

COMUNE NOVI DI MODENA



PROVINCIA DI MODENA



REGIONE EMILIA
ROMAGNA



REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO AVANZATO CONNESSO ALLA RETE DELLA POTENZA DI PICCO PARI A 24.001,11 kW

Denominazione Impianto:

"Novi di Modena"

Ubicazione:

Comune Novi di Modena (MO)
Via Valle Bassa, snc

ELABORATO

090500

Relazione geologica preliminare

Cod. Doc.: NOV-090500-R-OR

Sviluppatore:



GRUPPO GEO S.R.L.
Viale F. Cavallotti, 153
63822 Porto San Giorgio (FM)
ITALY
P.IVA 02572290449

Scala: ---

PROGETTO

Data:

15/07/2025

PRELIMINARE



DEFINITIVO



ESECUTIVO



Il Richiedente:

LIO ENERGY TAURUS S.R.L.
Via Arrigo Boito, 8
20121 Milano (MI)
ITALY
P.IVA 14219040962

Tecnici:

Ing. Nicola Ventura:
Iscritto al n.8432 dell'Albo dell'Ordine degli
Ingegneri della Provincia di Bari

Revisione	Data	Descrizione	Redatto	Approvato	Autorizzato
01	15/07/2025	Progetto Definitivo	N.V.	N.V.	N.V.
02					
03					
04					
05					

Il Tecnico:
Dott. Ing. Nicola Ventura



il Richiedente:
LIO ENERGY TAURUS S.R.L.
(Il legale rappresentante Raineri Luca)

SOMMARIO

1.	PREMESSA.....	2
2.	INQUADRAMENTO GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO.....	3
2.1	ASPETTI GEOGRAFICI E GEOLITOLOGICI	3
2.1.1	<i>Caratteri litologici e litostratigrafici locali</i>	5
2.2	ASPETTI IDROGRAFICI E IDROGEOLOGICI.....	8
3.	DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA LOCALE	14
3.1	MISURA DELLA Vs30 TRAMITE LA TECNICA "MASW"	17
3.1.1	<i>Analisi dei risultati – MASW1</i>	18
3.1.2	<i>Altri parametri</i>	24
3.1.3	<i>Analisi dei risultati – MASW2</i>	24
3.1.4	<i>Altri parametri</i>	30
3.1.5	<i>Parametri sismici – suolo C</i>	31
4.	ANALISI DELLA PERICOLOSITA' SISMICA DI I LIVELLO.....	34
5.	SECONDO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO	35
5.1	AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA	35
5.2	AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA.....	40
6.	FENOMENO DELLA LIQUEFAZIONE	41
6.1	ANALISI DEL RISCHIO ALLA LIQUEFAZIONE.....	42
7.	INDAGINI GEOGNOSTICHE	45
8.	CARATTERIZZAZIONE LITOSTRATIGRAFICA E GEOTECNICA.....	48
9.	SCAVI.....	53
10.	TERRE E ROCCE DA SCAVO	54
	INDICE DELLE FIGURE.....	58
	INDICE DELLE TABELLE	60

1. PREMESSA

La società TERNA S.p.A., società concessionaria in Italia della trasmissione e del dispacciamento dell'energia elettrica sulla rete ad alta e altissima tensione ai sensi del Decreto del Ministero delle Attività Produttive del 20 aprile 2005 (Concessione), nell'ambito delle sue attività, provvede alla pianificazione dello sviluppo della Rete di Trasmissione Nazionale (RTN), al fine di perseguire gli obiettivi indicati dal Disciplinare di Concessione come previsto dal D.lgs. 93/2011 e modificato dal decreto legislativo 76/2020 art.60 e ss.mm.ii.

La presente relazione è stata redatta ai sensi delle NTC 2018 e illustra i risultati delle indagini geologico-tecniche e sismiche che hanno permesso di valutare il comportamento geomeccanico dei terreni di fondazione dei manufatti in progetto con riferimento al Progetto dell'ampliamento a 36 kV della Stazione Elettrica CARPI-FOSSOLI esistente nel Comune di Carpi (MO) (Loc. Fossoli).

Lo studio ha comportato un rilievo geomorfologico di dettaglio della zona interessata dal progetto e di un suo significativo intorno, per la caratterizzazione geologica e sismica dell'area e la consultazione di prove penetrometriche statiche pregresse e indagini sismiche MASW, realizzate su terreni limitrofi.

Per l'inquadramento territoriale ed urbanistico dell'area oggetto di variante si è fatto esplicito riferimento ai seguenti strumenti di pianificazione vigenti:

- Piano strutturale comunale Comune di Carpi;
- Studio di Microzonazione Sismica di Secondo Livello 'adeguamento degli studi di microzonazione sismica (MS) e l'elaborazione delle analisi della Condizione Limite per l'Emergenza (CLE) ai sensi della Legge 77/2009.

Inoltre, si è fatto riferimento alla seguente normativa nazionale di riferimento:

- ✚ **D.M.LL.PP. 11/03/88** Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione;
- ✚ **D.M. 9 gennaio 1996** Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi;
- ✚ **D.M.16 gennaio 1996** Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche
- ✚ **Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274 del 20 marzo 2003** Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" (G.U. n. 105 del 8.05.2003);
- ✚ **Ordinanza n. 3316 del 2 ottobre 2003** Modifiche ed integrazioni all'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003;
- ✚ **OPCM 3 maggio 2005** Ulteriori modifiche ed integrazioni all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 Marzo 2003, recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zone sismiche" (Ordinanza n. 3431) – (G.U.n.107del10 maggio2005–Suppl.Ord.n. 85);
- ✚ **D.M. 14 gennaio 2008** Nuove norme tecniche per le costruzioni 2008;
- ✚ **D.M. 17 gennaio 2018** Norme tecniche per le costruzioni;
- ✚ **Eurocodice 7** Progettazione geotecnica;
- ✚ **Eurocodice 8** Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici;
- ✚ Gli indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica (**Atti DGR n. 630 del 29 aprile 2019, DGR n.2193 del 21 dicembre 2015**);
- ✚ Aggiornamento degli indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica (**Atti DGR n. 496 del 01/04/2021, DGR n.564 del 26/04/2021**).

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

2.1 Aspetti geografici e geolitologici

L'area oggetto d'indagine si trova nella zona nord del comprensorio comunale di Carpi, ad una quota topografica di circa 19,0 m s.l.m. in un'area da un punto di vista geomorfologico completamente pianeggiante., ricadendo nel Foglio 74 denominato "Reggio Emilia" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 100.000.



Figura 1 – Ubicazione dell'area - immagine satellitare



Figura 2 – Ubicazione sulla CTR dell'Emilia-Romagna

L'area in esame appartiene alla Pianura Padana costituita da una sequenza deposizionale compresa tra la catena appenninica a sud e quella alpina a nord, che forma un'ampia e profonda depressione di sedimenti di età Mesozoica, Terziaria e Quaternaria.

La storia deformativa, a carattere essenzialmente compressivo, congiuntamente alle variazioni climatiche che si sono susseguite, ha contribuito a definire l'architettura dei depositi marini e continentali di riempimento del Bacino Padano.

Nello specifico, il comparto territoriale in analisi è legato allo sviluppo della catena appenninica, costituita da una struttura a falde caratterizzata dalla sovrapposizione di elementi paleogeografici più interni su elementi più esterni. Infatti, l'attuale conformazione del Bacino Padano è riconducibile alle spinte compressive le quali, a partire dal Miocene sup. hanno interessato l'Appennino settentrionale e l'antistante substrato padano. L'avanzamento delle falde appenniniche ha determinato sprofondamenti flessurali nell'antistante avampaese padano ed il formarsi di un bacino subsidente con lo sviluppo dell'avanfossa padano adriatica.

A seguito dell'abbassamento del livello del mare, avvenuto durante il Messiniano, e la conseguente crisi di salinità, a partire dal Pliocene si verifica una generale trasgressione marina con la conseguente deposizione di importanti orizzonti pelitici e, nelle zone più profonde, di sequenze torbiditiche.

Il riempimento progressivo del Bacino Padano prosegue nel Pleistocene, con l'inizio di un nuovo ciclo sedimentario costituito da successioni marine via via meno profonde [Quaternario marino, Qm]. Infine, a partire dal Pleistocene medio si verifica il passaggio da un ambiente marino ad uno continentale, costituito da depositi clastici messi in posto dalle alluvioni dei fiumi alpino-appenninici e dal Po [Quaternario Continentale, Qc]. Si riscontra, infatti, la troncatura al tetto dei depositi marini ed il conseguente contatto erosivo con depositi sabbioso-ghiaiosi alluvionali del Pleistocene medio-superiore.

In tale complesso la base delle formazioni plioceniche si rinviene tra 200 (Novi MO – Mirandola) e 6.000/8000 m di profondità (Soliera - Nonantola – S. Giovanni in Persiceto) e lo spessore medio delle formazioni quaternarie è circa di 1.000/1200 m.

All'interno di queste ultime la base del Sistema Emiliano Romagnolo Superiore (SERS) si pone a profondità variabili tra – 150/200 m da p.c.

La disamina dei profili sismici realizzati da AGIP ha permesso di riconoscere nel sottosuolo la presenza di archi di accavallamento legati all'evoluzione del bacino di avanfossa padano – adriatico generato in seguito alla collisione e subduzione di crosta

continentale. Dette strutture, presentanti orientazione generale NO – SE nel settore occidentale ed O – E in quello orientale, sono costituite da pieghe anticlinali e thrusts, separate da sinclinali, e guidano la migrazione progressiva verso nord – est dell’avanfossa plio- pleistocenica.

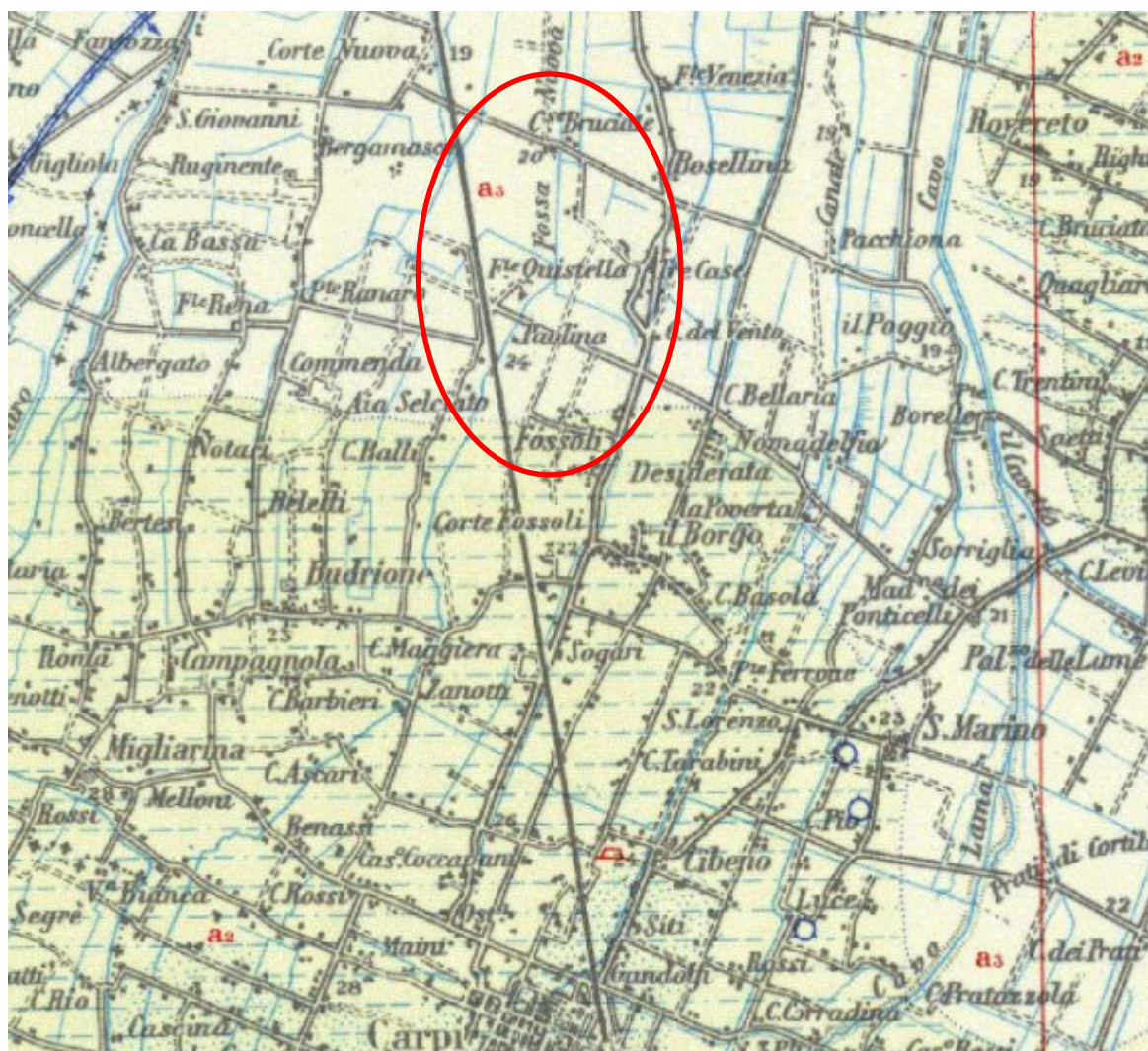
Nello specifico, l’area in esame, da un punto di vista strutturale, si colloca in corrispondenza della sinclinale sottesa tra la Dorsale Ferrarese, a nord, e la “Zona delle Pieghe pedeappenniniche” (emiliano - romagnole), a sud. L’area compresa tra i suddetti archi di pieghe costituisce un ampio bacino, fortemente subsidente, denominato Bacino di Carpi-Cento, che si estende dal suddetto Capoluogo sino a Cento di Ferrara.

Le Pieghe Ferraresi costituiscono l’arco piu esterno della struttura che forma il sistema di saldatura tra le pieghe appenniniche ed il blocco alpino; si osserva, quindi una risalita pronunciata del substrato Mesozoico e, di conseguenza, una riduzione dello spessore dei sedimenti terziari – quaternari.

2.1.1 Caratteri litologici e litostratigrafici locali

L’area in esame ricade in una zona di pianura costituita esclusivamente da alluvioni recenti ed attuali; la pianura emiliana risulta infatti caratterizzata da depositi alluvionali di origine continentale che si impilano sulle successioni marine, affioranti nelle aree collinari e pedeappenniniche, ove si mostrano dislocate in profondità da un sistema di faglie, a direzione NO-SE e che si approfondiscono molto rapidamente raggiungendo profondità già di circa 300-400 m all’altezza.

In base alla Carta Geologica d’Italia alla scala 1.100.000 – Foglio 74 – “Reggio Emilia”, l’area indagata ricade completamente all’interno dei citati depositi alluvionali dell’Alluvium Recente (a3) che si riferiscono a depositi continentali e costieri del quaternario posti villafranchiano. Tali depositi si presentano superficialmente prevalentemente argillosi, di colore nero e sono riconducibili a depositi palustri di recente bonifica.



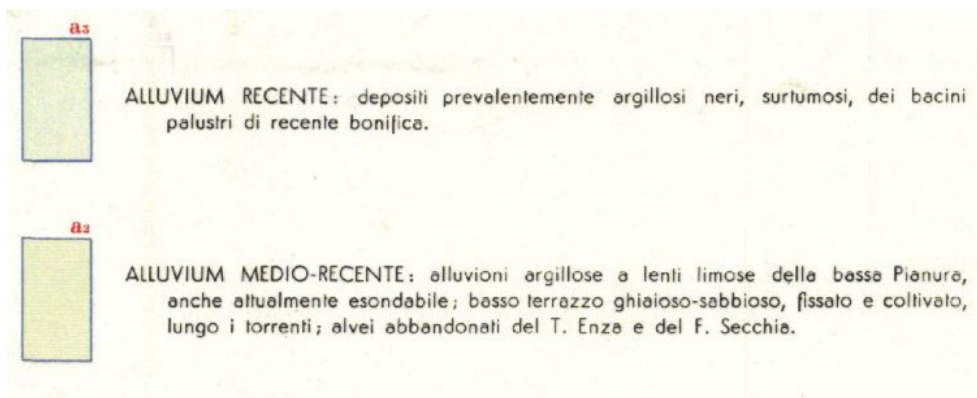


Figura 3 – Estratto Carta Geologica d'Italia 1:100.000 – Foglio n. 74 – Reggio Emilia

Dall'osservazione della carta litologica allegata al PSC di Carpi è possibile osservare come i terreni di copertura dell'area siano contraddistinti dalla presenza di limi argillosi che, come vedremo successivamente nel dettaglio, si può spingere fino a 30 m di profondità.

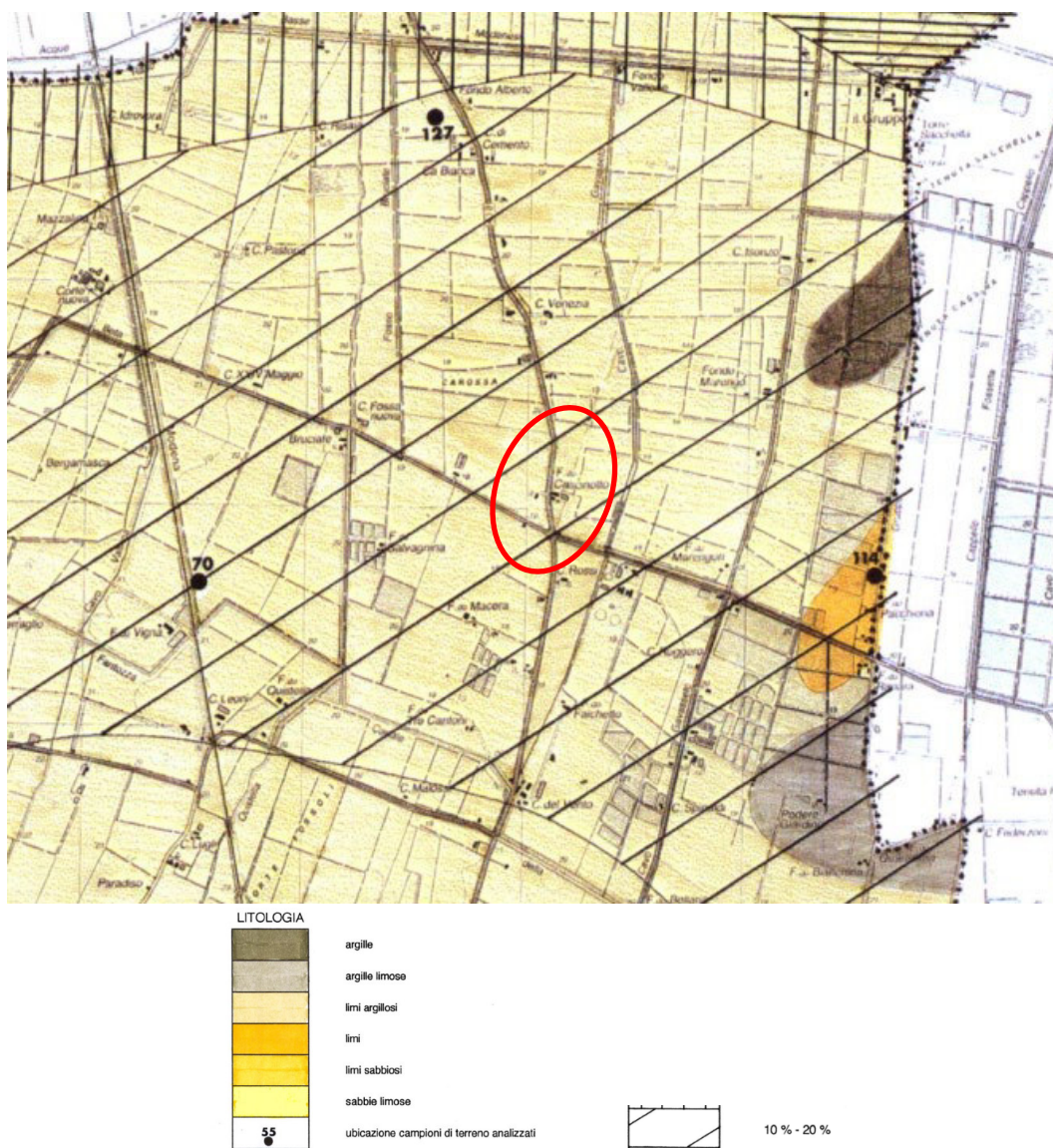
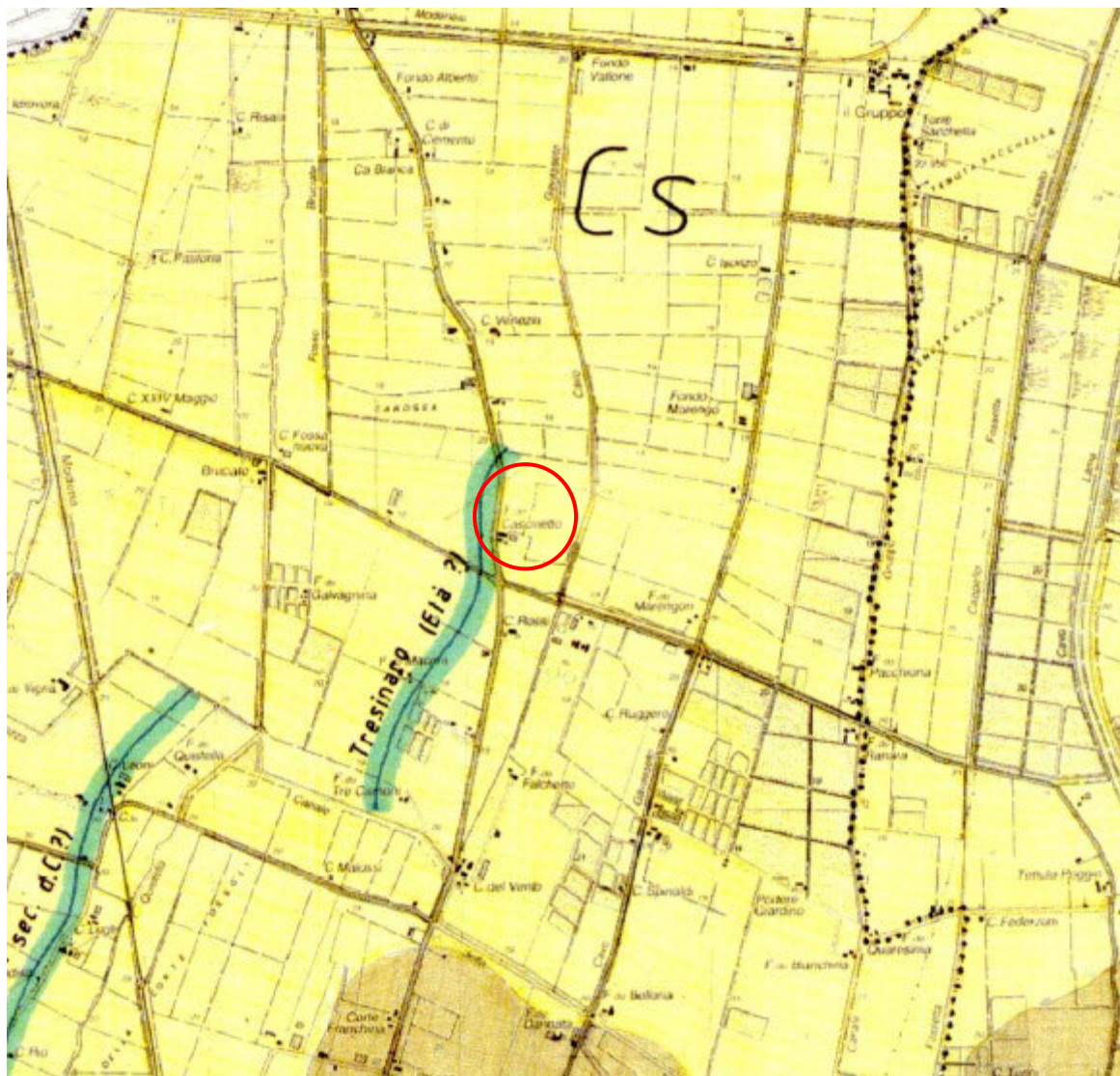


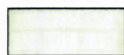
Figura 4 – Estratto Carta Litologica Comunale

Dall'osservazione della seguente immagine emerge come l'area comunale dove ricade l'area di interesse sia ricompresa all'interno dell'Unità delle Valli, costituita appunto da depositi con tessitura fine, non stratificati e con presenza di materiali organici.

