



COMUNE DI BREMBATE


Provincia di Bergamo

Committente: Amministrazione Comunale

INTERVENTO DI SISTEMAZIONE DEL TRATTO "B" DI VIA CANONICA

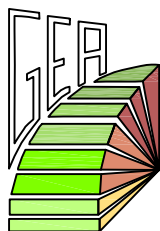
TITOLO ELABORATO

RELAZIONE GEOLOGICO - GEOTECNICA SISMICA - IDRAULICA

N. PRATICA	TIPOLOGIA	FASE PROG.	SCALA	ELABORATO
20_063	IDR - IGG	-	-	

REVISIONE	DATA	DESCRIZIONE
0	Luglio 2020	Prima emissione
1		
2	-	-
3	-	-

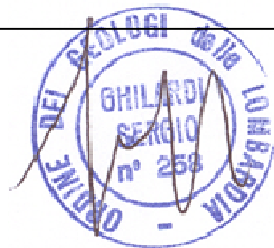
PROGETTISTI



Studio G.E.A.

24020 RANICA (Bergamo)
Via Patta, 30/D
Telefono e Fax: 035.340112
E - Mail: gea@mediacom.it

Dott. Geol. SERGIO GHILARDI
iscritto all' O.R.G. della Lombardia n. 258



Dott. Ing. FRANCESCO GHILARDI
iscritto Ord. Ing. Prov. BG n. 3057



SOMMARIO

1	PREMESSA.....	3
2	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	4
3	SINTERSI DEGLI INTERVENTI	5
4	QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO	7
	4.1 Disamina degli strumenti	7
	4.2 Considerazioni sulla fattibilità dell'opera	12
5	MODELLO GEOLOGICO DEL SITO	14
	5.1 Inquadramento geomorfologico	14
	5.2 Inquadramento geologico	16
	5.2.1 Assetto stratigrafico.....	16
	5.2.2 Descrizione delle unità.....	17
	5.3 Inquadramento idrografico e idrogeologico	18
6	INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	19
	6.1 Premessa	19
	6.2 Prove penetrometriche dinamiche	21
	6.2.1 Caratteristiche delle prove	21
	6.2.2 Profondità raggiunta dalle prove e livelli litotecnici determinati.....	26
	6.3 Indagini sismiche	27
	6.3.1 Dati generali	27
	6.3.2 Descrizione delle tecniche utilizzate	28
	6.3.3 Tecniche multicanale a onde di superficie	29
	6.3.4 Tecnica H/V	32
	6.3.5 Indagine REMI.....	35
	6.3.6 Indagini H/V.....	37
	6.3.7 Risultati ottenuti	41
7	MODELLO GEOTECNICO DEL SITO	44
	7.1 Caratterizzazione stratigrafica	44
	7.2 Parametrizzazione geotecnica	46
	7.2.1 Premessa tecnica	46
	7.2.2 Correlazioni geotecniche.....	48
	7.2.3 Attribuzione dei parametri.....	53
8	RISPOSTA SISMICA E STABILITÀ DEL SITO	54
	8.1 Azione sismica (questa sezione è tratta dalle NTC2018).....	54
	8.1.1 Parametri sismici puntuali.....	55
	8.1.2 Stati limite e probabilità di superamento	56
	8.1.3 Categorie di sottosuolo	57
	8.1.4 Condizioni topografiche	60



8.2	Risposta sismica locale – Componente sismica dei P.G.T. Comunali	61
8.2.1	Generalità e metodologie di analisi	61
8.2.2	1° Livello – carta della PSL	64
8.2.3	2° livello – Verifica del fattore di amplificazione Fa	66
8.3	Adeguatezza del sito di costruzione	69
8.4	Adeguatezza del terreno di fondazione.....	69
8.4.1	Liquefazione	69
8.4.2	Cedimenti sismici	69
9	INDICAZIONI TECNICHE.....	70
9.1	Consigli e prescrizioni di carattere generale	84
10	CONCLUSIONI.....	86
ELENCO ALLEGATI	88



1 PREMESSA

Su incarico dell'Amministrazione Comunale di Brembate viene redatta la presente relazione geologico – geotecnica di supporto al progetto di sistemazione del tratto “B” di Via Canonica in comune di Brembate (BG).

L'indagine, in particolare, si rende necessaria in aderenza alle disposizioni normative in capo a:

- **L.R. 11 marzo 2005 n. 12** e rispettivi criteri attuativi definiti con D.G.R. 22/12/05, n. 8/1566 *“Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, in attuazione dell’art. 57 della L.R. 11 marzo 2005, n. 12”* e s.m.i.
- **D.M. 14 gennaio 2008** *“Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni”* (pubblicato sulla G.U. n. 29 del 4 febbraio 2008 – Supplemento Ordinario n. 30) e s.m.i. **D.M. 17 gennaio 2018** *“Aggiornamento delle Norme Tecniche per le costruzioni”* (Pubblicato sulla G.U. n. 8 del 20 febbraio 2018)
- **Norme Geologiche di Piano del P.G.T.**
- **Direttiva Alluvioni.**



2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area di progetto è sita nel territorio comunale di Brembate ed interessa parte di Via Canonica (S.P.141).

La quota di riferimento è pari a 162 m s.l.m. circa.

L'esatta ubicazione dell'area è visibile nello stralcio di aerofotogrammetrico in figura.

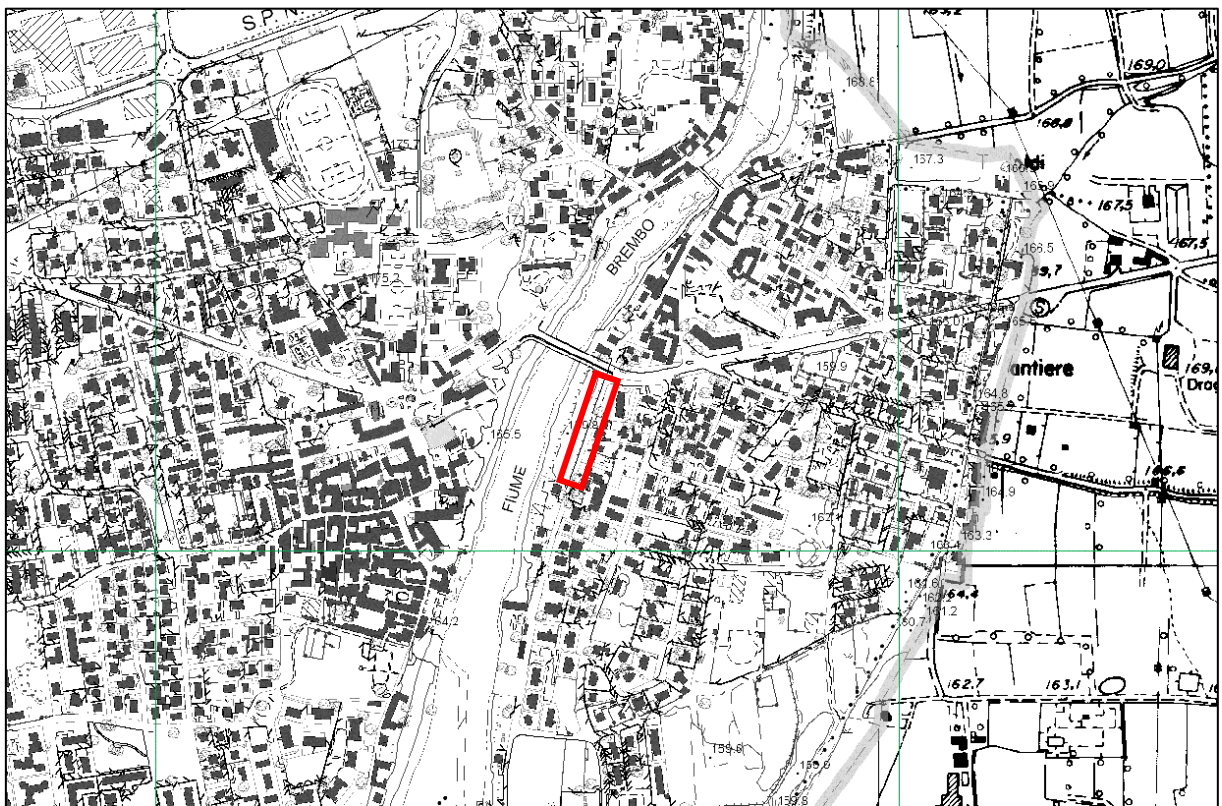
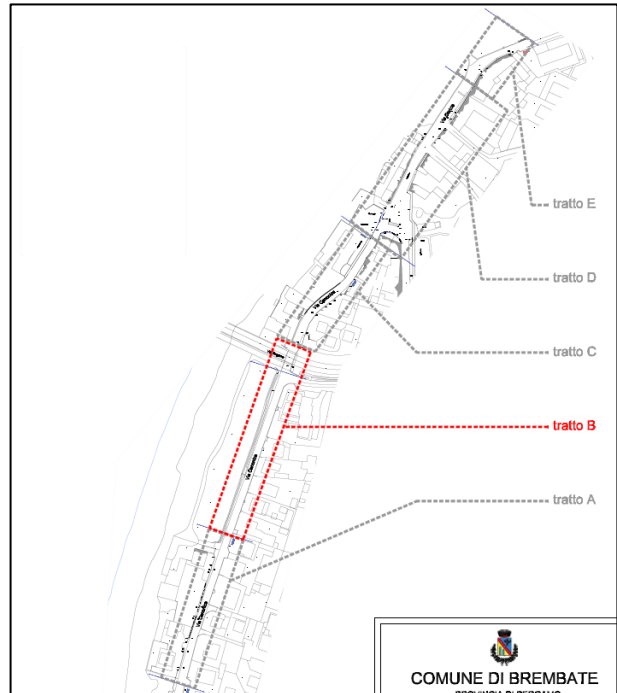


Figura 1 - Corografia dell'area di studio
Indicata in rosso l'area di intervento

3 SINTERSI DEGLI INTERVENTI

Obiettivo del progetto in oggetto è la sistemazione di un tratto di Via Canonica, denominato “tratto B”.

Il progetto prevede l'allargamento della sezione stradale verso ovest, in particolare la carreggiata stradale verrà traslata e sarà sempre costituita da due corsie di 3,00 mt. di senso contrario. E' prevista l'aggiunta di un marciapiede della larghezza minima di 1,50 mt. in lato est e la formazione di spazi per la sosta laterale “in linea” lungo il lato



ovest, capace di ospitare n. 26 posti auto, avente larghezza mt. 2,50, delimitato da un muro di contenimento con parapetto verso il fiume e da una banchina di mt. 0,50 verso la carreggiata stradale.

Un piccolo parcheggio per sole n. 4 autovetture (di cui n. 1 idoneo per persone diversamente abili) verrà realizzato al coperto sotto la struttura del ponte di via Bergamo. Quindi complessivamente l'intervento prevede il potenziamento in zona di n. 30 posti auto.

Al fine di regolarizzare il traffico, verrà realizzato un rialzo a dosso all'altezza dell'incrocio con Via Cavilli.

Per gli obiettivi prefissati, ed in particolare in vista dell'allargamento della sede stradale, verrà realizzato, lungo il lato ovest, un muro in C.A. di contenimento. La muratura, una volta terminata, avrà lunghezza 150 m, con altezza fuori terra di 2.00 – 2.50 m.

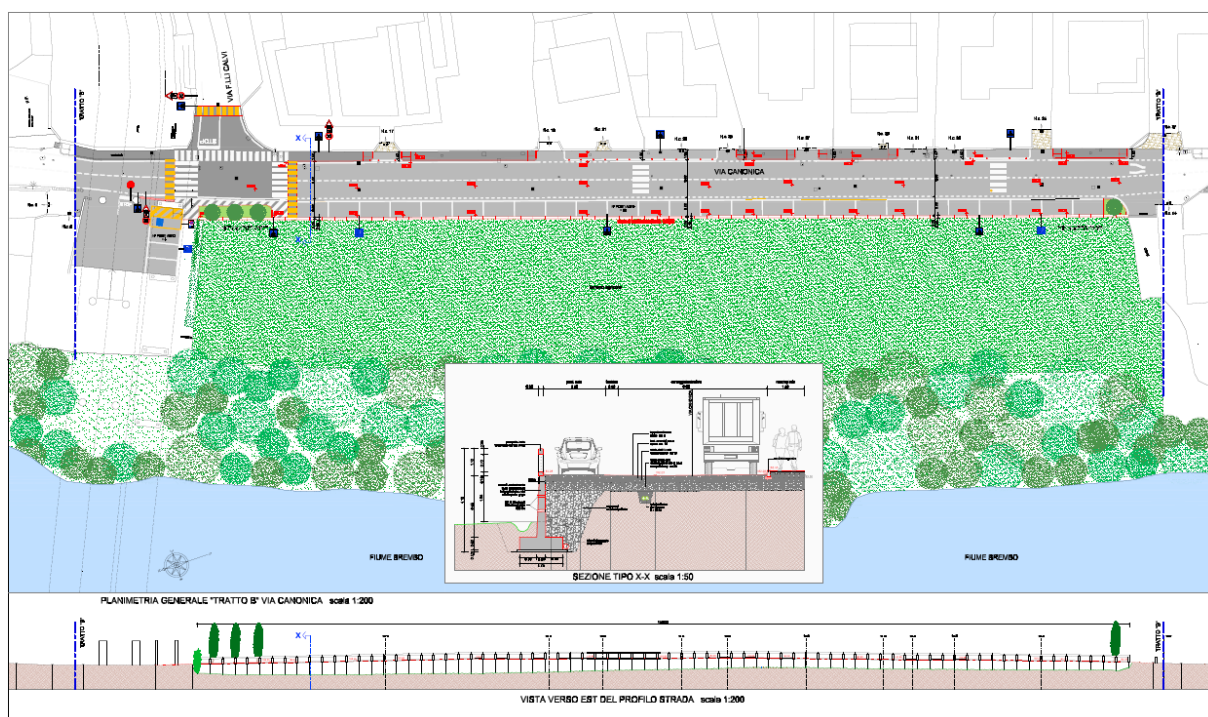


Figura 2 – Stralcio della tavola 3 di progetto: planimetria generale di progetto con segnaletica stradale, vista del profilo strada e sezione tipo.

4 QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO


4.1 *Disamina degli strumenti*

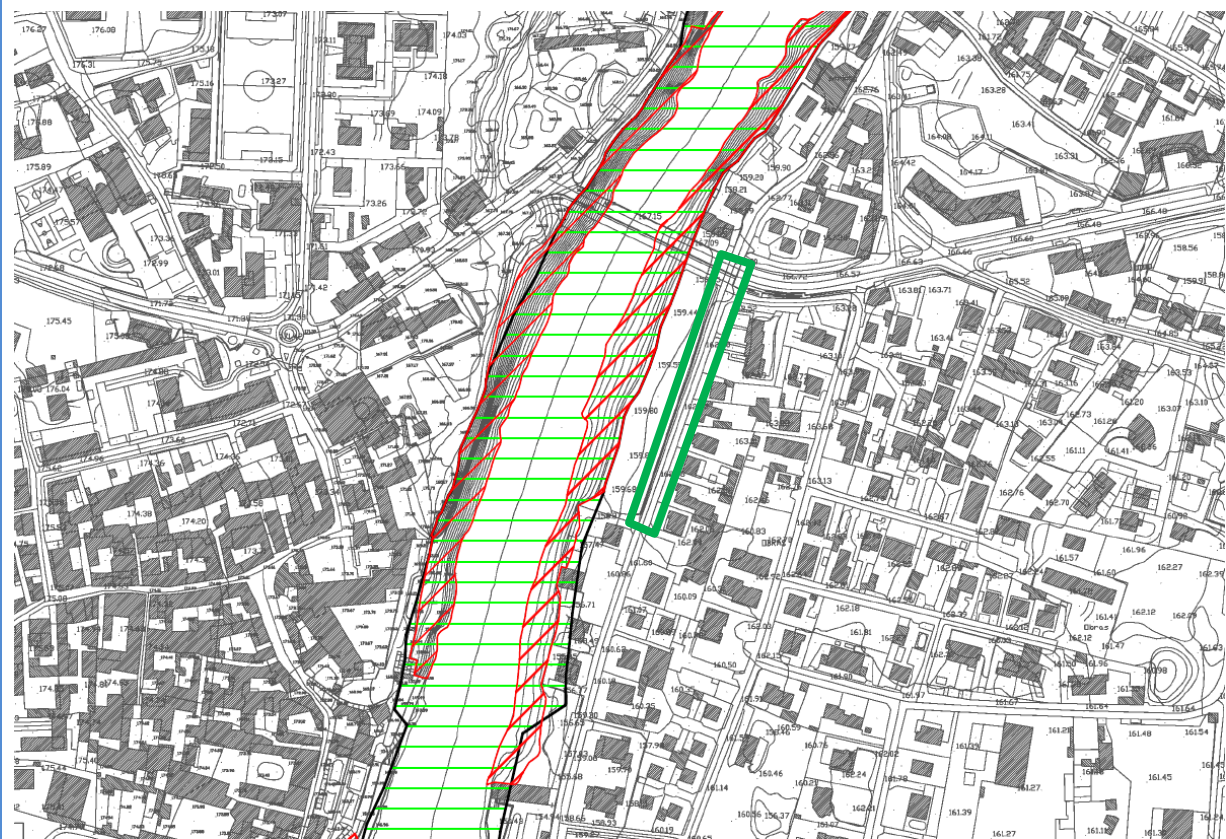
Al fine di individuare gli eventuali ambiti di criticità e/o gli eventuali vincoli geologici presenti nell'area di studio, sono stati considerati alcuni strumenti normativi di riferimento, nelle versioni disponibili al momento della redazione del presente documento. In particolare, in questo caso sono stati consultati:

