

**NUOVA CABINA DI SEZIONAMENTO A 132 kV FRANCHINI ACCIAI –
SUO COLLEGAMENTO AEREO CON ELETTRODOTTO A 132 kV IN
SINGOLA TERNA ALL’ESISTENTE CABINA PRIMARIA DI “BRANDICO”
E RELATIVE OPERE ACCESSORIE NEI COMUNI DI BRANDICO E
MAIRANO (BS)**

Comuni di Brandico e Mairano

**Relazione Geologica ed idrogeologica
Preliminare**

IL TECNICO

Dott. Geol. Rocco Carbonella

00	09/01/2018	Prima emissione	Rocco Carbonella		

Questo documento contiene informazioni di proprietà e-distribuzione SpA e deve essere utilizzato esclusivamente dal destinatario in relazione alle finalità per le quali è stato ricevuto. E' vietata qualsiasi forma di riproduzione o di divulgazione senza l'esplicito consenso di e-distribuzione SpA .

This document is property of e-distribuzione SpA . It is strictly forbidden to reproduce this document, in whole or in part, and to provide to others any related information without the previous written consent by e-distribuzione SpA .

Sommario

1	NORMATIVA E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO	3
1.1	Norme	3
1.2	Documenti di riferimento	3
2	INTRODUZIONE.....	5
3	GEOLOGIA DELL’AREA	7
3.1	Complesso dei depositi fluviali e fluvio-glaciali del pleistocene superiore.....	8
4	IDROLOGIA ED IDROGEOLOGIA	10
4.1	I fontanili	10
4.2	Inquadramento idrogeologico	13
5	METODOLOGIE D’INDAGINE.....	16
5.1	Indagini Geofisiche.....	16
5.2	Profilo sismico in array con tecnica MASW	16
5.3	Profilo sismico in array con tecnica REMI	16
5.4	Misura a stazione singola HVSR	17
5.5	Indagini geotecniche	17
5.6	Prova penetrometrica statica	18
5.7	Prova penetrometrica dinamica	18
6	ANALISI DEI RISULTATI.....	20
6.1	Sostegno A	20
6.2	Sostegno E.....	23
6.3	Sostegno N	26
6.4	Sostegno P.....	29
7	IL FENOMENO DELLA LIQUEFAZIONE	32
7.1	Liquefazione dei terreni sotto l’effetto di carichi ciclici.....	32
7.2	Criteri di previsione e metodi per la valutazione del potenziale di liquefazione.....	32
7.3	Motivi di esclusione della verifica a liquefazione	33
7.4	Metodi di analisi semplificata	34
7.5	Considerazioni sul sito in esame	36
8	INDICAZIONI PRELIMINARI SULLA GESTIONE TERRE E ROCCE DA SCAVO.....	38
9	CONCLUSIONI	41

 Infrastrutture e Reti Italia Distribuzione Territoriale Rete Lombardia Progettazione Lavori e Autorizzazioni	COLLEGAMENTO 132 kV FRANCHINI ACCIAI – CABINA “BRANDICO” Relazione Geologica ed idrogeologica Preliminare	CODICE – CODE 1182524.04.03
		PAGINA - PAGE 3 di/of 42

1 **NORMATIVA E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO**

1.1 **Norme**

- “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazioni”. D.M. 11 Marzo 1988;
- Istruzioni relative alle “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”. Circ. Min. LL.PP. n° 30483, 24 Settembre 1988;
- AGI: raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche, Giugno 1977;
- AGI: raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio, Maggio 1990 (edizione provvisoria);
- Eurocodice 7: Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali.
- Eurocodice 8: Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.
- D. Lgs. 152/2006 - “Norme in materia ambientale”
- D. M. 27 Settembre 2010 - “Definizione dei criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica, in sostituzione di quelli contenuti nel decreto del Ministro dell'ambiente 3 agosto 2005”
- D.P.R. 13 Giugno 2017 n° 120 - “Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo, ai sensi dell’articolo 8 del decreto-legge 12 Settembre 2014, n° 133, convertito, con modificazioni, dalla Legge 11 Novembre 2014, n° 164”.

1.2 **Documenti di riferimento**

- Piano delle opere, documento Enel 1182524, vers. 1-2017-05.
- Presentazione delle osservazioni ai sensi dell’art. 19, comma 4, del D.Lgs. n.152/2006 e s.m.i. - Deliberazione della Giunta Comunale N. 77 in data 19.10.2017.
- IDVIP [3702] Verifica di Assoggettabilità alla VIA. “Nuova cabina di sezionamento a 132kV “Franchini Acciai” e suo collegamento aereo con elettrodotto a 132kV in singola terna all'esistente cabina primaria di Brandico (Bs)”- Proponente “edistribuzione S.p.A.”. Richiesta di integrazioni. Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare.
- Relazione geotecnica preliminare redatta da Ing. Marco Franceschini.

 <i>Infrastrutture e Reti Italia</i> <i>Distribuzione Territoriale Rete</i> <i>Lombardia Progettazione Lavori e</i> <i>Autorizzazioni</i>	COLLEGAMENTO 132 kV FRANCHINI ACCIAI – CABINA “BRANDICO” Relazione Geologica ed idrogeologica Preliminare	CODICE – CODE 1182524.04.03
		PAGINA - PAGE 4 di/of 42

- Unificazione Nazionale fondazioni per sostegni Unificati.
- Enel Distribuzione -Linee compatte a semplice terna a 132 – 150 kv – Sostegni a base stretta. Ed. n.1 ; Ottobre 1999.
- Integrazione al piano delle opere, documento Enel 1182524, vers. 1-2018-01.

2 INTRODUZIONE

Il presente documento è redatto a corredo del progetto di realizzazione della nuova cabina di sezionamento a 132kV “FRANCHINI ACCIAI” e suo collegamento aereo con elettrodotto a 132kV in singola terna all’esistente cabina primaria di Brandico nei comuni di Brandico e Mairano in provincia di Brescia.

Il documento è finalizzato alla verifica preliminare delle litologie presenti nell’area, l’assetto idrogeologico e le caratteristiche geofisiche dei terreni lungo la linea in progetto.

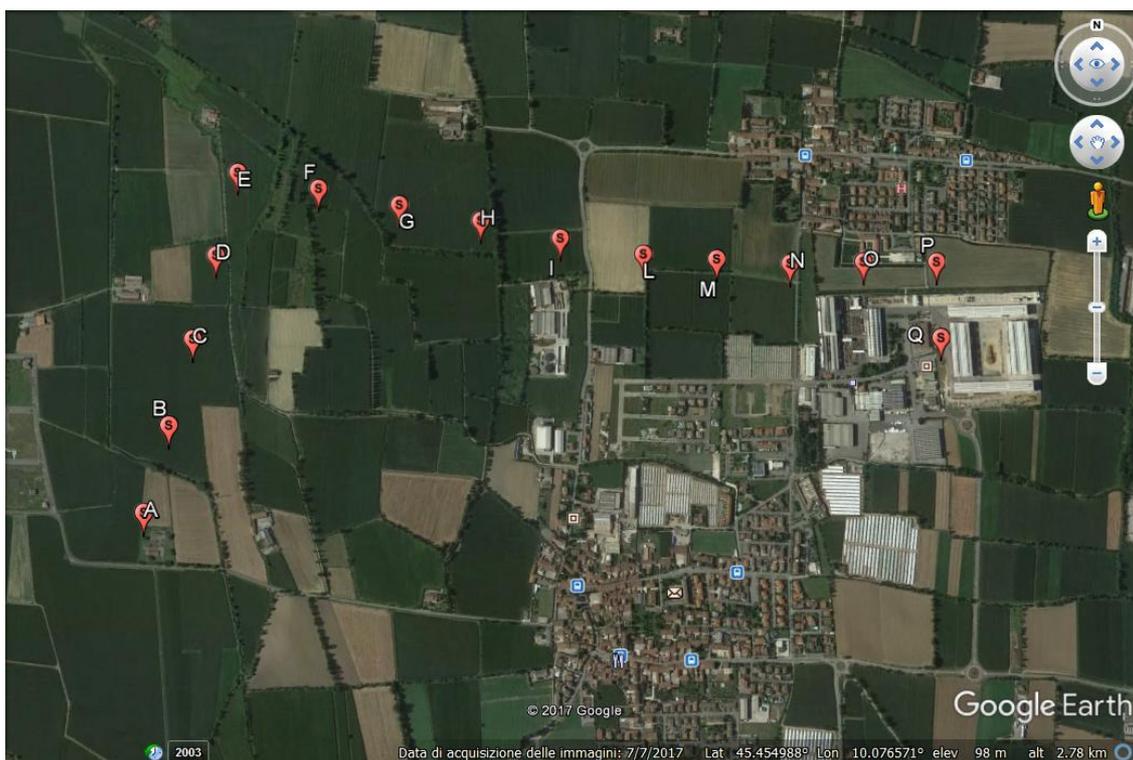


Figura 1 – Ubicazione dei luoghi

Le caratteristiche geologiche e geotecniche del sottosuolo in esame sono state desunte sia da conoscenze dirette dello scrivente, sia dalla consultazione di dati e testi della letteratura specializzata. In particolare si sono consultati i documenti della pianificazione territoriale ovvero:

- SIBA regione Lombardia
- PTCP provincia di Brescia
- PGT comune di Brandico
- PGT comune di Mairano

 <i>Infrastrutture e Reti Italia</i> <i>Distribuzione Territoriale Rete</i> <i>Lombardia Progettazione Lavori e</i> <i>Autorizzazioni</i>	COLLEGAMENTO 132 kV FRANCHINI ACCIAI – CABINA “BRANDICO” Relazione Geologica ed idrogeologica Preliminare	CODICE – CODE 1182524.04.03
		PAGINA - PAGE 6 di/of 42

E' stata, inoltre, progettata e realizzata una campagna d'indagini di seguito elencata:

- n° 4 prove penetrometriche statiche e/o dinamiche pesanti
- rilievo del livello della falda idrica superficiale
- esecuzione di tre profili sismici con tecnica MASW/REMI,
- n° 4 letture a stazione singola HVSR

In riferimento alla figura 1, le prove geotecniche e geofisiche sono state eseguite in corrispondenza dei seguenti tralicci:

- Traliccio A
- Traliccio E
- Traliccio N
- Traliccio P

Il presente lavoro presenta i risultati relativamente ai seguenti argomenti:

- analisi e descrizione della situazione geolitologica, idrogeologica e morfologica generale
- analisi dei principali rischi geologici; geomorfologici, idrogeologici e sismici
- descrizione delle modalità con le quali sono state condotte le indagini;
- determinazione della natura litologica e delle caratteristiche sismiche, fisico-meccaniche dei terreni del sottosuolo investigato.

3 GEOLOGIA DELL'AREA

Le porzioni di territorio del comune di Brandico e Mairano, in cui s'inserisce l'opera in progetto, sono ubicate nella fascia di transizione tra la media e bassa pianura alluvionale.

La morfologia attuale della pianura è il risultato dell'alternarsi di fenomeni di accumulo e di erosione che si sono verificati durante il Quaternario, in relazione alle fasi di espansione e di ritiro dei ghiacciai alpini.

Durante le fasi di ritiro glaciale, i corsi d'acqua, con le loro alte portate, erano in grado di trasportare verso valle grandi quantità di depositi detritici provenienti dagli accumuli morenici; tale processo diede origine ad estese conoidi che, accrescendosi, si saldarono formando una unica piana alluvionale.

Durante gli interglaciali, con il sussistere di climi più aridi di tipo subtropicale, l'azione di trasporto da parte dei fiumi diminuì notevolmente, aumentando di conseguenza la loro capacità erosiva sui terreni precedentemente deposti.

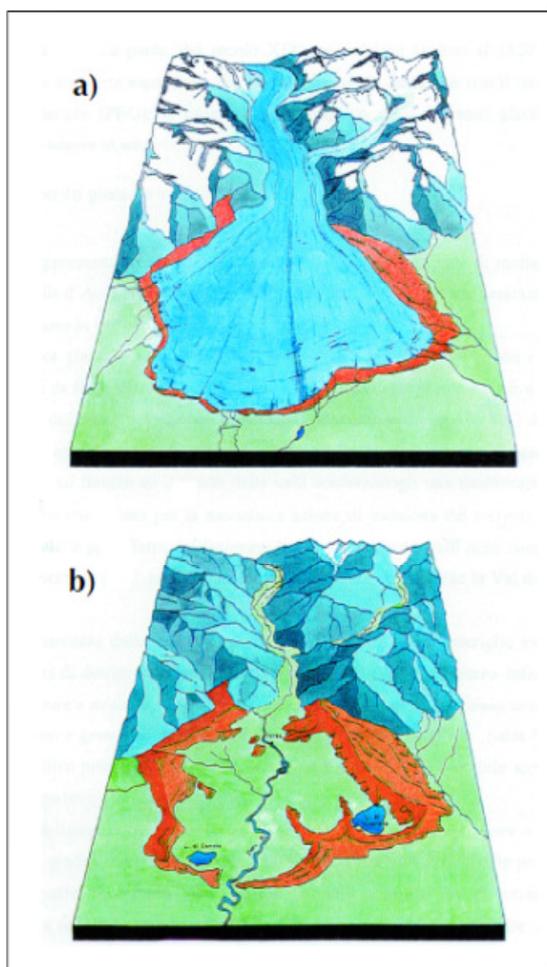


Figura 2 – ricostruzione schematica delle fronte del ghiacciaio durante la fase di massima espansione (in alto) e la situazione attuale

 Infrastrutture e Reti Italia Distribuzione Territoriale Rete Lombardia Progettazione Lavori e Autorizzazioni	COLLEGAMENTO 132 kV FRANCHINI ACCIAI – CABINA “BRANDICO” Relazione Geologica ed idrogeologica Preliminare	CODICE – CODE 1182524.04.03
		PAGINA - PAGE 8 di/of 42

L’erosione fluviale determinò la formazione di altipiani separati da larghi fondovalle, in seguito riempiti dalle alluvioni delle glaciazioni successive.

Attualmente, quindi, le aree più elevate della pianura sono costituite dai depositi alluvionali più antichi, di età mindeliana, , ai quali seguono, in ordine cronologico ed altimetrico, i terrazzi rissiani e quelli wurmiani. I fenomeni di deposito ed incisione succitati, associati agli ultimi contraccolpi della orogenesi alpina, si manifestarono più intensamente nel settore pedemontano della pianura, con la formazione di estesi terrazzi, separati da valli larghe e piatte.