Si nota ad ovest dell'area di interesse la probabile presenza di un paleoalveo del T. Tresinaro che si estende in direzione Sud-Nord in questa porzione di pianura.

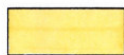


UNITA' GEOMORFOLOGICHE



Unità degli Argini Naturali del Reticolo Idrografico Principale

alternanze di strati di spessore decimetrico a tessitura moderatamente grossolana, passanti lateralmente e intercalate con strati a tessitura moderatamente fine, localmente corpi canalizzati a tessitura grossolana. Al tetto suoli a diverso grado di evoluzione.



Unità delle Coperture Alluvionali

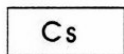
alternanze di strati di spessore decimetrico a tessitura moderatamente fine intercalate con strati decimetrici a tessitura moderatamente grossolana. Al tetto suoli a diverso grado di evoluzione.



Unità delle Valli

depositi a tessitura fine non stratificati, localmente intercalazioni di lamine da millimetriche a centimetriche a tessitura moderatamente fine e materiali organici parzialmente decomposti. Al tetto suoli a diverso grado di evoluzione.

UNITA' STRATIGRAFICHE



Case Secchia (- linea di separazione fra unità)

depositi a basso grado di alterazione inferiore al metro; al tetto suoli calcarei o parzialmente decarbonatati (inceptisuoli). Età Moderna-Medioevo.

Figura 5 – Estratto Carta delle Unità Geomorfolologiche

A livello comunale la successione dei depositi quaternari affioranti è rappresentata dagli orizzonti di seguito descritti, dall'alto in basso in senso stratigrafico.

Con riferimento ai risultati delle indagini disponibili e alle tracce delle sezioni riportate di seguito, sono stati ricostruiti i profili litostratigrafici del terreno ed individuate le unità litotecniche descritte nel seguito.

In particolare, si individuano:

- UNITÀ R (da p.c. fino a 1,0 m di profondità): Suolo agrario limoso argilloso, sovraconsolidato per essiccamento;
- UNITÀ 1A (da 1,0 m a 18,0÷19,0 m circa da p.c.): Argille, argille limose e limi argillosi a bassa consistenza. All'interno dell'unità si rinvencono localmente intercalazioni limoso-sabbiose discontinue;
- UNITÀ 1B (da 18,0÷19,0 m a 33,5 m circa da p.c.): Argille, argille limose e limi argillosi mediamente consistenti. All'interno dell'unità si rinvencono sporadiche e discontinue intercalazioni limose e sabbiose;
- UNITÀ 2 (a quote varie): Limi sabbiosi e sabbie limose, da debolmente argillosi ad argillosi, in lenti isolate e discontinue all'interno dell'unità 1);
- UNITÀ 3 (oltre i 33,5 m di profondità): Sabbie e sabbie limose mediamente addensate.

2.2 Aspetti idrografici e idrogeologici

Il territorio comunale di Carpi dal punto di vista idraulico fa parte del Consorzio di Bonifica Parmigiana – Moglia - Secchia. Lo scolo delle acque superficiali è garantito da numerosi cavi e scoline facenti parte, soprattutto nella parte meridionale di tale territorio, della rete di scolo delle acque alte ed in parte di quella delle acque basse. A quest'ultimo gruppo appartengono canali che drenano le ampie zone depresse di bonifica presenti a nord della direttrice Budrione – Fossoli - S. Marino.

La maggior parte delle acque sotterranee sfruttabili, della Regione Emilia-Romagna, risiede nei depositi marini e continentali, di età plio-pleistocenica, che costituiscono il riempimento del Bacino Perisuturale Padano, legato all'orogenesi dell'Appennino Settentrionale.

Le Unità Stratigrafiche del sottosuolo sud-padano possono essere saturate da acque dolci, salmastre e salate. Nel loro insieme esse costituiscono il Bacino Idrogeologico della Pianura Emiliano-Romagnola (BIPER).

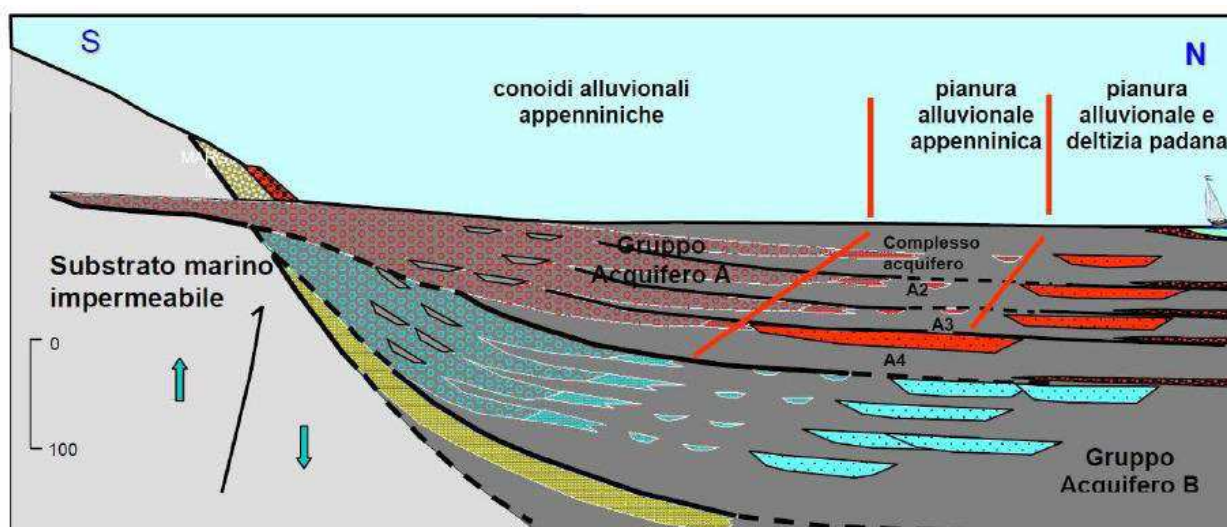


Figura 6 – Schema che descrive, in sezione, le diverse origini dei corpi acquiferi emiliano-romagnoli: le conoidi e gli apparati fluviali appenninici, gli apparati fluvio-deltizi del Po

Dallo Studio edito nel 1998, dalla Giunta Regionale sulle “Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia- Romagna” viene illustrato, il quadro idrostratigrafico regionale. Le Unità Idrostratigrafiche Sequenziali (UIS), ovvero una particolare sottoclasse di Unità Idrostratigrafiche che sono definite come un corpo geologico, di notevole estensione areale, che costituisce un dominio nello spazio fisico in cui ha sede un sistema ideologico ragionevolmente distinto, sono tre ed informalmente definite GRUPPO ACQUIFERO A, B e C, a loro volta suddivise in tredici UIS, gerarchicamente inferiori, denominate Complessi Acquiferi. La differenziazione gerarchica si basa sul volume complessivo di acquiferi utili in ciascuna Unità, spessore ed estensione areale del livello acquifero o impermeabile di ciascuna Unità.

All'interno del Gruppo Acquifero A, sono stati individuati cinque UIS principali, denominate Complessi Acquiferi: rispettivamente dal basso verso l'alto Complesso Acquifero A4, A3, A2 A1 e l'acquifero freatico A0

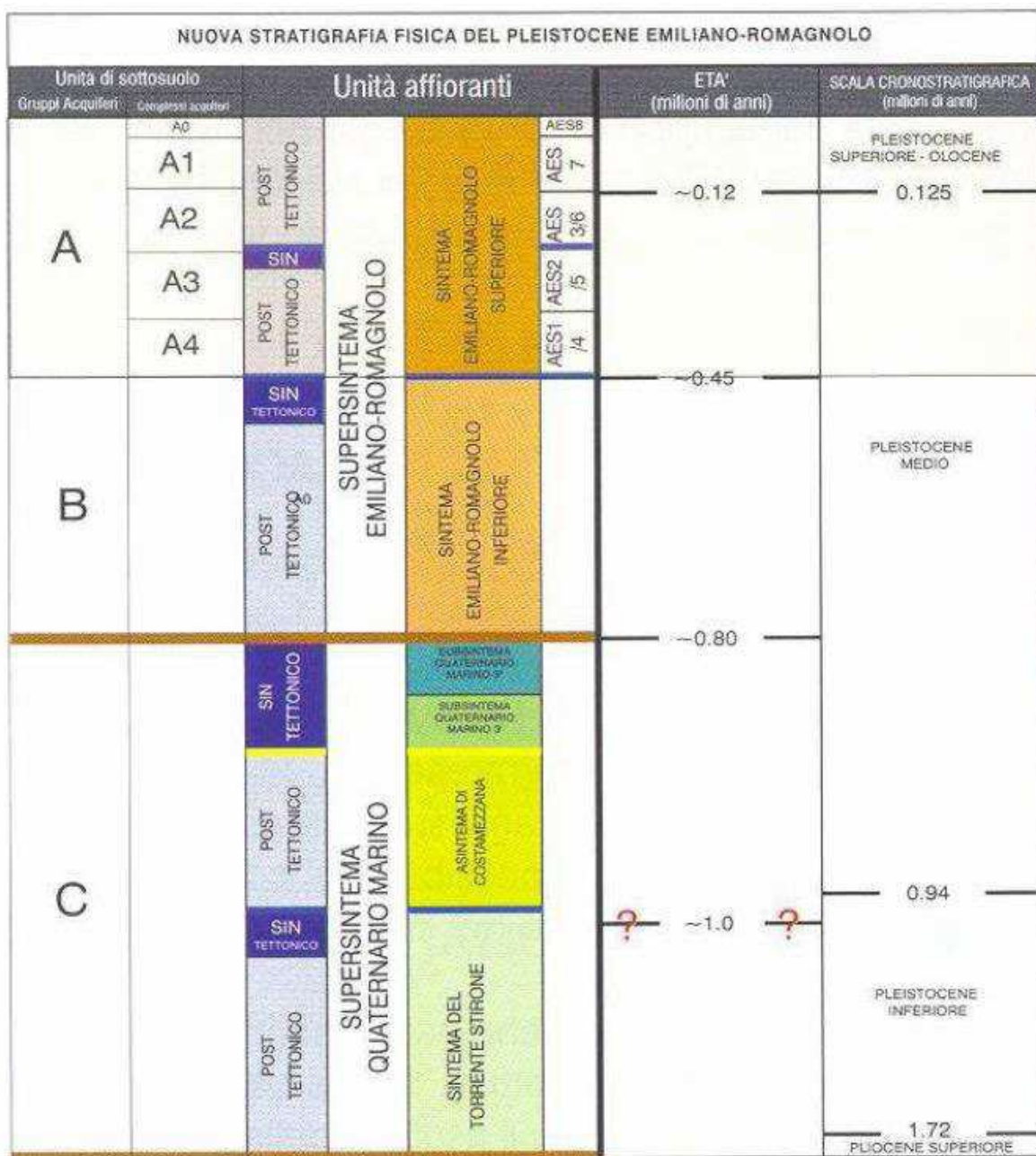


Figura 7 – Inquadramento geologico-stratigrafico regionale dei depositi quaternari, rivisto e aggiornato

Questi Complessi Acquiferi rappresentano, a scala regionale, Unità Idrostratigrafiche Sequenziali di rango gerarchico inferiore, rispetto ai Gruppi Acquiferi. Visto, inoltre, il maggior dettaglio stratigrafico raggiunto in questo lavoro, rispetto al RIS (1998), è stato possibile suddividere i Complessi Acquiferi A1 e A2, rispettivamente in A1-I/A1-II e A2-I/A2-II che rappresentano delle UIS alla scala locale (Provincia di Ferrara). In particolare, si è notato come i Complessi Acquiferi A1-II e A2-II presentino una estensione e uno spessore dei depositi poroso-permeabili (sabbie) molto inferiore rispetto ai Complessi Acquiferi A1-I e A2-I.

L'area in esame, come visto in precedenza, ricade all'interno dell'unità geomorfologica delle valli, caratterizzata da depositi prevalenti a tessitura fine, con sottili livelli a tessitura moderatamente grossolana.

L'area di studio, dal punto di vista idrogeologico, appartiene al sistema acquifero della media pianura modenese; quest'ultimo è caratterizzata da una situazione stratigrafica prevalentemente limo-argillosa nella quale i livelli acquiferi sono costituiti da lenti sabbiose che, come spessore, non superano mai il 10% del totale.

L'alimentazione di tali livelli è da ritenersi remota essendo il loro collegamento con la superficie pressoché annullato dalla litologia superficiale impermeabile.

La piezometria degli orizzonti acquiferi più profondi distribuiti entro i primi 30-40 m di profondità, evidenziano la presenza di una grande depressione incentrata sul capoluogo corrisponde alla zona ove sono ubicati i pozzi soggetti a maggior prelievo di acque dal sottosuolo, presenti sia nella zona industriale che nel capoluogo medesimo. Tale depressione presente nella superficie piezometrica deve interpretarsi pertanto come un "cono di depressione" avente un raggio di alcuni chilometri determinato da un prelievo continuativo da parte dei pozzi che estraggono acqua dal sottosuolo. Questo prelievo condiziona anche la forma della superficie piezometrica nella parte Nord del territorio, modificando il generale senso di flusso che competerebbe alla zona. Una conseguenza di un così elevato abbattimento permanente della falda, in una situazione litostratigrafica di assoluta prevalenza di materiali limo-argillosi compressibili, può determinare, a lungo termine, fenomeni di subsidenza, i quali peraltro potrebbero essere già in atto.

Per quanto riguarda infine la falda freatica superficiale, il livello freatico misurato nelle prove pregresse eseguiti ha mostrato come la profondità della falda freatica sia posta ad una profondità pari a circa 1,40-2,00 m dal p.c.

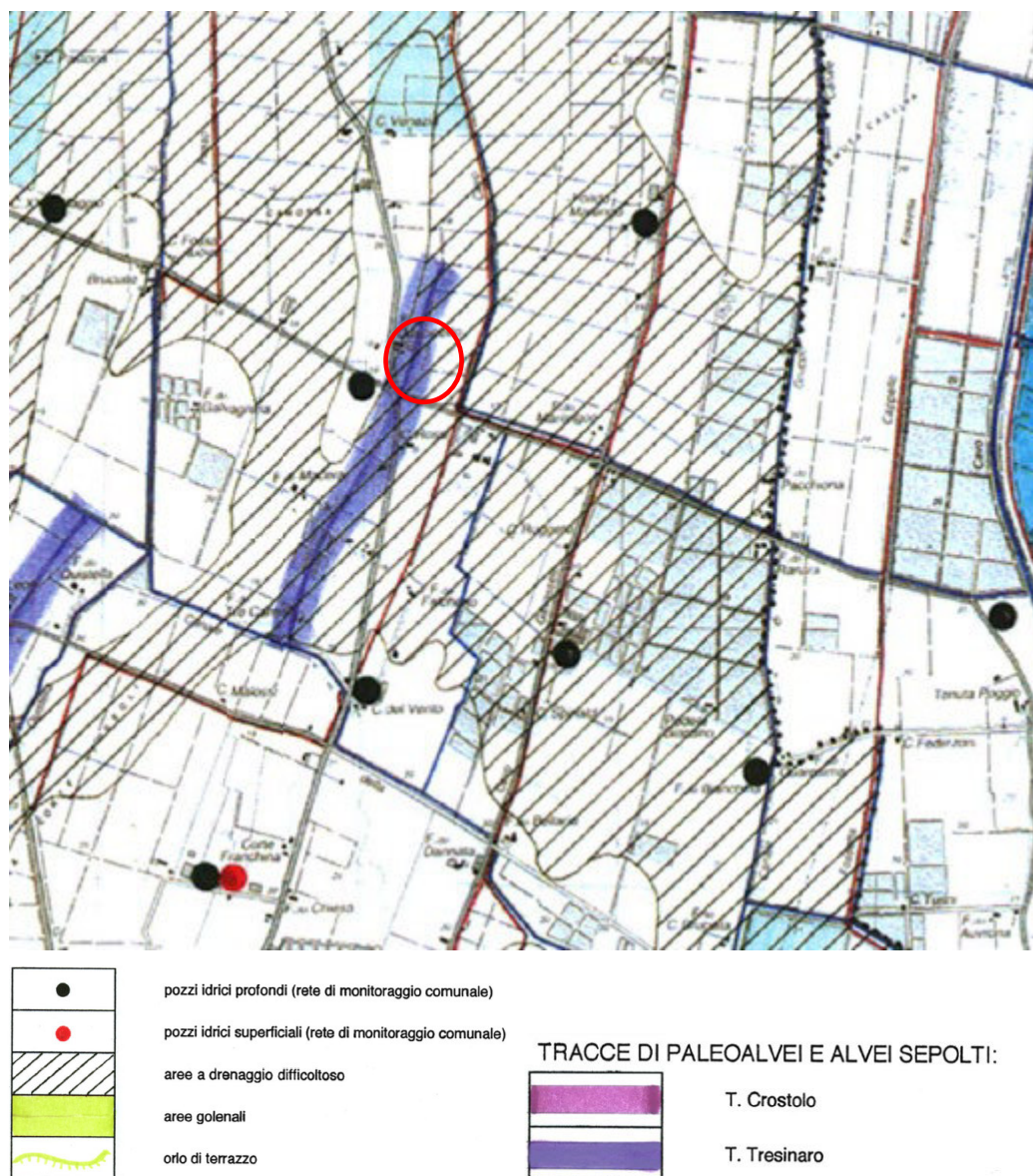


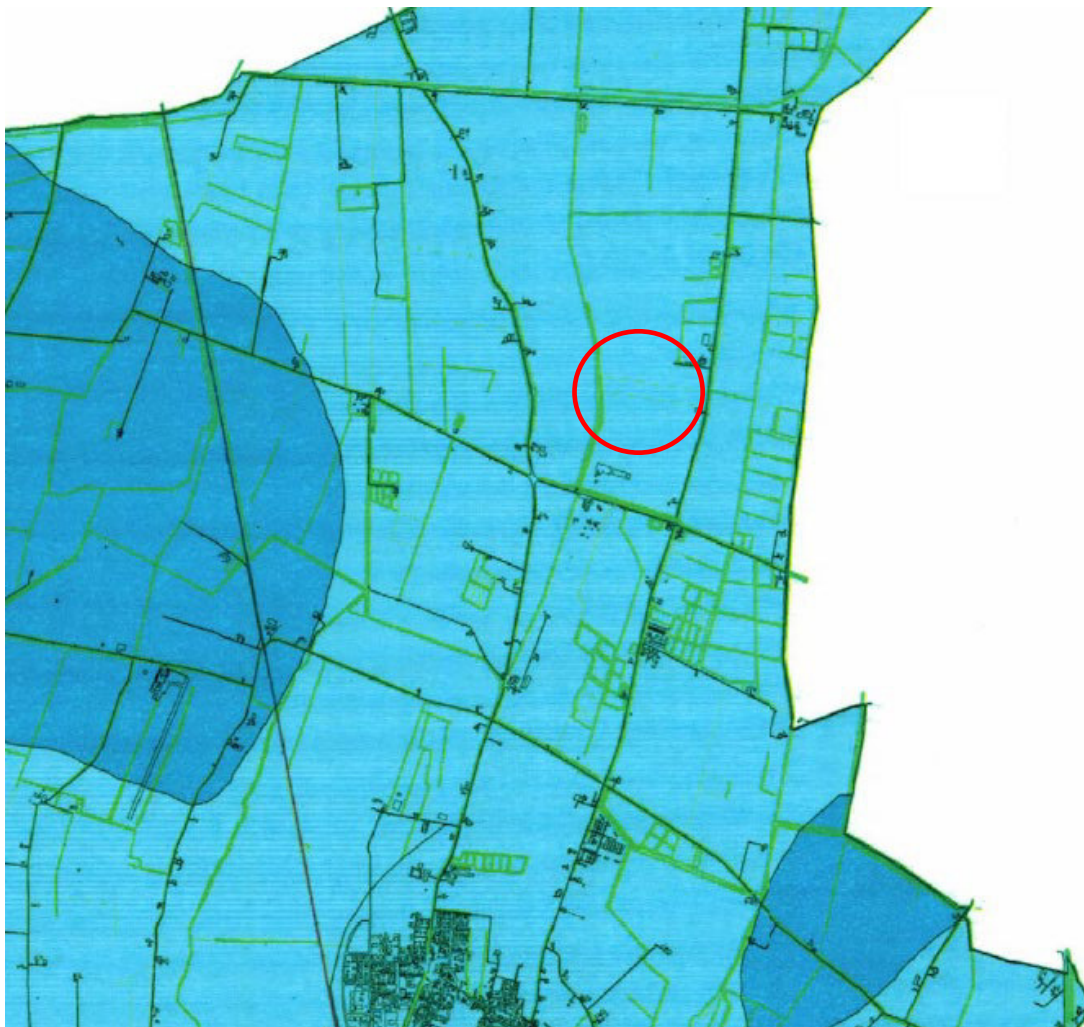
Figura 8 – Estratto dalla Carta idrogeologica Comunale

Dall'osservazione della carta idrogeologica allegata al PSC Comunale emerge come l'area si presenti a drenaggio difficoltoso per via della copertura argillosa presente nei primi metri di terreno. Inoltre, si apprende che nella zona è stato identificato un paleoalveo del Torrente Tresinaro, meglio osservabile in relazione all'attuale area di studio, dalla seguente immagine.



Figura 9 – Sovrapposizione dell'area di studio con il paleoalveo del Torrente Tresinaro

Nella seguente immagine viene riportata la carta della soggiacenza della falda dove si apprende che, a scala comunale, in corrispondenza dell'area di studio la falda dovrebbe attestarsi a meno di 2 m dal p.c.








-  profondità' superiore a 75 m
-  profondità' compresa tra 25 e 75 m
-  profondità' compresa tra 10 e 25 m
-  profondità' compresa tra 2 e 10 m
-  profondità' inferiore a 2 m

Figura 10 – Estratto dalla Carta della soggiacenza

Per quanto riguarda il PGRA, consultata sul webgis del Geoportale Nazionale (<http://www.pcn.minambiente.it/>), è possibile osservare come l'area di studio sia interamente ricompresa all'interno dello scenario di bassa pericolosità idraulica (LPH), in riferimento alle aree a rischio alluvione individuate dal "Piano di Gestione Rischio Alluvioni nel bacino del Fiume Po (PGRA)".



