



Sensibilità del documento / Sensibilità del documento			
NON SENSIBILE		SENSIBILE	
<input checked="" type="checkbox"/> SSI-C0 Pubblica Publica	<input type="checkbox"/> SSI-C1 Riservata Riservata	<input type="checkbox"/> SSI-C2 Confidenziale Confidenziale	<input type="checkbox"/> SSI-C3 Segreta Segreta

**NOUVELLE LIGNE LYON TURIN - NUOVA LINEA TORINO LIONE
PARTIE COMMUNE FRANCO-ITALIENNE - PARTE COMUNE ITALO-FRANCESE
CUP C11J05000030001**

**Chantier Opérationnel 02D / Cantiere Operativo 02D
CIG Z9A26AB627**

**PROGETTO DEFINITIVO IN VARIANTE DI RICOLLOCAZIONE
DEL "CENTRO GUIDA SICURA" NEL COMUNE DI BUTTIGLIERA ALTA
(OTTEMPERANZA ALLE PRESCRIZIONI N. 27 E 132 DELLA DELIBERA CIPE 19/2015)**

**RELAZIONI TECNICHE E SPECIALISTICHE
RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA - BUTTIGLIERA ALTA**

Indice	Date / Data	Modifications / Modifiche	Etabli par / Concepito da	Vérifié par / Controllato da	Autorisé par / Autorizzato da
0	27/05/2019	Première diffusion / Prima emissione	Geol. L. FILIERI	Geol. L. FILIERI	Ing. V. Ripamonti
A	18/12/2020	Transposition observe. TELT/Del. Commun Cesana T.se n° 47 du 25/10/2019 Recepimento osserv. TELT/Del. Comune Cesana T.se n. 47 del 25/10/2019	Geol. L. FILIERI	Geol. L. FILIERI	Ing. V. Ripamonti
B	10/03/2022	Révision suite aux observations du TELT - 28/02/2022 Revisione a seguito osservazioni TELT - 28/02/2022	Geol. L. FILIERI	Geol. L. FILIERI	Ing. V. Ripamonti
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-

0 2 D	1 8 1 3 9 4 0	N V 0 6	0 0
Cantiere Operativo Chantier Opérationnel	Contratto Contrat	Opera Ouvrage	Tratto Section Parte Partie

D	R E G E	0 0 1 1 0 1	B
Fase Phase	Tipo documento Type de document	Oggetto Objet	Numero documento Numéro de document Indice Index

I PROGETTISTI (A.T.I.):

Ing. Valter RIPAMONTI (Capogruppo)
Studio DUEPUNODIECI Associati
essebi INGEGNERIA - Studio Tecnico Associato
Ing. Enrico GUIOT
Ing. Andrea DAVICO

Capogruppo di progettazione:
Ing. Valter RIPAMONTI



L'APPALTATORE/L'ENTREPRENEUR

-

SCALA / ÉCHELLE

-

Indirizzo / Adresse GED
ID DMS

IL DIRETTORE DEI LAVORI/LE MAÎTRE D'ŒUVRE

A P

Stato / Statut

TELT sas Savale Technolac - Bâtiment "Homère" -
13 allée du Lac de Constance - 73370 LE BOURGET DU LAC (France)
Tél.: +33 (0)4 79 68.56.50 - Fax: +33 (0)4.79.68.56.75
RCS Chambéry 493 596 952 - TVA FR 03439556952
Propriété TELT Tous droits réservés
Propriété TELT Tutti i diritti riservati

Ce projet est financé par l'union européenne (DG-TREN)



Questo progetto è cofinanziato dall'Unione europea (TEN-T)

CONSEPI s.r.l. - Sede in SUSÀ (TO) -
Via Torino n. 127
Numero di Iscrizione al Registro delle
Imprese di Torino e codice fiscale
03719310017
N. REA 00578221 di TORINO

1. PREMESSA	3
2. INQUADRAMENTO DELL'AREA DI INDAGINE	4
2A. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	4
2B. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO	4
2C. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	7
3. MODELLO GEOLOGICO DEL SITO IN ESAME	10
4. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL TERRENO	23
4A. PIANO DI INDAGINI GEOTECNICHE	25
5. ZONAZIONE SISMICA	26
6. QUADRO DI SINTESI	27
7. CONCLUSIONI	28

Allegati

1. PREMESSA

La presente relazione geologica viene redatta su incarico del Committente e fa riferimento al progetto di "Realizzazione di una pista di guida sicura" in Loc. Ferriera nel Comune di Buttigliera Alta.

