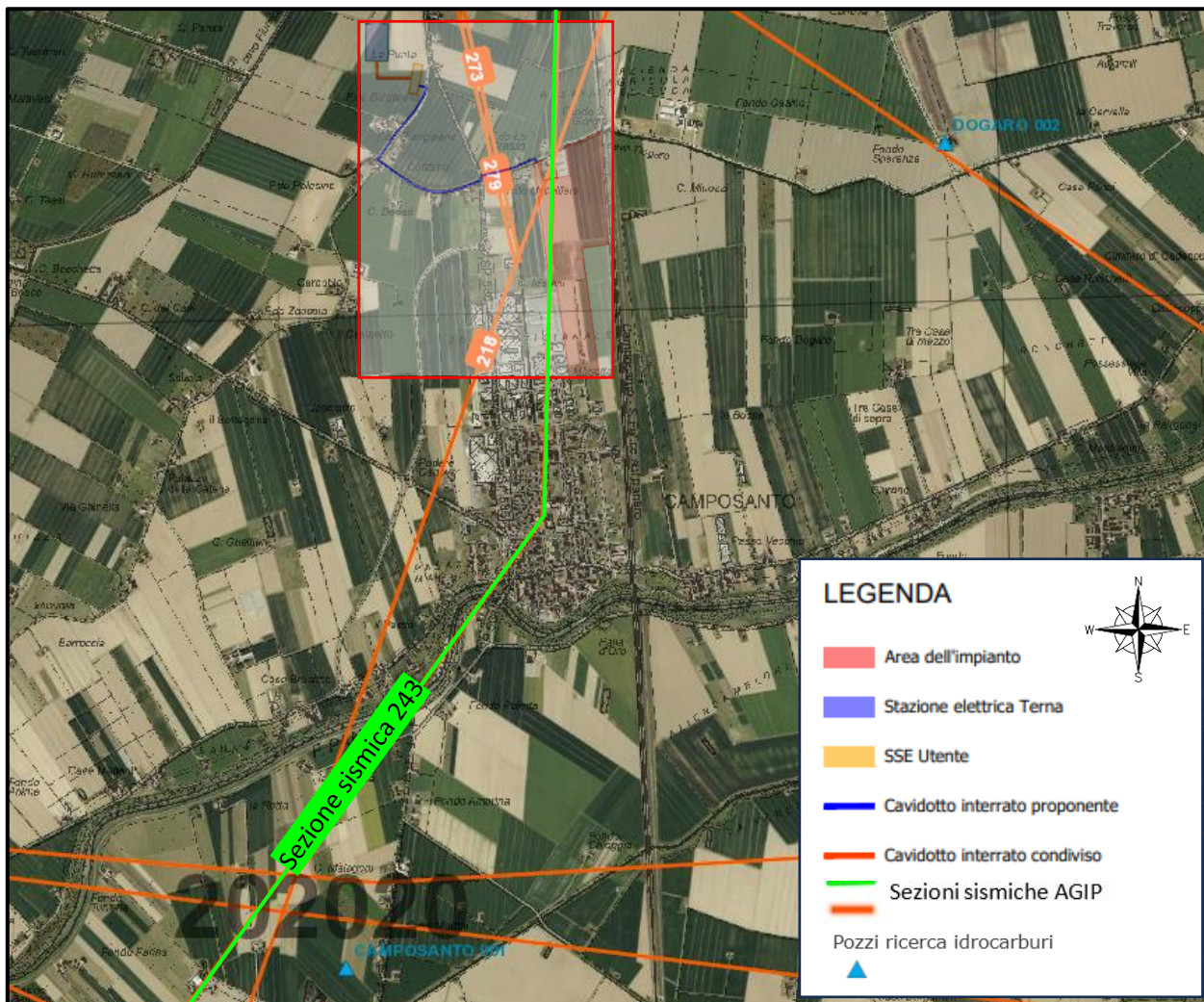


Figura 11 – Carta della Pianura Padana centro-orientale e ubicazione pozzi esplorativi e sezioni sismiche di AGIP nel territorio del Comune di Camposanto.

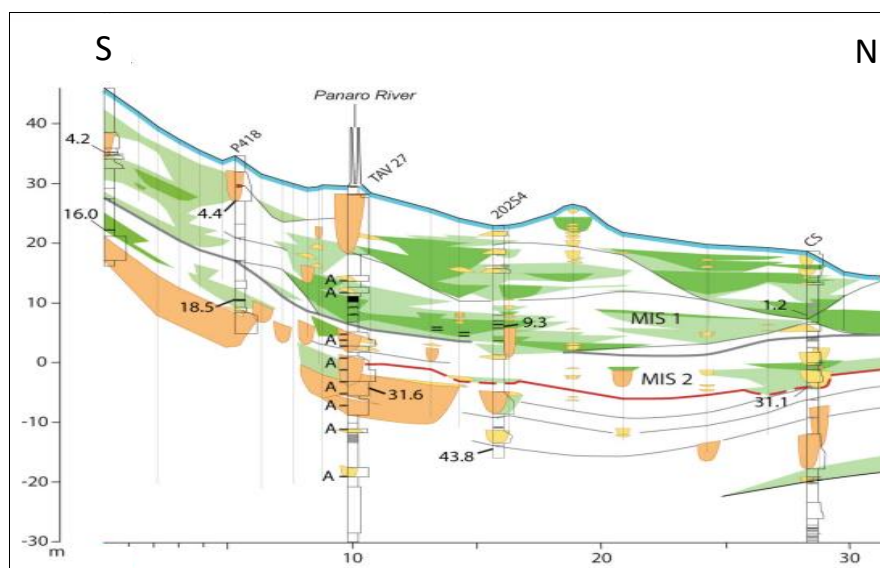


Figura 12 – Interpretazione stratigrafica della sezione sismica n.243 (AGIP)

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

Nella Tabella 1 si riporta una breve descrizione dei sistemi deposizionali caratteristici della Pianura Padana centro-orientale, in dettaglio del territorio della provincia di Modena dove si ricade il Comune di Camposanto (MO) (Carta Geologica a scala 1:50.000, Foglio n.202 – “San Giovanni in Persiceto”.

SISTEMI DEPOSIZIONALI E LITOLOGIE	Descrizione
Depositi alluvionali	<u>Alternanze di sabbie e limi sabbiosi di argine, canale e rotta fluviale:</u> sabbie fini e medie, con contenuto in sabbia maggiore di 30%, in strati sottili a spessi alternate a limi sabbiosi, con contenuto in sabbia compreso tra il 20% ed il 30%, in strati sottili, spesso non visibili. Generalmente gli strati sono organizzati in sequenze con gradazione positiva. Formano corpi rilevati con geometria nastriforme e spessore di qualche metro, meglio visibili in AES _{8a} .
	<u>Alternanza di sabbie, limi ed argille di tracimazione fluviale indifferenziata:</u> limi con contenuto in sabbia minore di 20% e contenuto in argilla minore di 40%, in strati spesso non definibili, sottili. Depositi non differenziati a causa dei processi di erosione e bioturbazione che hanno modificato le tessiture e le forme originarie e non hanno consentito di distinguere i depositi di argine da quelli di piana inondabile.
	<u>Argille e limi di piana inondabile:</u> argille e argille limose con contenuto in argilla maggiore di 40%, con stratificazione non definibile in quanto spesso le argille ed i limi sono bioturbati. Presenti anche livelli di argille organiche. Lo spessore è modesto, non superiore a 2-3 m in superficie. In AES _{8a} formano corpi di geometria allungata nelle aree depresse interposte ai depositi di argine.
Supersistema Emiliano-Romagnolo - Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES) Depositi alluvionali organizzati in cinque alternanze cicliche di alcune decine di metri di spessore e comprendenti intervalli temporali dell'ordine da 40-100Ka, costituite da sedimenti grossolani e fini nella alta pianura e prevalentemente fini nella media pianura. il ciclo superiore (subsistema) è affiorante, mentre i quattro inferiori sono solo sepolti. il limite inferiore non affiora e risulta inconforme con il sistema emiliano-romagnolo inferiore nelle porzioni sepolte della media pianura. <i>Pleistocene Medio-Olocene.</i>	<u>Subsistema di Ravenna - (AES_{8a}):</u> Unità sommitale del Supersistema Emiliano-Romagnolo. Comprende in prevalenza limi, limi sabbiosi e limi argillosi, in subordine ghiaie e ghiaie sabbiose. Limite inferiore inconforme su AES ₇ , passante a conforme nelle aree depocentrali della pianura. Limite superiore coincide con il piano topografico. al tetto suoli a basso grado di alterazione con fronte di alterazione potente meno di 150 cm; gli orizzonti sono parzialmente decarbonatati, con profilo di tipo A/Bw/Bk (C) (giallo-bruno). Potenza massima 20 m. <i>Pleistocene Sup.-Olocene.</i>
	<u>Unità di Modena - (AES_{8a}):</u> Ciclo di rango inferiore che costituisce la parte sommitale del Subsistema di Ravenna. È costituita da depositi grossolani, ghiaiosi, presso le aste fluviali e da depositi fini nelle aree distali. Limite superiore sempre affiorante, coincidente con il piano topografico e definito sulla base della presenza di un suolo a bassissimo grado di alterazione con profilo potente meno di 100 cm, e orizzonti A/C subordinante A/Bw/C (grigio-giallastro). si caratterizza per la buona preservazione delle forme deposizionali originarie. Spessore inferiore ai 10 m. <i>Post-IV sec. d.C. – Attuale.</i>

Tabella 1 – Sistemi deposizionali principali caratteristici del territorio comunale di Camposanto (MO).

Si riporta in Figura 13 lo stralcio della Carta Geologica di superficie in scala 1:100.000 (*Ordinanza del Commissario delegato per la ricostruzione n.70 del 3 novembre 2012*) della parte del territorio della provincia di Modena in cui ricade l'area di studio. In questa porzione di territorio sono visibili depositi affioranti costituiti da argille e limi organici di palude e piana inondabile, fasce allungate di sabbie e limi sabbiosi di argine, canale e rotta fluviale (in grigio) interposte a vaste pieghe di argille e argille limose (giallo) che costituiscono i depositi di tracimazione fluviale e di decantazione caratteristici delle aree più depresse.

In dettaglio, l'area di studio appartiene alle alluvioni argilloso-sabbiose e sabbioso-argillose legate a episodi di piena e tracimazione fluviale (Figura 13).

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

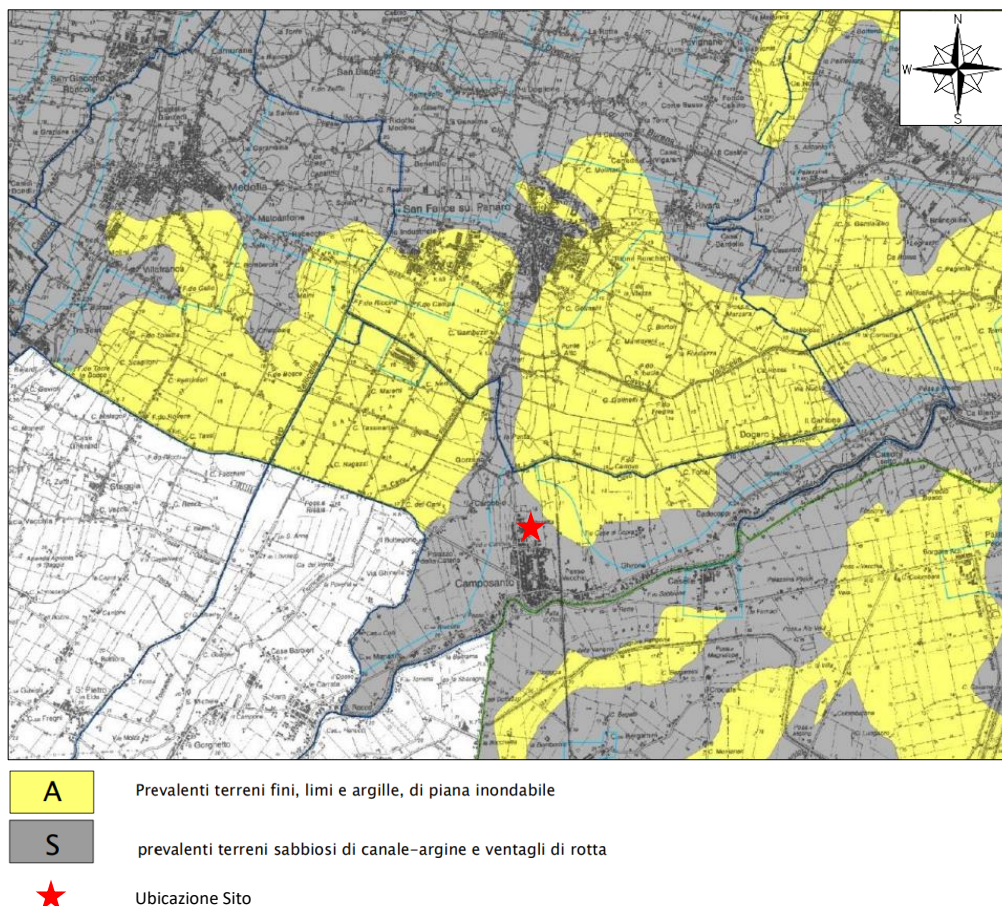


Figura 13 – Stralcio della Carta Geologica di superficie – scala 1:100.000 (All.1.2, Ordinanza 70/2012)

3.2 Geomorfologia dell'area

Il Comune di Camposanto (MO) si sviluppa in un'area di bassa pianura alluvionale con quote topografiche comprese tra i 14 e i 21 metri, formata da depositi dei fiumi Panaro, provenienti da sud e Secchia accumulati in età storica e provenienti da ovest.

Le forme geomorfologiche ed i corpi sedimentari affioranti sono tutti di età recente, in quanto formatasi in larga parte in età medioevale. La morfologia del territorio è caratterizzata da dossi fluviali e depressioni chiuse interalvee bordate da fasce di argine naturale e ampi ventagli di esondazione.

L'area del Comune è in gran parte situata in un'ampia depressione chiusa solcata da un dosso poco rilevato allungato in direzione sud ovest - nord est. Verso sud il territorio è limitato dall'arginatura artificiale dell'attuale corso del Panaro, ultimo affluente del Po, mentre poco a nord del confine comunale si sviluppa l'ampio dosso del Secchia di prevalente età alto medievale.

Questi corpi racchiudono quasi completamente l'ampia area depressa in cui ricade parte dell'abitato di Camposanto. Il margine settentrionale della depressione interalvea presenta una serie di ventagli da rota legati all'antico alveo del Secchia.

Questi caratteri geomorfologici risultano ben evidenti grazie alle tecniche di telemetria laser (LIDAR), che permettono una ricostruzione altimetrica di elevato dettaglio (Figura 14). Nella figura le quote più basse sono rappresentate in verde chiaro, le aree topograficamente più alte in giallo e marrone. Evidenti appaiono i numerosi dossi del Reno nei pressi di

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

Cento, del Panaro tra Crevalcore e Camposanto e del Secchia ad ovest di San Felice. Ampie depressioni interalvee si sviluppano tra gli accentuati alvei dossivi raggiungendo quote altimetriche particolarmente basse nella zona ferrarese (in verde).

Dal punto vista geomorfologico il lotto oggetto di studi si dispone sub-pianeggiante, ad una quota altimetrica media di 15.0 m s.l.m., in corrispondenza delle alluvioni argilloso-sabbiose e sabbioso-argillose legate a episodi di piena e tracimazione fluviale; non presenta allo stato attuale fenomeni instabilità in atto, ovvero potenziali situazioni in rapida evoluzione morfologica che potrebbero compromettere la buona riuscita delle opere in progetto.

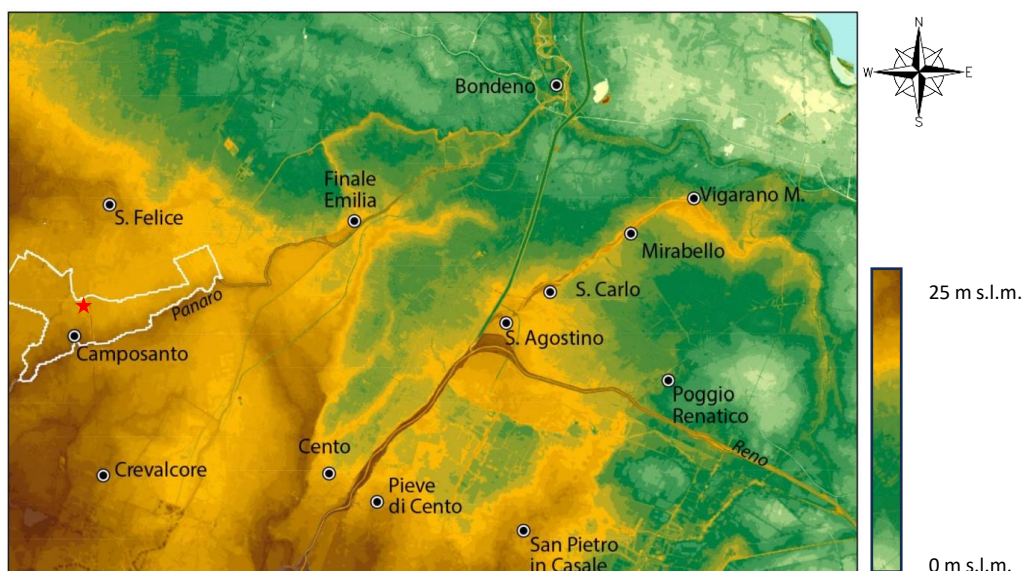


Figura 14 – Modello altimetrico LIDAR (dati Regione Emilia-Romagna).

Nel territorio considerato non si osservano forme legate a depositi fluviali di età pre-medioevale, in quanto i sedimenti più antichi sono sempre sepolti nel sottosuolo. I principali caratteri geomorfologici dell'area erano già stati individuati nella Carta Geomorfologica della Pianura Padana 1:250.000 (Castiglioni G.B. Ed. 1999). Nella carta geomorfologica sono riportati sia l'ampio dosso del Secchia che limita a nord l'area di studio, sia il rilevato continuo dell'attuale corso del Panaro già attivo sin dal XV secolo.

Questi corpi racchiudono quasi completamente l'ampia area depressa, delimitata dalla linea verde, in cui ricade parte dell'abitato di Camposanto. L'area interalvea è ben sviluppata e mappata anche ad ovest del dosso del paleoalveo bassomedievale del Panaro che attraverso le antiche paludi giungeva a San Felice e proseguiva per Finale Emilia fino alla confluenza con il Po Bondeno (Castaldini e Raimondi 1986). Il margine settentrionale della depressione interalvea presenta una serie di ventagli da rotta legati all'antico alveo del Secchia.

Nella Figura 15 si riporta lo stralcio dalla Carta Geomorfologica della Pianura Padana 1:250.000 (Castiglioni G.B. Ed. 1999) e l'ubicazione dell'area del progetto all'interno dell'ellisse giallo. La figura illustra la complessa alternanza di corpi dossivi di paleoalveo (in rosso) e depressioni interalvee (in verde), limitate da piccole scarpate morfologiche (linee verdi). Nella parte sud-orientale della carta si osservano i corpi di riempimento di canale distributore di delta interno del Reno di età medioevale, mentre a sud di Mirandola appare molto evidente il coevo ed ampio dosso del Secchia.

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

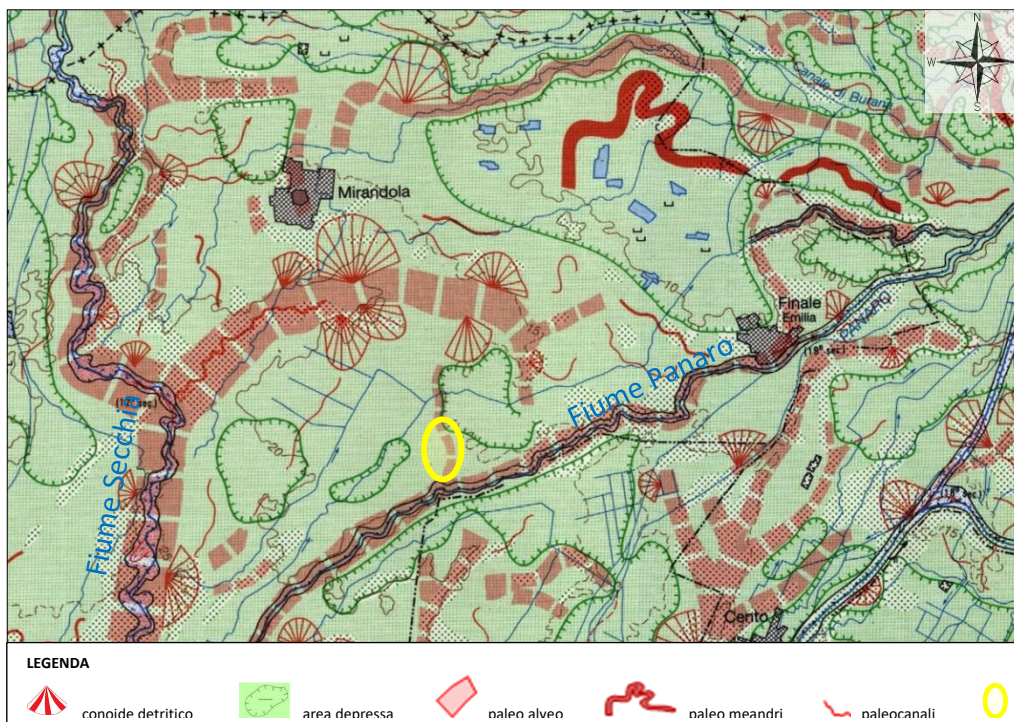


Figura 15 – Stralcio della Carta Geomorfologica della Pianura Padana e dell'area in esame (Castiglioni G.B. Ed. 1999, scala 1:250.000)

3.3 Idrogeologia

La pianura modenese si sviluppa ai piedi della catena appenninica, delimitata lateralmente dai fiumi Secchia e Panaro, e ove affiorano le formazioni argillose del ciclo plio-pleistocenico, che rappresentano la base delle alluvioni pleistoceniche superiori ed oloceniche costituenti la pianura.

Il passaggio tra la sedimentazione marina e quella continentale affiora al margine appenninico ed è contraddistinta da depositi di transizione quali sabbie e ghiaie, talora cementate, di ambiente litorale e peliti sabbiose e ghiaie di delta. Poiché il ritiro delle acque dall'antico golfo padano è avvenuto con movimenti alterni a causa sia delle glaciazioni, che si sono succedute nel Quaternario, sia di movimenti tettonici, determinanti sollevamenti della catena e subsidenza nella pianura. Questi ultimi (facies continentali) consistono prevalentemente in conoidi pedemontane formate dall'accumulo dei materiali alluvionali deposti dai corsi d'acqua al loro sfociare in pianura. Tali conoidi risultano incastrate le une alle altre di cui le più antiche sono spesso ridotte a lembi erosi e tettonizzati, mentre le più recenti conservano la loro originaria morfologia.

Nel sottosuolo della pianura e sul Margine Appenninico Padano sono stati riconosciuti tre Gruppi Acquiferi separati da barriere di permeabilità di estensione regionale, informalmente denominati Gruppo Acquifero A, B e C (Figura 16) a partire dal piano campagna. Il Gruppo Acquifero A è attualmente sfruttato in modo intensivo, il Gruppo Acquifero B è sfruttato solo localmente, il Gruppo Acquifero C, isolato rispetto alla superficie per gran parte della sua estensione, è raramente sfruttato. La prima, stratigraficamente superiore, è costituita da ghiaie e conglomerati, sabbie e peliti di terrazzo e conoidi alluvionali organizzati in strati lenticolari di spessore estremamente variabile, da alcune decine di centimetri a svariati metri, in genere costituiti da un letto di conglomerati eterometrici ed eterogenei, con matrice sabbiosa, talora disorganizzati, talora embriciati, generalmente poco cementati, e da un tetto sabbioso-limoso.

La base degli strati è fortemente erosiva. Sono presenti paleosuoli. La potenza dell'unità in affioramento è variabile da qualche metro fino ad alcune decine di metri. Il contatto con le unità idrogeologiche sottostanti B e C e le unità affioranti lungo il Margine Appenninico Padano è frequentemente discordante. L'età di questo Gruppo Acquifero A è Pleistocene

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

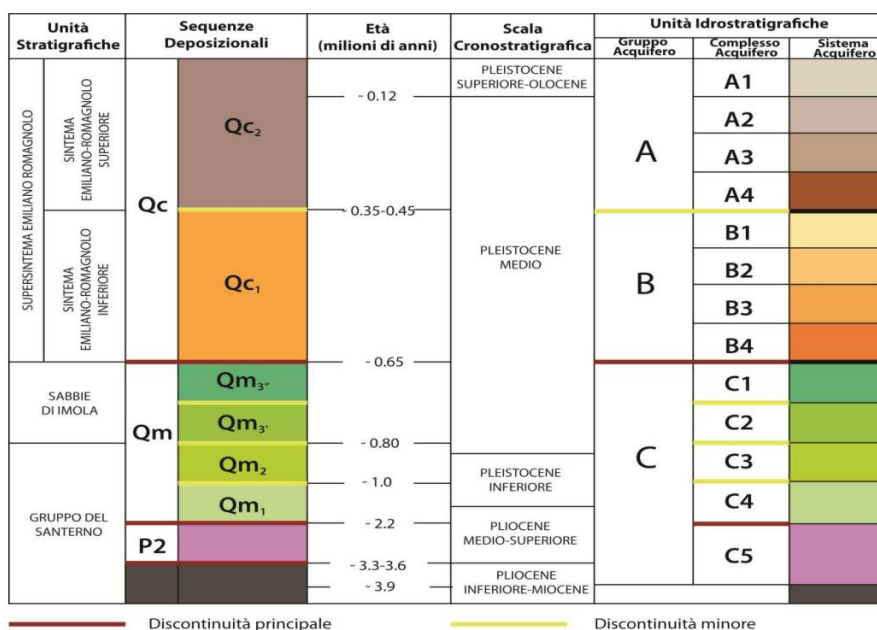
medio-Olocene.

