



Imballaggi Protettivi S.r.l.  
Comune di Massalengo  
Provincia di Lodi

**REALIZZAZIONE AMPLIAMENTO CAPANNONE ESISTENTE IN  
CORRISPONDENZA DI VIA INDUSTRIE 6 IN COMUNE DI  
MASSALENGO  
(Prov. di LODI)**

---

**RELAZIONE GEOLOGICA CON  
VERIFICHE GEOTECNICHE  
Rev.1**

A cura di:  
Dott. Geol. Michele Suardi

**Lardirago (PV), 21-04-2022**



## **SOMMARIO**

<b>1 - PREMESSA</b>	<b>3</b>
<b>2 - RELAZIONE GEOLOGICA – MODELLAZIONE GEOLOGICA E STRATIGRAFICA DEL SITO</b>	<b>4</b>
2.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO - GEOMORFOLOGICO.....	4
2.2 INQUADRAMENTO IDROLOGICO E IDROGEOLOGICO.....	8
2.3 INDICAZIONI COMPONENTE GEOLOGICA PGT COMUNALE .....	9
2.4 INDAGINI IN SITO .....	12
2.4.1 Prove penetrometriche SCPT.....	12
2.4.2 Indagine SISMICA HVSR.....	16
2.5 CLASSIFICAZIONE SISMICA.....	20
Individuazione della pericolosità del sito.....	20
Scelta della strategia di progettazione.....	21
2.6 CATEGORIA SISMICA DEI TERRENI.....	21
2.7 DEFINIZIONE DEI PARAMETRI E DEI COEFFICIENTI SISMICI .....	23
2.8 DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO .....	23
<b>3 - RELAZIONE GEOTECNICA – VERIFICA DELLA SICUREZZA E DELLE PRESTAZIONI</b>	<b>26</b>
3.1 CONSIDERAZIONI STRATIGRAFICHE E GEOTECNICHE .....	26
3.2 VERIFICA DELLA SICUREZZA E DELLE PRESTAZIONI .....	28
-Fondazioni superficiali .....	28
-Verifica agli Stati Limiti Ultimi (SLU) e di Esercizio (SLE) - (N.T.C. 2018) e stima dei cedimenti ...	28
<b>4 - CONCLUSIONI</b>	<b>30</b>

## ALLEGATI

Figura 1. Corografia: CARTA TECNICA REGIONALE scala 1:10000, tavole B7e2.....	4
Figura 2: Inquadramento territoriale: ortofoto con area di intervento da Google MAPS .....	5
Figura 3: Carta Geologica d'Italia FG 60 Piacenza.....	7
Figura 4: Carta fattibilità geologica ( TAV 5 Studio Geologico PGT) .....	10
Figura 5: Carta della Pericolosità Sismica Locale (TAV 8 Studio Geologico PGT).....	11
Figura 6: Ubicazione prove penetrometriche SCPT ( ● ) e geofisiche ( ▲ ) .....	12
Figura 7: SCPT n° 1.....	14
Figura 8: SCPT n° 2.....	15
Figura 9: Profilo stratigrafico-geotecnico .....	27

## 1 - PREMESSA

Su incarico e per conto della soc. Imballaggi protettivi S.r.l. con sede a Massalengo (LO), è stato redatto il presente studio geologico geotecnico e sismico a supporto del progetto esecutivo relativo alla realizzazione dell'ampliamento di un capannone industriale esistente una coppia di serbatoi antiincendio. I terreni oggetto di indagine sono identificati ai mappali n° 769, 771 del Foglio 7 del Catasto censuario del comune di Massalengo (LO).

Per definire le caratteristiche stratigrafiche del sottosuolo dell'area di interesse e fornire le valutazioni geotecniche necessarie, sono state eseguite n° 2 prove penetrometriche SCPT in corrispondenza dell'impronta delle fondazioni del futuro manufatto, compatibilmente con gli ingombri ed i sottoservizi rilevati in sito.

Trattandosi di risultati desunti da indagine puntuale, e non escludendo la possibilità di locali variazioni, qualora in fase di scavo si dovessero evidenziare differenze significative, sarà preciso obbligo dell'impresa esecutrice darne tempestiva comunicazione.

A completamento dello studio è stato eseguito un attento rilievo geologico e geomorfologico dell'area di studio e del suo immediato intorno ed un'indagine geofisica con tecnica HVSr per la verifica delle Vs30 e della relativa categoria del sottosuolo.

Oltre a ciò è stato fatto riferimento allo Studio Geologico (e relative mappe) redatto dal dott. Geologo Angelo Scotti di Pizzighettone (CR), nel 2019.

Nella presente relazione saranno analizzati i risultati delle indagini svolte al fine di caratterizzare dal punto di vista stratigrafico, idrogeologico, sismico e geotecnico il sottosuolo, di indicare la resistenza di progetto del terreno interagente con le opere di fondazione e stimare l'entità dei cedimenti indotti dalle opere in progetto.

La presente relazione viene redatta seguendo le indicazioni tecniche esposte:

- nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n°3274 del 20 Marzo 2003 relativa alla normativa sismica
- nelle Norme Tecniche per le Costruzioni (Ministero delle infrastrutture e dei trasporti, 2018) e che prevedono un approccio agli stati limite
- nel D.G.R. 11 luglio 2014 - n. X/2129 Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r.1/2000, art. 3, c. 108, lett. d)
- nella L.R. 12 ottobre 2015, n.33 - Disposizioni in materia di opere o di costruzioni e relativa vigilanza in zone sismiche
- nel D.G.R. 30 marzo 2016 - n. X/5001 Approvazione delle linee guida di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica ((artt . 3, comma 1, e 13, comma 1, della l .r .33/2015)

## 2 - RELAZIONE GEOLOGICA – MODELLAZIONE GEOLOGICA E STRATIGRAFICA DEL SITO

### 2.1 Inquadramento geologico - geomorfologico

L'area interessata dall'intervento è posta nella media pianura Lodigiana, a sud della città di Lodi, in corrispondenza dell'area artigianale posta ad est del territorio del comune di Massalengo (LO), ad una quota di circa 74 m s.l.m..