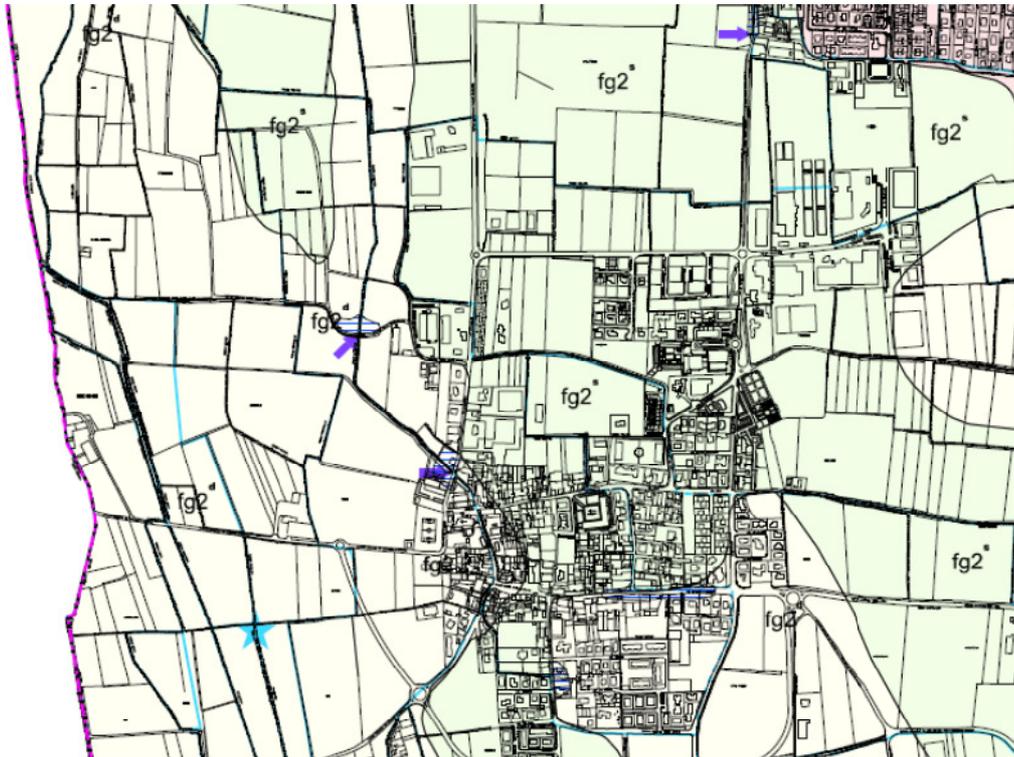
3.1 Complesso dei depositi fluviali e fluvio-glaciali del pleistocene superiore

I depositi fluviali e fluvio-glaciali sono disposti su ampi terrazzi derivanti dall’unione di estese paleoconoidi. Litologicamente sono composti prevalentemente da depositi ghiaioso, soprastanti su un’unità sabbioso-ghiaiosa, con locali lenti argillose.

La morfologia del territorio in esame si presenta pianeggiante o lievemente ondulata, con quote comprese tra 95 e 105 metri s.l.m. Il territorio risulta interamente inserito nelle monotone ed ampie strutture regionali della pianura, nel livello noto come “Piano Generale Terrazzato” (PGT) che risulta essere il più elevato ed esteso dei ripiani che in questa zona configurano l’assetto della pianura; dal punto di vista geomorfologico detta zona appartiene all’unità definita “livello fondamentale della pianura”.

In figura 3, tratta dalla CARTA GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA (TAV.1) del PGT del comune di Mairano, sono rappresentati i depositi fluviali e fluvioglaciali del Pleistocene superiore presenti nell’area. Sono stati distinti in due unità geomorfologiche.

Si riconoscono, infatti, alcune aree caratterizzate da materiali più fini, leggermente ribassate rispetto al livello fondamentale della pianura che in genere sono state occupate da paludi anche fino agli inizi di questo secolo (fg2d). Solitamente esse corrispondono ad antichi alvei abbandonati e spesso sono tuttora sede di seriole o di vasi irrigui



UNITA' GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICHE

Depositi fluviali e fluvio-glaciali del Pleistocene superiore

Aree appartenenti al livello fondamentale della Pianura, costituite da depositi alluvionali prevalentemente ghiaioso-sabbiosi, subordinatamente sabbioso-ghiaiosi, con intercalazioni sabbioso-limose e limoso-argillose.

fg2* Aree stabili pianeggianti o leggermente ondulate; i suoli sono moderatamente profondi (50-100 cm), a drenaggio da buono a mediocre.

fg2^d Aree debolmente depresse corrispondenti ad antichi percorsi delle acque superficiali; i suoli sono poco profondi (<50 cm), a drenaggio molto lento.

Depositi alluvionali del Pleistocene medio (Dosso di Plevdzio)

fg1 Aree debolmente rilevate rispetto al livello fondamentale della pianura, costituite da depositi prevalentemente ghiaiosi coperti da suoli molto profondi (>50 cm) e da depositi limosi loessici.

Figura 3 – Carta geologica e geomorfologica dell'area (estratta dal PGT del Comune di Mairano)

Adiacenti alle aree debolmente ribassate si trovano le aree stabili di poco più rilevate che presentano deboli tracce di erosione dovuta al passaggio di deflussi superficiali (fg2s in figura 3). I suoli di queste aree sono in genere moderatamente profondi, caratterizzati da un drenaggio da buono a mediocre e presentano solitamente caratteristiche buone dal punto di vista sia produttivo che protettivo nei confronti delle acque sotterranee.

 Infrastrutture e Reti Italia Distribuzione Territoriale Rete Lombardia Progettazione Lavori e Autorizzazioni	COLLEGAMENTO 132 kV FRANCHINI ACCIAI – CABINA “BRANDICO” Relazione Geologica ed idrogeologica Preliminare	CODICE – CODE 1182524.04.03
		PAGINA - PAGE 10 di/of 42

4 IDROLOGIA ED IDROGEOLOGIA

La rete idrografica, dell’area in esame, è costituita da seriole, rogge e vasi colatori, alcuni dei quali provvedono unicamente alla distribuzione dell’acqua per uso irriguo (l’acqua di questi canali è frazionata ad orari, coincidenti con i turni di irrigazione, per soddisfare il fabbisogno idrico dei campi).

Il reticolo idrografico che attraversa il comune di Brandico e Mairano è caratterizzato da diversi corsi d’acqua con direzione di flusso prevalente N-S e NNW-SSE, e da una fitta rete di vasi colatori e di fossi irrigui.

In buona parte la rete idrografica è legata alla bonifica delle paludi Biscia, Chiodo e Prandona, realizzata tra il 1924 e il 1928. L’area interessata da paludi fino all’inizio di questo secolo occupava 1360 ettari e si estendeva nei comuni di Maclodio, Lograto, Mairano, Torbole Casaglia e Azzano Mella.

Come accennato in precedenza, l’area in esame, si colloca nella fascia di transizione tra la media e bassa pianura. In questa zona, si verifica una variazione di permeabilità in senso laterale dei depositi, ovvero sedimenti grossolani nelle porzioni settentrionali che diventano sempre più fini nelle zone meridionali. In queste aree, il livello della falda può emergere, intersecando la superficie topografica, dando origine ai “Fontanili.

Per comprendere al meglio le interazioni tra acque superficiali e profonde, si riporta di seguito una descrizione dello schema di funzionamento dei fontanili.

4.1 I fontanili

I Fontanili, che in letteratura sono noti anche come “risorgive”, “risultive”, “fontane” o “fontanazze”, rappresentano dei particolari fenomeni di emergenza delle acque sotterranee in area di pianura.

In particolare, andrebbero distinti il termine di “fontanile” da quello di “risorgiva” (Desio A., 1967); infatti mentre la risorgiva è un fenomeno naturale, il fontanile rappresenta, in alcuni territori, il prodotto dell’intervento umano che ha modificato una risorgiva con un’operazione di scavo.

La loro controversa origine viene in genere interpretata come un fenomeno legato all’innalzamento naturale della falda freatica; laddove questa sia in grado di intersecare il sovrastante piano campagna si viene a formare una zona paludosa (la risorgiva) che opportunamente bonificata, a mezzo di uno scavo, acquisisce la morfologia tipica di un fontanile. Se si può presumere, quindi, che anticamente le risorgive di acqua freatica potessero avvenire spontaneamente entro modesti avvallamenti del terreno, grazie ad un diverso assetto delle falde idriche ancora pressoché indisturbate, bisogna tuttavia ammettere che il fontanile, come lo si considera oggi, è un apparato artificiale ed artificialmente mantenuto.

Morfologicamente il settore di Pianura bresciano considerato può essere suddiviso in una fascia di Alta pianura e in un settore di Bassa pianura che digrada lentamente verso sud.

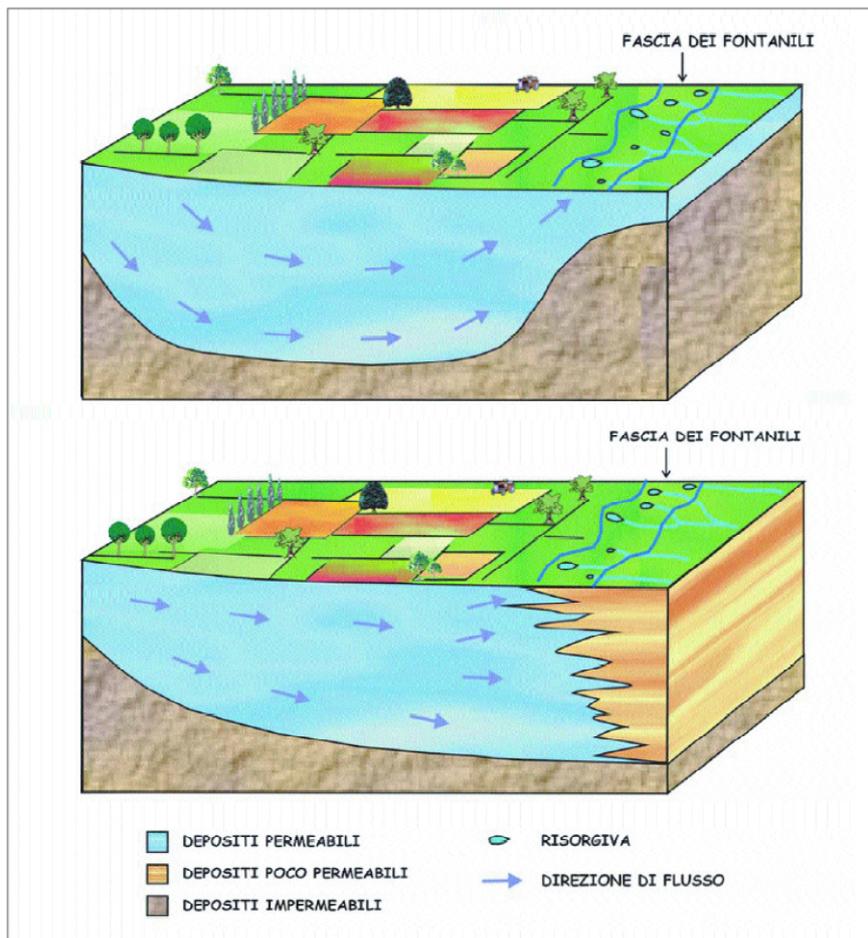


Figura 4 –Schema di possibili assetto geologici che originano i fontanili

La fascia definita come Alta pianura è la più prossima ai rilievi e si estende a partire dal punto di rottura di pendenza dei corsi fluviali, che corrisponde in sostanza ad una forte perdita della capacità di trasporto da parte dei fiumi: in questo modo inizia la fase di deposito di materiali grossolani, costituiti da ciottoli, ghiaie e rare sabbie.

La maggiore permeabilità dei depositi di Alta pianura permette alle acque di precipitazione e d'irrigazione di percolare facilmente nel sottosuolo e di costituire una ricca falda freatica che lentamente fluisce verso Sud. Scendendo ulteriormente, i fiumi perdono ancora capacità di trasporto e depositano materiali via via più fini; si tratta dei materiali sabbiosi e limoso/argillosi che formano la Bassa pianura. Qui si ha una graduale diminuzione dei caratteri tessiturali dei sedimenti con un abbassamento del valore di permeabilità; i materiali più fini vengono così a formare un “limite di permeabilità”, provocando una sempre maggiore resistenza al flusso della falda, il cui livello gradualmente tende ad approssimarsi alla superficie topografica.

Il settore che segna il passaggio tra l'Alta e la Bassa pianura, detto anche Media Pianura, ha un'ampiezza che varia da 5 a 50 chilometri e corrisponde morfologicamente alla fascia di emergenza delle risorgive; tale

fascia è caratterizzata dalla risalita in superficie delle acque sotterranee, dovuta ad una diminuzione di permeabilità dei sedimenti e si distribuisce in maniera pressoché continua lungo il settore di Pianura considerato.

La sua ampiezza è variabile e dipende dalla topografia dell'area, dalla geometria dei corpi di rocce sciolte interessati, dalla potenza della falda e dalle periodiche variazioni della stessa in funzione dell'alimentazione a monte. In tale contesto le “risorgive” definiscono le venute a giorno di acque sotterranee legate alla variazione della permeabilità dei sedimenti, in senso orizzontale o verticale, al passaggio tra sequenze ghiaioso-sabbiose molto permeabili e sequenze ghiaioso-sabbiose con abbondante frazione limosa ed argillosa, con caratteristiche di minor permeabilità.

Questa fascia caratterizzata dalla risalita in superficie delle acque sotterranee si distribuisce in maniera pressoché continua, dalle foci dell'Isonzo fino al Cuneese, comprendendo quindi anche la parte più orientale, quella che viene definita Pianura Veneto-Friulana

Ad oriente si origina nella zona delle foci dell'Isonzo e risale lungo la Pianura Friulana, all'altezza di Codroipo (risorgive dello Stella), passa presso Pordenone sino a sfiorare la base dell'Altopiano del Cansiglio.