La seconda, Unità Idrogeologica B, è costituita da prevalenti argille limose di pianura alluvionale con talora intercalati livelli discontinui di ghiaie e conglomerati eterometrici ed eterogenei e sabbie; sono anche presenti alcuni paleosuoli. La potenza dell'unità in affioramento è variabile da qualche metro fino ad alcune decine di metri. Il contatto sulle unità affioranti lungo il Margine Appenninico Padano è frequentemente discordante. I depositi appartenenti a questa unità risalgono al Pleistocene medio.

L'ultima, l'Unità Idrogeologica C, è formata da depositi di delta-conoide e marino-marginali costituiti da prevalenti sabbie e areniti, generalmente poco cementate o con cementazione disomogenea, ben selezionate con granulometria media e fine, talora grossolana, in genere ben stratificate e con evidente laminazione incrociata. Spesso sono massive e ricche in bioclasti, con frequenti intercalazioni, da sottili a molto spesse, di conglomerati eterogenei ed eterometrici e di peliti. La potenza dell'unità in affioramento raramente è maggiore di cento metri. Il contatto, sulle unità affioranti lungo il Margine Appenninico Padano è generalmente netto, di tipo erosivo ed in discordanza angolare. I depositi appartenenti a questa unità risalgono al Pliocene inferiore - Pleistocene medio.

A fare da Acquitardo Basale alle sovrastanti unità idrogeologiche c'è un insieme di Unità complessivamente impermeabili che, estendendosi nel sottosuolo della pianura ed affiorando sul Margine Appenninico Padano, costituiscono il limite della circolazione idrica-sotterranea qui presente. In generale il Coefficiente di Immagazzinamento Specifico (Ssm) assume valori con variabilità sempre più ridotta passando dal Gruppo Acquifero A al Gruppo Acquifero C in cui tende a stabilizzarsi intorno al valore di 10-6 m⁻¹; questo trend è in accordo con l'entità della compattazione che cresce dal Gruppo Acquifero A al Gruppo Acquifero C.

Per quanto riguarda il Coefficiente di Conducibilità Idraulica si evidenziano alti valori, che si spingono sino a 10⁻³ m/s per i Conoidi Alluvionali e i Riempimenti di Canali del paleoPo dei Gruppi Acquiferi A e B. I valori della Porosità risultano particolarmente alti nei corpi sabbiosi dei paleodelta del Fiume Po che, in tutti e tre i Gruppi Acquiferi, esprimono valori compresi fra 32 e 46%. Non meno importanti sono le aree di ricarica diretta dei serbatoi acquiferi; i suoli esplicano questa funzione di ricarica, e sono anche le zone più esposte e vulnerabili agli inquinamenti. Oltre alla permeabilità, che è dipendente dalla porosità, altri fattori concorrono a regolare una maggiore o minore facilità d'infiltrazione nei suoli: il clima, la vegetazione, l'inclinazione del pendio e le pratiche colturali eseguite. L'immagine di seguito riportata è tratta dal lavoro ENI-AGIP e rappresenta un inquadramento stratigrafico ed idrostratigrafico dell'area studiata.



Relazione geologica, idrogeologica e sismica

Figura 16 – Schema stratigrafico dei depositi plio-quadernari del bacino padano, con indicazione delle principali unità stratigrafiche e superficiali di discontinuità, sequenze deposizionali e unità idrografiche (da Regione Emilia-Romagna e ENI-AGIP, 1998).

L'assetto idrogeologico dell'area è schematizzato nella sezione geologica riportata in Figura 17, tratta dal volume "Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna". La sezione mostra la presenza sulla verticale dei tre gruppi acquiferi sopracitati. Ciascun gruppo acquifero a sua volta viene suddiviso in diversi complessi acquiferi e acquitardi, secondo un modello di suddivisione gerarchico per ranghi via via più piccoli sulla base della dimensione e dell'estensione areale dei corpi idrogeologici che li compongono. Sulla base di alcune loro caratteristiche geometriche, gli acquiferi nel sottosuolo si distinguono in:

- acquifero monostrato (acquifero libero): si sviluppa nella zona a ridosso dell'Appennino dove troviamo un unico acquifero costituito da ghiaie che dalla superficie continuano nel sottosuolo per decine e decine di metri senza soluzione di continuità; tale zona corrisponde anche alla zona di ricarica degli acquiferi;
- acquifero multistrato (acquifero confinato): si sviluppa più a nord del precedente dove i corpi di ghiaie e sabbie si separano gli uni dagli altri per la presenza di intercalazioni di terreni più fini (limi e argille) e costituiscono quindi diversi acquiferi verticalmente sovrapposti (è il caso dell'area di interesse).

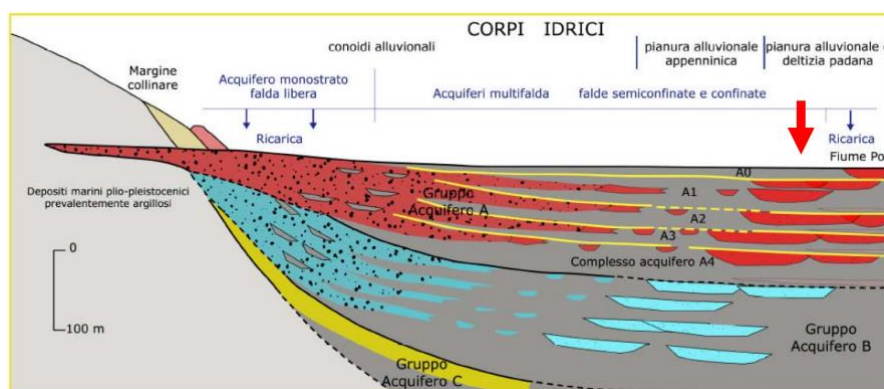


Figura 17 – distribuzione schematica dei corpi idrici e delle unità idrostratigrafiche nel sottosuolo della pianura emiliano-romagnola (la freccia indica la situazione nelle aree del Comune di Medolla e Camposanto).

Nella Figura 18 si riportano le unità idrogeologiche caratteristiche della pianura modenese e l'ubicazione dell'area di progetto (cerchio rosso) in prossimità dei comuni di Camposanto e Medolla. L'area in esame ricade all'interno dell'unità idrogeologica della media padana (4), a nord è adiacente all'unità idrogeologica della bassa pianura (5) e a sud dalle unità idrogeologiche del Fiume Secchia (1), Unità Idrogeologica dei corsi d'acqua minori (2) e Unità idrogeologica del Fiume Panaro; queste ultime ricadono nella fascia dei bacini idrici sotterranei compresi all'interno delle conoidi alluvionali che si dividono in:

- Conoide del fiume Secchia (1);
- Conoide del fiume Panaro (3);
- Conoidi di fiumi minori (2).

L'acquifero principale, in termini di qualità e quantità di risorsa idrica fruibile, è costituito dalle acque contenute nei livelli ghiaiosi dei corpi alluvionali dei conoidi del Fiume Secchia (1) e Panaro (3); di minore importanza sono gli acquiferi costituiti dalle acque presenti nei livelli sabbiosi dei conoidi dei fiumi minori (2) e della piana alluvionale (4 e 5) della medio-bassa pianura modenese (dove si trova il Comune di Medolla e Camposanto).

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

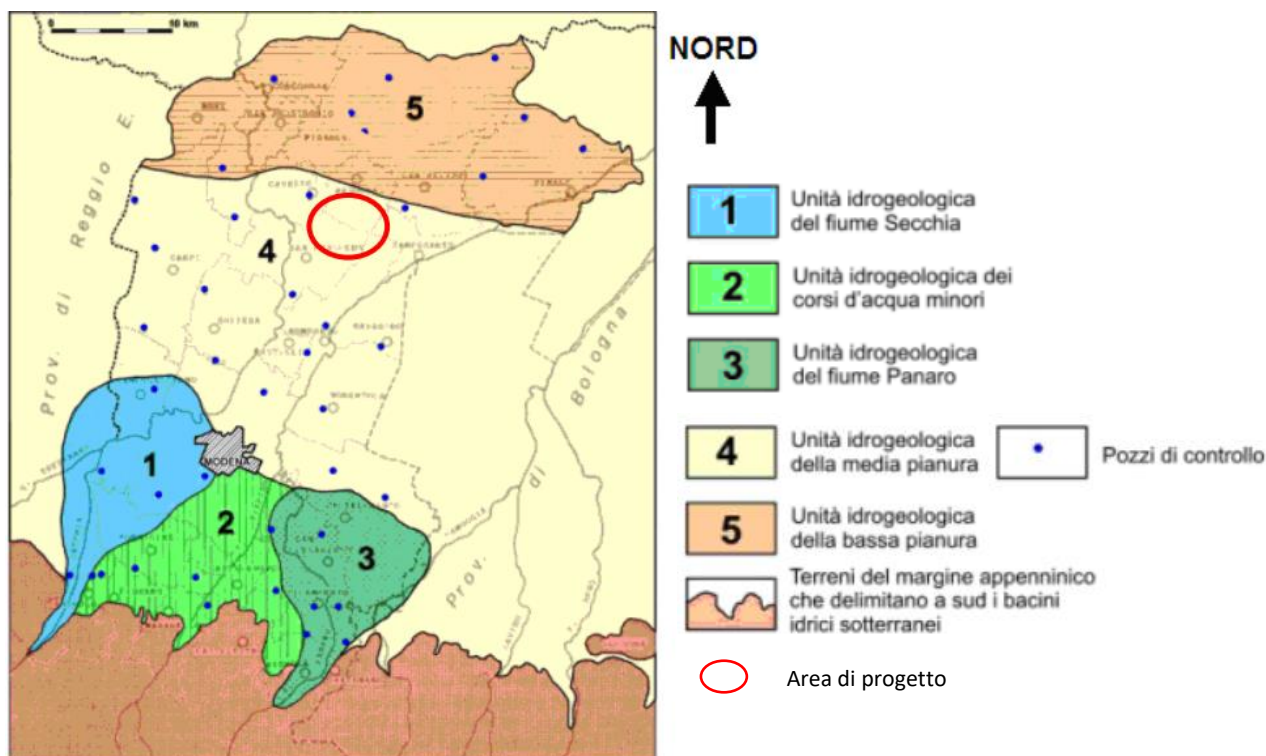


Figura 18 – Unità idrogeologiche del territorio della pianura modenese

Nella parte dell'area in esame della Pianura alluvionale padana complessivamente il livello della falda si attesta tra i 1 m e i 10 m da p.c.. Le oscillazioni piezometriche stagionali poco marcate sono caratteristiche degli acquiferi confinati, che non risentono in modo diretto né delle precipitazioni meteoriche, né delle portate dei fiumi.

Dal punto di vista idrografico il territorio del Comune di Camposanto (MO) fa parte del macrobacino idrografico Po di Volano (Figura 19) e della rete scolante artificiale di bonifica gestita dal Consorzio di Bonifica di Burana. Il Comune è posto tra il fiume Secchia e il fiume Panaro, a sud del fiume Po. Il resto della rete idrica superficiale è composto da un insieme di canali, cavi, scoli che sono in gestione sempre del Consorzio di Bonifica di Burana.

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

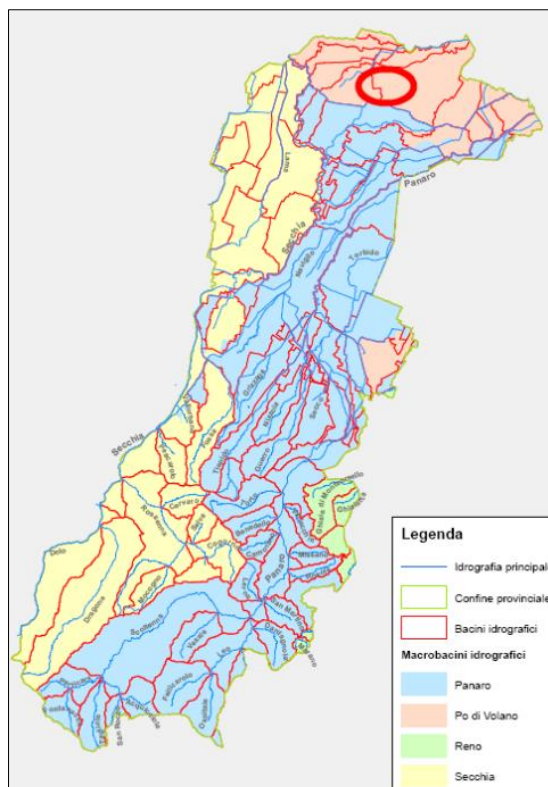


Figura 19 – Macrobacini idrografici della provincia di Modena

Il territorio è prevalentemente pianeggiante ed è dotato di una rete idrografica quasi totalmente artificiale. Il sistema idrico risulta così complesso a causa sia delle modestissime pendenze del suolo e della sua soggiacenza rispetto alle quote dei recapiti finali (necessità di ricorrere al sollevamento meccanico) sia della molteplicità di usi cui le acque sono destinate. Il bacino Burana - Po di Volano ha la funzione di collettore finale delle acque di scolo, di vettore di acque interne ed esterne allo stesso bacino per le derivazioni agricole, industriali e per la navigazione e si estende per la maggior parte nella provincia di Ferrara.

Dal punto di vista idraulico il territorio è suddiviso in due comprensori: le Acque Basse con estensione pari a circa 54.600 ha e le Acque Alte con estensione pari a circa 17.880 ha. Il territorio del Comune di Campobasso appartiene al bacino Acque Basse gestito dal Consorzio della Bonifica Burana”; su queste aree risulta difficoltoso il deflusso naturale delle acque a causa della morfologia pianeggiante, ed avviene principalmente tramite impianti di sollevamento, derivazione e mediante una rete di Dugali allacciati tra loro che conforma la tessitura irrigua sul territorio. Le aree del consorzio della Bonifica Burana sono suddivise in zone omogenee in:

- Bassa Pianura sx Panaro:
 - o BUR1 ÷ BUR5
- Bassa Pianura dx Panaro:
 - o DXP6
- Bassa Pianura sx Samoggia:
 - o SXS1 ÷ SXS6
 - o SXSA
- Alta Pianura Modena sud
 - o MOS11 ÷ MOS13

l'area di progetto risulta ricadere nella zona omogenea BUR5 della Bassa Pianura sx Panaro (Figura 20).

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

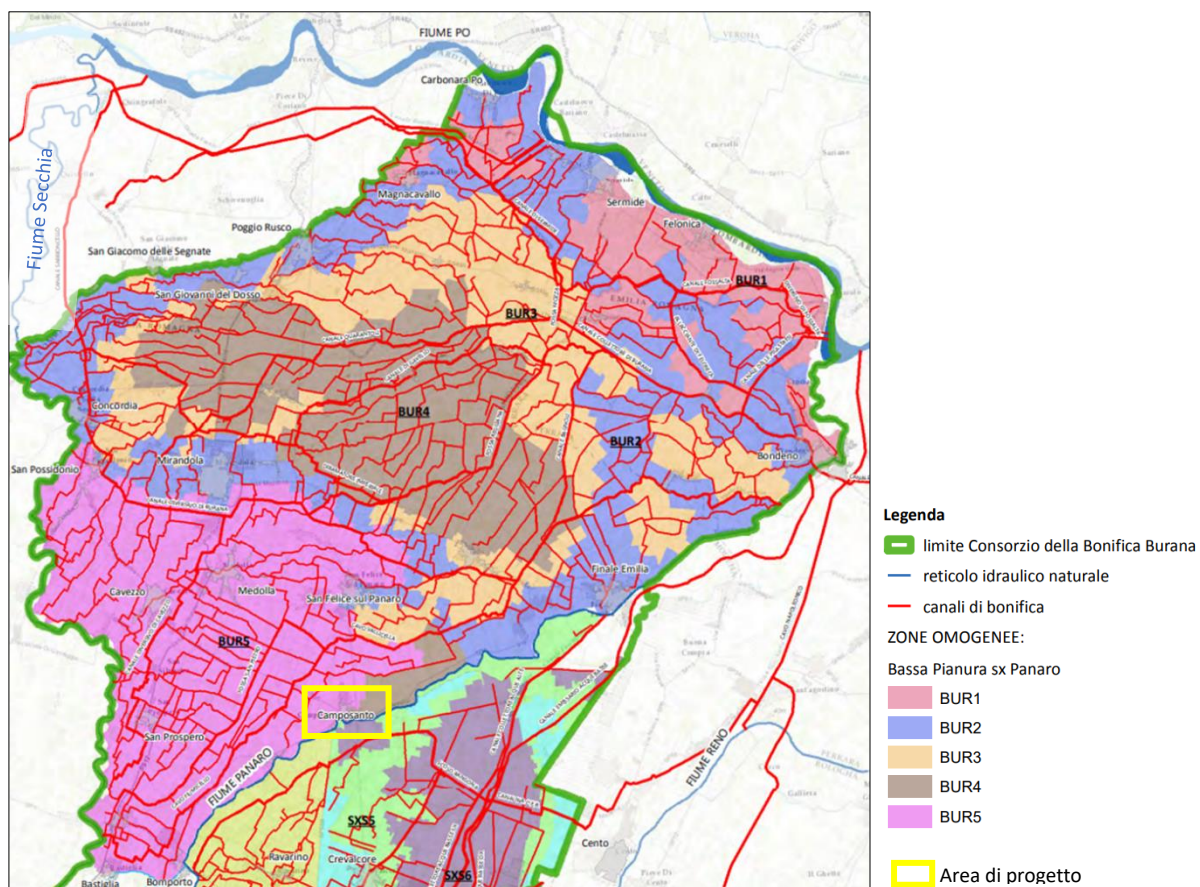


Figura 20 – classificazione delle zone omogenee del Consorzio di Bonifica di Burana

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

4. PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI)

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. 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 (PS 45, PSFF, PS 267), apportando in taluni casi le precisazioni e gli adeguamenti necessari a garantire il carattere interrelato e integrato proprio del piano di bacino.

L'Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po opera sotto la vigilanza del Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica ed è stato istituito con la Legge 221/2015 che ha accorpato le preesistenti Autorità di bacino del Fissero-Tartaro Canalbianco, del Reno, dei bacini romagnoli, del Conca-Marecchia e del Fiume Po.

L'area di progetto ricade nel bacino idrografico del Po e nel sottobacino Basso Panaro.

Il Piano è stato adottato con Delibera di Comitato istituzionale n. 18 in data 26 aprile 2001 e successivamente approvato con D.P.C.M. 24 maggio 2001. Successivamente al 2001 sono state approvate numerose Varianti al PAI, e in seguito all'entrata in vigore dei commi 4bis e 4ter dell'art. 68 del D.lgs n. 152/2006 sono state aggiornate le Norme di Attuazione del PAI e pertanto si è predisposto un Progetto di variante relativo agli articoli 1 e 18 delle NA, adottato dalla Conferenza Istituzionale Permanente il 20 dicembre 2021 con Deliberazione n.6.

I dati riportati sono reperibili al seguente link dell'autorità di Bacino del Distretto del Po: <https://webgis.adbpo.it/>

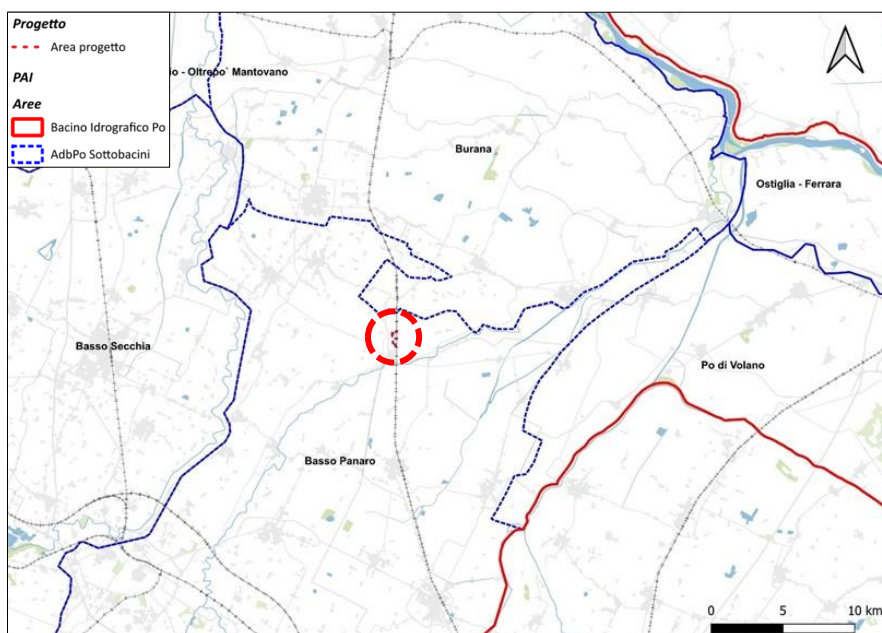


Figura 21 – Bacini idrografici principali e secondarie

Il PAI individua tre fasce fluviali e le definisce come segue:

- La **Fascia A** o “Fascia di deflusso della piena”, è costituita dalla porzione di alveo che è sede prevalente, per la piena di riferimento, del deflusso della corrente, ovvero che è costituita dall'insieme delle forme fluviali riattivabili durante gli stadi di piena;
- La **Fascia B** o “Fascia di esondazione”; esterna alla precedente, è costituita dalla porzione di alveo interessata da inondazione al verificarsi dell'evento di piena di riferimento. Il limite della fascia si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici corrispondenti alla piena di riferimento ovvero sino

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

alle opere idrauliche di controllo delle inondazioni (argini o altre opere di contenimento), dimensionate per la stessa portata;

- la **Fascia C** o “Area di inondazione per piena catastrofica”; è costituita dalla porzione di territorio esterna alla precedente (Fascia B), che può essere interessata da inondazione al verificarsi di eventi di piena più gravosi di quelli di riferimento.

Come si può osservare dallo stralcio cartografico seguente l’area di progetto ricade interamente nella *Fascia fluviale C* “Area di inondazione per piena catastrofica”.

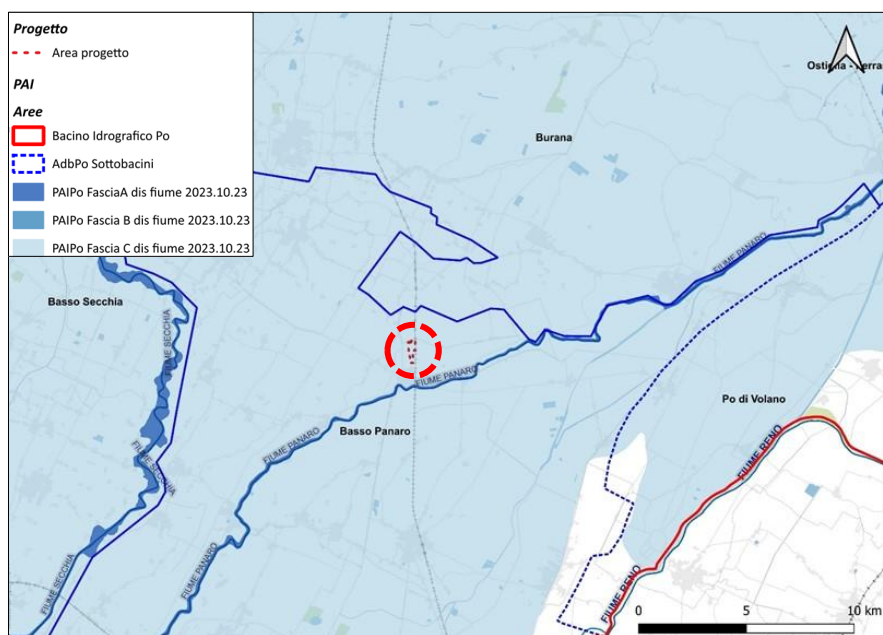


Figura 22 – Stralcio cartografico della TAV. 3 del PAI rielaborata in ambito GIS da dati aggiornati al 2023 scaricabili al link: <https://www.adbpo.it/download/>

Per la cartografia del rischio e della pericolosità si rimanda al PGRA.

5. PIANO GESTIONE RISCHIO ALLUVIONI (PGRA)

Il piano gestione rischio alluvioni è lo strumento fondamentale previsto dalla legge – decreto legislativo 23 febbraio 2010 n. 49 in attuazione della direttiva 2007/60/CE (“Direttiva Alluvioni”) del Parlamento europeo e del Consiglio del 23 Ottobre 2007 – per individuare e programmare le azioni necessarie a ridurre le conseguenze negative delle alluvioni per la salute umana, il territorio, i beni, l’ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche e sociali.

La Direttiva Alluvioni pone la necessità di individuare unità territoriali di gestione del rischio, dette Aree a Rischio potenziale Significativo di Alluvioni (APSFR), laddove le condizioni di rischio potenziale sono significativamente ed è necessario attuare politiche e misure specifiche e coordinate (art. 5 Direttiva 2007/60/CE e art. 5 D.Lgs. 49/2010). Nel distretto del fiume Po, le APSFR si articolano in aree di livello distrettuale e regionale.