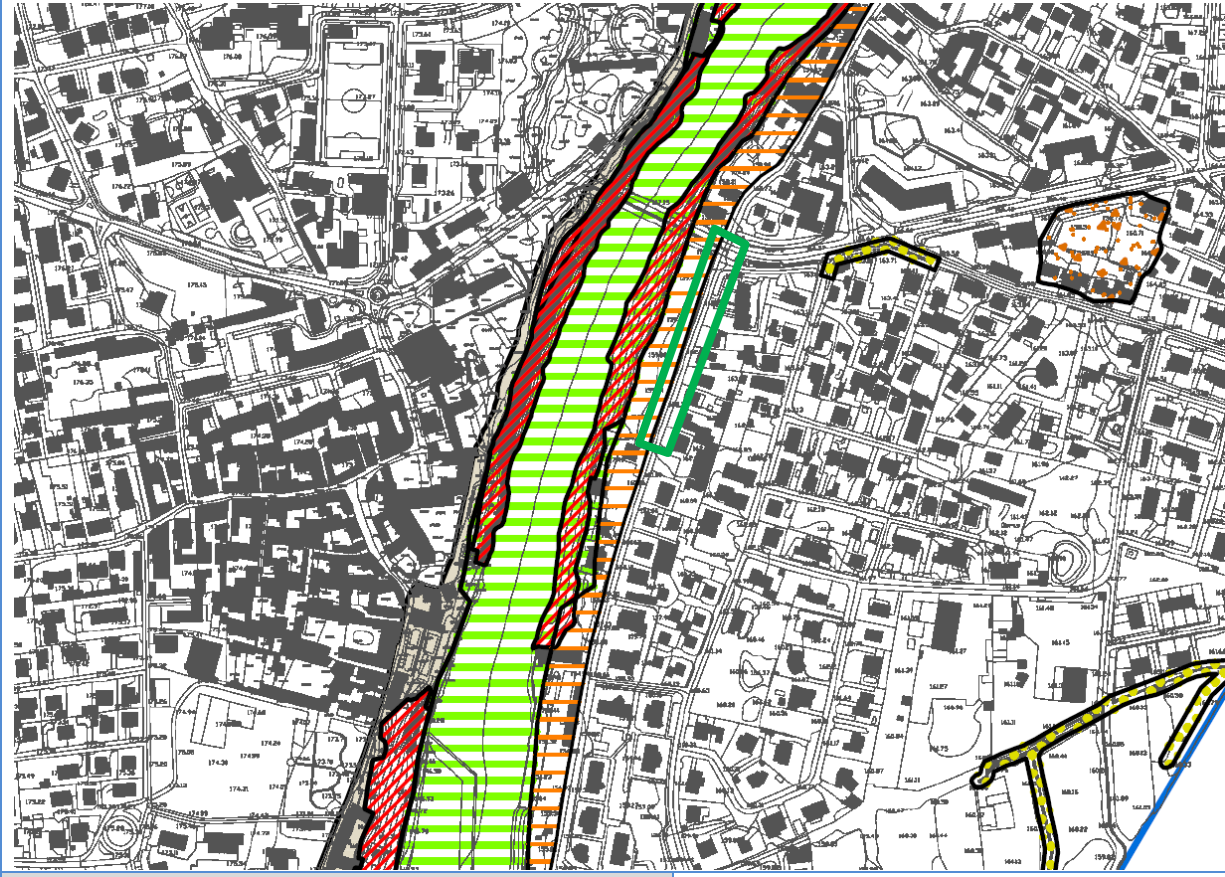
- Componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio comunale:
 - quadro del dissesto P.A.I. + P.G.R.A.
 - vincoli geologici
 - sintesi degli ambiti geologici
 - fattibilità geologica delle azioni di piano

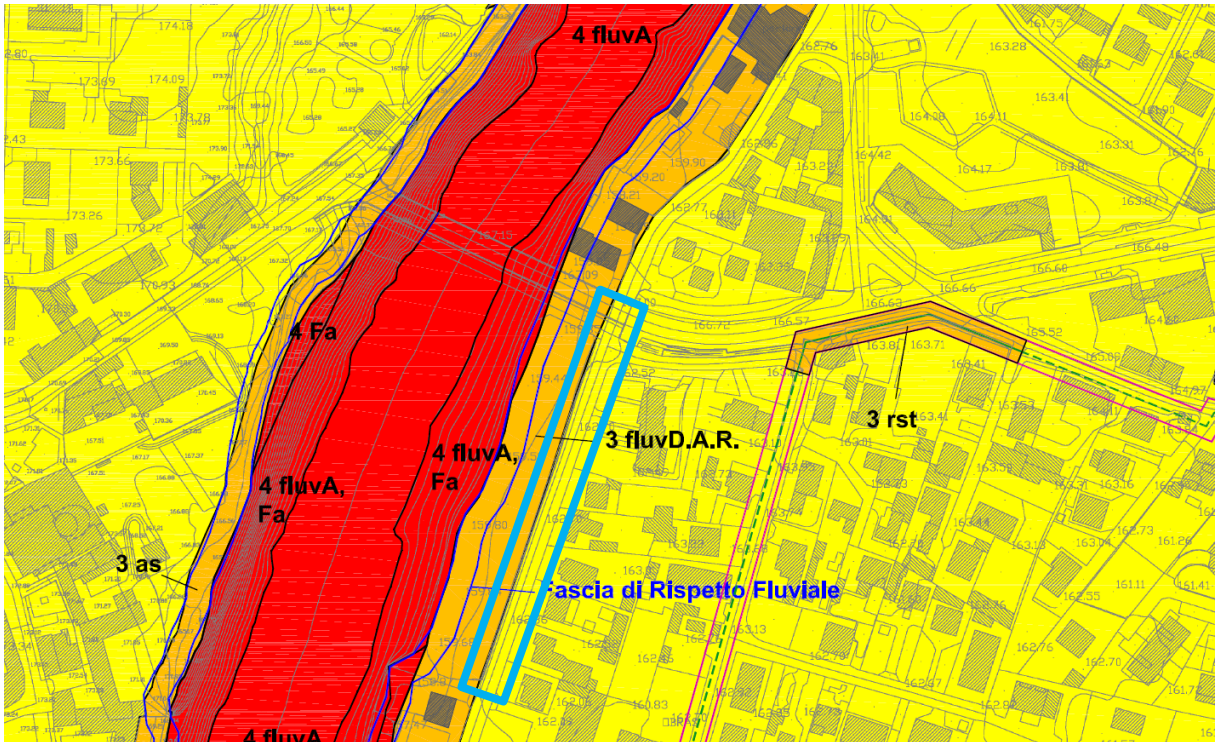
Nelle pagine seguenti si allegano gli stralci cartografici degli strumenti consultati, indicando gli ambiti di criticità o i vincoli con cui l'area eventualmente interferisce.



STRUMENTO	Carta PAI-PGRA
AUTORE	Studio GEA Luglio 2018
AMBITI O VINCOLI RAPPRESENTATI NELLA TAVOLA DEL PGT	<ul style="list-style-type: none"> • Dissesti del P.A.I. • Ambiti P.G.R.A.
	
VINCOLI O AMBITI INTERFERENTI COMPLETAMENTE	Pericolosità RP – scenario raro (L)
VINCOLI O AMBITI INTERFERENTI MARGINALMENTE	-
NOTE	-

STRUMENTO	Carta dei Vincoli del P.G.T. comunale
AUTORE	Studio GEA Luglio 2017
AMBITI O VINCOLI RAPPRESENTATI NELLA TAVOLA DEL PGT	<ul style="list-style-type: none"> • Dissesti del P.A.I. • Vincolo di polizia idraulica • Aree di salvaguardia sorgenti idropotabili • Fasce fluviali
	
VINCOLI O AMBITI INTERFERENTI COMPLETAMENTE	-
VINCOLI O AMBITI INTERFERENTI MARGINALMENTE	-
NOTE	-

STRUMENTO	Carta di Sintesi del P.G.T. comunale
AUTORE	Studio GEA Luglio 2017
AMBITI O VINCOLI RAPPRESENTATI NELLA TAVOLA DEL PGT	<ul style="list-style-type: none"> Ambiti di criticità geologica e idraulica
	
VINCOLI O AMBITI INTERFERENTI COMPLETAMENTE	Area di pertinenza della fascia fluviale C secondo la direttiva 2007/60 CE "Alluvione" con probabilità di scenario Rara (fluvD.A.R.)
VINCOLI O AMBITI INTERFERENTI MARGINALMENTE	-

STRUMENTO	Carta di Fattibilità Geologica delle Azioni di Piano del P.G.T. comunale
AUTORE	Studio G.E.A. Luglio 2017
AMBITI O VINCOLI RAPPRESENTATI	<ul style="list-style-type: none"> • Classi di fattibilità geologica • Pericolosità sismica locale
	
VINCOLI O AMBITI INTERFERENTI COMPLETAMENTE	Strada attuale: classe 2 Tratto in ampliamento a muro: classe 3fluvD.A.R.
VINCOLI O AMBITI INTERFERENTI MARGINALMENTE	-
NOTE	-

4.2 Considerazioni sulla fattibilità dell'opera

STRUMENTO	AMBITO	DESCRIZIONE
Dissesti del P.A.I. + P.G.R.A.	RP - L	Pericolosità RP, scenario raro L
Vincoli geologici ed idrogeologici	-	Nessun interferenza
Sintesi	fluvD.A.R.	Area di pertinenza della fascia fluviale C secondo la direttiva 2007/60 CE "Alluvione" con probabilità di scenario Raro
Fattibilità geologica	3fluvD.A.R.	Consistenti limitazioni
	2	Modeste limitazioni

Figura 3 – Sintesi degli ambiti e dei vincoli geologici ed idrogeologici

L'ambito si pone immediatamente a ridosso dell'alveo attuale del F. Brembo, al di sopra del primo terrazzo fluviale.

Nella realizzazione delle opere si andrà ad interessare un ambito territoriale soggetto ad allagamenti rari riferiti al F. Brembo. Tali vengono integrati all'interno della Direttiva Alluvioni (P.G.R.A.) come pericolosità del Reticolo Principale di entità Rara. Tale perimetrazione, definita nella carta P.A.I. – P.G.R.A. aggiornata al Luglio 2018, veniva già definita all'interno del Piano come area 3 fluvD.A.R..

Le norme geologiche di Piano, per tale sottoclasse e per la classe 2, definiscono quanto segue:

Classe 2 – fattibilità con modeste limitazioni

In questa classe (non suddivisa in ambiti) valgono le norme di cui alla D.G.R. 22-12-2005 n. 8/1566 e alla D.G.R. 28-05-2008 n. 8/7374.

La classe comprende le zone nelle quali sono state riscontrate modeste limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso, che possono essere superate mediante approfondimenti di indagine e accorgimenti tecnico-



costruttivi e senza l'esecuzione di opere di difesa.

Le relazioni geologiche redatte per eventuali interventi ricadenti in questo ambito dovranno comprendere obbligatoriamente quanto riportato nell'Allegato GT ai punti:

- *GT.1, GT.3, GT.4, GT.5, GT.6, GT.7, GT.8, GT.12, GT.15*

Si specifica che le indagini e gli approfondimenti prescritti devono essere realizzati prima della progettazione degli interventi in quanto propedeutici alla pianificazione dell'intervento e alla progettazione stessa.

Copia della relazione geologica e dei relativi allegati deve essere consegnata, congiuntamente alla restante documentazione, in sede di presentazione dei Piani Attuativi (L.R. 12/05 art. 14) o in sede di richiesta del permesso di costruire (L.R. 12/05 art. 38).

Si sottolinea che gli approfondimenti di cui sopra non sostituiscono, anche se possono comprendere, le indagini previste dalle Norme Tecniche per le Costruzioni, di cui alla normativa nazionale.

Sottoclasse 3fluvD.A.R.

Ambito "fluvD.A.R.": aree di pertinenza della fascia fluviale secondo la Direttiva 2007/60 CE "Alluvione" con probabilità di scenario Raro

Per l'ambito "fluvD.A.R." viene adottata la stessa norma di riferimento delle aree di pertinenza della fascia fluviale C del P.A.I..

Le leggi ed i relativi articoli di cui sopra sono riportati nell'allegato B.3 delle [norme geologiche del P.G.T. di Brembate].

L'intervento si configura all'interno di opere pubbliche e di interesse pubblico, di natura lineare, in ampliamento di un'infrastruttura esistente.

Di conseguenza, l'intervento risulta fattibile, premessa la necessità di realizzare studi di natura geologica, idrogeologica specifici.



5 MODELLO GEOLOGICO DEL SITO

5.1 Inquadramento geomorfologico

Il territorio comunale di Brembate si pone entro il contesto geomorfologico legato alla pianura alluvionale Padana, nell'ambito di riferimento del Brembo e dell'Adda.

L'ambito territoriale è noto come "Isola Bergamasca", che comprende un triangolo di territorio ricompreso tra il F. Adda, ad ovest, ed il Brembo, ad est. Mentre la porzione occidentale di Brembate è ricompresa entro tale ambito territoriale, la porzione orientale ne è esclusa, per cui l'influenza del F. Adda appare minore nei depositi alluvionali rispetto a quelli del Brembo.

L'area di progetto si pone per l'appunto entro questo secondo ambito, ad est del Brembo, immediatamente lungo il limite del primo terrazzo fluviale.

La cartografia Geomorfologica inserisce l'area di progetto entro un "terrazzo fluviale antico" all'interno dell'Unità della valle attuale del Brembo.

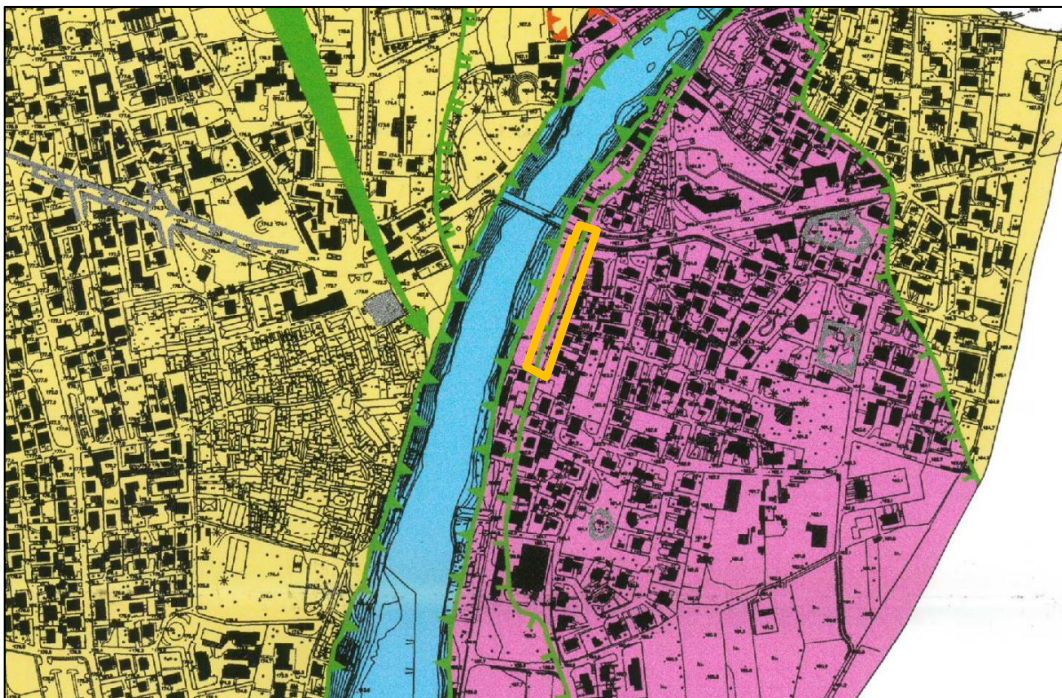


Figura 4 – Stralcio della carta geomorfologica del P.G.T. di Brembate.

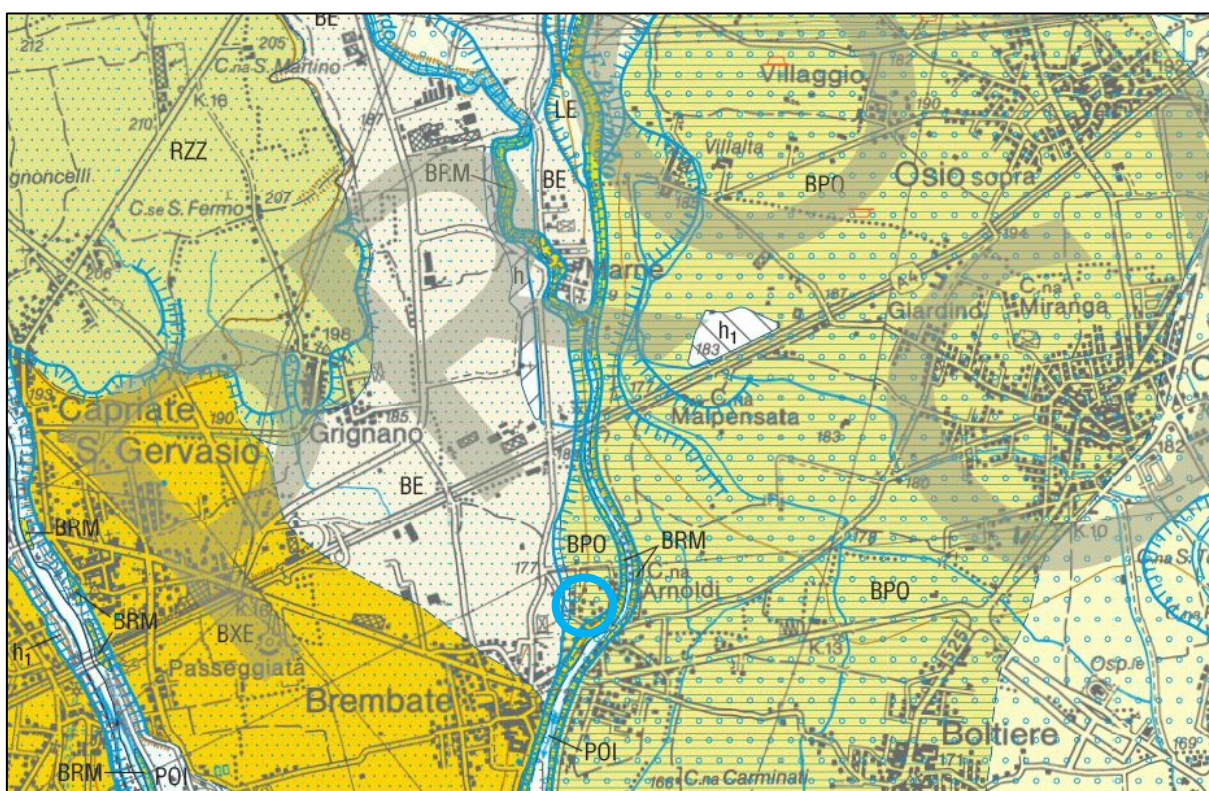
L'area è posta in prossimità di un orlo di scarpata fluviale inattiva, di altezza inferiore ai 5.00 m.

Generalmente, quindi, non sono presenti caratteri particolarmente critici per quanto riguarda gli aspetti geomorfologici: l'ambito territoriale appare ben consolidato anche sotto l'aspetto urbanistico. La viabilità, che poggia sull'orlo, non appare danneggiata o con segni di instabilità recente. Tale stabilità dovrà essere assicurata anche ad intervento finito.



5.2.1 Assetto stratigrafico

Tale area viene ricompresa entro il foglio 097 “Vimercate” della Carta Geologica d'Italia redatta nel progetto CARG (ISPRA). L'ambito viene inserito entro l'Unità di Ponte san Pietro (BPO), facente parte del Supersintema di Besnate.



**Figura 5 - Stralcio del Foglio 097 “Vimercate” della Carta Geologica d’Italia
(Progetto CARG, S.G.I., ISPRA, 2014)**

5.2.2 Descrizione delle unità

Tratta dalla Carta Geologica d'Italia (2014)

SUPERSINTEMA DI BESNATE

Depositi glaciali e fluvioglaciali, caratterizzati da profili d'alterazione poco evoluti, che raggiungono spessori sino a 4 m. Copertura loessica sporadica. Forme ben conservate (cordoni morenici e piane fluvioglaciali terrazzate).

SUPERSINTEMA DI BESNATE INDISTINTO (BE)

Ghiaie a supporto di matrice, ghiaie organizzate in livelli a supporto di matrice e clastico, sabbie, limi (depositi fluvioglaciali). Alterazione moderata con profili poco evoluti che si spingono fino alla profondità di 4 m circa.

UNITÀ DI PONTE SAN PIETRO (BPO)

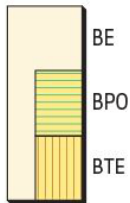
Ghiaie a supporto clastico con matrice sabbiosa e sabbioso limosa, carbonatica; ciottoli arrotondati, spesso discoidali, in prevalenza carbonatici; limi di esondazione a tetto (depositi fluvioglaciali).

Profili d'alterazione relativamente poco evoluti, che raggiungono spessori compresi tra 1,4 e 2 m, di colore prevalente 7,5YR. La copertura loessica è comunemente assente.