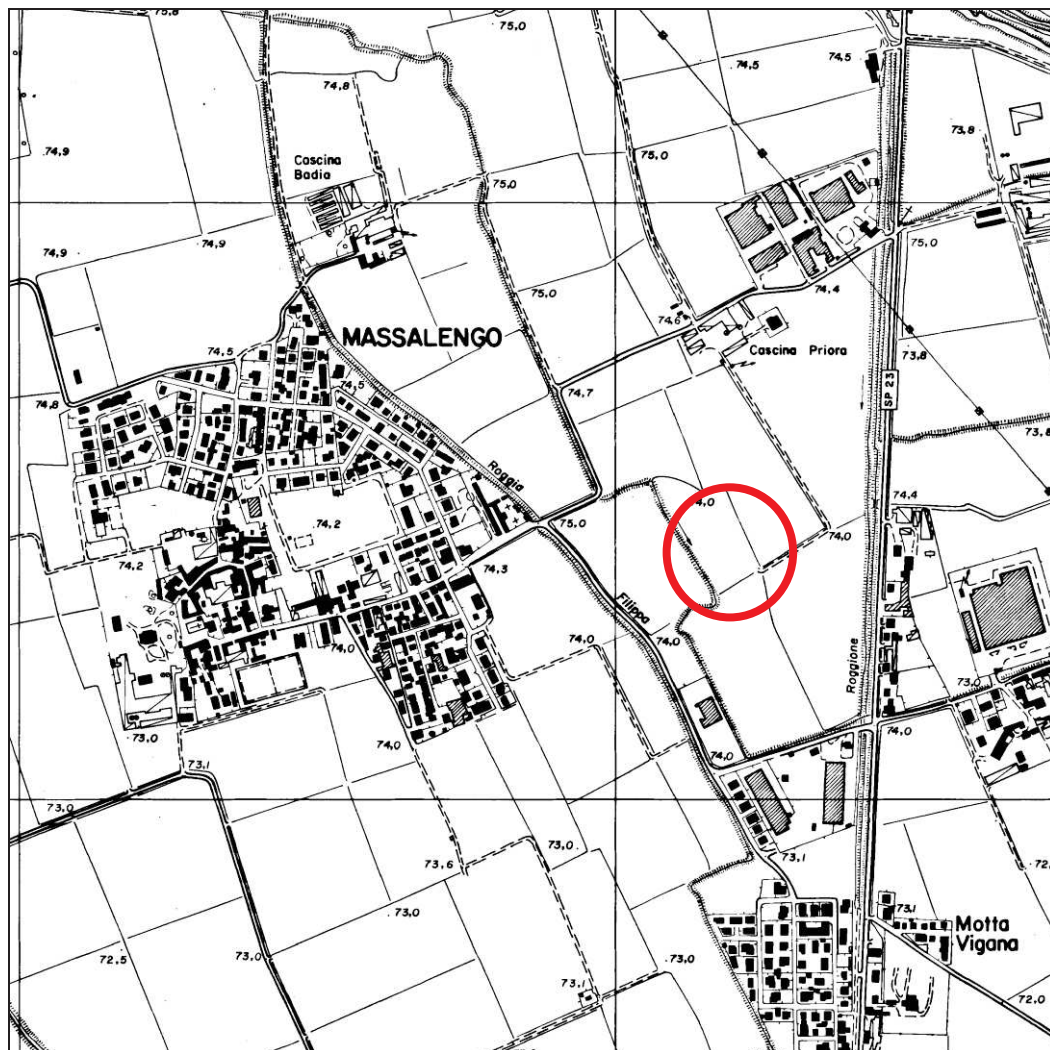


Figura 1. Corografia: CARTA TECNICA REGIONALE scala 1:10000, tavole B7e2

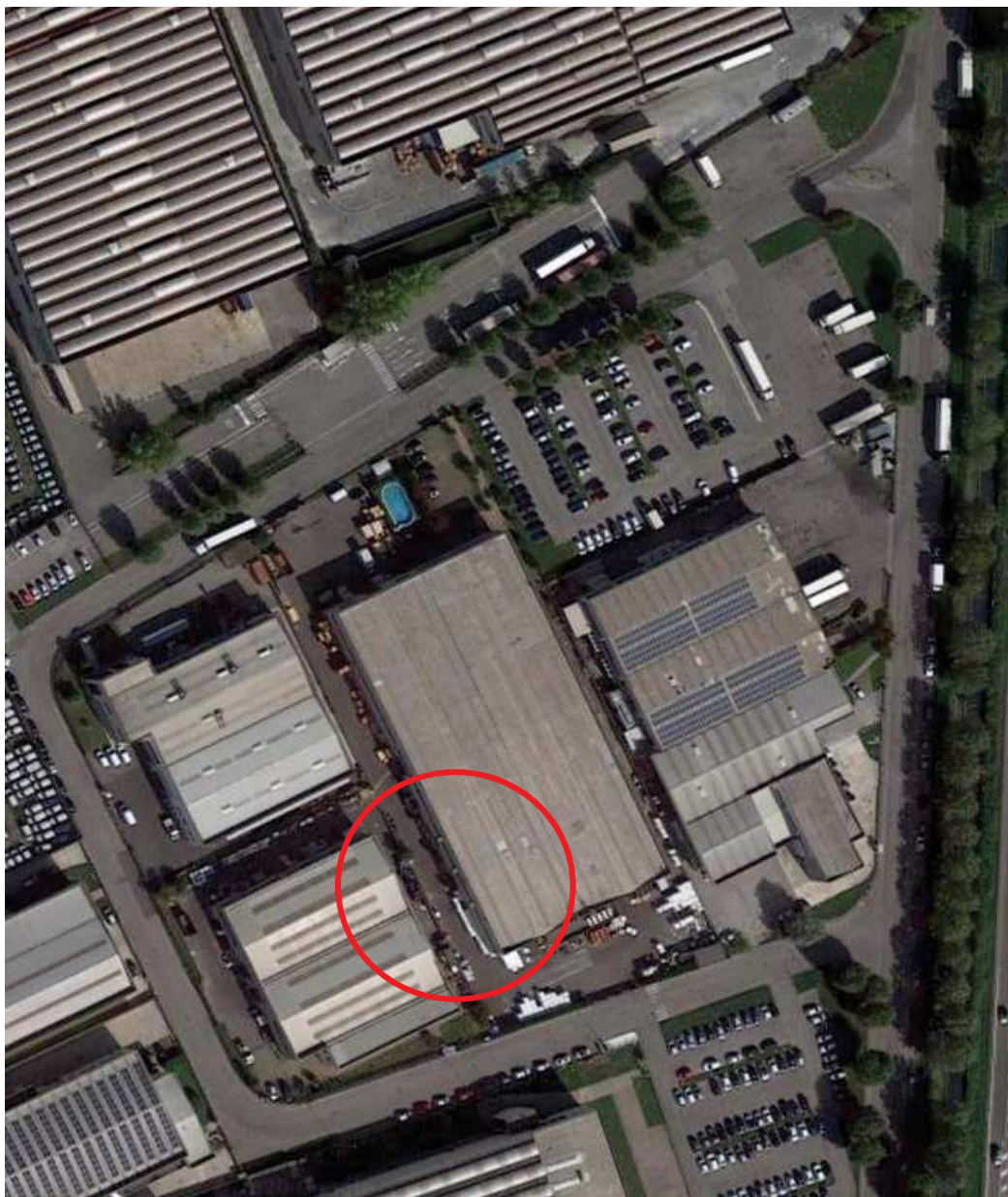


Figura 2: Inquadramento territoriale: ortofoto con area di intervento da Google MAPS

Morfologicamente l'area di studio risulta posta in un contesto di pianura, con leggera degradazione verso sud.

Tale contesto di pianura è solitamente interrotto dagli orli dei terrazzi fluviali e dagli antichi canali scolmatori a scopo irriguo.

Dal punto di vista geologico il territorio di Massalengo è relativamente omogeneo dal punto di vista geologico. Vi affiorano depositi d'origine alluvionale prodotti dall'azione sedimentaria del Fiume Adda durante le fasi finali del Pleistocene superiore.

Come evidenziato dalla cartografia geologica ufficiale (Carta Geologica della Lombardia scala 1:250.000 e Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 -Foglio n. 60 "Piacenza"), le unità affioranti in un intorno significativo dell'area di analisi sono tutte di origine continentale. Tali unità,

caratteristiche di ambienti deposizionali fluviali e di età compresa tra il Pleistocene medio-superiore e l'Olocene, sono:

**Alluvioni attuali** -sono depositi sabbiosi o limosi, con lenti ghiaiose a ciottoli minuti, del greto dei corsi d'acqua. Occupano le aree maggiormente depresse all'interno degli alvei ordinari del Po, dell'Adda e del Lambro, sono separate altimetricamente dalle alluvioni medio-recenti lungo le sponde fluviali e vengono sommerse durante le piene ordinarie.

**-Alluvioni recenti (Olocene)** -si tratta delle alluvioni affioranti con continuità lungo fasce più o meno ampie sulle sponde dei fiumi e sono costituite da depositi di granulometria variabile tra la ghiaia e l'argilla. Sono depositi talora terrazzati, fissati e coltivati, di poco sospesi sugli alvei attuali del Po, dell'Adda e del Lambro o affioranti in corrispondenza delle incisioni fluviali del reticolo idrico secondario anche inondabili in occasione di piene straordinarie se non adeguatamente protette da rilevati arginali.

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

**Fluvioglaciale Wurm (Pleistocene superiore)** -è costituito da depositi sabbiosi, limosi ed argillosi con lenti ghiaiose a ciottoli minuti; i depositi presentano un suolo bruno o brunastro, talora rossastro per dilavamento di paleosuoli preesistenti a monte e costituiscono il Livello Fondamentale della Pianura (o Piano Generale Terrazzato) sviluppato a valle della linea delle risorgive.

Nell'area di interesse si rilevano depositi fluvioglaciali wurmiani caratterizzati da coperture superficiali di terreni limosi -argillosi o sabbiosi limosi con spessore di 2-3 m.



Figura 3: Carta Geologica d'Italia FG 60 Piacenza

## **2.2 Inquadramento idrologico e idrogeologico**

Il reticolo idrico di questa porzione di territorio è costituito da una fitta rete di corsi d'acqua provenienti da N (utilizzati a scopi irrigui e/o per la raccolta delle acque di colo), i quali presentano una modesta pendenza e valori minimi sia di trasporto solido, sia di erosione e/o deposizione.

Dal punto di vista idrogeologico nell'ambito di tutto il territorio lodigiano si rinviene un complesso idrogeologico sotterraneo la cui porzione più superficiale è in stretta relazione con il sistema idrografico ed è condizionato da complesse strutture stratigrafico-deposizionali che ne governano l'accumulo ed il transito.

Dall'esame delle stratigrafie disponibili e delle sezioni litostratigrafiche realizzate si evince come l'assetto geometrico-strutturale del sottosuolo sia assimilabile ad un materasso alluvionale nel quale i corpi acquiferi, di natura prevalentemente sabbiosa, si alternano a livelli impermeabili.

A scala sovracomunale si sviluppa un complesso acquifero di tipo "multifalda", all'interno del quale sono riconoscibili due circuiti chiaramente separati:

- il circuito più superficiale, che nel sottosuolo di Massalengo assume caratteristiche da freatiche a confinate (in presenza di depositi fini di copertura) e viene alimentato sia da monte (secondo la direzione di deflusso idrogeologico), sia per infiltrazione diretta (a seguito di precipitazioni meteoriche o durante la pratica irrigua);
- il circuito profondo (o confinato-artesiano), ospitato in orizzonti permeabili protetti al tetto da depositi impermeabili di significativo spessore ed estensione laterale); contrariamente a quello di superficie, nel circuito profondo viene favorito un flusso in senso laterale con alimentazione da aree poste idrogeologicamente a monte;

Le informazioni stratigrafiche disponibili indicano, per il circuito superficiale, un limite basale ad quota media di circa 20 m s.l.m., profondità alla quale compaiono potenti depositi impermeabili che limitano lo spessore del primo acquifero a circa 30-40 m.

La ricostruzione delle isopiezometriche ottenuta mediante letture freatimetriche dei pozzi del territorio comunale descrive una generale direzione di flusso sotterraneo orientata NNW-SSE e conferma il marcato effetto drenante esercitato dal Fiume Po (anche se sviluppato a distanza di alcuni chilometri) nei confronti del circuito idrogeologico più superficiale. L'assetto piezometrico si traduce anche in termini di gradienti e di soggiacenza della superficie piezometrica: i gradienti (prossimi allo 0.4%) e la soggiacenza (sino ad un massimo di circa 12 m) maggiori si rilevano nella porzione meridionale del territorio, in prossimità della scarpata che terrazza il Livello Fondamentale della Pianura; i valori minori (gradienti nell'ordine dello 0.1% e soggiacenza di circa 5 m), invece, si riscontrano nel margine settentrionale del Comune.

Il settore di studio è posto al limite tra il settore centro settentrionale e quello centro meridionale con soggiacenza della falda misurata in -8.4 m da p.c..

In tutto il territorio comunale, così come in un suo intorno significativo, non sono note registrazioni sistematiche delle oscillazioni piezometriche che consentano di effettuare considerazioni idrogeologiche in merito a possibili variazioni delle linee di flusso nel breve periodo (periodi di minima e massima escursione annua) e nel lungo periodo. Si esclude pertanto che la pratica irrigua o le precipitazioni meteoriche, anche se intense o concentrate in taluni periodi dell'anno, siano in grado di modificare in modo sostanziale le linee di flusso sotterraneo.

Nell'area oggetto di indagine la superficie piezometrica è posta a metà tra le curve isopiezometriche di -76 e -78 m s.l.m. corrispondente ad una soggiacenza di circa 2 e 4 m da p.c.

Nel corso delle prove è stata rilevata una falda sospesa a circa -2.4 m da p.c., confermando il dato bibliografico.

### **2.3 Indicazioni componente geologica PGT comunale**

Dal punto di vista della fattibilità geologica, redatta a supporto del PGT, l'area oggetto di intervento è in classe 3A: fattibilità con consistenti limitazioni legate alla bassa soggiacenza della falda.