Le APSFR Distrettuali corrispondono a nodi critici di rilevanza strategica in cui le condizioni di rischio elevato o molto elevato coinvolgono insediamenti abitativi e produttivi di grande importanza, numerose infrastrutture di servizio e le principali vie di comunicazione, per le quali si rende necessario un coordinamento delle politiche e delle scelte a livello di distretto e di più regioni.

Le APSFR di livello regionale sono individuate, invece, laddove si riscontrano situazioni di pericolosità media ed elevata, conseguenti a portate di piena tali da generare criticità di tipo torrentizio e fluviale e coinvolgere aree inondabili di estensione medio/grande, che, pur richiedendo complessi interventi di mitigazione del rischio che comportano effetti alla scala di intero bacino idrografico o di ampi settori del reticolo idrografico, possono essere gestite a livello di singola Regione. Le APSFR regionali sono state individuate in Regione Emilia-Romagna nell’ambito della prima fase del secondo ciclo di attuazione della Direttiva 2007/60/CE (valutazione preliminare del rischio di alluvioni, dicembre 2018) e rappresentano una novità, in quanto nel primo ciclo (PGRA 2016) la gestione del rischio era organizzata per aree omogenee.

In data 21 dicembre 2018, con la pubblicazione del Calendario, programma di lavoro e misure consultive per il riesame e l’aggiornamento del Piano è stato avviato il processo per il primo aggiornamento del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA 2021), che si è concluso a dicembre 2021 (I Ciclo).

L’attuale aggiornamento del PGRA fa parte del II Ciclo (2021-2027) ed è stato adottato con la delibera precedentemente citata. Nel II ciclo di gestione, le mappe sono state redatte con riferimento a tutte le Aree a Potenziale Rischio Significativo (APSFR), le quali rappresentano un sottoinsieme delle aree allagabili complessive del distretto, ove sono presenti situazioni di rischio potenziale significativo.

Il PGRA è stato adottato con Delibera di Conferenza Istituzionale permanente n. 5 in data 20 dicembre 2021 ed è stato successivamente approvato con D.P.C.M. 1° dicembre 2022 (G.U. n.32 del 8.2.2023).

Anche le attività di elaborazione del PGRA 2021, come quelle del PGRA 2015, vedono il territorio della Regione Emilia-Romagna ricadente nel distretto del fiume Po, suddiviso in 4 Unità di Gestione (Unit of Management-UoM):

- UoM ITN008, coincidente con il bacino del fiume Po;
- UoM ITI021, coincidente con il bacino del fiume Reno;
- UoM ITR081, coincidente con i bacini dei fiumi romagnoli;
- UoM ITI01319 coincidente con i bacini dei fiumi Conca, Uso e Marecchia e bacini minori afferenti alla costa.

L’area di progetto ricade nell’UoM codice IT008 denominazione Po.

Le mappe di pericolosità dei corsi d’acqua naturali dell’Emilia-Romagna facenti parte del PGRA, sono state elaborate nel 2019 sulla scorta dei dati disponibili, utilizzando al meglio quanto contenuto nel PAI e nei PTCP (aventi valore ed effetto di PAI ai sensi delle intese) vigenti e nei loro aggiornamenti. Per le mappe di pericolosità si è adottata una gradazione del livello di confidenza (LC) in tre classi da basso (1) ad alto (3).

L’area di progetto rispetto agli scenari di pericolosità (aree allagabili complessive per pericolosità, si colloca nella classe P1 di scarsa probabilità (TR 500 anni) del Reticolo Principale di pianura e di fondovalle (RP).

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

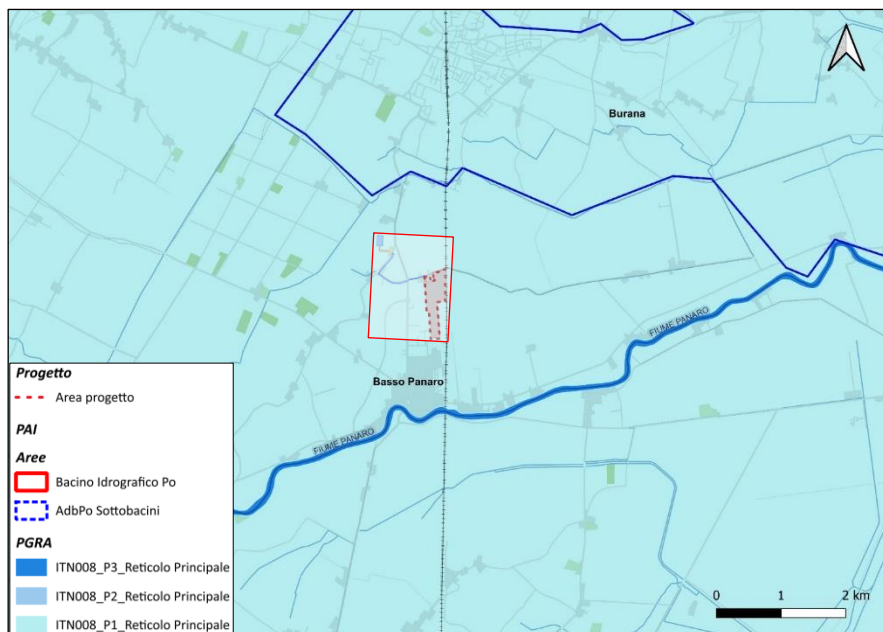


Figura 23 – PGRA – Mappa di pericolosità del reticolo principale

Inoltre, l'area di progetto si colloca interamente nella classe P2 (media probabilità) con Tempo di Ritorno (TR) 50 anni del Reticolo Secondario di Pianura (RSP) (Figura 24) e risulta adiacente ad aree definite dalla classe P3 (elevata probabilità).

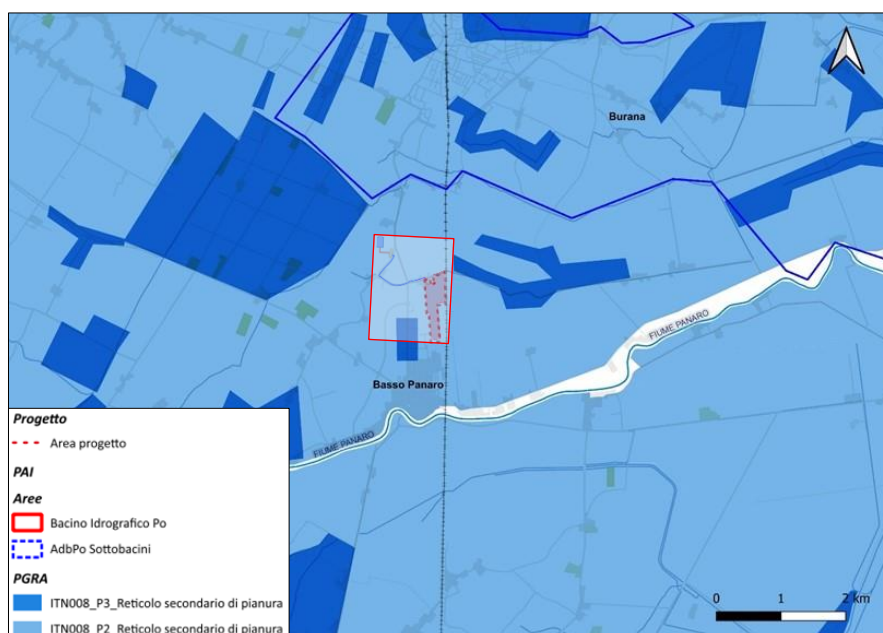


Figura 24 – PGRA – Mappa di pericolosità del reticolo secondario di pianura

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

In Figura 25 si riportano gli elementi a probabilità elevate, media e bassa del Rischio Idraulico (<https://webgis.adbpo.it/catalogue/#/map/1070>).

Come si evince dagli stralci precedenti, l'area d'impianto ricade in rischio idraulico a bassa probabilità. Per tali aree non sono riportate specifiche Norme a riguardo.

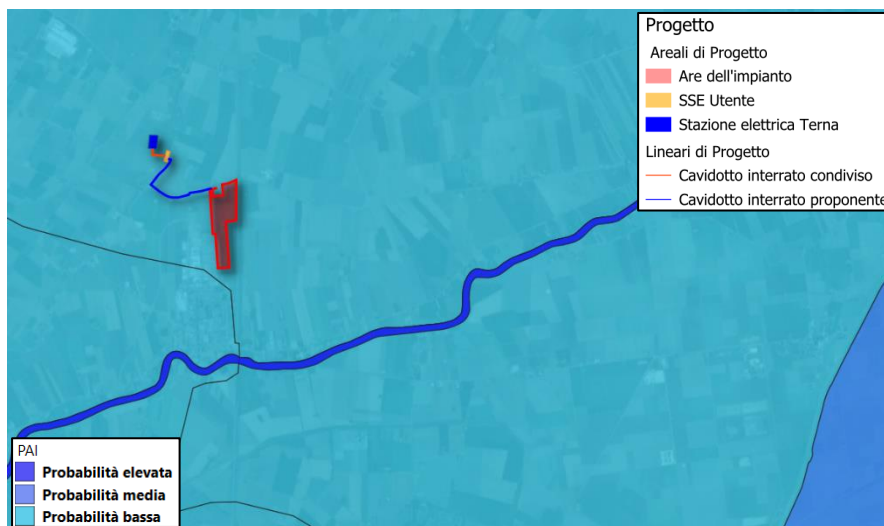


Figura 25 – Mappa di pericolosità idraulica nell'area di progetto

La Direttiva Alluvioni stabilisce che in corrispondenza di ciascuno scenario di probabilità, siano redatte mappe del rischio di alluvioni. Le mappe del rischio sono il risultato finale dell'incrocio fra le mappe delle aree allagabili per i diversi scenari di pericolosità esaminati e gli elementi esposti censiti, raggruppati in classi di danno potenziale omogenee.

Come si osserva nella Figura 26, l'area di progetto ricade quasi interamente in classe di rischio R1 (Rischio Moderato) e solo in minima parte nella classe di Rischio Medio (R2). Si precisa che nell'area a rischio R2 non verranno installati pannelli fotovoltaici.

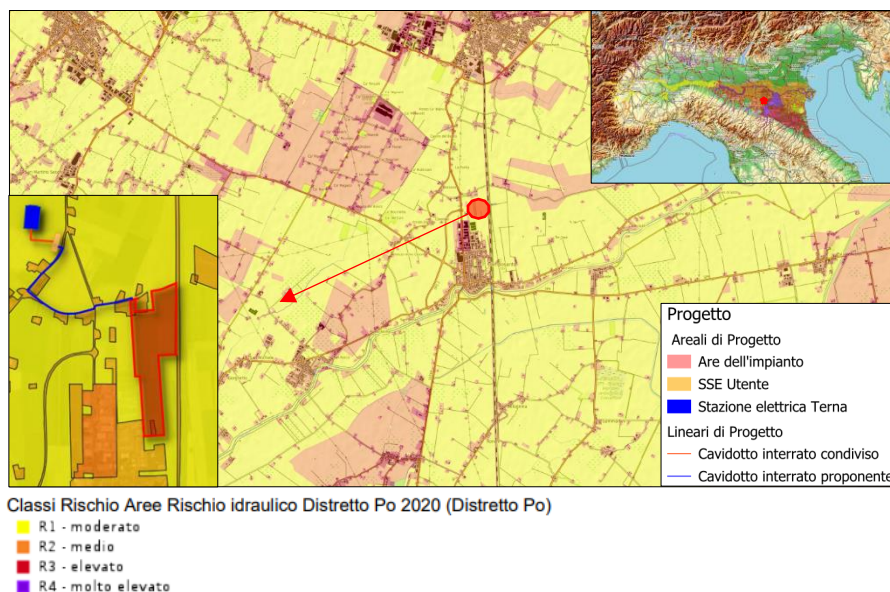


Figura 26 – Mappa di rischio idraulico nell'area di progetto (Distretto Po)

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

Nella Figura 27 si riportano gli stralci delle mappe di pericolosità (Aree con rischio idraulico e allagabili) nelle Aree a Potenziale Rischio Significativo (APSFR) oggetto di Reporting alla Commissione Europea 2020 nel Distretto Po.

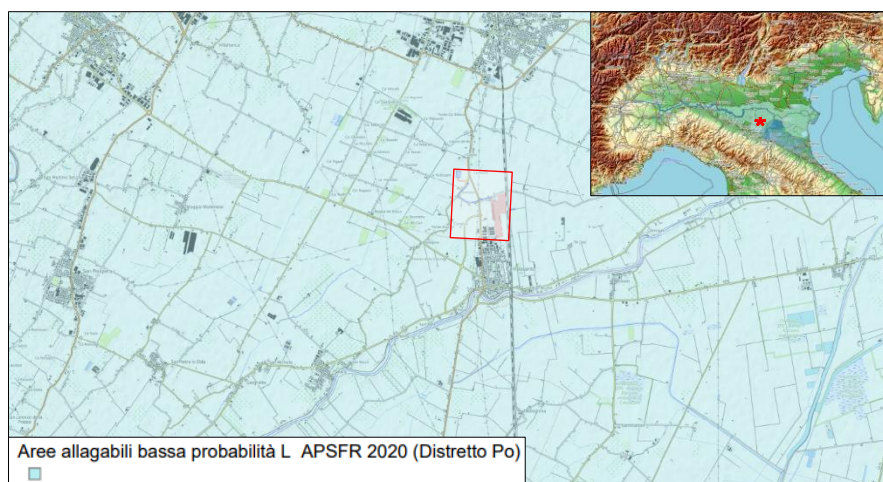


Figura 27 – Aree allagabili a bassa probabilità LAPSFR 2020 (Distretto Po)

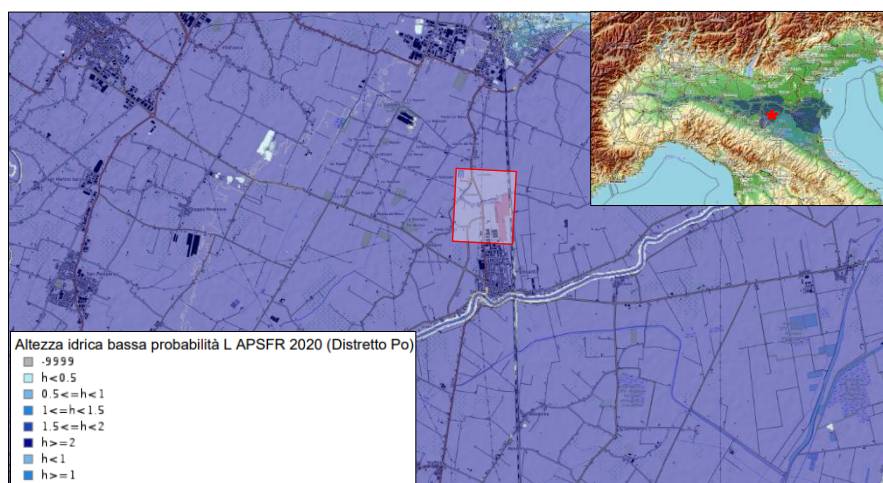


Figura 28 – Aree con altezza idrica bassa probabilità L APSFR 2020 (Distretto Po)

Dalle mappe del PGRA dell'area di studio risulta:

- Pericolosità del reticolo principale: P1 – bassa (con TR 500 anni)
- Pericolosità del reticolo secondario: P2 – media (con TR 50 anni)
- pericolosità idraulica: probabilità bassa
- Rischio idraulico: R1 – moderato e R2 – medio (solo nell'angolo nord-ovest dell'area impianto)
- Aree allagabili: L – bassa probabilità
- Altezza idrica: L – bassa probabilità

*Relazione geologica, idrogeologica e sismica***5.1 Pericolosità Alluvioni**

L'area di studio si trova a circa 1 km dal corso del fiume Panaro ed è pertanto soggetto a rischio idraulico, che decresce con l'aumentare della distanza dagli argini: ad esclusione di una prima fascia classificata A1 ad "elevata pericolosità idraulica", il resto del territorio ricade in classe A3 "aree depresse ad elevata pericolosità idraulica: rapido scorrimento ed elevata criticità idraulica"; il sito di insediamento dell'Azienda si colloca proprio all'interno della fascia A3.

il comune di Camposanto si colloca in un ampio areale della zona nord della provincia di Modena, caratterizzata da successioni alluvionali prevalentemente fini (argille e limi) tali da creare le condizioni di base per la scarsa permeabilità dei suoli. Secondo la consultazione delle carte sulla pericolosità alluvioni del territorio di Camposanto (MO) messi a disposizione dalla piattaforma IdroGeo dell'ISPRA (Figura 29), l'area dell'impianto fotovoltaico è classificata con pericolosità alluvioni MEDIA.

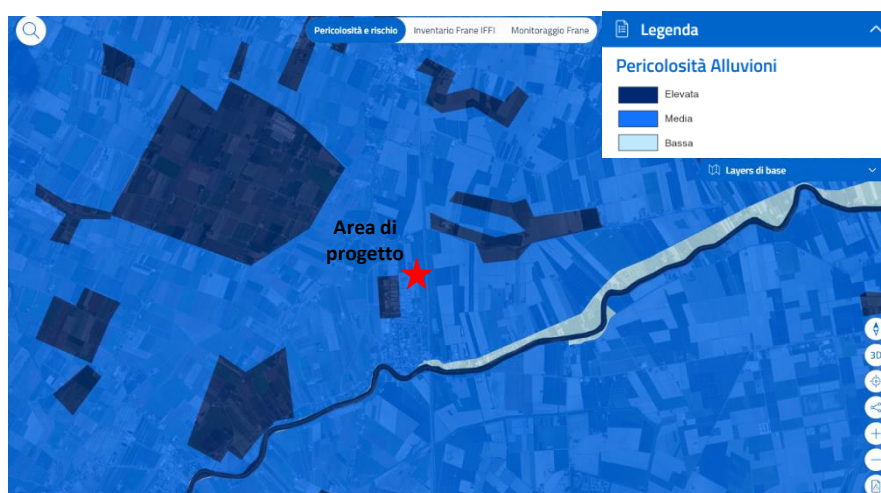


Figura 29 – Carta Pericolosità Alluvioni – Area Impianto FV di Camposanto (MO) (fonte <https://beta.idrogeo.isprambiente.it/>)

6. INQUADRAMENTO SISMICO

L'assetto strutturale sepolto della Pianura Padana è molto articolato e complesso ed è costituito da vere e proprie montagne ricoperte da grandi quantità di sedimenti di origine marina e fluviale. Questi sedimenti hanno spessori molto variabili, tra diverse migliaia di metri e poco più di 100 metri, e nascondono alla semplice osservazione le strutture tettoniche sottostanti, che possono però essere rilevate grazie alle numerose prospezioni geofisiche rese disponibili dall'esplorazione petrolifera a partire dal secondo dopoguerra. La Pianura Padana rappresenta dunque un unicum geologico perché i suoi sedimenti nascondono la zona di contatto tra i thrust delle Alpi Meridionali, a nord, e quelli dell'Appennino Settentrionale, a sud. L'avvicinamento di Alpi e Appennini secondo una direttrice circa N-S, e quindi il raccorciamento della Pianura Padana, è tuttora in atto, come mostrano i dati geodetici satellitari. In profondità questo raccorciamento si trasforma in uno sforzo di caricamento di faglie di tipo compressivo localizzate sia al piede delle Alpi Meridionali, sia al piede dell'Appennino Settentrionale. Al di sotto dei sedimenti della Pianura Padana esistono quindi strutture tettoniche attive e capaci di generare terremoti, come testimonia sia la sismicità strumentale dell'area, sia il verificarsi di importanti terremoti storici. Recentemente, i thrust sepolti dell'Appennino Settentrionale si sono attivati durante la sequenza dell'Emilia del 2012. Una caratteristica comune delle sequenze emiliane del 1570, 1929 e 2012 è quella di essere costituite da più terremoti potenzialmente distruttivi, anche con magnitudo simile, che si susseguono nell'arco di giorni, settimane o mesi. Ma il più forte terremoto di cui si ha notizia nell'area padana è quello che il 3 gennaio del 1117 ha duramente colpito Verona e le aree poste a sud di essa (magnitudo stimata 6.7). La Pianura Padana è interessata sia da terremoti superficiali sia da terremoti relativamente profondi. Un'importante caratteristica che accomuna i terremoti della Pianura Padana è che, in virtù della loro cinematica e del loro contesto geologico, anche i più superficiali tra essi non producono fagliazione della superficie topografica, o comunque non sono noti effetti di terremoti del passato che potrebbero essere ricondotti a fagliazione superficiale. In altre parole, le faglie della Pianura Padana non arrivano a tagliare la superficie terrestre ma si fermano in profondità, e prendono per questo il nome di faglie cieche. Tuttavia, a causa delle caratteristiche geologiche dei terreni più superficiali, i forti terremoti padani causano spesso importanti effetti di liquefazione ed espulsione di sedimenti sabbiosi (vulcani di fango) che possono risultare più dannosi per gli edifici che non lo scuotimento stesso.

Identificare e parametrizzare le faglie responsabili dei principali terremoti della Pianura Padana – ossia le sorgenti sismogenetiche – richiede che si prenda in dovuta considerazione la loro profondità, geometria e cinematica, sia rispetto all'assetto delle due catene montuose attualmente "in avvicinamento" (le Alpi e gli Appennini), sia rispetto all'assetto paleogeografico preesistente. La conoscenza della paleogeografia dell'area oggi occupata dalla Pianura Padana è molto importante per individuarne e caratterizzarne le sorgenti sismogenetiche. Ad esempio, il forte terremoto del 3 gennaio 1117 viene attribuito a una faglia "ereditata", ossia una struttura estensionale di età mesozoica riattivata nell'attuale regime tettonico compressivo. L'identificazione di questa faglia – localizzata, come ci dicono gli aggiornati dati del risentimento macrosismico, al di sotto delle Valli Grandi Veronesi, a sud dei Monti Lessini – è basata sia sull'analisi di dati del sottosuolo, che confermano la presenza di una faglia ereditata, sia su evidenze di geomorfologia tettonica. Lungo i corsi dei fiumi Mincio e Adige sono state identificate diverse "anomalie di drenaggio", ovvero anomalie nell'andamento atteso delle aste fluviali, compatibili con il sollevamento della superficie topografica causato dal movimento in profondità di tale faglia ereditata. Le due sorgenti degli eventi del 3 gennaio 1117 e del 29 maggio 2012, pur appartenendo a due diverse tipologie di faglia (e pur avendo dimensioni molto diverse tra loro (circa 30 km e circa 9 km di lunghezza, rispettivamente), sono accomunate dalla loro natura compressiva, dal fatto di essere entrambe cieche, e dall'aver creato simili deviazioni nell'andamento del corso dei fiumi. Le faglie responsabili di questi terremoti possono appartenere alla categoria dei thrust profondi, ossia alle sorgenti compressive più interne alla catena.

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

Si riporta nel seguito una mappa strutturale della Pianura Padana in cui sono indicati i seguenti elementi:

- Linee nere: principali elementi tettonici;
- linee bianche: faglie ereditate;
- SAMF: fronte montuoso delle Alpi Meridionali;
- SAOA: arco esterno delle Alpi Meridionali;
- GS: Sistema delle Giudicarie;
- SVL: Schio-Vicenza;
- NAOA: arco esterno dell'Appennino Settentrionale;
- PTF: fronte pedeappenninico;
- MA: arco del Monferrato;
- EA: arco Emiliano;
- FRA: arco Ferrarese-Romagnolo.

Come mostrato in Figura 29, l'area di progetto risulta ricadere nell'area dell'arco Ferrarese-Romagnolo (FRA).

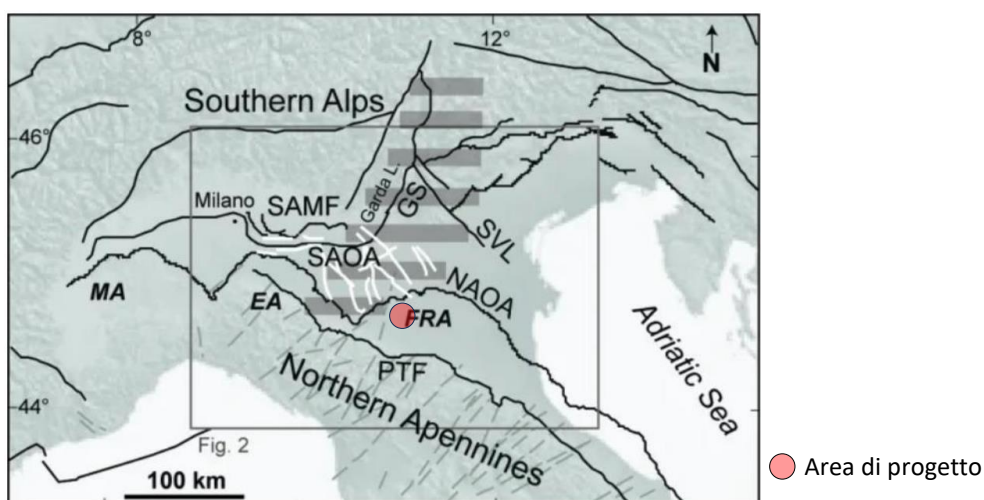


Figura 30 – Mappa strutturale semplificata della Pianura Padana e ubicazione dell'area di progetto (fonte: INGV)

6.1 Sorgenti sismogenetiche

Il Database of Individual Seismogenic Sources (DISS Working Group, 2015) mostra come l'intero territorio comunale è interessato dalla presenza della sorgente sismogenetica composta ITCS051 denominata Carpi - Poggio Renatico ed orientata Est - Sud-Est – Ovest - Nord-Ovest; essa comprende la sorgente individuale di Mirandola (ITIS107) caratterizzata da magnitudo momento massima M_{wmax} pari a 6, profondità tra 4 e 7 km e slip-rate compreso tra 0.5 e 1.04 mm/anno.