UNITÀ DI BONATE (BTE)

Ghiaie a supporto clastico, con ciottoli arrotondati e matrice sabbiosa (depositi fluvioglaciali). Superficie limite superiore caratterizzata da alfisuoli con spessore di 2 m circa; colori da 8 a 10YR. Copertura loessica non osservata.

PLEISTOCENE MEDIO - PLEISTOCENE SUPERIORE



5.3 Inquadramento idrografico e idrogeologico

L'elemento idrografico di riferimento per l'area risulta essere il Fiume Brembo, al di là di tale, non si paventano altri elementi idrografici significativi o interferenti l'area.

L'area di ampliamento della strada, come già indicato all'interno della disamina dei vincoli, è posta in ambito di allagabilità con cadenza rara, in occasione di piene catastrofiche.

Non si rilevano particolari condizioni in riferimento all'assetto idrogeologico: la falda risulta posta alla quota piezometrica di 146 m s.l.m. c.a., con una soggiacenza di 15 – 16 m da p.c.

La permeabilità è elevata (10^{-1} – 10^{-3} m/s) ed è riferita a depositi fluviali recenti (ghiaie – sabbie).



6 INDAGINI GEOGNOSTICHE

6.1 Premessa

Per la caratterizzazione dei terreni oggetto di intervento, finalizzata a delineare l'assetto stratigrafico e le caratteristiche litotecniche dei terreni interessati dal progetto, sono state eseguite le seguenti indagini:

CODICI	TIPOLOGIA	NUMERO	CARATTERISTICHE
PSP	Prove penetrometriche dinamiche (DPSH)	2	Eseguite mediante penetrometro superpesante Pagani TG63-100
REMI	Stendimento di sismica passiva	1	Eseguita mediante sismografo digitale Soilsby Rosina
HVSR	Indagine di sismica passiva	1	Eseguita mediante Tromino 3G

Figura 6 – Tabella riassuntiva delle indagini geognostiche eseguite nel sito di progetto

Le indagini sono state effettuate nel prato appena sotto la strada, distanziate tra loro di circa 70 m.



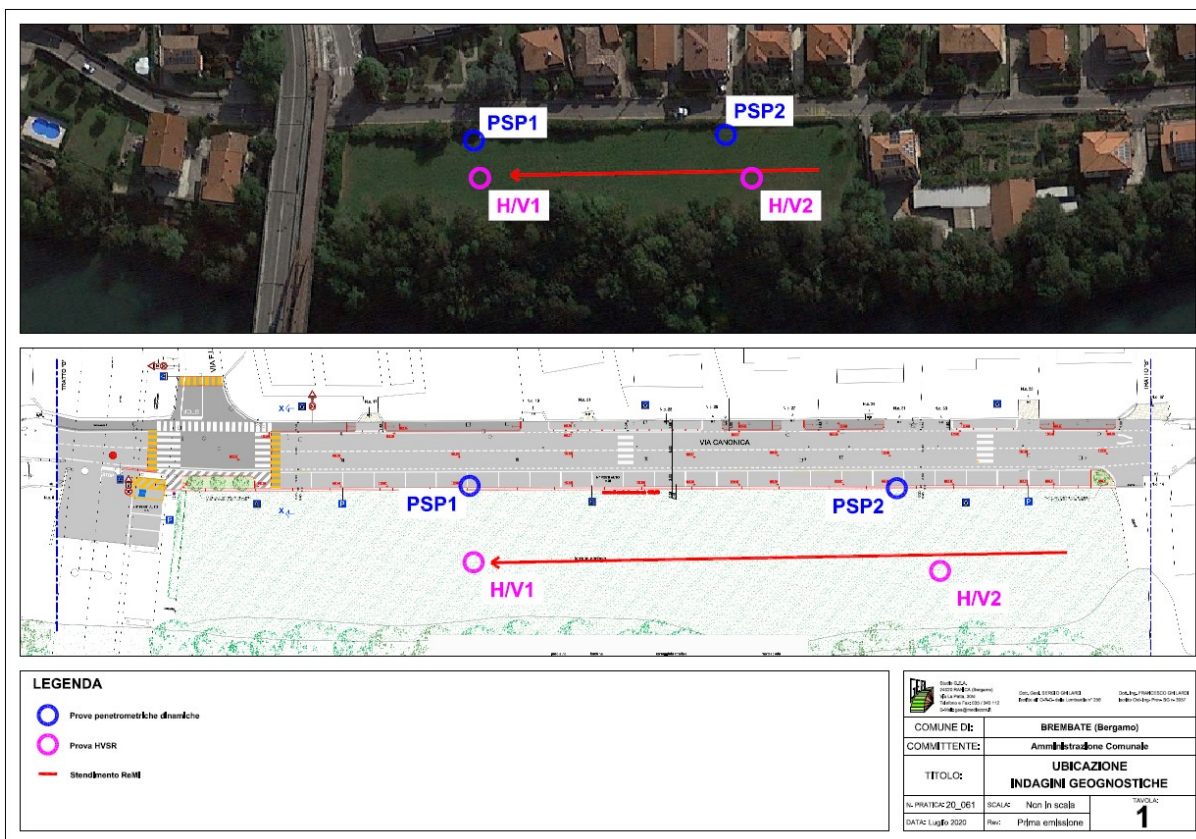


Figura 7 - Stralcio Tavola 1 (Ubicazione Indagini Geognostiche)

6.2 Prove penetrometriche dinamiche

6.2.1 Caratteristiche delle prove

Le prove penetrometriche dinamiche (PSP1 – PSP2) sono state eseguite mediante penetrometro superpesante statico/dinamico Pagani TG 63-100, con maglio del peso di 63,50 kg ed altezza di caduta pari a 75 cm.

I dati tecnici del penetrometro possono essere così riassunti:

Diametro delle aste	: 34 mm
Diametro dei rivestimenti	: 48 mm
Punta conica – diametro	: 50,8 mm
Conicità	: 90°
Peso del maglio	: 63,50 kg
Altezza di caduta (volata)	: 75 cm

Nei tabulati allegati sono riportati:

1. Le tabelle dei numeri di colpi necessari all'avanzamento della punta penetrometrica nel terreno.
2. I diagrammi indicanti il numero dei colpi necessari all'avanzamento della punta penetrometrica.

Per la trattazione teorica dei metodi di calcolo ed interpretazione delle prove penetrometriche si rimanda alla bibliografia specifica.

il valore di N_{SPT} in aumento con la profondità fino al rifiuto.

Durante l'esecuzione della prova, non è mai stata rinvenuta la presenza di acqua.

Di seguito si allegano gli elaborati (tabelle e grafici) della prova penetrometrica dinamica.





Figura 8 – Approntamento prova PSP1



Figura 9 – Esecuzione prova penetrometrica PSP1



Figura 10 – Esecuzione prova penetrometrica PSP2



Figura 11 – Esecuzione prova penetrometrica PSP2

6.2.2 **Profondità raggiunta dalle prove e livelli litotecnici determinati**

La profondità esatta raggiunta dalla prova penetrometrica dinamica è indicata nella seguente tabella:

N. PROVA	QUOTA RIFERIMENTO	PROFONDITÀ RAGGIUNTA [m]	ASTE UMIDE [m]
PSP1	p.c.	3.00	-
PSP2	p.c.	2.00	-

Figura 12 - Profondità raggiunta dalle prove penetrometriche dinamiche

La due indagini sono state eseguite immediatamente al piede dell'attuale sede stradale di Via Canonica, a distanza di circa 1.50 – 2.00 da questa.

Le prove, abbastanza omogenee tra loro, individuano un primo livello mediamente consistente (N_{SPT} 5-8) poggiato su un livello resistente che ha portato al rifiuto della prova ($N_{SPT} > 50$ e rimbalzo dell'asta).

Le due prove non hanno individuato la presenza di acqua. Dalla valutazione bibliografica si ricorda che la falda risulta posta alla profondità di circa 14.00 m dal p.c., coerentemente con la quota del Brembo, posto appena ad ovest rispetto al sito.



6.3 Indagini sismiche

6.3.1 Dati generali

Con l'obiettivo di ricavare, per il sito in esame, il modello geofisico di sottosuolo, la frequenza di risonanza del terreno e la categoria di sottosuolo derivante dalla V_{seq} (NTC 2018) è stata eseguita la presente indagine sui terreni ubicati in Via Canonica nel comune di Brembate (BG).

A tal fine è stata eseguita una campagna di indagine sismica caratterizzata dalla combinazione delle seguenti tecniche:

- prospezione sismica multicanale a onde di superficie (MASW, ReMi),
- sismica passiva a stazione singola con tecnica H/V.

Nella figura seguente è indicata l'ubicazione delle indagini eseguite.



**Figura 13 - Ubicazione del sito di intervento su base ortofoto (Geoportale Regione Lombardia).
La freccia indica la numerazione crescente dei geofoni.**

6.3.2 Descrizione delle tecniche utilizzate

L'uso combinato di tecniche H/V e multicanale facilita la soluzione di alcune criticità tipiche delle tecniche multicanale. Queste includono: la valutazione della condizione strati piani e paralleli, la limitata profondità d'investigazione degli stendimenti, le frammentazioni e sovrapposizioni dei modi di vibrare che rendono le curve di dispersione difficilmente interpretabili in presenza di inversioni di velocità e/o riflettori rigidi superficiali.

Sul terreno sono state acquisite più indagini sia multicanale che H/V con l'obiettivo di avere il maggior numero di informazioni possibili nonché di validarle reciprocamente. Il profilo sismostratigrafico restituito deriva dall'analisi di tutte le suddette indagini, privilegiando le migliori in termini di qualità della curva e/o affidabilità del modello.

È bene ricordare che le procedure di misura impiegate per l'indagine sismica si basano su tecniche di esplorazione indiretta che, nonostante siano utilizzate allo stato dell'arte sia delle conoscenze scientifiche che degli avanzamenti tecnologici, hanno una serie di intrinseche limitazioni. L'indagine si fonda infatti sull'applicazione di conoscenze e di leggi scientifiche riconosciute ma anche su calcoli e valutazioni professionali circa fenomeni suscettibili di interpretazione, pertanto non può sostituire integralmente l'esplorazione diretta. Si ricorda che qualunque tecnica di geofisica applicata ha un margine di errore intrinseco variabile in funzione del tipo di tecnica usata, di strumentazione utilizzata e di problematiche incontrate durante la fase di acquisizione. Infine, i profili di Vs ricavati con questa metodologia, come tutti i metodi indiretti, non presentano una soluzione univoca e quindi più modelli possono fornire curve sintetiche simili tra loro.



6.3.3 Tecniche multicanale a onde di superficie

6.3.3.1 Cenni metodologici

La propagazione delle onde, nel caso di mezzi stratificati è caratterizzata da una diversa velocità di propagazione a sua volta legata alle varie lunghezze d'onda che interessano il terreno a diverse profondità e che risultano condizionate dalle caratteristiche elastiche e di rigidità del sottosuolo. Lunghezza d'onda " λ ", frequenza " f " e velocità di propagazione " V " sono legate dalla relazione:

$$V = \lambda \cdot f$$

In generale, lunghezze d'onda più grandi corrispondono alle frequenze più basse e vanno ad interessare il terreno più in profondità; al contrario lunghezze d'onda minori, poiché associate alle frequenze più alte, rimangono nelle immediate vicinanze della superficie. Questa proprietà, chiamata dispersione, è valida solo per le onde di superficie, Rayleigh e Love in mezzi stratificati.

Le tecniche per ricavare le curve di dispersione da sorgenti attive o passive con due o più ricevitori hanno una varietà di nomi che dipendono da dettagli quali la geometria dei ricevitori, sorgente attiva o passiva etc. I più diffusi tra i metodi attivi sono: SASW (spectral analysis of surface waves; Heisey et al., 1982) e MASW (multichannel analysis of surface waves; Park et al., 1999); mentre tra i metodi passivi sono ESAC (extended spatial auto correlation; Ohori et al., 2002) e ReMi (refraction microtremor; Louie, 2001).

La base di tutte queste tecniche è lo slant - stack o correlazione del segnale registrato da una serie di ricevitori (geofoni), che permette la determinazione della velocità di propagazione di onde a frequenze diverse che attraversano lo stendimento.



6.3.3.2 Acquisizione dati

Per l'esecuzione delle indagini sismiche in oggetto si è utilizzata la seguente strumentazione:

- sismografo digitale multicanale Soils Spy Rosina (Moho s.r.l.) a 24 + 1 canali;
- n. 24 + 1 geofoni verticali da 4,5 Hz;
- mazza battente da 8 kg;
- piattello metallico di battuta;
- pc portatile.

Sullo stesso stendimento è possibile realizzare due tipologie di indagini: MASW e ReMi.

Nel caso di una indagine con tecnica MASW, per il posizionamento del piattello di battuta (shot point) è stata preparata una piazzola asportando i primi centimetri di suolo vegetale e infiggendo la piastra metallica di alcuni centimetri nel terreno; in questo modo si è ottenuta una migliore energizzazione sismica in termini di ampiezza e di spettro dell'impulso immesso, con un incremento del rapporto segnale/rumore.

In seguito sono state acquisite n. 5 energizzazioni, generate battendo la mazza da 8 kg sulla piastra metallica.

Nel caso di una indagine con tecnica ReMi, invece, si esegue una registrazione simultanea in più geofoni del rumore sismico ambientale. La registrazione ha una durata di alcuni minuti.



6.3.3.3 Elaborazione ed interpretazione dei risultati

Per quanto riguarda, infine, l'elaborazione delle misure è stato impiegato il software Grilla prodotto da Moho s.r.l., col quale il segnale sismico registrato viene processato attraverso procedure di slant - stack (traslazione e somma) e FFT ottenendo gli spettri di velocità di fase. Questi indicano, per ogni frequenza, la più probabile velocità delle onde di superficie investigate.

Da tali spettri è possibile ricostruire un profilo di V_s , sapendo che:

- per ogni frequenza è possibile calcolare la lunghezza d'onda corrispondente secondo la relazione $\lambda = V/f$;
- la profondità corrispondente z è compresa tra $\lambda/3$ e $\lambda/2$.

La V_s , inoltre, è collegata alle velocità delle onde di Love e di Rayleigh attraverso il coefficiente di Poisson e normalmente risulta maggiore di queste ultime del 10 - 15 %.

Le onde di superficie possiedono diversi modi di propagazione; questo implica che negli spettri di velocità, alla stessa frequenza, sono possibili diversi massimi relativi di energia.

Nel caso di sorgente impulsiva ideale (con spettro bianco), geometria dei ricevitori ideale (perfettamente sintonizzata su tutte le frequenze) e suolo ideale (isotropo, lateralmente omogeneo, con graduale aumento della velocità in profondità) il modo fondamentale è quello dominante in termini di energia.

Individuare la curva di dispersione del modo fondamentale o classificare correttamente i modi superiori implica un certo grado di soggettività. Utilizzando gli spettri di velocità di fase si ha il vantaggio di avere un dato più oggettivo e più completo, che conserva le informazioni sulla natura multi modale delle curve di dispersione.



6.3.4 Tecnica H/V

6.3.4.1 Cenni metodologici

La tecnica H/V, appartenente alla sismica passiva, nasce da studi condotti in Giappone attorno al 1950 ed è basata sullo studio dei rapporti di ampiezza che, nelle diverse frequenze di vibrazione (rapporti spettrali), esistono fra il rumore sismico misurato sul piano orizzontale (H) e quello misurato lungo la componente verticale (V). La procedura si basa su un segnale composto prevalentemente da onde di superficie (Rayleigh e Love) e sfrutta la proprietà per cui la componente spettrale verticale (Rayleigh) si annulla in corrispondenza delle autofrequenze dell'onda S. 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. Le frequenze di risonanza, in questo sistema, sono pertanto date da:

$$F = \frac{V_s}{4 \cdot H}$$

dove V_s indica la velocità delle onde di taglio nel mezzo e H lo spessore dello strato che risuona alla frequenza F . Tali frequenze, associabili ai picchi del rapporto H/V, possono essere quindi eccitate dal rumore di fondo e diventare visibili nello spettro del rumore sismico misurato in superficie. La condizione indispensabile per trasformare una curva H/V in un profilo di V_s tramite la suesposta equazione è il possesso di un vincolo stratigrafico; in assenza di quest'ultimo esistono infiniti modelli (cioè combinazioni $V_s - H$) che soddisfano la stessa curva. Per questo motivo il profilo sismostratigrafico proposto deriva dall'analisi congiunta delle misure H/V eseguite e di tutte le informazioni stratigrafiche disponibili riferite al sito in esame.



6.3.4.1.1 Frequenze di vibrazione e doppia risonanza

Un sisma è composto da onde di frequenza differente, che subiscono amplificazioni diverse. La frequenza a cui corrisponde la massima amplificazione viene detta frequenza naturale di vibrazione del terreno. I danni maggiori si hanno in quelle strutture la cui frequenza naturale di vibrazione è prossima alla frequenza naturale di vibrazione del terreno. In questi casi si verifica il 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. Grazie all'impiego della tecnica H/V è possibile determinare la frequenza naturale del terreno, fornendo una informazione fondamentale per la progettazione di nuovi edifici o per la verifica di quelli esistenti. La frequenza naturale degli edifici si determina attraverso formule empiriche oppure eseguendo misure dirette con strumentazione sensibile posta all'interno dell'edificio.



6.3.4.2 Acquisizione dati

Per l'esecuzione dell'indagine sismica secondo la tecnica H/V in oggetto si è utilizzato il tromometro digitale Tromino 3G prodotto dalla Moho s.r.l., dotato di tre canali velocimetrici ad alta risoluzione per l'acquisizione del microtremore sismico ambientale, due livelli di amplificazione (saturazione ± 1.2 mm/s in banda) e frequenze di campionamento 128, 256, 512, 1024 Hz su tutti i canali.

Le misure vengono eseguite posizionando lo strumento al suolo, avendo cura della sua messa in bolla, e successivamente registrando per alcuni minuti.

6.3.4.3 Elaborazione ed interpretazione dei risultati

Per quanto riguarda, infine, l'elaborazione delle misure è stato impiegato il software Grilla prodotto da Moho s.r.l., eseguendo su ciascuna tromografia le seguenti operazioni.

Per quanto riguarda l'elaborazione delle misure è stato impiegato il software Grilla prodotto da Moho s.r.l., eseguendo su ciascuna di esse le seguenti operazioni.

- **Analisi della traccia.** Consiste nella rimozione dei disturbi ed è di fondamentale importanza 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.
- **Modellazione.** Consiste nell'osservazione simultanea delle curve H/V e degli spettri delle singole componenti, che permette di distinguere i picchi di origine stratigrafica da quelli di natura antropica.



6.3.5 Indagine REMI

6.3.5.1 Parametri di acquisizione

<i>Numero geofoni</i>	<i>Spaziatura geofoni [m]</i>	<i>Lunghezza stendimento [m]</i>	<i>Geofono trigger</i>	<i>Offset [m]</i>	<i>Durata registrazione [s]</i>	<i>Frequenza di campionamento [Hz]</i>
21	3	60	1	12	1	512



Esecuzione dell'indagine.