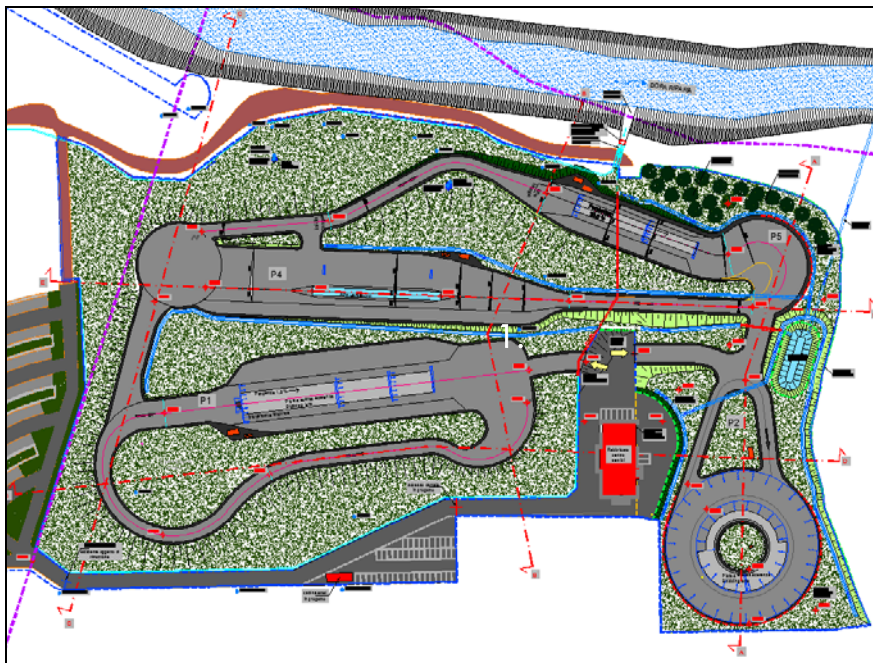


Figura 1.1
Planimetria
dell'area in studio
con
sovrapposizione di
quanto in progetto
(da *Elab. 003
vers.0-19 "Progetto
stradale-Buttigliera
Alta Planimetria
particolareggiata)*



Foto 1.2
Panoramica
area in studio

La presente relazione adempie agli obblighi di legge (N.T.C. 2018) relativamente alla parte geologica e viene realizzata ad integrazione degli elaborati progettuali, costituendone parte integrante, secondo quanto previsto dai vigenti strumenti urbanistici.

In particolare, scopo del presente lavoro è valutare le caratteristiche geologiche, geomorfologiche e idrogeologiche del sito in cui è inserito l'intervento in progetto.

Dal punto di vista geomorfologico, l'Anfiteatro Morenico è costituito da un insieme di modesti rilievi collinari per lo più rettilinei (dorsali) o debolmente arcuati (cerchie), paralleli tra loro e disposti a formare una sorta di anfiteatro. Dal punto di vista geologico, l'Anfiteatro è formato da un complesso affiorante di depositi glaciali e fluvio-glaciali con estensione in pianta di circa 52 kmq.