Figura 11 – Estratto dalla Estratto dalla carta PAI-PGR

3. DEFINIZIONE DELL’AZIONE SISMICA LOCALE

La classificazione sismica del territorio nazionale, eseguita sulla base dell’Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, prevede che tutta la Penisola sia classificata sismica, con diversi gradi di pericolosità.

In base a tale Ordinanza, aggiornata con la Deliberazione della Giunta Regionale n.1435 del 21 luglio 2003 e successivamente con la n.1164 del 23 luglio 2018, il Comune di Carpi ricade in classe sismica 3.

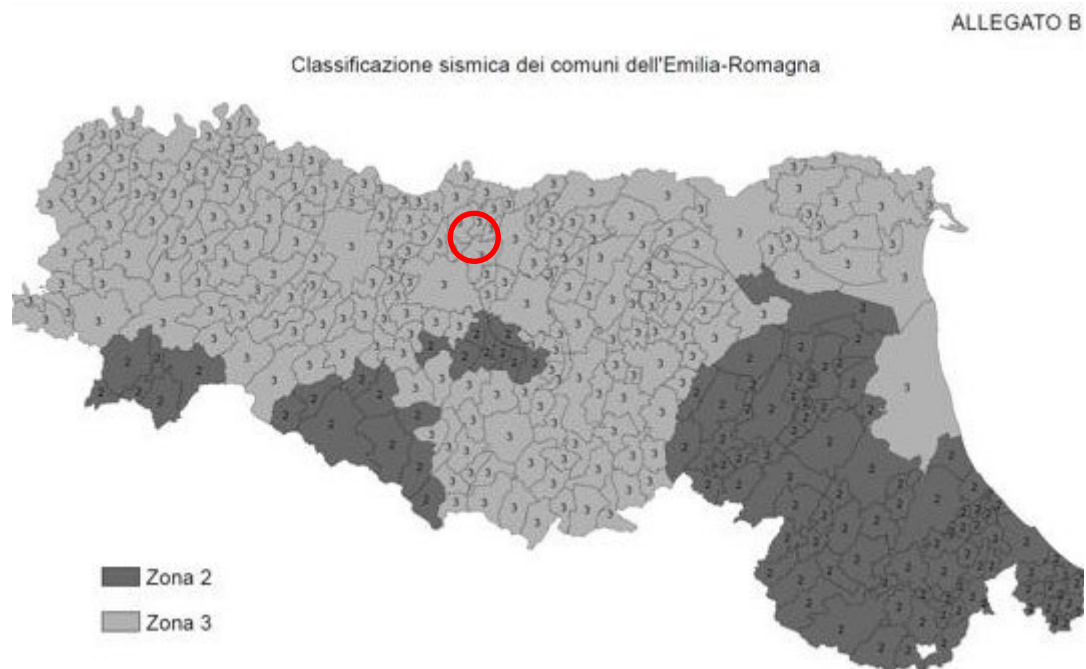


Figura 12 – Nuova classificazione sismica dei comuni della regione Emilia-Romagna

L’Ordinanza PCM 3519 del 27/04/06 fornisce una revisione dei valori di a_g sul territorio nazionale ed inserisce il territorio di **CARPI** nella sottozona caratterizzata da valori di a_g compresi tra 0.150 e 0.175 (accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni).

MODELLO DI PERICOLOSITÀ SISMICA MPS 04 S1

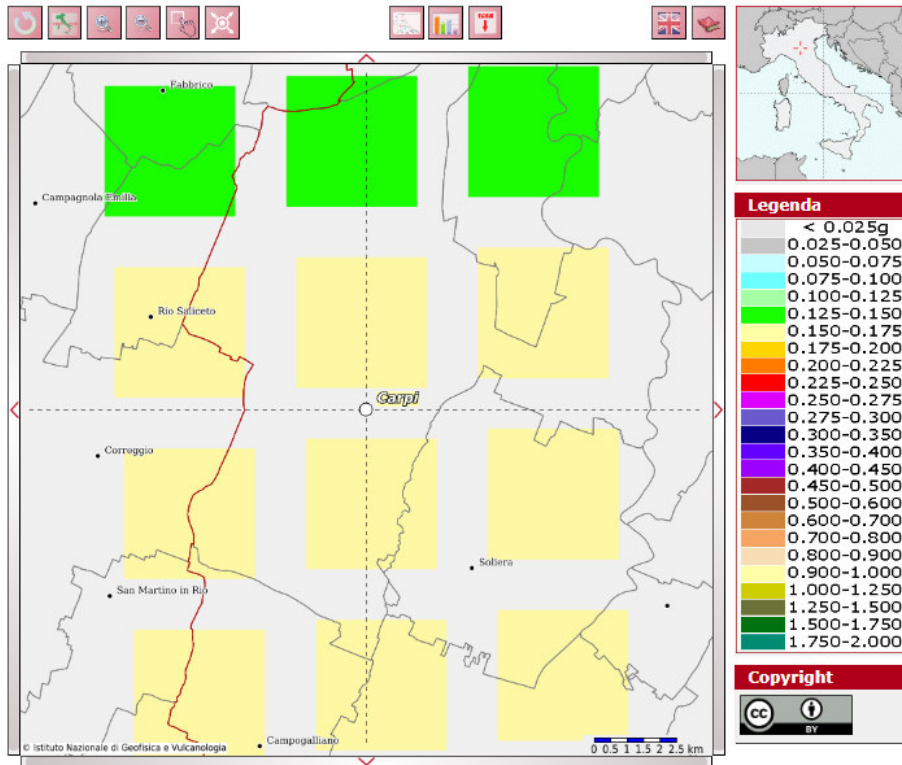


Figura 13 – Valori di pericolosità sismica del territorio nazionale

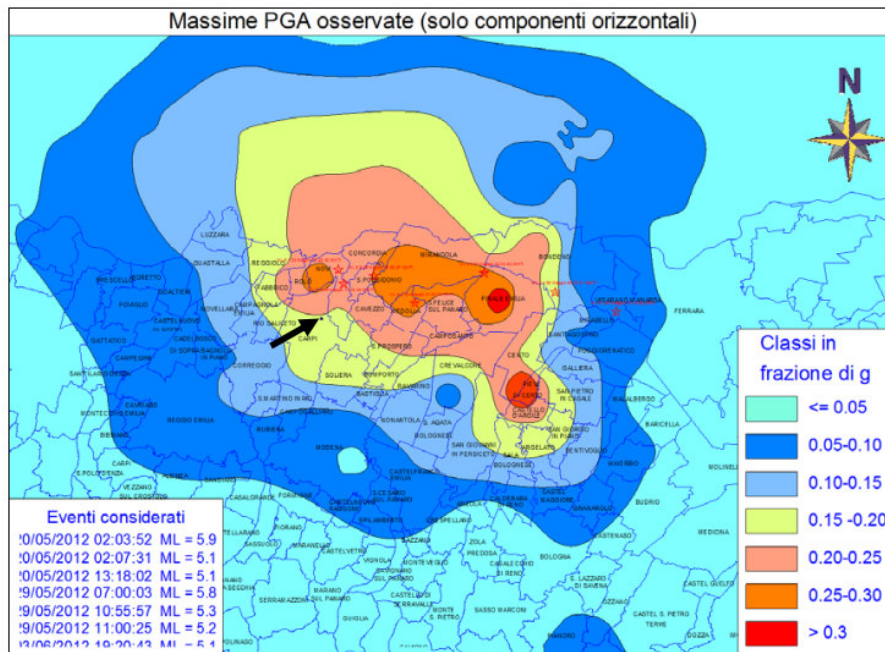


Figura 14 – Mappa delle intensità massime registrate durante il terremoto del 2012

Più recentemente nell'ambito della revisione delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14/01/2008) sono state adottate le stime di pericolosità sismica del progetto S1, concludendo il percorso iniziato nel 2003. Tali stime superano il concetto di classificazione a scala comunale e sulla base di 4 zone sismiche.

Per quanto riguarda le categorie di sottosuolo, secondo le NTC 2018, vengono eliminate le categorie S1 ed S2, mentre con l'utilizzo della $V_{s,eq}$, le categorie di sottosuolo B, C e D vengono ampliate inglobando alcune configurazioni che rientravano in S2, quando il bedrock sismico si posizionava tra i 3 ed i 25 metri dal piano di riferimento. Inoltre la Categoria di sottosuolo D (che

nelle NTC08 erano definite con $V_{s,30} < 180$ m/s) viene classificata con valori di $V_{s,eq}$ compresi tra 100 e 180 m/s. Inoltre, come è possibile osservare dalla seguente tabella, non si ricava più la categoria di sottosuolo usando NSPT30 o CU30.

Categorie	Caratteristiche della superficie topografica
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio ($V_{s,eq}$) 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 fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente ($V_{s,eq}$) compresi tra 360 m/s e 800 m/s
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine 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 ($V_{s,eq}$) compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine 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 ($V_{s,eq}$) 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.

Tabella 1: Categorie di sottosuolo

Nelle definizioni precedenti $V_{s,eq}$ è la velocità media di propagazione delle onde di taglio $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

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

h_i = spessore dello strato i -esimo;

$V_{s,i}$ = velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato;

N = numero di strati;

H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/sec. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

In base a quanto prescritto nelle NTC 2018, la velocità delle onde di taglio, $V_{s,eq}$, va "determinata mediante apposite misure dirette, derivanti da indagini geofisiche di tipo sismico". Nel nostro caso la definizione della categoria di sottosuolo da un punto di vista sismico è stata dedotta da un'indagine MASW eseguita in corrispondenza dell'area di studio, che ha permesso di determinare il valore delle $V_{s,eq}$ che, in questo caso, poiché non è stato intercettato il substrato sismo ($V_s > 800$ m/s) è uguale al valore di V_{s30} .

3.1 Misura della Vs30 tramite la tecnica "MASW"

Il metodo MASW è una tecnica di indagine non invasiva che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs, basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo.

Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (*Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980*) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione.

La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi. Il metodo di indagine MASW si distingue in metodo attivo e metodo passivo (*Zywicki, D.J. 1999*) o in una combinazione di entrambi. Nel metodo attivo le onde superficiali generate in un punto sulla superficie del suolo sono misurate da uno stendimento lineare di sensori.

Nel metodo passivo lo stendimento dei sensori può essere sia lineare, sia circolare e si misura il rumore ambientale di fondo esistente. Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5Hz e 70Hz, quindi dà informazioni sulla parte più superficiale del suolo, sui primi 30m-50m, in funzione della rigidità del suolo. Il metodo passivo in genere consente di tracciare una velocità di fase apparente sperimentale compresa tra 0 Hz e 10Hz, quindi dà informazioni sugli strati più profondi del suolo, generalmente al di sotto dei 50 m, in funzione della rigidità del suolo.

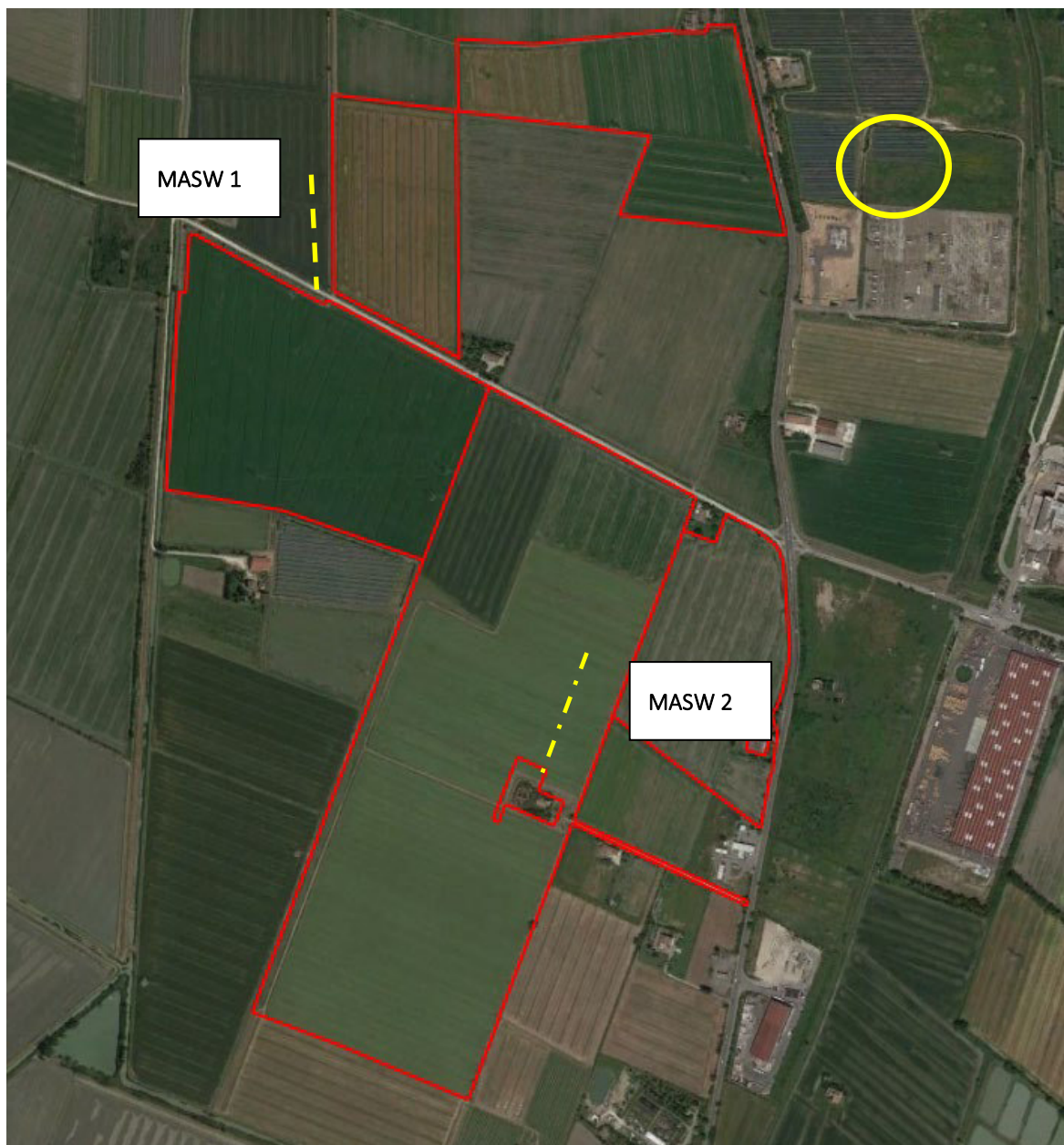


Figura 15 – Ubicazione degli stendimenti pregressi MASW utilizzati (in giallo l'area di intervento)

3.1.1 Analisi dei risultati – MASW1

La definizione del tipo di suolo ai sensi delle Norme Tecniche sulle Costruzioni (NTC 2018), è stata possibile mediante la consultazione di un'indagine indiretta basata sulle tecniche della sismica a rifrazione (misura diretta delle V_{seq} con metodologia MASW - Multichannel Analysis of Surface Waves).

A tale scopo, è stato consultato uno stendimento sismico lineare, con le seguenti caratteristiche:

S 1 - lunghezza pari a **55 m** con 12 geofoni a distanza intergeofonica di 5,0 m, punto di energizzazione dal primo ed ultimo geofono pari a 5 e 10 m;

Il profilo M.A.S.W., sulla base dei modelli medi, indicava una V_{S30} pari a **283.88 m/s**.

Ai fini della definizione delle azioni sismiche secondo le nuove "Norme Tecniche per il progetto sismico di opere di fondazione e di sostegno dei terreni" il profilo stratigrafico dei terreni coinvolti nel progetto permette di classificare il sito come:

- **suolo tipo "C"** - "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine 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 ($V_{s,eq}$) compresi tra 180 m/s e 360 m/s."

Si riporta di seguito, il profilo con le velocità V_{s24} relative allo stendimento:

STENDIMENTO 1

Tracce

N. tracce	12
Durata acquisizione [msec]	1000.0
Interdistanza geofoni [m]	5.0
Periodo di campionamento [msec]	0.131

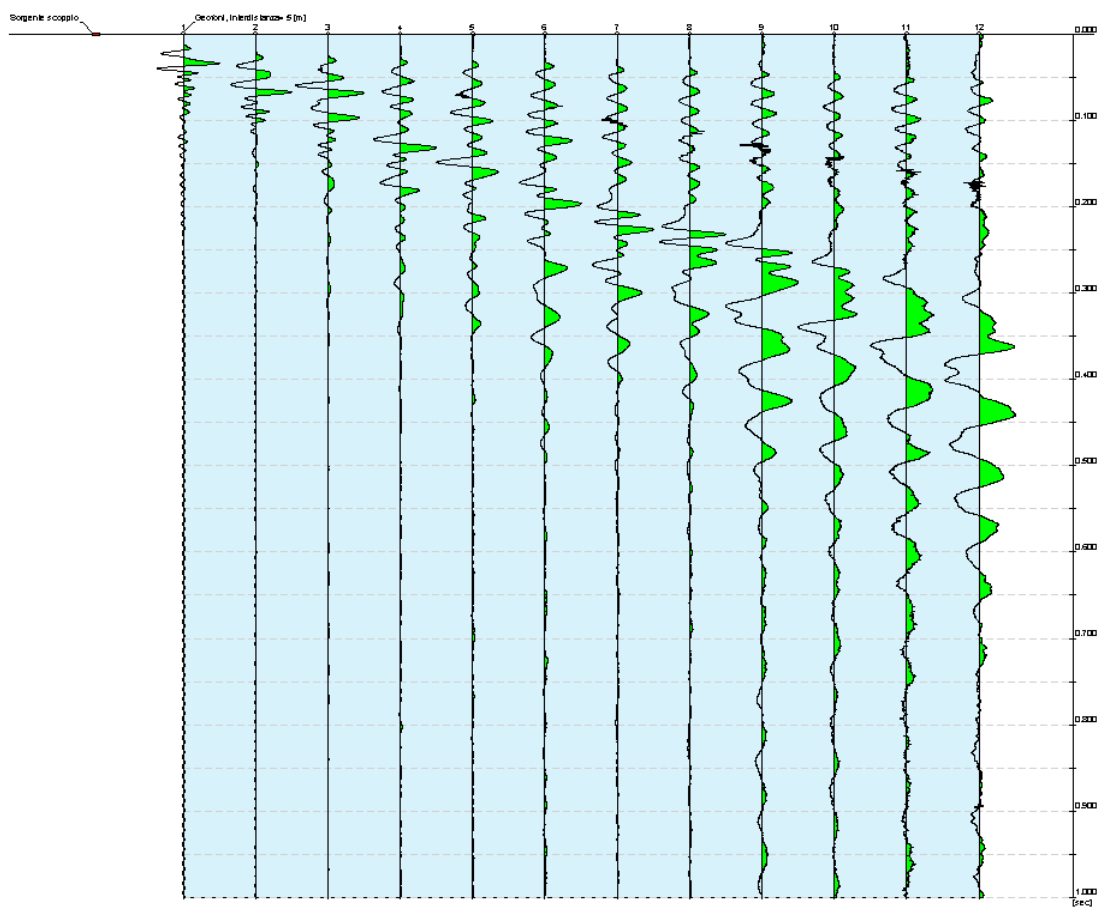


Figura 16 – Sismogramma stendimento MASW

Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	2
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	60
Velocità minima di elaborazione [m/s]	1
Velocità massima di elaborazione [m/s]	1000
Intervallo velocità [m/s]	1

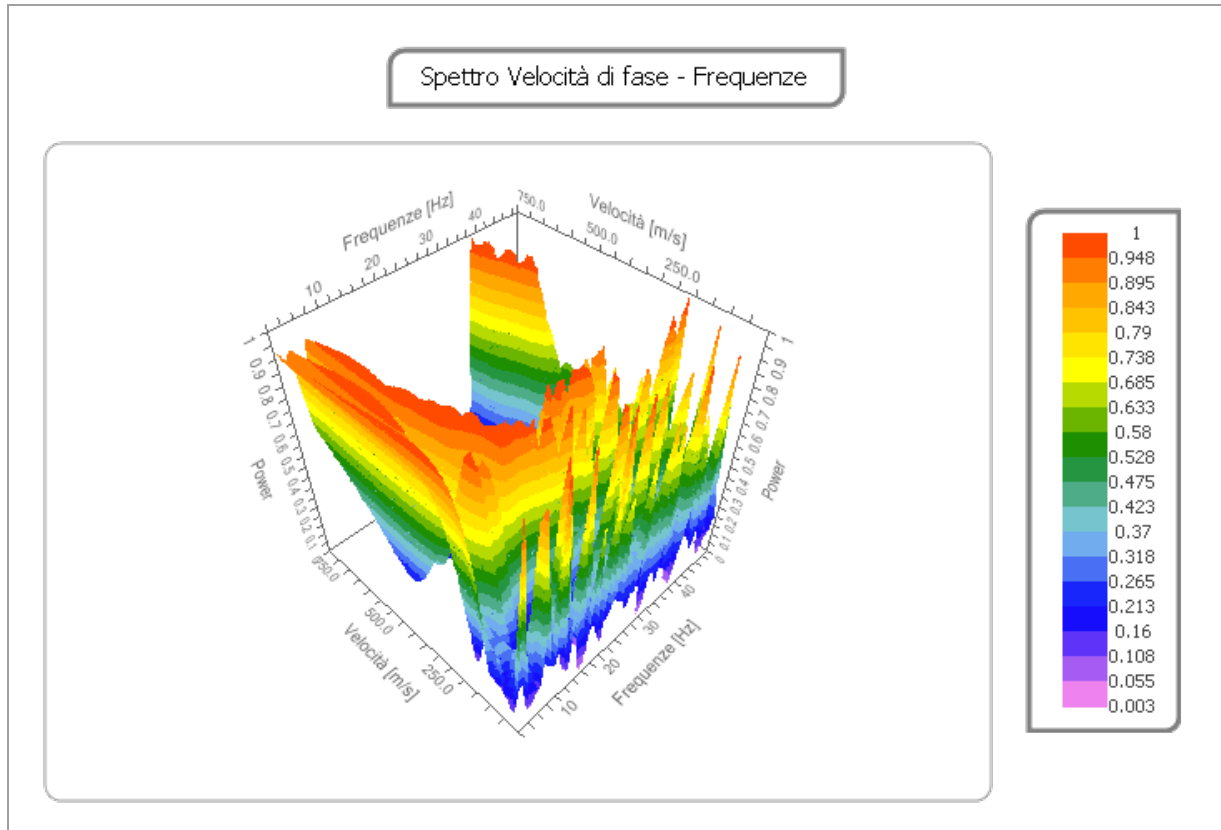


Figura 17 – Analisi spettrale

Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/s]	Modo
1	3.7	330.7	0
2	7.7	270.5	0
3	9.7	232.5	0
4	12.0	200.8	0
5	14.1	181.7	0
6	16.3	162.7	0
7	19.2	153.2	0
8	21.6	143.7	0
9	23.5	146.8	0
10	26.5	143.7	0
11	28.4	143.7	0
12	29.7	150.0	0
13	31.8	140.5	0
14	34.4	146.8	0
15	36.7	146.8	0
16	39.3	150.0	0
17	42.2	150.0	0