Immediatamente a nord della sorgente sismogenetica composta ITCS051, è collocata la sorgente sismogenetica composta ITCS103 denominata Finale Emilia - Mirabello anch'essa orientata Est - Sud-Est – Ovest - Nord-Ovest; essa comprende la sorgente individuale di Finale Emilia (ITIS134), caratterizzata da magnitudo momento massima M_{wmax} pari a 6.1, profondità tra 4 e 8.4 km e slip-rate compreso tra 0.25 e 0.5 mm/anno.

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

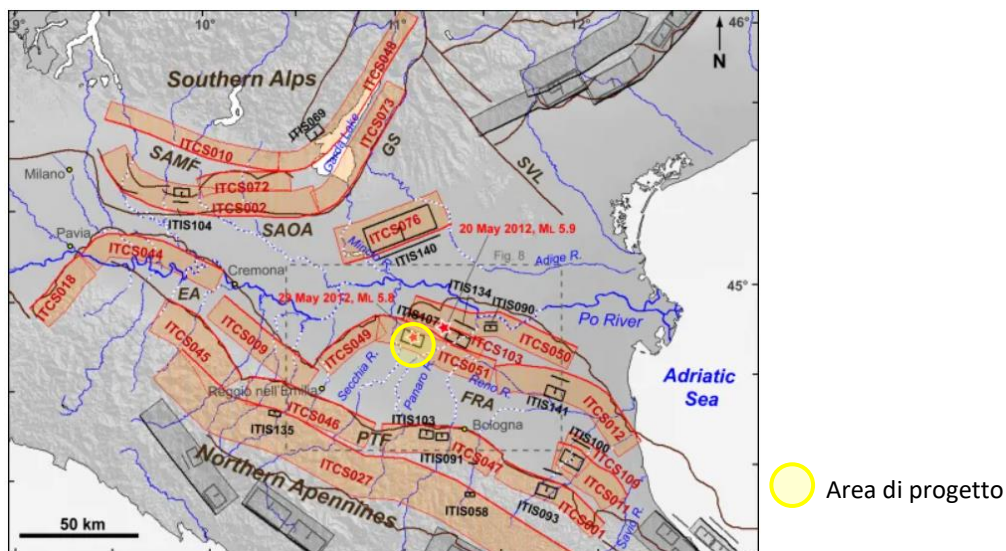


Figura 31 – Sorgenti Sismogenetiche Individuali (ISS) e Sorgenti Sismogenetiche Composite (CSS) della Pianura Padana (fonte: INGV)

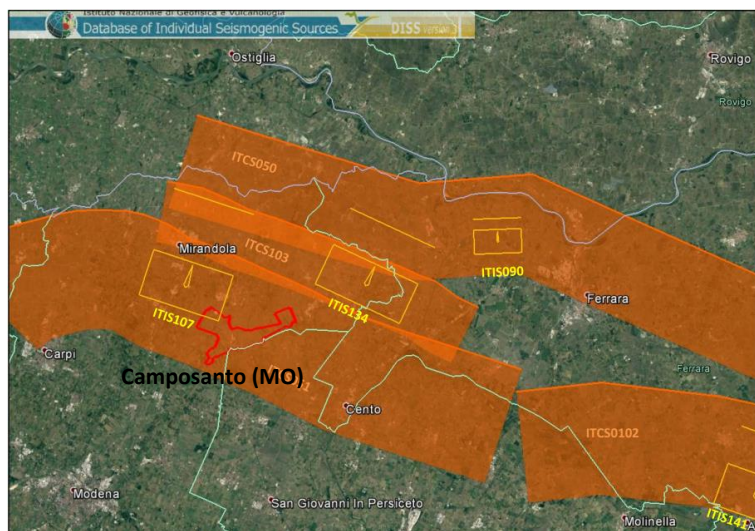


Figura 32 – Sorgenti Sismogenetiche composite ed individuali presenti nel database DISS 3.2.0, nell'intorno dell'area di studio. In rosso l'area del Comune di camposanto (MO).

Secondo la Zonazione sismogenetica del Territorio Italiano - ZS9, prodotta dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) nel 2004 (Meletti e Valensise, 2004), e che rappresenta il riferimento per le valutazioni di pericolosità sismica nel territorio nazionale, il Comune di Camposanto ricade dentro alla Zona 912 "Dorsale Ferrarese" (Figura 32), caratterizzata da un valore di M_{wmax} pari a 6,14 (fonte: Regione Emilia-Romagna, "Microzonazione sismica Livello 3 del Comune di Camposanto").

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

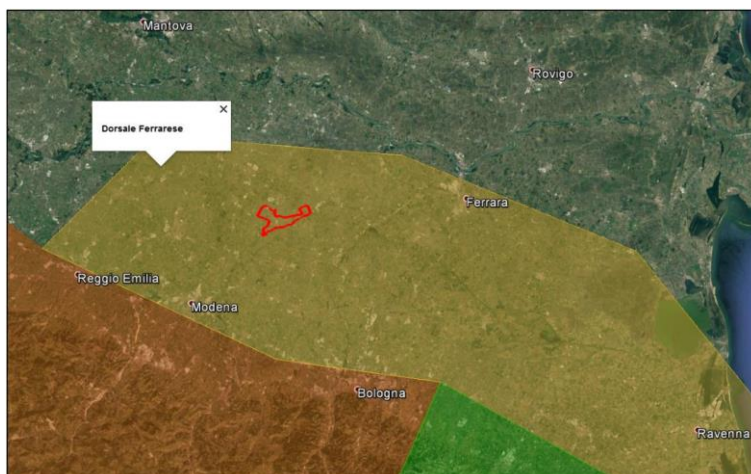


Figura 33 – Ubicazione del territorio comunale di Camposanto (in rosso) rispetto alla Zonazione ZS9 (Meletti e Valensise, 2004)

6.2 Sismicità dell'area di Camposanto (MO)

La ricostruzione della sismicità storica del Comune di Camposanto è stata effettuata basandosi innanzitutto sull'analisi del Database Macrosismico Italiano - DBMI15 (Locati et al., 2016), il quale consente la consultazione online dei dati macrosismici di tutte quelle località a cui sono associate osservazioni di danno riferibili ad almeno 3 eventi sismici nella finestra temporale 1000-2014.

In relazione al Comune di Camposanto il database contiene 14 record relativi ad eventi sismici storici. Per ciascun terremoto sono stati quindi riportati i valori di intensità macrosismica (IMCS) osservata nel territorio comunale in occasione degli eventi considerati, l'area epicentrale, il numero di Macro seismic Data Point (NMDP), l'intensità epicentrale (I_0) e la magnitudo momento (M_w) stimata mediante relazioni empiriche.

I valori di intensità sono espressi in accordo con la scala Mercalli-Cancani Sieberg (Sieberg, 1930).

PlaceID	IT_38194
Coordinate (lat, lon)	44.788, 11.143
Comune (ISTAT 2015)	Camposanto
Provincia	Modena
Regione	Emilia-Romagna
Numero di eventi riportati	14

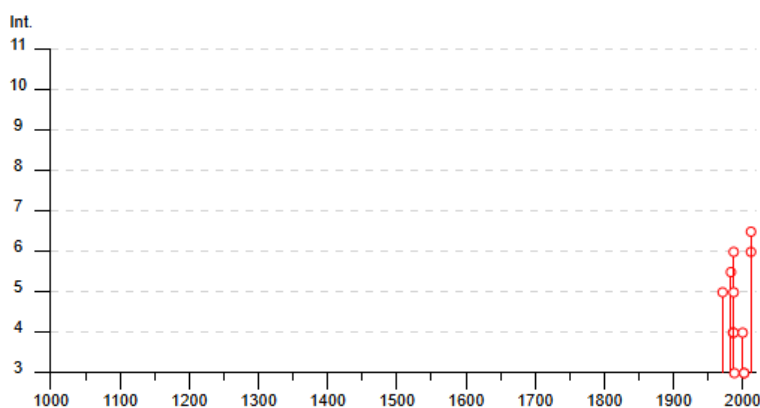


Figura 34 – Valori di intensità macrosismica $I_{MCS} \geq 5$ attribuite al Comune di Camposanto (MO), dall'anno 1000 al 2014 (database DBMI11 (Locati et al., 2016))

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

GRADO	SCOSSA	DESCRIZIONE DEGLI EFFETTI
IV	Moderata	Avvertita da molte persone, tremito di infissi e cristalli, leggere oscillazioni di oggetti appesi.
V	Piuttosto forte	Avvertita anche da persone addormentate, caduta di oggetti.
VI	Forte	Qualche leggera lesione negli edifici e finestre in frantumi.
VII	Molto forte	Caduta di fumaiole, lesioni negli edifici.
VIII	Rovinoso	Rovina parziale di qualche edificio; qualche vittima isolata.

Tabella 2 – Stralcio della scala delle intensità macrosismiche Mercalli-Cancani-Sieberg (Sieberg, 1930)

Come è possibile notare dai dati disponibili, i più recenti terremoti a maggiore intensità con epicentro nelle vicinanze dell'area di studio sono quelli che si sono verificati il 20 ed il 29 maggio 2012, con valori di intensità macrosismica osservati nel territorio comunale rispettivamente di VI e di VI-VII grado.

6.3 Pericolosità sismica

- Ordinanza del P.C.M. n° 3274 del 20/03/2003 che emana i "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione del territorio nazionale e di normative tecniche (G.U. n.105 del 08/05/2003);
- Ordinanza del P.C.M. n° 3519 del 28/04/2006 che emana i "criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone (G.U. n.108 del 11/05/2006)".

L'emanazione di successive ordinanze (Ordinanza di protezione civile n° 3379 del 05/11/2004, Ordinanza del P.C.M. n° 3431 del 03/05/2005, Ordinanza del P.C.M. n° 3452 del 01/08/2005, legge n. 31/08 del 28/02/2008), hanno preceduto la definitiva obbligatorietà all'applicazione del D.M. 14 gennaio 2008 "Norme Tecniche sulle costruzioni" (cap. 3.2 Azione sismica) per la valutazione della "pericolosità sismica di base" del sito interessato da nuove opere di costruzione ad oggi sostituito dal Decreto 17/01/2018 "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni".

La norma nazionale prevede di definire l'accelerazione sismica al suolo, sulla base di una mappatura del territorio italiano a cura dell'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia), riportante le accelerazioni massime attese al suolo.

La Mappa di Pericolosità Sismica (Figura 34) di riferimento (INGV, 2004) e il modello di pericolosità sismica (Figura 35) mostra, per l'area in esame, un'accelerazione massima attesa su suolo rigido ($V_{s30} > 800$ m/s; cat.A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005) compresa tra 0,150 e 0,175 g, con probabilità di superamento del 10% in 50 anni (Tabella 3).

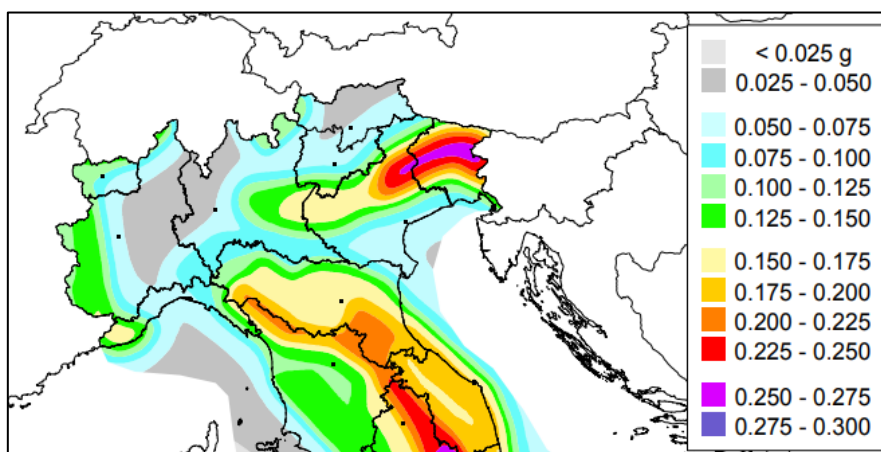


Figura 35 – Stralcio della Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (INGV-2004)

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

Zona sismica	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [a_g/g]	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico [a_g/g]
1	> 0.25	0.35
2	$0.15 - 0.25$	0.25
3	$0.05 - 0.15$	0.15
4	< 0.05	0.05

Tabella 3 – Zona sismica - Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (a_g)

Nella figura a seguire si riporta il dettaglio del modello di pericolosità sismica MPS04-S1 del territorio del Comune di Camposanto (MO).

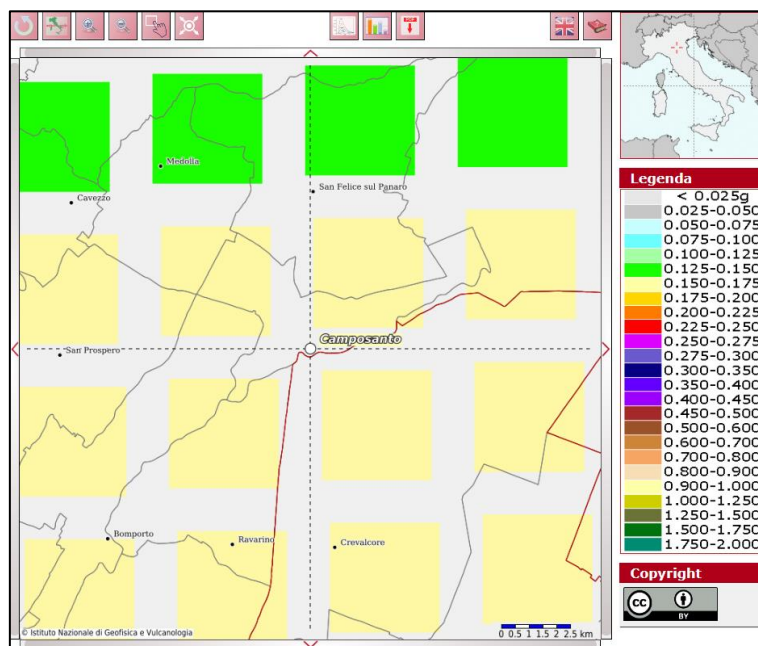


Figura 36 – Modello di pericolosità sismica MPS04-S1 nell'intorno dell'area di studio

Secondo la riclassificazione sismica dell'Emilia-Romagna, Ordinanza del P.C.M. n. 3274 / 2003, aggiornata con la Deliberazione della Giunta Regionale n.1435 del 21 luglio 2003 e successivamente con la n.1164 del 23 luglio 2018, il territorio del Comune di Camposanto (MO) ricade in categoria 3 – “Zona con pericolosità sismica bassa, che può essere soggetta a scuotimenti modesti”.

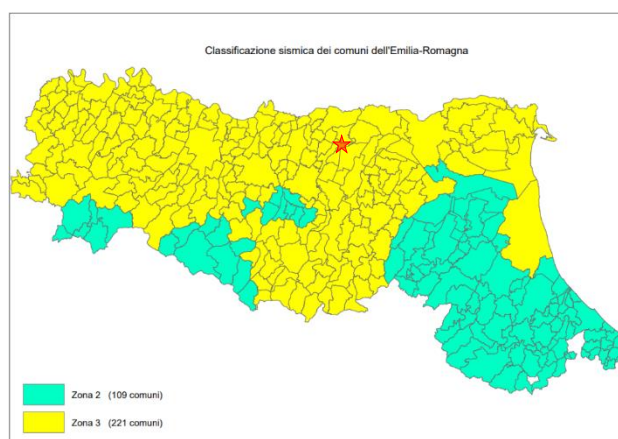


Figura 37 – Zonazione sismica della Regione Emilia-Romagna (aggiornamento della classificazione sismica 2023)

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

6.4 Indagini geofisiche in Sito

Data l'estensione dell'area (circa 21 ha) sono state eseguite le seguenti indagini sismiche in sito:

INDAGINE	TIOLOGIA	SIGLA	NUMERO
Stazioni microtremori a stazione singola - HVSR	Sismica passiva	HVSR	1
Multi-channel Analysis of Surface Waves – MASW	Sismica multicanale	MASW	4
Indagine sismica a rifrazione	Sismica a rifrazione	SR	1
TOTALE INDAGINI			9

Tabella 4 – indagini geofisiche eseguite in Sito

Di seguito si riportano i risultati delle indagini eseguite in Sito ed illustrate in Figura 37.

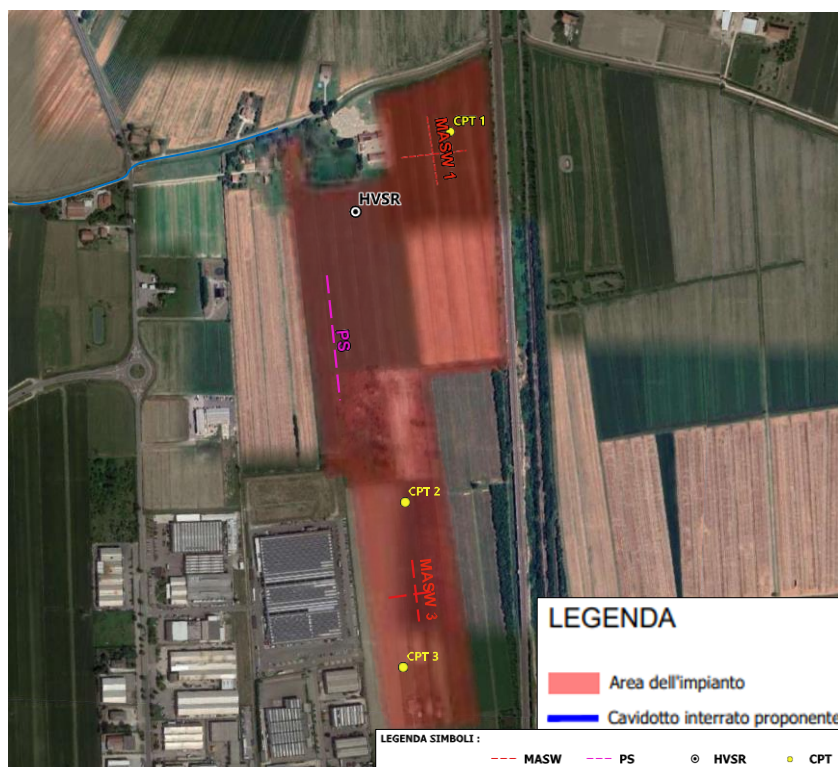


Figura 38 – Ubicazione delle indagini geognostiche e sismiche su immagine satellitare (fonte Google Earth)

6.4.1 Indagine sismica HVSR

L'indagine HVSR è una tecnica di indagine sismica passiva, non invasiva, di rapida esecuzione utilizzata per valutare la frequenza di vibrazione naturale di un sito e di stimare il parametro normativo V_{seq} attraverso un processo di inversione del problema iniziale.

L'utilizzo di algoritmi di calcolo finalizzati ad una modellizzazione sintetica dello spettro H/V, permette di correlare ogni picco spettrale con le discontinuità presenti nel sottosuolo (per esempio i cambi litologici). I dati che si possono ricavare sono spessori, profondità e velocità di propagazione delle onde di taglio. La restituzione dei dati permette di elaborare una ricostruzione stratigrafica del sottosuolo, di verificare la mono-dimensionalità degli strati e di calcolare il parametro $V_{s,eq}$ per valorizzare la categoria di sottosuolo.

Le ipotesi alla base della tecnica sono:

- una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz);

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

- assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze;
- le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione.

Il sistema di acquisizione è costituito da un sismografo tridimensionale Pasi mod. Gemini-2 per acquisizione dati HVSR: un unico contenitore waterproof con integrato una terna di geofoni a bassa frequenza da 2Hz accuratamente accoppiati con elevate caratteristiche e un potente acquisitore dati 24 bit reali.

Va ricordato che il diagramma 1D mostra una suddivisione sismo-stratigrafica ricostruita sul differente comportamento sismico dei materiali investigati. È quindi possibile che variazioni di velocità non corrispondano necessariamente a passaggi litologici netti. Di seguito i risultati dell'elaborazione dei dati dell'indagine sismica HVSR1.

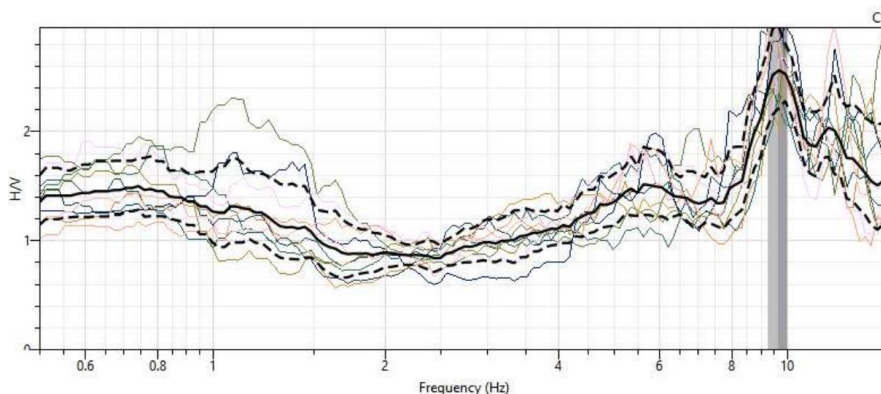


Figura 39 – Grafico della curva H/V Raffinata

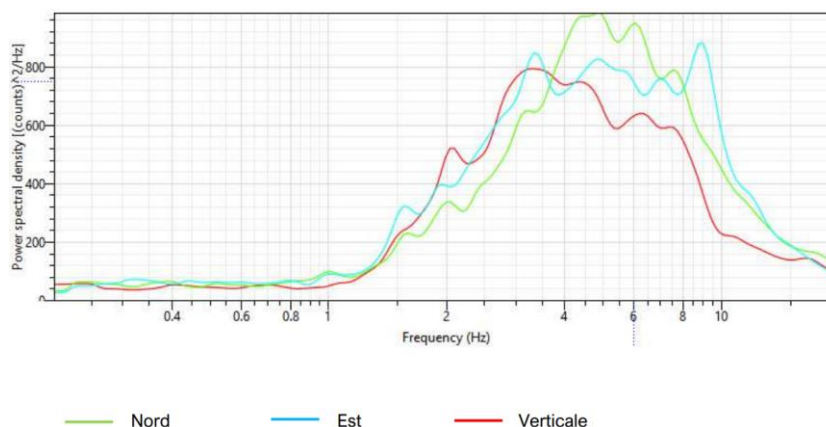


Figura 40 – Spectrum summary (raggruppamento degli spettri medi di tutte e tre le componenti)

Dall'analisi della curva HVSR, eseguita tra 0.5 Hz e 20 Hz (frequenze di interesse ingegneristico), degli spettri nelle tre direzioni e della direzionalità del rapporto H/V, risulta un possibile picco alla frequenza di 9.65 Hz, esso tuttavia, non rispetta tutti i criteri SESAME di affidabilità e chiarezza del picco.

Si riporta di seguito il profilo delle Vs ricavato dall'elaborazione dell'indagine:

Profondità (m)	Spessore (m)	Velocità (m/s)
1.97	1.97	123
6.78	4.84	255
7.55	0.77	358
26.63	19.08	390
78.19	51.56	435

Tabella 5 — Profilo delle V_s per l'indagine sismica HVSR

*Relazione geologica, idrogeologica e sismica***6.4.2 Indagine sismica MASW**

La MASW (Multichannel Analysis of Seismic Waves) è una metodologia di indagine geofisica che consente l'individuazione di frequenza, ampiezza, lunghezza d'onda e velocità di propagazione delle onde sismiche superficiali (principalmente onde di Rayleigh) generate artificialmente. L'analisi delle onde superficiali permette la determinazione delle velocità delle onde di taglio verticali (V_s) nei terreni al di sotto dello stendimento sismico.

L'indagine è realizzata disponendo lungo una linea retta, a intervalli regolari, una serie di geofoni collegati ad un sismografo. Una fonte puntuale di energia, quale mazza battente su piastra metallica o cannoncino sismico, produce treni d'onda che attraversano il terreno con percorsi, velocità e frequenze variabili. Il passaggio del treno d'onda sollecita la massa inerziale presente nel geofono, l'impulso così prodotto viene convertito in segnale elettrico e acquisito dal sismografo. Il risultato è un sismogramma che contiene molteplici informazioni quali tempo di arrivo ai geofoni rispetto all'istante di energizzazione, frequenze e relative ampiezze dei treni d'onda.

La successiva elaborazione consente di ottenere un diagramma 1D (profondità/velocità onde di taglio) tramite modellizzazione ed elaborazione matematica con algoritmi capaci di minimizzare le differenze tra i modelli elaborati e i dati di partenza.

Il sistema di acquisizione dei dati è costituito da un sismografo multicanale "PASI GEA 24", dotato di geofoni verticali "Oyo Geospace" con frequenza propria di 4,5 Hz, collegati allo strumento tramite cavi elettrici schermati. Per l'energizzazione è stata utilizzata una mazza del peso di 8 kg e una piastra di battuta di alluminio.