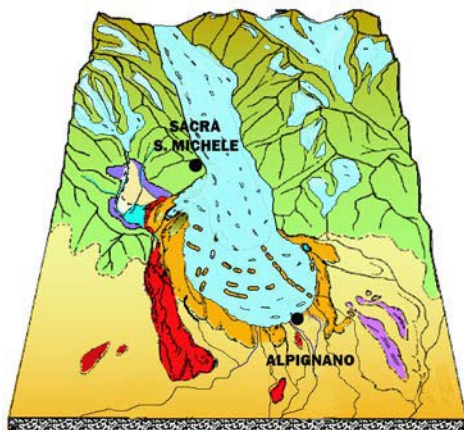


Figura 2.2 Ricostruzione dell'area di massima espansione del ghiacciaio della Val Susa nel Pleistocene e di una successiva fase di ritiro (P. Baggio et al., 2003)

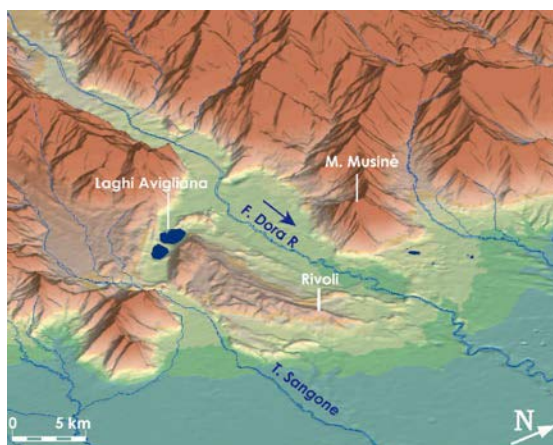


Figura 2.3 Modello 3D dell'anfiteatro morenico di Rivoli-Avigliana (M. Giardino et al., 2010)

Pertanto la storia geologica dell'area in studio è estremamente legata all'evoluzione orogenetica alpina e alle condizioni climatiche recenti ed attuali. Infatti, l'asse della bassa Valle di Susa attraversa tre fra le principali unità strutturali del settore nord occidentale dell'arco alpino; da E verso W si ritrovano in successione il *Massiccio Ultrabascico di Lanzo*, la *Formazione dei calcescisti con pietre verdi* ed il *Massiccio Dora Maira*.

5

Il *Massiccio di Lanzo*, affiora sul versante orografico sinistro da Caselette sino ad Almese ed è costituito per lo più da rocce peridotitiche, originate dalla risalita di materiale crostale all'inizio dell'orogenesi alpina; tali peridotiti hanno subito, nelle porzioni più superficiali, un processo di serpentizzazione che ha dato origine a strutture schematizzabili con un nucleo lherzolitico circondato da lherzoliti più o meno serpentizzate e, verso l'esterno, da serpentiniti vere e proprie.

La *Formazione dei calcescisti con pietre verdi* è suddivisa in due unità: una interna di dominio oceanico ed una esterna di ambiente continentale.

Rocce di entrambe le unità affiorano sui due versanti della valle tra Avigliana e Condove, con ofioliti dell'unità interna (prasiniti, gabbri, serpentiniti, ecc.) assolutamente prevalenti nella zona montuosa del Comune di Sant'Ambrogio.

Il *Massiccio Dora Maira* rappresenta il substrato cristallino formatosi prima del sollevamento alpino e affiora sia settore centrale della valle sia ad Ovest di Valgioie. E' rappresentato prevalentemente da gneiss e micascisti localmente associati a quarziti, marmi e anfiboliti. Tra Sant'Ambrogio e Chiusa San Michele il Massiccio viene tettonicamente in contatto con le ofioliti della formazione dei calcescisti lungo una linea che attraversa la valle e continua sul versante opposto al di sopra di Condove.