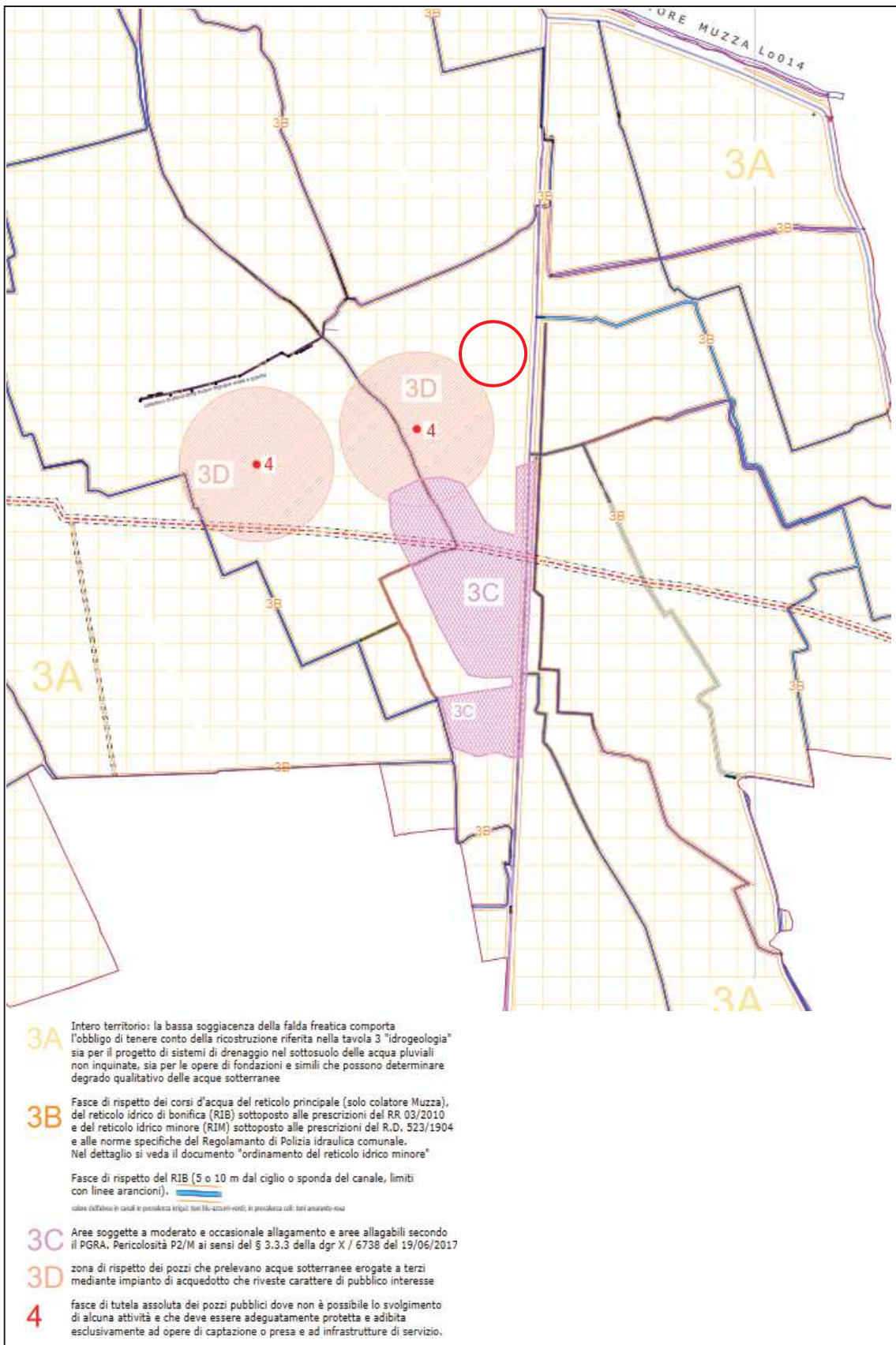


Figura 4: Carta fattibilità geologica ( TAV 5 Studio Geologico PGT)

Infine nella Carta della pericolosità Sismica Locale, l'area di studio è classificata in zona Z4a: zone

con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi.

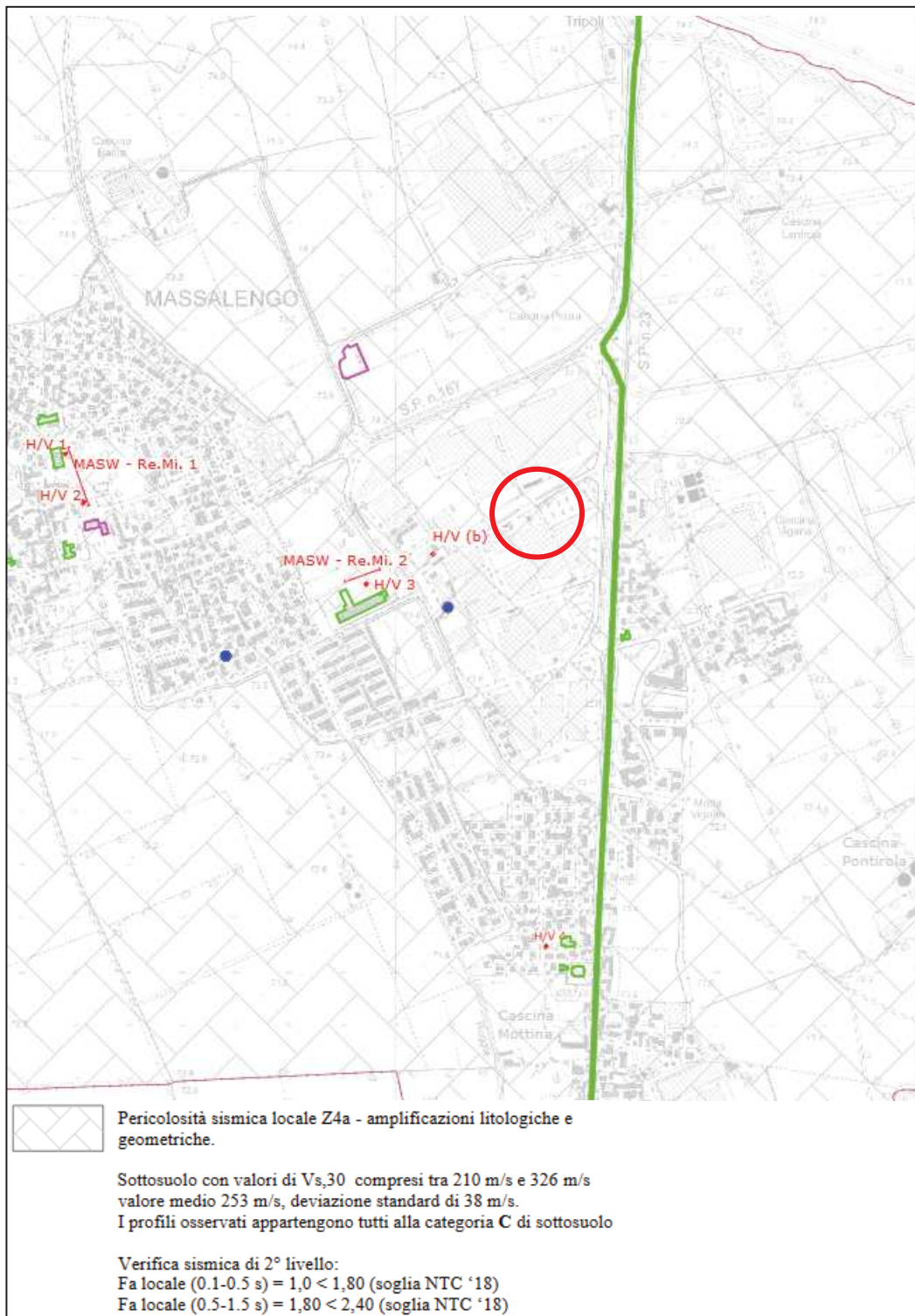


Figura 5: Carta della Pericolosità Sismica Locale (TAV 8 Studio Geologico PGT)

## 2.4 Indagini in sito

### 2.4.1 Prove penetrometriche SCPT

L'indagine geognostica è consistita nell'esecuzione di n° 2 prove penetrometriche SCPT eseguite in corrispondenza dell'impronta delle fondazioni del futuro serbatoio, così come illustrato nello schema in fig.7.

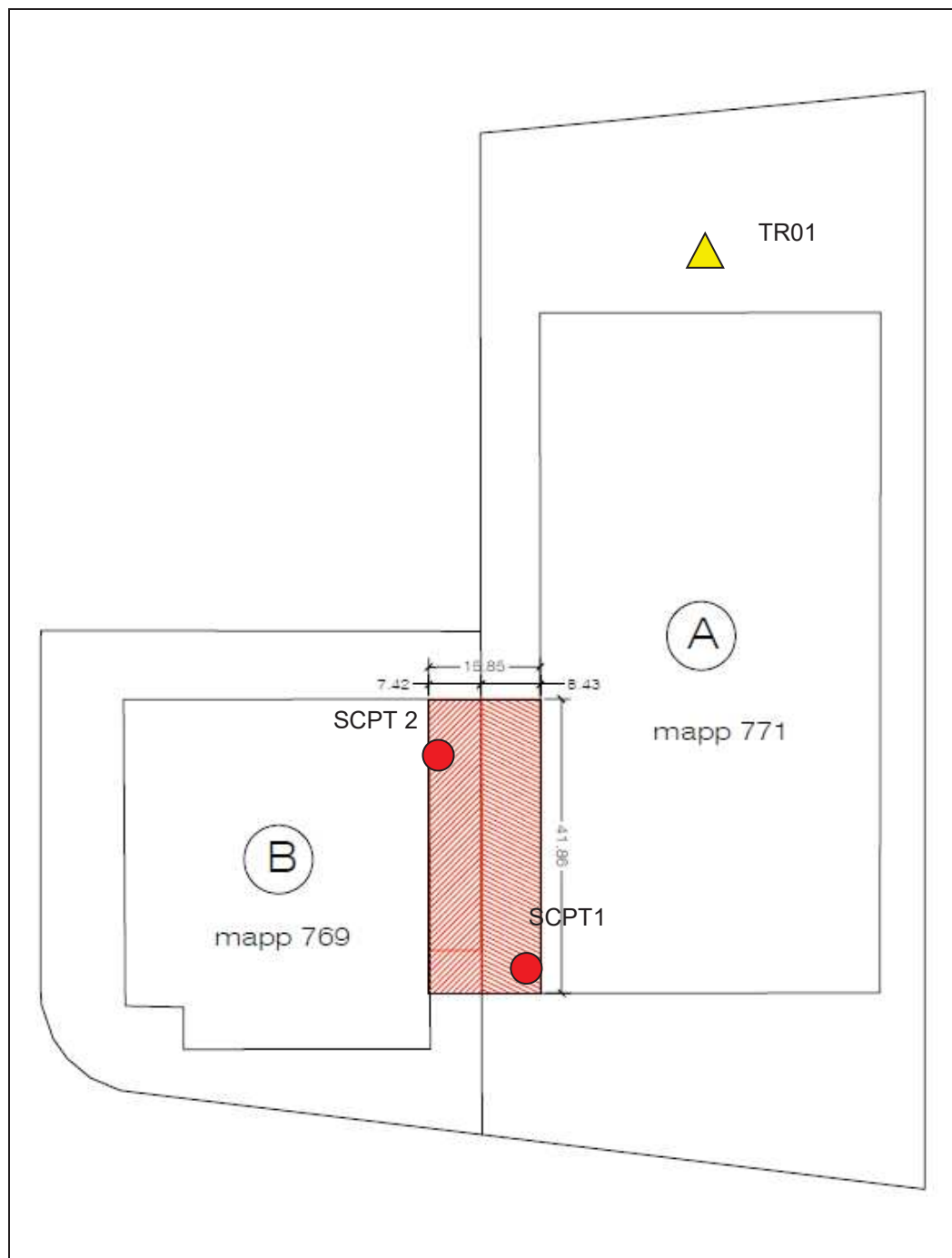


Figura 6: Ubicazione prove penetrometriche SCPT ( ● ) e geofisiche ( ▲ )

Le prove penetrometriche dinamiche DPSH-SCPT sono state eseguite con penetrometro dinamico pesante PAGANI TG 63-100, montato su cingoli in gomma, i cui componenti sono rigorosamente conformi alle norme geotecniche in materia.