Tabella 2: Parametri della curva di dispersione

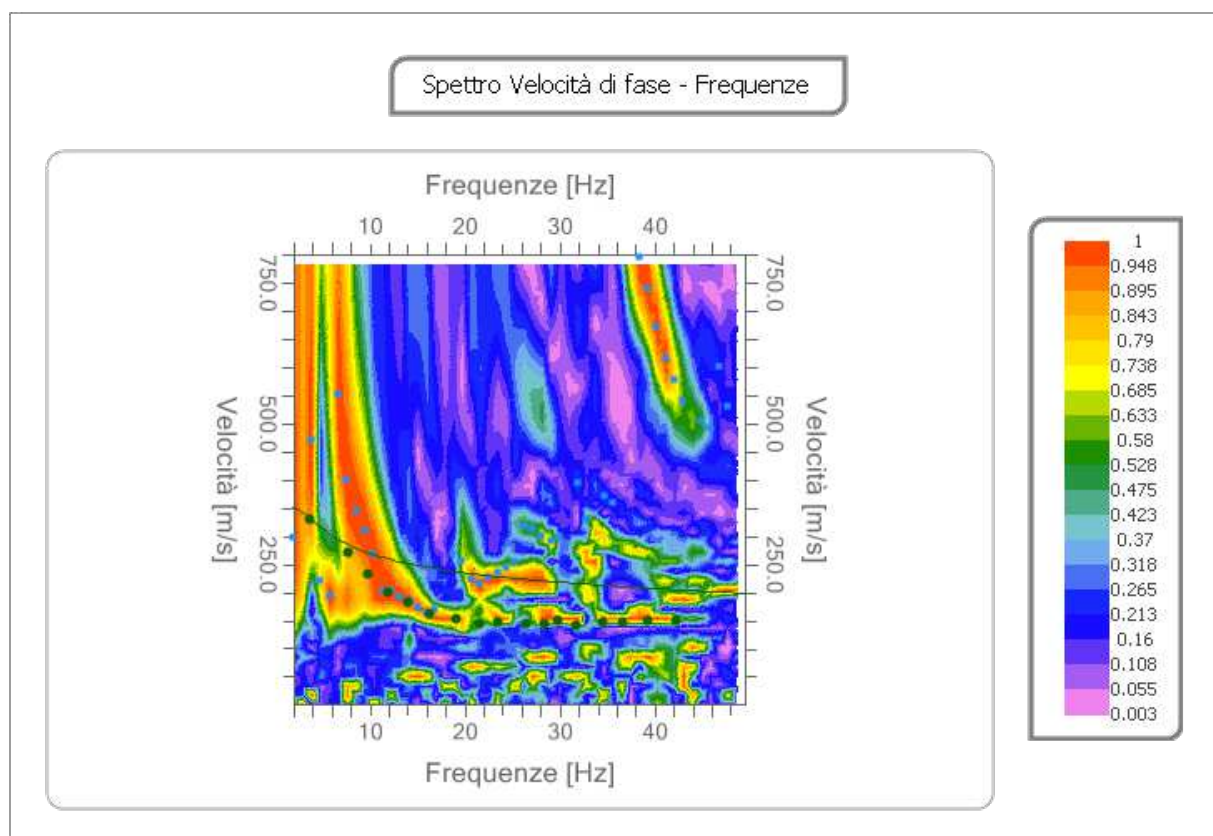


Figura 18 – Curva di dispersione stendimento masw 1

Inversione

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/m ³]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/s]	Vs [m/s]
1	4.00	4.00	1800.0	0.3	No	288.0	153.9
2	6.61	2.61	1800.0	0.3	Si	373.8	199.8
3	12.12	5.51	1800.0	0.3	Si	549.8	293.9
4	22.29	10.17	1800.0	0.3	Si	668.8	357.5
5	∞	∞	1900.0	0.3	Si	742.3	396.8

Percentuale di errore

0.046 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.025

Tabella 3: Valori dell'inversione

Inversione

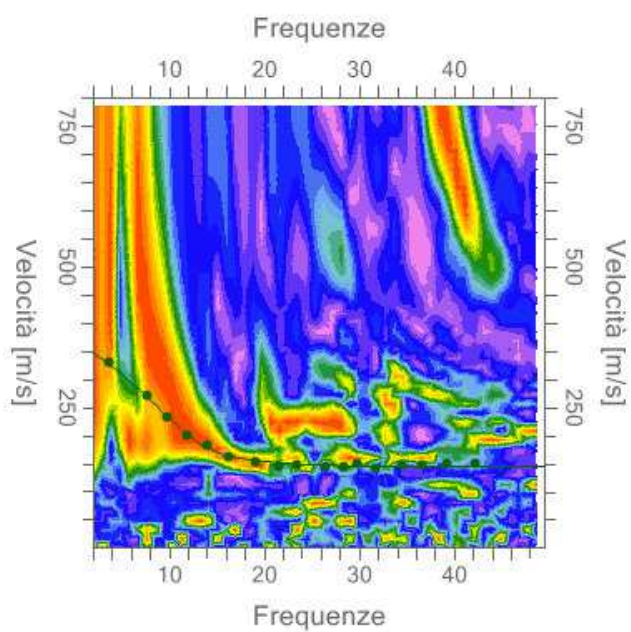


Figura 19 – Inversione

Profilo di velocità

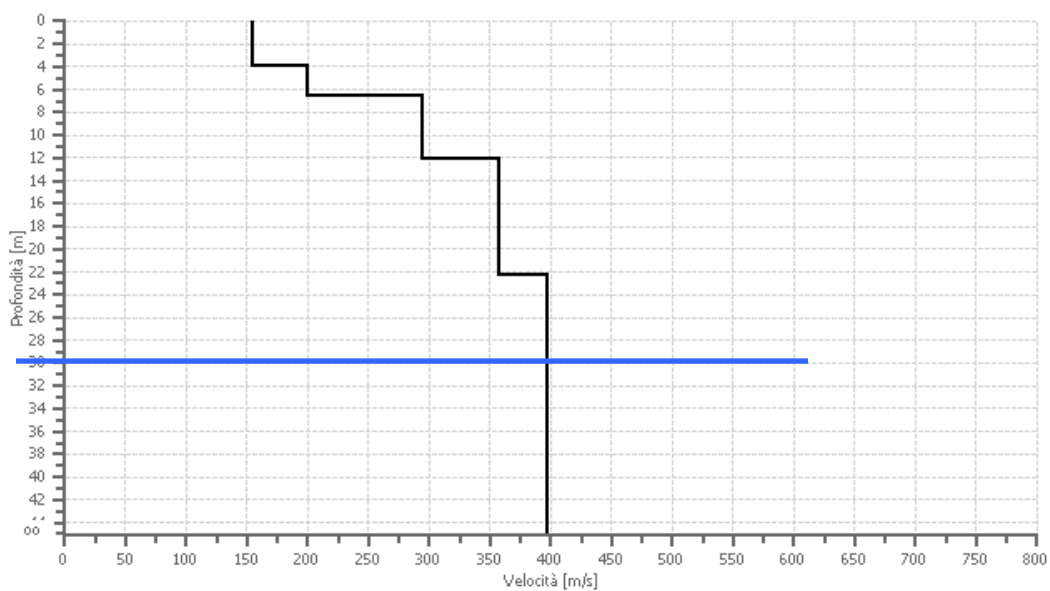


Figura 20 – Modello risultante dall'inversione dei dati

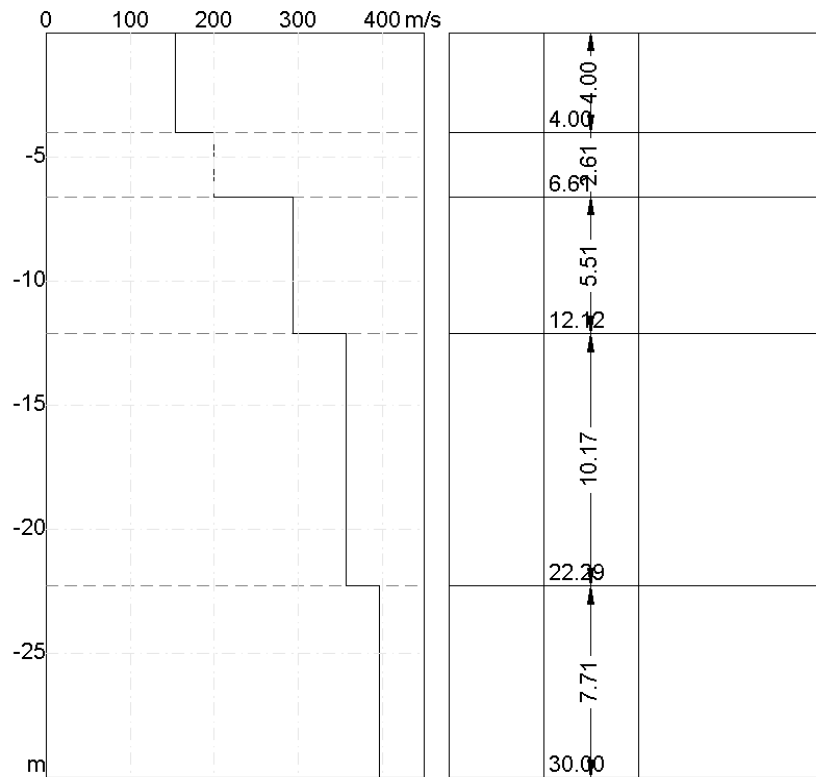


Figura 21 – Sismostratigrafia

3.1.2 Altri parametri

I valori delle V_s sono stati ricavati dall'indagine sismica di tipo MASW, consentendo, tramite formule empiriche, di eseguire una prima stima dei principali parametri elastici dei terreni investigati, con:

- G_0 : Modulo di deformazione al taglio;
- E_d : Modulo edometrico;
- M_0 : Modulo di compressibilità volumetrica;
- E_y : Modulo di Young;

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	V_s [m/s]	V_p [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G_0 [MPa]	E_d [MPa]	M_0 [MPa]	E_y [MPa]
1	4.00	4.00	153.94	288.00	1700.00	0.30	40.29	141.01	87.29	104.75
2	6.61	2.61	199.81	373.82	1900.00	0.30	75.86	265.51	164.36	197.23
3	12.12	5.51	293.87	549.78	1900.00	0.30	164.08	574.29	355.51	426.62
4	22.29	10.17	357.47	668.77	1900.00	0.30	242.80	849.78	526.06	631.27
5	∞	∞	396.78	742.31	2000.00	0.30	314.87	1102.05	682.22	818.67

Tabella 4: Schema riassuntivo parametri estrapolati dalla MASW

3.1.3 Analisi dei risultati – MASW2

Analogamente alla MASW 1, è stato predisposto un secondo stendimento sismico lineare, con le seguenti caratteristiche:

S 1 - lunghezza pari a **55 m** con 12 geofoni a distanza intergeofonica di 5,0 m, punto di energizzazione dal primo ed ultimo geofono pari a 5 e 10 m;

Il profilo M.A.S.W., sulla base dei modelli medi, indicava una V_{s30} pari a **349.08 m/s**.

Ai fini della definizione delle azioni sismiche secondo le nuove “Norme Tecniche per il progetto sismico di opere di fondazione e di sostegno dei terreni” il profilo stratigrafico dei terreni coinvolti nel progetto permette di classificare il sito come:

- **suolo tipo “C”** - “Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine 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 ($V_{s,eq}$) compresi tra 180 m/s e 360 m/s.”

Si riporta di seguito, il profilo con le velocità V_{s24} relative allo stendimento:

STENDIMENTO 1

Tracce

N. tracce	12
Durata acquisizione [msec]	1000.0
Interdistanza geofoni [m]	5.0
Periodo di campionamento [msec]	0.131

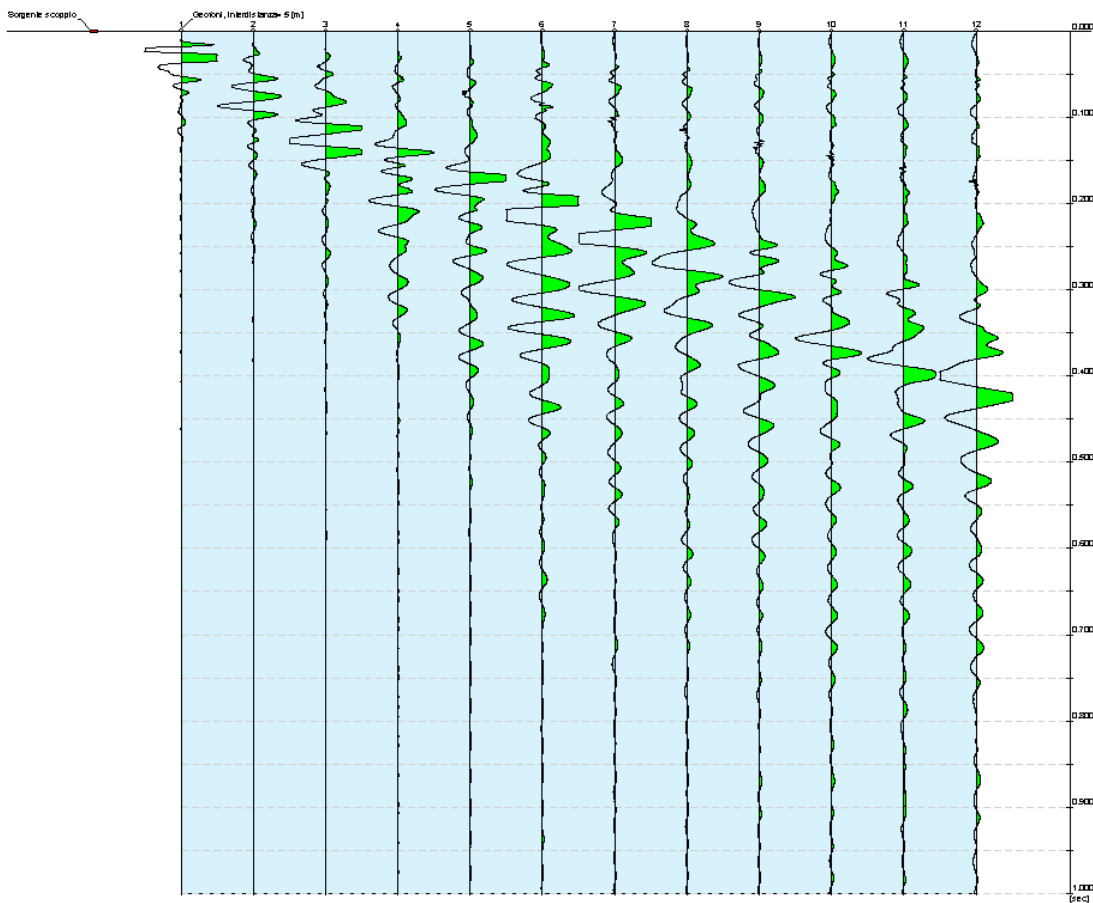


Figura 22 – Sismogramma stendimento MASW 1

Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	2
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	60
Velocità minima di elaborazione [m/s]	1
Velocità massima di elaborazione [m/s]	1000
Intervallo velocità [m/s]	1

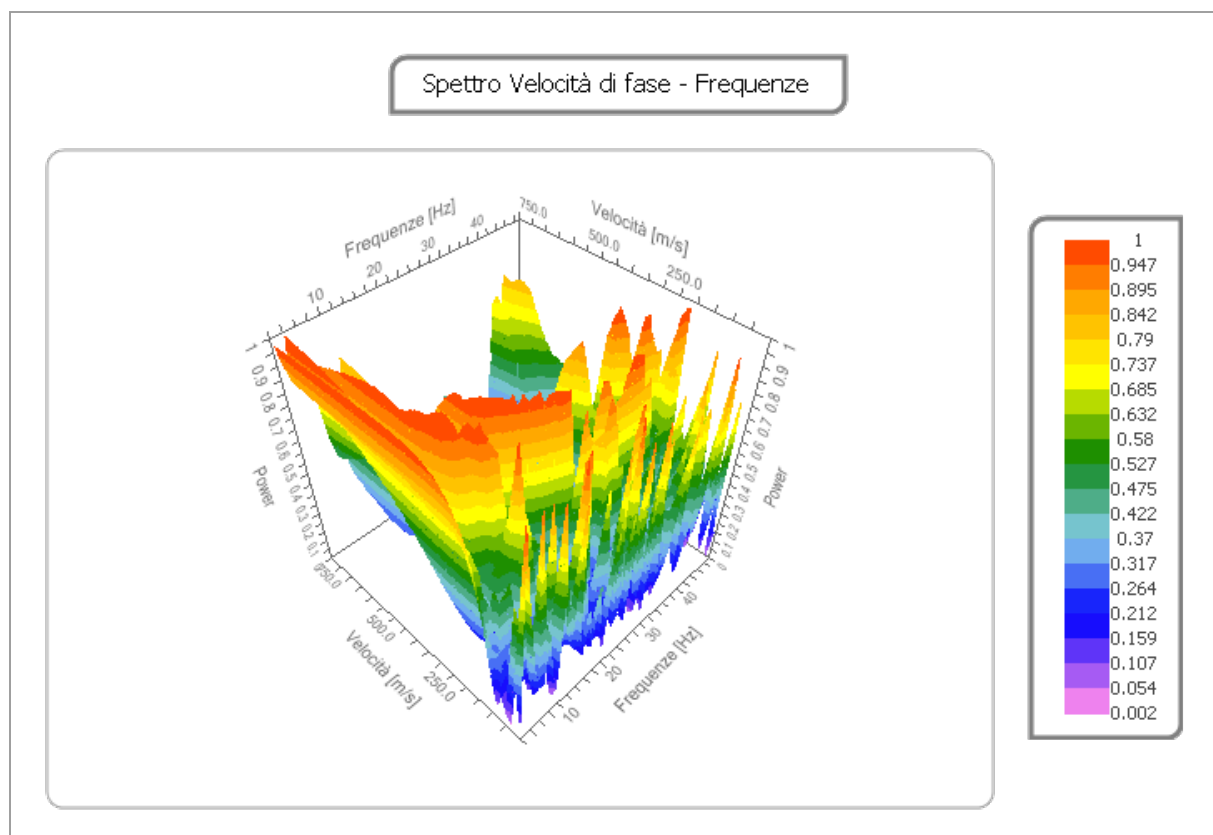


Figura 23 – Analisi spettrale

Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	5.1	401.5	0
2	7.4	355.8	0
3	9.8	312.1	0
4	12.1	279.0	0
5	14.4	258.6	0
6	17.1	238.8	0
7	19.3	226.1	0
8	21.6	219.8	0
9	23.9	210.3	0
10	26.3	197.6	0
11	28.4	194.4	0
12	30.9	188.1	0
13	33.3	181.7	0
14	35.6	175.4	0
15	37.8	169.0	0
16	40.7	175.4	0
17	43.1	175.4	0

Tabella 5: Parametri della curva di dispersione

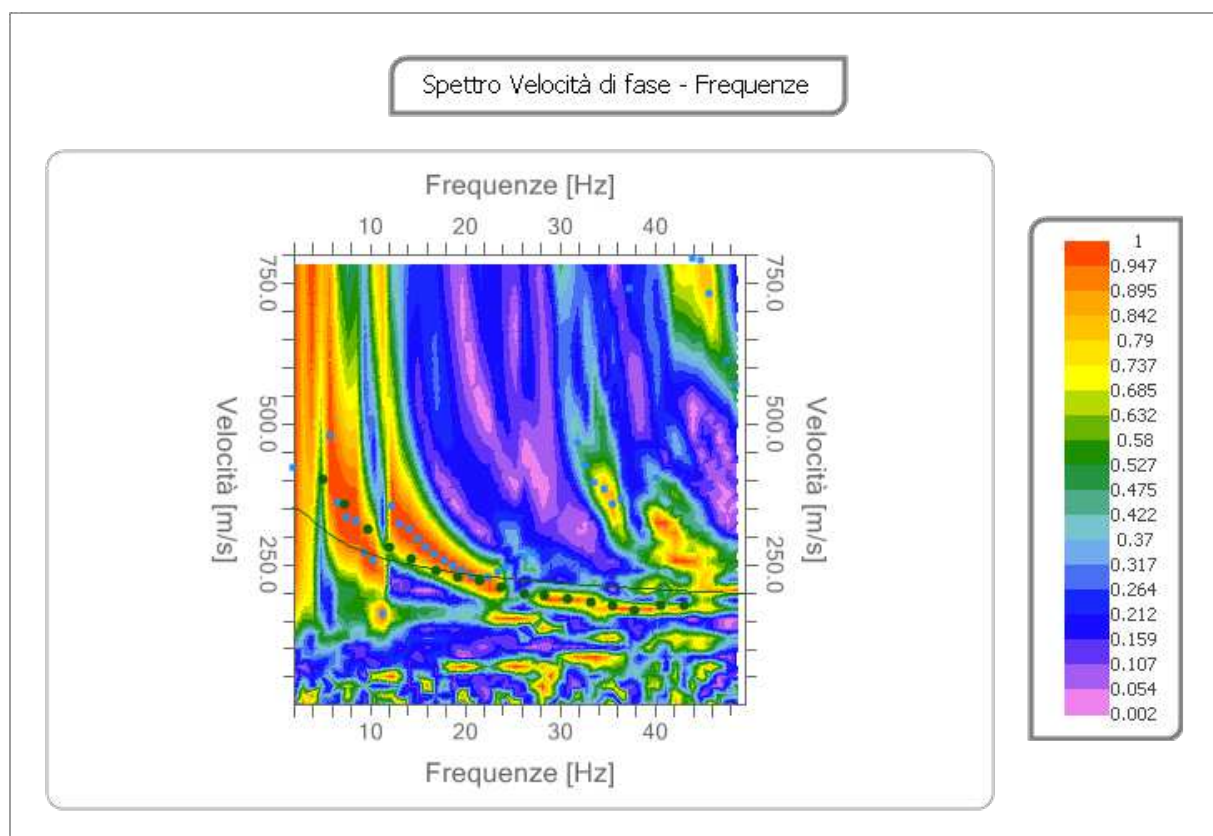


Figura 24 – Curva di dispersione stendimento masw 1

Inversione

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/m ³]	Coefficiente Poisson	Falda	V _p [m/s]	V _s [m/s]
1	2.94	2.94	1800.0	0.3	No	337.1	180.2
2	8.00	5.06	1800.0	0.3	Si	520.9	278.4
3	13.42	5.42	1800.0	0.3	Si	627.3	335.3
4	24.85	11.44	1800.0	0.3	Si	860.0	459.7
5	∞	∞	1900.0	0.3	Si	924.3	494.0