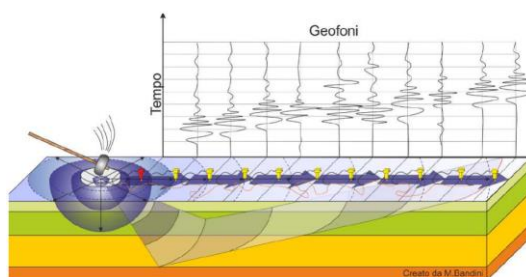


Figura 41 – Schema di funzionamento di indagine tipo MASW

Va ricordato che il diagramma 1D mostra una suddivisione sismo-stratigrafica ricostruita sul differente comportamento sismico dei materiali investigati. È quindi possibile che variazioni di velocità non corrispondano necessariamente a passaggi litologici netti.

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

indagine sismica MASW1:

Di seguito i risultati dell'elaborazione dei dati dell'indagine sismica MASW1.

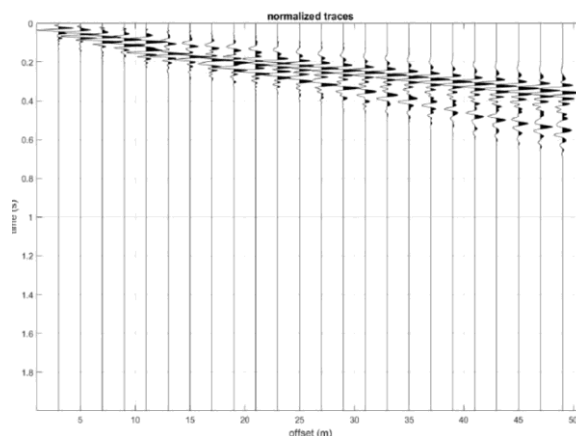


Figura 42 – masw1: Visualizzazione del sismogramma acquisito

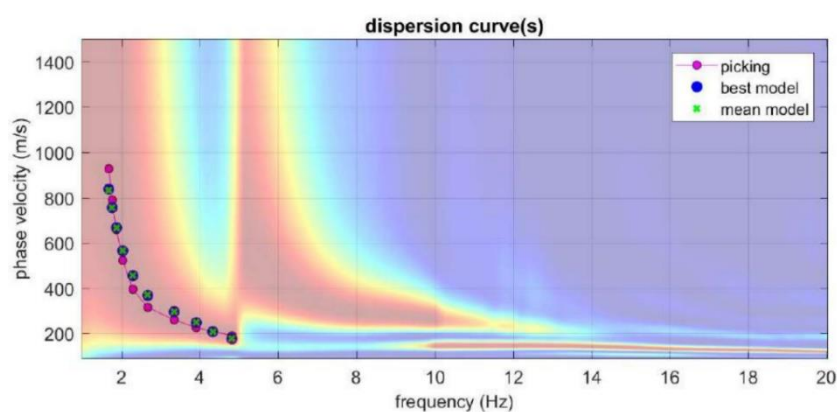


Figura 43 – MASW1: Diagramma frequenza-numero d'onda – modellazione dei dati acquisiti mediante individuazione del modo fondamentale che compone lo spettro di velocità delle onde di Reyleigh

Si riporta di seguito il profilo delle Vs ricavato dall'elaborazione dell'indagine sismica MASW1:

Profondità (m)	Spessore (m)	Velocità (m/s)
9.20	9.20	118
24.20	15.00	226
40.20	16.00	437
58.20	18.00	466
109.20	51.00	717
115.20	6.00	1704

Tabella 6 – Indagine sismica MASW1 - Profilo delle V_s

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

indagine sismica MASW2:

Di seguito i risultati dell'elaborazione dei dati dell'indagine sismica MASW2.

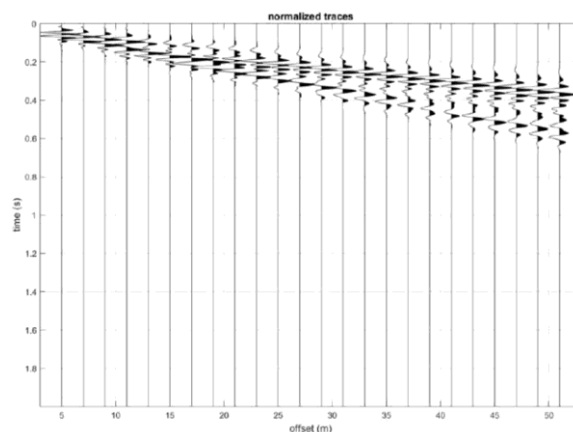


Figura 44 – MASW2: Visualizzazione del sismogramma acquisito

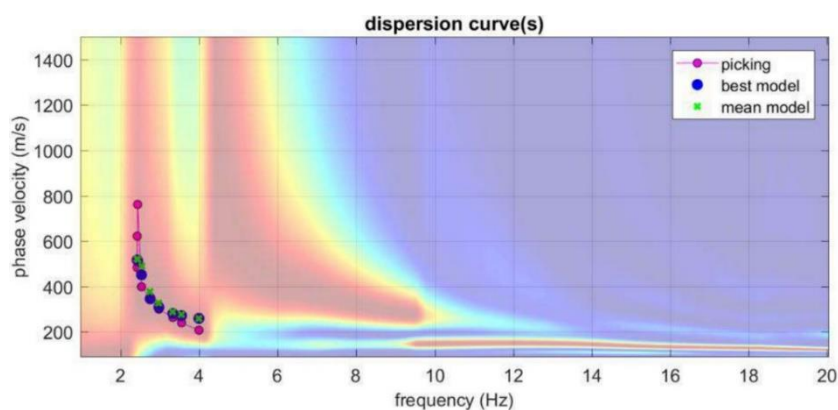


Figura 45 – MASW2: Diagramma frequenza-numero d'onda – modellazione dei dati acquisiti mediante individuazione del modo fondamentale che compone lo spettro di velocità delle onde di Reyleigh

Si riporta di seguito il profilo delle Vs ricavato dall'elaborazione dell'indagine sismica MASW2:

Profondità (m)	Spessore (m)	Velocità (m/s)
11.00	11.00	215
30.00	19.00	263
42.00	12.00	326
53.00	11.00	353
72.00	19.00	665
78.00	6.00	990

Tabella 7 – Indagine sismica MASW2 - Profilo delle V_s

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

indagine sismica MASW3:

Di seguito i risultati dell'elaborazione dei dati dell'indagine sismica MASW3.

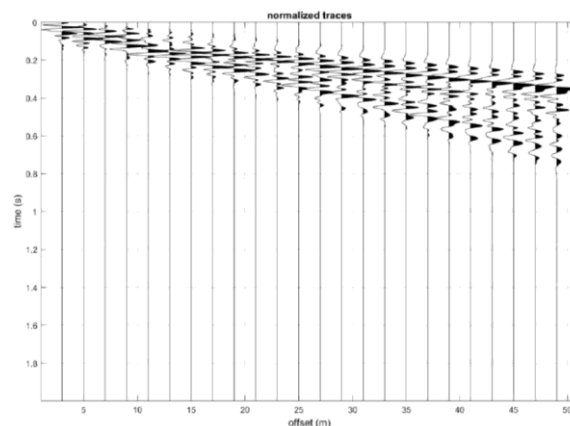


Figura 46 – MASW3: Visualizzazione del sismogramma acquisito

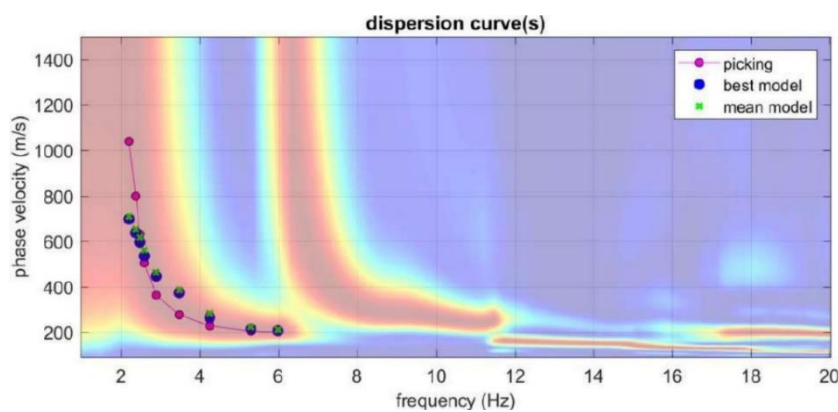


Figura 47 – MASW3: Diagramma frequenza-numero d'onda – modellazione dei dati acquisiti mediante individuazione del modo fondamentale che compone lo spettro di velocità delle onde di Reyleigh

Si riporta di seguito il profilo delle Vs ricavato dall'elaborazione dell'indagine sismica MASW3:

Profondità (m)	Spessore (m)	Velocità (m/s)
6.20	6.20	255
18.20	12.00	190
29.20	11.00	347
51.20	22.00	543
79.20	28.00	427
85.20	6.00	1761

Tabella 8 – Indagine sismica MASW3 - Profilo delle V_s

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

indagine sismica MASW4:

Di seguito i risultati dell'elaborazione dei dati dell'indagine sismica MASW4.

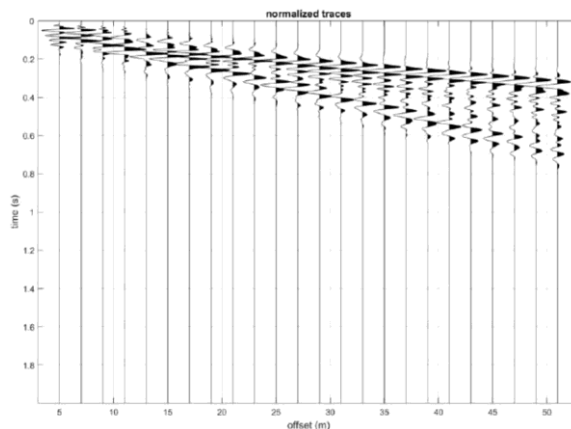


Figura 48 – masw4: Visualizzazione del sismogramma acquisito

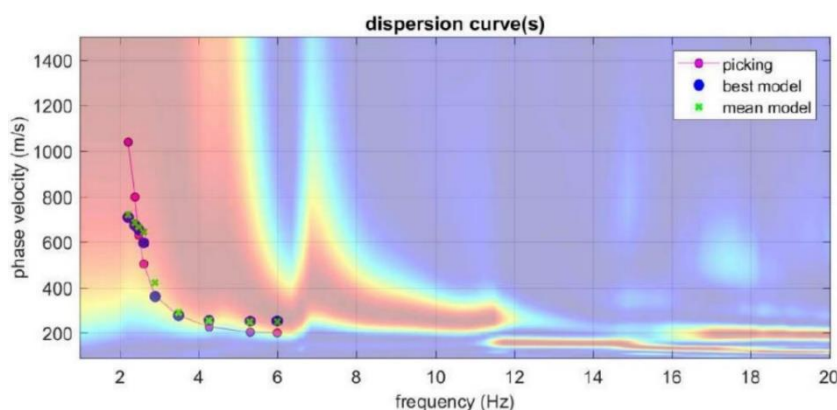


Figura 49 – MASW4: Diagramma frequenza-numero d'onda – modellazione dei dati acquisiti mediante individuazione del modo fondamentale che compone lo spettro di velocità delle onde di Reyleigh

Si riporta di seguito il profilo delle Vs ricavato dall'elaborazione dell'indagine sismica MASW4:

Profondità (m)	Spessore (m)	Velocità (m/s)
5.20	5.20	128
17.20	12.00	368
31.20	14.00	216
48.20	17.00	570
67.20	19.00	426
73.20	6.00	1512

Tabella 9 – Indagine sismica MASW4 - Profilo delle V_s

6.4.3 Indagine sismica a rifrazione

Le indagini di sismica a rifrazione consentono di interpretare la stratigrafia del sottosuolo attraverso il principio fisico del fenomeno della rifrazione totale di un'onda sismica che incide su una discontinuità, individuata fra due corpi aventi proprietà meccaniche diverse (orizzonte rifrattorio).

Il metodo di investigazione mediante sismica a rifrazione si basa sullo studio della propagazione delle onde elastiche indotte o presenti nel sottosuolo, considerando che i terreni sottoposti a stress si deformano e la propagazione delle

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

deformazioni, che costituisce l'onda elastica, dipende dalle caratteristiche dei materiali attraversati e che la velocità di propagazione, l'attenuazione ed il contenuto in frequenza della perturbazione dipendono dalle caratteristiche elastiche dei terreni, dalla loro densità, dalla direzione di propagazione e dalle caratteristiche tecniche dei materiali.

La tecnica applicata consente la ricostruzione della stratigrafia del sito attraverso la misura diretta della velocità di propagazione delle onde di compressione (P), secondo fasi d'acquisizione differenti e nella determinazione delle geometrie sepolte (spessori e superfici di contatto) dei sismo-strati individuati.

L'indagine consiste nel produrre sulla superficie del terreno (sorgente sismica) sollecitazioni dinamiche verticali (shot sismici) per la generazione delle onde P e nel registrare le vibrazioni trasmesse, sempre in corrispondenza della superficie, a distanze note e prefissate mediante sensori a componente verticale (geofoni).

Mediante questo tipo di indagine si può risalire alla composizione litologica di massima dei terreni, al loro grado di fratturazione, alla geometria delle prime unità sottostanti la coltre superficiale, alla profondità in cui si trova la roccia di fondo ("bedrock"). Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un sismografo multicanale "PASI GEA 24", dotato di sistema di ricezione di 24 geofoni verticali "Ambrogeo" con frequenza propria di 4,5 Hz e con interdistanza 5.0 m.

Per l'energizzazione è stata utilizzata una mazza del peso di 8 kg e una piastra di battuta di alluminio.

Di seguito i risultati dell'elaborazione dei dati dell'indagine sismica a rifrazione.

Lunghezza stendimento	115 m
Numero Geofoni	24
Spaziatura dei geofoni	5 m
Numero degli shot sismici	7
Posizione shot sismici	-15.0 m (prima del primo geofono) -2.5 m (prima del primo geofono) 27.5 m (tra geofono 6 e 7) 57.5 m (tra geofono 12 e 13) 87.5 m (tra geofono 18 e 19) 117.5 m (+ 2.5 m dopo ultimo geofono) 130 m (+ 15 m dopo ultimo geofono)

Tabella 10 – Indagine sismica a rifrazione – geometria dello stendimento



Figura 50 – Indagine sismica a rifrazione – Posizionamento shot sismici

	Posizione X [m]	Posizione Z [m]		Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	0.0	0.0	13	60.0	0.0
2	5.0	0.0	14	65.0	0.0
3	10.0	0.0	15	70.0	0.0
4	15.0	0.0	16	75.0	0.0
5	20.0	0.0	17	80.0	0.0
6	25.0	0.0	18	85.0	0.0
7	30.0	0.0	19	90.0	0.0
8	35.0	0.0	20	95.0	0.0
9	40.0	0.0	21	100.0	0.0
10	45.0	0.0	22	105.0	0.0
11	50.0	0.0	23	110.0	0.0
12	55.0	0.0	24	115.0	0.0

Tabella 11 – Indagine sismica a rifrazione – Geometria geofoni

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

Battuta 1, posizione X= -15 m; Z= 0 m:

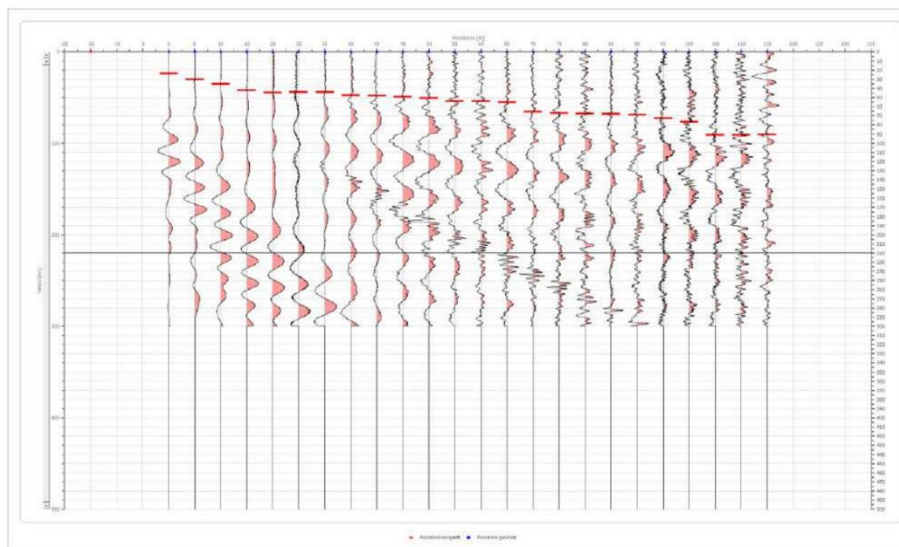


Figura 51 – Indagine sismica a rifrazione – Battuta 1

Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0,0	23,8628
5,0	30,3257
10,0	35,2971
15,0	42,2571
20,0	44,7428
25,0	44,2457
30,0	44,2457
35,0	47,7257
40,0	48,2228
45,0	49,2171
50,0	50,7085
55,0	54,1885
60,0	54,0000
65,0	55,1828
70,0	65,6228
75,0	67,1142
80,0	67,6113
85,0	67,8750
90,0	69,1028
95,0	72,5828
100,0	76,5599
105,0	90,9770
110,0	90,9770
115,0	90,4799

Tabella 12 – Indagine sismica a rifrazione – Posizione geofono

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

Battuta 2, posizione X= -2,5 m; Z= 0 m

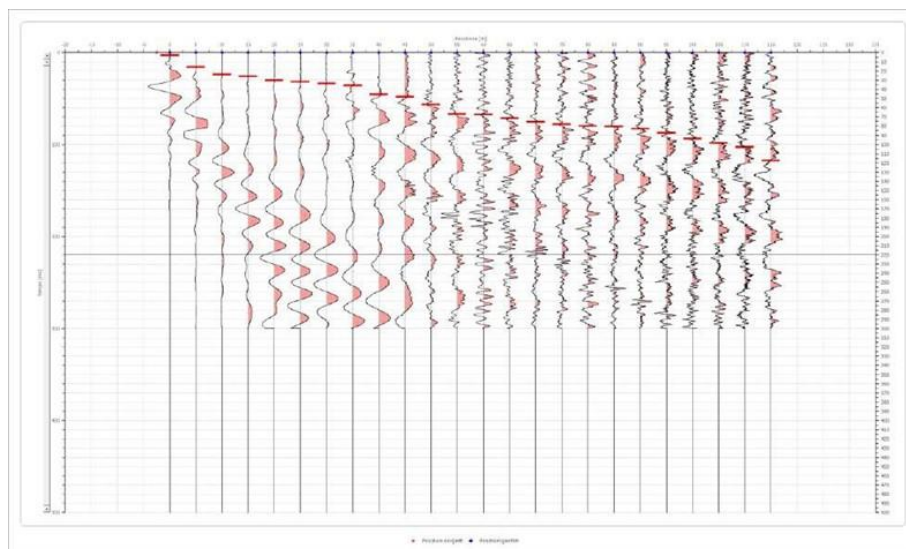


Figura 52 – Indagine sismica a rifrazione – Battuta 2

Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0,0	29,8290
5,0	15,9086
10,0	23,8628
15,0	25,8514
20,0	30,3257
25,0	31,8171
30,0	33,8057
35,0	35,7942
40,0	45,7371
45,0	48,2228
50,0	56,6742
55,0	67,1142
60,0	67,6113
65,0	71,5885
70,0	75,5656
75,0	78,0513
80,0	80,0399
85,0	80,5370
90,0	83,0227
95,0	87,4970
100,0	93,9599
105,0	98,4342
110,0	102,9084
115,0	117,3256

Tabella 13 – Indagine sismica a rifrazione – Posizione geofono

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

Battuta 3, posizione X= 27,5 m; Z= 0 m

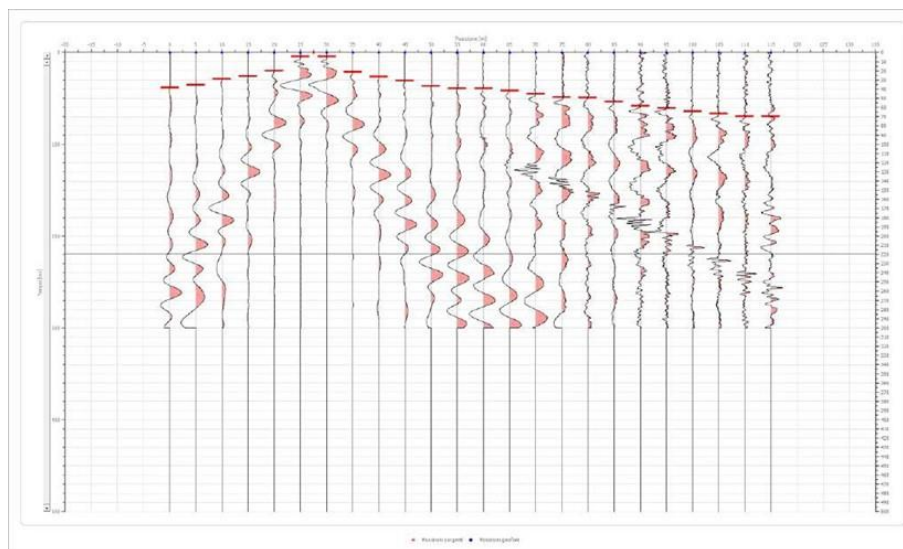


Figura 53 – Indagine sismica a rifrazione – Battuta 3

Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0,0	38,2799
5,0	35,2971
10,0	28,8342
15,0	25,8514
20,0	19,8857
25,0	4,4743
30,0	4,4743
35,0	21,3771
40,0	26,3485
45,0	30,8228
50,0	36,7885
55,0	39,2742
60,0	39,2742
65,0	41,7599
70,0	45,2399
75,0	48,7199
80,0	49,2171
85,0	53,6914
90,0	58,1656
95,0	60,6513
100,0	64,1313
105,0	66,6171
110,0	69,5999
115,0	69,5999

Tabella 14 – Indagine sismica a rifrazione – Posizione geofono

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

Battuta 4, posizione X= 57,5 m; Z= 0 m

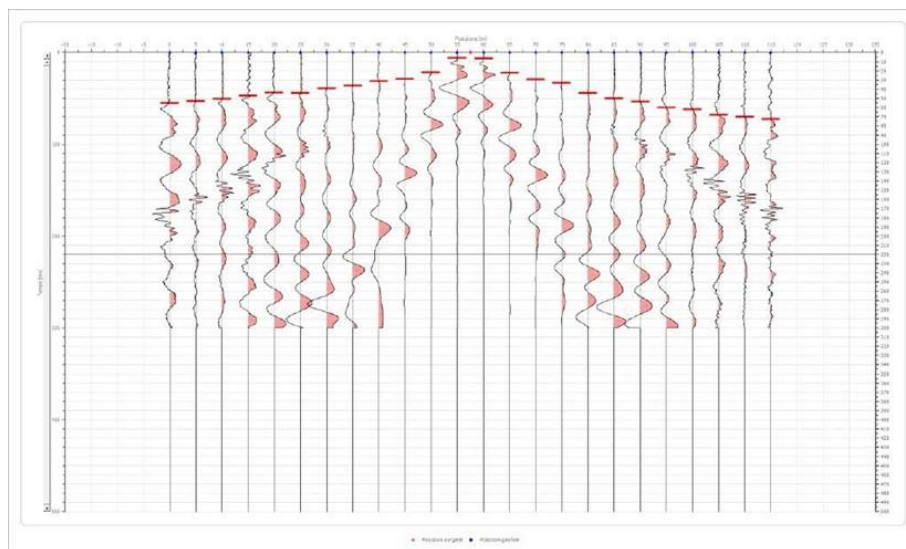


Figura 54 – Indagine sismica a rifrazione – Battuta 4

Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0,0	55,1828
5,0	53,1942
10,0	50,7085
15,0	47,2285
20,0	43,7485
25,0	44,2457
30,0	39,2742
35,0	36,2914
40,0	31,3200
45,0	28,8342
50,0	21,8743
55,0	5,9657
60,0	6,4628
65,0	22,3714
70,0	29,3314
75,0	33,3085
80,0	44,2457
85,0	50,2114
90,0	53,6914
95,0	60,1542
100,0	62,1428
105,0	68,1085
110,0	70,0971
115,0	72,5828

Tabella 15 – Indagine sismica a rifrazione – Posizione geofono

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

Battuta 5, posizione X= 87,5 m; Z= 0 m

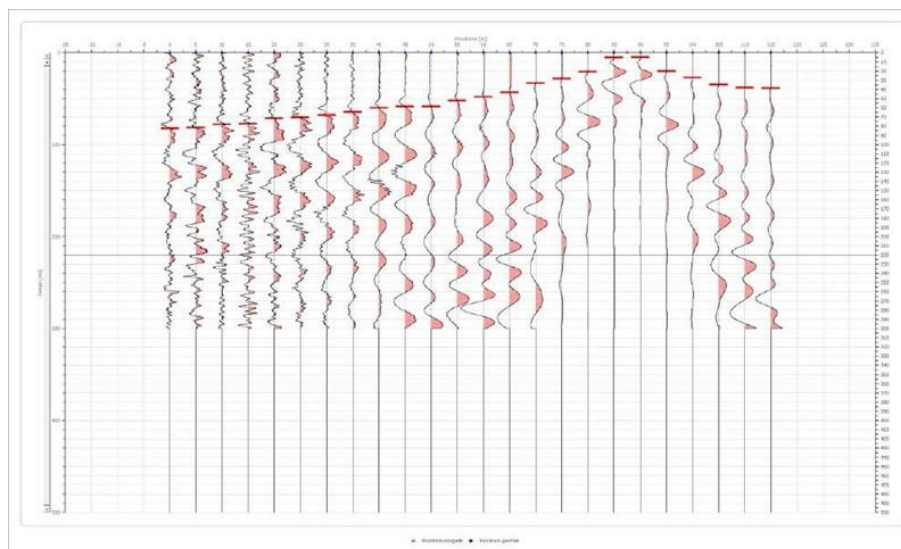


Figura 55 – Indagine sismica a rifrazione – Battuta 5

Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0,0	82,5256
5,0	81,5313
10,0	78,0513
15,0	77,5542
20,0	71,5885
25,0	70,5942
30,0	68,1085
35,0	64,6285
40,0	60,1542
45,0	58,6628
50,0	58,6628
55,0	52,1999
60,0	48,2228
65,0	43,2514
70,0	33,3085
75,0	28,3371
80,0	20,8800
85,0	5,4686
90,0	4,9714
95,0	20,3828
100,0	27,3428
105,0	34,8000
110,0	38,2799
115,0	38,7771