6.3.5.2 Acquisizione ed elaborazione

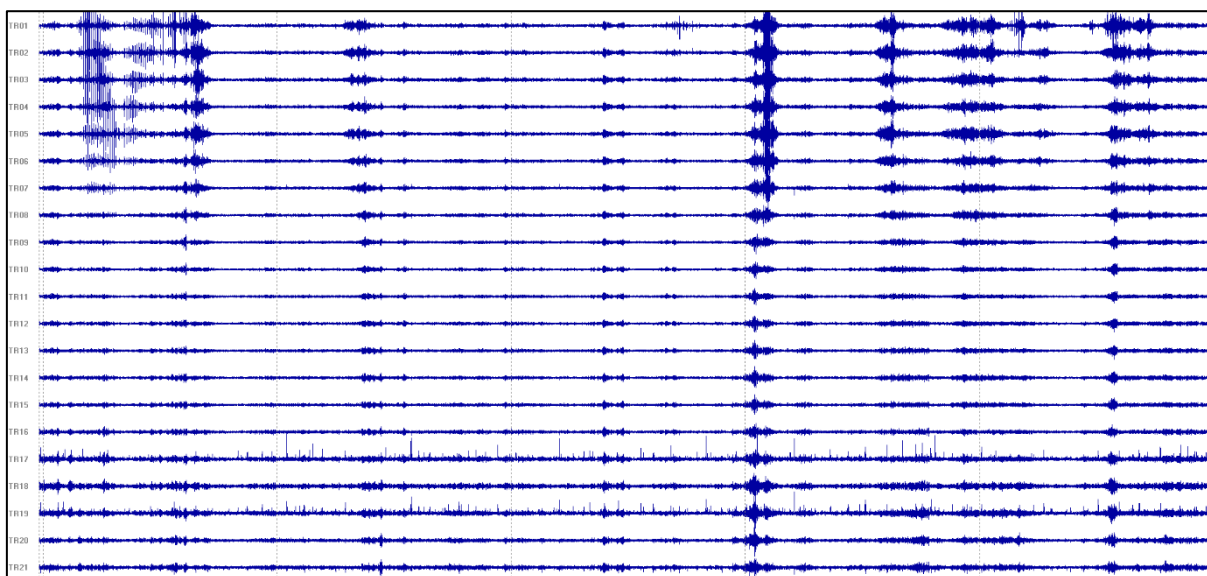


Figura 14 - Sismogramma acquisito.

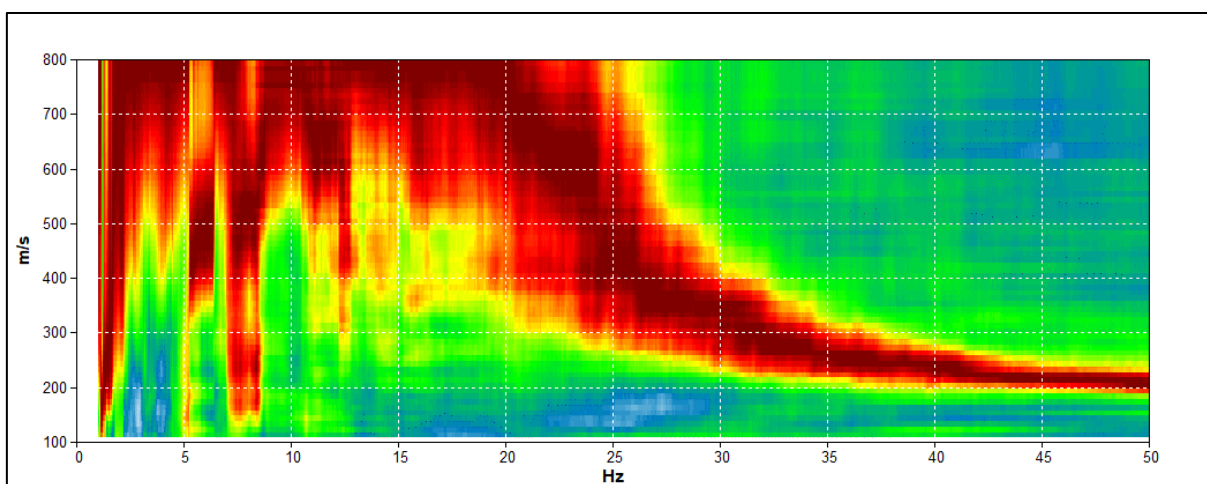


Figura 15 - Spettro delle velocità di fase.

6.3.6 Indagini H/V

6.3.6.1 Misura n. 1

6.3.6.1.1 Informazioni generali

Frequenza di campionamento	128 Hz	Condizioni meteorologiche	Sereno
Data registrazione	01/07/2020	Lunghezza finestre	20 s
Terreno di misura	Suolo	Tipo di lisciamiento	Triangular window
Accoppiamento suolo strumento	Piedini lunghi	Lisciamiento	10 %
Orientamento dello strumento	Nord	Durata della registrazione	12' 00"
Vincolo stratigrafico	Prove penetrometriche, sismica multicanale		



Esecuzione dell'indagine.

6.3.6.1.2 Analisi della traccia

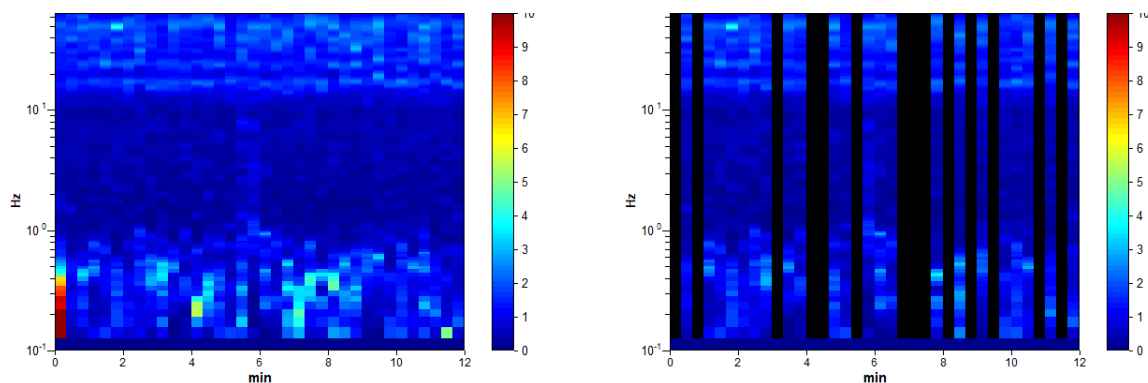


Figura 16 - Serie temporale H/V durante la misura e in seguito alla rimozione dei disturbi.

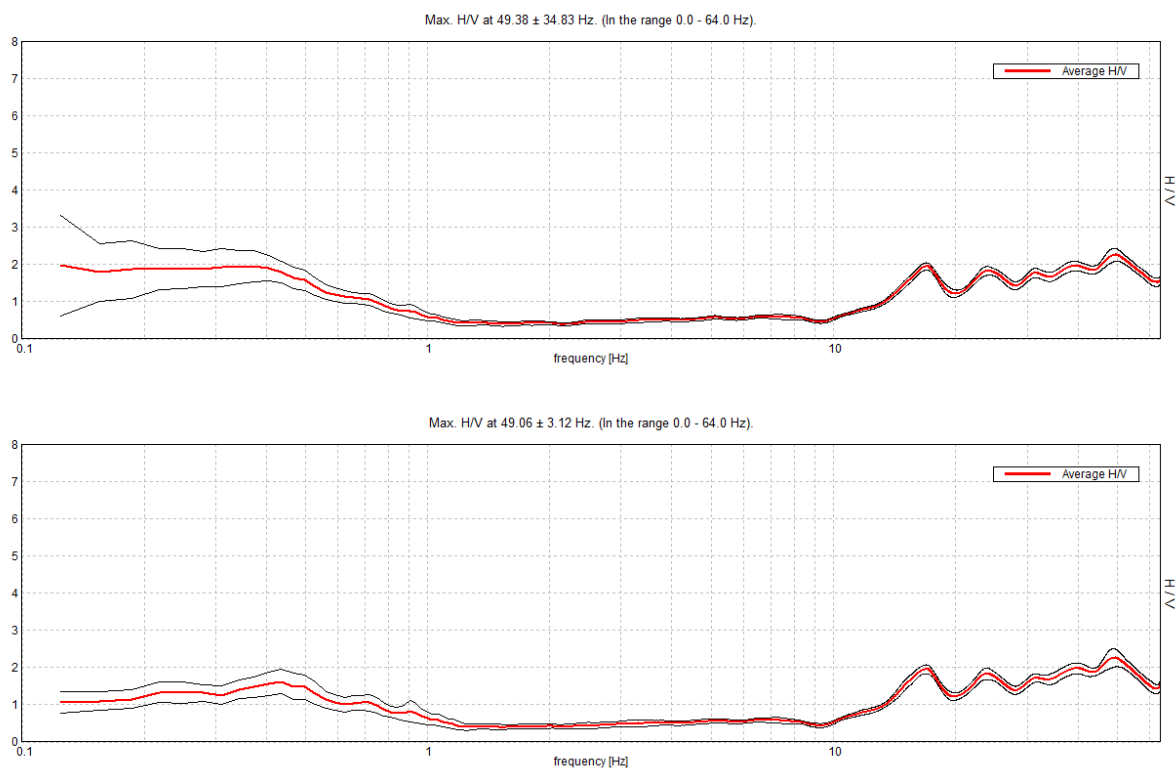


Figura 17 - Curve H/V e deviazione standard prima e dopo la rimozione dei disturbi.

6.3.6.2 Misura n. 2**6.3.6.2.1 Informazioni generali**

Frequenza di campionamento	128 Hz	Condizioni meteorologiche	Sereno
Data registrazione	01/07/2020	Lunghezza finestre	20 s
Terreno di misura	Suolo	Tipo di lisciamento	Triangular window
Accoppiamento suolo strumento	Piedini lunghi	Lisciamento	10 %
Orientamento dello strumento	Nord	Durata della registrazione	12' 00"
Vincolo stratigrafico	Prove penetrometriche, sismica multicanale		

**Figura 18 - Esecuzione dell'indagine.**

6.3.6.2.2 Analisi della traccia

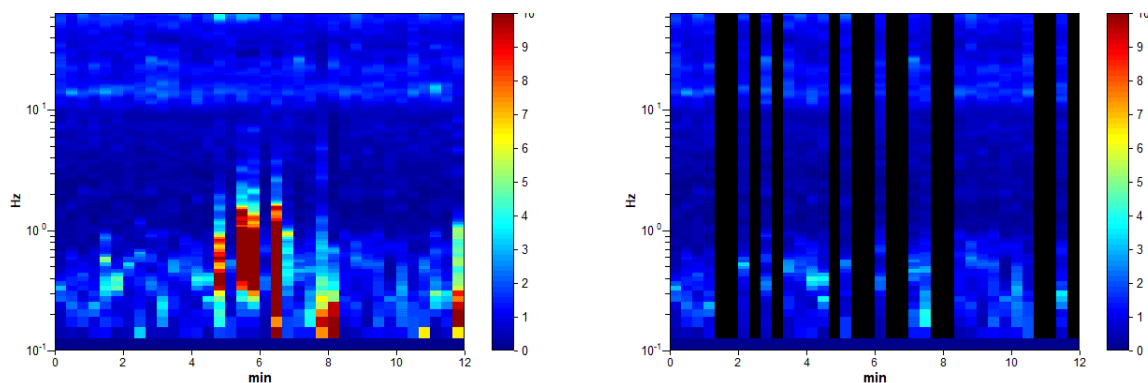


Figura 19 - Serie temporale H/V durante la misura e in seguito alla rimozione dei disturbi.

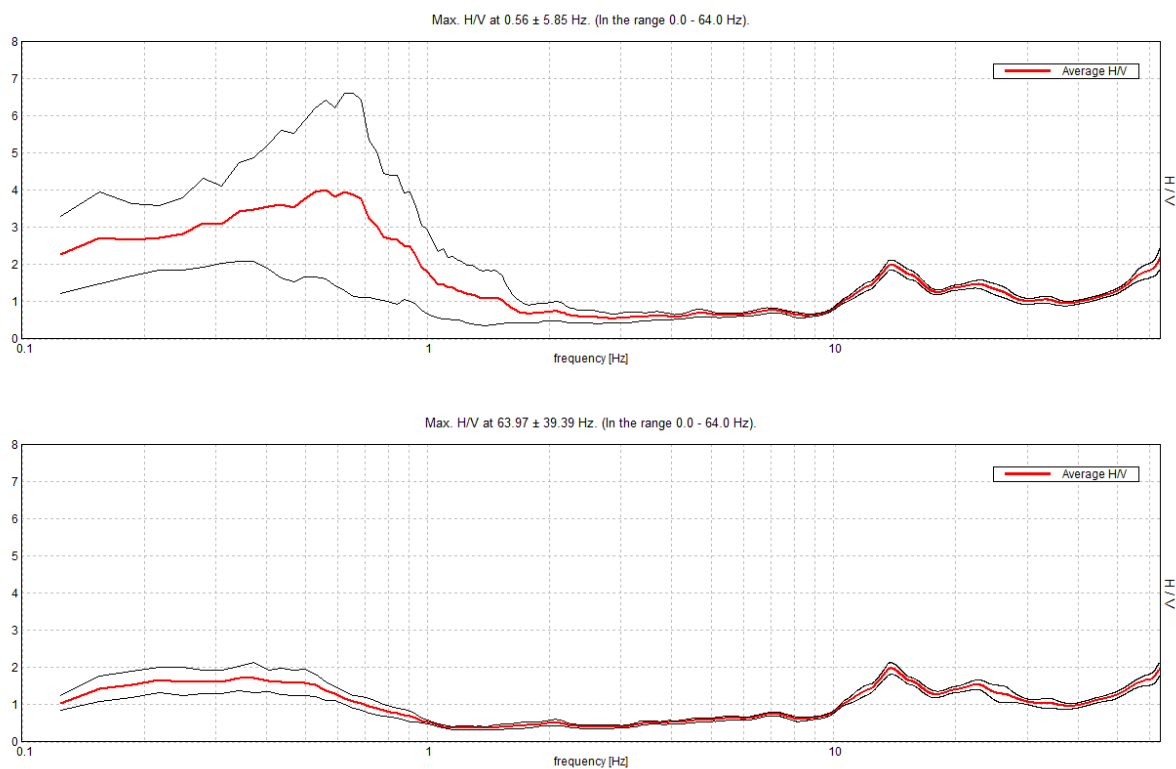


Figura 20 - Curve H/V e deviazione standard prima e dopo la rimozione dei disturbi.

6.3.7 Risultati ottenuti

Le due misure H/V risultano discretamente correlabili lateralmente ed evidenziano una inversione di velocità a frequenze comprese tra 10 Hz e 1 Hz circa. Tale inversione trova riscontro in alcune stratigrafie provenienti da siti limitrofi; è segnalata infatti la presenza di un livello di argilla di spessore 15 m a circa 20 m ÷ 25 m di profondità. Ciò premesso, il modello sismostratigrafico realizzato è stato arrestato prima della suddetta inversione. I vincoli stratigrafici sono costituiti da stratigrafie sito specifiche e quindi di buona affidabilità.

Per la modellazione del profilo sismostratigrafico sono state utilizzate l'indagine ReMi e la misura H/V n. 2 poiché migliori in termini di pulizia del segnale e qualità delle curve.

Nel caso in esame gli spettri H/V hanno consentito di individuare frequenze di risonanza, pari a: 23,00 Hz, 13,75 Hz, 6,96 Hz, 3,37 Hz, 2,06 Hz e 0,52 Hz. Per un maggior dettaglio si rimanda alla figura seguente.

Sulla base dei valori di V_s ottenuti è stata determinata una V_{seq} pari a 451 m/s.

Il profilo sismo stratigrafico verticale ricavato dall'interpretazione congiunta delle indagini eseguite si caratterizza per la presenza di un livello soffice superficiale ($V_s \approx 195$ m/s) avente uno spessore di circa 2 m, al quale seguono livelli decisamente più rigidi, con una V_s massima di 480 m/s a circa 25 m di profondità.



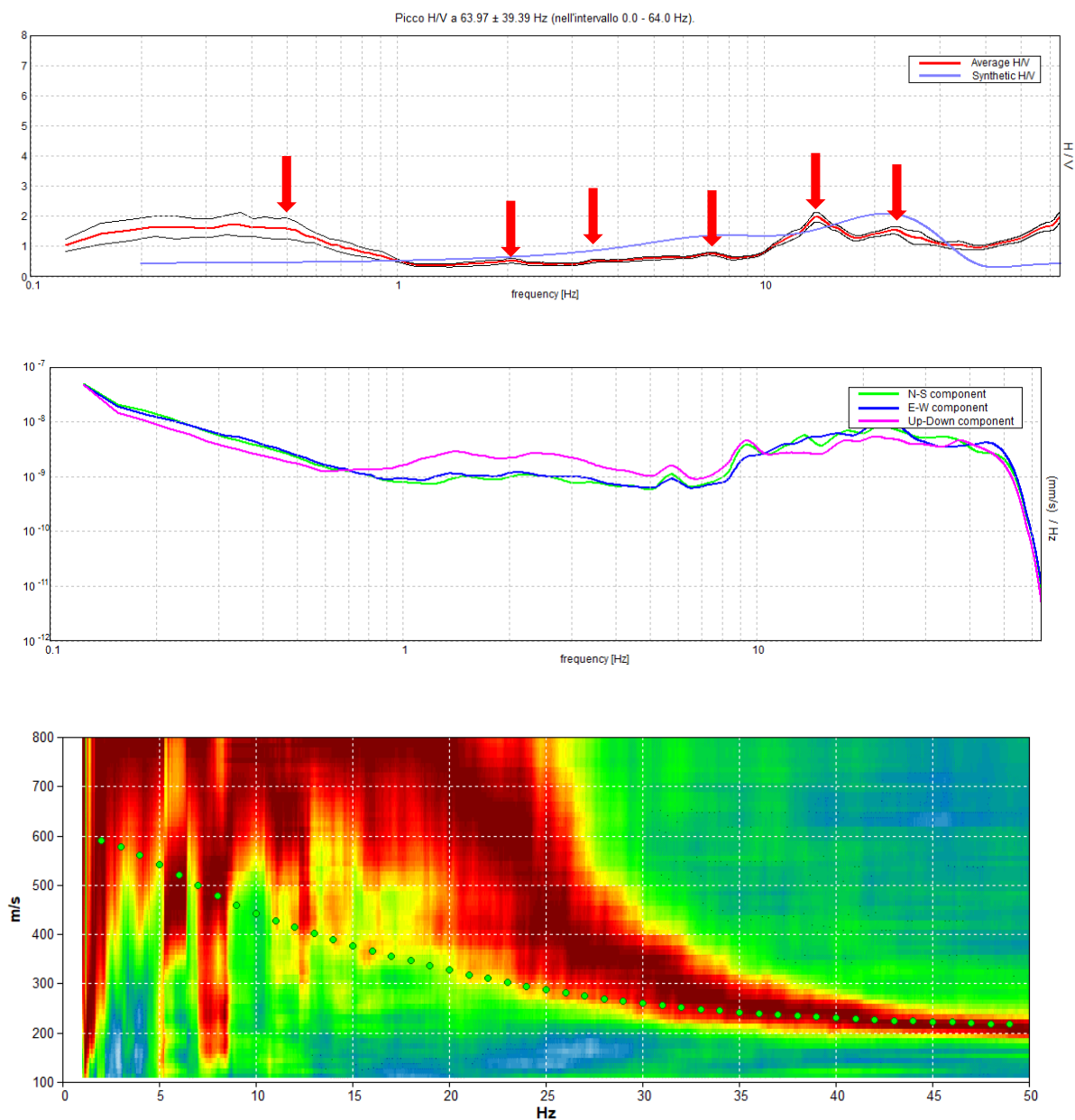
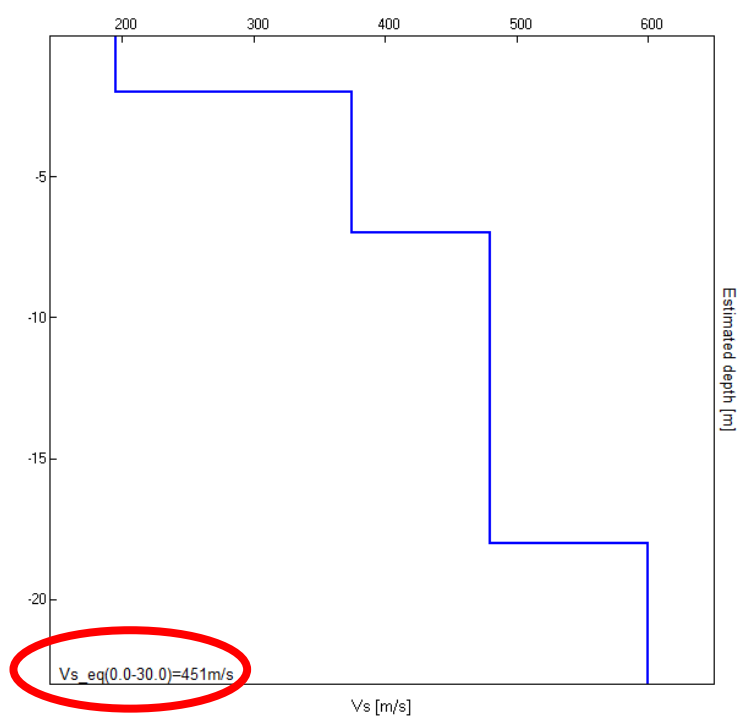


Figura 21 - Interpretazione congiunta delle curve di inversione e H/V. Dall'alto in basso: curva H/V nella prima immagine; spettri delle singole componenti nella seconda immagine, spettro di velocità di fase con modellazione (puntini azzurri) nella terza. Le frecce rosse indicano i picchi di origine stratigrafica.