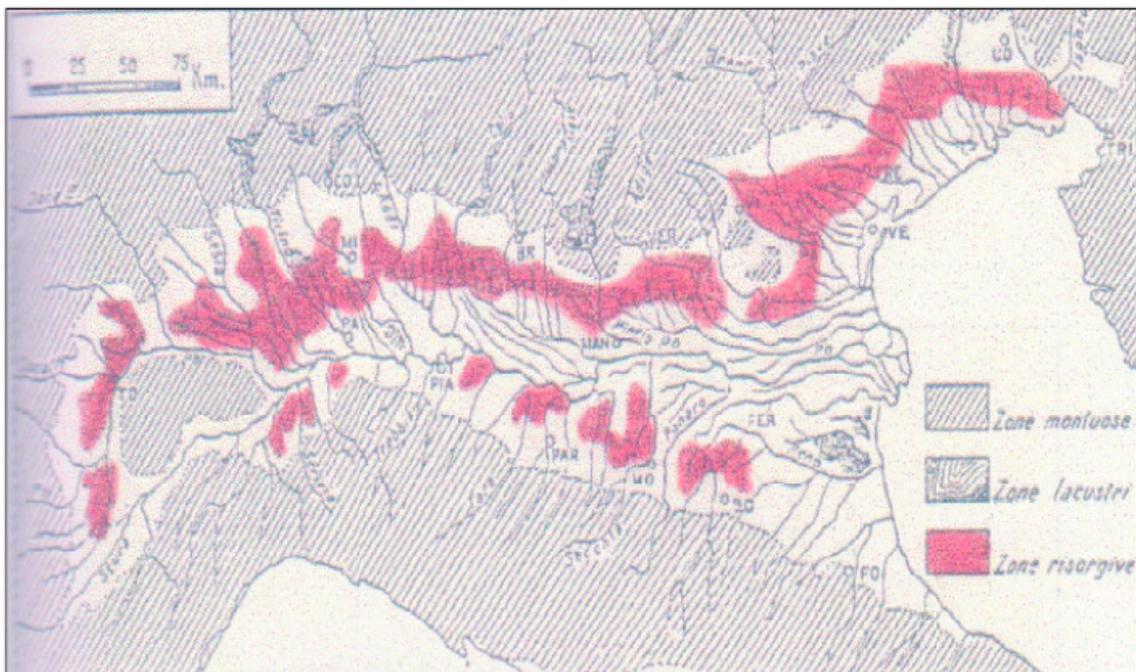


Figura 5 – Fascia delle risorgive nella Pianura Padana

La linea scende poi rapidamente verso Treviso (risorgive del Sile), prosegue verso Vicenza e si interrompe in corrispondenza dei Monti Lessini. Il fenomeno delle risorgive ricompare a Sud di Verona, in destra idrografica del fiume Adige; superato il Mincio, la linea risale fino a sfiorare Brescia e segue poi all'incirca l'isoipsa 200 m. s.l.m. sino a raggiungere Novara e risalire verso Borgomanero: è qui, fra il Sesia e il Ticino, che la fascia delle risorgive è più ampia, superando i 50 km. Infine ridiscende lungo il Fiume Sesia e,

 Infrastrutture e Reti Italia Distribuzione Territoriale Rete Lombardia Progettazione Lavori e Autorizzazioni	COLLEGAMENTO 132 kV FRANCHINI ACCIAI – CABINA “BRANDICO” Relazione Geologica ed idrogeologica Preliminare	CODICE – CODE 1182524.04.03
		PAGINA - PAGE 13 di/of 42

passando ad ovest di Vercelli, sfiora il fiume Po, risale verso Rivarolo nel Canavese, per poi riportarsi verso Torino. Da questo punto essa prosegue in maniera sempre più discontinua a sud di Torino passando dai paesi di None, Airasca e Vigone e scendendo verso Murello, Cavallermaggiore, Savigliano, Centallo, Morozzo ed infine Cuneo.

4.2 Inquadramento idrogeologico

Dal punto di vista idrogeologico, l'area è caratterizzata dalla presenza di importanti falde sotterranee e, come accennato in precedenza, emergenze idriche superficiali, ubicate a nord della linea elettrica in progetto. L'Allegato 3 alla Relazione Generale del Programma di Tutela e Uso delle Acque della Regione Lombardia “Classificazione dello stato quantitativo dei corpi idrici sotterranei di pianura”, propone la seguente distinzione di aree “idrogeologicamente importanti”:

- Zona di ricarica delle falde: corrisponde alla parte settentrionale della pianura dove prevalgono le alluvioni oloceniche e sedimenti fluvioglaciali pleistocenici, a granulometria grossolana, con un acquifero praticamente ininterrotto da livelli poco permeabili. Si estende quasi completamente a monte della fascia delle risorgive. In questa zona l'infiltrazione da piogge, nevi e irrigazioni, permette la ricarica tanto della prima falda come delle falde profonde.
- Zona di non infiltrazione alle falde: caratterizzata dalle aree in cui affiora la roccia impermeabile o dove è presente una copertura argillosa (depositi fluvioglaciali del Pleistocene medio e antico).
- Zona ad alimentazione mista: costituita dalla porzione centrale e meridionale della pianura (media e bassa), in cui le falde superficiali sono alimentate da infiltrazioni locali, ma non trasmettono tale afflusso alle falde più profonde, dalle quali sono separate da diaframmi poco permeabili. Si tratta dell'area corrispondente alla massima parte della pianura.
- Zona di interscambio tra falde superficiali e profonde; si rinviene in corrispondenza dei corsi d'acqua principali, soprattutto del Fiume Po.

Le caratteristiche idrogeologiche sono correlate alla conducibilità idraulica (o permeabilità) dei depositi fluviali e fluvioglaciali, in quanto le caratteristiche granulometriche condizionano la circolazione idrica sotterranea.

Si riporta di seguito, un estratto della carta idrogeologica e idrografica del comune di Mairano, da cui si evince l'andamento del livello piezometrico nell'area in esame.

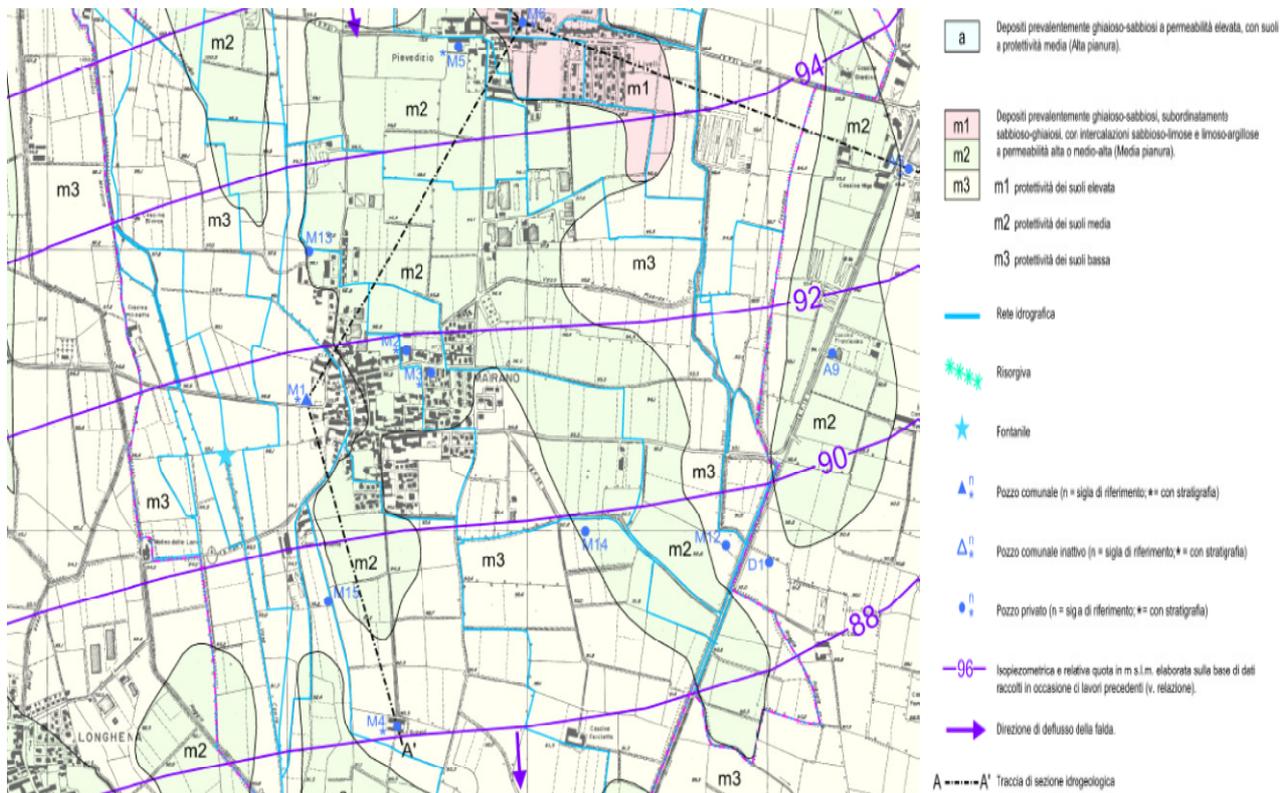


Figura 6 –Carta Idrogeologica (da PGT del Comune di Mairano)

In superficie, nel territorio rappresentato nella Carta Idrogeologica, sono riconoscibili due unità idrogeologiche:

- 1) Unità ghiaioso-sabbiosa a permeabilità elevata. Affiora nel comune di Lograto e corrisponde ai depositi fluvioglaciali dell'alta pianura (Pleistocene superiore), costituiti prevalentemente da ghiaie sabbiose con ciottoli. La capacità protettiva dei suoli nei confronti delle acque sotterranee, in generale, è media.
- 2) Unità ghiaioso-sabbiosa, subordinatamente sabbioso-ghiaiosa, con intercalazioni sabbioso-limose o limoso-argillose a permeabilità alta o medio-alta.

L'unità 2 è presente su tutta l'area in esame e comprende i depositi alluvionali sia del Pleistocene medio che del Pleistocene superiore (individuata in fig. 6 dalla sigla "m").

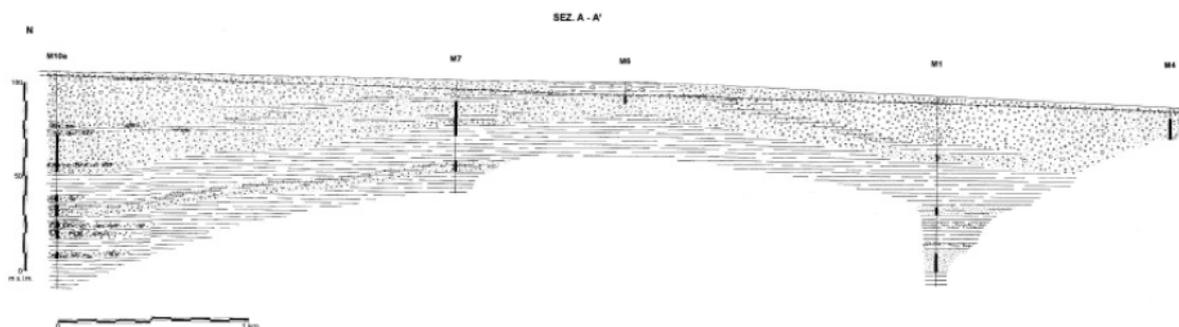
Rispetto all'unità precedente si rileva una diminuzione granulometrica dei depositi ed un incremento delle intercalazioni fini. All'interno di questa unità si possono distinguere tre sottounità in base alle coperture che influenzano la vulnerabilità delle acque sotterranee. Sono quindi distinte in carta:

- aree caratterizzate da protettività dei suoli elevata: si tratta del Dosso di Pievedizio che si distingue per la presenza di una coltre di materiali limoso-argillosi potente alcuni metri (m1);
- aree a protettività dei suoli in generale media: corrispondono alle aree stabili o debolmente ondulate (m2);
- aree a protettività dei suoli generalmente bassa: si tratta delle aree debolmente depresse (m3).

Nell’area in esame sono presenti le unità m2 ed m3., gli spessori sono variabili dai 50 a 25 m. Lo spessore minimo si rinviene nell’alto strutturale present nella parte centrale della linea elettrica.

Si riportano di seguito, due sezioni idrogeologiche da cui si evince l’assetto geometrico dei litotipi presenti nell’area in esame.

Sezione AA



Sezione BB

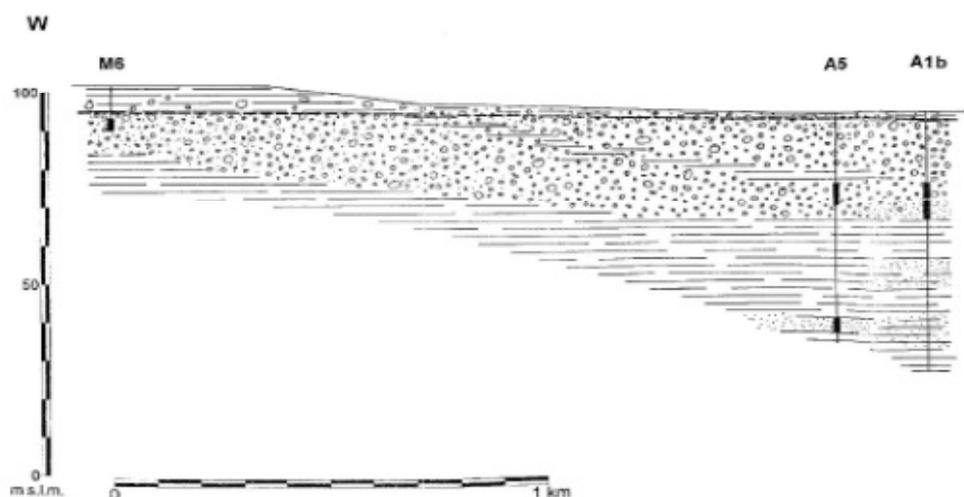


Figura 7 –Sezioni idrogeologiche

 Infrastrutture e Reti Italia Distribuzione Territoriale Rete Lombardia Progettazione Lavori e Autorizzazioni	COLLEGAMENTO 132 kV FRANCHINI ACCIAI – CABINA “BRANDICO” Relazione Geologica ed idrogeologica Preliminare	CODICE – CODE 1182524.04.03
		PAGINA - PAGE 16 di/of 42

5 METODOLOGIE D’INDAGINE

Nel presente capitolo, dopo una breve descrizione della tipologia d’indagine, verranno presentati i risultati ottenuti.

5.1 Indagini Geofisiche

Per determinare gli effetti di sito e la risposta sismica locale sono state realizzate le seguenti indagini:

- N° 3 profili sismici in array con tecnica MASW e REMI eseguito con sismografo digitale a 24 bit- Soil Spy Rosina
- N. 4 misure a stazione singola mediante tromografo digitale modello Tromino con tecnica HVSR.

Si illustrano di seguito in modo sintetico le metodologie d’indagine utilizzate.

5.2 Profilo sismico in array con tecnica MASW

Il metodo MASW è classificabile come tecnica di indagine sismica simile alla sismica a rifrazione e alla sismica a riflessione, perché il principio alla base della prova sperimentale in sito è analogo e consiste nel misurare le onde superficiali sul suolo.

La Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) è un metodo d’indagine mediante il quale è possibile costruire un profilo di velocità delle onde di taglio (V_s) in relazione alla profondità, sulla base della misura delle onde superficiali. Il contributo predominante di quest’ultime è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano ad una velocità correlata alla rigidità del terreno interessato dalla propagazione.