In particolare il penetrometro impiegato può essere descritto come classe DPSH.

I dati tecnici del penetrometro sono così riassumibili:

<b><i>Diametro delle aste</i></b>	<b>: 32 mm</b>	
<b><i>Diametro dei rivestimenti</i></b>	<b>: 48 mm</b>	<b>1" ½</b>
<b><i>Punta conica – diametro</i></b>	<b>: 50.8 mm</b>	<b>2"</b>
<b><i>Conicità</i></b>	<b>: 90°</b>	
<b><i>Peso del maglio</i></b>	<b>: 63,5 kg</b>	<b>160 libbre</b>
<b><i>Altezza di caduta (volata)</i></b>	<b>: 75 cm</b>	<b>30"</b>

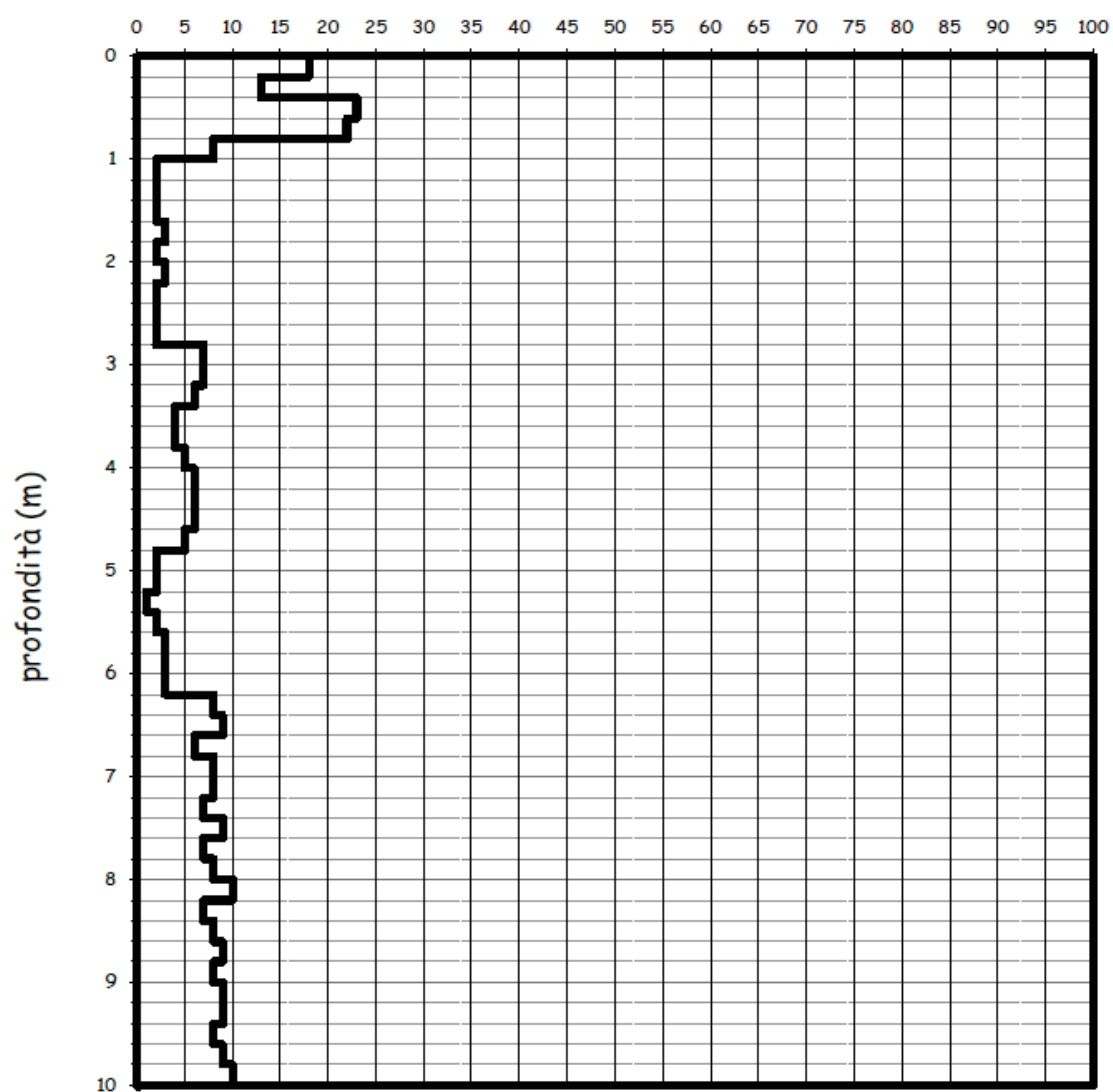
La prova consiste nel misurare il numero dei colpi (N20) necessari all'infissione delle aste D. 32 mm per un intervallo pari a 20 centimetri.

Nelle figure seguenti vengono esposti i diagrammi relativi alla prova SCPT dove, in ascissa, in funzione della profondità, con linea continua viene esposto il valore "N<sub>SCPT</sub>" relativo all'avanzamento delle aste.

Massalengo (LO)  
19/07/2021

# **PROVA PENETROMETRICA SCPT1**

numero dei colpi (N)



Maglio: 63,5 kg Corsa: 75 cm  
Punta: 51 mm Conicità: 90°  
D Aste: 32 mm

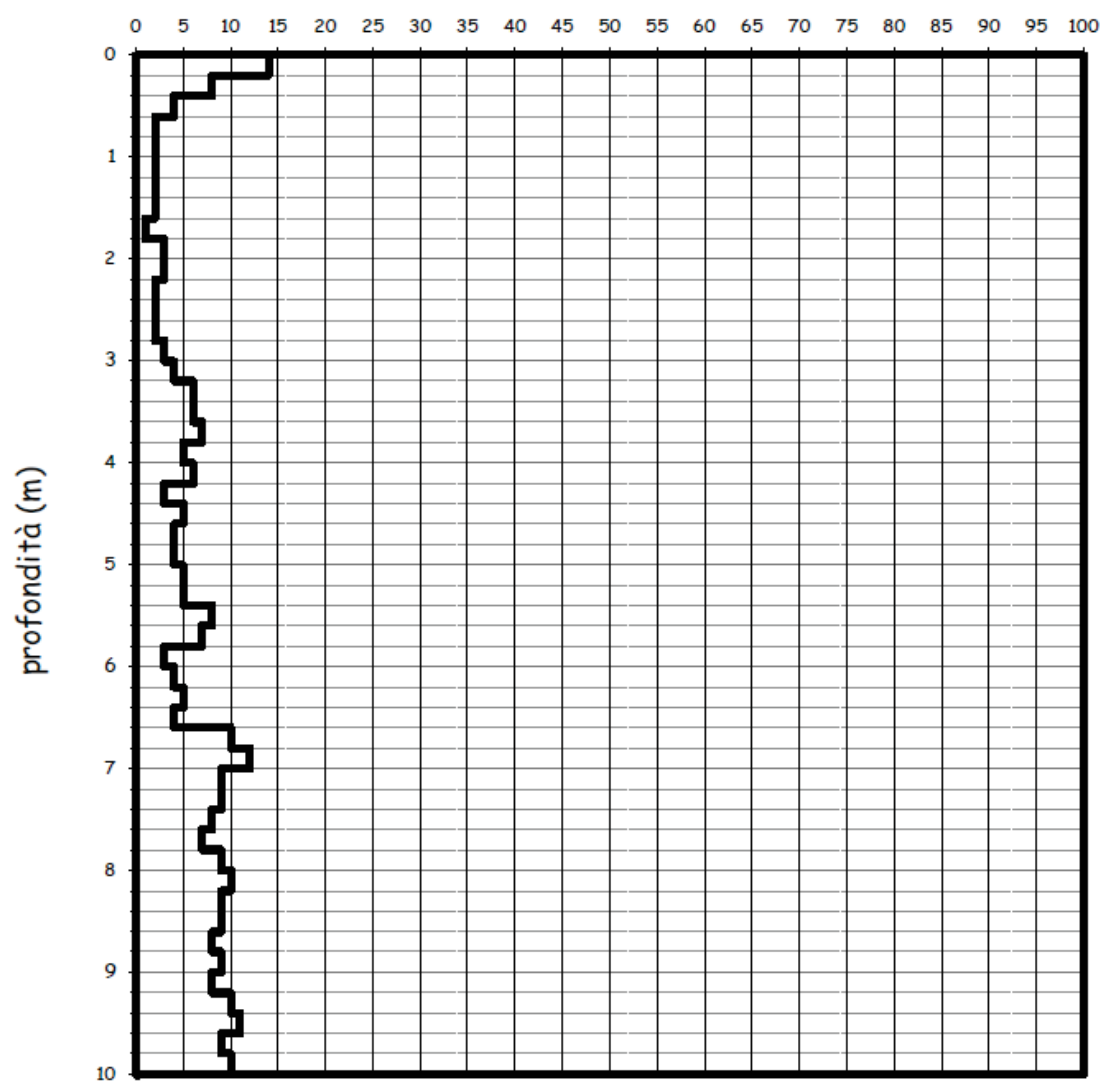
— Punta

Figura 7: SCPT n° 1

Massalengo (LO)  
19/07/2021

## PROVA PENETROMETRICA SCPT2

numero dei colpi (N)



Maglio: 63,5 kg Corsa: 75 cm  
Punta: 51 mm Conicità: 90°  
D Aste: 32 mm

— Punta

Figura 8: SCPT n° 2

#### 2.4.2 Indagine SISMICA HVSR

##### Premessa

La metodologia d'indagine HVSR (detta anche tecnica di Nakamura, 1989) è una tecnica sismica passiva che prevede la misura del "rumore ambientale" o "microtremore", della superficie terrestre dovuto a fenomeni sia naturali (es. vento) che antropici.