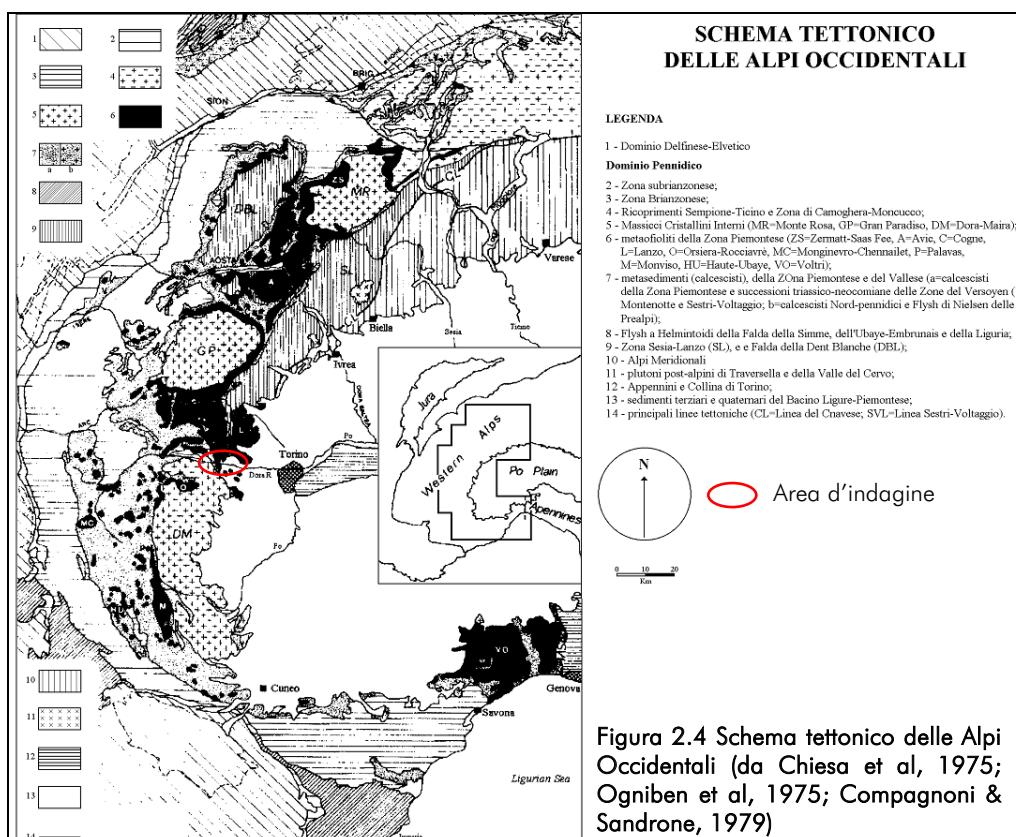


Figura 2.4 Schema tettonico delle Alpi Occidentali (da Chiesa et al, 1975; Ogniben et al, 1975; Compagnoni & Sandrone, 1979)

Per un maggior dettaglio dell'inquadramento geologico in questione è possibile riferirsi al recente Foglio 155 -Torino Ovest- alla scala 1:50.000 della Carta Geologica d'Italia (Progetto CARG). In questa carta, della quale si riporta uno stralcio nella figura seguente, l'area in studio è ascritta al "Sintema di Palazzolo" e nello specifico al "Subsintema di Ghiaia Grande" – CSN_{3b} – rappresentata da ghiaie sabbiose a supporto di clasti e sabbie ghiaiose a supporto di matrice con intercalazioni sabbiose, passanti verso l'alto a sabbie siltose inalterate e debolmente alterate di spessore metrico, costituenti i principali fondavalle, i terrazzi sospesi fino a 10 m sugli alvei attuali e i conoidi fluvio-torrentizi attuali; depositi siltosi e sabbioso-siltosi privi di stratificazione e non alterati, di spessore metrico, contenenti alla base lenti ghiaiose di ridotta estensione, costituenti i fondovalle dei corsi d'acqua tributari (depositi fluvio-torrentizi).