Nei terreni stratificati, le onde di Rayleigh sono dispersive e si propagano con diverse velocità di fase e di gruppo. La natura dispersiva è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza (lunghezza d’onda corta) si propagano negli strati superficiali, mentre onde a bassa frequenza si propagano in strati profondi.

La ricerca del profilo di velocità delle onde di taglio V_s con il metodo MASW consiste nel modificare il profilo di velocità V_s finché non sia raggiunto un buon accordo tra la curva di dispersione (o velocità di fase) apparente, misurata in sito, e la curva di dispersione (o velocità di fase) apparente simulata numericamente.

5.3 Profilo sismico in array con tecnica REMI

La tecnica di analisi del sottosuolo mediante l’uso dei microtremori prende origine dagli studi e dalle sperimentazioni condotte da J. Louie presso la Nevada University e si basa sull’analisi delle onde di superficie ed in particolare delle onde di Rayleigh.

Si basa su due concetti fondamentali; il primo è che una comune attrezzatura adatta ad effettuare sismica a

 Infrastrutture e Reti Italia Distribuzione Territoriale Rete Lombardia Progettazione Lavori e Autorizzazioni	COLLEGAMENTO 132 kV FRANCHINI ACCIAI – CABINA “BRANDICO” Relazione Geologica ed idrogeologica Preliminare	CODICE – CODE 1182524.04.03
		PAGINA - PAGE 17 di/of 42

rifrazione può campionare onde di superficie con frequenza anche inferiore ai 2 Hz e il secondo che una trasformata bidimensionale slowness-frequenza (p-f) consente di individuare e separare le onde di Rayleigh da altri tipi di onde e consentire quindi la determinazione della loro velocità di fase.

Di queste onde (Rayleigh), che hanno carattere dispersivo, viene analizzata la velocità di propagazione lungo stendimenti sismici e valutata la relativa lunghezza d'onda e slowness (o inverso di velocità). Il loro carattere dispersivo determina il fatto che le onde con maggiore frequenza attraversano i livelli di terreno più superficiali mentre quelle con frequenza inferiore attraversano i livelli inferiori e ciò consente di determinare un profilo di velocità 1-D che mostra l'andamento delle velocità V_s con la profondità.

5.4 Misura a stazione singola HVSR

Il metodo HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) proposto da Nogoshi e Igarashi (1970) e successivamente modificato da Nakamura (1989), si basa sull'analisi del rapporto spettrale tra le componenti orizzontale (H) e verticale (V) del rumore sismico registrato in un sito. Il rumore sismico è presente ovunque ed è generato sia da fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) che dall'attività antropica. Il rumore sismico è indicato spesso come microtremore poiché è caratterizzato da oscillazioni molto deboli (dell'ordine dei $\mu\text{m/s}$). I microtremori sono in parte costituiti da onde di volume, P o S, ma soprattutto da onde superficiali, la cui velocità è comunque prossima a quella delle onde S (Mulargia et al., 2007). La tecnica di misura del rumore sismico richiede tempi di registrazione pari a 15-20 minuti e necessita di sensori tridirezionali da sismologia con messa in bolla, digitalizzatore 24 bit con elevata dinamica, elevato guadagno ed elevata frequenza di campionamento nativo, con minimizzazione del rumore elettro/meccanico.

L'acquisizione è stata eseguita utilizzando un tromografo digitale, “TROMINO” (Micromed S.p.A.) dotato di 3 canali velocimetrici (N-S, E-W, Up-Down) ad alto guadagno per l'acquisizione del microtremore sismico ambientale (fino a $\sim 1.5 \text{ mm/s}$); il sistema opera nell'intervallo di frequenze 0.1–1024 Hz. È stata acquisita una misura di rumore sismico per un tempo di registrazione in genere compreso tra 10 e 20 minuti. La misura è stata poi ripetuta per controllo. L'elaborazione dei dati di rumore sismico acquisiti è avvenuta mediante software Grilla (Micromed S.p.A.).

5.5 Indagini geotecniche

Come accennato in precedenza, in corrispondenza dei sostegni A, E, P ed N, sono state eseguite delle prove penetrometriche. In particolare, si sono realizzate delle prove penetrometriche statiche che sono state successivamente approfondite con delle prove penetrometriche dinamiche pesanti (DPSH). Di seguito, una breve descrizione delle metodologie utilizzate.

 Infrastrutture e Reti Italia Distribuzione Territoriale Rete Lombardia Progettazione Lavori e Autorizzazioni	COLLEGAMENTO 132 kV FRANCHINI ACCIAI – CABINA “BRANDICO” Relazione Geologica ed idrogeologica Preliminare	CODICE – CODE 1182524.04.03
		PAGINA - PAGE 18 di/of 42

5.6 Prova penetrometrica statica

Le prove penetrometriche sono state eseguite utilizzando un penetrometro statico da 20 t munito di punta meccanica tipo Begemann.

Le letture di resistenza alla punta (qc) e di attrito laterale (fs) vengono eseguite ogni 20 cm. La velocità di avanzamento della batteria delle aste è pari a 20 mm/s.

I risultati sono presentati nei diagrammi riportati in allegato in cui in funzione della profondità vengono illustrati i valori della resistenza alla punta qc, la resistenza laterale fs ed alcuni parametri geotecnici desunti.

L'interpretazione è stata eseguita utilizzando il software PGS allegato al testo Prove Geotecniche in sito (A. Bruschi).

5.7 Prova penetrometrica dinamica

In caso di terreni ghiaiosi, in cui non è stato possibile estendere le prove penetrometriche statiche in profondità, si è proceduto con l'esecuzione della prova penetrometrica dinamica.

Per l'esecuzione delle prove penetrometriche è stato impiegato un penetrometro cingolato statico-dinamico super pesante PAGANI TG 63-100. Nella tabella seguente vengono riepilogate le principali caratteristiche dell'attrezzatura penetrometrica:

Peso Massa battente 63 Kg

Altezza di caduta libera 0,75 m

Peso sistema di battuta 0,63 Kg

Diametro punta conica 51,00 mm

Angolo di apertura punta 60 °

Area di base punta 20,43 cm²

Lunghezza delle aste 1,00 m

Peso aste a metro 6,31 Kg/m

Profondità giunzione prima asta 0,30 m

Numero colpi per punta N(20)

La prova viene eseguita infiggendo a percussione una batteria di aste dotate di una punta di diametro 50,8 mm ed angolo di apertura 60°. La punta può essere a perdere o riutilizzabile. Il numero di colpi necessario per avanzare di 20 o 30 cm (approfondimento unitario) permette di determinare la resistenza dinamica del

 <i>Infrastrutture e Reti Italia</i> <i>Distribuzione Territoriale Rete</i> <i>Lombardia Progettazione Lavori e</i> <i>Autorizzazioni</i>	COLLEGAMENTO 132 kV FRANCHINI ACCIAI – CABINA “BRANDICO” Relazione Geologica ed idrogeologica Preliminare	CODICE – CODE 1182524.04.03
		PAGINA - PAGE 19 di/of 42

terreno, dalla quale è possibile poi risalire ai parametri geotecnici significativi attraverso elaborazioni successive. Il dispositivo di infissione della punta è costituito da un maglio avente massa pari a 63,5 (prove DPSH/ISSMFE) che cade liberamente da un'altezza di 0,75 m.

La prova consiste nell'infiggere la punta conica nel terreno, per tratti consecutivi di 20 cm, misurando il numero di colpi (N) necessari. L'elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica della prova così effettuata ha permesso di “catalogare e parametrizzare” il suolo attraversato con un'immagine in continuo ed è stata eseguite con il software PGS.

6 ANALISI DEI RISULTATI

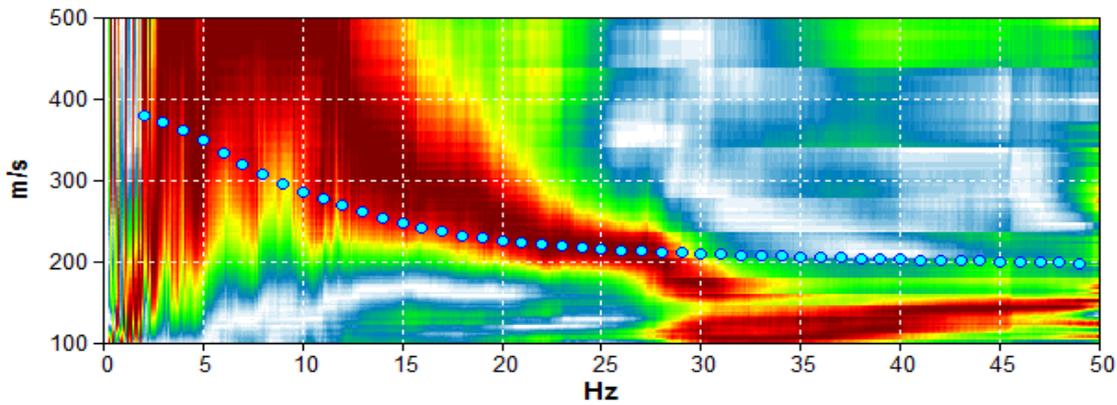
Si riportano di seguito, i risultati ottenuti relativi ad ogni singolo sostegno:

6.1 Sostegno A



Figura 8 –Ubicazione del sostegno

Caratterizzazione geofisica



Picco H/V a 57.81 ± 16.6 Hz (nell'intervallo 0.0 - 60.0 Hz).

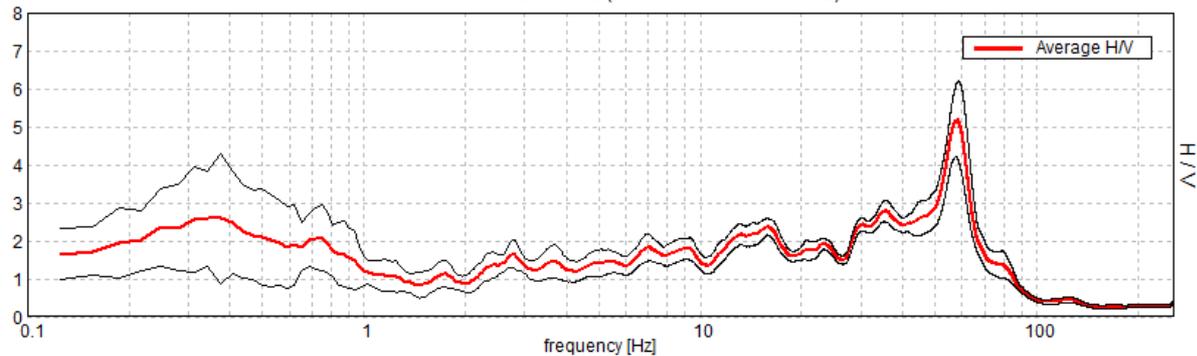


Figura 9 –Spettro dell'indagine MASW/REMI e traccia del profilo HVSR acquisito

e-distribuzione Infrastrutture e Reti Italia Distribuzione Territoriale Rete Lombardia Progettazione Lavori e Autorizzazioni	COLLEGAMENTO 132 kV FRANCHINI ACCIAI – CABINA “BRANDICO” Relazione Geologica ed idrogeologica Preliminare	CODICE – CODE 1182524.04.03
		PAGINA - PAGE 21 di/of 42

Di seguito il modello delle onde di taglio ottenuto dall'elaborazione delle prove geofisiche eseguite:

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]
1.40	1.40	190
5.00	3.60	225
8.00	3.00	260
19.00	11.00	330
30.00	11.00	380
inf.	inf.	420

$$Vs(0.0-30.0)=309\text{m/s}$$

Prove Geotecniche

Nel sito in esame, è stata eseguita una prova penetrometrica statica fino alla profondità di 3.20 m dal piano campagna, l'estensione in profondità è stata eseguita mediante prova penetrometrica dinamica pesante (DPSH) e si è raggiunta la profondità di 10.2 m.



Figura 10 – Documentazione fotografica

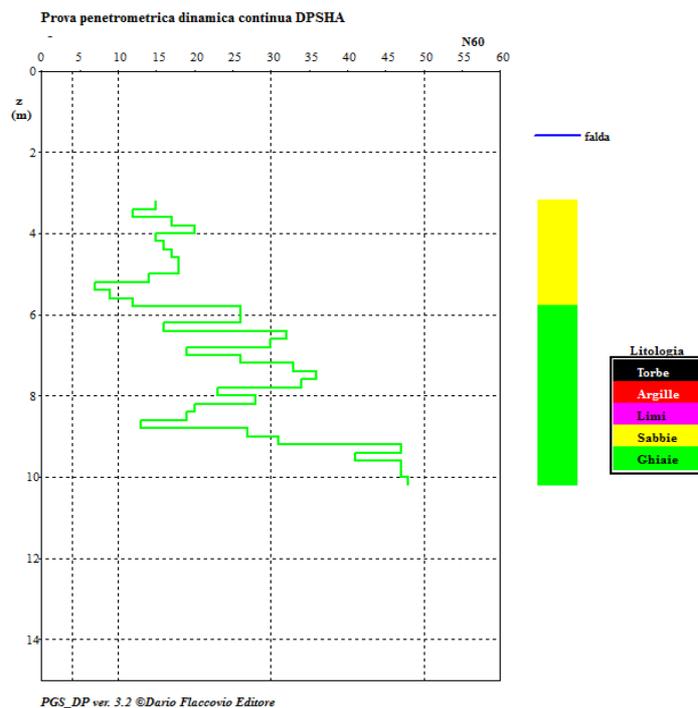
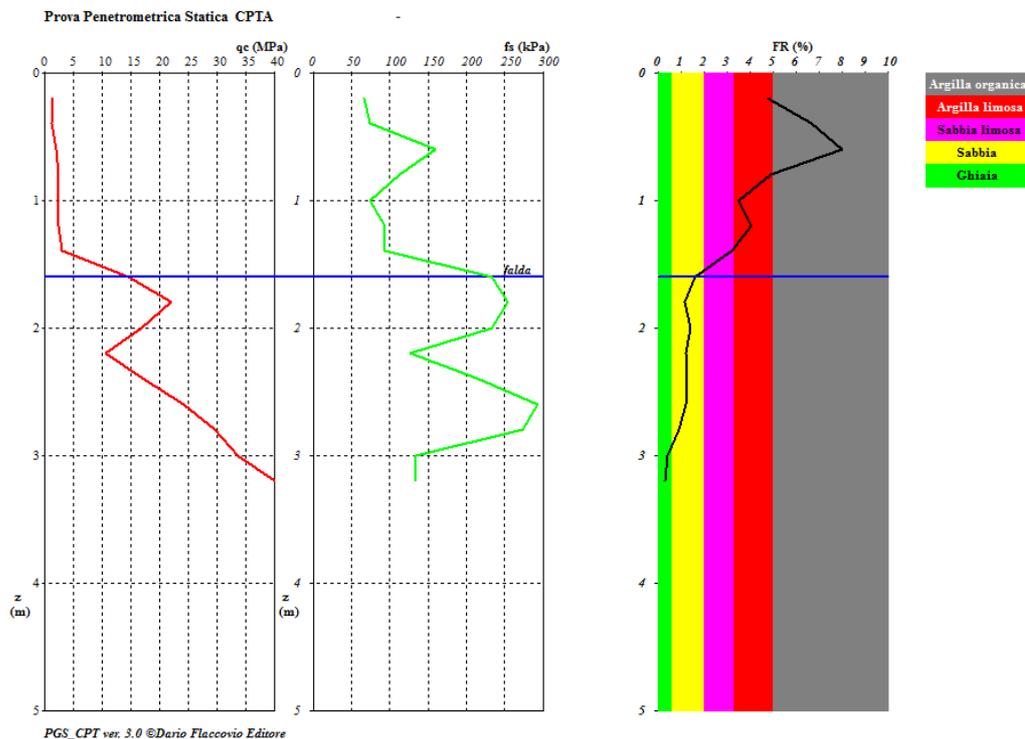


Figura 11 – Prove penetrometriche eseguite nel sito in esame

L’area è caratterizzata dalla presenza di limi argillosi ed argille limose fino alla profondità di 1.60 m dal piano campagna, seguono alternanze di sabbie e ghiaie fino alla massima profondità d’indagine. A fine prove, con l’ausilio di un freatimetro, è stato misurato il livello della falda risultato posto a 1.60 m. Tale dato è da intendersi variabile con gli apporti stagionali.