Il metodo porta ad individuare eventuali fenomeni di amplificazione sismica e risonanza dovuti alla stratigrafia locale ed alle discontinuità presenti nel substrato.

La tecnica è non invasiva, rapida e non necessita di fonti di energizzazione esterne, dato che il rumore ambientale è ovunque presente.

Essa sfrutta le basi teoriche dei metodi sismici tradizionali (riflessione, rifrazione), unite a quelle dei microtremori.

Lo spessore di uno strato, noto da precedenti indagini (es. sondaggio, prove penetrometriche, etc.) e la velocità delle onde S di taglio in tale strato determinano la "frequenza fondamentale di risonanza" delle onde secondo la relazione:

$$f_0 = V_s/4h,$$

dove  $V_s$  è la velocità delle onde S nello strato attraversato ed  $h$  il suo spessore.

I microtremori sono principalmente legati alle onde superficiali, in particolare alle onde di Rayleigh, e solo in parte alle onde di volume P o S. Nelle analisi si fa ad ogni modo riferimento alle onde S dato che la velocità delle onde di Rayleigh è molto simile a quella delle onde S.

La frequenza fondamentale di risonanza del sito è legata al passaggio delle onde da un materiale ad un altro avente diversi valori di velocità delle onde sismiche e di densità, quindi è legata alla presenza di un contrasto d'impedenza acustica.

Il rapporto H/V permette di determinare tale frequenza fondamentale.

Tramite opportuni algoritmi si può compiere un'inversione degli spettri H/V al fine di determinare i profili di velocità delle onde di taglio S e quindi il valore  $V_{s30}$  (velocità delle onde S a 30 m di profondità), come previsto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni.

Il significato teorico del rapporto spettrale H/V è abbastanza immediato nel caso in cui si consideri un mezzo semplice formato da due soli strati: il bedrock ed uno strato superficiale più soffice.

Si precisa che per bedrock si intende qualunque strato con velocità nettamente maggiore di quello sovrastante, in grado di determinare un picco di risonanza; tale strato non deve necessariamente essere una roccia ma, soprattutto in ambiti di pianura, può essere una sabbia o una ghiaia.

Per quanto riguarda, infine, l'elaborazione delle misure, sulla tomografia eseguita sono state eseguite le seguenti operazioni.

- **Analisi della traccia.** La pulizia della traccia è preliminare a qualsiasi tipo di modellazione. La rimozione dei disturbi è di fondamentale importanza anche per l'analisi delle curve H/V. Tali

curve devono essere statisticamente significative, ossia essere caratterizzate da una deviazione in ampiezza e in frequenza ridotta. Quando questa caratteristica non sia presente sin dall'inizio, essa va ricercata tramite una pulizia del tracciato.

- **Modellazione.** L'osservazione simultanea delle curve H/V e degli spettri delle singole componenti permette di distinguere i picchi di origine stratigrafica da quelli di natura antropica. Un picco di origine naturale individuato sulla curva H/V coincide, sugli spettri delle singole componenti, ad un minimo locale della componente spettrale verticale.

Di seguito si riportano i risultati della misura.

#### MISURA N. TR01

<b>Frequenza di campionamento</b>	128 Hz	<b>Condizioni meteorologiche</b>	Nuvoloso
<b>Data registrazione</b>	07/01/2021	<b>Lunghezza finestre</b>	20 s
<b>Terreno di misura</b>	Terra	<b>Tipo di lisciamento</b>	Triangular window
<b>Accoppiamento suolo strumento</b>	Piedini lunghi	<b>Lisciamento</b>	10 %
<b>Orientamento dello strumento</b>	Nord	<b>Durata della registrazione</b>	16' 00"
<b>Vincolo stratigrafico</b>	Prova penetrometrica dinamica		

#### Modellazione

Di seguito i grafici H/V con interpolazione della curva in base al vincolo stratigrafico e la curva h/v con le varie componenti orizzontali e verticale.

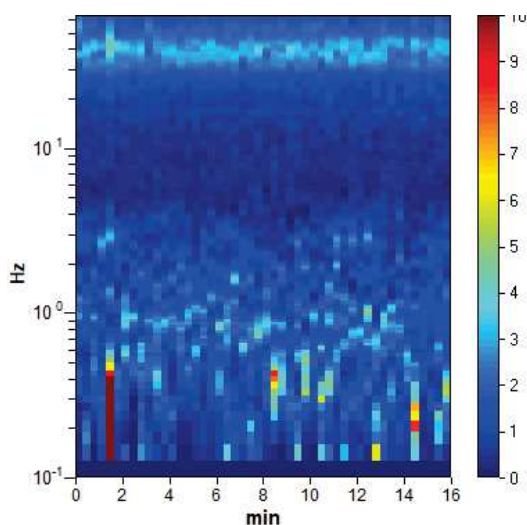


Diagramma spettri Freq/tempo

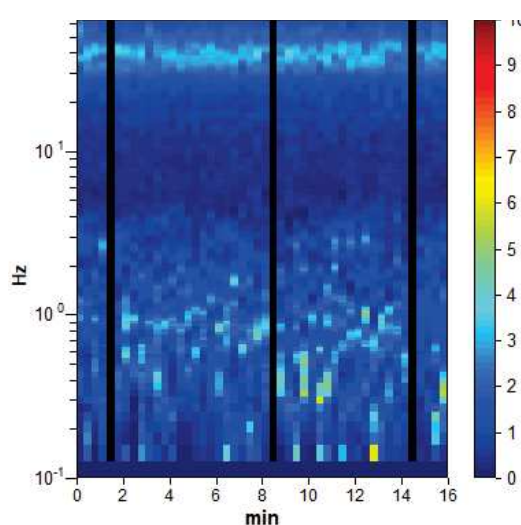
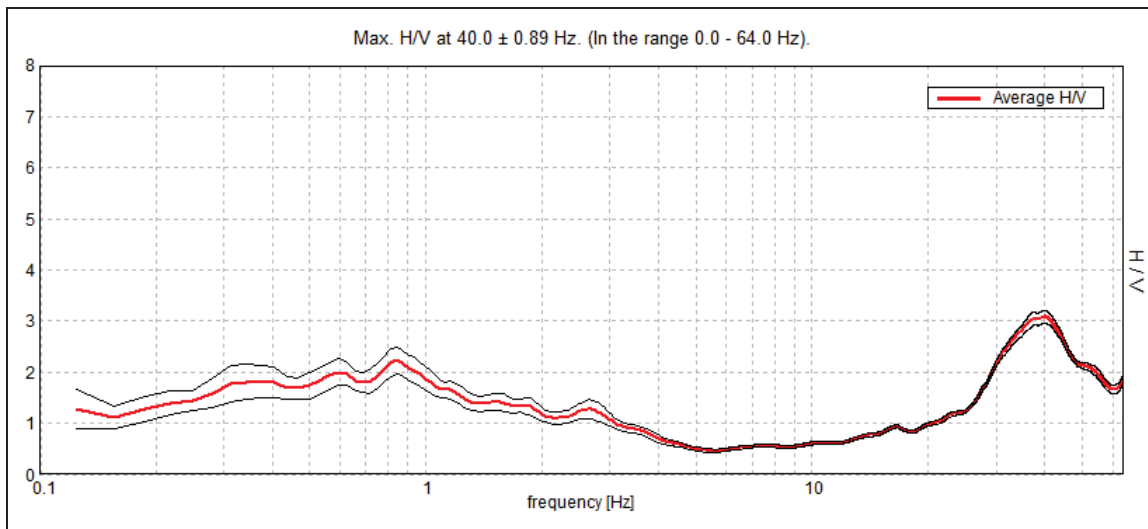
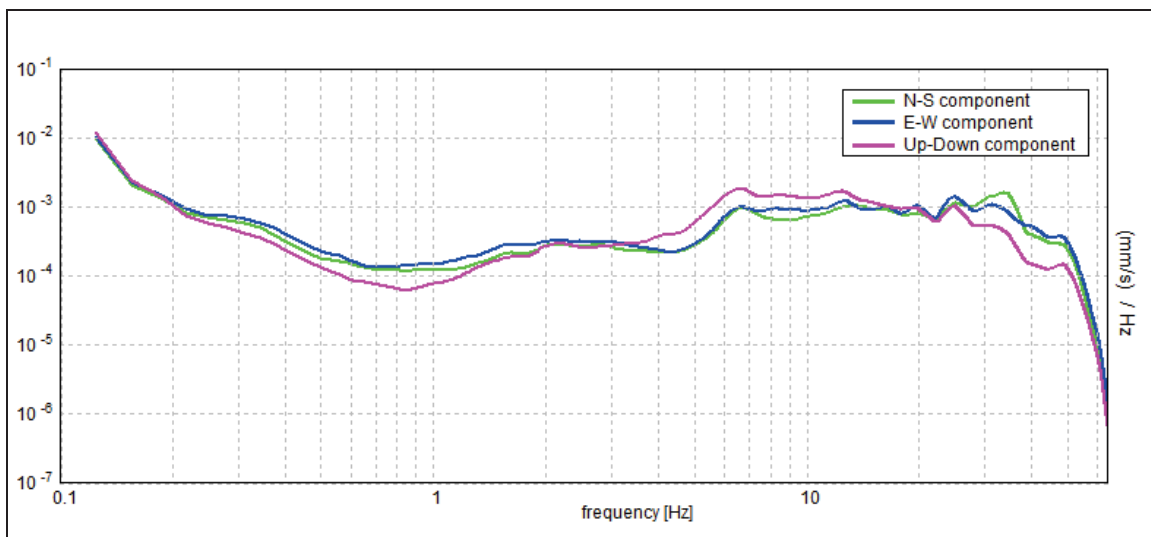