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	$Vs [m/s]$
2,0	2,0	195
7,0	5,0	375
18,0	11,0	480
∞	∞	600



7 MODELLO GEOTECNICO DEL SITO

7.1 Caratterizzazione stratigrafica

Dalle osservazioni di terreno effettuate, dai risultati delle indagini geognostiche eseguite, dalla consultazione della bibliografia disponibile e dall'esperienza maturata dallo scrivente in terreni prossimali al sito di intervento, è possibile delineare la seguente situazione stratigrafica media.

LIVELLO (N_{SPT})	PROFONDITÀ	LITOLOGIA	INTERPRETAZIONE
A (5-8)	0 m ↓ 3.00 m	Livello poco consistente Limi sabbiosi	Depositi alluvionali fini, rimaneggiati
B (R)	3.00 m ↓	Livello resistente Ghiaie ciottoli	Depositi fluviali e fluvioglaciali

Figura 22 - Stratigrafia dell'area di studio

Dall'analisi di alcuni report stratigrafici derivanti dalla bibliografica (Geoportale della Regione Lombardia, Banca dati geologica del Sottosuolo) è stata verificato l'assetto stratigrafico generale, onde evitare lenti argillose e poco consistenti poste al di sotto di strutture rigide ma sottili (ghiaie cementate "ceppo") che potrebbero cedere sotto a carichi specifici.

In particolare, si fa riferimento ad una stratigrafia di un pozzo, profondo 69 m, presente lungo via Crespi.

La stratigrafia conferma che il livello ghiaioso – ciottoloso desunto dall'indagine e responsabile del rifiuto ha spessore consistente (da 1.79 a 22.5 m di profondità).



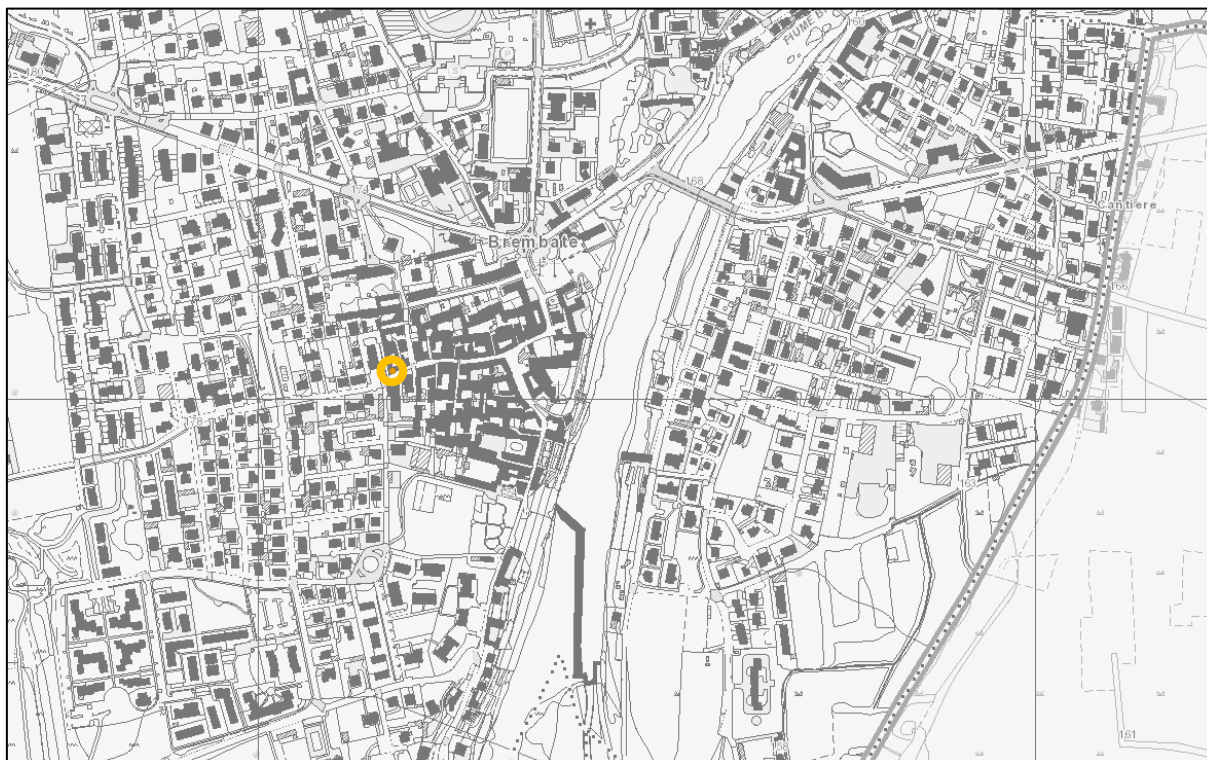


Figura 23 – Stralcio della Banca Geologica del Sottosuolo con indicata l'indagine consultata

7.2 Parametrizzazione geotecnica

7.2.1 Premessa tecnica

L'Eurocodice 7: "Eurocode 7: Geotechnical design - Part 1: General rules", introduce il concetto dei valori caratteristici dei parametri geotecnici.

Il valore caratteristico, inteso come una stima cautelativa del parametro che influenza l'insorgere dello stato limite in considerazione, dovrà essere utilizzato in qualsiasi tipo di verifica geotecnica, che si tratti di SLU (stati limite ultimi ovvero potenziale presenza di una superficie di rottura) o di SLE (stati limite di esercizio ossia deformazioni di tipo elastico o di consolidazione a prescindere dallo stato di rottura).

L'EC7, al punto 2.4.5.2 2(P), definisce quanto segue:

"Il valore caratteristico di un parametro geotecnico sarà scelto come una stima cautelativa del valore che influenza l'insorgere dello stato limite"

I punti salienti della definizione sono i seguenti:

- ✓ Stima cautelativa: si tratta di una stima (il vocabolo prende in considerazione l'incertezza esistente in geotecnica dovuta alla notevole variabilità delle proprietà dei depositi nonché all'incertezza dovuta alle informazioni non complete generalmente a disposizione tramite prove in situ e di laboratorio), che deve essere a favore della sicurezza.
- ✓ Valore che influenza l'insorgere dello stato limite: il valore caratteristico è in funzione dello stato limite considerato, ad esempio la rottura del terreno al collasso verticale della fondazione. Se esaminiamo, invece della rottura al collasso verticale, la rottura allo slittamento, il valore del parametro geotecnico sarà generalmente diverso.

Definire il valore caratteristico significa pertanto scegliere il parametro geotecnico che influenza il comportamento del terreno in quel determinato stato limite, ed adottarne un valore, o stima, a favore della sicurezza.



Si pone in evidenza che l'unica metodologia delineata dall'EC7 per la definizione dei valori caratteristici è di natura statistica, anche se questa non è resa obbligatoria per gli stati membri.

Per valore caratteristico di un parametro geotecnico deve intendersi una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro nello stato limite considerato.

1. Una stima cautelativa del valore medio è una selezione del valore medio del limitato insieme dei valori del parametro geotecnico, con un livello di confidenza del 95%.
2. Dove l'analisi riguarda una rottura locale, una stima cautelativa del 'low value' è il 5° percentile.

Occorre considerare tra l'altro se esiste compensazione spaziale o strutturale valutando le fluttuazioni dei parametri.

In sintesi, all'interno di uno strato omogeneo e dello spessore di influenza dello stato limite considerato, valgono le seguenti regole:

- A. Se esiste compensazione spaziale (volume interessato dallo stato limite, o suo spessore in una dimensione, significativamente maggiore della lunghezza delle fluttuazioni nei parametri di resistenza del terreno), allora il valore caratteristico corrisponde al 5° percentile della media ed è generalmente non molto distante dalla media stessa.
- B. Se esiste compensazione strutturale (fondazioni sufficientemente rigide tali da distribuire le sollecitazioni omogeneamente sul terreno), allora il valore caratteristico è lo stesso del precedente caso A.
- C. Se non esiste compensazione strutturale, né compensazione spaziale, allora il valore caratteristico è il 5° percentile della distribuzione statistica del campione, ed è generalmente piuttosto distante dalla media.



7.2.2 Correlazioni geotecniche

Nel caso in oggetto, i dati disponibili derivano dalle prove penetrometriche dinamiche.

I valori del numero dei colpi è stato trasformato in N_{SPT} , secondo la procedura di seguito descritta.

7.2.2.1 Correlazione con N_{SPT} delle prove penetrometriche

Poiché la prova penetrometrica standard (S.P.T.) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi N_{SPT} ottenuto con la suddetta prova; pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con N_{SPT} . Il passaggio viene dato da:

$$N_{SPT} = \beta_t N$$

Dove:

$$\beta_t = \frac{Q}{Q_{SPT}}$$

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Q_{SPT} è quella riferita alla prova S.P.T.



L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

in cui:

- M = peso massa battente;
M' = peso aste;
H = altezza di caduta;
A = area base punta conica;
 δ = passo di avanzamento.

Si ricava quindi un coefficiente di correlazione N_{SPT} pari a:

Coeff. Corr. N_{SPT}
1.489 (DPSH)

7.2.2.2 Determinazione dei parametri geotecnici

Una volta eseguita tale trasformazione sono stati stimati i parametri geotecnici di riferimento per gli strati omogenei individuati.

Le correlazioni utilizzate per la stima dei principali parametri sono quelle più adatte al contesto litologico del sito tra le seguenti:



7.2.2.3 A - Correlazioni geotecniche terreni incoerenti

Correzione N_{SPT} in presenza di falda

$$N_{SPT} \text{ corretto} = 15 + 0.5 \times (N_{SPT} - 15).$$

N_{SPT} è il valore medio nello strato.

La correzione viene applicata in presenza di falda solo se il numero di colpi è maggiore di 15 (la correzione viene eseguita se tutto lo strato è in falda).

Angolo di Attrito

- ✓ Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956 - Correlazione valida per terreni non molli a profondità < 5 m; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per profondità < 5 m per terreni sopra falda e < 8 m per terreni in falda (tensioni < 8-10 t/mq).
- ✓ Shioi-Fukuni 1982 (Road Bridge Specification) Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (condizioni ottimali per profondità di prova > 8 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda) $\sigma > 15$ t/mq.
- ✓ Shioi-Fukuni 1982 (Japanese National Railway) Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose.
- ✓ Angolo di attrito in gradi (Owasaki & Iwasaki) valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (condizioni ottimali per profondità > 8 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda) $s > 15$ t/mq.

Modulo di Young (E_y)

- ✓ Terzaghi, elaborazione valida per sabbia pulita e sabbia con ghiaia senza considerare la pressione efficace.
- ✓ Schmertmann (1978), correlazione valida per vari tipi litologici.
- ✓ Schultze-Menzenbach, correlazione valida per vari tipi litologici.
- ✓ D'Appollonia ed altri (1970), correlazione valida per sabbia, sabbia SC, sabbia NC e ghiaia.



- ✓ Bowles (1982), correlazione valida per sabbia argillosa, sabbia limosa, limo sabbioso, sabbia media, sabbia e ghiaia.

Peso di volume gamma (γ)

- ✓ Meyerhof ed altri, valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

Peso di volume saturo (γ_{sat})

- ✓ Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948-1967. Correlazione valida per peso specifico del materiale pari a circa $\gamma = 2,65$ t/mc e per peso di volume secco variabile da 1,33 ($N_{SPT} = 0$) a 1,99 ($N_{SPT} = 95$).

7.2.2.4 B - Correlazioni geotecniche terreni coesivi***Coesione non drenata (C_u)***

- ✓ Terzaghi-Peck (1948-1967), correlazione valida per argille sabbiose-siltose NC con $N_{spt} < 8$, argille limose-siltose mediamente plastiche, argille marnose alterate-fessurate.
- ✓ Terzaghi-Peck (1948). C_u min-max.
- ✓ Fletcher 1965 - (Argilla di Chicago). Coesione non drenata C_u (Kg/cmq), colonna valori validi per argille a medio - bassa plasticità.
- ✓ Shioi-Fukuni 1982, valida per suoli poco coerenti e plastici, argilla di media-alta plasticità.



Modulo edometrico-confinato (M_o)

- ✓ Stroud e Butler (1975), per litotipi a media plasticità, valida per litotipi argillosi a media-medio-alta plasticità - da esperienze su argille glaciali.
- ✓ Stroud e Butler (1975), per litotipi a medio-bassa plasticità ($IP < 20$), valida per litotipi argillosi a medio-bassa plasticità ($IP < 20$) - da esperienze su argille glaciali.
- ✓ Vesic (1970), correlazione valida per argille molli (valori minimi e massimi).

Peso di volume gamma (γ)

- ✓ Meyerhof ed altri, valida per argille, argille sabbiose e limose prevalentemente coerenti.

Peso di volume saturo (γ_{sat})

Correlazione Bowles (1982), Terzaghi-Peck (1948-1967), valida per condizioni specifiche: peso specifico del materiale pari a circa $G=2,70$ (t/mc) e per indici dei vuoti variabili da 1,833 ($N_{SPT} = 0$) a 0,545 ($N_{SPT} = 28$).



7.2.3 Atribuzione dei parametri

In prima battuta si è deciso di considerare il caso in cui esista la **compensazione spaziale e/o strutturale** per la definizione dei parametri geotecnici. Nel caso in cui le scelte progettuali definitive (dimensione e profondità di posa delle fondazioni ecc.), non permettano di considerare la compensazione spaziale e/o strutturale, i parametri di seguito elencati andranno rivalutati sulla scorta delle nuove condizioni.

Di seguito si riassumono i parametri determinati.

Livello		Peso specifico naturale	Peso specifico saturo	Angolo d'attrito	Coesione drenata	Coesione non drenata	Modulo edometrico/ elastico
		kg/m ³	kg/m ³	°	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²
COESIVO	A	1700	1800	25 – 26	0,00 – 0,10	0,20 – 0.40	40 – 60 (Ed)
MISTO	B	2200	2300	31 – 33	n.c. ¹	n.c.	300-350 (EI)

Figura 12 - Litologie e principali parametri geotecnici caratteristici

I parametri geomeccanici assegnati ai livelli litotecnici riconosciuti sono stati ricavati dalle correlazioni geotecniche di letteratura applicate alle indagini geognostiche effettuate. I valori di ciascun parametro sono stati scelti tra le correlazioni più adatte allo specifico contesto geologico e geotecnico del sito, e parzialmente rivalutati secondo una stima ragionata e cautelativa.

¹ Coesione assente o minima data da possibile cementazione nelle ghiaie, ad ogni modo si consiglia di considerarla nulla



8 RISPOSTA SISMICA E STABILITÀ DEL SITO

8.1 Azione sismica *(questa sezione è tratta dalle NTC2018)*

La verifica dell'operatività di una struttura, o infrastruttura, necessita della definizione delle caratteristiche sismiche dell'area e delle possibili accelerazioni che le caratteristiche stratigrafiche e topografiche dell'area possono portare.

A partire dalle Norme Tecniche sulle Costruzioni (DM 14 gennaio 2008) e nell'Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni (DM 17 gennaio 2018) il fattore "sismicità" entra direttamente nelle verifiche di Stato Limite come Azione Sismica.

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione e sono funzione delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche che determinano la risposta sismica locale.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A come definita al par. 3.2.2 delle NTC2018), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_E(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} come definite nel par 3.2.1 delle NTC2018, nel periodo di riferimento V_R , come definito nel par 2.4 delle NTC2018. In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica locale dell'area della costruzione. Ai fini della presente normativa le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento P_{VR} nel periodo di riferimento V_R , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

a_g accelerazione orizzontale massima al sito;

F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T^*_C valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.



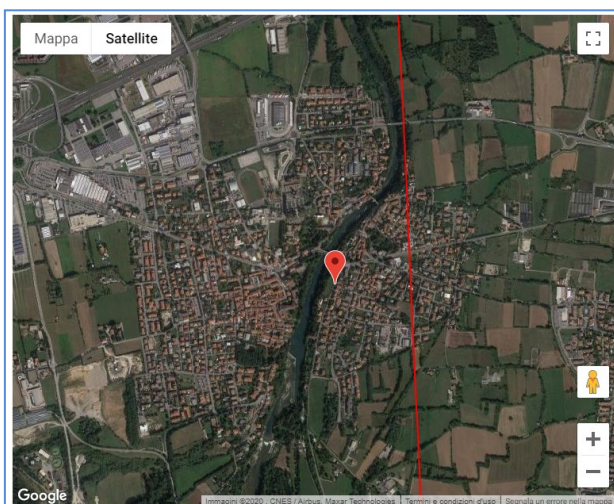
Per i valori di a_g , F_0 e T_c^* , necessari per la determinazione delle azioni sismiche, si fa riferimento agli Allegati A e B al Decreto del Ministro delle Infrastrutture 14 gennaio 2008, pubblicato nel S.O. alla Gazzetta Ufficiale del 4 febbraio 2008, n.29, ed eventuali successivi aggiornamenti.

8.1.1 Parametri sismici puntuali

Per la definizione dei parametri sismici a_g , F_0 e T_c^* si è tenuto conto della categoria di strutture II.

Data la tipologia di opera, si è inoltre prevista una vita nominale >50 anni.

Di seguito si riportano i parametri puntuali riferiti all'edificio in progetto.



Stato Limite	T_r [anni]	a_g [g]	F_0	T_c^* [s]
Operatività (SLO)	30	0.027	2.464	0.195
Danno (SLD)	50	0.035	2.492	0.212
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.095	2.448	0.273
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.126	2.454	0.280
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

Figura 24 – Parametri sismici puntuali

Per lo stato limite di vita (SLV) si definiscono quindi i seguenti parametri sismici:

T_r	475 anni
a_g	0.095 [g]
F_0	2.448
T_c^*	0.273 [s]

8.1.2 Stati limite e probabilità di superamento

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

Gli stati di esercizio (SLE) comprendono:

- **Stato Limite di Operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti in relazione alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- **Stato Limite di Danno (SLD):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e 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.