Tabella 16 – Indagine sismica a rifrazione – Posizione geofono

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

Battuta 6, posizione X= 117,5 m; Z= 0 m

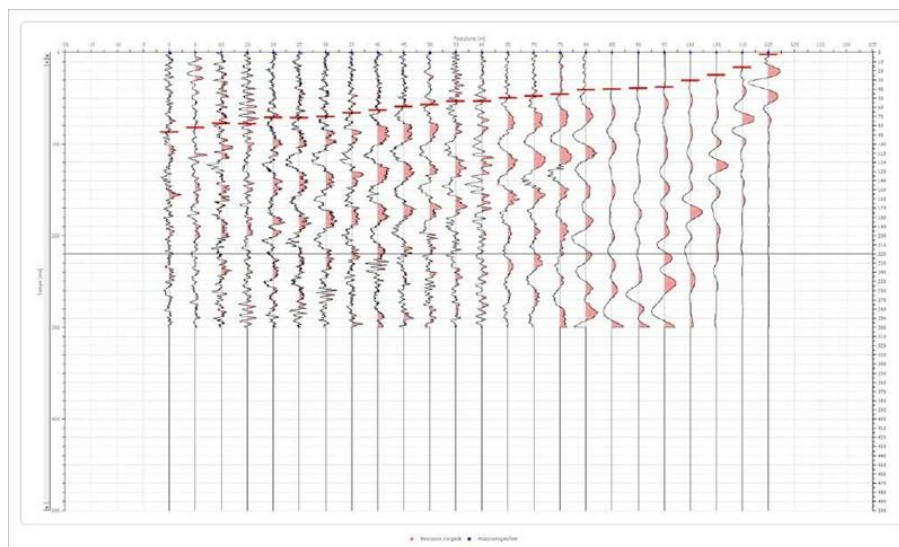


Figura 56 – Indagine sismica a rifrazione – Battuta 6

Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0,0	86,9999
5,0	82,0285
10,0	77,5542
15,0	78,0513
20,0	71,0913
25,0	71,5885
30,0	70,0971
35,0	66,1199
40,0	63,1371
45,0	59,1599
50,0	57,1714
55,0	53,1942
60,0	53,1942
65,0	49,7142
70,0	47,7257
75,0	45,7371
80,0	40,7657
85,0	40,2685
90,0	39,2742
95,0	37,7828
100,0	30,8228
105,0	24,8571
110,0	16,4057
115,0	2,4857

Tabella 17 – Indagine sismica a rifrazione – Posizione geofono

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

Battuta 7, posizione X= 130 m; Z= 0 m

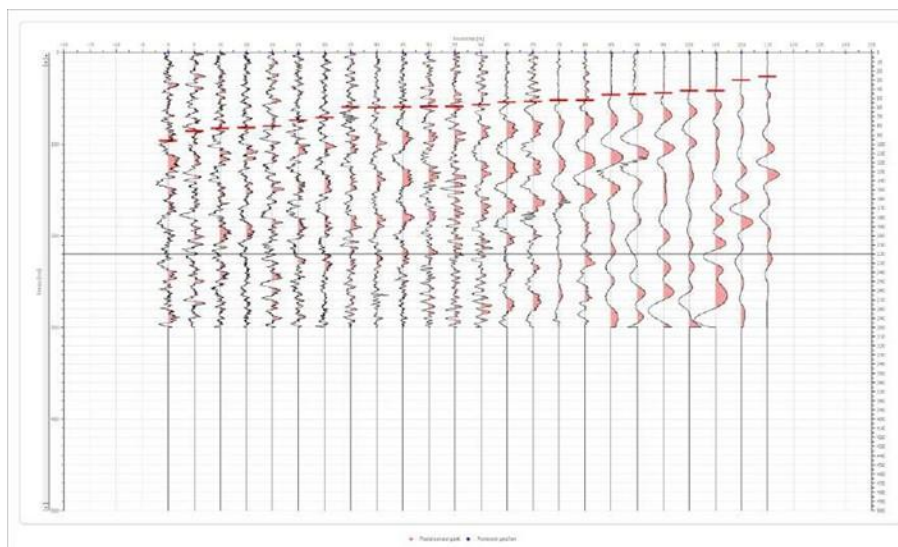


Figura 57 – Indagine sismica a rifrazione – Battuta 7

Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0,0	96,4456
5,0	86,0056
10,0	83,0227
15,0	82,0285
20,0	80,5370
25,0	74,0742
30,0	71,0913
35,0	59,6571
40,0	60,1542
45,0	59,6571
50,0	59,1599
55,0	59,1599
60,0	57,1714
65,0	54,1885
70,0	53,6914
75,0	52,1999
80,0	52,1999
85,0	46,2342
90,0	45,7371
95,0	44,2457
100,0	41,7599
105,0	41,7599
110,0	30,3257
115,0	26,3485

Tabella 18 – Indagine sismica a rifrazione – Posizione geofono

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

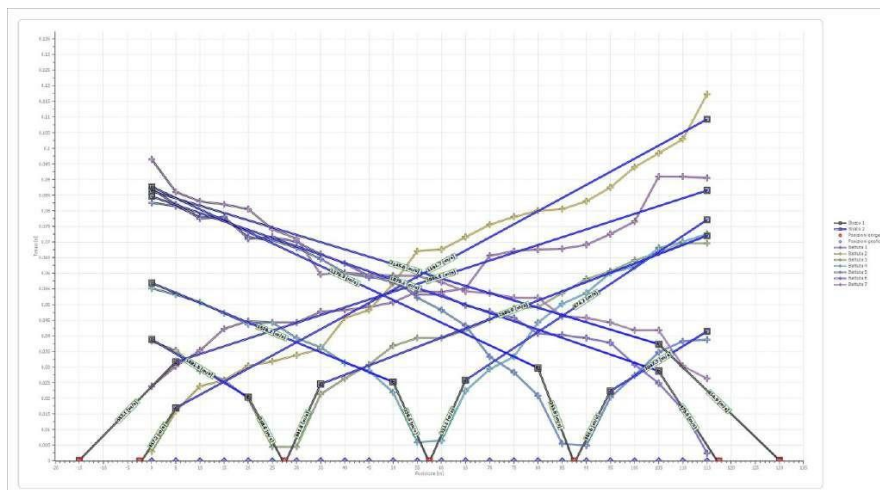


Figura 58 – Indagine sismica a rifrazione – Dromocrone

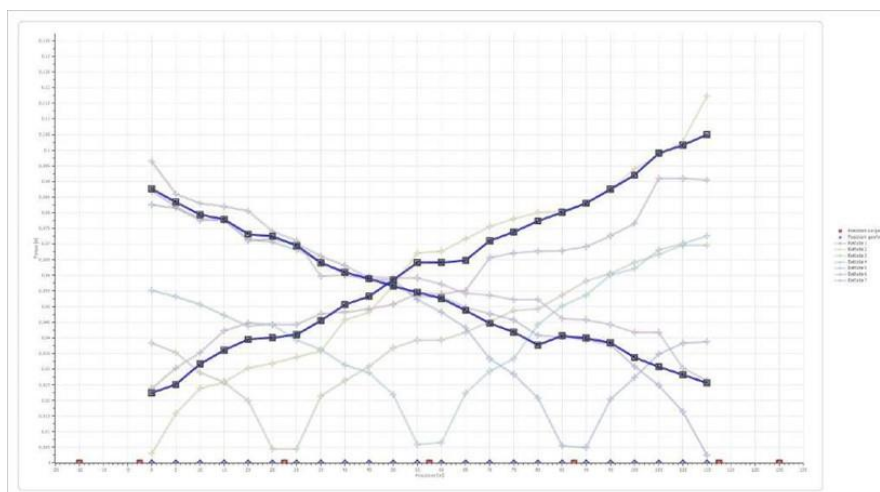


Figura 59 – Indagine sismica a rifrazione – Dromocrone traslate

A seguire l'interpretazione dei dati con il metodo G.R.M.

XY:5

	Strato n. 1	Strato n. 2
G= 7,5 [m]	4,3	15,3
G= 12,5 [m]	4,1	15,6
G= 17,5 [m]	3,4	12,5
G= 22,5 [m]	3,2	12
G= 27,5 [m]	3,2	10,8
G= 32,5 [m]	4,2	16,1
G= 37,5 [m]	4,1	15,9
G= 42,5 [m]	4,1	16,9
G= 47,5 [m]	4,6	18,3
G= 52,5 [m]	4,2	4,2
G= 57,5 [m]	3,8	3,8

	Strato n. 1	Strato n. 2
G= 62,5 [m]	4,7	11,1
G= 67,5 [m]	4,9	8,5
G= 72,5 [m]	4,8	5,4
G= 77,5 [m]	4,5	4,5
G= 82,5 [m]	4,6	4,6
G= 87,5 [m]	4,6	4,6
G= 92,5 [m]	6,3	6,3
G= 97,5 [m]	7,7	7,7
G= 102,5 [m]	7,9	7,9
G= 107,5 [m]	7,6	7,6
Velocità [m/sec]	429,5	1626,3

Tabella 19 – Indagine sismica a rifrazione – Dati sismici

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

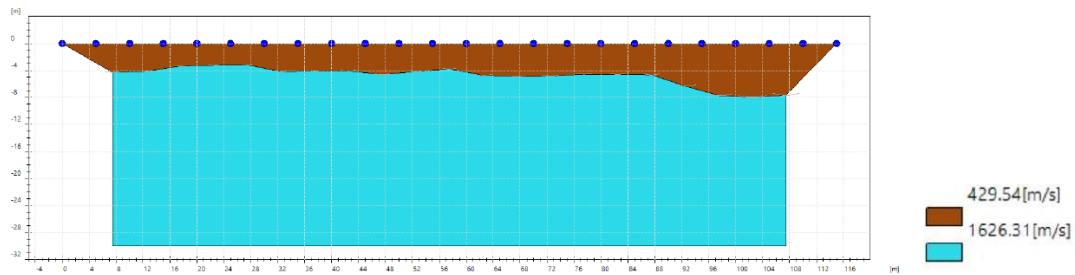


Figura 60 – Indagine sismica a rifrazione – interpretazione sismo-stratigrafica

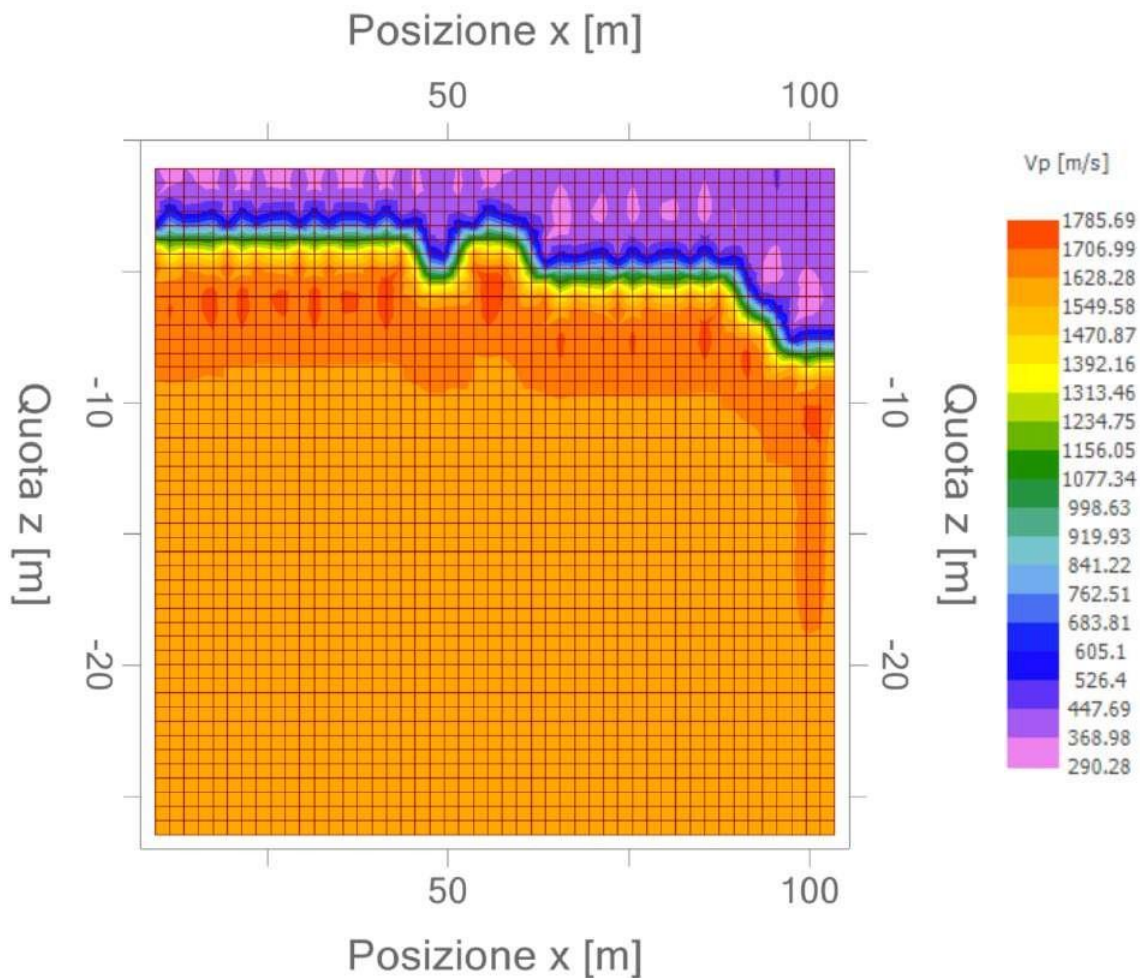


Figura 61 – Indagine sismica a rifrazione – Grafico Posizione X/quota Z

Osservando la sismo-stratigrafia sopra riportata, si nota che sono stati individuati principalmente due strati: il livello superficiale ha una $V_p=429$ m/s tipica del terreno superficiale areato, valori elevati di propagazione delle onde elastiche sono associati anche alla presenza d'acqua; segue uno strato con $V_p=1626$ m/s tipico di depositi argillosi.

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

Di seguiti altri parametri geotecnici estratti:

	Descrizione	Strato n. 1	Strato n. 2
Coefficiente Poisson		0,35	0,35
Densità [kg/m³]		1800,00	1800,00
Vp [m/s]	Velocità onde di volume	429,54	1626,31
Vs [m/s]	Velocità onde di taglio	206,34	781,26
G0 [MPa]	Modulo di deformazione al taglio	76,64	1098,65
Ed [Mpa]	Modulo edometrico	332,10	4760,80
M0 [MPa]	Modulo di compressibilità volumetrica	255,46	3662,16
Ey [Mpa]	Modulo di Young	206,92	2966,35

Tabella 20 – Indagine sismica a rifrazione – Dati geotecnici

6.4.4 Determinazione della categoria di suolo di fondazione

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

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

Per depositi con profondità (H) del substrato superiore a 30 m, la $V_{s,eq}$ è definita ponendo $H = 30$ m e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità. Per le fondazioni superficiali, il punto di partenza per il calcolo della V_{seq} è il piano di imposta delle stesse, che nel caso in esame coincideranno circa con il piano campagna.

La seguente tabella riepiloga i valori di V_{seq} e la relativa categoria di sottosuolo calcolate per ciascuna delle indagini eseguite nell'area di intervento:

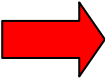
Tipo di indagine	Valore di V_{seq}	Categoria di sottosuolo
HVSR 1	320	C
MASW 1	190	C
MASW 2	243	C
MASW 3	249	C
MASW 4	226	C

Tabella 21 – Definizione categoria di sottosuolo

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

7. AMPLIFICAZIONE SISMICA DEL SITO

Secondo normativa (DM 17.01.2018) la categoria di appartenenza del litotipo equivalente è la C:

CATEGORIA di SOTTOSUOLO	Descrizione da D.M. 17.01.2018 – Tabella 3.2.II
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.

- Determinazione dell'amplificazione stratigrafica:

CATEGORIA di SOTTOSUOLO	SS	CC
A	1.00	1.00
B	$1.00 \leq 1.40 - 0.40 \cdot F_0 \cdot a_g/g \leq 1.20$	$1.10 \cdot (TC^*)^{-0.20}$
C	$1.00 \leq 1.70 - 0.60 \cdot F_0 \cdot a_g/g \leq 1.50$	$1.05 \cdot (TC^*)^{-0.33}$
D	$0.90 \leq 2.40 - 1.50 \cdot F_0 \cdot a_g/g \leq 1.80$	$1.25 \cdot (TC^*)^{-0.50}$
E	$1.00 \leq 2.00 - 1.10 \cdot F_0 \cdot a_g/g \leq 1.60$	$1.15 \cdot (TC^*)^{-0.40}$

- Determinazione dell'amplificazione topografica:

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

7.1 Definizione dell'azione sismica di base

Nel 2006 la Presidenza del Consiglio dei Ministri, in collaborazione con l'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) ha emanato un aggiornamento dei criteri nazionali per la riclassificazione sismica (OPCM 3519/06), aggiornati ulteriormente con l'entrata in vigore del DM 17.01.2018 NTC 18. Secondo i nuovi aggiornamenti la stima della pericolosità sismica di base è definita mediante un approccio "sito dipendente". La pericolosità sismica di base è intesa come la probabilità che un evento sismico di una certa magnitudo avvenga in un'area secondo un determinato tempo di ritorno, essa è definita calcolando il valore atteso di uno o più parametri (accelerazione del moto del suolo, intensità al sito, spettro di sito) che descrivono il terremoto su terreno rigido e compatto.

L'intero territorio nazionale viene suddiviso in 4 zone sulla base di un differente valore di a_g con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (corrispondente a un periodo di ritorno di 475 anni) su terreno a comportamento rigido. Per ogni costruzione ci si può riferire ad una accelerazione di riferimento propria in relazione sia alle coordinate geografiche

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

dell'area di progetto, sia alla vita nominale dell'edificio stesso.

Sulla base delle disposizioni previste nelle NTC 18, si definiscono per l'opera in progetto i seguenti parametri sismici:

- COMUNE di: **CAMPOSANTO**
- Zona sismica: **3**
- Categoria suolo di fondazione: **C**
- Categoria topografica: **T1**
- Vita nominale: **$V_N \leq 50$ anni;**

Coefficiente topografico: **St=1.00**

VITA NOMINALE – “Numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali”.

TIPI DI COSTRUZIONE		Vita Nominale VN (anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali- Strutture in fase costruttiva;	≤ 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali, e dighe di dimensioni contenute o importanza normale;	≤ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali, e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica;	≤ 100

CLASSE D'USO – “Parametro definito in base al livello di affollamento degli edifici ed al loro interesse strategico”.

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

I valori utilizzati per la definizione dell'azione sismica, sono puntualmente definiti da un reticolo di riferimento (griglia di 10751 punti) sulla base delle coordinate geografiche (latitudine e longitudine) del sito di studio.

Di seguito viene riportata la mappa di pericolosità sismica del progetto DPC INGV S1 utilizzata per la definizione dei valori di a_g , F_0 e T^*_c :

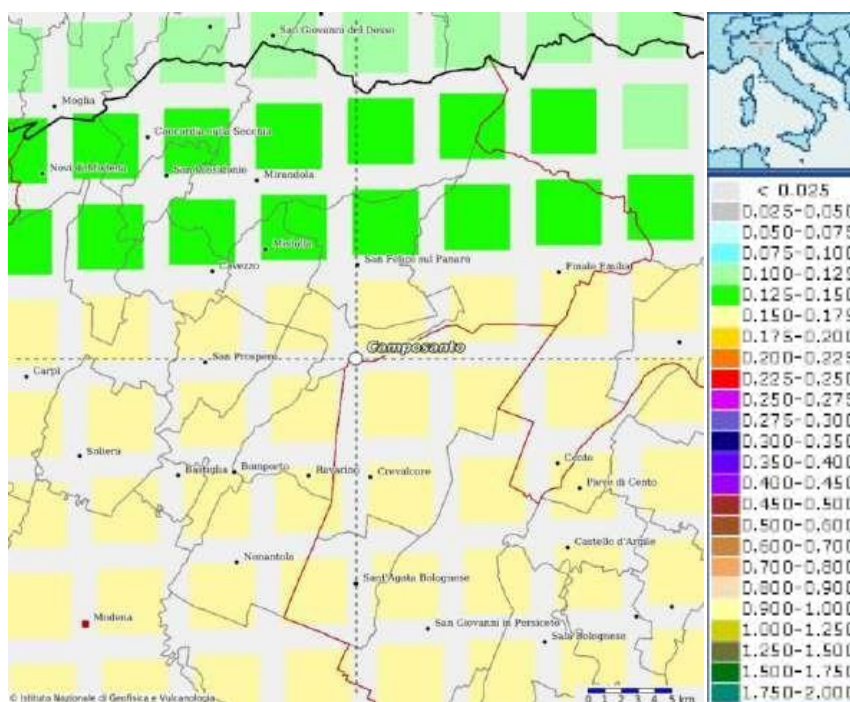


Figura 62 – Estratto mappa interattiva della pericolosità sismica (prob. 10% in 50 anni, 50° percentile)

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

- Periodo di riferimento per l'azione sismica: $PV_r = 35$; pari a $V_R = V_N \cdot C_u$

Utilizzando il software automatico di calcolo Geostru PS Advanced, della Geostru Software ed introducendo i dati di input sopra riportati, si ottengono in forma tabellare i seguenti parametri e coefficienti sismici, riferiti ai diversi stati limite da considerare:

PARAMETRI SISMICI					
STATO LIMITE	Prob. superam. (%)	Tr (anni)	a_g (g)	F0 (-)	T_c^0 (sec)
Operatività (SLO)	81	30	0,041	2,550	0,253
Danno (SLD)	63	35	0,044	2,523	0,257
Salvaguardia Vita (SLV)	10	332	0,132	2,587	0,269
Prev. Collasso (SLC)	5	682	0,179	2,563	0,274

Tabella 22 – Parametri e coefficienti sismici

7.2 Definizione dell'azione sismica locale

7.2.1 Livello 1 di approfondimento

Secondo quanto riportato nella “Carta dei fattori di amplificazione e del rischio di liquefazione” allegata allo studio di Microzonazione Sismica del Comune di Camposanto, l'area oggetto di intervento ricade nello scenario LQ2 “aree con presenza di terreni suscettibili di liquefazione tra 10 e 20 m dal piano campagna, con FAPGA = 1.4; FH

0.1 – 0.5s = 1.8; FH 0.5 -1.0s = 2.5.

7.2.2 Livello 2 di approfondimento - Amplificazione stratigrafica Regione Emilia-Romagna

Analizzando la “Carta della pericolosità sismica locale” (Tavola Q.C.0.5 del PTCP Vigente) l'area è inquadrata nello scenario “Depositi sabbiosi intercalati a livelli limoso-sabbiosi ed argillosi” in cui si possono avere amplificazione e liquefazione con conseguenti potenziali cedimenti per addensamento e/o ri-consolidazione indotti dal sisma.