6



Figura 2.5 Estratto del Foglio 155 - Torino Ovest, prog. CARG

2c. Inquadramento idrogeologico

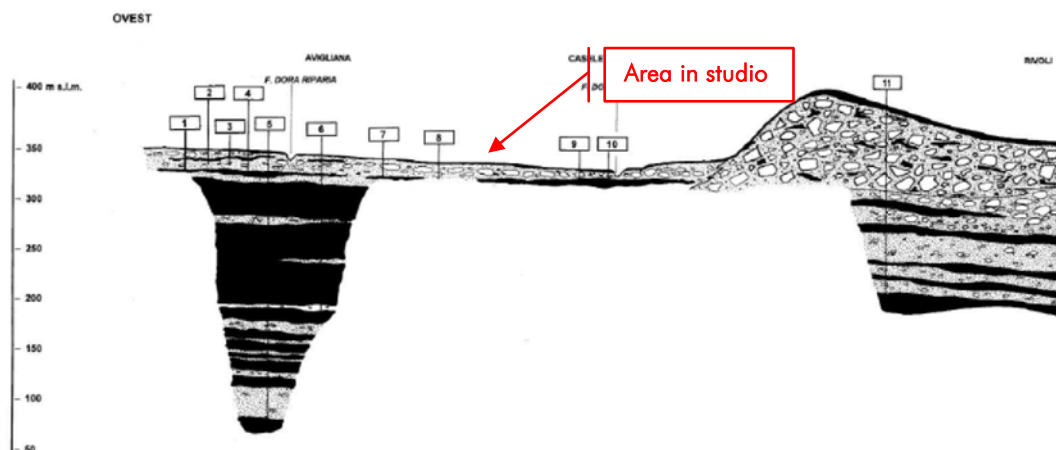
L'assetto litostratigrafico ed idrogeologico di questo settore di territorio è fortemente legato alle condizioni geologico-strutturali dell'area, nello specifico si possono distinguere due complessi:

- ▶ *Complesso Superficiale* - comprende i depositi fluvio-glaciali e alluvionali riferibili al Pleistocene medio-Olocene. È caratterizzato da alternanze di sedimenti di natura ghiaioso-sabbiosa con orizzonti più fini di sabbie e limi debolmente argillosi. La possibile presenza a differenti profondità di orizzonti argilloso-limosi può determinare localmente un effetto di confinamento della falda locale. Questo insieme di depositi di origine fluviale-fluvio-glaciale di età Pleistocene medio-Olocene rappresenta l'Acquifero Superficiale, contenente una falda idrica a superficie libera.
- ▶ *Complesso Villafranchiano* - costituito in prevalenza da depositi fini impermeabili (argille e limi di ambiente palustro-lacustre) all'interno dei quali sono compresi livelli più grossolani e permeabili (sabbie e ghiaie di origine fluviale). Il Complesso è caratterizzato dalla presenza di discreti acquiferi ospitati nei livelli ghiaioso-sabbiosi che danno origine ad un sistema multifalde in pressione. Questo sistema acquifero presenta un buon grado di protezione da potenziali fenomeni inquinanti in virtù del fatto che è confinato all'interno di depositi fini impermeabili. Le falde in pressione contenute nel Complesso sono separate tra loro e, soprattutto, lo sono rispetto alla falda superficiale.

L'assetto litostratigrafico ed idrogeologico del sito oggetto di studio è quindi caratterizzato dalla sovrapposizione di distinti complessi omogenei dal punto di vista idrogeologico il cui livello di separazione è collocato in corrispondenza del primo orizzonte limoso-argilloso impermeabile.

Per un maggior approfondimento dell'idrogeologia dell'area è stata presa in considerazione la vecchia Carta della base dell'acquifero superficiale del settore di pianura della Provincia di Torino approvata con D.G.P. n. 60-262846/2000 ed elaborata dal Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Torino per conto della Provincia di Torino. L'area indagata risulta collocata nei depositi fluviali prevalentemente ghiaiosi poco o per nulla alterati (Pleistocene sup. - Olocene).





Lo spessore dell'acquifero superficiale può essere stimato riferendosi alla recente cartografia della base dell'acquifero superficiale redatta dalla Regione Piemonte e approvata con D.D. 900 del 03/12/2012. In questa carta (fig. 2.7) si evince che l'area in studio ricade nella sotto area **MC2** rappresentata da depositi alluvionali di fondovalle dove la profondità dell'acquifero profondo si colloca a 50 metri dal piano campagna - nel caso in cui non sia noto il livello piezometrico - o a 50 m dal saturo.