Percentuale di errore 0.012 %

Fattore di disadattamento della soluzione 0.014

Tabella 6: Valori dell'inversione

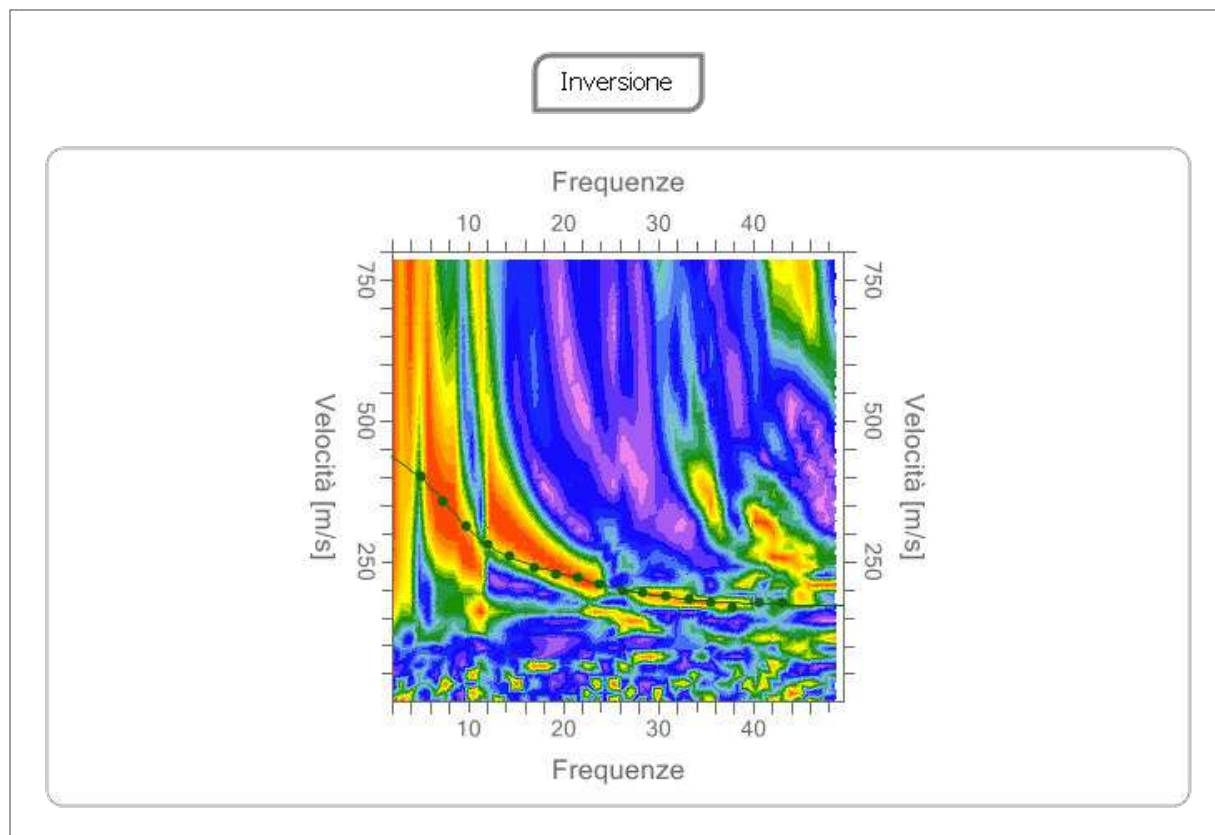


Figura 25 – Inversione

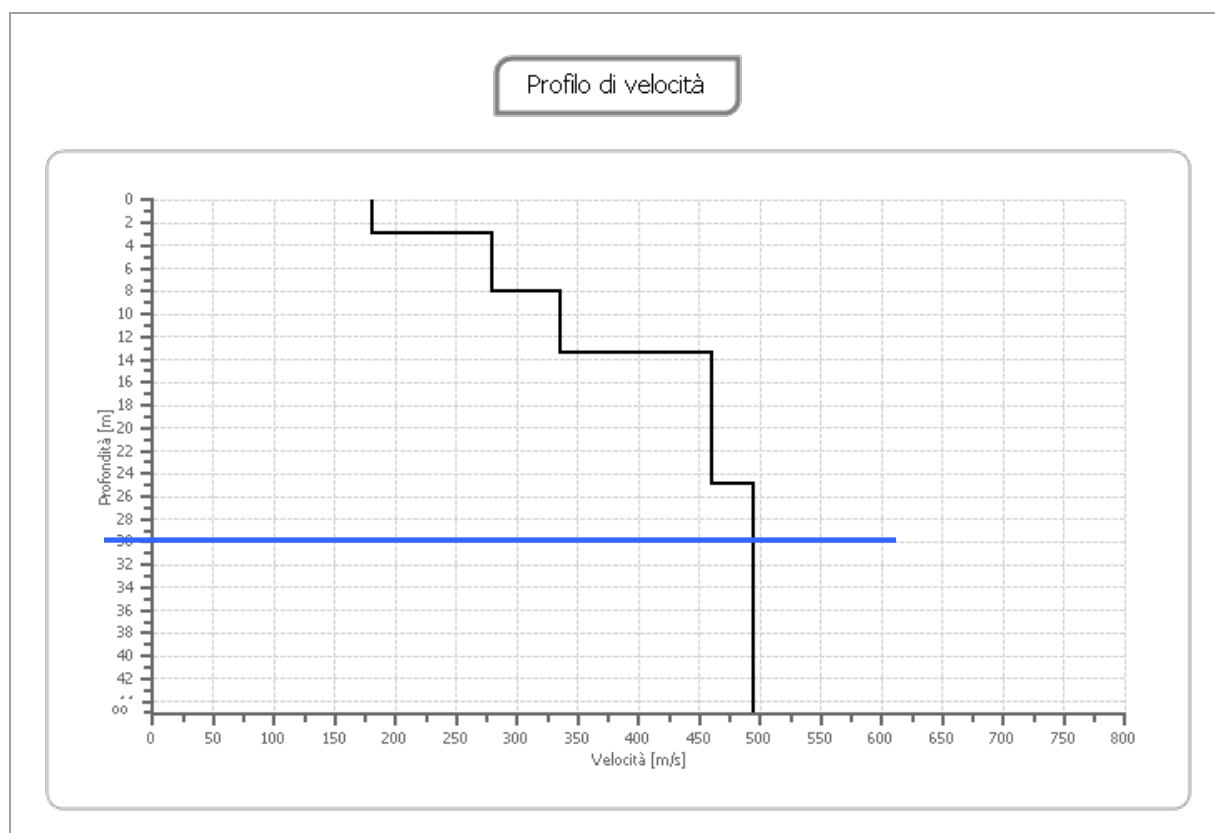


Figura 26 – Modello risultante dall'inversione dei dati

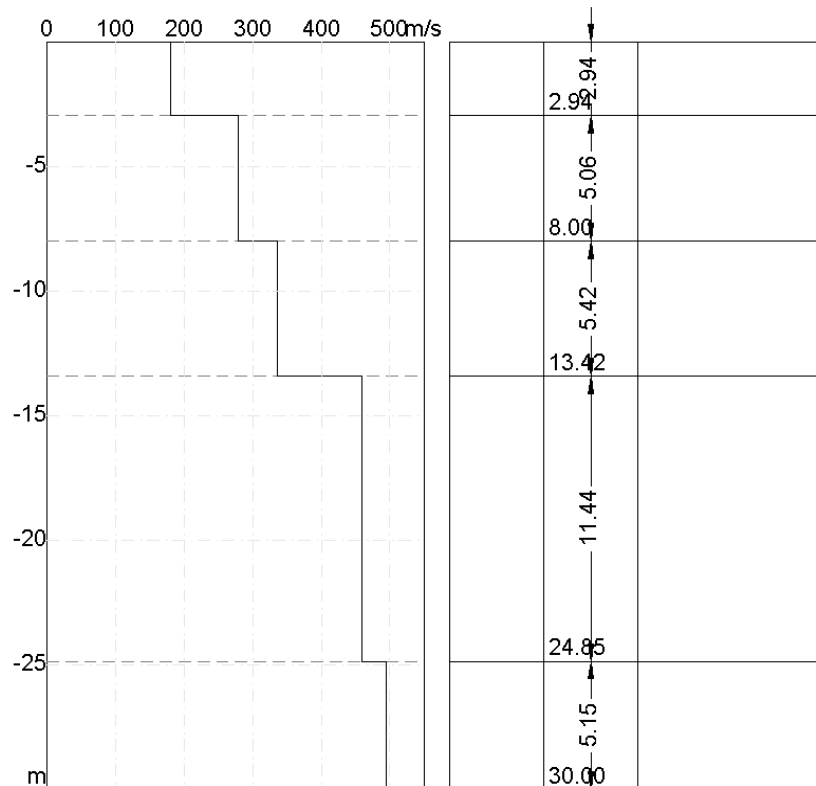


Figura 27 – Sismostratigrafia

3.1.4 Altri parametri

I valori delle V_s sono stati ricavati dall'indagine sismica di tipo MASW, consentendo, tramite formule empiriche, di eseguire una prima stima dei principali parametri elastici dei terreni investigati, con:

- G_0 : Modulo di deformazione al taglio;
- E_d : Modulo edometrico;
- M_0 : Modulo di compressibilità volumetrica;
- E_y : Modulo di Young;

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	V_s [m/s]	V_p [m/s]	Densità [kg/m ³]	Coefficiente Poisson	G_0 [MPa]	E_d [MPa]	M_0 [MPa]	E_y [MPa]
1	2.94	2.94	180.17	337.06	1700.00	0.30	55.18	193.13	119.56	143.47
2	8.00	5.06	278.45	520.93	1900.00	0.30	147.31	515.59	319.17	383.01
3	13.42	5.42	335.29	627.27	1900.00	0.30	213.60	747.58	462.79	555.35
4	24.85	11.44	459.70	860.01	1900.00	0.30	401.51	1405.28	869.94	1043.93
5	∞	∞	494.04	924.26	2000.00	0.30	488.14	1708.50	1057.64	1269.17

Tabella 7: Schema riassuntivo parametri estrapolati dalla MASW

3.1.5 Parametri sismici – suolo C

Da un punto di vista topografico, l'area ricade nella classe T1 (Tab. 3.2.III - NTC 2018).

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 $i > 30^\circ$

Tabella 8: - Caratteristiche della superficie topografica (Tab 3.2.III NTC 2018)

La vita nominale di progetto V_N di un'opera è convenzionalmente definita come il numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali. Nel nostro caso la vita nominale V_N è posta pari a 50 anni (costruzioni con livelli di prestazioni ordinari).

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

Tabella 9: - Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni (Tab. 2.4I NTC 2018)

Alla luce di quanto esposto in precedenza, gli elementi fondamentali dell'area di interesse ed i parametri sismici del sito in esame sono:

SITO IN ESAME	VALORE
latitudine:	44,852543
longitudine:	10,902856
Vita nominale:	100
Classe d'uso dell'edificio:	IV
PARAMETRI SISMICI	VALORE
Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T1
Coefficiente c_u :	2.0

Tabella 10: - Dati del sito di riferimento

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

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

Tabella 11: - Valori del coefficiente d'uso C_U (Tab. 2.4.II NTC 2018)

Tipo di costruzione	Classe d'uso	Coefficiente d'uso (C _U)	V _N	V _R
2	IV	2.0	100 anni	200 anni

Tabella 12: - Determinazione del periodo di riferimento

Per calcolare il valore di A_{max} (accelerazione massima) occorre moltiplicare il valore di a_g per i coefficienti di amplificazione sismica (S) secondo la seguente relazione:

$$A_{max} = a_g \text{ (m/s}^2\text{)} * S$$

Poiché l'accelerazione massima deve essere fornita in m/s², dai valori nominali di a_g trovati in precedenza si determina il valore di accelerazione massima attesa al sito moltiplicando prima i valori di a_g per 9,81 m/s² e successivamente, per ottenere il valore finale di A_{max} relativo ad ogni stato limite, occorre moltiplicare a_g (m/s²) per i coefficienti di amplificazione sismica S, con S = S_s x S_t.

		a _g (accelerazione orizzontale massima)	a _g x g (m/s ²)	S (coefficiente di amplificazione sismica)	(a _g * S)g	a _g * g * S = A max (accelerazione massima)
		[g]	m/s ²			m/s ²
SLE	SLO	0,078	0,76	1,50	0,117	1,14
	SLD	0,100	0,98	1,50	0,15	1,47
SLU	SLV	0,259	2,54	1,32	0,34	3,35
	SLC	0,287	2,81	1,28	0,37	3,60

Tabella 13: - Determinazione dell'accelerazione massima per i diversi stati limite – suolo C

I coefficienti Kh (coefficiente sismico orizzontale riferito al sito) e Kv (coefficiente sismico verticale riferito al sito) hanno i seguenti valori:

		Kh	Kv
SLE	SLO	0,021	0,011
	SLD	0,027	0,013
SLU	SLV	0,106	0,053
	SLC	0,114	0,057

Tabella 14: - Valori del coefficiente sismico orizzontale (Kh) e verticale (Kv), riferiti al sito

SLE = stati limite di esercizio:

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

SLU= stati limite ultimi:

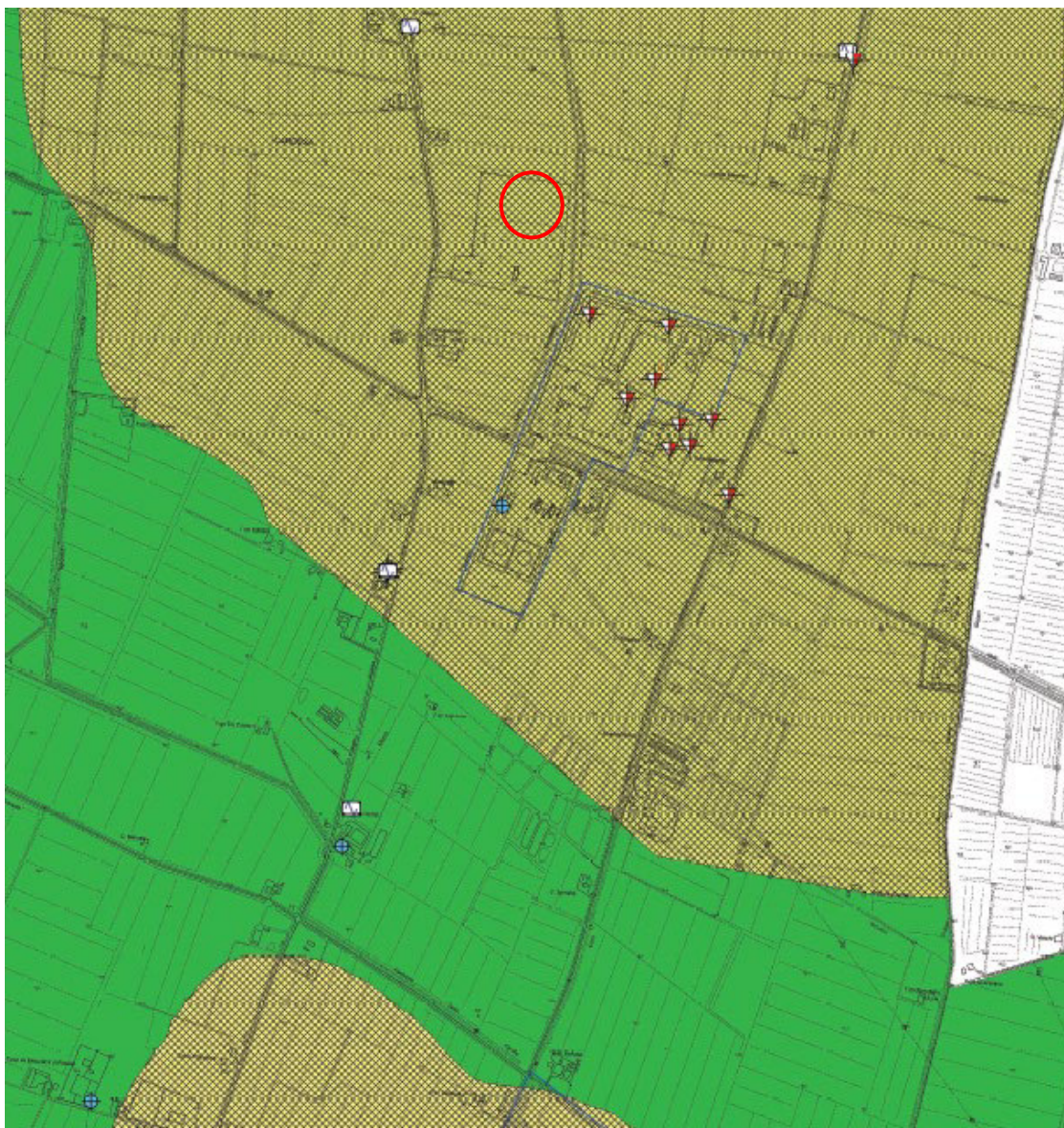
- **(SLV) Stato Limite di salvaguardia della Vita:** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali;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

4. ANALISI DELLA PERICOLOSITA' SISMICA DI I LIVELLO

In base allo stralcio cartografico di seguito riportato che riprende l'analisi della pericolosità sismica di I Livello, l'area di studio ricade in zone suscettibili di amplificazioni locali, nelle quali sono attese amplificazioni del moto sismico, come effetto dell'assetto litostratigrafico e morfologico locale; nelle zone con variazioni stratigrafiche laterali poco significative (zone di pianura, valli ampie) sono ritenuti sufficienti approfondimenti di secondo livello.

In particolare, dall'analisi della Carta delle macroaree del primo livello di approfondimento sismico l'area ricade nella Zona 5 dove troviamo argille e limi fino a 5-10 m di profondità. Sabbie prevalenti tra 5 e 20 m di profondità.

Dalla cartografia si apprende che l'area interessata dalla Zona 5 è suscettibile ad instabilità e potenzialmente presenta terreni predisponenti la liquefazione.



Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

- 2001 Zona 1 - Alterneze di strati di argille e argille limose con strati di limi, limi sabbiosi e sabbie limose (sedimenti di provenienza appenninica)
- 2002 Zona 2 - Argille e argille limose (con radi strati sabbiosi) sovrastate da un orizzonte superficiale limo-sabbioso
- 2003 Zona 3 - Argille e limi prevalenti (con radi strati sabbiosi) fino ad almeno 25-40 m di profondità, sovrastanti depositi sabbiosi
- 2004 Zona 4 - Peliti prevalenti (con radi strati sabbiosi) fino almeno 20-30 m di profondità
- 2005 Zona 5 - Argille e limi fino 5-10 m di profondità. Sabbie prevalenti tra 5-20 m di profondità
- 2006 Zona 6 - Alterneze tra strati metrici/plurimetrici sabbiosi e strati metrici/plurimetrici pellici

Zone suscettibili di instabilità

 Liquefazioni

Figura 28 – Carta delle macroaree del primo livello di approfondimento sismico

5. SECONDO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO

Come riportato sulla cartografia del comune di Carpi risulta necessario svolgere un'Analisi sismica di 2° Livello, in accordo con i contenuti del DGR 2193/2015-DGR 630/2019; tale norma specifica infatti che "...nelle aree pianeggianti e sub-pianeggianti, incluse le zone di fondovalle appenniniche, con stratificazione orizzontale e sub-orizzontale, e sui versanti stabili, compresi quelli con coperture di spessore circa costante e acclività $\leq 15^\circ$, vale a dire in tutte le zone non interessate da instabilità nelle quali il modello stratigrafico può essere assimilato ad un modello fisico monodimensionale, si ritiene sufficiente un'analisi semplificata (secondo livello di approfondimento), cioè l'analisi della pericolosità locale può essere basata, oltre che sull'acquisizione di dati geologici e geomorfologici più dettagliati di quelli rilevati nel primo livello, su prove geofisiche e prove geotecniche in sito di tipo standard e l'amplificazione del moto sismico può essere stimata attraverso abachi e formule...".

La DGR 630/2019 illustra le finalità del secondo livello di approfondimento, che sono di seguito riportate:

- la conferma delle condizioni di pericolosità indicate dal precedente livello di approfondimento ed eventuale nuova perimetrazione delle aree in cui effettuare la microzonazione sismica;
- la suddivisione dettagliata del territorio, in base all'amplificazione attesa, in aree a maggiore e minore pericolosità sismica;
- la conferma o migliore definizione delle aree, indicate dal livello di approfondimento precedente, in cui si ritengono necessari approfondimenti di terzo livello e indicazione delle indagini e analisi da effettuare.

5.1 Amplificazione stratigrafica

Per calcolare i Fattori di Amplificazione (FA) richiesti nell'analisi semplificata è stata eseguita un'apposita indagine geofisica che ha consentito di definire lo spessore del deposito di copertura o profondità del substrato rigido (H) e della velocità equivalente delle onde di taglio per lo spessore considerato (V_sH e V_s30) del deposito di copertura.

Pertanto, per quanto riguarda le amplificazioni litostratigrafiche e quindi per il calcolo dei coefficienti di amplificazione FPGA, FH01-05, FH05-10, ed in base alle risultanze dell'indagine sismica eseguita che ha permesso di appurare che, per almeno nei primi 30 m di terreno, non vi sia la presenza di un bedrock sismico. Per l'indagine sono stati usati gli abachi proposti dalla regione Emilia-Romagna nella DGR 630/19.

Tale procedura permette attraverso l'impiego di apposite tabelle, la valutazione dei fattori di amplificazione in funzione del valore di V_s30 misurato nel sito oggetto di studio. La costruzione delle suddette tabelle è stata implementata utilizzando i dati geofisici e geotecnici disponibili nella Banca dati Regionale. Sono stati individuati per ogni ambiente e relativa tipologia, i profili medi di velocità (V_s) e la loro variabilità, tutti i profili di V_s relativi alle varie tipologie geolitologiche che sono stati analizzati si congiungono in profondità con il profilo del suolo A. La stima dell'amplificazione in aree di pianura prevede l'uso di tabelle diverse a seconda della stratigrafia e della profondità del bedrock (maggiore o minore di 100 m), che forniscono valori in termini di PGA (FAPGA), in termini di Intensità di Housner per intervalli di periodo T compresi tra SI1 0,1 s \div 0,5 s (FA0,1-0,5S), SI2 tra 0,5 \div 1 s (FA0,5-1S) e SI3 tra 0,5 \div 1,5 s (FA0,5-1,5S) e in termini di intensità spettrale in accelerazione SA per intervalli di periodo compresi tra: SA1 (0,1s \leq T \leq 0,5s), SA2 (0,4s \leq T \leq 0,8s), SA3 (0,7s \leq T \leq 1,1s) e SA4 (0,5s \leq T \leq 1,5s). La finalità dell'utilizzo di tali tabelle rientra nell'ambito della pianificazione territoriale e urbanistica; pertanto, considerano come pericolosità sismica di riferimento quella relativa al periodo di ritorno di 475 anni (SLV corrispondente ad una CU 2). I Fattori di Amplificazione (F.A.) sono riferiti al Suolo A (Tabella 3.2.II - Decreto 17 gennaio 2017) come previsto dall' Eurocodice 8, parte 1, e dallo stesso D.M. 17/01/2018 e distinti in base agli ambiti territoriali.

Per le aree di pianura si distinguono tre ambiti:

Pianura 1: settore di pianura con sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, caratterizzato dalla presenza di una importante discontinuità stratigrafica responsabile di un contrasto di impedenza significativo, tale da essere considerato coincidente con il tetto del substrato rigido, a profondità ≤ 100 m da p.c.;

Pianura 2: settore di pianura con sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, caratterizzato dalla presenza di una importante discontinuità stratigrafica responsabile di un significativo contrasto di impedenza a circa 100 m da p.c. e dal tetto del substrato rigido a circa 150 m da p.c.;

Pianura 3: settore di pianura caratterizzato da elevati spessori di sedimenti prevalentemente fini e poco consolidati, alternanze di limi, argille e sabbie di ambiente alluvionale e transizionale, con substrato rigido a profondità non inferiori a 300 m da pc.