Per calcolare i Fattori di Amplificazione (FA) richiesti nell'analisi semplificata del secondo livello di approfondimento devono essere realizzate indagini geotecniche e geofisiche che permettano la definizione dello spessore del deposito di copertura o profondità del substrato rigido e della velocità equivalente delle onde di taglio per lo spessore considerato. I fattori di amplificazione rappresentano il rapporto fra lo scuotimento sismico valutato per la condizione geo-litologica specifica e il corrispondente scuotimento relativo alla categoria di sottosuolo sopra calcolata (categoria di sottosuolo C). I FA sono relativi a due parametri rappresentativi dello scuotimento sismico. Il primo è l'accelerazione di picco orizzontale (PGA), il secondo è l'intensità spettrale (SI):

$$SI = \int_{T_1}^{T_2} PSV(T_0, \xi) dT_0$$

Dove PSV è il pseudospettro di risposta in velocità, T_0 è il periodo proprio e ξ è lo smorzamento. È stato considerato uno smorzamento $\xi = 5\%$ e tre intervalli di periodo T_0 ottenendo tre valori di intensità spettrale:

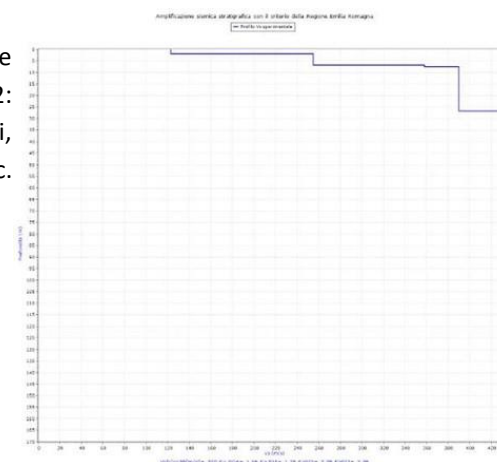
- SI1: $0.1 \text{ s} \leq T_0 \leq 0.5 \text{ s}$
- SI2: $0.5 \text{ s} \leq T_0 \leq 1.0 \text{ s}$
- SI3: $0.5 \text{ s} \leq T_0 \leq 1.5 \text{ s}$

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

HV1:

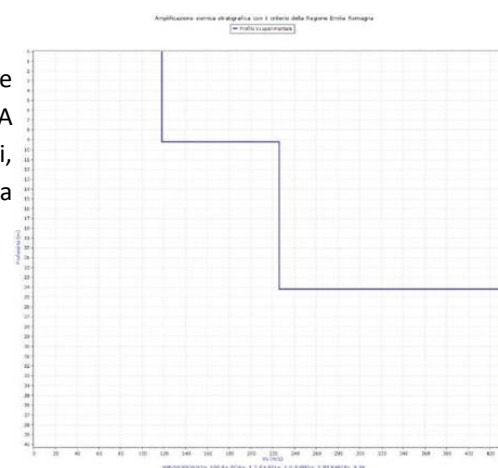
Considerando una $V_{seq} = 320$ m/sec, la categoria di sottosuolo C e come ambiente geologico proprio dell'area di intervento il contesto PIANURA 2: Settore di pianura con sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, con substrato profondo, ≥ 100 m da p.c. i fattori calcolati sono i seguenti:

- $Fa\ PGA = 1.56$
- $Fa\ SI1 = 1.76$
- $FaSI2 = 2.28$
- $FaSI3 = 2.38$

MW1:

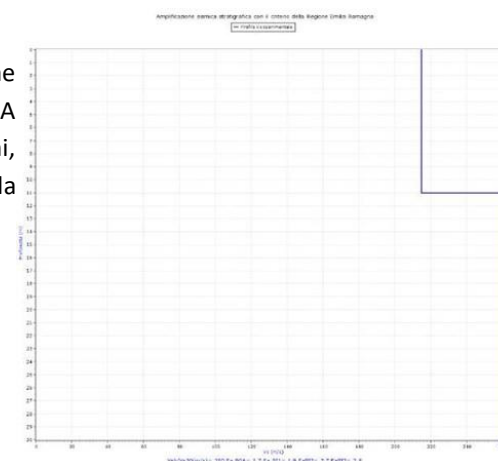
Considerando una $V_{seq} = 190$ m/sec, la categoria di sottosuolo C e come ambiente geologico proprio dell'area di intervento il contesto PIANURA 2: Settore di pianura con sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, con substrato profondo, ≥ 100 m da p.c. i fattori calcolati sono i seguenti:

- $Fa\ PGA = 1.7$
- $Fa\ SI1 = 2.00$
- $FaSI2 = 3.02$
- $FaSI3 = 3.36$

MW2:

Considerando una $V_{seq} = 243$ m/sec, la categoria di sottosuolo C e come ambiente geologico proprio dell'area di intervento il contesto PIANURA 2: Settore di pianura con sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, con substrato profondo, ≥ 100 m da p.c. i fattori calcolati sono i seguenti:

- $Fa\ PGA = 1.7$
- $Fa\ SI1 = 1.90$
- $FaSI2 = 2.70$
- $FaSI3 = 2.90$



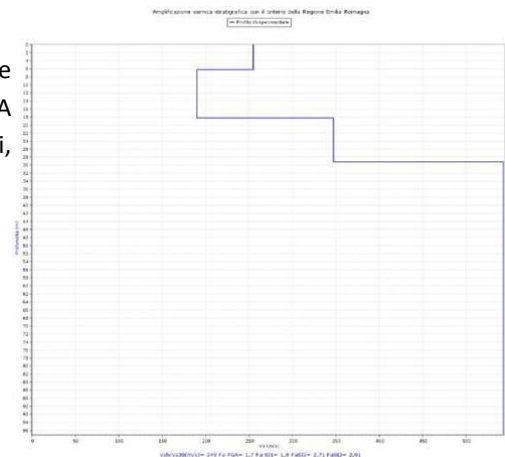
Relazione geologica, idrogeologica e sismica

MW3:

Considerando una $V_{seq} = 249 \text{ m/sec}$, la categoria di sottosuolo C e come ambiente geologico proprio dell'area di intervento il contesto PIANURA 2: Settore di pianura con sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, con substrato profondo, \geq

100 m da p.c. i fattori calcolati sono i seguenti:

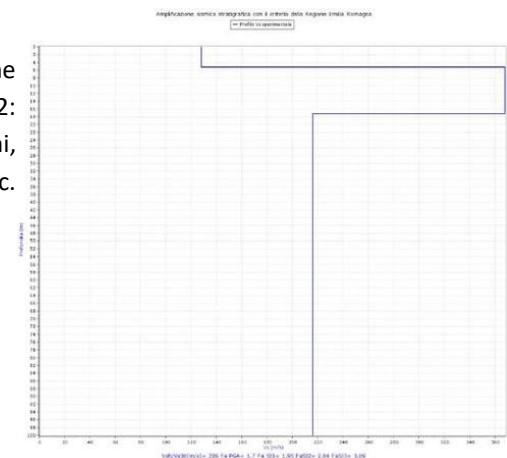
- Fa PGA = 1.7
- Fa SI1 = 1.90
- FaSI2 = 2.71
- FaSI3 = 2.91



MW4:

Considerando una $V_{seq} = 226$ m/sec, la categoria di sottosuolo C e come ambiente geologico proprio dell'area di intervento il contesto PIANURA 2: Settore di pianura con sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, con substrato profondo, ≥ 100 m da p.c. i fattori calcolati sono i seguenti:

- Fa PGA = 1.7
- Fa SI1 = 1.95
- FaSI2 = 2.84
- FaSI3 = 3.09



Relazione geologica, idrogeologica e sismica

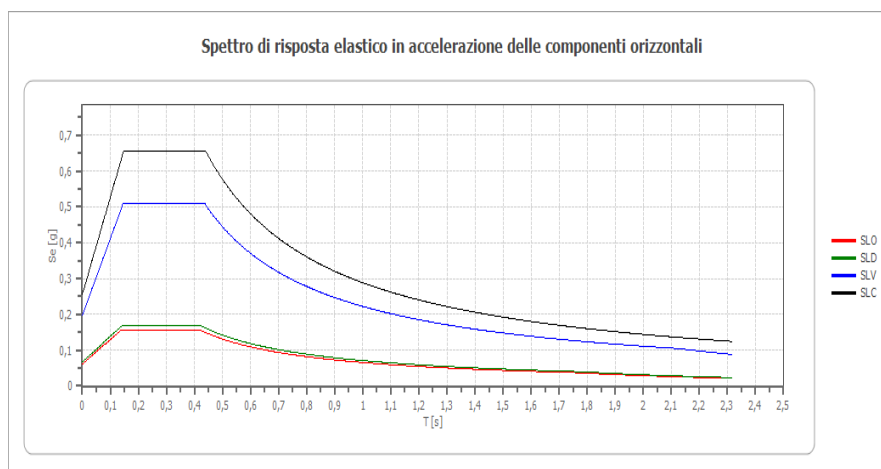
8. PERICOLOSITA' SISMICA DI SITO

Categoria sottosuolo: 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.

Categoria topografica: T1: Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media minore o uguale a 15°

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,012	0,013	0,047	0,061
kv	0,006	0,007	0,024	0,031
Amax [m/s ²]	0,603	0,655	1,931	2,505
Beta	0,200	0,200	0,240	0,240

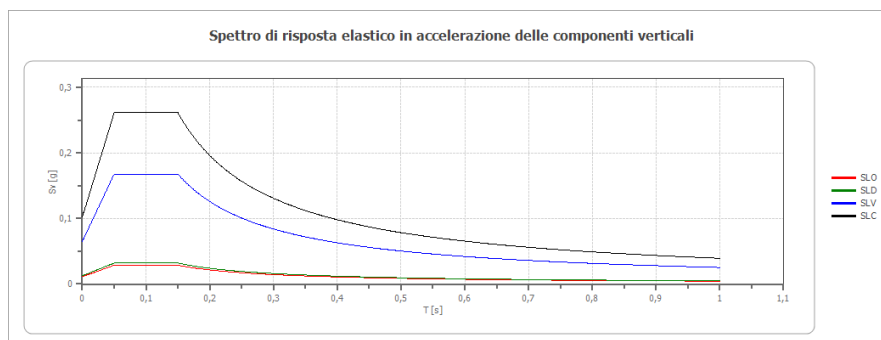
Tabella 23 – Coefficienti sismici stabilità di pendii e fondazioni



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB[s]	TC[s]	TD[s]	Se(0)[g]	Se(TB)[g]
SLO	0,7	0,041	2,550	0,253	1,500	1,650	1,000	1,500	1,000	0,139	0,418	1,764	0,062	0,157
SLD	0,7	0,044	2,523	0,257	1,500	1,640	1,000	1,500	1,000	0,141	0,422	1,778	0,067	0,168
SLV	0,7	0,132	2,587	0,269	1,490	1,620	1,000	1,490	1,000	0,146	0,437	2,129	0,197	0,509
SLC	0,7	0,179	2,563	0,274	1,430	1,610	1,000	1,430	1,000	0,147	0,441	2,315	0,255	0,655

Tabella 24 – Dati dello spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali	
Coefficiente di smorzamento viscoso ξ :	5 %
Fattore di alterazione dello spettro elastico $\eta=[10/(5+\xi)]^{(1/2)}$:	1.000



Relazione geologica, idrogeologica e sismica

	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	0,7	0,041	2,550	0,253	1	1,650	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,011	0,029
SLD	0,7	0,044	2,523	0,257	1	1,640	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,013	0,032
SLV	0,7	0,132	2,587	0,269	1	1,620	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,065	0,168
SLC	0,7	0,179	2,563	0,274	1	1,610	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,102	0,261

Tabella 25 – Dati dello spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

Spettro di progetto

	SLO	SLD	SLV	SLC
khi = Sde(T) Orizzontale [g]	0,066	0,071	0,148	0,192
kv = Sdve(T) Verticale [g]	0,004	0,005	0,017	0,026

	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	q [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Sd(0) [g]	Sd(TB) [g]
SLO orizzontale	0,7	0,041	2,550	0,253	1,500	1,650	1,000	1,500	1,000	0,139	0,418	1,764	0,062	0,157
SLO verticale	0,7	0,041	2,550	0,253	1,500	1,650	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,011	0,029
SL orizzontale	0,7	0,044	2,523	0,257	1,500	1,640	1,000	1,500	1,000	0,141	0,422	1,778	0,067	0,168
SLD verticale	0,7	0,044	2,523	0,257	1,500	1,640	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,013	0,032
SLV orizzontale	0,7	0,132	2,587	0,269	1,490	1,620	1,000	1,490	1,500	0,146	0,437	2,129	0,197	0,340
SLV verticale	0,7	0,132	2,587	0,269	1,490	1,620	1,000	1,000	1,500	0,050	0,150	1,000	0,065	0,112
SLC orizzontale	0,7	0,179	2,563	0,274	1,430	1,610	1,000	1,430	1,500	0,147	0,441	2,315	0,255	0,436
SLC verticale	0,7	0,179	2,563	0,274	1,430	1,610	1,000	1,000	1,500	0,050	0,150	1,000	0,102	0,174

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

9. Indagini geognostiche

9.1 Prove penetrometriche statiche CPT

La prova penetrometrica statica o CPT (Cone Penetration Test) ha lo scopo di fornire i dati e le informazioni necessarie per la caratterizzazione meccanica dei terreni di natura prevalentemente coesiva, ad un livello adeguato alle necessità del progetto. La prova consiste nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta conica di dimensioni e caratteristiche standardizzate, infissa a velocità costante nel terreno (20mm/s) con un sistema meccanico o idraulico. Lo sforzo per la penetrazione viene applicato per mezzo di un dispositivo di spinta che agisce su una batteria di aste cave alla cui estremità inferiore è collegata una punta.

In relazione al volume significativo dei depositi direttamente influenzati dalla costruzione delle opere in progetto e alla natura dei terreni ed ai requisiti funzionali delle opere stesse, si riassumono le profondità massime investigate con le indagini in sito:

PROVA	DATA ESECUZIONE	PROFONDITÀ
CPT 1	21/02/2025	15,0 m
CPT 2	21/02/2025	15,0 m
CPT 3	21/02/2025	15,0 m

Tabella 26 – Prove CPT e profondità di indagine

Per l'ubicazione dei punti di indagine CPT di cui in Tabella 25, si rimanda alla Figura 37.

Le prove hanno consentito di delineare con chiarezza l'andamento in profondità della litostratigrafia dei depositi che verranno interessati dalle opere in progetto. Le prove hanno rilevato la presenza di falda a circa 0.50 m da p.c.

La resistenza laterale viene conteggiata 20 cm sotto (alla quota della prima lettura della punta).

Prova CPT1:

Di seguito i dati della prova penetrometrica statica CPT1.

Profondità (m)	Lettura punta (kg/cm ²)	Lettura laterale (kg/cm ²)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertman n)
0,20	9,00	0,00	9,0	0,00		0,0
0,40	17,00	0,00	17,0	1,07	15,94	6,3
0,60	16,00	32,00	16,0	1,00	16,00	6,3
0,80	15,00	30,00	15,0	1,00	15,00	6,7
1,00	15,00	30,00	15,0	1,00	15,00	6,7
1,20	15,00	30,00	15,0	1,00	15,00	6,7
1,40	15,00	30,00	15,0	1,67	9,00	11,1
1,60	26,00	51,00	26,0	1,27	20,53	4,9
1,80	21,00	40,00	21,0	1,13	18,53	5,4
2,00	17,00	34,00	17,0	1,13	15,00	6,7
2,20	17,00	34,00	17,0	0,87	19,62	5,1
2,40	13,00	26,00	13,0	1,00	13,00	7,7
2,60	16,00	31,00	16,0	1,07	15,00	6,7
2,80	16,00	32,00	16,0	1,13	14,12	7,1
3,00	17,00	34,00	17,0	1,07	15,94	6,3
3,20	16,00	32,00	16,0	1,20	13,33	7,5
3,40	19,00	37,00	19,0	1,00	19,00	5,3
3,60	15,00	30,00	15,0	0,47	32,14	3,1
3,80	7,00	14,00	7,0	0,47	15,00	6,7
4,00	7,00	14,00	7,0	0,33	21,00	4,8
4,20	6,00	11,00	6,0	0,47	12,86	7,8
4,40	7,00	14,00	7,0	0,87	8,08	12,4
4,60	15,00	28,00	15,0	1,20	12,50	8,0
4,80	18,00	36,00	18,0	1,47	12,27	8,1
5,00	23,00	45,00	23,0	1,33	17,25	5,8
5,20	23,00	43,00	23,0	1,47	15,68	6,4

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

Profondità (m)	Lettura punta (kg/cm ²)	Lettura laterale (kg/cm ²)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertman n)
5,40	24,00	46,00	24,0	1,47	16,36	6,1
5,60	25,00	47,00	25,0	1,53	16,30	6,1
5,80	26,00	49,00	26,0	1,53	16,96	5,9
6,00	26,00	49,00	26,0	1,73	15,00	6,7
6,20	26,00	52,00	26,0	1,67	15,60	6,4
6,40	25,00	50,00	25,0	1,73	14,42	6,9
6,60	26,00	52,00	26,0	1,87	13,93	7,2
6,80	32,00	60,00	32,0	1,93	16,55	6,0
7,00	31,00	60,00	31,0	1,93	16,03	6,2
7,20	32,00	61,00	32,0	1,67	19,20	5,2
7,40	26,00	51,00	26,0	0,93	27,86	3,6
7,60	16,00	30,00	16,0	1,00	16,00	6,3
7,80	16,00	31,00	16,0	0,87	18,46	5,4
8,00	15,00	28,00	15,0	1,20	12,50	8,0
8,20	19,00	37,00	19,0	1,53	12,39	8,1
8,40	33,00	56,00	33,0	1,60	20,63	4,8
8,60	31,00	55,00	31,0	1,67	18,60	5,4
8,80	34,00	59,00	34,0	1,67	20,40	4,9
9,00	34,00	59,00	34,0	1,73	19,62	5,1
9,20	28,00	54,00	28,0	1,73	16,15	6,2
9,40	28,00	54,00	28,0	1,73	16,15	6,2
9,60	31,00	57,00	31,0	1,47	21,14	4,7
9,80	25,00	47,00	25,0	1,53	16,30	6,1
10,00	24,00	47,00	24,0	1,53	15,65	6,4
10,20	28,00	51,00	28,0	1,60	17,50	5,7
10,40	26,00	50,00	26,0	1,60	16,25	6,2
10,60	26,00	50,00	26,0	1,20	21,67	4,6
10,80	23,00	41,00	23,0	1,73	13,27	7,5
11,00	27,00	53,00	27,0	1,67	16,20	6,2
11,20	31,00	56,00	31,0	1,73	17,88	5,6
11,40	30,00	56,00	30,0	1,73	17,31	5,8
11,60	29,00	55,00	29,0	1,53	18,91	5,3
11,80	27,00	50,00	27,0	0,73	36,82	2,7
12,00	30,00	41,00	30,0	0,80	37,50	2,7
12,20	32,00	44,00	32,0	1,33	24,00	4,2
12,40	26,00	46,00	26,0	1,53	16,96	5,9
12,60	25,00	48,00	25,0	1,27	19,74	5,1
12,80	30,00	49,00	30,0	1,33	22,50	4,4
13,00	29,00	49,00	29,0	1,67	17,40	5,7
13,20	49,00	74,00	49,0	2,13	22,97	4,4
13,40	44,00	76,00	44,0	2,80	15,71	6,4
13,60	49,00	91,00	49,0	2,80	17,50	5,7
13,80	46,00	88,00	46,0	2,20	20,91	4,8
14,00	43,00	76,00	43,0	2,33	18,43	5,4
14,20	34,00	69,00	34,0	1,73	19,62	5,1
14,40	32,00	58,00	32,0	1,47	21,82	4,6
14,60	34,00	56,00	34,0	1,53	22,17	4,5
14,80	33,00	56,00	33,0	1,33	24,75	4,0
15,00	35,00	55,00	35,0	0,00		0,0

Tabella 27 – Dati Prova CPT1

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

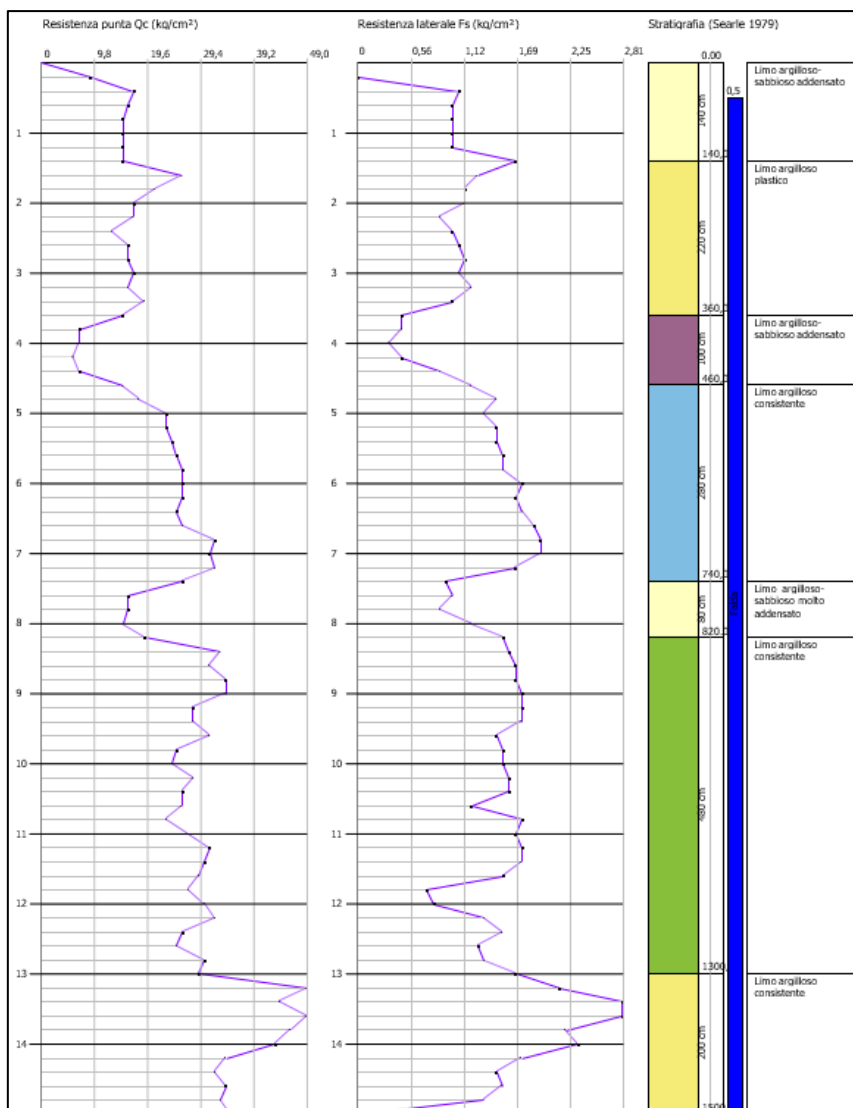


Figura 63 – Profili della resistenza meccanica del suolo e log stratigrafico della prova CPT1

Prova CPT2:

Di seguito i dati della prova penetrometrica statica CPT2.

Profondità (m)	Lettura punta (kg/cm²)	Lettura laterale (kg/cm²)	qc (kg/cm²)	fs (kg/cm²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertman n)
0,20	7,00	0,00	7,0	0,00		0,0
0,40	9,00	0,00	9,0	0,73	12,27	8,1
0,60	14,00	25,00	14,0	0,73	19,09	5,2
0,80	15,00	26,00	15,0	0,73	20,45	4,9
1,00	15,00	26,00	15,0	0,87	17,31	5,8
1,20	12,00	25,00	12,0	0,80	15,00	6,7
1,40	12,00	24,00	12,0	1,07	11,25	8,9
1,60	16,00	32,00	16,0	1,20	13,33	7,5
1,80	18,00	36,00	18,0	1,27	14,21	7,0
2,00	19,00	38,00	19,0	1,20	15,83	6,3
2,20	18,00	36,00	18,0	1,27	14,21	7,0
2,40	19,00	38,00	19,0	1,47	12,95	7,7
2,60	22,00	44,00	22,0	1,53	14,35	7,0
2,80	25,00	48,00	25,0	1,53	16,30	6,1
3,00	25,00	48,00	25,0	1,13	22,06	4,5

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

Profondità (m)	Lettura punta (kg/cm ²)	Lettura laterale (kg/cm ²)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertman n)
3,20	18,00	35,00	18,0	1,20	15,00	6,7
3,40	18,00	36,00	18,0	1,20	15,00	6,7
3,60	19,00	37,00	19,0	1,47	12,95	7,7
3,80	23,00	45,00	23,0	1,67	13,80	7,2
4,00	23,00	48,00	23,0	1,60	14,38	7,0
4,20	24,00	48,00	24,0	1,53	15,65	6,4
4,40	25,00	48,00	25,0	1,20	20,83	4,8
4,60	18,00	36,00	18,0	1,07	16,87	5,9
4,80	17,00	33,00	17,0	1,13	15,00	6,7
5,00	17,00	34,00	17,0	1,53	11,09	9,0
5,20	14,00	37,00	14,0	1,40	10,00	10,0
5,40	23,00	44,00	23,0	1,40	16,43	6,1
5,60	24,00	45,00	24,0	1,47	16,36	6,1
5,80	26,00	48,00	26,0	1,47	17,73	5,6
6,00	28,00	50,00	28,0	1,27	22,11	4,5
6,20	22,00	41,00	22,0	1,20	18,33	5,5
6,40	18,00	36,00	18,0	1,07	16,87	5,9
6,60	17,00	33,00	17,0	1,47	11,59	8,6
6,80	15,00	37,00	15,0	1,40	10,71	9,3
7,00	27,00	48,00	27,0	1,60	16,88	5,9
7,20	24,00	48,00	24,0	1,33	18,00	5,6
7,40	22,00	42,00	22,0	1,60	13,75	7,3
7,60	29,00	53,00	29,0	1,07	27,19	3,7
7,80	17,00	33,00	17,0	1,93	8,79	11,4
8,00	18,00	47,00	18,0	1,20	15,00	6,7
8,20	18,00	36,00	18,0	1,53	11,74	8,5
8,40	30,00	53,00	30,0	1,53	19,57	5,1
8,60	32,00	55,00	32,0	1,53	20,87	4,8
8,80	28,00	51,00	28,0	1,53	18,26	5,5
9,00	27,00	50,00	27,0	1,33	20,25	4,9
9,20	31,00	51,00	31,0	1,53	20,22	4,9
9,40	27,00	50,00	27,0	1,60	16,88	5,9
9,60	26,00	50,00	26,0	1,53	16,96	5,9
9,80	25,00	48,00	25,0	1,47	17,05	5,9
10,00	25,00	47,00	25,0	1,60	15,63	6,4
10,20	27,00	51,00	27,0	1,67	16,20	6,2
10,40	28,00	53,00	28,0	1,87	15,00	6,7
10,60	27,00	55,00	27,0	1,67	16,20	6,2
10,80	24,00	49,00	24,0	1,67	14,40	6,9
11,00	24,00	49,00	24,0	1,87	12,86	7,8
11,20	23,00	51,00	23,0	1,60	14,38	7,0
11,40	26,00	50,00	26,0	1,67	15,60	6,4
11,60	31,00	56,00	31,0	1,67	18,60	5,4
11,80	32,00	57,00	32,0	1,73	18,46	5,4
12,00	32,00	58,00	32,0	2,00	16,00	6,3
12,20	34,00	64,00	34,0	1,47	23,18	4,3
12,40	29,00	51,00	29,0	1,47	19,77	5,1
12,60	28,00	50,00	28,0	1,80	15,56	6,4
12,80	33,00	60,00	33,0	1,73	19,04	5,3
13,00	33,00	59,00	33,0	3,27	10,10	9,9
13,20	39,00	88,00	39,0	3,33	11,70	8,5
13,40	41,00	91,00	41,0	2,73	15,00	6,7
13,60	39,00	80,00	39,0	1,87	20,89	4,8
13,80	38,00	66,00	38,0	1,80	21,11	4,7
14,00	32,00	59,00	32,0	1,80	17,78	5,6
14,20	31,00	58,00	31,0	1,80	17,22	5,8
14,40	36,00	63,00	36,0	1,93	18,62	5,4
14,60	36,00	65,00	36,0	1,73	20,77	4,8
14,80	32,00	58,00	32,0	1,93	16,55	6,0
15,00	30,00	59,00	30,0	0,00		0,0