6.2 Sostegno E



Figura 12 –Ubicazione del sostegno

Caratterizzazione geofisica

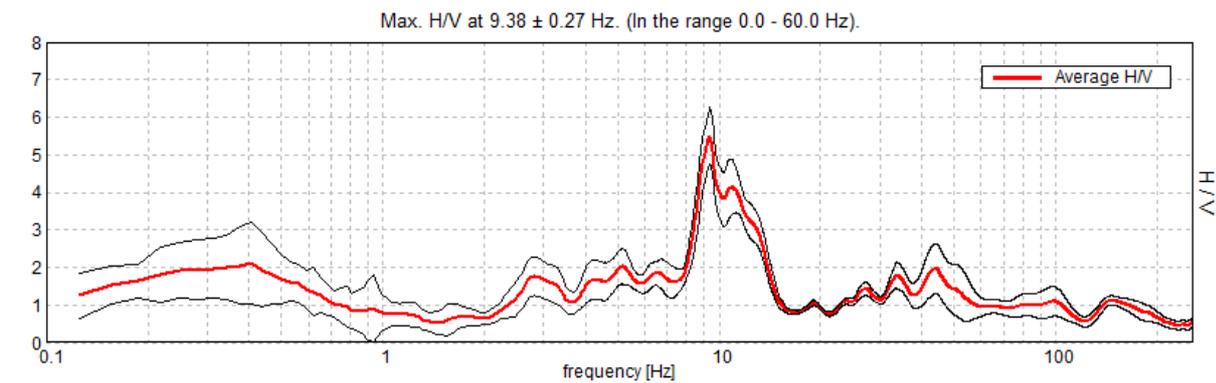
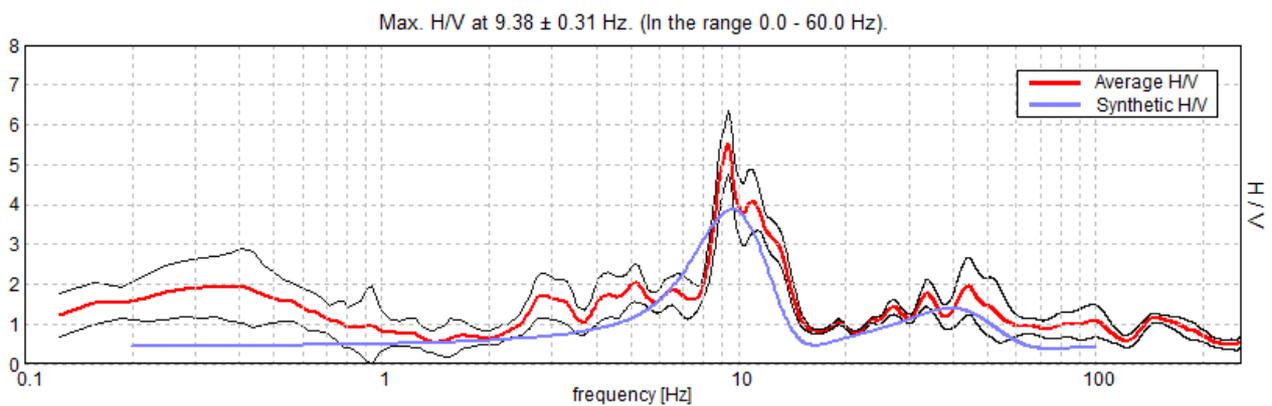


Figura 13 –traccia del profilo HVSR acquisito

Di seguito il modello delle onde di taglio ottenuto dall'elaborazione delle prove geofisiche eseguite:

H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
1.00	1.00	170
8.00	7.00	300
inf.	inf.	600

$V_s(0.0-30.0) = 455 \text{ m/s}$

Prove Geotecniche

Nel sito in esame, è stata eseguita una prova penetrometrica statica fino alla profondità di 3.60 m dal piano campagna, l'estensione in profondità è stata eseguita mediante prova penetrometrica dinamica pesante (DPSH) e si è raggiunta la profondità di 10.0 m.



Figura 14 – Documentazione fotografica

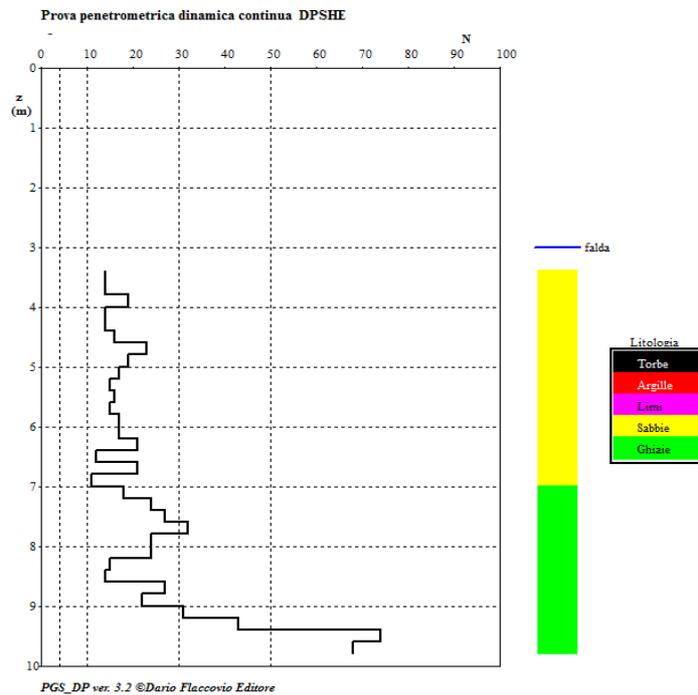
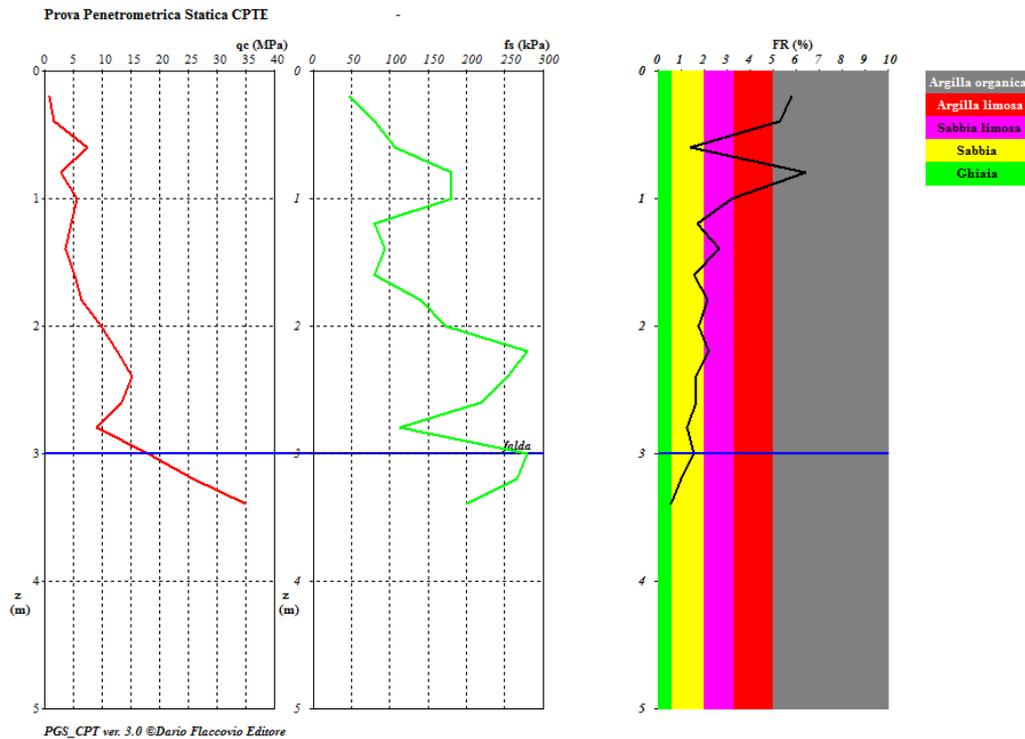


Figura 15 – Prove penetrometriche eseguite nel sito in esame

L’area è caratterizzata dalla presenza di limi argillosi ed argille limose fino alla profondità di 1.00 m dal piano campagna, seguono alternanze di sabbie e ghiaie fino alla massima profondità d’indagine. A fine prove, con l’ausilio di un freatimetro, è stato misurato il livello della falda risultato posto a circa 3.00 m. Tale dato è da intendersi variabile con gli apporti stagionali.

6.3 Sostegno N

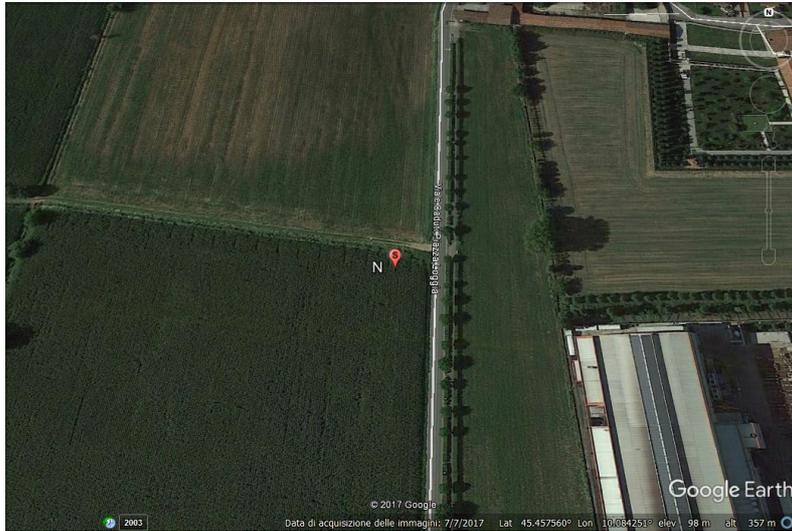
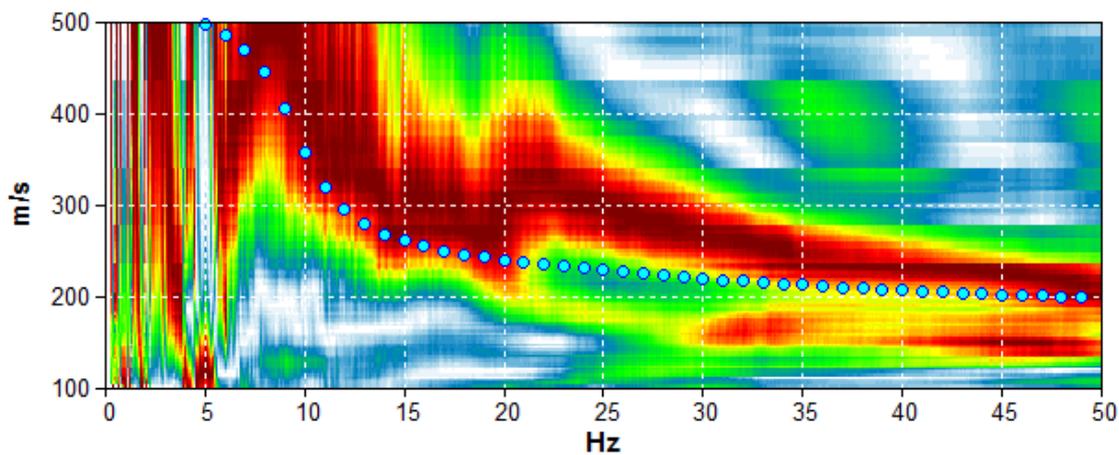


Figura 16 –Ubicazione del sostegno

Caratterizzazione geofisica



Picco H/V a 6.13 ± 0.12 Hz (nell'intervallo 0.0 - 60.0 Hz).