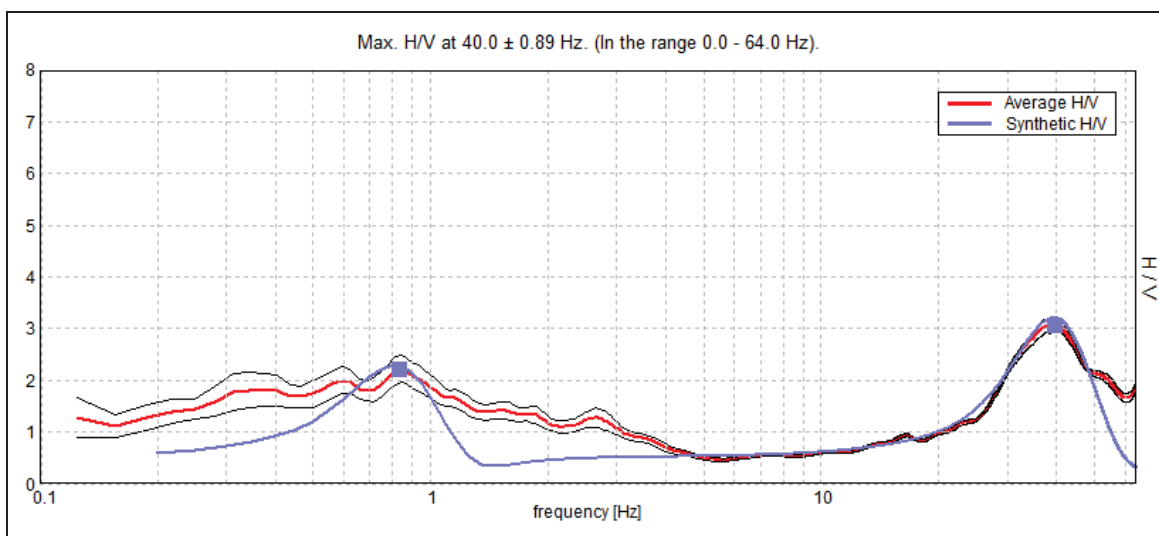
Diagramma spettri Freq/tempo depurato



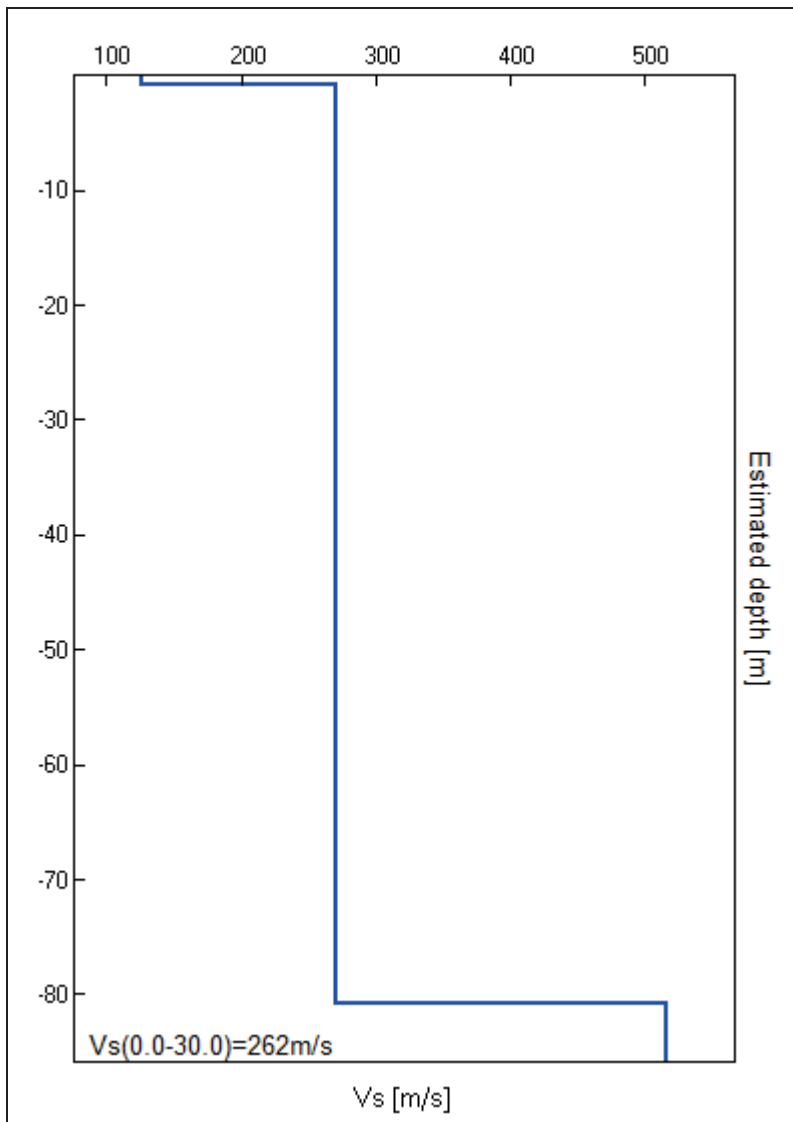
Curva H/V



Curva h/v con le componenti orizzontali e verticale



Curva H/V Interpolata



Curva Vs 30

<b>Profondità alla base dello strato [m]</b>	<b>Spessore [m]</b>	<b><math>V_s</math> [m/s]</b>
0.8	0.8	126
8.80	80.00	270
$\infty$	$\infty$	516

Andamento valori di Vs30 con la profondità

## Risultati

La misura effettuata ha fornito il seguente valore di Vs30: 262 m/s che permette di attribuire il suolo alla categoria sismica C e conferma i dati bibliografici forniti dal PGT .

Nel caso in esame lo spettro H/V ha consentito di individuare le frequenze di risonanza del terreno, che mostrano i seguenti valori:

- 0.85 Hz,
- 40 Hz.

In fase di progettazione occorrerà prestare particolare attenzione alla frequenza di vibrazione fondamentale della struttura, al fine di evitare il fenomeno della doppia risonanza.

In caso di sisma, infatti, danni maggiori si hanno in quelle strutture la cui frequenza naturale di vibrazione è prossima alla frequenza naturale di vibrazione del terreno (fenomeno della doppia risonanza). Le ampiezze di oscillazione del terreno e dell'edificio si combinano, amplificando in maniera disastrosa le sollecitazioni sulla struttura.

Il fenomeno della doppia risonanza consente di spiegare il danneggiamento selettivo che si osserva quasi sempre nelle aree colpite da un sisma. Variando le condizioni geologiche locali, varia la frequenza naturale del terreno. Edifici con simile frequenza naturale possono subire livelli di danno molto differenti fra loro, perché posti in siti dove cambia la situazione geologica.

## **2.5 Classificazione sismica**

La Regione Lombardia, con D.G.R. 11 luglio 2014 n. 2129, ha provveduto all'aggiornamento della classificazione sismica dei Comuni indicando per Massalengo la classe "3", con AgMax pari a 0.07.

Individuazione della pericolosità del sito

TR (anni)	Ag (g)	F0(-)	TC*(s)
30	0.026	2.518	0.194
50	0.032	2.556	0.213
72	0.037	2.574	0.224
101	0.041	2.568	0.249
140	0.047	2.550	0.261
201	0.054	2.578	0.267
475	0.072	2.580	0.286

Stato Limite	TR (anni)	Ag (g)	F0(-)	TC*(s)
SLO	30	0.026	2.518	0.194
SLD	50	0.032	2.556	0.214
SLV	475	0.072	2.580	0.286
SLC	975	0.091	2.568	0.297

## 21

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

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

Sulla scorta dell'indagine HVSR eseguita sull'area di studio, i terreni dei Livelli stratigrafici individuati appartengono alla categoria "C" con una Vs 30 misurata da p.c., corrispondente a 262 m/sec. Nell'analisi di II livello eseguita nell'ambito della PSL all'interno del territorio comunale, le Fa locali nei vari intervalli temporali considerati (0.1s-0.5s; 0.5s-1.5s) sono risultate inferiori ai livelli di soglia indicati nelle NTC 2018 pertanto viene confermata la categoria di suolo C individuata dall'indagine.

Per determinare i parametri dello spettro di risposta elastico delle componenti orizzontali si potrà fare riferimento alla tabella:

Categoria suolo	S	TB	TC	TD
A	1.00	0.15	0.40	2.00
B-C-E	1.25	0.15	0.50	2.00
D	1.35	0.20	0.80	2.00

Mentre per quelli della componente verticale:

Categoria suolo	S	TB	TC	TD
A-B-C-D-E	1.00	0.05	0.15	1.00

## 2.7 Definizione dei parametri e dei coefficienti sismici

In considerazione che la struttura in progetto risulta assimilabile alla categoria "edifici bassi e compatti" verrà considerata la categoria di suolo C.

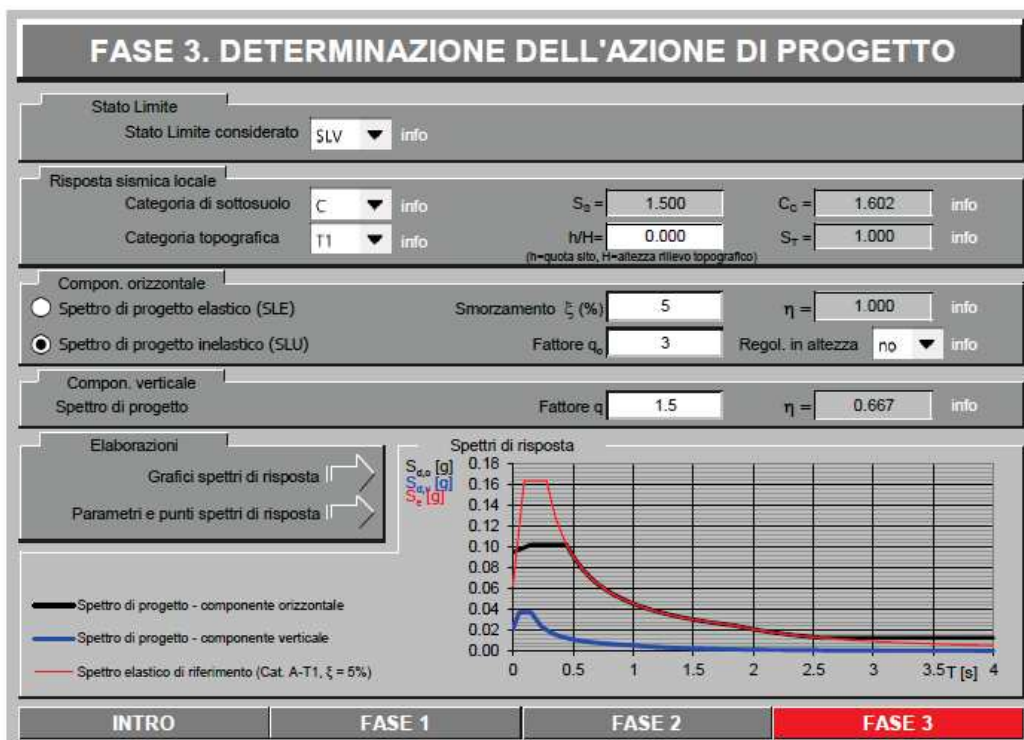
Categoria sottosuolo:	C	Categoria topografica:	T1
Periodo di riferimento:	50anni	Coefficiente $c_u$ :	1.0