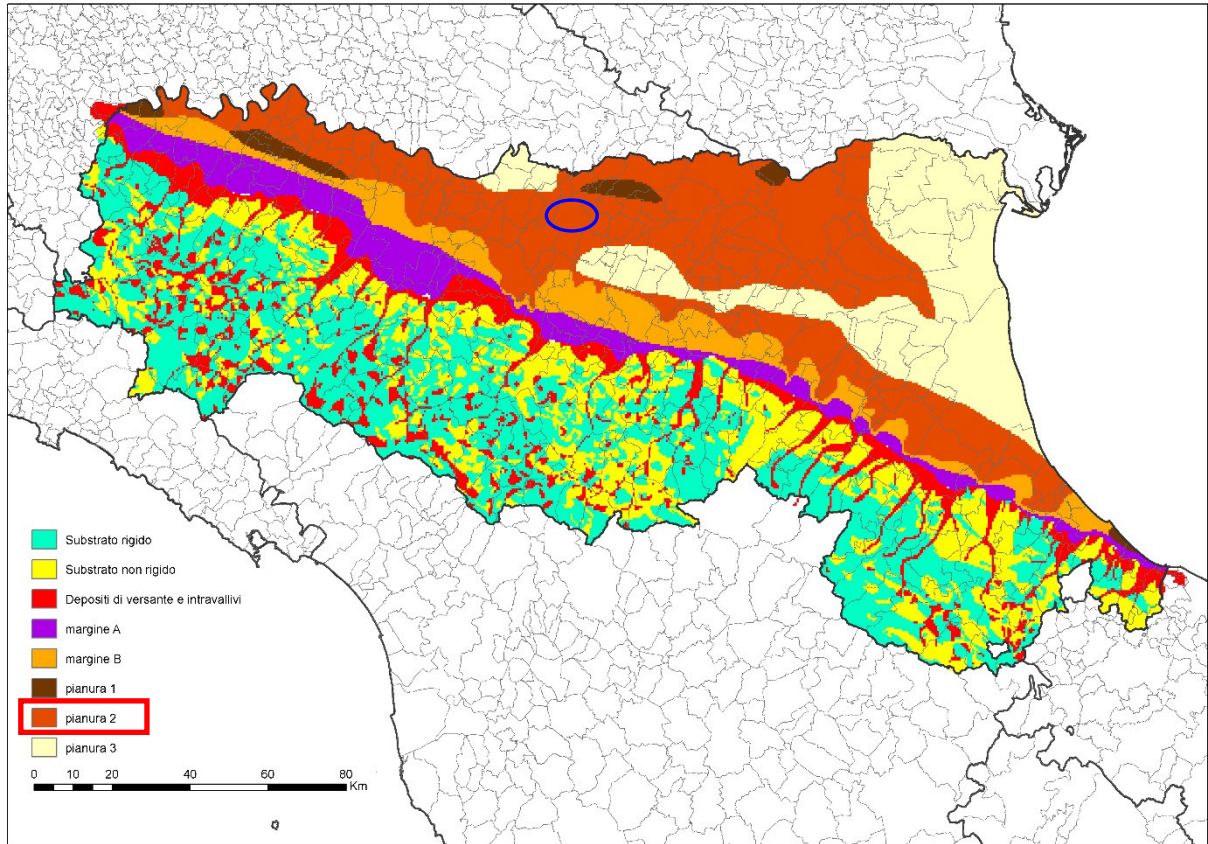


Figura 29 – Mappa di macrozonazione sismica ambienti geomorfologici regione Emilia-Romagna

In riferimento alla mappa della macrozonazione sismica della regione Emilia l'area in esame ricade nella zona: PIANURA 2: settore di pianura con sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, caratterizzato dalla presenza di una importante discontinuità stratigrafica responsabile di un significativo contrasto di impedenza a circa 100 m da p.c. e dal tetto del substrato rigido a circa 150 m da p.c.

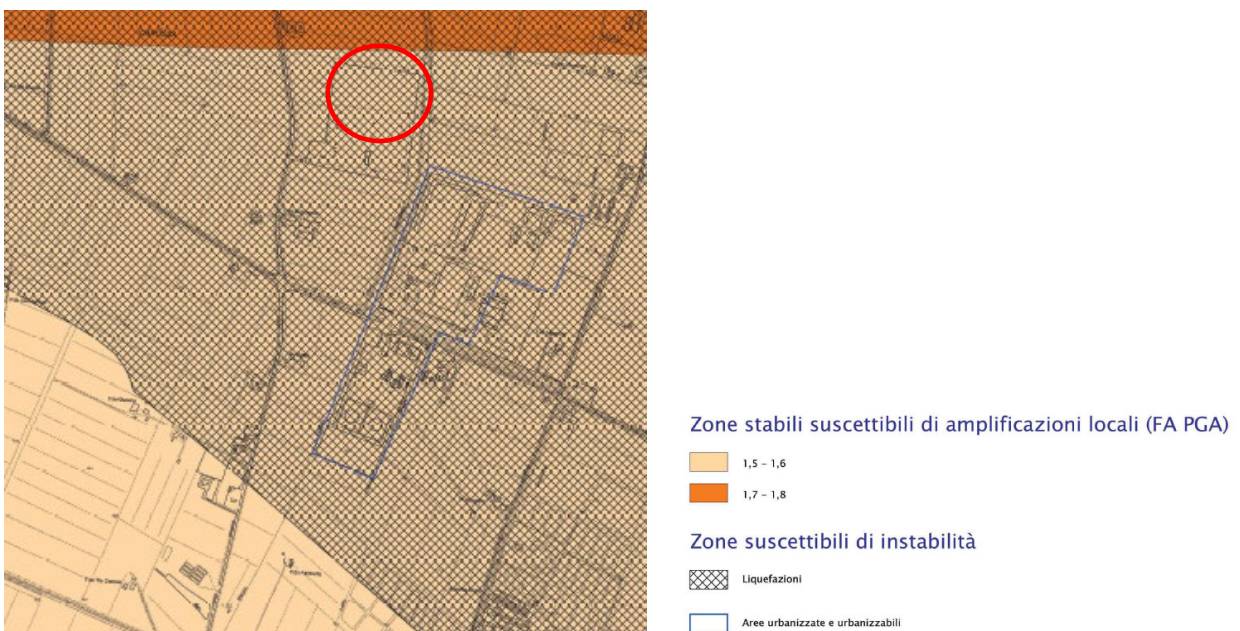
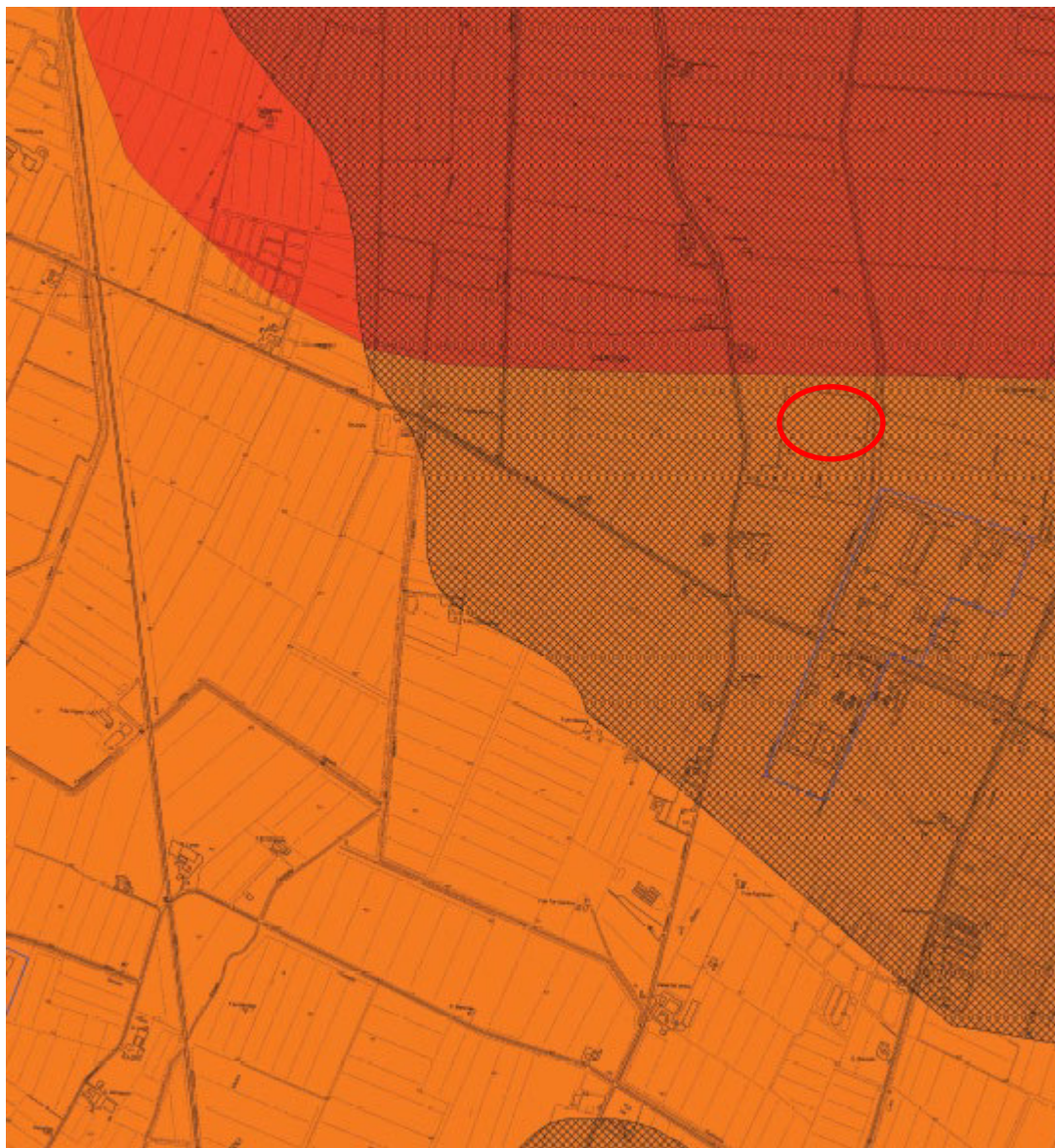


Figura 30 – Stralcio della Carta di Microzonazione sismica di Il Livello

Dalla cartografia emerge come il valore di FPGA riferita al sito in esame è compreso tra 1,5 e 1,6 e solo nel margine superiore sconfinava in valori compresi tra 1,7 e 1,8.



Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (FA SI 0.1 – 0.5 s)



Zone suscettibili di instabilità

Figura 31 – Stralcio della Carta di Microzonazione sismica di Il Livello con Fa compresa tra 01-0.5 s

Dalla cartografia emerge come il valore di FA riferita al sito in esame è compreso tra 1,7 e 1,8 e nella sua parte più settentrionale, il valore di FA è compreso tra 1,9 e 2,0.



Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (FA SI 0.5 – 1 s)

 > 2,5

Zone suscettibili di instabilità

 Liquefazioni

Figura 32 – Stralcio della Carta di Microzonazione sismica di II Livello con Fa compresa tra 0,5-1,0 s

Dalla cartografia emerge come il valore di Fa compresa tra 0,5-1,0 s riferita al sito in esame è maggiore ovunque a 2,5.

Si riporta di seguito una stima dell'amplificazione tramite procedure semplificate (utilizzo di tabelle e formule) è possibile laddove l'assetto geologico è assimilabile ad un modello fisico monodimensionale. L'amplificazione sarà quantificata in termini di PGA, SA1, SA2, SA3, SA4, SI1, SI2 e SI3 che esprimono l'amplificazione per motivi stratigrafici. Tali coefficienti di amplificazione vengono stimati impiegando le seguenti tabelle e le formule dell'Allegato A2 (punti A2.1 e A2.2) che permettono di calcolare i fattori di amplificazione sismica rispetto ad un suolo di riferimento.

Per utilizzare l'abaco è stata fatta una media delle Vs delle due MASW eseguite (316 m/s) e si è pertanto utilizzato un valore pari a 300 m/s per la determinazione dei vari fattori.

Vs30 (m/s) →	150	200	250	300	350	400
PGA	1,7	1,7	1,7	1,6	1,5	1,5

Fattore di Amplificazione PGA

Vs30 (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SA1	1,8	1,8	1,8	1,7	1,6	1,5
SA2	2,7	2,7	2,4	2,1	1,9	1,8
SA3	3,3	3,2	2,8	2,5	2,3	2,1
SA4	3,3	3,1	2,7	2,4	2,1	1,9

Fattori di Amplificazione SA1 ($0,1s \leq T \leq 0,5s$), SA2 ($0,4s \leq T \leq 0,8s$), SA3 ($0,7s \leq T \leq 1,1s$), SA4 ($0,5s \leq T \leq 1,5s$)

Vs30 (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SI1	2,0	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6
SI2	3,1	3,0	2,7	2,4	2,1	2,0
SI3	3,6	3,3	2,9	2,5	2,2	2,0

Fattori di Amplificazione SI1 ($0,1s \leq T \leq 0,5s$), SI2 ($0,5s \leq T \leq 1,0s$), SI3 ($0,5s \leq T \leq 1,5s$)

Dove:

- H= spessore del deposito di copertura (a seguito dell'indagine effettuata H=30 m);
- VsH = velocità media equivalente delle onde di taglio per lo spessore considerato (a seguito delle due indagini effettuate VsH=316 m/s)

Il coefficiente di amplificazione è stato scelto in base alla Vsh o alla Vs30 e alla profondità del substrato e mappato sulle carte di microzonazione sismica.

Facendo riferimento alla tabella A.2.1.1., inerente la zona di Pianura Padana e costa Adriatica - Pianura 2, si ottengono i seguenti valori dei parametri:

	PERIODO	VALORE
Fattore Amplificazione P.G.A.		1.6
F.A SA1	0,1s < T0 < 0,5s	1.7
F.A SA2	0,4s < T0 < 0,8s	2.1
F.A SA3	0,7s < T0 < 1,1s	2.5
F.A SA4	0,5s < T0 < 1,5s	2.4
F.A. SI1	0,1s < T0 < 0,5s	1.8
F.A. SI2	0,5s < T0 < 1,0s	2.4
F.A. SI3	1,0s < T0 < 1,5s	2.5

5.2 Amplificazione topografica

L'area di intervento è caratterizzata dal punto di vista topografico da una zona pianeggiante; la DGR 630/2019 specifica che gli effetti topografici possono essere trascurati per pendii con inclinazione media inferiore a 15°. Sulla base di tale indicazione l'area rientra nella categoria T1 riportata nella tab. 3.2.V delle NTC 2018, a cui corrisponde un valore del coefficiente di amplificazione topografica ST pari a 1,0.

Tab. 3.2.V – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

6. FENOMENO DELLA LIQUEFAZIONE

La liquefazione di un terreno è rappresentata dal quasi totale annullamento della sua resistenza al taglio con l'assunzione del comportamento meccanico caratteristico dei liquidi. La predisposizione a tale fenomeno rappresenta un elemento da tenere in considerazione soprattutto in chiave di progettazione antisismica.

La liquefazione interessa soprattutto i depositi sabbiosi sciolti, posti sottofalda, che presentano le seguenti caratteristiche:

- Sabbie da fini a medie con contenuti in materiale fine variabile fra 0 e 25%;
- Grado di saturazione pari a 1 (terreni sottofalda);
- Da poco a mediamente addensati;
- Profondità del deposito entro i 15 m dal piano campagna.
- Valori di N_{spt} inferiori a 10 nei primi 10 m di profondità.

Il D.M. 17/01/18 e riporta le linee guida per valutare la suscettibilità alla liquefazione, in particolare la verifica è da omettere quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di $0,1g$;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc_{1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nelle figure sottostanti, nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

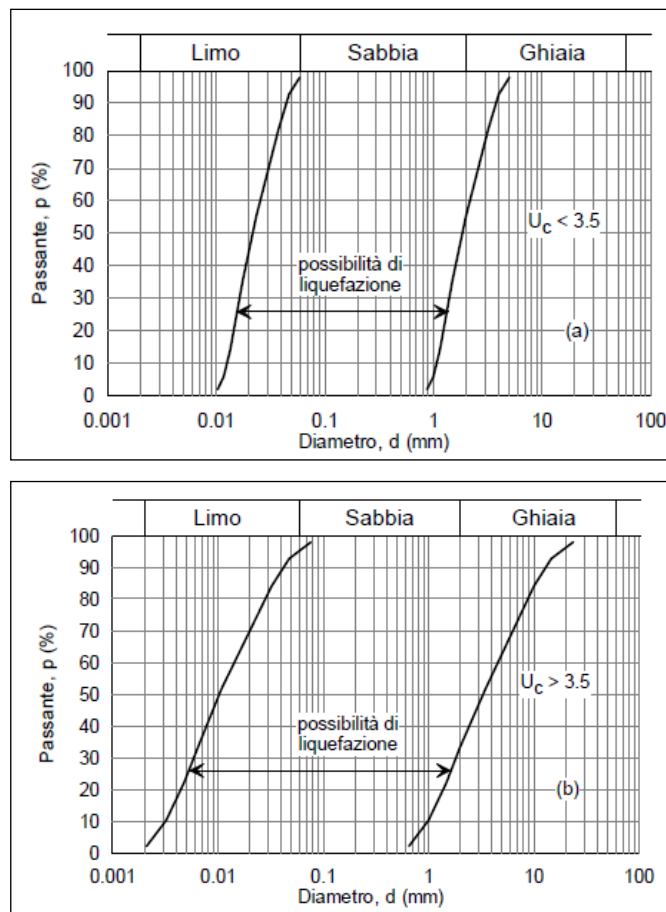


Figura 33 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione

6.1 Analisi del rischio alla liquefazione

Il metodo semplificato utilizzato per la stima della liquefazione è Robertson e Wride (1997), che per il calcolo del CRR si avvale delle prove CPT, in particolare in corrispondenza della prova Cpt 1 spinta alla prof. max di 15,00 m dal p.c.

Il territorio comunale di Carpi risulta ubicato nella macrozona emiliana denominata "Pianura 2" nella DGR Emilia-Romagna DGR 2193/2015-DGR 630/2019.

Come accelerazione massima al suolo (PGA) si sono utilizzate, per l'analisi del rischio alla liquefazione, le accelerazioni massime al bedrock definite dalla suddetta delibera per i singoli comuni, in funzione della Vs30 sito specifico.

Come magnitudo di riferimento si è adottata la Max (Massimo sisma credibile, principio di cautela) della zona sismogenetica ZS9 definita dall'INGV, all'interno della quale è ubicato il comune - zona sismogenetica ZS9: n. 912 "Dorsale Ferrarese"; magnitudo Mw 6.14.

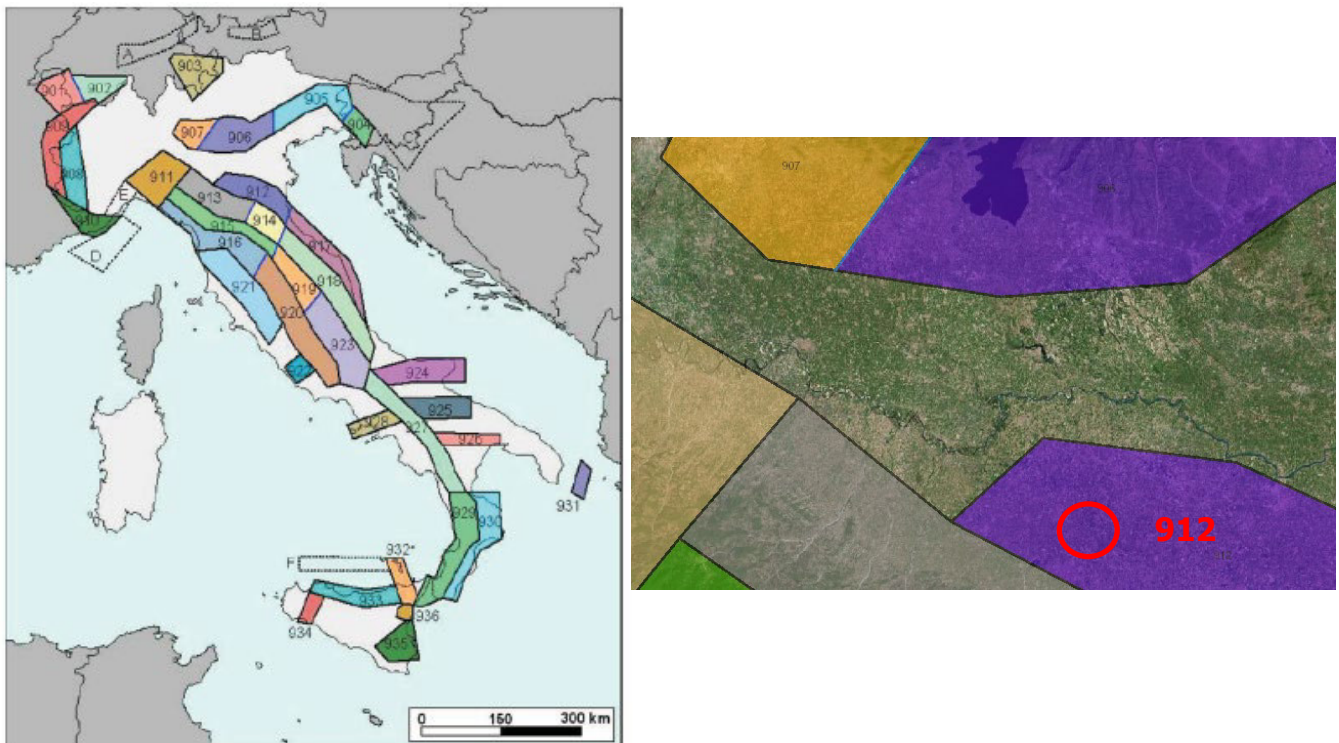


Figura 34 – Zone sismogenetiche d'Italia ed ubicazione del sito nella zona sismogenetica (in rosso)

Si riassumono di seguito i dati principali utilizzati nella verifica a liquefazione eseguita:

- Pianura 2; Valore V_{seq} -medio da MASW eseguite: 316 m/s; FA-PGA: 1.6; PGA free-field: 0.34 g; zona sismogenetica ZS9: n. 912 "Dorsale Ferrarese"; magnitudo Mw 6.14.

Si è adottato come soggiacenza della falda la quota di -1,00 m dal p.c.

I risultati indicano che, per quanto attiene la suscettibilità alla liquefazione, il terreno in esame è da classificare "NON LIQUEFACIBILE" con rischio di liquefazione "Da Nullo a Molto Basso".