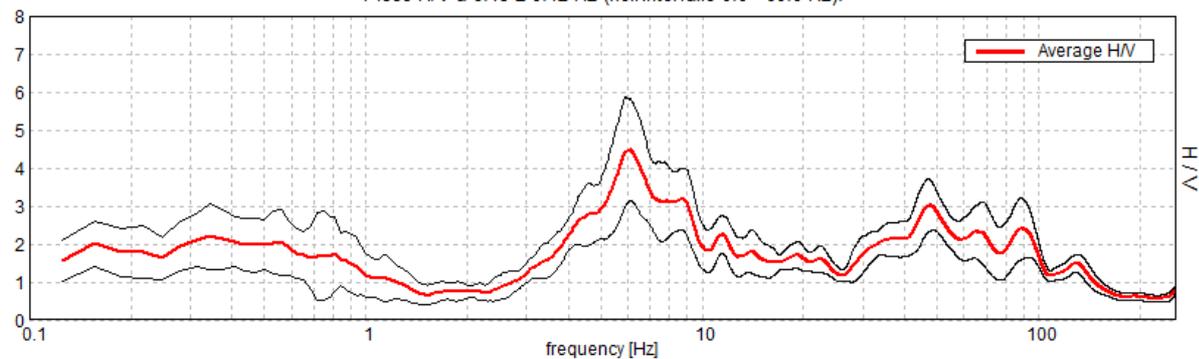
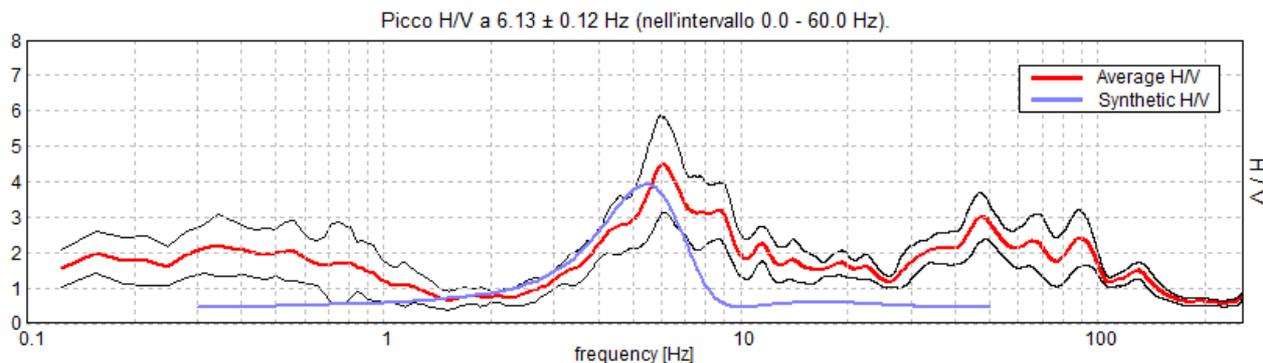


Figura 17 –Spettro dell'indagine MASW/REMI e traccia del profilo HVSR acquisito

Di seguito il modello delle onde di taglio ottenuto dall'elaborazione delle prove geofisiche eseguite:

H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
2.00	2.00	200
3.00	1.00	230
5.00	2.00	250
12.00	7.00	280
25.00	13.00	520
inf.	inf.	580

$V_s(0.0-30.0)=371\text{m/s}$

Prove Geotecniche

Nel sito in esame, è stata eseguita una prova penetrometrica statica fino alla profondità di 4.40 m dal piano campagna, l'estensione i profondità è stata eseguita mediante prova penetrometrica dinamica pesante (DPSH) e si è raggiunta la profondità di 12.0 m.



Figura 18 – Documentazione fotografica

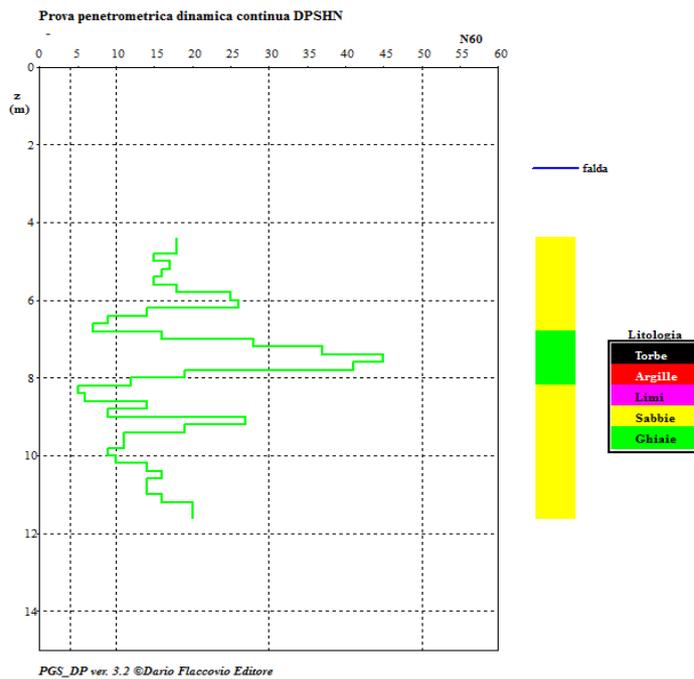
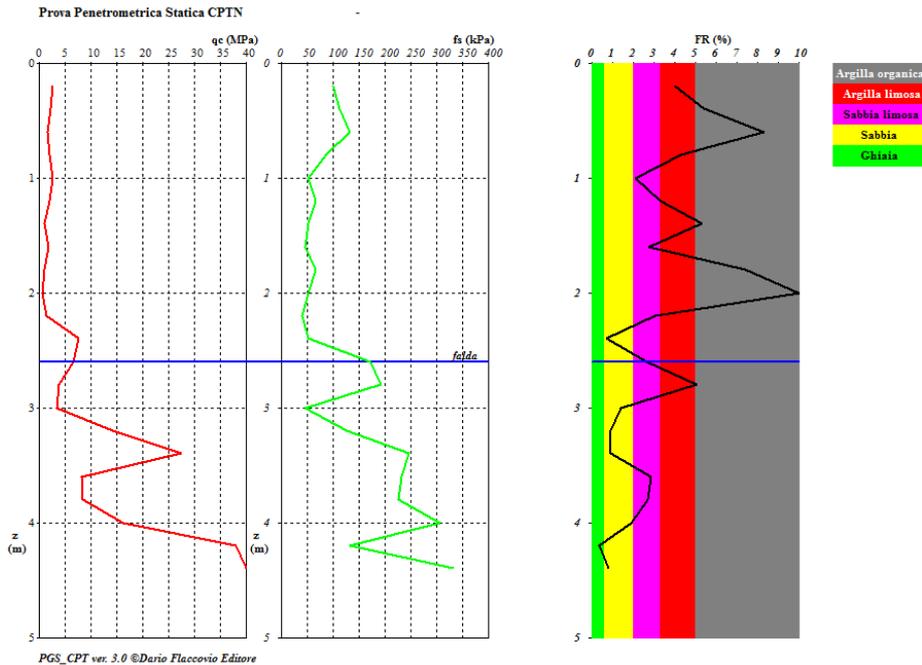


Figura 19 – Prove penetrometriche eseguite nel sito in esame

L'area è caratterizzata dalla presenza di limi argillosi ed argille limose fino alla profondità di 2.80 m dal piano campagna, seguono alternanze di sabbie e ghiaie fino alla massima profondità d'indagine. A fine prove, con l'ausilio di un freatimetro, è stato misurato il livello della falda risultato posto a 2.60 m. Tale dato è da intendersi variabile con gli apporti stagionali.

6.4 Sostegno P

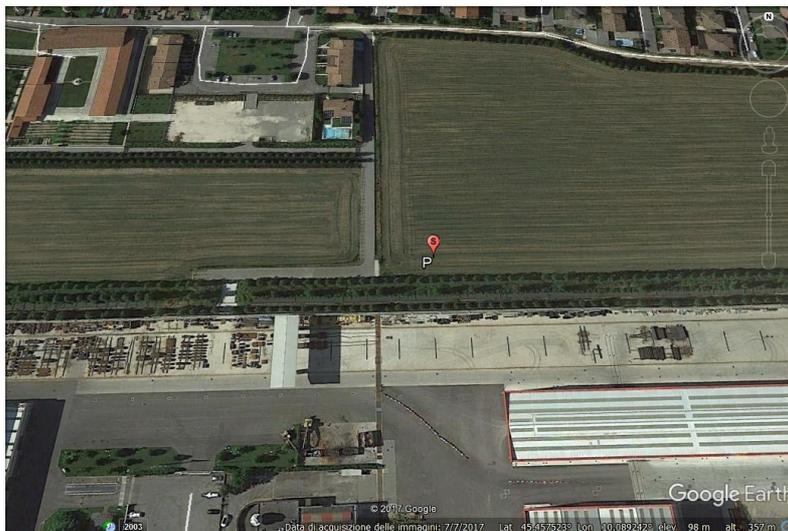
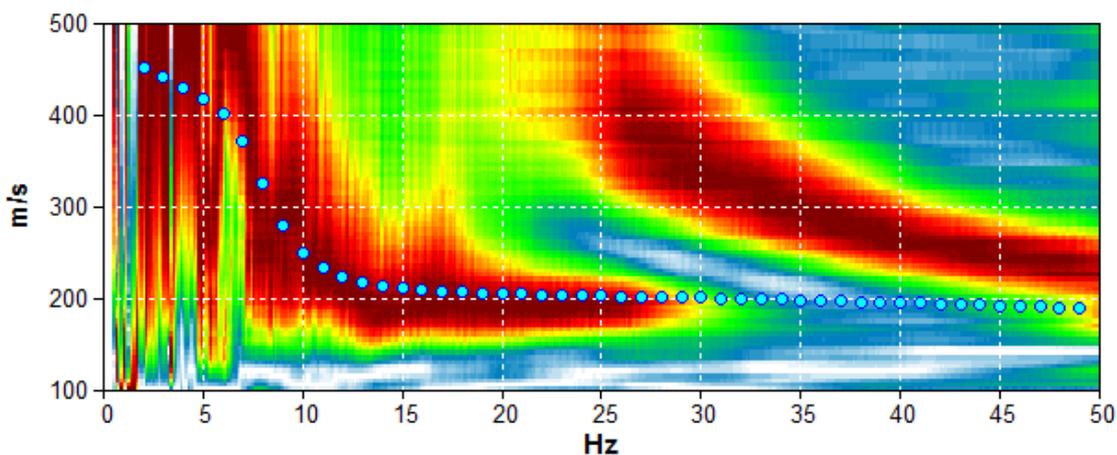


Figura 20 –Ubicazione del sostegno

Caratterizzazione geofisica



Picco H/V a 5.0 ± 0.0 Hz (nell'intervallo 0.0 - 60.0 Hz).

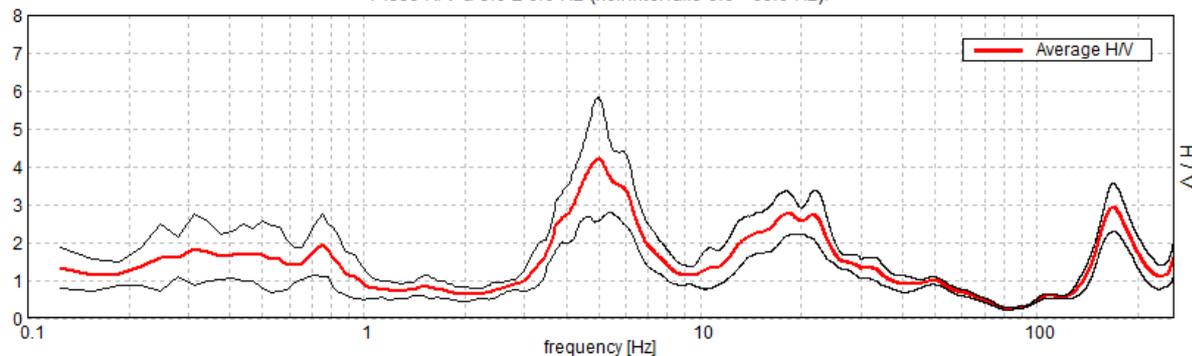
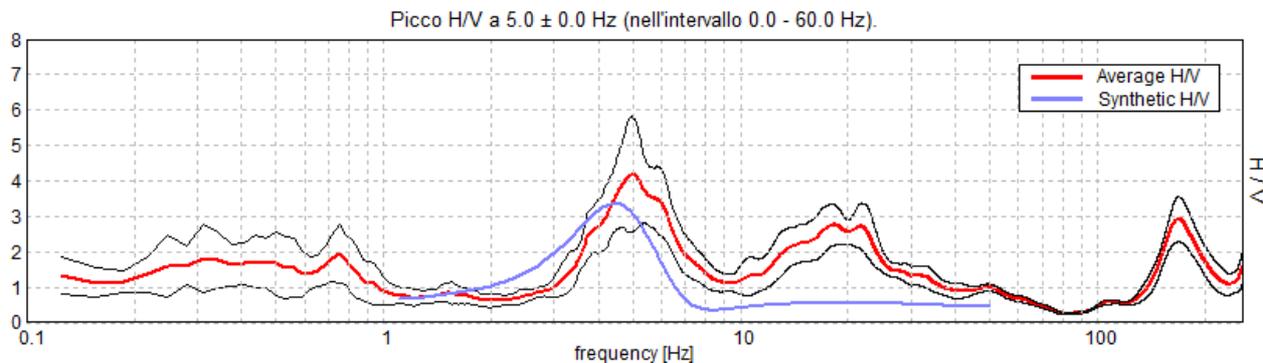


Figura 21 –Spettro dell'indagine MASW/REMI e traccia del profilo HVSR acquisito

Di seguito il modello delle onde di taglio ottenuto dall'elaborazione delle prove geofisiche eseguite:

H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
2.00	2.00	190
3.00	1.00	240
11.00	8.00	220
21.00	10.00	420
31.00	10.00	460
inf.	inf.	500

$V_s(0.0-30.0)=318\text{m/s}$

Prove Geotecniche

Nel sito in esame, sono state eseguite in adiacenza una prova penetrometrica statica ed una dinamica.



Figura 22 – Documentazione fotografica

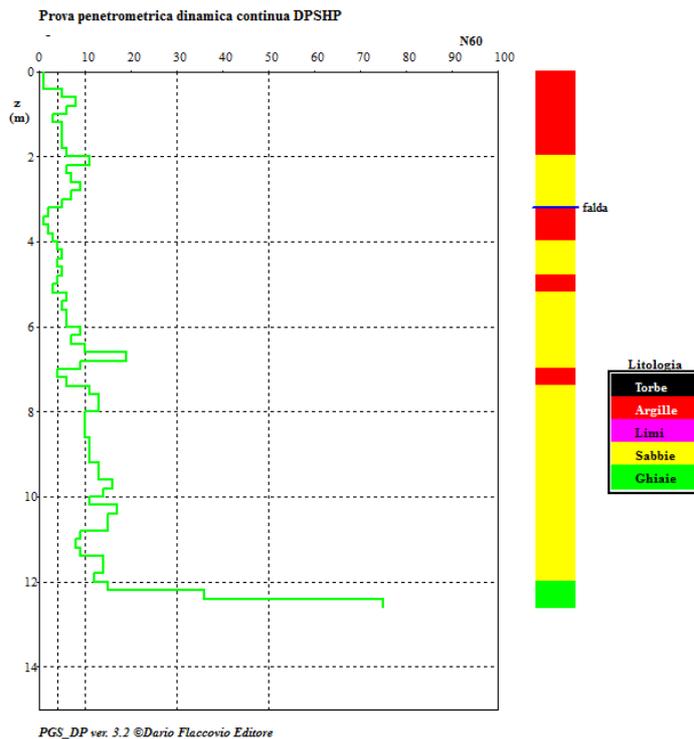
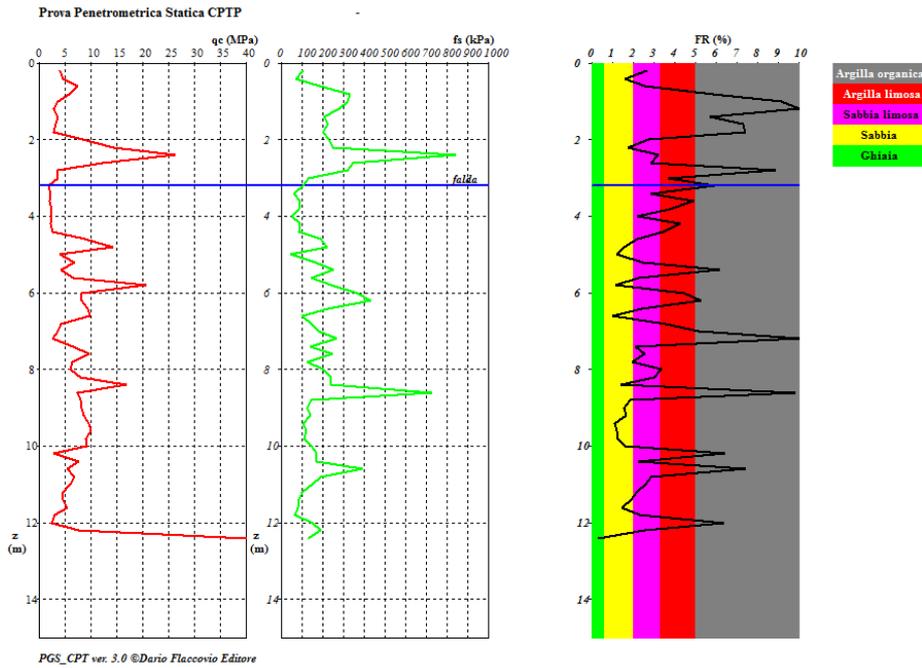


Figura 23 – Prove penetrometriche eseguite nel sito in esame

L’area è caratterizzata dalla presenza di limi argillosi ed argille limose fino alla profondità di 2.00 m dal piano campagna, seguono alternanze di sabbie, ghiaie e livelli limoso/argillosi fino alla massima profondità d’indagine. A fine prove, con l’ausilio di un freatimetro, è stato misurato il livello della falda risultato posto a 3.20 m. Tale dato è da intendersi variabile con gli apporti stagionali.