Tabella 28 – Dati Prova CPT2

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

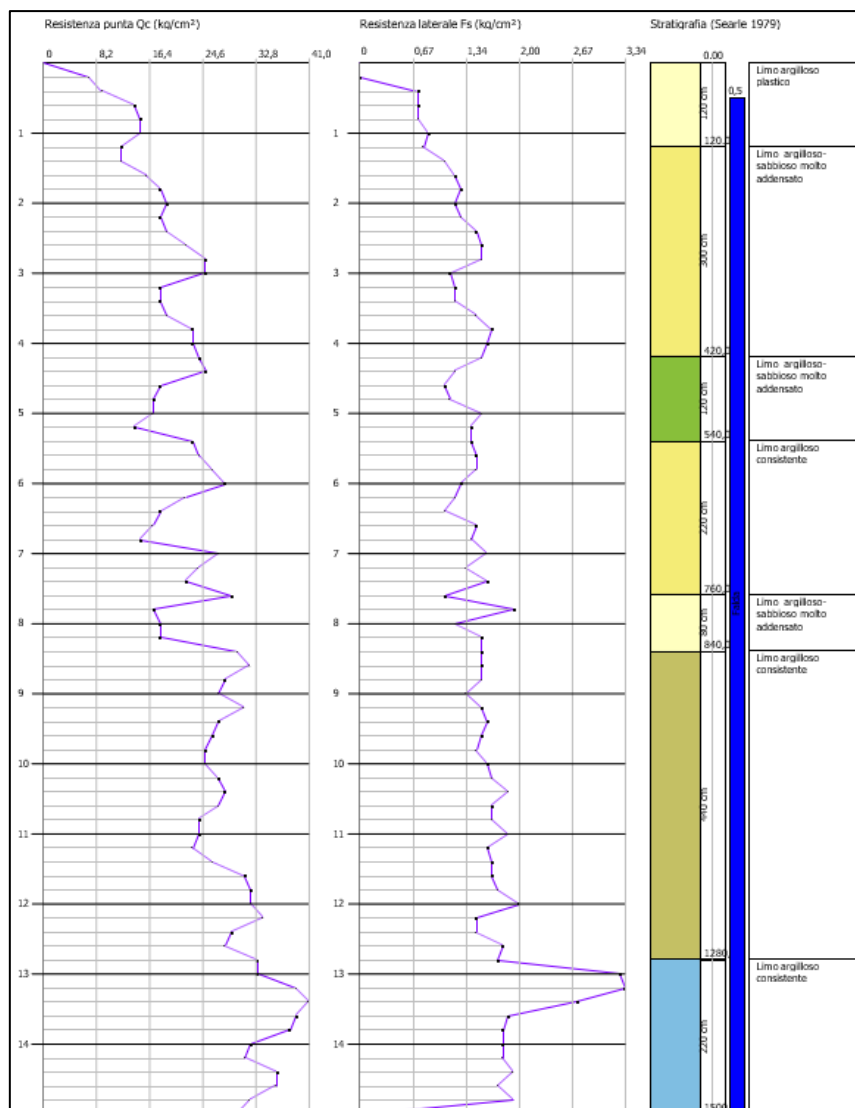


Figura 64 – Profili della resistenza meccanica del suolo e log stratigrafico della prova CPT2

Prova CPT3:

Di seguito i dati della prova penetrometrica statica CPT3.

Profondità (m)	Lettura punta (kg/cm²)	Lettura laterale (kg/cm²)	qc (kg/cm²)	fs (kg/cm²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertman n)
0,20	9,00	0,00	9,0	0,00		0,0
0,40	15,00	0,00	15,0	0,73	20,45	4,9
0,60	15,00	26,00	15,0	1,00	15,00	6,7
0,80	18,00	33,00	18,0	1,13	15,88	6,3
1,00	17,00	34,00	17,0	1,07	15,94	6,3
1,20	16,00	32,00	16,0	1,07	15,00	6,7
1,40	16,00	32,00	16,0	1,13	14,12	7,1
1,60	17,00	34,00	17,0	1,00	17,00	5,9
1,80	16,00	31,00	16,0	1,07	15,00	6,7
2,00	16,00	32,00	16,0	1,07	15,00	6,7
2,20	16,00	32,00	16,0	1,07	15,00	6,7
2,40	16,00	32,00	16,0	1,13	14,12	7,1
2,60	19,00	36,00	19,0	1,20	15,83	6,3
2,80	18,00	36,00	18,0	1,13	15,88	6,3
3,00	17,00	34,00	17,0	1,27	13,42	7,5

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

Profondità (m)	Lettura punta (kg/cm ²)	Lettura laterale (kg/cm ²)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertman n)
3,20	19,00	38,00	19,0	1,40	13,57	7,4
3,40	23,00	44,00	23,0	1,67	13,80	7,2
3,60	28,00	53,00	28,0	1,60	17,50	5,7
3,80	25,00	49,00	25,0	1,67	15,00	6,7
4,00	25,00	50,00	25,0	1,27	19,74	5,1
4,20	20,00	39,00	20,0	1,13	17,65	5,7
4,40	17,00	34,00	17,0	0,93	18,21	5,5
4,60	14,00	28,00	14,0	1,13	12,35	8,1
4,80	17,00	34,00	17,0	1,27	13,42	7,5
5,00	22,00	41,00	22,0	1,60	13,75	7,3
5,20	26,00	50,00	26,0	1,60	16,25	6,2
5,40	29,00	53,00	29,0	1,47	19,77	5,1
5,60	27,00	49,00	27,0	1,13	23,82	4,2
5,80	17,00	34,00	17,0	0,93	18,21	5,5
6,00	15,00	29,00	15,0	1,00	15,00	6,7
6,20	16,00	31,00	16,0	0,80	20,00	5,0
6,40	13,00	25,00	13,0	1,20	10,83	9,2
6,60	18,00	36,00	18,0	1,13	15,88	6,3
6,80	18,00	35,00	18,0	1,13	15,88	6,3
7,00	18,00	35,00	18,0	0,87	20,77	4,8
7,20	15,00	28,00	15,0	1,00	15,00	6,7
7,40	16,00	31,00	16,0	0,93	17,14	5,8
7,60	14,00	28,00	14,0	0,87	16,15	6,2
7,80	14,00	27,00	14,0	1,13	12,35	8,1
8,00	18,00	35,00	18,0	1,60	11,25	8,9
8,20	14,00	38,00	14,0	1,00	14,00	7,1
8,40	15,00	30,00	15,0	0,33	45,00	2,2
8,60	18,00	23,00	18,0	1,67	10,80	9,3
8,80	27,00	52,00	27,0	1,60	16,88	5,9
9,00	28,00	52,00	28,0	1,60	17,50	5,7
9,20	33,00	57,00	33,0	1,67	19,80	5,1
9,40	28,00	53,00	28,0	1,53	18,26	5,5
9,60	25,00	48,00	25,0	1,40	17,86	5,6
9,80	25,00	46,00	25,0	1,60	15,63	6,4
10,00	28,00	52,00	28,0	1,60	17,50	5,7
10,20	31,00	55,00	31,0	1,60	19,38	5,2
10,40	30,00	54,00	30,0	1,73	17,31	5,8
10,60	33,00	59,00	33,0	1,40	23,57	4,2
10,80	31,00	52,00	31,0	1,27	24,47	4,1
11,00	29,00	48,00	29,0	1,20	24,17	4,1
11,20	28,00	46,00	28,0	1,40	20,00	5,0
11,40	27,00	48,00	27,0	1,67	16,20	6,2
11,60	30,00	55,00	30,0	1,47	20,45	4,9
11,80	31,00	53,00	31,0	1,40	22,14	4,5
12,00	29,00	50,00	29,0	1,40	20,71	4,8
12,20	28,00	49,00	28,0	1,27	22,11	4,5
12,40	27,00	46,00	27,0	1,60	16,88	5,9
12,60	29,00	53,00	29,0	1,73	16,73	6,0
12,80	34,00	60,00	34,0	2,13	15,94	6,3
13,00	34,00	66,00	34,0	2,27	15,00	6,7
13,20	35,00	69,00	35,0	2,67	13,12	7,6
13,40	40,00	80,00	40,0	2,47	16,22	6,2
13,60	37,00	74,00	37,0	2,33	15,86	6,3
13,80	35,00	70,00	35,0	1,80	19,44	5,1
14,00	32,00	59,00	32,0	1,80	17,78	5,6
14,20	31,00	58,00	31,0	1,67	18,60	5,4
14,40	30,00	55,00	30,0	1,33	22,50	4,4
14,60	29,00	49,00	29,0	1,47	19,77	5,1
14,80	30,00	52,00	30,0	1,53	19,57	5,1
15,00	31,00	54,00	31,0	0,00		0,0

Tabella 29 – Dati Prova CPT3

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

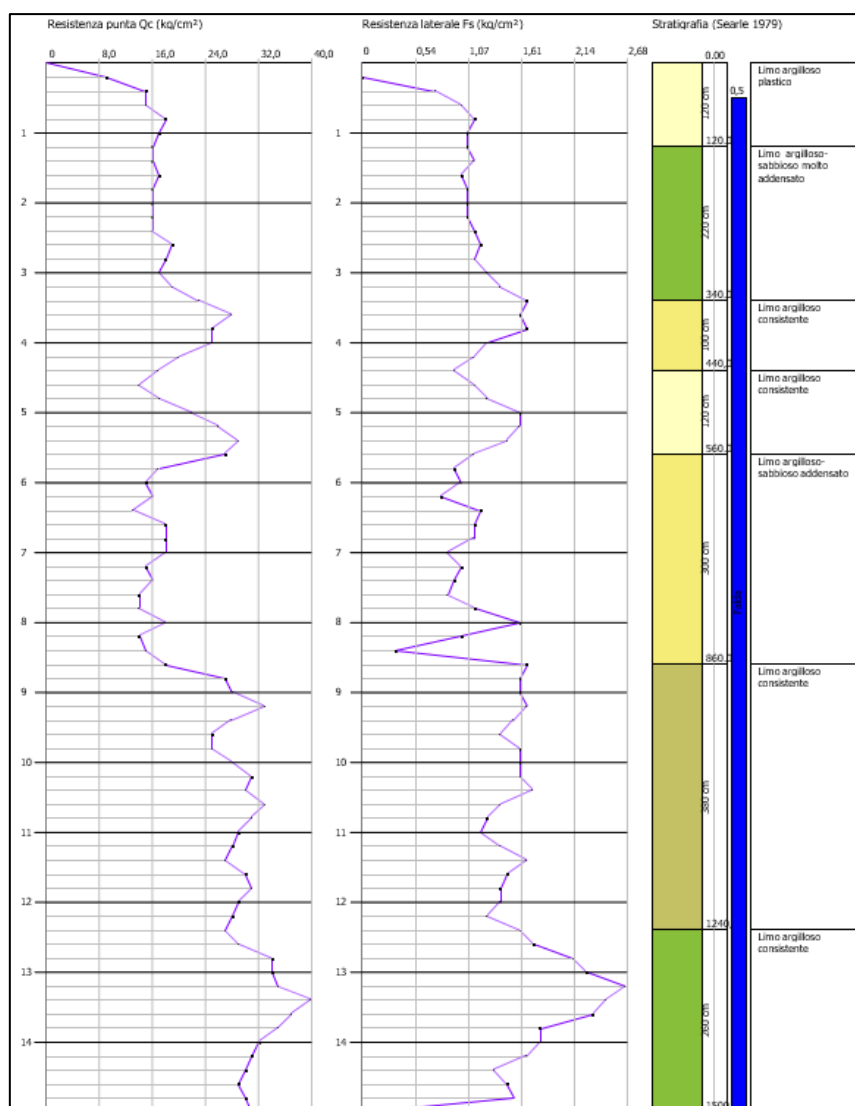


Figura 65 – Profili della resistenza meccanica del suolo e log stratigrafico della prova CPT3

9.2 Litostratigrafia e caratterizzazione geotecnica

I dati seguenti sono stati desunti dall'indagine geognostica specifica, debitamente interpretati ed elaborati alla luce della normativa nazionale e sulla base di precedenti esperienze professionali; si ritiene che i risultati dell'indagine, siano sufficientemente rappresentativi delle caratteristiche litologico - geotecniche del terreno indagato, il quale risulta caratterizzato da una stratigrafia media del sottosuolo come descritto nel seguito:

Prof. Strato (m)	qc Media (kg/cm²)	fs Media (kg/cm²)	Peso unità di volume Medio (t/m³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
1,40	15,00	0,80	1,9	Incoerente	Limo argilloso
4,00	17,00	1,00	1,8	Coesivo	Limo argilloso plastico
8,00	25,0	1,60	1,8	Incoerente	Limo argilloso-sabbioso molto-addensato
15,00	40,0	1,85	1,8	Coesivo	Limo argilloso consistente

Tabella 30 – Dati da prove CPT – Modello geotecnico del terreno

Limo argilloso (0,0 – 1,40 m da p.c.):

La prima unità litologica identificata si sviluppa dal piano campagna sino ad una profondità media di – 1.40 m rispetto al p.c.; si tratta di limi argillosi poco consistenti superficialmente rimaneggiati dalle operazioni agrarie. I depositi in

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

questione possiedono scadenti caratteristiche geotecniche e valore medio di qc pari a 14 kg/cm^q; ad essi si possono assegnare i seguenti parametri geotecnici medi:

Profondità strato [m]	Peso unità di volume [Kg/m ³]	Peso unità di volume saturo [Kg/m ³]	Angolo di attrito [°]	Densità relativa [%]	Coesione [Kg/cm ²]	Coesione non drenata [Kg/cm ²]	Modulo Elastico [Kg/cm ²]	Modulo Edometrico [Kg/cm ²]	OCR
1.40	1700	1800	-	-	0,05	0,60	25	45	-

Tabella 31 – Dati da prove CPT – Unità geotecnica limo argilloso (0,0 m – 1,4 m da p.c.)

Limo argilloso plastico e soffre (1,40 – 4,0 m da p.c.):

La seconda unità litologica è presente sino alla profondità di – 4.00 m da p.c.; ed è costituita da depositi prevalentemente coesivi soffici e plastici; si tratta di limi argillosi poco consistenti. I depositi in questione possiedono mediocri caratteristiche geotecniche e valore medio di qc pari a 17 kg/cm^q; ad essi si possono assegnare i seguenti parametri geotecnici medi:

Profondità strato [m]	Peso unità di volume [Kg/m ³]	Peso unità di volume saturo [Kg/m ³]	Angolo di attrito [°]	Densità relativa [%]	Coesione [Kg/cm ²]	Coesione non drenata [Kg/cm ²]	Modulo Elastico [Kg/cm ²]	Modulo Edometrico [Kg/cm ²]	OCR
4.00	1800	1900	-	-	0,08	0,80	30	50	1,20

Tabella 32 – Dati da prove CPT – Unità geotecnica limo argilloso plastico e soffre (1,4 m – 4,0 m da p.c.)

Limi sabbiosi addensati (4,0 – 8,0 m da p.c.):

La terza unità geotecnica identificata si estende sino alla massima profondità indagata di – 8.00 m da p.c. ed è costituita da depositi di natura prevalentemente coesiva; si tratta di limi sabbiosi moderatamente consistenti addensati. I depositi in questione possiedono sufficienti caratteristiche geotecniche e valore medio di qc pari a 25 kg/cm^q; ad essi si possono assegnare i seguenti parametri geotecnici medi:

Profondità strato [m]	Peso unità di volume [Kg/m ³]	Peso unità di volume saturo [Kg/m ³]	Angolo di attrito [°]	Densità relativa [%]	Coesione [Kg/cm ²]	Coesione non drenata [Kg/cm ²]	Modulo Elastico [Kg/cm ²]	Modulo Edometrico [Kg/cm ²]	OCR
8,00	1900	2000	26	-	0,12	1,20	40	70	1,00

Tabella 33 – Dati da prove CPT – Unità geotecnica limi sabbiosi addensati (4,0 m – 8,0 m da p.c.)

Limi argillosi consistenti (8,0 – 15,0 m da p.c.):

La quarta unità geotecnica identificata si estende sino alla massima profondità indagata di – 15.00 m da p.c. ed è costituita da depositi di natura prevalentemente coesiva; si tratta di limi argillosi consistenti. I depositi in questione possiedono discrete caratteristiche geotecniche e valore medio di qc pari a 40 kg/cm^q; ad essi si possono assegnare i seguenti parametri geotecnici medi:

Profondità strato [m]	Peso unità di volume [Kg/m ³]	Peso unità di volume saturo [Kg/m ³]	Angolo di attrito [°]	Densità relativa [%]	Coesione [Kg/cm ²]	Coesione non drenata [Kg/cm ²]	Modulo Elastico [Kg/cm ²]	Modulo Edometrico [Kg/cm ²]	OCR
15,0	2000	2100	-	-	0,16	1,80	50	100	0,70

Tabella 34 – Dati da prove CPT – Unità geotecnica limi argillosi consistenti (8,0 m – 15,0 m da p.c.)

10. VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Il DM 17.01.2018 (paragrafo 7.11.3.4) e la Circolare esplicativa n. 617/2009 (paragrafo C7.11.3.4) impongono che sia valutata la stabilità nei confronti della liquefazione mediante il ricorso a metodologie analitiche o a carattere semi-empirico. Tali verifiche, secondo le NTC 2018, devono essere condotte tutte le volte che il manufatto in progetto interagisce con terreni saturi a prevalente componente sabbiosa ed in presenza, ovviamente, di sollecitazioni cicliche e dinamiche per le quali il sottosuolo tende a comportarsi come un sistema idraulicamente chiuso, ovvero come un sistema non drenato; nel contempo, al fine di facilitare le procedure di analisi, al paragrafo 7.11.3.4.2 è ribadito che tali analisi possono essere omesse in presenza dei seguenti casi:

- accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizione di free-field) inferiori a $0.1g$ ($a < 1 \text{ m/sec}^2$);
- profondità media stagionale della falda superiore a 15 metri dal piano di campagna, quest'ultimo inteso ad andamento sub-orizzontale e con strutture a fondazioni superficiali;
- depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $N_{1,60} > 30$;
- elevata presenza, nel fuso granulometrico, di terreni a componente fine (limi e argille)
- di ghiaie;

Ne deriva che i fattori che governano il fenomeno della liquefazione possono essere intimamente legati a:

- stato di addensamento;
- la granulometria;
- la storia delle sollecitazioni sismiche;
- le condizioni di drenaggio;
- l'età del deposito;
- il grado di sovraconsolidazione.

Per tale ragione si può ragionevolmente affermare che il sito non è suscettibile di liquefazione perché sussistono la seguente condizione di esclusione fra cui:

- elevata presenza, nel fuso granulometrico, di terreni a componente fine (limi e argille) o di ghiaie.

*Relazione geologica, idrogeologica e sismica***11.CONCLUSIONI**

La presente relazione “*Geologica, Idrogeologica e Sismica*” si inserisce nel contesto degli interventi per la realizzazione di un impianto fotovoltaico da 19,53 MW presso il Comune di camposanto in provincia di Modena. L’impianto è situato in area rurale a destinazione mista artigianale-industriale e agricola.

La finalità specifica è la definizione dell’assetto geologico, idrogeologico e sismico del sito, con particolare riguardo alla definizione delle caratteristiche litostratigrafiche ed alle proprietà fisico meccaniche dei terreni coinvolti dalle opere in progetto, per la valutazione della fattibilità dell’intervento sulla base del modello geologico-sismico e geotecnico dell’area, necessario alla successiva progettazione esecutiva delle nuove opere di fondazione.

I dati in possesso dello scrivente ricavati da apposite indagini geognostiche e sismiche eseguite nell’area di intervento hanno permesso di definire la natura e le caratteristiche dei terreni presenti nell’area di intervento; sulla base delle considerazioni dei paragrafi precedenti si traggono le seguenti conclusioni:

- Da un punto di vista geomorfologico l’area di intervento si dispone sub-pianeggiante ad una quota altimetrica media di circa 15 m s.l.m., i rilievi eseguiti in situ non hanno evidenziato la presenza di processi di instabilità in atto o potenziali.
- Durante la campagna di indagini geognostiche eseguita appositamente in situ, è stato intercettato il livello statico della falda a partire da una profondità di -0,50 m da p.c. Il livello piezometrico, nel corso dell’anno, è comunque soggetto ad oscillazioni in positivo ed in negativo rispetto alla misura rilevata. Le motivazioni sono molteplici e legate a fattori sia di carattere antropico (attività di emungimento dei pozzi, pratiche di irrigazione delle colture nei periodi tardo primaverili ed estivi, etc.), sia di indole naturale (ricarica delle falde in seguito alle precipitazioni in seguito a periodi più o meno piovosi, fenomeni di evapotraspirazione più o meno intensi, etc.).
- Sulla base della cartografia del PSC del comune di Camposanto classifica l’area in oggetto come vulnerabilità molto bassa della falda.
- Dall’esame della carta geologica d’Italia foglio n. 75 “Mirandola” alla scala 1:100.000 l’area oggetto di studio ricade all’interno delle alluvioni argilloso-sabbiose e sabbioso-argillose legate a episodi di piena e tracimazione fluviale.
- Analizzando le tavole del PGRA (Piano Gestione Rischio Alluvioni) l’area oggetto di intervento rientra nell’ambito territoriale denominato “distretto del Fiume Po” nello scenario di pericolosità L-P1 (aree allagabili per bassa probabilità), e nella classe di rischio alluvionale R1 (rischio moderato) e R2 (rischio medio). Le opere in progetto, tuttavia, prevedono la realizzazione di nuovi campi fotovoltaici che non prevedono opere che interferiscono con il normale deflusso delle acque. Si ritiene quindi che le opere in progetto siano compatibili con i vincoli e le limitazioni presenti.
- Con riferimento alla pericolosità sismica locale l’area è inquadrata nello scenario LQ2 “aree con presenza di terreni suscettibili di liquefazione tra 10 e 20 m da piano campagna, con $FAPGA = 1.4$; $FH_{0.1 - 0.5S} = 1.8$; $FH_{0.5 - 1.0S} = 2.5$).
- Sulla base delle indagini sismiche eseguite appositamente in situ la categoria di appartenenza del litotipo equivalente è la 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. L’applicazione del secondo livello di approfondimento ha permesso di calcolare i tre valori di intensità spettrale ($SI1: 0.1 s \leq T0 \leq 0.5 s$, $SI2: 0.5 s \leq T0 \leq 1.0 s$, $SI3: 0.5 s \leq T0 \leq 1.5 s$).

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

- Il DM 17.01.2018 (paragrafo 7.11.3.4) e Circolare esplicativa n. 617/2009 (paragrafo C7.11.3.4) impongono che sia valutata la stabilità nei confronti della liquefazione. Detta valutazione è stata eseguita con metodi semi-empirici di cui al paragrafo 7.11.3.4.2 delle NTC ed analitici che escludono per il sito in questione il fenomeno della liquefazione in quanto:
 - elevata presenza, nel fuso granulometrico, di terreni a componente fine (limi e argille).
- In fase esecutiva, dato il carattere puntuale dei dati forniti dalle prove penetrometriche sarà necessario verificare la rispondenza delle condizioni locali con le caratteristiche litologiche ed idrogeologiche indicate nella presente relazione.

Dalle considerazioni esposte nei paragrafi precedenti e dall'esame delle condizioni geomorfologiche, geologiche dell'area e dei depositi indagati con indagine in sito, si può dedurre che le caratteristiche dell'area in oggetto appaiono compatibili con la destinazione d'uso prevista, adottando le prescrizioni sin qui esposte.

Il presente elaborato è redatto in ottemperanza ai contenuti del DM 17.01.2018 e contempla i requisiti urbanistici e normativi di rilevanza geologica ivi prescritti, costituendo documento idoneo per il rilascio della concessione edilizia sulla base del progetto di costruzione ad esso allegato.

12.BIBLIOGRAFIA

- <https://www.comune.camposanto.mo.it/>
- <https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it>
- <https://mappegis.regione.emilia-romagna.it/>
- <https://www.isprambiente.gov.it/it>
- <https://sqi.isprambiente.it/>
- <https://beta.idrogeo.isprambiente.it/>
- <https://www.adbpo.it/>
- <https://www.ingv.it/>
- <https://diss.ingv.it/>