Gli stati limite ultimi (SLU) comprendono:

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

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} , cui riferirsi per



individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate di seguito.

Stati Limite PVR	PVR: Probabilità di superamento nel periodo di riferimento VR	
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Figura 25 – Tabella delle probabilità di superamento P_{VR} in funzione dello stato limite considerato

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

Per ciascuno stato limite e relativa probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R si ricava il periodo di ritorno T_R del sisma utilizzando la relazione:

$$T_R = -V_R / \ln(1 - P_{VR}) = -C_u V_N / \ln(1 - P_{VR})$$

8.1.3 Categorie di sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel par. 7.11.3 delle NTC2018. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella tabella che segue, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s . I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità V_s per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo.

I valori di V_s sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata



motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

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

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

I parametri vengono così definiti:

h_i spessore dell'i-esimo strato;

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

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella della formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

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.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite di seguito:



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

Figura 26 - Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato

Per queste cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono definibili come descritto al par. 3.2.3 delle NTC2018.

Per quanto riguarda la classe di sottosuolo sismico, l'indagine ha consentito di definire un valore di $V_{S,eq}$ pari a 451 m/s. Tale velocità sarebbe sufficiente a consentire l'inserimento del sito entro la classe B, **tuttavia** data la presenza del già citato livello argilloso alla profondità di 25 m c.a., **è preferibile adottare la classe di sottosuolo C**



8.1.4 Condizioni topografiche

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione:

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i < 15^\circ$
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 $i > 30^\circ$

Figura 27 - Categorie topografiche

Le suesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

L'area di progetto si trova in un contesto di pianura debolmente inclinata. Dunque in questo caso si può considerare la categoria topografica T1. A tale categoria si può associare un fattore S_T pari a 1,0



8.2 Risposta sismica locale – Componente sismica dei P.G.T. Comunali

8.2.1 Generalità e metodologie di analisi

Con l'entrata in vigore, il 23 ottobre 2005, dell'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" (pubblicata sulla G.U. n. 105 del 08-05-2003 Supplemento ordinario n. 72), viene effettuata una suddivisione del territorio nazionale su base sismica e vengono fornite le prime normative tecniche per le costruzioni nelle zone sismiche. La Regione Lombardia ha preso atto della classificazione di tale Ordinanza mediante la d.g.r. n. 14964 del 7 novembre 2003.

L'Ordinanza è peraltro entrata in vigore contestualmente al D.M. 14-09-2005 "Norme tecniche per le costruzioni", pubblicato sulla G.U. n. 222 del 23-09-2005 Supplemento ordinario n. 159.

Grazie alla nuova Ordinanza, si è passati dalla vecchia classificazione sismica del territorio nazionale (D.M. 5 marzo 1984) alla suddivisione nuova che, per la Lombardia, classifica 41 comuni in zona 2, 238 comuni in zona 3 e 1267 comuni in zona 4.

In tempi più recenti, la classificazione sismica del territorio lombardo è stata oggetto di una nuova revisione, in base alla quale tutti i comuni bergamaschi, ivi incluso Brembate, è stato riclassificato nella zona sismica 3.



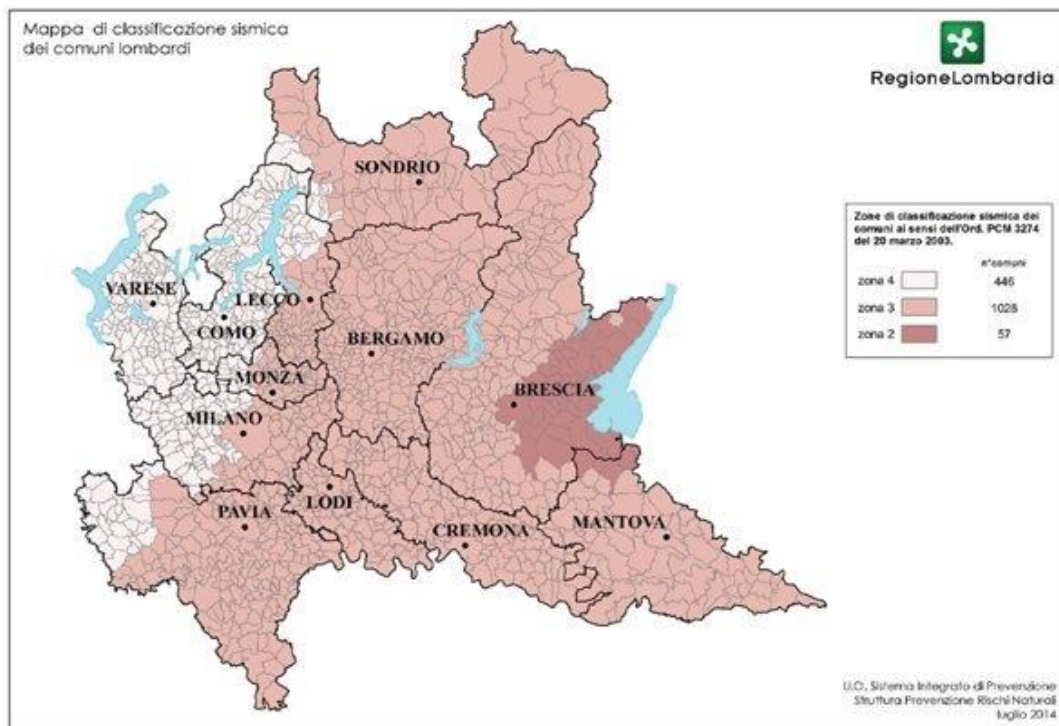


Figura 28 - Classificazione sismica secondo D.G.R. 11 luglio 2014 - n. X/2129 (tutta la bergamasca si trova in zona sismica 3, ivi Brembate)

Al fine di sviluppare una metodologia di valutazione dell'amplificazione sismica locale in adempimento alle nuove normative nazionali, la Regione Lombardia ha predisposto uno studio pilota, elaborato dal Politecnico di Milano – Dipartimento di Ingegneria Strutturale, basato sull'analisi di indagini dirette e prove sperimentali effettuate in aree campione del territorio regionale. Tale metodologia, esaustivamente descritta nell'Allegato 5 dei Criteri attuativi della L.R. 12/2005, prevede studi basati su **tre livelli di approfondimento crescente**.

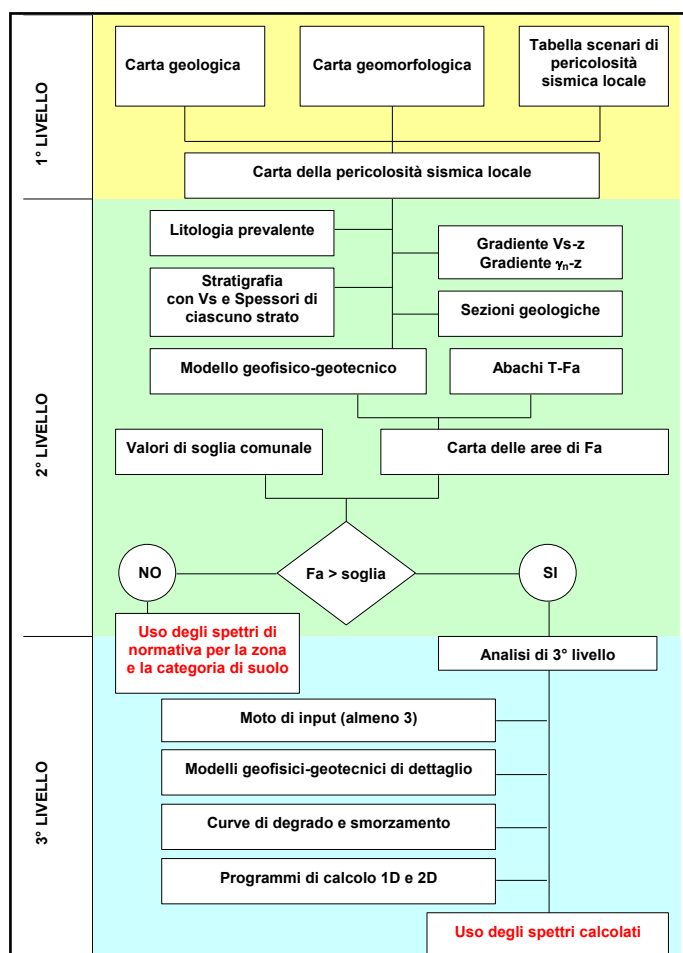


Figura 29 - Diagramma dei percorsi di definizione dei tre livelli di approfondimento sismico (Criteri attuativi L.R. 12/05 – Regione Lombardia)



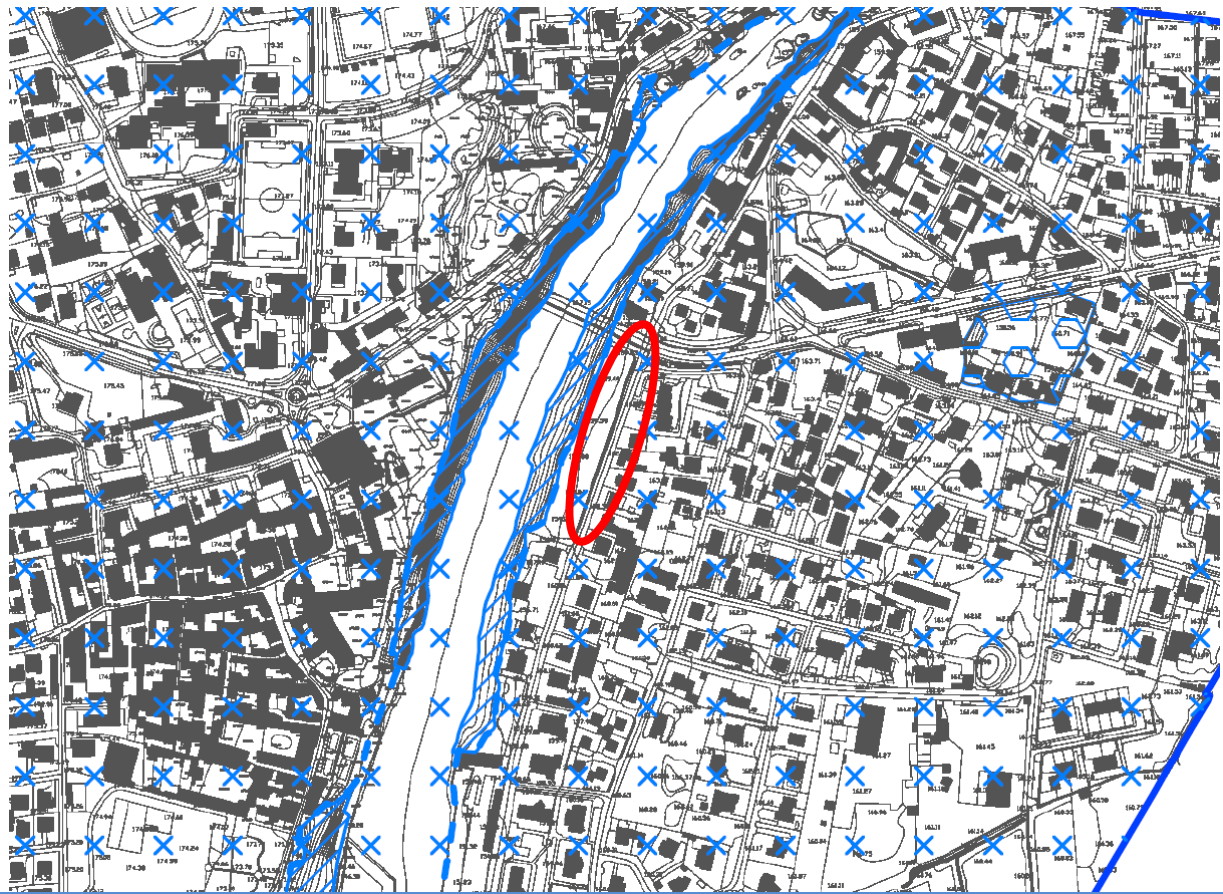
8.2.2 1° Livello – carta della PSL

Il **1° livello**, obbligatorio per tutti i comuni, consiste in una zonazione del territorio comunale in aree a diverso grado di pericolosità sismica locale, sulla base degli elementi geologici e geomorfologici presenti, nonché la redazione di una Carta della Pericolosità Sismica Locale contenente tali perimetrazioni.

<i>Sigla</i>	<i>SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE</i>	<i>EFFETTI</i>
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
Z1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	
Z2a	Zone con terreni di fondazione saturi particolarmente scadenti (riporti poco addensati, depositi altamente compressibili, ecc.)	Cedimenti
Z2b	Zone con depositi granulari fini saturi	Liquefazioni
Z3a	Zona di ciglio H > 10 m (scarpata, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc.)	Amplificazioni topografiche
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite - arrotondate	
Z4a	Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche e geometriche
Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre	
Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)	
Z4d	Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	
Z5	Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	Comportamenti differenziali

Figura 30 - Scenari di pericolosità sismica locale



STRUMENTO	Carta della Pericolosità Sismica Locale del P.G.T. comunale
AUTORE	Eurogeo Gennaio 2018
AMBITI O VINCOLI RAPPRESENTATI	<ul style="list-style-type: none"> Ambiti di amplificazione sismica locale
	
	VINCOLI O AMBITI INTERFERENTI COMPLETAMENTE
	Z4a – zona con depositi alluvionali/fluvioglaciali granulari/coesivi

8.2.3 2° livello – Verifica del fattore di amplificazione Fa

La verifica del fattore di amplificazione segue l'analisi dell'amplificazione Litologica di cui al paragrafo 7.1.3 del presente elaborato.

Mediante il 2° livello di approfondimento si individuano quelle aree dove la normativa nazionale non è sufficiente a salvaguardare dagli effetti dell'amplificazione sismica locale, ovvero quelle zone dove il fattore di amplificazione Fa calcolato è superiore al valore Fa di soglia fornito per il comune dal Politecnico di Milano.

In queste aree bisogna procedere con gli approfondimenti di 3° livello, oppure usare i parametri di progetto previsti dalla normativa nazionale per la zona sismica superiore

In base ai dati ricavati dalle indagini indirette vengono calcolati il valore delle $V_{s,eq}$ e il periodo proprio (T) per ogni colonna stratigrafica analizzata.

Il valore delle $V_{s,eq}$ viene calcolato utilizzando l'equazione di cui al paragrafo 9.1.3.

Il periodo proprio del sito T necessario per l'utilizzo della scheda di valutazione è calcolato considerando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità V_s è uguale o superiore a 800 m/s ed utilizzando la seguente equazione:

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

ove h_i e $V_{s,i}$ sono lo spessore e la velocità dello strato i -esimo del modello.

Sempre in base ai dati ricavati dalle indagini indirette, viene associata ad ogni ambito di interesse la relativa scheda litologica di valutazione di riferimento, verificandone la validità in base all'andamento dei valori di V_s con la profondità.



È così possibile calcolare il valore di F_a per gli intervalli di periodi 0.1 – 0.5 s e 0.5 – 1.5 s, individuando così i valori soglia del fattore di amplificazione in funzione della categoria di suolo e per i due intervalli di periodi.

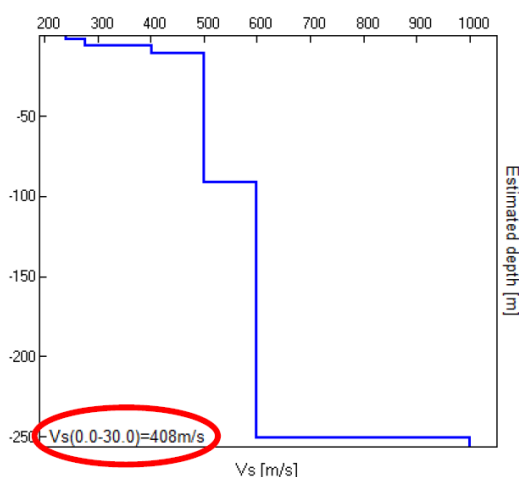
Tali valori devono essere confrontati con il parametro calcolato per ciascun Comune della Regione Lombardia, che rappresenta il valore di soglia, oltre il quale lo spettro proposto dalla normativa risulta insufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione presente nel sito.

Comune	intervallo [s]	B	C	D	E
Brembate	0.1-0.5	1.5	1.9	2.3	2.0
	0.5-1.5	1.7	2.4	4.3	3.1

Figura 31 – Tabella di sintesi delle soglie definite per il Comune di Brembate (Fonte RL)

Per quanto riguarda il sito di studio, non sono presenti indagini utilizzate per l'analisi di II livello nelle immediate vicinanze al sito. È tuttavia presente la prova n. 5, eseguita presso il parco pubblico di via G. di Vittorino, a circa 400 m ad est rispetto al sito. Tale indagine è sufficientemente significativa in quanto posta entro simile ambito territoriale e in coerente ambito di amplificazione sismica (Z4a).

La stratigrafia sismica di riferimento è la seguente:



Nota la classe di sottosuolo sismico del sito "B" e la scheda litologica applicata all'analisi (Limoso – sabbiosa di tipo 2) è stato calcolato il periodo di riferimento del sito (0.59).

I risultati dell'analisi sismica di II livello hanno definito un sito per cui il valore di F_a è superiore ai limiti di soglia per un periodo di riferimento dell'edificio $T_{0.1-0.5s}$. Pertanto, la classe di sottosuolo B non è sufficiente a tener conto degli effetti di amplificazione.

Comune	intervallo [s]	FAC	Soglia Classe B	Soglia Classe C
Brembate	0.1-0.5	1.7	1.5	1.9
	0.5-1.5	1.5	1.7	2.4

Dalle indagini sismiche è stata definita la classe di sottosuolo C al sito.

Per quanto riguarda tale classe (C), il fattore di amplificazione risulta inferiore ai limiti di soglia stabiliti (vedasi a riferimento la tabella di figura 28) per ambedue i periodi di riferimento e, pertanto, si conferma la necessità di adottare tale classe di sottosuolo nel dimensionamento delle strutture.



8.3 Adeguatezza del sito di costruzione

L'area oggetto di studio non è soggetta all'apertura di faglie e fratture in superficie e non presenta problemi di stabilità dei pendii che possono riattivarsi in caso di sisma.

8.4 Adeguatezza del terreno di fondazione

I problemi riguardanti i terreni di fondazione in rapporto al fenomeno sismico sono la liquefazione e il cedimento; fenomeni che possono determinare pericolosità anche elevata per l'integrità della struttura e per la popolazione.

8.4.1 Liquefazione

Ai fini delle norme, il termine "liquefazione" denota una diminuzione di resistenza a taglio e/o di rigidità causata dall'aumento di pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo durante lo scuotimento sismico, tale da generare deformazioni permanenti significative o persino l'annullamento degli sforzi efficaci nel terreno.

Deve essere verificata la suscettibilità alla liquefazione quando la falda freatica si trova in prossimità della superficie ed il terreno di fondazione comprende strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione fine limo-argillosa.

Nel sito sono presenti ghiaie e sabbie, con una falda posta a circa 15 – 16 m dal p.c., pertanto, mancano le condizioni idrogeologiche affinché si verifichi il fenomeno.

8.4.2 Cedimenti sismici

Ai fini delle norme, il termine "cedimento sismico" denota un addensamento di sabbie sciolte in condizioni sia sature che sottosature. Non sono presenti le condizioni idrogeologiche e litologiche affinché si verifichi tale fenomeno.