	SLO	SLD	SLV	SLC
$S_s^*$ (ampl. stratigrafica)	1.50	1.50	1.50	1.49
$C_c^*$ (coeff.funz. cateq.)	1.64	1.64	1.57	1.56
$S_t^*$ (amplificazione topografica)	1.00	1.00	1.00	1.00

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
$k_h$	0.012	0.013	0.039	0.048
$k_v$	0.006	0.006	0.019	0.024
$A_{max}$ [m/s <sup>2</sup> ]	0.638	0.684	1.579	1.966
Beta	0.180	0.180	0.240	0.240

## 2.8 Determinazione dell'azione di progetto

SLU



SLE

FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

**Stato Limite**  
 Stato Limite considerato: SLD info

**Risposta sismica locale**

Categoria di sottosuolo: C info

Categoria topografica: T1 info

$S_s =$  1.500

$h/H =$  0.000  
(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

$C_c =$  1.786 info

$S_T =$  1.000 info

**Compon. orizzontale**

☒ Spettro di progetto elastico (SLE)

☐ Spettro di progetto inelastico (SLU)

Smorzamento  $\xi$  (%): 5

Fattore  $q_0$ : 3

$\eta =$  1.000 info

Regol. in altezza: no info

**Compon. verticale**  
 Spettro di progetto

Fattore  $q$ : 1.5       $\eta =$  0.667 info

**Elaborazioni**

Grafici spettri di risposta ➔

Parametri e punti spettri di risposta ➔

INTRO

FASE 1

FASE 2

FASE 3

## 2.9 Approfondimento di III livello: verifica liquefazione

In considerazione delle condizioni al contorno dell'area oggetto di studio, viene eseguita una verifica del potenziale di liquefazione. Di seguito gli estratti del foglio di calcolo utilizzato con verifica del FS valutato dal rapporto CRR/CSR con, nelle caselle verdi, i valori utilizzati e dedotti dall'indagine eseguita, considerando la profondità della falda a -2.5 m da p.c. come indicato nel PGT. Di seguito Magnitudo di riferimento per la città di Lodi fornito da INGV - catalogo DBMI15 e considerata per il calcolo :

5-6	1781 09 10 11 30	Pianura lombarda	11	6-7 4.93
-----	------------------	------------------	----	----------

Nelle immagini allegate il risultato delle verifiche seguenti:

VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE				da inserire
				calcola automaticamente
Magnitudo di riferimento	M	4.93	<a href="http://esse1-gis.mi.ingv.it/">http://esse1-gis.mi.ingv.it/</a>	Digitare il nome del comune e verifica la magnitudo di riferimento
Numero colpi da prova penetrometrica	$N_{1,60,cs}$	5		
Velocità onde S strato di riferimento	$V_s$	270 m/s		
Velocità normalizzata per la pressione litostatica	$V_{s1}$	190.9 m/s		
Accelerazione massima al suolo	$a_{max}$	1.6 m/s²	Accelerazione del mio sito sul piano campagna (comprensivo di amplificazione) SLV	
Accelerazione di gravità	g	9.8 m/s²		
Profondità media strato oggetto di verifica	Z	2.5 m	Va inserita la profondità nel punto mediano dell'orizzonte di cui si vuole effettuare la verifica	
Peso di volume saturo (peso secco + 0.5)	$\gamma_s$	215 kN/m³		
Peso di volume immerso (peso saturo-1)	$\gamma'$	205 kN/m³		
Pressione atmosferica	$P_a$	100 kN/m²		
Pressione litostatica totale	$\sigma_v$	537.5 kN/m²		
Pressione litostatica effettiva	$\sigma'_v$	512.5 kN/m²		
Coefficiente di riduzione della rigidità	$r_d$	0.984	Correlazione NCEER (2001)	
Coefficiente di riduzione della rigidità	$r_d$	0.902	Correlazione Golesorkhi (1989) - Idriss (1999) - Idriss & Boulanger (2010)	
Fattore di correzione magnitudo del sito	MSF	3.46		
Coefficiente di correzione per pressione litostatica	$K_c$	0.88	Correlazione SPT	
Coefficiente di correzione per pressione litostatica	$K_c$	0.79	Correlazione $V_s$	

$CSR_{7.5} = 0.65 \left( \frac{a_{max}}{g} \right) \left( \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \right)^{0.5} \left( \frac{1}{MSF} \right) \left( \frac{1}{K_c} \right)$				0.035	UTILIZZANDO SPT	FATTORE DI SICUREZZA VALUTATO DAL RAPPORTO CRR/CSR
$CRR = \exp \left[ \left( \frac{N_{1,60,cs}}{14.1} \right) + \left( \frac{N_{1,60,cs}}{126} \right)^2 - \left( \frac{N_{1,60,cs}}{23.6} \right)^3 + \left( \frac{N_{1,60,cs}}{25.4} \right)^4 - 2.8 \right]$				0.086		
$CSR_{7.5} = 0.65 \left( \frac{a_{max}}{g} \right) \left( \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \right)^{0.5} \left( \frac{1}{MSF} \right) \left( \frac{1}{K_c} \right)$				0.039	UTILIZZANDO $V_s$	FATTORE DI SICUREZZA VALUTATO DAL RAPPORTO CRR/CSR
$CRR_{7.5cs} = 0.22 \left[ \frac{(V_{s1})_{csol}}{100} \right]^2 + 2.8 \left[ \frac{1}{215 - (V_{s1})_{csol}} - \frac{1}{215} \right]$				0.18335		

In entrambi i casi, considerando i valori di SPT e i valori di  $V_s$  ricavati dall'indagine, risulta che i terreni non sono suscettibili di liquefazione dalla profondità di -2.5 m da p.c. (al di sotto della quota media della falda).

### 3 - RELAZIONE GEOTECNICA – VERIFICA DELLA SICUREZZA E DELLE PRESTAZIONI

#### 3.1 Considerazioni stratigrafiche e geotecniche

Le prove penetrometriche eseguite, hanno consentito di ricostruire la stratigrafia fino alla massima profondità investigata di 10 m.

In base ai risultati è stata ricostruita la successione dei Livelli Stratigrafici Geotecnici: le descrizioni stratigrafiche sono da ritenere indicative anche se dedotte in modo diretto durante l'esecuzione delle prove dai residui di materiale depositato sulle aste di avanzamento e dalla reazione delle stesse all'estrazione (forte attrito continuo, attrito discontinuo, aste che "grattano").

**LIVELLO [1]:** da piano di esecuzione delle prove fino alla profondità variabile e compresa tra -2.8 e -3.2 m da p.c.: al di sotto di uno strato di riporto di 0.3 m, si tratta limi sabbiosi sciolti, con valori di  $N_{20}$  mediamente non superiori a 3. A tale livello è possibile attribuire, cautelativamente, un valore di angolo di attrito di  $25^\circ$  ed un peso di volume di  $1.65 \text{ T/m}^3$ .

Dal punto di vista della caratterizzazione geotecnica si rimanda all'allegato schema ("Profilo stratigrafico e caratterizzazione geotecnica") ricordando che:

Densità Relativa:	correlazione tra $N_{SCPT}$ e Densità relativa (%) di Terzaghi-Peck
Peso di volume:	stima valutata in relazione a $N_{SCPT}$
Coesione non drenata:	(o resistenza al taglio non drenata), correlazione empirica secondo Terzaghi & Peck e secondo le indicazioni D.M. 7 Nav. Fac. 1982
Angolo di attrito:	correlazione tra $N_{SCPT}$ e $\Phi$ di Meyerhoff per terreni con una percentuale di sabbia fine e limo superiore a 5
Modulo elastico:	valutato da correlazioni empiriche tra $N_{SCPT}$ e il tipo di terreno

**LIVELLO [2]:** dal letto del livello precedente fino ad una profondità compresa tra -6.2/6.6 m: si tratta di depositi sabbiosi, poco addensati, saturi da -2.5 m, hanno manifestato valori di  $N_{20}$  compresi tra 3 e 6. A tale livello è possibile attribuire un peso di volume di volume saturo di  $1.2 \text{ T/m}^3$  e un angolo di attrito di  $27^\circ$ .

**LIVELLO [3]:** dal letto del livello precedente fino alla massima profondità di 10 m: si tratta di depositi sabbiosi debolmente ghiaiosi, mediamente addensati, e valori di  $N_{20}$  compresi tra 9 e 11. A tale livello è possibile attribuire un peso di volume saturo di  $1.35 \text{ T/m}^3$  e un angolo di attrito di  $33^\circ$ .

Relativamente ai “valori caratteristici,  $V_k$ ” della coesione non drenata e dell’angolo d’attrito interno, si è optato per considerarli pari a quelli medi ricavati dall’indagine, mentre i “valori di progetto  $V_p$ ” sono stati determinati utilizzando i coefficienti riduttivi parziali, indicati nelle *Norme Tecniche per le Costruzioni*).

**Tabella 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_c$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_r$	1,0	1,0

\*per le rocce ed i materiali lapidei non fratturati la resistenza può essere rappresentata dalla resistenza a compressione uniassiale  $q_u$  con un coefficiente parziale  $\gamma_{qu}=1.6$ .

La caratterizzazione stratigrafica allegata è il risultato di una valutazione mediata del numero di colpi fatto registrare durante l’esecuzione di tutte le prove penetrometriche.

Essa dovrà comunque essere verificata in sede di scavo e confrontata con le ipotesi fornite.