 <i>Infrastrutture e Reti Italia</i> <i>Distribuzione Territoriale Rete</i> <i>Lombardia Progettazione Lavori e</i> <i>Autorizzazioni</i>	COLLEGAMENTO 132 kV FRANCHINI ACCIAI – CABINA “BRANDICO” Relazione Geologica ed idrogeologica Preliminare	CODICE – CODE 1182524.04.03
		PAGINA - PAGE 32 di/of 42

7 IL FENOMENO DELLA LIQUEFAZIONE

Nel linguaggio tecnico corrente con tale termine s'intende la perdita totale di resistenza dei terreni saturi sotto sollecitazioni statiche o dinamiche, in conseguenza delle quali il terreno raggiunge una condizione di fluidità pari a quella di una massa viscosa. Ciò avviene solitamente nei depositi di sabbie fini sciolte quando, sotto l'azione dei carichi applicati o di forze idrodinamiche, la pressione dell'acqua dei pori aumenta progressivamente fino ad eguagliare la pressione totale di confinamento, cioè fino a quando gli sforzi efficaci si riducono a zero.

La liquefazione di un deposito può avvenire sia in condizioni statiche sia sotto sollecitazioni dinamiche cicliche o monotoniche.

7.1 Liquefazione dei terreni sotto l'effetto di carichi ciclici

Il fenomeno della liquefazione dei depositi sabbiosi saturi, sotto l'azione dei terremoti, trova spiegazione nell'evidenza sperimentale che una sabbia soggetta a vibrazione tende a compattarsi. La tendenza al decremento di volume si traduce (se il drenaggio è impedito) in un aumento della pressione interstiziale con conseguente riduzione della pressione sui grani. La struttura dei grani reagisce alla riduzione di pressione effettiva con un aumento di volume dello scheletro solido, compatibile con il fatto che in condizioni non drenate il volume complessivo deve rimanere costante. Il duplice meccanismo di tendenza alla riduzione di volume e al rigonfiamento dello scheletro solido guida il processo di sviluppo delle pressioni interstiziali, che aumentano, col proseguire delle vibrazioni, secondo un processo di accumulazione a gradini, fino ad eguagliare la pressione effettiva.

7.2 Criteri di previsione e metodi per la valutazione del potenziale di liquefazione.

Per una stima accurata della probabilità di liquefazione in un deposito sabbioso durante un terremoto, occorrerebbe tenere in conto di tutti i fattori che concorrono a creare le condizioni in cui il fenomeno può verificarsi. Dalle considerazioni esposte in precedenza si evince però l'impossibilità di inglobare in un unico modello tutti i parametri rappresentativi del fenomeno. Gli studi più recenti si sono sviluppati lungo due direttrici principali:

Osservazione delle caratteristiche sismiche, geologiche e geotecniche dei siti colpiti da terremoti distruttivi

Analisi del comportamento dei terreni in prove cicliche di laboratorio in condizioni controllate.

 <i>Infrastrutture e Reti Italia</i> <i>Distribuzione Territoriale Rete</i> <i>Lombardia Progettazione Lavori e</i> <i>Autorizzazioni</i>	COLLEGAMENTO 132 kV FRANCHINI ACCIAI – CABINA “BRANDICO” Relazione Geologica ed idrogeologica Preliminare	CODICE – CODE 1182524.04.03
		PAGINA - PAGE 33 di/of 42

Sono emersi così i primi criteri empirici di previsione, basati sulle caratteristiche granulometriche e sullo stato di addensamento, cui hanno fatto seguito criteri e metodi più raffinati e complessi capaci di tener conto di un numero di parametri sempre più elevato.

E' possibile raggruppare la grande molteplicità di metodi per la valutazione della suscettibilità alla liquefazione dei depositi in quattro classi:

- Criteri empirici: si basano su parametri desunti da prove di identificazione o da misure della densità relativa ovvero da prove penetrometriche standard
- Metodi semplificati: si basano sul confronto fra le sollecitazioni di taglio che producono liquefazione e quelle indotte dal terremoto; richiedono quindi la valutazione dei parametri sia relativi all'evento sismico sia al deposito
- Metodi di analisi dinamica semplificata: richiedono la determinazione, alle diverse quote, della storia delle sollecitazioni delle tensioni e deformazioni di taglio, conseguente ad un input sismico, definito da una storia di accelerazioni al bedrock
- Metodi dinamici avanzati: vengono condotte in genere in condizioni bidimensionali mediante l'impiego di codici di calcolo al elementi finiti o alle differenze finite ed in alcuni casi prevedono la modellazione integrata del sistema terreno-fondazione-struttura.

7.3 Motivi di esclusione della verifica a liquefazione

Sulla base di un'analisi preliminare della sismicità del sito e delle caratteristiche geotecniche del deposito, si può ritenere che la probabilità che si verifichi la liquefazione sia bassa o nulla nel caso si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- Eventi sismici attesi di magnitudo M inferiore a 5
- Accelerazioni massime di progetto al piano campagna inferiori a 0.1 g
- Accelerazioni massime di progetto al piano campagna inferiori a 0.15 g e terreni con caratteristiche ricadenti in una delle seguenti categorie:
 1. frazione fine (passante al setaccio 200, FC) maggiore del 20% e Indice plastico maggiore di 10.
 2. FC > 35 % e resistenza N60 > 20
 3. FC < 5 % e resistenza N60 > 25

Dove N60 è il valore normalizzato della resistenza penetrometrica della prova SPT.

- Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate in figura 4a nel caso di materiale con coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$ ed in figura 4b per coefficienti di uniformità $U_c > 3.5$.
- Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna.

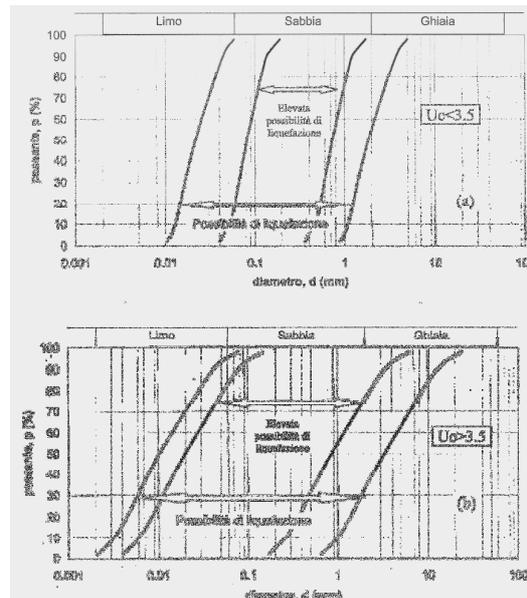


Figura 24 – Fasce granulometriche per la valutazione preliminare della suscettibilità alla liquefazione.

- Parametro di comportamento del terreno I_c ; tale parametro è funzione della resistenza alla punta, q_c e della resistenza laterale del manicotto, f_s misurate nelle prove CPT. In particolare:

$$I_c = [(3.47 - \log Q)^2 + (1.22 + \log F)^2]^{0.5}$$

Con Q e F funzioni di q_c e f_s .

Secondo Robertson e Wride (1998) se il valore di I_c è maggiore di 2.6 il terreno è classificabile come un materiale a comportamento argilloso, con scarse probabilità di liquefazione.

7.4 Metodi di analisi semplificata

La verifica a liquefazione del deposito è effettuata in condizioni di free-field (assenza di manufatti sulla superficie del deposito) alle profondità dove sono presenti depositi potenzialmente liquefacibili. Il fattore di sicurezza, ad una generica profondità, è definito come rapporto tra resistenza disponibile alla liquefazione e sollecitazione indotta dall'azione sismica. Entrambi i parametri vengono normalizzati rispetto alla tensione verticale efficace agente in modo da definire un rapporto di resistenza ciclica (CRR) ed un rapporto di tensione ciclica (CSR). Il valore di CSR è stimato a partire dal valore dell'accelerazione massima attesa in superficie, mentre CRR deriva da abachi funzioni dei risultati di prove in sito tipo SPT, CPT e misure di propagazione della onde di taglio. Nel metodo di Seed & Idriss, la resistenza alla liquefazione assume la seguente espressione:

 Infrastrutture e Reti Italia Distribuzione Territoriale Rete Lombardia Progettazione Lavori e Autorizzazioni	COLLEGAMENTO 132 kV FRANCHINI ACCIAI – CABINA “BRANDICO” Relazione Geologica ed idrogeologica Preliminare	CODICE – CODE 1182524.04.03
		PAGINA - PAGE 35 di/of 42

$$CSR = 0.65 a_{\max}/g \sigma_v/\sigma'_v rd$$

Dove:

a_{\max} = accelerazione di picco al piano campagna del terremoto di progetto

g = accelerazione di gravità

σ_v/σ'_v = rapporto tra tensione totale ed efficace alla profondità considerata

rd = coefficiente riduttivo dell'azione sismica che porta in conto la deformabilità del sottosuolo.

Il rapporto di resistenza ciclica CRR, come detto in precedenza si ricava, dall'analisi di prove in sito. Dai dati normalizzati di SPT o CPT, si ricava in funzione del contenuto di fine del materiale in esame il valore di CRR. Siccome le procedure semplificate sono state elaborate sulla base di osservazioni del comportamento dei depositi durante eventi sismici con magnitudo pari a 7.5, occorre ridurre il carico sismico per eventi di magnitudo diversa. Si può fare riferimento agli studi di Seed e Idriss (1982) e Ambraseys (1988).

Il fattore di sicurezza (FL) si ricava nel modo seguente:

$$FL = CRR/CSR$$

7.5 Considerazioni sul sito in esame

Per il sito in esame abbiamo una serie di fattori predisponenti la probabilità di liquefazione:

- Presenza di strati limoso/sabbiosi
- presenza della falda
- accelerazioni massime superiori a 0.15 g

Si procede , in via preliminare, ad una verifica della liquefazione del deposito calcolando l'indice I_c ed il potenziale di liquefazione.

Per l'analisi in esame è sono stati utilizzati i seguenti parametri:

- $a_g = 0.20$
- magnitudo: 6.00
- falda : 1.00 dal piano campagna

La figure seguenti compendiano i risultati ottenuti:

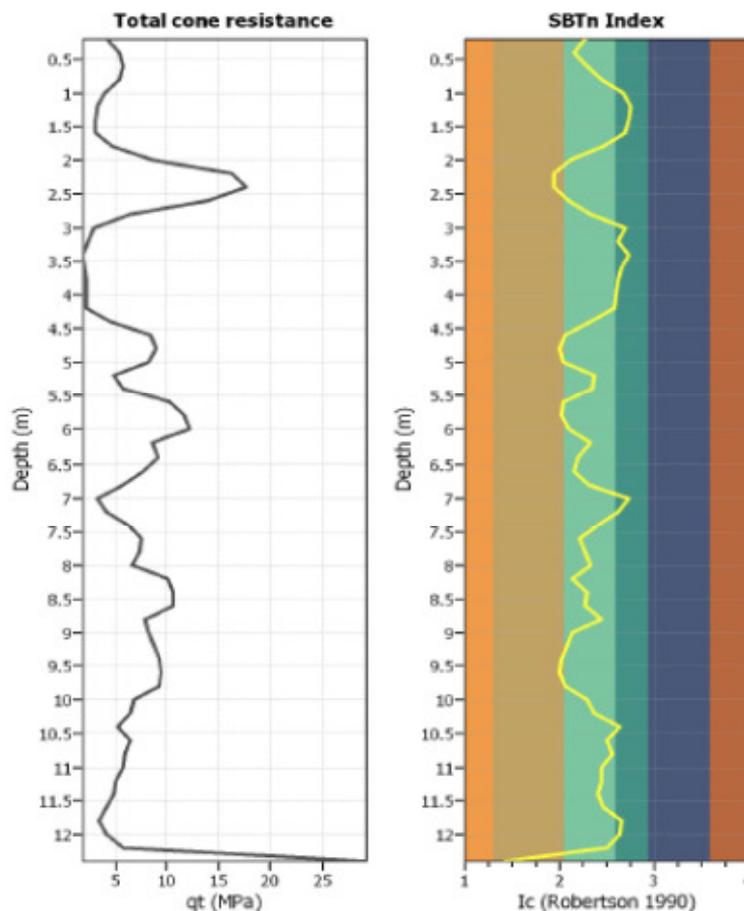


Figura 25 – Calcolo dell'indice I_c

Come anticipato in precedenza, tramite l'indice I_c (< 2.6) s'individuano gli strati a comportamento granulare che potenzialmente possono essere liquefacibili. Su quest'ultimi viene calcolato il fattore di sicurezza (FS) e successivamente il potenziale di liquefazione