9 VERIFICA IDRAULICA DELL'OPERA

Per l'impostazione di tale verifica si deve necessariamente fare riferimento alle ultime disposizioni normative ed alle previsioni dello studio geologico di supporto al PGT comunale, fra queste è necessario menzionare:

9.1 Piano di Gestione del Rischio Alluvioni

Nella seduta di Comitato Istituzionale del 17 dicembre 2015, con deliberazione n.4/2015, è stato adottato il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA). Nella seduta di Comitato Istituzionale del 3 marzo 2016, con deliberazione n.2/2016, è stato approvato il PGRA.

Il PGRA è stato elaborato sulla base della diagnosi di criticità derivante dalle Mappe della pericolosità e del rischio di alluvioni.

La suddetta mappatura è stata redatta utilizzando tutte le conoscenze e gli studi idraulici disponibili presso l'Autorità di bacino, le Regioni del Distretto idrografico padano ed i Comuni che al momento di avvio dell'attività di mappatura (dicembre 2010) avevano già proceduto alla predisposizione degli Studi idrologici e idraulici per l'adeguamento degli strumenti urbanistici ai previgenti strumenti della pianificazione di bacino per l'assetto idrogeologico (in particolare, si tratta del Piano per l'Assetto Idrogeologico del fiume Po – PAI – e del Piano per l'Assetto Idrogeologico del Delta del fiume Po – PAI Delta).

Detta mappatura, in particolare, per alcuni corsi d'acqua ha tenuto conto di una ricognizione di dettaglio realizzata dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) con la predisposizione di un modello digitale del terreno e delle sue quote di elevata precisione che ha consentito di definire con maggior sicurezza i limiti delle aree allagabili per i diversi tempi di ritorno, nonché delle mappe degli allagamenti conseguenti a recenti eventi alluvionali.



Per il Fiume Brembo è possibile riportare la seguente scheda inserita nell'Allegato 1 alla Relazione della Sezione A del PGRA.

**Piano per la valutazione e la gestione del
rischio di alluvioni**

Art. 7 della Direttiva 2007/60/CE e del D.lgs. n. 49 del 23.02.2010

Allegato 1

**Schede descrittive delle mappe di pericolosità
sul Reticolo Principale
(fonti, criteri, livelli di confidenza)**

MARZO 2016



Corso d'acqua	<input type="text" value="Brembo"/>	da	<input type="text" value="Lenna"/>
Bacino	<input type="text" value="Adda"/>	a	<input type="text" value="confluenza Adda"/>
Bacino secondario	<input type="text" value="Brembo"/>	Lunghezza Km	<input type="text" value="51"/>

Dati disponibili e fonti

		Scenari di alluvione	Tempo di ritorno
Limiti delle aree inondabili	Alluvioni frequenti	<input type="text" value="x"/>	<input type="text" value="20"/>
	Alluvioni poco frequenti	<input type="text" value="x"/>	<input type="text" value="200"/>
	Alluvioni rare	<input type="text" value="x"/>	<input type="text" value="500"/>
Portate e livelli di piena in corrispondenza delle sezioni del modello	Alluvioni frequenti	<input type="text" value="x"/>	<input type="text" value="20"/>
	Alluvioni poco frequenti	<input type="text" value="x"/>	<input type="text" value="200"/>
	Alluvioni rare	<input type="text" value="x"/>	<input type="text" value="500"/>
Velocità medie in corrispondenza delle sezioni del modello	Alluvioni frequenti	<input type="text" value="x"/>	<input type="text" value="20"/>
	Alluvioni poco frequenti	<input type="text" value="x"/>	<input type="text" value="200"/>
	Alluvioni rare	<input type="text" value="x"/>	<input type="text" value="500"/>

		Studi		
Limiti delle aree inondabili	Alluvioni frequenti	<input type="text" value="SdF"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	Alluvioni poco frequenti	<input type="text" value="SdF"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	Alluvioni rare	<input type="text" value="SdF"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Portate e livelli di piena in corrispondenza delle sezioni del modello	Alluvioni frequenti	<input type="text" value="SdF"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	Alluvioni poco frequenti	<input type="text" value="SdF"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	Alluvioni rare	<input type="text" value="SdF"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Velocità medie in corrispondenza delle sezioni del modello	Alluvioni frequenti	<input type="text" value="SdF"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	Alluvioni poco frequenti	<input type="text" value="SdF"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	Alluvioni rare	<input type="text" value="SdF"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Note su fonti

- SdF - Studio di fattibilità: Studio di fattibilità degli interventi di sistemazione (2004). Contiene analisi idrologica, analisi idraulica con modello monodimensionale di asta con sezioni topografiche appositamente rilevate e delimitazione delle aree inondabili per eventi con TR 20, 200 e 500.

Criteri di rielaborazione dei dati e aggiornamento delle delimitazioni delle aree inondabili

Per gli scenari di piena frequente e poco frequente la delimitazione delle aree inondabili è quella effettuata nello SdF.

Per lo scenario di piena rara è stata aggiornata localmente e con criteri speditivi la fascia C del PAI.



Livelli di confidenza

CorsoAcqua:

Livello di confidenza	Alto	Medio	Basso
Dati topografici (completezza e aggiornamento) necessari per la mappatura	<input type="text"/>	<input checked="" type="text" value="x"/>	<input type="text"/>
Dati idrologici e idraulici (completezza e aggiornamento) necessari per la mappatura	<input type="text"/>	<input checked="" type="text" value="x"/>	<input type="text"/>
Qualità del processo di rielaborazione e aggiornamento effettuato	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input checked="" type="text" value="x"/>

Note sul livello di confidenza

Il livello di confidenza associabile alla delimitazione delle aree inondabili si può ritenere adeguato rispetto alle finalità delle mappe e alla prima fase di gestione prevista dalla Direttiva 2007/60/CE.

Tale livello di confidenza potrà essere migliorato, nei successivi cicli di aggiornamento del piano, mediante la predisposizione della mappa di soggiacenza ed il conseguente aggiornamento della delimitazione delle aree allagabili. Localmente potranno essere efficacemente condotte analisi idrauliche di maggior dettaglio e verifiche locali (sopralluoghi, segnalazioni, ecc.).

Per lo scenario di piena rara è inoltre necessario considerare l'incertezza connessa alla stima dei livelli di piena e a possibili fenomeni estremi connessi allo scenario in questione (rotture dei rilevati arginali e stradali che contengono il livello, parzializzazione o ostruzione delle luci dei ponti, mancato funzionamento di paratoie, ecc.). Al fine di migliorare il livello di confidenza per tale scenario di piena occorrono pertanto specifici approfondimenti di asta fluviale o di area vasta.

Comuni interessati dalle aree inondabili

Scenari di piena H-M

Camerata Cornello - San Giovanni Bianco - San Pellegrino Terme - Brembilla - Zogno - Ubiale Cianezzo - Sadrina - Almenno San Bartolomeo - Villa d'Almè - Almenno San Salvatore - Almè - Paladina - Brembate di Sopra - Valbrembo - Ponte San Pietro - Curno - Bonate Sopra - Tereviolo - Bonate Sotto - Dalmine - Filago - Osio Sopra - Brembate - Osio Sotto - Canonica d'Adda - Lenna

Scenario di piena L

Salvatore - Almè - Paladina - Brembate di Sopra - Valbrembo - Ponte San Pietro - Curno - Bonate Sopra - Tereviolo - Bonate Sotto - Dalmine - Filago - Osio Sopra - Brembate - Osio Sotto - Canonica d'Adda - Lenna

Come evidenziato, relativamente agli eventi rari (TdR500) potrebbero essere localmente sovrastimati gli effetti della piena per considerare possibili effetti locali, fonti di incertezze nella stima dell'effettiva entità delle piene in assenza di studi specifici. Fra questi effetti si possono considerare le ostruzioni di ponti. Nel caso in esame, ci si trova appena a valle del ponte di via Bergamo.

Nel P.G.R.A. l'area di progetto è ubicata parzialmente entro le perimetrazioni dello scenario raro (TdR 500 anni) da Reticolo Principale (Fiume Brembo).



Figura 32 - Estratto da Direttiva Alluvioni rev. 2019. In rosso l'area d'interesse

9.2 Conformazione degli interventi

Allo stato attuale, l'ambito di pericolosità va ad interessare la sponda prativa in sinistra orografica del Fiume Brembo e rimane confinata in essa dal sedime stradale esistente di Via Canonica, che funge da argine. La carreggiata di Via Canonica non rientra nelle perimetrazioni di pericolosità.

Nello stato di progetto, una parte delle nuove opere di Via Canonica andrebbero ad inserirsi nelle perimetrazioni attuali. Nello specifico sono la parte più occidentale del nuovo sedime stradale ed il nuovo muro di contenimento rivolto verso l'alveo.

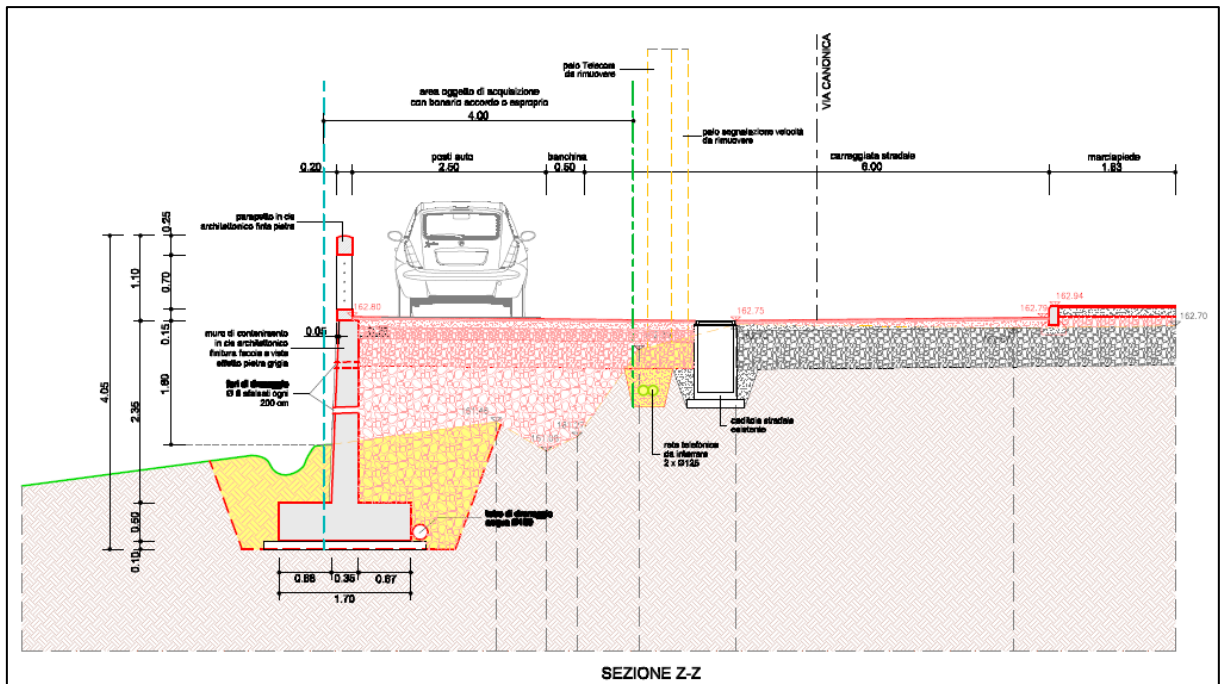


Figura 33 - Sezione "tipo" di progetto. Nella parte sinistra si denota il muro di sostegno rivolto verso la sponda del Fiume Brembo

9.3 **Studio di fattibilità a cura di AdBPo**

Così come indicato anche nel P.G.R.A., la base di partenza per la redazione delle mappe di pericolosità sono gli studi di fattibilità predisposti dall'Autorità di Bacino del Fiume Po.

In particolare si fa riferimento allo *Studio di fattibilità della sistemazione idraulica (2004)* effettuato sull'asta del Fiume Brembo. In tale studio sono presenti i livelli idrometrici, poi ripresi dal PGRA, per ogni sezione analizzata. Lo studio di fattibilità ha fornito importanti informazioni riguardo la topografia dell'area e, soprattutto, i livelli di piena nelle sezioni d'interesse, riferiti alle portate transistanti.

Sono stati calcolati i livelli di piena stimati a vari tempi di ritorno (2, 10, 50, 100, 200 e 500 anni) in corrispondenza delle sezioni topografiche trasversali individuate lungo il Fiume Brembo. Nella presente relazione si è fatto riferimento alla portata bicentenaria. Per quanto riguarda le portate, le sezioni e i profili di piena, sono di seguito riportate quelle indicate nel PGRA in quanto congruenti con quelle dello studio di fattibilità.

In particolare è stato utilizzato il documento relativo alla redazione delle Mappe di pericolosità denominato "*Profili di Piena dei corsi d'acqua del Reticolo Principale*".



Piano per la valutazione e la gestione del rischio di alluvioni

Art. 7 della Direttiva 2007/60/CE e del D.lgs. n. 49 del 23.02.2010

Profili di piena dei corsi d'acqua del reticolo principale

MARZO 2016



9.3.1 Portate di piena

Di seguito si riporta la tabella riferita alle portate di piena.

Tab. 4.5: portate di piena per i corsi d'acqua principali del bacino dell'Adda (Adda, Mera, Brembo, Serio)

Bacino	Corso d'acqua	Sezione			Superficie	Q20	Q200	Q500	Idrometro
		Progr. (km)	Cod.	Denomin.	km ²	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	Denominazione
Adda	Brembo	39.361	64	Zogno	-	810	1350	1620	
Adda	Brembo	53.531	31	Ponte Briolo	765	950	1580	1900	Brembo a Ponte Briolo
Adda	Brembo	67.234	5	Confluenza in Adda	964	950	1580	1900	

L'area oggetto di studio si trova nel tratto terminale del Fiume Brembo, a poche centinaia di metri dalla confluenza nell'Adda, ove è stata valutata una portata con tempo di ritorno di 500 anni pari a 1900 m³/s.



9.3.2 Sezioni e profili di piena

La sezione di interesse nell'area in analisi è individuata dal numero 006.

Di seguito la tabella mostra l'identificativo delle sezioni, distanza progressiva da monte e livelli alle varie piene considerate:

Tab. 5.12: profili di piena per il fiume Brembo

(Le lettere "m" e "v" tra parentesi indicano che la sezione è in corrispondenza di un'opera di attraversamento o di un'opera trasversale e pertanto è ripetuta, nel nome e nella progressiva, per indicarne il livello rispettivamente a monte e a valle)

Sez.	Progr. (km)	T = 20 anni	T = 200 anni	T = 500 anni	Sez.	Progr. (km)	T = 20 anni	T = 200 anni	T = 500 anni
		Quota idrica (m s.m.)	Quota idrica (m s.m.)	Quota idrica (m s.m.)			Quota idrica (m s.m.)	Quota idrica (m s.m.)	Quota idrica (m s.m.)
60_1 (m)	40.191	299.65	300.97	301.55	6_1 (m)	66.349	150.96	152.57	153.32
60_1 (v)	40.191	299.45	300.62	301.13	6_1 (v)	66.349	150.87	152.39	153.09
60	40.313	298.45	299.55	300.04	6	66.422	149.28	150.72	151.35
59	40.540	296.68	297.46	297.90	5_2	66.792	148.35	148.84	149.10
58	40.811	294.47	295.89	296.63	5_2_1	66.798	146.85	147.51	147.80

Sul geoportale di AIPO sono rese disponibili tabelle di dati, in formato .csv o .xls, da cui estrarre la conformazione delle sezioni fluviali. Inoltre è possibile scaricare uno shapefile georeferenziato col quale vengono localizzate tutte le sezioni individuate lungo le aste fluviali.





Figura 34 - Sezioni individuate nel geoportale AIPO. In azzurro l'area d'interesse

Di seguito si riporta la sezione in formato grafico. In alto, sulla sponda sinistra, si può notare l'attuale sedime di Via Canonica e l'inerente opera di sostegno.

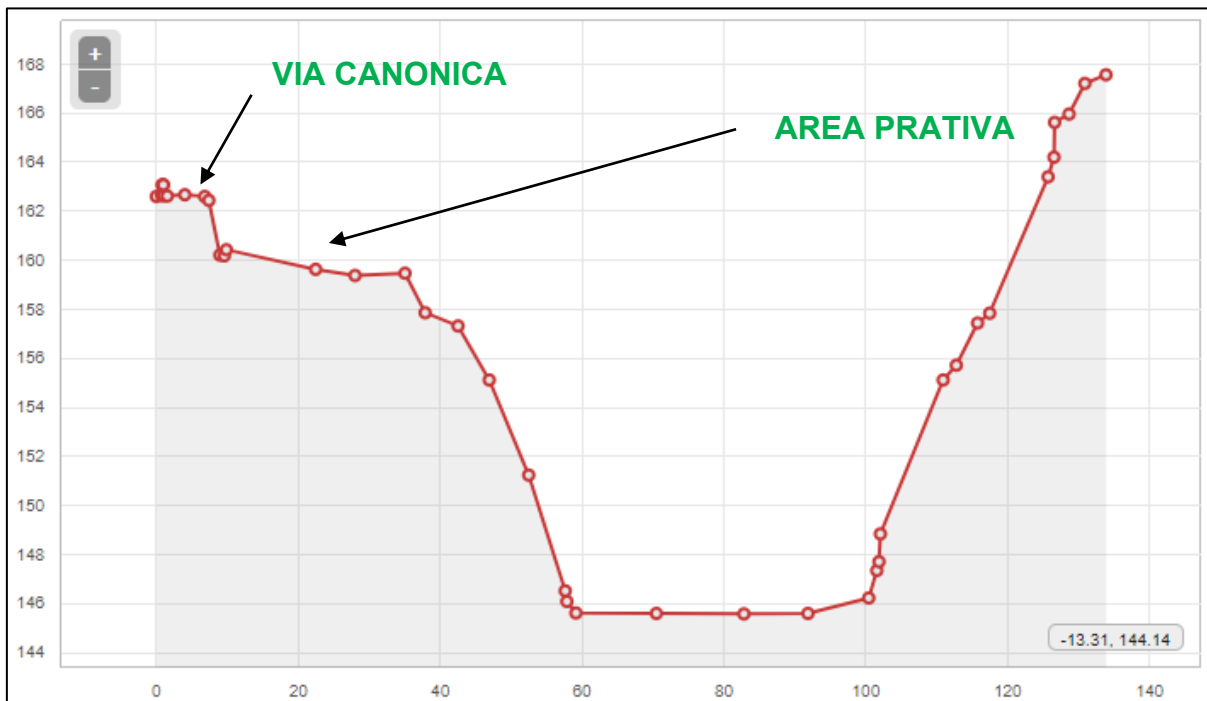


Figura 35 - Sezione 006

Con riferimento alla quota di piena individuata nella tabella precedente, si riporta la sezione 006 riportante anche il pelo libero dell'acqua in caso di evento con tempo di ritorno di 500 anni (linea continua nell'immagine).