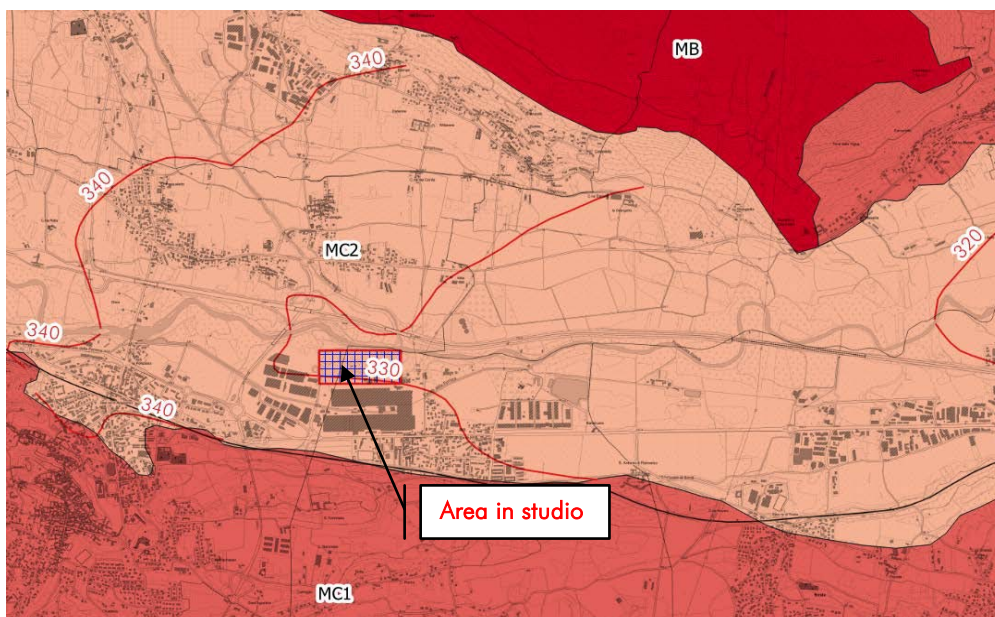


Fig. 2.7 Estratto di BDTRE con indicazione delle linee isopiezometriche (rosso) e delle sottoaree idrogeologiche (D.D. 900 del 03/12/2012)

Sulla base di quanto si può evincere dalla bibliografia ed esaminando l'assetto locale si può affermare quanto segue:

- ▶ l'area in studio è ubicata su terreni permeabili ascrivibili al *Complesso Superficiale*;
- ▶ i terreni quaternari, ospitano una falda libera che scorre in direzione E, la soggiacenza della falda libera oscilla nel corso dell'anno verosimilmente tra 8-9 m (cfr. fig. 2.7).

Pur in mancanza di misure dirette del livello di falda, dagli studi consultati e dalle risultanze delle prove geofisiche effettuate (la tomografia sismica per onde di compressione P ha evidenziato una zona saturata alla profondità di circa 9 m dal piano di calpestio) si può affermare che in condizioni normali la quota della falda superficiale si colloca a profondità non significative per quanto in progetto.

Come si può osservare negli estratti di BDTRE riportati nelle figure seguenti l'area in studio si colloca all'interno sia delle Fasce del P.A.I. (Fig. 2.8) sia di aree contraddistinte da una probabilità di accadimento di un evento alluvionale quantificabile in tempi di ritorno 500 anni (scenario di alluvione R: rare) relativo al reticolo principale di pianura (F. Dora Riparia), così come individuate nelle Mappe di pericolosità e di rischio del Piano di Gestione Rischio Alluvione (PGRA) aggiornate al 2015 (cfr. Fig.2.9).