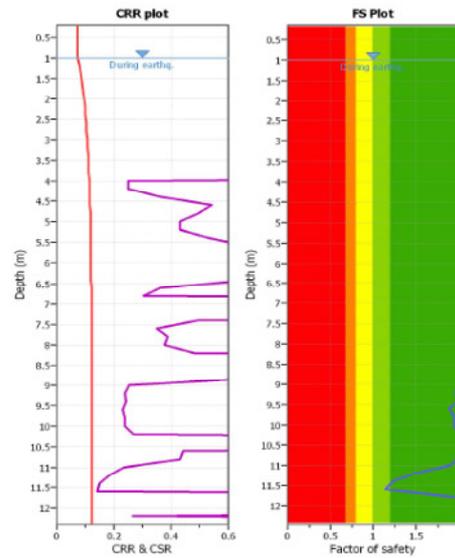


Figura 26 – Calcolo di CRR e dei relativi fattori di sicurezza

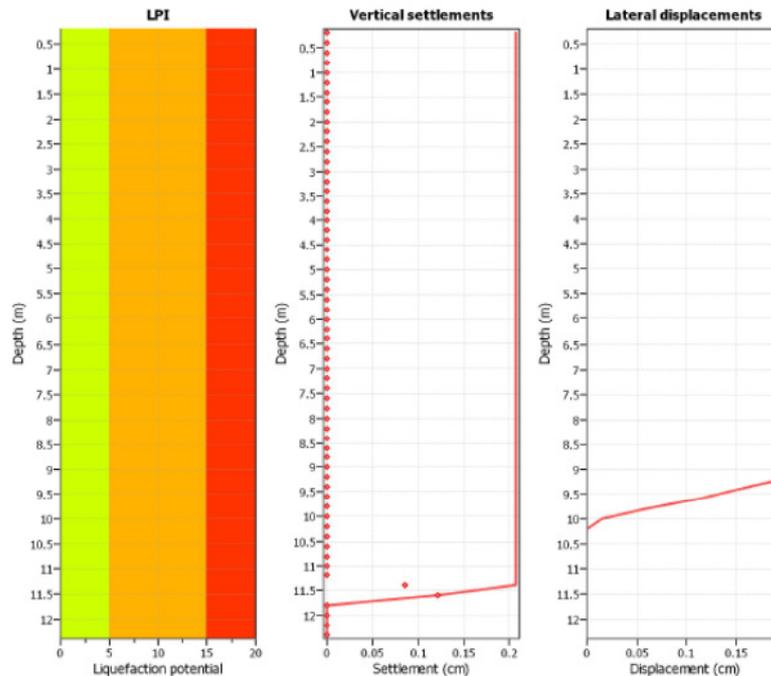


Figura 27 – Calcolo di LPI e dei cedimenti sismici

Come si evince dalla figura il potenziale di liquefazione (LPI), utilizzando vari metodi di calcolo, è nullo, quindi caratteristico dei materiali non liquefacibili.

 Infrastrutture e Reti Italia Distribuzione Territoriale Rete Lombardia Progettazione Lavori e Autorizzazioni	COLLEGAMENTO 132 kV FRANCHINI ACCIAI – CABINA “BRANDICO” Relazione Geologica ed idrogeologica Preliminare	CODICE – CODE 1182524.04.03
		PAGINA - PAGE 38 di/of 42

8 INDICAZIONI PRELIMINARI SULLA GESTIONE TERRE E ROCCE DA SCAVO

La vigente normativa in materia consente la gestione delle terre e rocce da scavo derivanti dalla realizzazione di un'opera, secondo tre possibili modalità:

- 1) come “rifiuti”;
- 2) in qualità di “sottoprodotti”;
- 3) in regime di “esclusione” dalla normativa sui rifiuti.

Punto 1

Nel primo caso, i riferimenti normativi sono costituiti essenzialmente dal **D. Lgs. 152/2006 - “Norme in materia ambientale”** e successive modifiche ed integrazioni (s.m.i.), e dal **D. M. 27 Settembre 2010 - “Definizione dei criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica, in sostituzione di quelli contenuti nel decreto del Ministro dell'ambiente 3 agosto 2005”** e s.m.i., . Tali norme prevedono, in sintesi, che venga effettuata una caratterizzazione ambientale preliminare “in banco” dei materiali interessati, per valutarne lo stato di qualità e definirne la potenziale destinazione, seguita da ulteriori accertamenti sui materiali “in cumulo”, per verificarne la conformità ai criteri di ammissibilità per la categoria di discarica precedentemente individuata. La caratterizzazione ambientale dovrà prevedere l'esecuzione di indagini geognostiche (scavi esplorativi e/o sondaggi a carotaggio, in funzione delle profondità di scavo previste dal progetto), con prelievo di campioni di terreno, ed accertamenti analitici di laboratorio, mentre i riscontri sui materiali “in cumulo” avverranno mediante esecuzione di ulteriori e più specifiche analisi di laboratorio (Test di cessione), con set analitici definiti dai gestori degli impianti di conferimento. Il deposito temporaneo ed il trasporto vengono effettuati nel rispetto delle relative norme tecniche e delle disposizioni previste dal D.Lgs. 152/2006. Tutti i materiali viaggiano con apposito “formulario di identificazione dei rifiuti” e per mezzo di trasportatori specializzati ed abilitati.

Non sono necessarie "autorizzazioni", "comunicazioni", "piani" o altro, in quanto la gestione come "rifiuti" esaurisce tutti gli adempimenti di legge.

Punto 2

Nel secondo caso, i riferimenti normativi sono costituiti dall'Art. 184bis del D.Lgs. 152/2006 (definizione di “sottoprodotto”), e dal D.P.R. 13 Giugno 2017 n° 120 - “Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo, ai sensi dell'articolo 8 del decreto-legge 12 Settembre 2014, n° 133, convertito, con modificazioni, dalla Legge 11 Novembre 2014, n° 164”.

Il suddetto D.P.R., all'Art. 4 stabilisce che, affinché i materiali scavati possano essere qualificati come “sottoprodotti”, devono soddisfare alcuni punti (indicati al comma 2), tra i quali:

 Infrastrutture e Reti Italia Distribuzione Territoriale Rete Lombardia Progettazione Lavori e Autorizzazioni	COLLEGAMENTO 132 kV FRANCHINI ACCIAI – CABINA “BRANDICO” Relazione Geologica ed idrogeologica Preliminare	CODICE – CODE 1182524.04.03
		PAGINA - PAGE 39 di/of 42

- 1) la certezza del riutilizzo e della destinazione;
- 2) che vengano rispettati i requisiti di qualità ambientale espressamente previsti dal Regolamento e non vengano superati i valori delle concentrazioni soglia di contaminazione (CSC) di cui alle colonne A e B della Tabella 1 dell’Allegato 5 al Titolo V - Parte Quarta del D. Lgs. 152/06, con riferimento alle caratteristiche delle matrici ambientali e alla destinazione d’uso urbanistica del/i sito/i di previsto utilizzo;
- 3) che i materiali non costituiscano fonte di contaminazione diretta o indiretta per le acque sotterranee, fatti salvi i valori di fondo naturale.

In questo contesto si rende quindi necessaria una accurata caratterizzazione ambientale mediante indagini in sito (scavi o sondaggi a carotaggio) e accertamenti analitici di laboratorio, da condursi con le modalità indicate negli Allegati 2 e 4 al D.P.R. 120/2017.

In merito agli adempimenti amministrativi previsti dal suddetto D.P.R., le disposizioni si differenziano in funzione della tipologia dei cantieri di produzione:

- 1) **cantieri di grandi dimensioni (> 6.000 m³) sottoposti a VIA o AIA (Titolo II - Capo II)**, per i quali è prevista la redazione di un **Piano di Utilizzo**, (con le modalità indicate negli Artt. 9-14), da trasmettere alle autorità competenti e all’ARPA almeno 90 giorni prima dell’inizio dei lavori;
- 2) **cantieri di piccole dimensioni (< 6.000 m³) e cantieri di grandi dimensioni non sottoposti a VIA o AIA (Titolo II - Capi III e IV)**, per i quali è invece prevista la presentazione di una **Dichiarazione di utilizzo** (Artt. 21 e 22), in forma di dichiarazione sostitutiva di atto di notorietà, alle autorità competenti ed all’ARPA, almeno 15 gg prima dell’inizio dei lavori.

In entrambi i casi, a utilizzo completato ed entro il termine di validità del Piano o della Dichiarazione di Utilizzo, ai medesimi soggetti dovrà essere presentata una **Dichiarazione di Avvenuto Utilizzo**, sempre in forma di dichiarazione sostitutiva di atto di notorietà

Per le terre e rocce da scavo qualificate come “sottoprodotti” è consentito il **deposito intermedio**, nelle forme previste dall’Art. 5, mentre per assicurare la tracciabilità delle movimentazioni, è prevista la compilazione di un **Documento di Trasporto**, in triplice o quadruplica copia, a seconda dei casi, per qualunque spostamento dei materiali al di fuori del cantiere di produzione.

 Infrastrutture e Reti Italia Distribuzione Territoriale Rete Lombardia Progettazione Lavori e Autorizzazioni	COLLEGAMENTO 132 kV FRANCHINI ACCIAI – CABINA “BRANDICO” Relazione Geologica ed idrogeologica Preliminare	CODICE – CODE 1182524.04.03
		PAGINA - PAGE 40 di/of 42

Punto 3

Per quanto riguarda, infine, il terzo caso, e cioè il riutilizzo delle terre e rocce di scavo nel medesimo sito di produzione in regime di “esclusione”, i riferimenti normativi sono rappresentati dall’**Art. 185** del D.Lgs. 152/2006 (“Esclusioni dall’ambito di applicazione”), e dal Titolo IV – Art. 24 del **D.P.R. 120/2017**.

I suddetti materiali potranno essere esclusi dalla disciplina dei rifiuti a condizione che vengano utilizzati “allo stato naturale” (cioè che non vengano neppure sottoposti alle cosiddette “normali pratiche industriali”), e che ne venga accertata la “non contaminazione” mediante specifiche indagini di caratterizzazione ambientale, ai sensi degli Allegati 2 e 4 del D.P.R. 120/2017.

Dal punto di vista amministrativo, non sono previste comunicazioni di sorta, salvo nel caso in cui il riutilizzo in sito avvenga nell’ambito della realizzazione di opere o attività sottoposte a VIA.

In quest’ultimo caso, in fase di progettazione preliminare è prescritta la stesura di un “Piano preliminare di utilizzo in sito delle terre e rocce da scavo escluse dalla disciplina dei rifiuti”, con le modalità previste dall’Art. 24 – Comma 3, che dovrà accompagnare lo Studio di Impatto Ambientale (SIA), e, in sede di progettazione esecutiva, la redazione sia di un progetto in cui vengano definite le volumetrie definitive di scavo e la collocazione dei materiali riutilizzati, che di un elaborato finale in cui siano descritti gli esiti della caratterizzazione ambientale e di tutti gli accertamenti sullo stato di qualità dei materiali scavati condotti in fase esecutiva, in conformità alle previsioni del “Piano preliminare”, da presentare alle autorità competenti ed all’ARPA prima dell’inizio dei lavori.

 <i>Infrastrutture e Reti Italia</i> <i>Distribuzione Territoriale Rete</i> <i>Lombardia Progettazione Lavori e</i> <i>Autorizzazioni</i>	COLLEGAMENTO 132 kV FRANCHINI ACCIAI – CABINA “BRANDICO” Relazione Geologica ed idrogeologica Preliminare	CODICE – CODE 1182524.04.03
		PAGINA - PAGE 41 di/of 42

9 CONCLUSIONI

Nel territorio del comune Brandico e Mairano (BS), è stata effettuata un’indagine geologico geotecnica al fine di caratterizzare i terreni ivi presenti.

In via preliminare sono state verificate le caratteristiche geologiche del sottosuolo della zona in cui si inserisce l’area in oggetto, mediante conoscenze dirette sui materiali che costituiscono l’area ed informazioni reperite dalla letteratura specializzata.

Quindi si è proceduto ad eseguire una campagna geognostica caratterizzata dall’esecuzione di:

- esecuzione di n° 4 prove penetrometriche statiche e dinamiche
- esecuzione di n° 3 profili sismici con tecnica MASW/REMI.
- n° 4 letture a stazione singola HVSR

Le indagini eseguite hanno permesso di caratterizzare dal punto di vista geologico, idrogeologico, geofisico e geotecnico i materiali presenti nell’area.

Dal punto di vista stratigrafico i litotipi che caratterizzano l’area d’indagine sono rappresentati da terreni limoso/argillosi superficiali (entro i primo due metri) che poggiano su alternanze di sabbie e ghiaie.

Il fori, indagati con un freatimetro, hanno permesso di determinare il livello della falda, risultato compreso tra 1.60 e 3.20 m dal piano campagna. Tale dato è da intendersi variabile in funzione degli apporti idrici stagionali. La misura delle velocità delle onde di taglio ha permesso di definire la tipologia di suolo di fondazione, risultata di tipo B e C.

In merito a delle richieste di integrazione pervenute da parte del Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare e quelle del Comune di Mairano si esplicitano i seguenti aspetti:

- dal punto di vista idrogeologico, l’area risulta interessata dalla presenza di una falda superficiale che ha una soggiacenza compresa tra 1.60 e 3.0 m di profondità. La situazione deve essere opportunamente considerata in fase progettuale.
- Le indagini hanno evidenziato la presenza di terreni superficiali limoso/argillosi mediamente fino a circa 2.0 m di profondità dal piano campagna. Tale aspetto risulta molto positivo, in quanto la bassa permeabilità di questi terreni tutela la falda superficiale presente nei terreni granulari sottostanti.

 <i>Infrastrutture e Reti Italia</i> <i>Distribuzione Territoriale Rete</i> <i>Lombardia Progettazione Lavori e</i> <i>Autorizzazioni</i>	COLLEGAMENTO 132 kV FRANCHINI ACCIAI – CABINA “BRANDICO” Relazione Geologica ed idrogeologica Preliminare	CODICE – CODE 1182524.04.03
		PAGINA - PAGE 42 di/of 42

- L’analisi della documentazione del Piano di Governo del territorio in relazione al tracciato in progetto, esclude che ci sono tralicci ricadenti in zone di possibile allagamento. A titolo precauzionale, per i sostegni F,G,H, si tenga in considerazione in fase progettuale delle possibili sottospinte dovute alla presenza di acqua a livello del piano campagna.

- Per quanto concerne i materiali derivanti dagli scavi, sono state indicate le possibili ipotesi di gestione in conformità all’attuale normativa vigente. In particolare, le possibilità operative dipendono essenzialmente da due aspetti fondamentali:
 - 1) Progetto definitivo delle opere
 - 2) Risultati delle analisi chimiche sui terreni da scavare