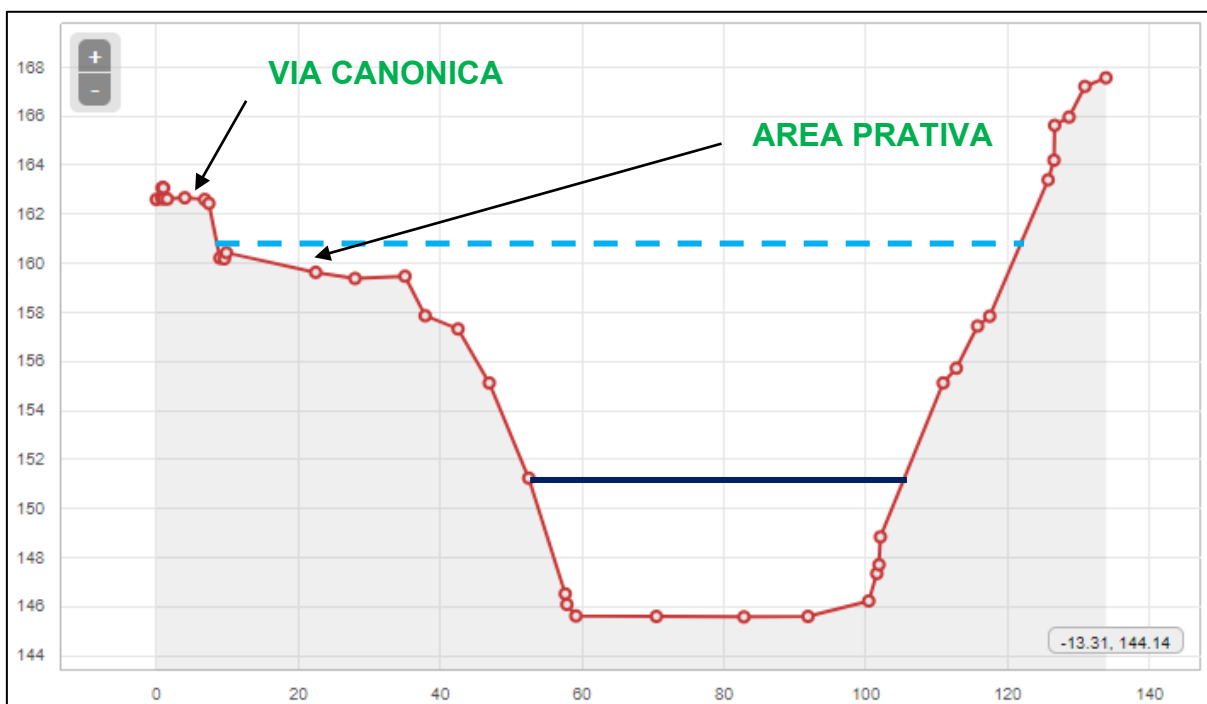


Figura 36 - Sezione 006 con indicazione del livello di piena TdR500 in blu. In azzurro posizionamento indicativo della piena così come riportato nelle mappe del P.G.R.A.

Così come indicato in precedenza relativamente ai dati sorgente del P.G.R.A., si ha che il livello di piena effettivamente riportato in carta sia stato sovrastimato per considerare possibili effetti locali, rispetto ai quali non si hanno informazioni certe riguardo a possibili influenze sui deflussi.

Il battente idrico rispetto all'area prativa di Via Canonica, sulla base dell'estensione della piena da scenario raro del P.G.R.A., ha quindi una modesta entità, insufficiente a far sì da invadere la carreggiata

9.4 Considerazioni sulla compatibilità idraulica

Si ritiene che, alla luce del lieve restringimento della sezione bagnata ad opera compiuta, non avvengano comunque apprezzabili variazioni dei battenti idrici e delle massime velocità. Mantenendo la stessa quota del piano stradale attuale, non si prevedono esondazioni su di essa, né allo stato attuale, né a lavori compiuti. In aggiunta, rispetto ai grandi volumi in gioco in una piena quale quella cinquecentennale, il volume occupato dalla nuova opera ne costituisce una frazione impercettibile. In altre parole, l'intervento non costituisce un ostacolo significativo alla piena e non si rilevano alterazioni al normale deflusso della stessa.

Inoltre, l'intervento costituisce un miglioramento dal punto di vista strutturale, in quanto l'inserimento di un nuovo muro di sostegno conferisce stabilità alla strada. Se opportunamente protetto al piede, assume anche il compito di protezione da fenomeni erosivi da parte della corrente, prevenendo eventuali smottamenti rivolti a lato fiume.

In definitiva, l'opera si può considerare compatibile dal punto di vista idraulico rispetto alla piena con tempo di ritorno di 500 anni (evento raro).



10 INDICAZIONI TECNICHE

10.1 Consigli e prescrizioni di carattere generale

Le fondazioni delle strutture di nuova realizzazione, in rifacimento o in ampliamento dovranno essere scelte e dimensionate dallo Strutturista incaricato, sotto la propria esclusiva competenza e responsabilità.

La muratura di contenimento in progetto dovrà essere opportunamente dimensionata prevedendo gli opportuni carichi e spinte laterali e la risposta del terreno, seguendo i parametri geotecnici derivati dalla presente relazione. Si raccomanda il corretto drenaggio delle acque sia superficiali sia sotterranee, queste mediante la realizzazione di opportuni drenaggi nella muratura il tutto al fine di evitare l'aumento delle spinte laterali.

Gli sbancamenti dovranno essere eseguiti implementando tecniche tali da operare in sicurezza e preservare i manufatti adiacenti, soprattutto nel caso di scavi di altezza superiore a 2,00 m e tenendo conto della tipologia di terreno e delle sue caratteristiche geotecniche. Pertanto, si consiglia di proceder per setti limitati e prevedendo idonei sistemi di supporto.

La scelta definitiva delle modalità di sbancamento, il dimensionamento delle strutture e di qualsiasi altro elemento di sostegno rimangono comunque di esclusiva competenza e responsabilità dello Strutturista incaricato e/o della Direzione Lavori e del responsabile della sicurezza. In tal senso, si raccomanda allo Strutturista di prendere atto dei parametri geomeccanici emersi della presente relazione.

In qualsiasi caso, i lavori dovranno procedere il più celermente possibile, e gli eventuali fronti di scavo dovranno essere protetti dagli agenti atmosferici mediante teloni impermeabili per tutto il tempo della loro esposizione.



Gli eventuali sbancamenti dovranno in generale essere eseguiti secondo quanto previsto anche dalle linee guida ISPESL per l'esecuzione in sicurezza delle attività di scavo - D.Lgs. 9 aprile 2008, n. 81, ed attenendosi alle norme di cui al D.Lgs. 9 aprile 2008 n. 81 ("Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007 n. 123 in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro") e s.m.i.

Eventuali acque di infiltrazione intercettate durante gli scavi dovranno essere prontamente raccolte e smaltite. Al fine di preservare le strutture fondazionali e di contenimento, sarà importante garantire un corretto smaltimento delle acque meteoriche e di ruscellamento subsuperficiale, sotto l'esclusiva competenza e responsabilità del Progettista incaricato.



11 CONCLUSIONI

Su incarico dell'Amministrazione Comunale di Brembate viene redatta la presente relazione geologico – geotecnica di supporto al progetto di sistemazione del tratto “B” di Via Canonica in comune di Brembate (BG).

La relazione si è resa necessaria per definire correttamente le tipologie e le caratteristiche geologiche dei terreni interessati dal progetto, in aderenza alle disposizioni previste in materia di indagini e costruzioni.

L'indagine si è articolata in sopralluoghi in sito finalizzati ad appurare la stratigrafia e le caratteristiche geotecniche dei terreni affioranti, l'eventuale presenza di dissesti e, più in generale, l'assetto geologico dell'area e di un suo ragionevole intorno. È stata eseguita una campagna di indagini geognostiche comprendente n. 2 prove penetrometriche dinamiche. Il tutto è stato infine corredato da una ricerca bibliografica sulla cartografia disponibile.

Le osservazioni e le indagini di terreno hanno permesso di ricostruire la stratigrafia del sottosuolo, che è costituita da un primo strato con caratteristiche scadenti (depositi alluvionali), fino a 3.00 m dal piano campagna, seguito da uno strato resistente (depositi fluviali e fluvioglaciali).

Per le indicazioni tecniche, si veda il Capitolo 9.

Si precisa che le indicazioni tecniche proposte e tutte le elaborazioni effettuate dallo scrivente si basano strettamente sulla documentazione e sulle informazioni fornite dal Progettista e/o dalla Committenza. Pertanto, nel caso in cui gli interventi di progetto fossero sottoposti a successive modifiche oppure le informazioni fornite non fossero pienamente conformi all'effettiva realtà dei luoghi e delle opere (per aggiunte o eliminazioni di parti degli interventi, cambiamenti di volumi o superfici, variazioni negli sbancamenti, nella posizione delle strutture, nei carichi, ecc.), lo scrivente dovrà



essere tempestivamente informato per la valutazione geologico-geotecnica delle nuove condizioni.

La presente relazione ha carattere unicamente geologico - geotecnico e non effettua alcuna considerazione sulla qualità ambientale e/o sulle caratteristiche chimiche dei terreni interessati dal progetto, né sui suoi aspetti paesaggistici.

Nel rispetto delle condizioni sopra riportate e contenute nella presente relazione, si ritiene che non vi siano controindicazioni di carattere geologico - geotecnico alla realizzazione delle opere di progetto.

Ranica, Luglio 2020

Dott. Geol. Sergio Ghilardi



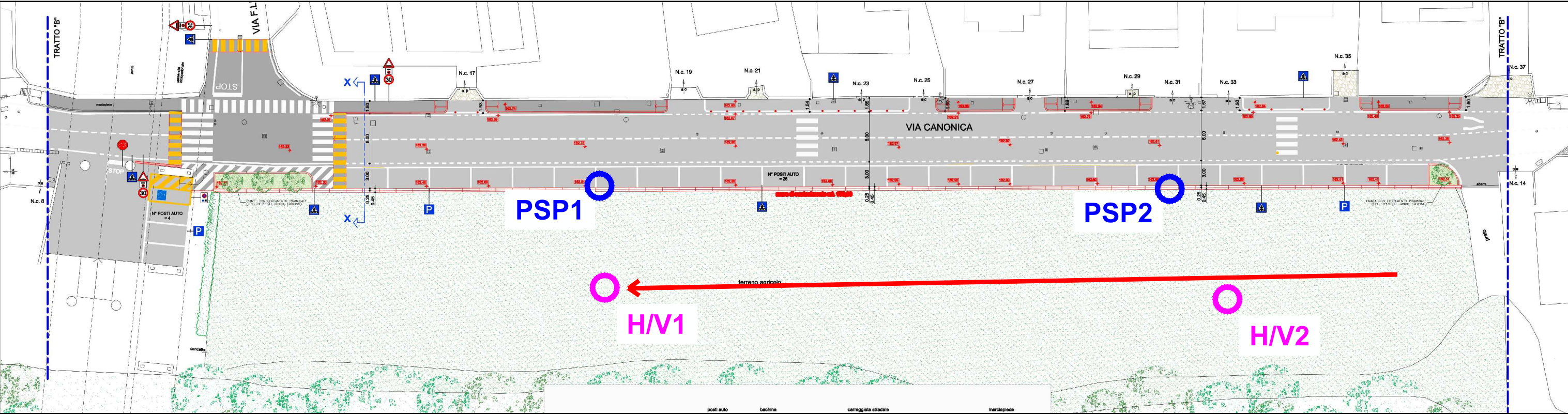
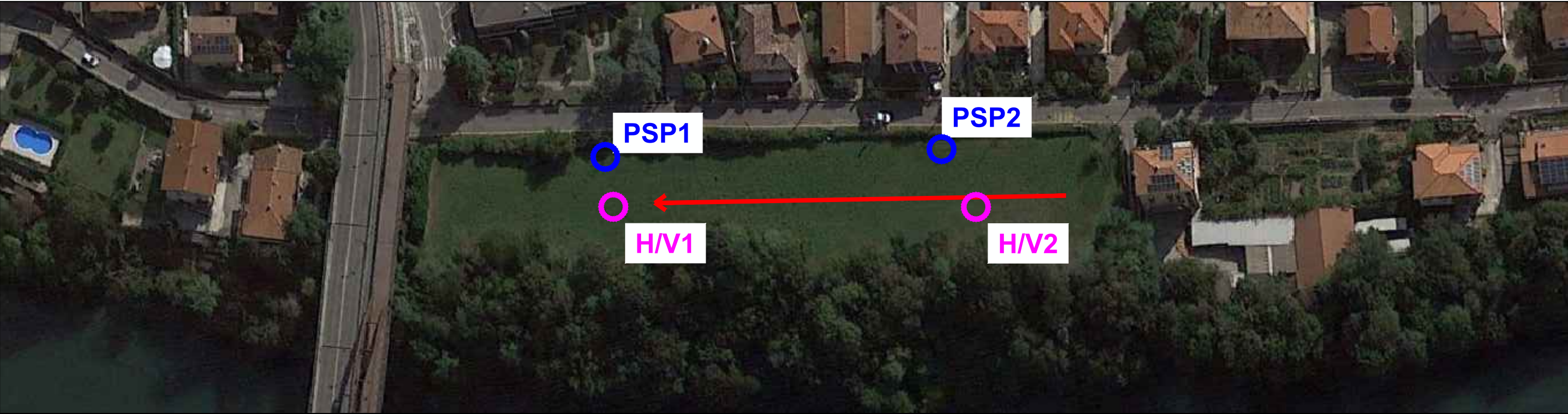
Dott. Ing. Francesco Ghilardi






ELENCO ALLEGATI

- Tavola 1 – Ubicazione Indagini Geognostiche
- Sintesi numerica della prova penetrometrica dinamica
- Sintesi grafica della prova penetrometrica dinamica





LEGENDA

-  Prove penetrometriche dinamiche
-  Prova HVSR
-  Stendimento ReMi

 <div>Studio G.E.A. 24020 RANICA (Bergamo) Via La Patta, 30/d Telefono e Fax: 035 / 340 112 E-Mail: gea@mediacom.it</div>		Dott. Geol. SERGIO GHILARDI iscritto all' O.R.G. della Lombardia n° 258		Dott. Ing. FRANCESCO GHILARDI iscritto Ord. Ing. Prov. BG n. 3057	
COMUNE DI:		BREMBATE (Bergamo)			
COMMITTENTE:		Amministrazione Comunale			
TITOLO:		UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE			
N. PRATICA: 20_061		SCALA: Non in scala		TAVOLA: 1	
DATA: Luglio 2020		Rev: Prima emissione			

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

Committente: Comune di Brembate Descrizione: Località: Via Canonica	
---	--

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	63.5 Kg
Altezza di caduta libera	0.75 m
Peso sistema di battuta	8 Kg
Diametro punta conica	50.46 mm
Area di base punta	20 cm ²
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	6.3 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0.80 m
Avanzamento punta	0.20 m
Numero colpi per punta	N(20)
Coeff. Correlazione	1.504
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	90 °

Dott. Geol. Ghilardi Sergio

Dott. Ing. Ghilardi Francesco

PROVA PSP1

Strumento utilizzato...DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)

Prova eseguita in data 02/07/2020

Profondità prova 3.00 mt

Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0.20	5	0.855	41.53	48.59	2.08	2.43
0.40	4	0.851	33.07	38.87	1.65	1.94
0.60	4	0.847	32.92	38.87	1.65	1.94
0.80	6	0.843	49.17	58.31	2.46	2.92
1.00	5	0.840	37.75	44.95	1.89	2.25
1.20	4	0.836	30.07	35.96	1.50	1.80
1.40	4	0.833	29.95	35.96	1.50	1.80
1.60	3	0.830	22.37	26.97	1.12	1.35
1.80	2	0.826	14.86	17.98	0.74	0.90
2.00	3	0.823	20.65	25.09	1.03	1.25
2.20	3	0.820	20.58	25.09	1.03	1.25
2.40	2	0.817	13.67	16.73	0.68	0.84
2.60	3	0.814	20.43	25.09	1.02	1.25
2.80	6	0.811	40.72	50.18	2.04	2.51
3.00	50	0.609	237.95	390.92	11.90	19.55

PROVA PSP2

Strumento utilizzato...DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)

Prova eseguita in data 02/07/2020

Profondità prova 2.00 mt

Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

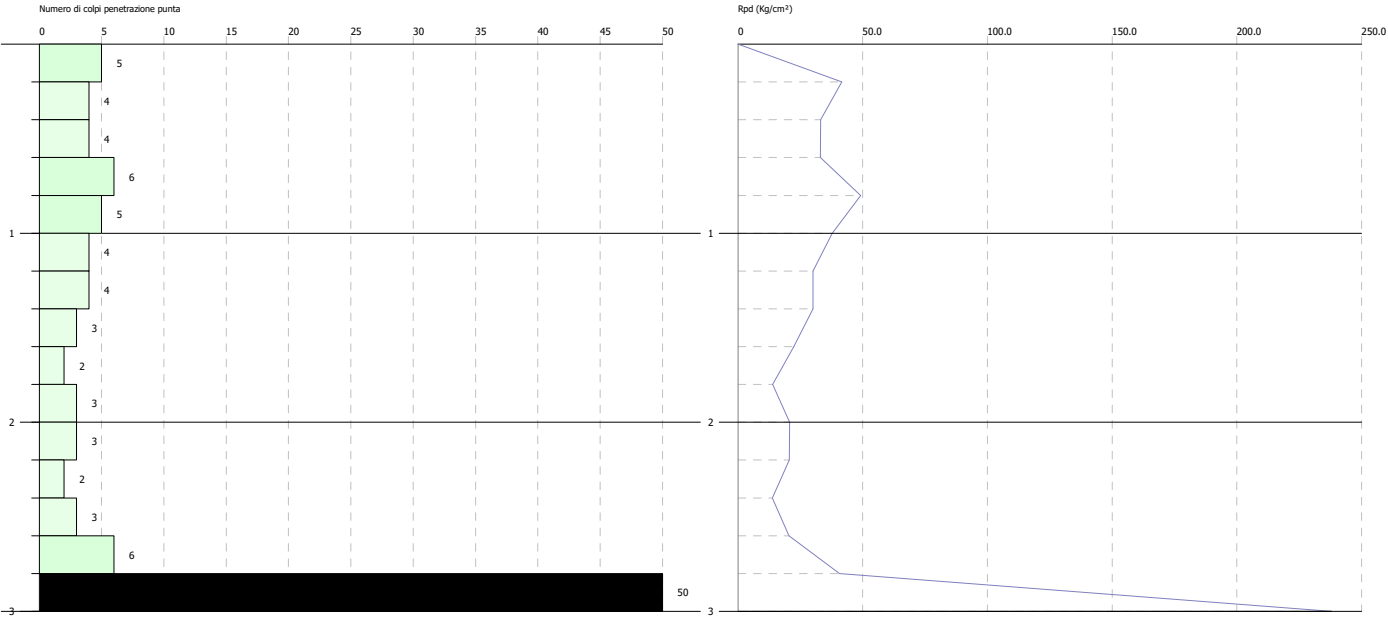
Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0.20	6	0.855	49.83	58.31	2.49	2.92
0.40	7	0.851	57.87	68.02	2.89	3.40
0.60	10	0.847	82.31	97.18	4.12	4.86
0.80	3	0.843	24.59	29.15	1.23	1.46
1.00	3	0.840	22.65	26.97	1.13	1.35
1.20	4	0.836	30.07	35.96	1.50	1.80
1.40	5	0.833	37.44	44.95	1.87	2.25
1.60	3	0.830	22.37	26.97	1.12	1.35
1.80	8	0.826	59.43	71.92	2.97	3.60
2.00	50	0.623	260.60	418.17	13.03	20.91

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA PSP1
Strumento utilizzato... DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)

Data: 02/07/2020

Committente:
Descrizione:
Località:

Scala 1:40



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA PSP2
Strumento utilizzato... DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)

Committente:
Descrizione:
Località:

Data: 02/07/2020

Scale 1:40