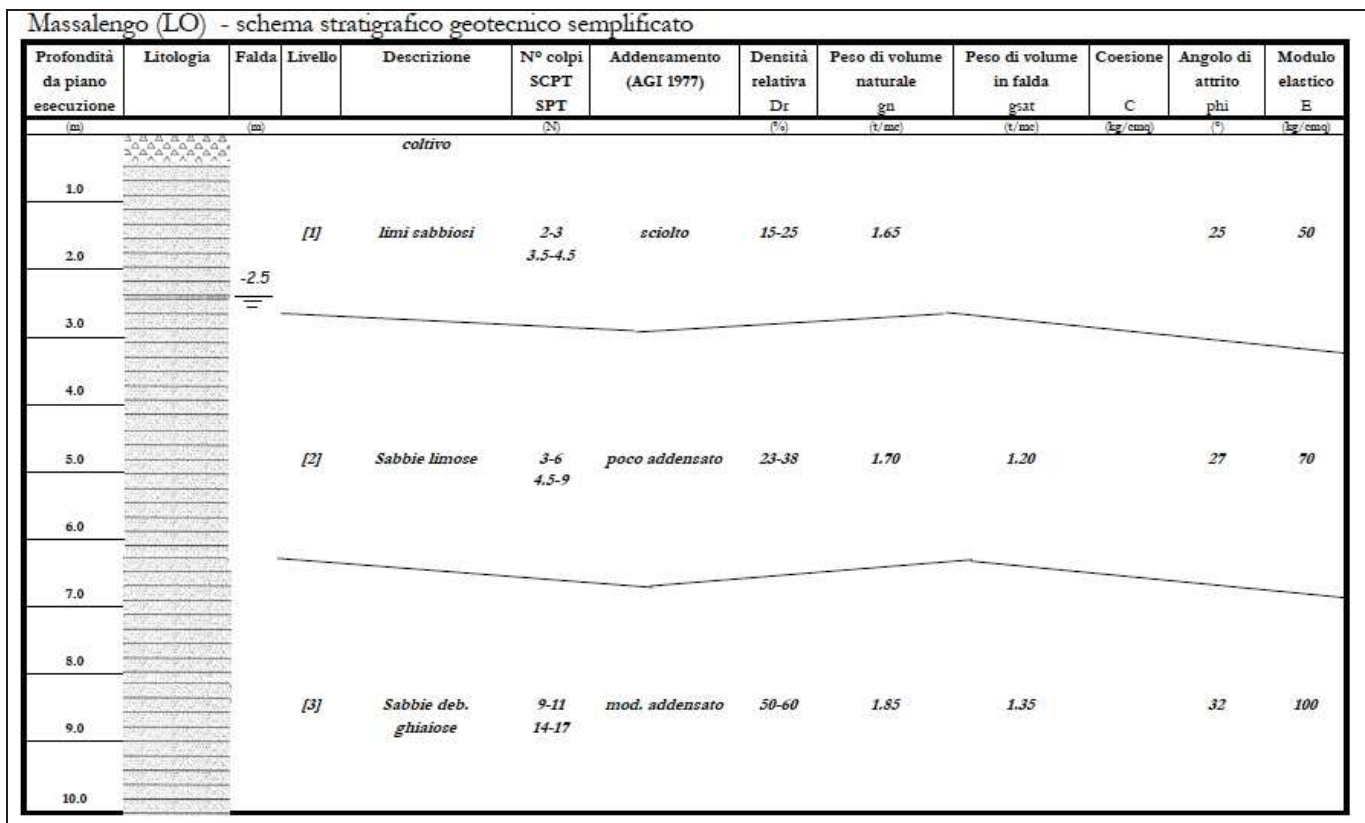


Figura 9: Profilo stratigrafico-geotecnico

### **3.2 Verifica della sicurezza e delle prestazioni**

-Fondazioni superficiali

Il progetto in esame contempla la realizzazione dell'ampliamento di un capannone esistente .

Si prevede la posa delle fondazioni a PLINTO poste a -2.0 m da p.c., in corrispondenza del livello stratigrafico [1], individuato dall'indagine.

-Verifica agli Stati Limiti Ultimi (SLU) e di Esercizio (SLE) - (N.T.C. 2018) e stima dei cedimenti

La norma in oggetto prevede la definizione del grado di sicurezza di una struttura relativamente alla possibilità di rottura o deformazione del terreno di fondazione, con un approccio di tipo semiprobabilistico, adottando il concetto di "*stato limite ultimo (SLU)*".

Mentre nel caso si esamini una situazione in cui la deformazione o il danno siano reversibili o cessino con l'estinguersi della causa che ha determinato il superamento dello stato limite si utilizza il concetto di "*stato limite di esercizio (SLE)*".

Vista la tipologia dell'opera le verifiche di tipo geotecnico sono effettuate seguendo l'approccio 2:

Approccio2:

(A1+M1+R3)

I valori di  $R_{d(SLE)}$  saranno espressi correlandoli con le valutazioni dei cedimenti indotti dalle resistenze in corrispondenza dei Livelli individuati al di sotto del piano di posa; in tal modo verranno calcolati i valori degli spostamenti e delle distorsioni del terreno al di sotto del piano di posa, per verificarne la compatibilità con i requisiti prestazionali della struttura in elevazione, nel rispetto della condizione:

$$E_d \leq C_d$$

dove:  $E_d$ : valore di progetto dell'effetto delle azioni.

$C_d$ : valore limite dell'effetto delle azioni

La verifica di stabilità globale deve essere effettuata secondo l'Approccio 2: (A2+M2+R2), tenendo conto dei coefficienti parziali per le azioni e i parametri geotecnici esposti in precedenza e i coefficienti parziali  $\gamma_R$  della tabella 6.8.I:

**Tabella 6.8.I – Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo.**

Coefficiente	R2
$\gamma_R$	1.1

### Fondazioni superficiali a PLINTO

E' stata verificata l'ipotesi progettuale che prevede una fondazione a plinto, poste alla profondità di circa -2.0 m da p.c..

Le formule, i coefficienti adimensionali e di forma proposti da Meyerhof (modificati secondo le NTC 2018), indicano valori di Resistenza del Sistema Geotecnico allo Stato Limite Ultimo (SLU), pari a:

-                    approccio 2:            **(M1+R3) = 3.0 daN/cm<sup>2</sup>**

Abbiamo considerato per le verifiche un valore di  $R_{d(SLE)}$  compatibile con i requisiti prestazionali della struttura che, per il plinto è pari a 1.6 daN/cm<sup>2</sup>.

### Verifica dell'equazione

I dati progettuali relativi al valore delle azioni (carichi permanenti ed accessori) dovranno fornire un valore di  $E_{dSLU}$  massimo inferiore o uguale al valore di 3.0 daN/cm e un valore di  $E_{dSLE}$  massimo inferiore o uguale a 1.6 daN/cm<sup>2</sup>.

### Stima dei cedimenti

Tenuto conto dei risultati dell'indagine in sito e della presenza di terreni con le caratteristiche geotecniche indicate in precedenza, sono stati calcolati i cedimenti totali teorici che si sarebbero registrati qualora le condizioni stratigrafiche locali avessero interagito con le opere di fondazione uniformemente sollecitate dalla somma delle azioni (carichi permanenti ed accessori) in condizioni di esercizio tenendo conto del carico del terreno asportato.

Per la valutazione dei cedimenti ci si è avvalsi delle relazioni suggerite da Poulos e Davis (1974) e da Timoshenko e Goodies (1951) che permettono di calcolare i valori dei cedimenti sia a brevissimo termine (in terreni granulari) che in condizioni "non drenate" (in terreni coesivi).

Alla luce di quanto sopra esposto e dei risultati ottenuti è stata verificata la seguente situazione:

**fondazione a PLINTO di lato pari a 3.0 m, posto alla profondità di 2.0 m da p.c., rinterro sulla fondazione pari a 1.5 m; applicando il valore di  $R_{dSLE}$  pari a 1.6 daN/cm<sup>2</sup> si prevedono cedimenti del terreno di circa 20 mm non compensati dalla tipologia di fondazione prevista.**

Resta inteso che l'entità dei cedimenti qui stimati, dovrà essere confrontata con quella che il

progettista ritiene essere compatibile con la durabilità e l'esercizio dell'opera nelle diverse condizioni.

In alternativa, nel caso i carichi applicati non siano compatibili con le resistenze dei terreni, si consigliano fondazioni profonde su pali, che dovranno essere dimensionati da tecnico abilitato.

.

#### **4 - CONCLUSIONI**

Nell'ambito del progetto esecutivo che prevede l'esecuzione dell'ampliamento di un capannone industriale esistente in via Industrie n° 6 in comune di Massalengo (LO), è stata eseguita la seguente Relazione Geologica Sismica con verifiche Geotecniche per la verifica delle caratteristiche geologiche idrogeologiche sismiche e geotecniche del sito di intervento.

L'area è considerata dal PGT del Comune di Massalengo classe 3A: fattibilità con consistenti limitazioni legate alla bassa soggiacenza della falda.

L'indagine si è svolta mediante un'indagine geognostica con esecuzione di n° 2 prove penetrometriche SCPT in corrispondenza dell'ingombro del futuro fabbricato che hanno consentito di definire le caratteristiche stratigrafiche, idrogeologiche e geotecniche dei terreni di fondazione ed un'indagine geofisica mediante l'esecuzione di una tomografia HVSR mirata alla verifica delle Vs30 in sito.

Oltre alle verifiche geotecniche è stata eseguito un rilievo geologico in sito ed un'analisi delle fonti bibliografiche esistenti (Studio Geologico allegato al PGT di Massalengo).

Sono state verificate le ipotesi progettuali relativamente alla tipologia di fondazione prevista in rapporto alle sollecitazioni: plinti isolati posti alla profondità di -2.0 m.

Dal punto di vista della gestione delle acque meteoriche raccolte dalle nuove superfici impermeabilizzate si rimanda al Progetto di Invarianza Idraulica (come da R.R. 9-2019).

Dal punto di vista della compatibilità degli interventi di trasformazione territoriale l'area non presenta alcuna restrizione dal punto di vista né geologico né idrogeologico anche in considerazione che non si prevedono piani interrati.

- a) nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n°3274 del 20 Marzo 2003 relativa alla normativa sismica
- b) nelle Norme Tecniche per le Costruzioni (Ministero delle infrastrutture e dei trasporti, 2008) e che prevedono un approccio agli stati limite
- c) nel D.G.R. 11 luglio 2014 - n. X/2129 Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r.1/2000, art. 3, c. 108, lett. d)
- d) nella L.R. 12 ottobre 2015, n.33 - Disposizioni in materia di opere o di costruzioni e

relativa vigilanza in zone sismiche

e) nel D.G.R. 30 marzo 2016 – n. X/5001 Approvazione delle linee guida di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica ((artt . 3, comma 1, e 13, comma 1, della l.r .33/2015)

Si rimane a disposizione per qualsiasi chiarimento.