Project title :

Location :

CPT file : Foglio2

Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	G.W.T. (in-situ):	1.00 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	NCEER (1998)	G.W.T. (earthq.):	1.00 m	Fill height:	N/A	applied:	Sands only
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	No
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	Limit depth:	N/A
Peak ground acceleration:	0.34	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_0 applied:	Yes	MSF method:	Method based

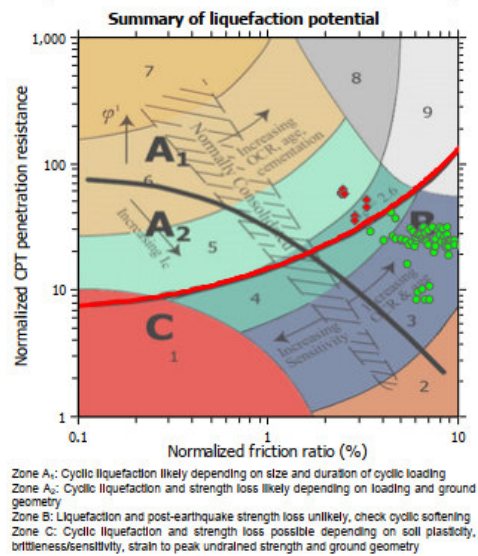
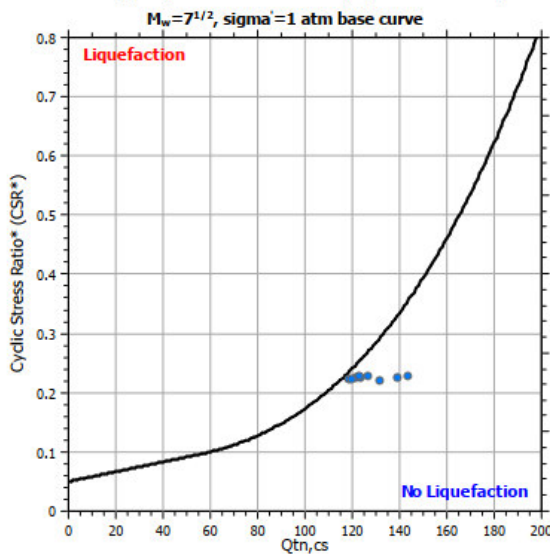
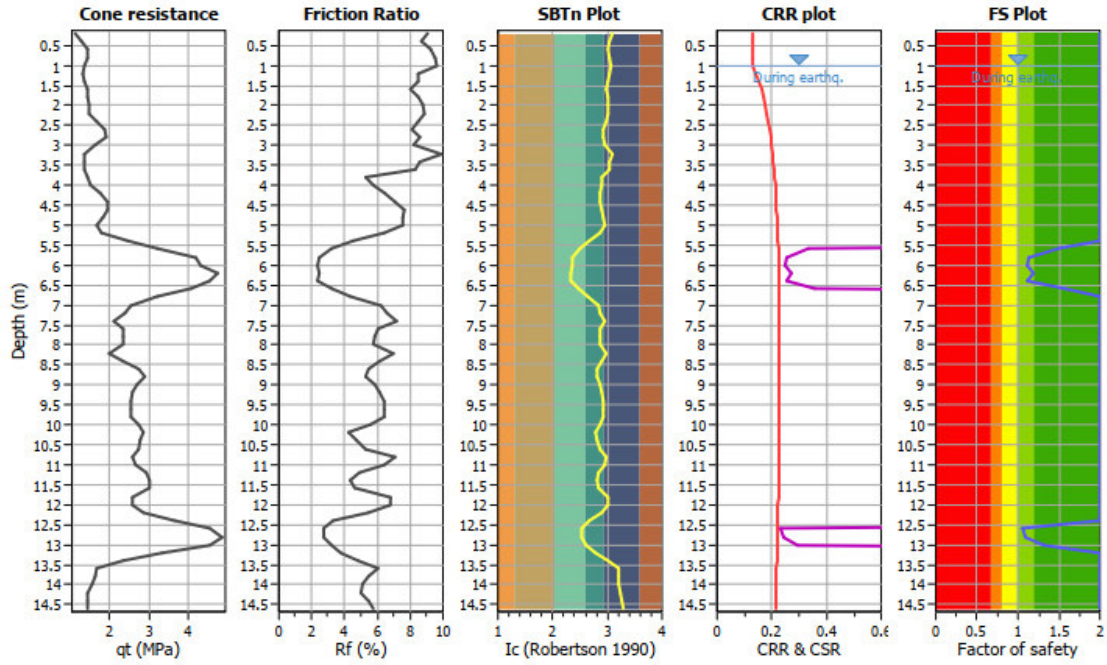
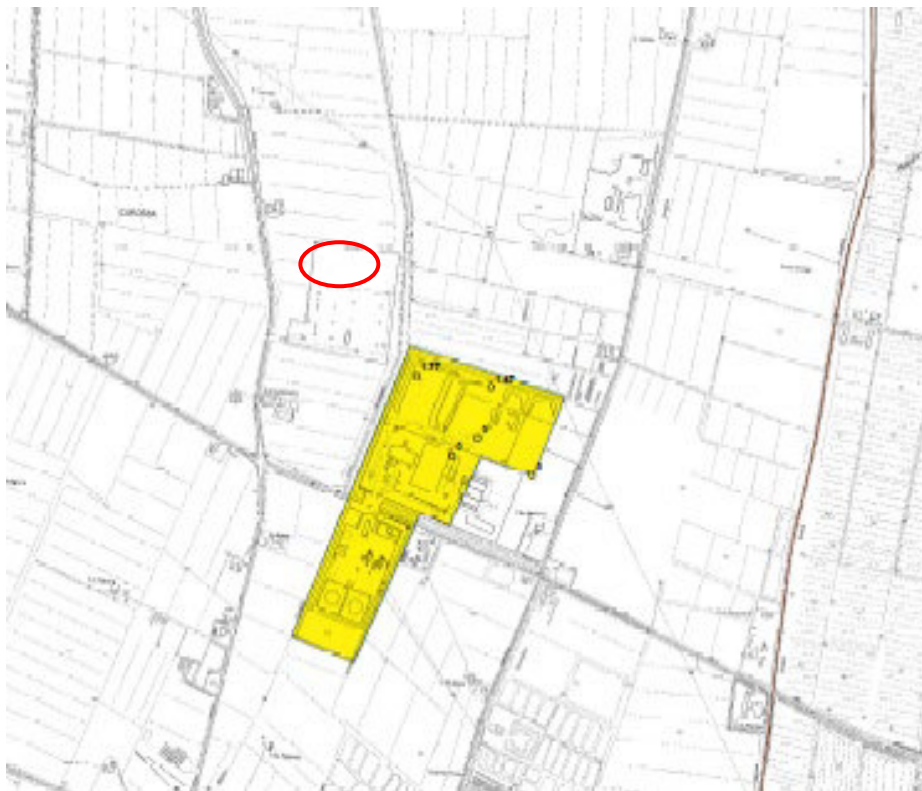





Figura 35 – Risultati dell'elaborazione a liquefazione

Tale indicazione è altresì confermata anche dalla carta di III Livello dove sono riportati gli indici del potenziale di liquefazione e cedimenti posti sismici significativi.

Dallo stralcio cartografico sotto riportato, riferito ad un'area limitrofa a quella di indagine, si evince come il rischio di liquefazione per l'area limitrofa in esame sia "basso".



Aree a uguale "rischio" di liquefazione

-  Rischio di liquefazione basso, $0 \leq \text{IPL} \leq 2$
-  Rischio di liquefazione moderato, $2 < \text{IPL} \leq 5$
-  Rischio di liquefazione alto, $\text{IPL} > 5$

Valore puntuale dell'indice del potenziale di liquefazione





-  Rischio di liquefazione basso, $0 \leq \text{IPL} \leq 2$
-  Rischio di liquefazione moderato, $2 < \text{IPL} \leq 5$
-  Rischio di liquefazione alto, $\text{IPL} > 5$
-  Rischio di cedimenti post-sismici significativi

Figura 36 – Carta di III Livello dove sono riportati gli indici del potenziale di liquefazione e cedimenti posti sismi significativi

7. INDAGINI GEOGNOSTICHE

Allo scopo di ottenere utili informazioni tecniche destinate ad una corretta interpretazione delle caratteristiche reologiche dei terreni di fondazione delle strutture in progetto, sono state prove penetrometriche pregresse.

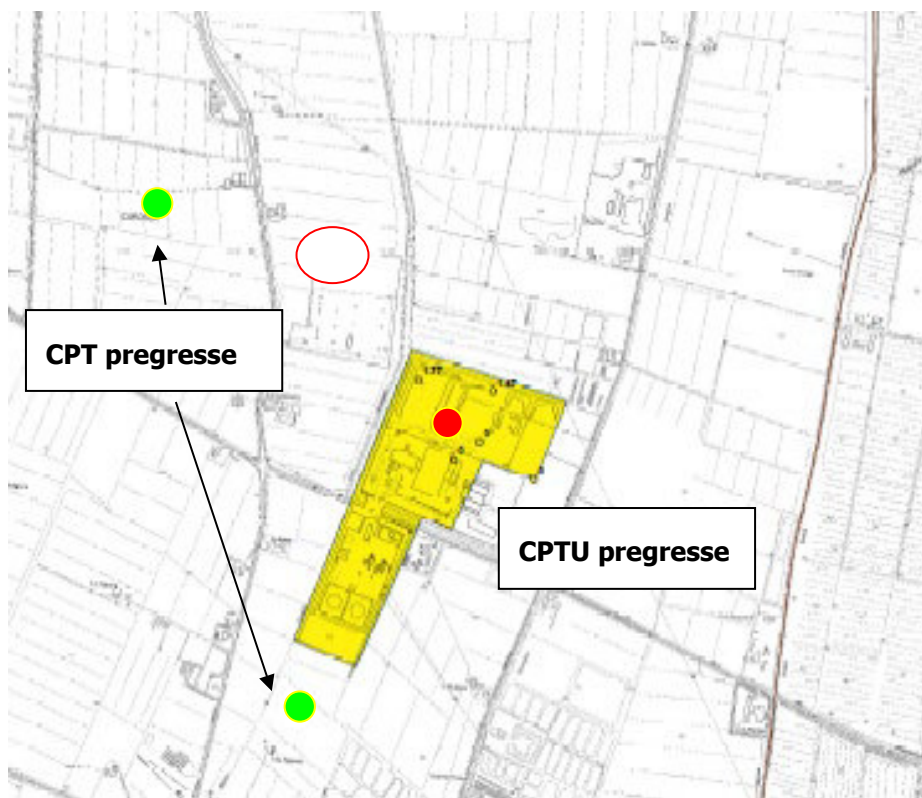


Figura 37 – Ubicazione delle prove consultate

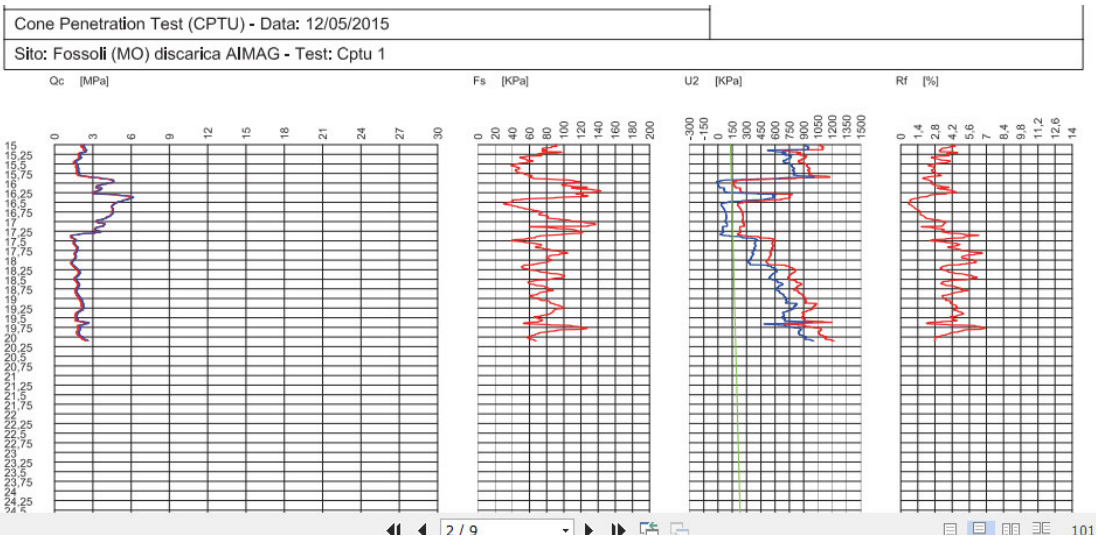
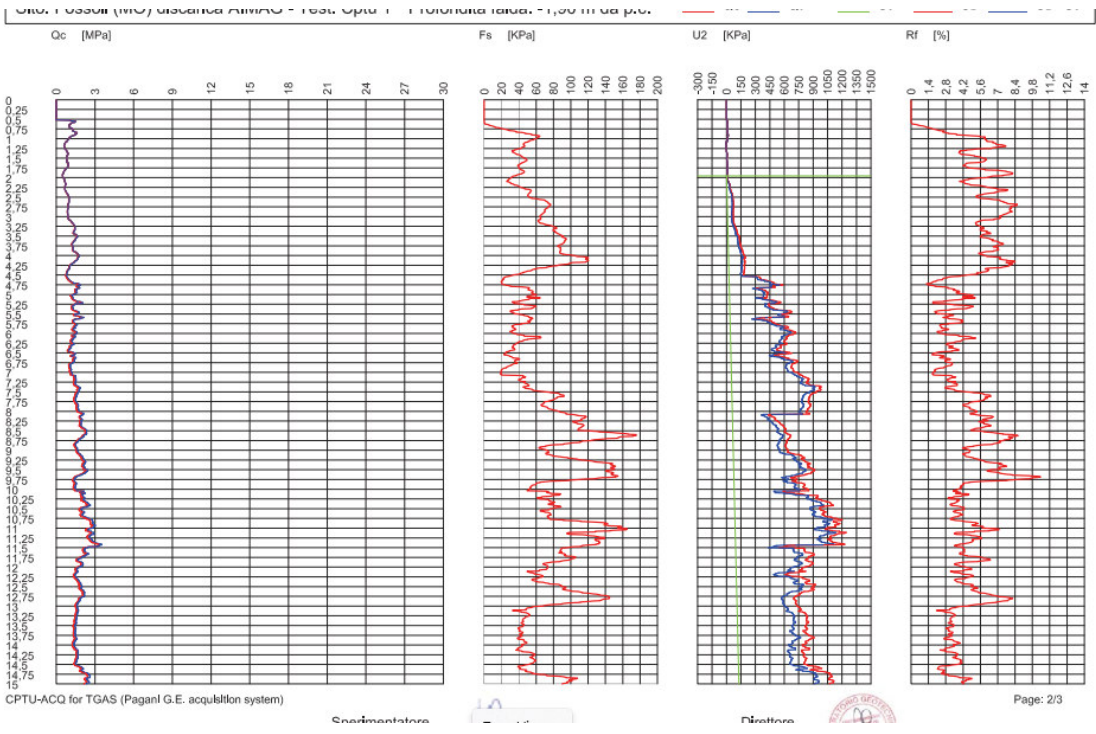


Figura 39 – Particolare CptU consultata

8. CARATTERIZZAZIONE LITOSTRATIGRAFICA E GEOTECNICA

Natura dei terreni

L'elaborazione dei dati desunti dalle prove penetrometriche statiche ha permesso di ricostruire l'assetto litostratigrafico e, contestualmente, di caratterizzare dal punto di vista geotecnico i terreni investigati.

Dalla prof. di circa 1.0 m fino a 15 m circa da p.c.si tratta principalmente di Argille, argille limose e limi argillosi a bassa consistenza. All'interno dell'unità si rinvengono localmente intercalazioni limoso-sabbiose discontinue

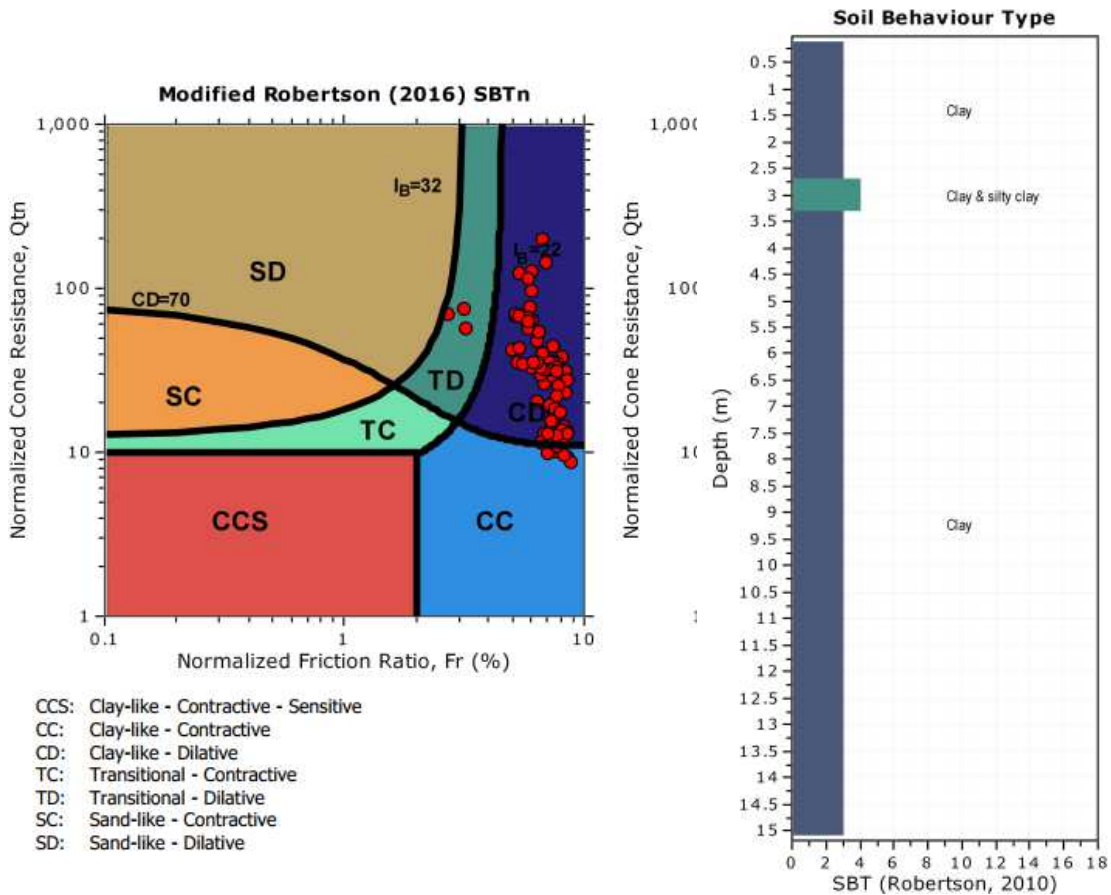


Figura 40 – Interpretazione della prova Cpt

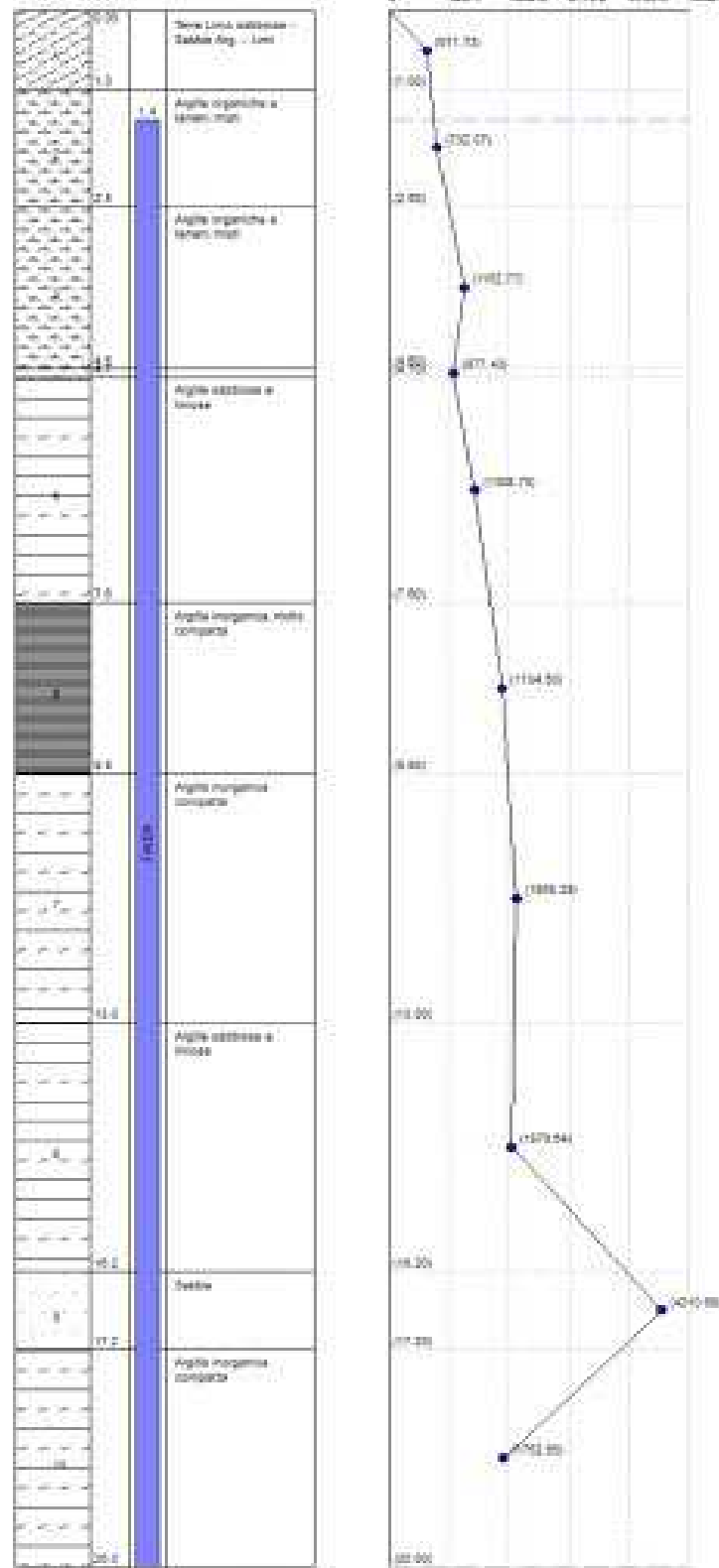


Figura 41 – Interpretazione della prova Cptu

Modello litostratigrafico (riferito ad alcune prove CPT realizzate in terreni limitrofi)

In particolare, è stato individuato al di sotto del terreno vegetale (0,40-0,80) fino alla profondità di 3,60 un **orizzonte B** costituito da argilla limosa debolmente sabbiosa da tenera a mediamente compatta (Q_c kg/cm 2 = 9-28).

In particolare, dalla profondità di 2,80 m e fino alla profondità di 3,20 m si individuano locali livelli centimetrici sabbiosi limosi mediamente addensati (**orizzonte C**) (Q_c /cmq = 30-67).

Dalla prof. di 3,40-4,20 si individua un orizzonte argilloso limoso mediamente compatto individuato fino alla massima profondità indagata (15 m dal p.c.) (Q_c /cmq = 12-37).

PROFONDITA' (m da p.c.)	MODELLO LITOSTRATIGRAFICO	MODELLO GEOMECCANICO	Qc medio kg/cm 2
da 0,00 a 0,40-0,80	Terreno vegetale	orizzonte A	
da 0,40÷0,80 a 3,60	Argilla limosa debolmente sabbiosa	orizzonte B	18
da 2,80 a 3,20	Locali livelli sabbiosi limosi	orizzonte C	58
da 3,60 a 15,00	Argilla limosa	orizzonte D	23

Modello geomeccanico di riferimento

PARAMETRI GEOTECNICI TERRENI DI FONDAZIONE			
Orizzonte A – Terreno vegetale			
Orizzonte B – Argilla Limosa deb. sabbiosa			
<i>CARATTERISTICHE LITOSTRATIGRAFICHE</i>	<i>Simbolo</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Valore</i>
Classificazione			coesivo
Consistenza			Tenera -media
<i>PESI</i>	<i>Simbolo</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Valore</i>
Peso di volume	γ	kN/m ³	17.0-17.5
Peso di volume immerso	γ_{wet}	kN/m ³	-
<i>PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO</i>	<i>Simbolo</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Valore</i>
Angolo di attrito efficace	ϕ	°	-
Coesione efficace	C'	KPa	-
Coesione non drenata	Cu	KPa	50 - 80
<i>PARAMETRI ELASTICI</i>	<i>Simbolo</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Valore</i>
Modulo elastico	E	KPa	-
Modulo edometrico	M	KPa	4000 - 7000
coefficiente di Poisson	μ	KPa	0,35
Orizzonte C – Livelli sabbioso limosi			
<i>CARATTERISTICHE LITOSTRATIGRAFICHE</i>	<i>Simbolo</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Valore</i>
Classificazione			granulare
Consistenza			medio
<i>PESI</i>	<i>Simbolo</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Valore</i>
Peso di volume	γ	kN/m ³	18.0-18.5
Peso di volume immerso	γ_{wet}	kN/m ³	
<i>PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO</i>	<i>Simbolo</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Valore</i>
Angolo di attrito efficace	ϕ	°	28-32
Coesione efficace	C'	KPa	-

Coesione non drenata	Cu	KPa	-
<i>PARAMETRI ELASTICI</i>	<i>Simbolo</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Valore</i>
Modulo elastico	E	KPa	15000 - 20000
coefficiente di Poisson	μ	KPa	0,30
Orizzonte D – Argilla limosa			
<i>CARATTERISTICHE LITOSTRATIGRAFICHE</i>	<i>Simbolo</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Valore</i>
Classificazione			coesivo
Consistenza			medio
<i>PESI</i>	<i>Simbolo</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Valore</i>
Peso di volume	γ	kN/m ³	17.0-17.5
Peso di volume immerso	γ_{wet}	kN/m ³	
<i>PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO</i>	<i>Simbolo</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Valore</i>
Angolo di attrito efficace	ϕ	°	
Coesione efficace	C'	KPa	-
Coesione non drenata	Cu	KPa	60 - 100
<i>PARAMETRI ELASTICI</i>	<i>Simbolo</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Valore</i>
Modulo edometrico	M	KPa	5000 - 8000
coefficiente di Poisson	μ	KPa	0,35

9. SCAVI

In considerazione del fatto che il progetto possa prevedere sbancamenti di terreno si rende necessaria (oltreché obbligatoria per Norma) la protezione degli sbancamenti aventi altezza del fronte di scavo superiore a 1,50 m; tale accorgimento impedirà che possano verificarsi cedimenti nei terreni sul fronte di scavo e permetterà di poter lavorare all'interno dello scavo in assoluta sicurezza, come previsto dal *Decreto Legislativo 9 aprile 2008, n. 81 Attuazione dell'Art. 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123 in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro* e del *Decreto Ministeriale 14 gennaio 08 "Norme tecniche sulle costruzioni"*.

Si riportano di seguito gli articoli più significativi.

- *D.Lgs 81/2008, art. 118: Nei lavori di splateamento o sbancamento eseguiti senza l'impiego di escavatori meccanici, le pareti delle fronti di attacco devono avere una inclinazione o un tracciato tali, in relazione alla natura del terreno, da impedire franamenti. Quando la parete del fronte di attacco supera l'altezza di m 1,50, e' vietato il sistema di scavo manuale per scalzamento alla base e conseguente franamento della parete. Quando per la particolare natura del terreno o per causa di piogge, di infiltrazione, di gelo o disgelo, o per altri motivi, siano da temere frane o scoscendimenti, deve essere provveduto all'armatura o al consolidamento del terreno;*
- *D.Lgs 81/2008, art. 118: Nello scavo di pozzi e di trincee profondi più di m 1,50, quando la consistenza del terreno non dia sufficiente garanzia di stabilità, anche in relazione alla pendenza delle pareti, si deve provvedere, man mano che procede lo scavo, all'applicazione delle necessarie armature di sostegno;*
- *D.Lgs 81/2008, art. 120: È vietato costituire depositi di materiali presso il ciglio degli scavi. Qualora tali depositi siano necessari per le condizioni del lavoro, si deve provvedere alle necessarie puntellature;*
- *DM 14 01 08 "Norme tecniche sulle costruzioni", 6.8.6. (fronti di scavo): Per scavi trincea a fronte verticale di altezza superiore ai 2 m, nei quali sia prevista la permanenza di operai, e per scavi che ricadano in prossimità di manufatti esistenti, deve essere prevista una armatura di sostegno delle pareti di scavo.*

Al fine di evitare il franamento e/o spostamento dei terreni di scarpata si consiglia di ricorrere ad una delle seguenti soluzioni da dimensionare in fase progettuale:

- scavo tradizionale con angolo di sbancamento adeguato tale da garantire le condizioni di massima sicurezza (le scarpate non dovranno avere pendenze superiori a 45°). Questa soluzione potrà essere completata dalla formazione di gradoni utili alla diminuzione della pendenza e dell'altezza di fronti di scavo verticali molto estesi. Al termine delle operazioni di scavo si dovranno adottare adeguate protezioni necessarie per prevenire eventuali fenomeni di dilavamento da parte delle acque piovane.;
- utilizzo di opportune strutture di sostegno (paratie, berlinese di micropali, ecc).

10. TERRE E ROCCE DA SCAVO

Il 22 agosto 2017 è entrato in vigore il DPR 13 giugno 2017, n. 120, ovvero il nuovo regolamento sulla "Disciplina semplificata delle terre e rocce da scavo", il quale abroga sia il DM n. 161/2012, che l'art. 184-bis, comma 2bis del TUA, nonché gli artt. 41, c.2 e 41-bis del DL n. 69/2013.

La nuova disciplina riguarda la gestione delle terre e rocce da scavo sia come sottoprodotti sia come rifiuti con un ampliamento dei limiti quantitativi per il deposito temporaneo.

Il D.P.R. n. 120/2017 secondo quanto sancito nell'art. 1 disciplina:

- La gestione delle terre e rocce da scavo escluse dalla normativa sui rifiuti, limitatamente ad alcuni cantieri.
- La gestione delle terre e rocce da scavo riutilizzate come sottoprodotti in relazione a qualunque cantiere.
- La gestione delle terre e rocce da scavo per il deposito temporaneo delle stesse come rifiuti.

Assunto che per terre e rocce da scavo si intende il suolo escavato derivante da attività finalizzate alla realizzazione di un'opera, e che la qualifica di sottoprodotti non viene meno se le terre sono frammiste a materiali il cui utilizzo è fisiologico in talune attività di scavo, vale a dire il calcestruzzo, la bentonite, il PVC, la vetroresina, le miscele cementizie e gli additivi per scavo meccanizzato.

L'art. 2 continua con altre definizioni fondamentali quali quella di sito: un'area o porzione di territorio geograficamente definita e perimetrata; di sito di produzione: il sito in cui le terre sono generate; e quella di opera: il risultato di un insieme di lavori che di per sé esplica una funzione economica o tecnica.

Restano espressamente estranei alla normativa i rifiuti da demolizione e il refluito in mare di cui all'art. 109, D.Lgs 152/2006 (art. 3).

All'art. 4 sono definiti i criteri per qualificare le terre e rocce da scavo come sottoprodotti. Il comma 3 dedicato ai materiali di riporto stabilisce che la presenza di quest'ultimi, non farà perdere la qualifica di sottoprodotti alle terre in cui la quantità massima di materiali di origine antropica corrisponda al 20% in peso. Le terre e rocce da scavo dovranno inoltre rispettare le concentrazioni soglia di contaminazione (CSC) e superare il test di cessione da condurre con il metodo di cui al D.M. 5/02/1998 da confrontare con le CSC per le acque sotterranee.

L'articolo 5 è dedicato al deposito intermedio. Esso potrà avvenire nel sito di produzione, in quello di destinazione o in altro sito a condizione che siano rispettati 5 requisiti:

- 1 Compatibilità di destinazione urbanistica tra sito di produzione e sito di deposito.
- 2 Preventiva indicazione di luogo e durata.
- 3 Durata non superiore al termine di validità del piano o della dichiarazione di utilizzo.
- 4 Separazione fisica e autonoma gestione rispetto ad altre terre, siano esse sottoprodotti considerati in altri piani o dichiarazioni, siano esse rifiuti.
- 5 Conformità al piano o alla dichiarazione e presenza di apposita segnaletica con tutte le informazioni del caso.

È possibile variare il sito di deposito intermedio purché vi sia un tempestivo aggiornamento del piano o della dichiarazione. In caso di sfioramento dei tempi, le terre temporaneamente depositate diverranno rifiuti.

Gli articoli da 8 a 19 normano le terre e rocce da scavo prodotti in cantieri oltre i 6.000 m³ per opere sottoposte a VIA/AIA. In tali cantieri è necessario redigere il piano di utilizzo che deve essere conforme alle disposizioni previste nell'allegato 5 del decreto.

Gli art. 20-22 riguardano i cantieri fino ai 6.000 m³ e in quelli oltre i 6.000 m³ non sottoposti a VIA/AIA, dove la dichiarazione sostitutiva di atto di notorietà assolve la funzione del piano di utilizzo. Essa va inviata almeno 15 giorni prima l'inizio dello scavo, utilizzando il modulo presente all'allegato 6 del decreto, al comune del luogo di produzione e all'ARPA, indicando quantità, siti di deposito intermedio e di destinazione, estremi delle autorizzazioni e tempi per l'utilizzo.

L'art. 23 riguarda la disciplina del deposito temporaneo di terre e rocce da scavo qualificate come rifiuti.

L'art. 24 riguarda invece la possibilità di riutilizzare nel sito di produzione di terre e rocce da scavo escluse disciplina dei rifiuti.

Per potersi considerare escluse dall'ambito di applicazione della normativa sui rifiuti le terre e rocce da scavo devono essere prive di contaminazione (art. 185 comma 1 lett. C del D.Lgs. 152/06).

Gli art. 25 e 26 riguardano rispettivamente le modalità e le cautele da attuare per condurre l'attività di scavo nei siti di bonifica già caratterizzati e il riutilizzo delle terre provenienti da un sito in bonifica all'interno dello stesso sito.

Gli ultimi cinque articoli (27-31) si riferiscono alle disposizioni intertemporali, transitorie e finali. In particolare, il regime transitorio considera diverse situazioni:

- I piani e i progetti già approvati prima dell'entrata in vigore del D.P.R. 120/2017 restano disciplinati dalla normativa previgente che dovrà essere applicata anche alle modifiche e agli aggiornamenti che possono intervenire dopo il 22 Agosto 2017.

- I progetti con procedura in corso alla data di entrata in vigore del D.P.R. 120/2017 restano disciplinati dalla normativa previgente, tuttavia, entro 180 giorni dall'entrata in vigore del D.P.R., è fatta salva la volontà di passare al nuovo regime presentando il piano di utilizzo di cui all'articolo 9 o la dichiarazione di cui all'articolo 21.

- In caso di riutilizzo nello stesso sito previsto in procedure di VIA già avviate nelle quali non sia intervenuto il provvedimento finale si applica, su richiesta del proponente, l'art. 24.

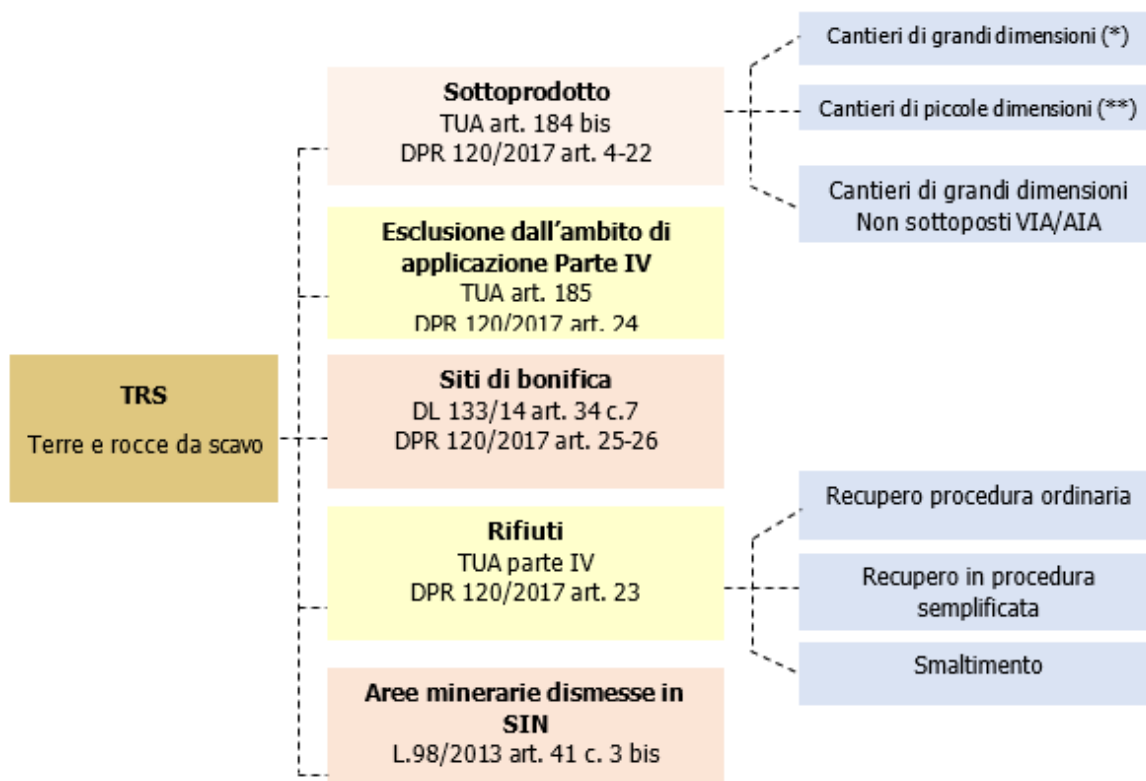
- In caso di riutilizzo nei siti di bonifica restano valide le autorizzazioni rilasciate in approvazione dei progetti di bonifica.

L'articolo 28 rimarca la necessità che gli enti di controllo competenti effettuino controlli, ispezioni e prelievi per verificare il rispetto di quanto previsto nei piani di utilizzo e di quanto espresso nelle dichiarazioni di utilizzo e di avvenuto utilizzo. Il D.P.R. si chiude con l'art. 31 che sancisce le norme espressamente abrogate:

- D.M. n. 161/2012;

- L'art. 184/bis, comma 2bis, D.Lgs. 152/06;

- Gli artt. 41, comma 2 e 41bis, D.L. 69/13 convertito, con modificazioni, dalla legge n. 98/2013.



La presente relazione è stata redatta ai sensi delle NTC 2018, a supporto del progetto di prefattibilità dell'ampliamento della stazione Terna nel territorio di Carpi (MO), in località Fossoli illustra i risultati delle indagini geologico – tecniche e sismiche che hanno permesso di valutare il comportamento geomeccanico dei terreni di fondazione dei manufatti in progetto.

Lo studio ha comportato un rilievo geomorfologico di dettaglio della zona interessata dal progetto e di un suo significativo intorno, per la caratterizzazione geologica e sismica dell'area e la consultazione di prove penetrometriche statiche pregresse e indagini sismiche MASW, realizzate su terreni limitrofi.

Dal punto di vista litologico l'area di interesse ricade all'interno dell'Unità delle Valli, costituita appunto da depositi con tessitura fine (limi e argille), con locali livelli sabbiosi.

Secondo quanto riportato nella Deliberazione della Giunta Regionale n.1435 del 21 luglio 2003 e successivamente con la n.1164 del 23 luglio 2018, il Comune di Carpi ricade in classe sismica 3.

I parametri sismici identificativi del sito sono:

- ✓ il sottosuolo, a seguito della verifica di II livello, è da assumere in categoria C (Tab. 3.2.II delle NTC); Dall'analisi di II livello effettuata puntualmente per l'area di studio il valore di F.A. P.G.A.=1.6.

Si riporta di seguito la tabella riassuntiva:

	PERIODO	VALORE
Fattore Amplificazione P.G.A.		1.6
F.A SA1	0,1s < T ₀ < 0,5s	1.7
F.A SA2	0,4s < T ₀ < 0,8s	2.1
F.A SA3	0,7s < T ₀ < 1,1s	2.5
F.A SA4	0,5s < T ₀ < 1,5s	2.4
F.A. SI1	0,1s < T ₀ < 0,5s	1.8
F.A. SI2	0,5s < T ₀ < 1,0s	2.4
F.A. SI3	1,0s < T ₀ < 1,5s	2.5

Dall'analisi della verifica al potenziale di liquefazione eseguita per la prova CPT profonda 15 m, i risultati indicano che, per quanto attiene la suscettibilità alla liquefazione, il terreno in esame è da classificare "NON LIQUEFACIBILE" con rischio di liquefazione "Da Nullo a Molto Basso".

L'elaborazione dei dati ha permesso di evidenziare una successione stratigrafica composta da 4 orizzonti principali distinti per natura litologica, granulometria e grado di addensamento; in particolare, il modello litostratigrafico - geomeccanico ottenuto dall'analisi dei risultati delle prove penetrometriche è così definito:

Modello litostratigrafico

PROFONDITA' (m da p.c.)	MODELLO LITOSTRATIGRAFICO	MODELLO GEOMECCANICO	Qc medio kg/cmq
da 0.00 a 0,40-0,80	Terreno vegetale	orizzonte A	
da 0,40÷0,80 a 3,60	Argilla limosa debolmente sabbiosa	orizzonte B	18

da 2,80 a 3,20	Locali livelli sabbiosi limosi	orizzonte C	58
da 3,60 a 15,00	Argilla limosa	orizzonte D	23

Per quanto riguarda infine la falda freatica superficiale, il livello freatico misurato nelle prove pregresse eseguiti ha mostrato come la profondità della falda freatica sia posta ad una profondità pari a circa 1.40-2.00 m dal p.c.

Al fine di non alterare l'attuale equilibrio dell'area investigata nonché la stabilità dell'area circostante, si raccomanda di:

- adottare una scrupolosa raccolta e regimazione delle acque di scolo superficiali, eliminando l'infiltrazione idrica entro il terreno d'imposta delle fondazioni;
- prevedere la realizzazione di un idoneo sistema di impermeabilizzazione di eventuali strutture interrato e/o seminterrate poiché potrebbero essere interessate da oscillazioni stagionali della falda freatica superficiale;
- in considerazione del fatto che il progetto può prevedere sbancamenti di terreno, si rende necessaria (oltreché obbligatoria per Norma) la protezione degli sbancamenti con fronte di scavo avente altezza superiore a 1,5 m, utilizzando opportune strutture di sostegno (scavo a campione, scavo tradizionale con pendenza adeguata).

Tale accorgimento impedirà che possano verificarsi cedimenti nei terreni adiacenti l'area oggetto d'intervento, inoltre l'opera di sostegno delle terre permetterà di poter lavorare nello scavo in assoluta sicurezza, come previsto come previsto dal *Decreto Legislativo 9 aprile 2008, n. 81 Attuazione dell'Art. 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123 in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro e del Decreto Ministeriale 14 gennaio 08 "Norme tecniche sulle costruzioni"*.

Si consiglia comunque in fase di progettazione esecutiva la realizzazione di puntuali indagini dirette (prove Cpt, Cptu e/o sondaggi geognostici) sul terreno in corrispondenza dell'area in esame al fine di verificare e confermare la successione litostratigrafica, idrogeologica e simica individuata nel presente studio e basata su indagini pregresse eseguite in prossimità dell'area.

Dicembre 2023

dott. geol. Gianluca Nascimbene

*Iscritto all'Ordine dei
Geologi della Lombardia*



INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 – Ubicazione dell'area - immagine satellitare	3
Figura 2 – Ubicazione sulla CTR dell'Emilia-Romagna	4
Figura 3 – Estratto Carta Geologica d'Italia 1:100.000 – Foglio n. 74 – Reggio Emilia	6
Figura 4 – Estratto Carta Litologica Comunale	6
Figura 5 – Estratto Carta delle Unità Geomorfologiche	7
Figura 6 – Schema che descrive, in sezione, le diverse origini dei corpi acquiferi emiliano-romagnoli: le conoidi e gli apparati fluviali appenninici, gli apparati fluvio-deltizi del Po	8
Figura 7 – Inquadramento geologico-stratigrafico regionale dei depositi quaternari, rivisto e aggiornato	9
Figura 8 – Estratto dalla Carta idrogeologica Comunale	10
Figura 9 – Sovrapposizione dell'area di studio con il paleoalveo del Torrente Tresinaro	11
Figura 10 – Estratto dalla Carta della soggiacenza	12
Figura 11 – Estratto dalla Estratto dalla carta PAI-PGR	13
Figura 12 – Nuova classificazione sismica dei comuni della regione Emilia-Romagna	14
Figura 13 – Valori di pericolosità sismica del territorio nazionale	15
Figura 14 – Mappa delle intensità massime registrate durante il terremoto del 2012	15
Figura 15 – Ubicazione degli stendimenti pregressi MASW utilizzati (in giallo l'area di intervento)	18
Figura 16 – Sismogramma stendimento MASW	19
Figura 17 – Analisi spettrale.....	20
Figura 18 – Curva di dispersione stendimento masw 1	22
Figura 19 – Inversione	23
Figura 20 – Modello risultante dall'inversione dei dati.....	23
Figura 21 – Sismostratigrafia	24
Figura 22 – Sismogramma stendimento MASW 1	25
Figura 23 – Analisi spettrale.....	26
Figura 24 – Curva di dispersione stendimento masw 1	28
Figura 25 – Inversione	29
Figura 26 – Modello risultante dall'inversione dei dati.....	29
Figura 27 – Sismostratigrafia	30
Figura 28 – Carta delle macroaree del primo livello di approfondimento sismico.....	34
Figura 29 – Mappa di macrozonazione sismica ambienti geomorfologici regione Emilia-Romagna	36
Figura 30 – Stralcio della Carta di Microzonazione sismica di II Livello.....	36
Figura 31 – Stralcio della Carta di Microzonazione sismica di II Livello con Fa compresa tra 01-0,5 s	37
Figura 32 – Stralcio della Carta di Microzonazione sismica di II Livello con Fa compresa tra 0,5-1,0 s	38
Figura 33 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione.....	41
Figura 34 – Zone sismogenetiche d'Italia ed ubicazione del sito nella zona sismogenetica (in rosso)	42
Figura 35 – Risultati dell'elaborazione a liquefazione	43
Figura 36 – Carta di III Livello dove sono riportati gli indici del potenziale di liquefazione e cedimenti posti sismi significativi... ..	44

Figura 37 – Ubicazione delle prove consultate	45
Figura 38 – Particolare Cpt consultata	46
Figura 39 – Particolare CptU consultata	47
Figura 40 – Interpretazione della prova Cpt	48
Figura 41 – Interpretazione della prova Cptu	49

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1: Categorie di sottosuolo.....	16
Tabella 2: Parametri della curva di dispersione.....	21
Tabella 3: Valori dell'inversione.....	22
Tabella 4: Schema riassuntivo parametri estrapolati dalla MASW.....	24
Tabella 5: Parametri della curva di dispersione.....	27
Tabella 6: Valori dell'inversione.....	28
Tabella 7: Schema riassuntivo parametri estrapolati dalla MASW.....	30
Tabella 8: - Caratteristiche della superficie topografica (Tab 3.2.III NTC 2018).....	31
Tabella 9: - Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni (Tab. 2.4I NTC 2018).....	31
Tabella 10: - Dati del sito di riferimento.....	31
Tabella 11: - Valori del coefficiente d'uso CU (Tab. 2.4.II NTC 2018).....	31
Tabella 12: - Determinazione del periodo di riferimento.....	32
Tabella 13: - Determinazione dell'accelerazione massima per i diversi stati limite – suolo C.....	32
Tabella 14: - Valori del coefficiente sismico orizzontale (K_h) e verticale (K_v), riferiti al sito.....	32