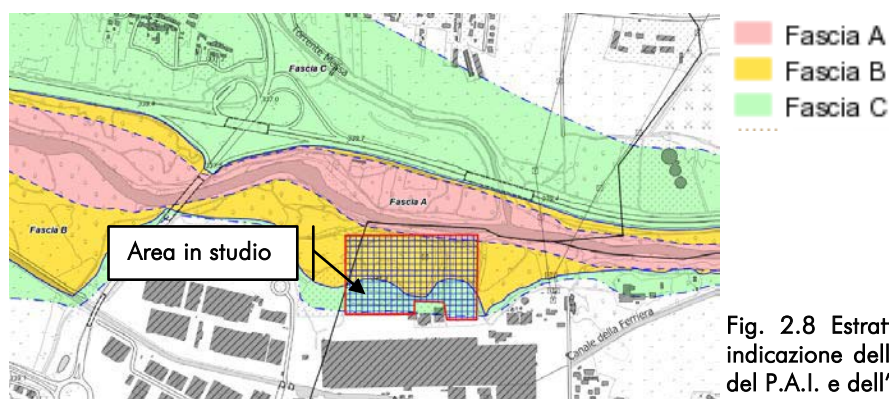


Fig. 2.8 Estratto BDTRE con indicazione delle fasce fluviali del P.A.I. e dell'area in studio

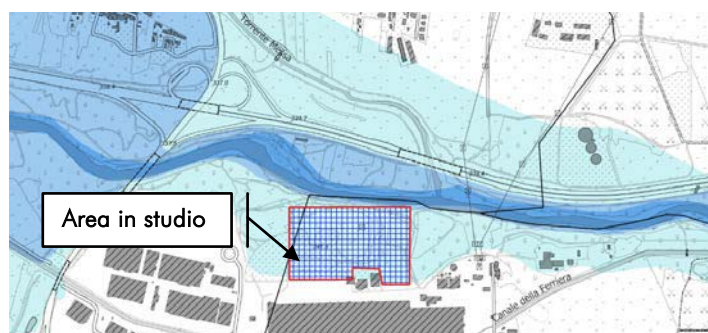


Fig. 2.9 Estratto delle Mappe di pericolosità e di rischio del Piano di gestione rischio alluvione (PGRA) aggiornate al 2015 su base cartografica BDTRE con indicazione dell'area in studio

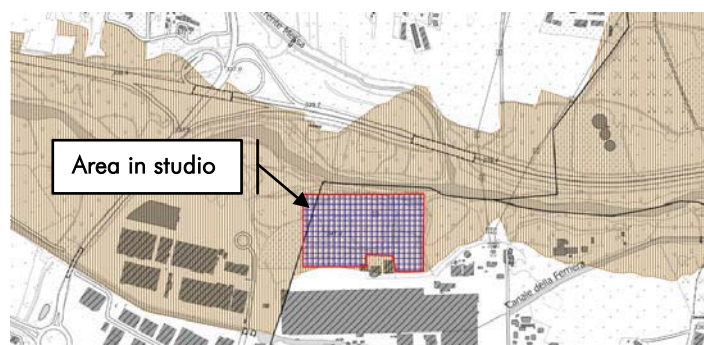


Fig. 2.10 Estratto su base cartografica BDTRE con indicazione dell'area in studio e delle aree soggette a vincolo idrogeologico

Per quanto concerne i vincoli comunali e sovracomunali insistenti sull'area in studio si rimanda allo "Studio di Impatto Ambientale - Ri-localizzazione Pista di Guida Sicura" redatto dallo Studio Kiwi & Associati nel maggio 2019.

3. MODELLO GEOLOGICO DEL SITO IN ESAME

Tenuto conto della tipologia di intervento, per una caratterizzazione litostratigrafica dei terreni che ospiteranno quanto in progetto, in considerazione della fase progettuale si è ritenuto necessario procedere come segue:

1. esame delle indagini ricavate dalla banca dati geotecnica di Arpa Piemonte;
2. sopralluogo ed osservazione diretta dei terreni nelle vicinanze dell'area in studio nell'ambito di lavori seguiti dallo scrivente;
3. esame delle indagini pregresse effettuate in sito nell'ambito del progetto di bonifica dell'area a cura dello Studio "Bortolami - Di Molfetta S.r.l." (sondaggi geognostici), di indagini indirette (MASW e tomografia sismica in onde P) e di una prova di carico su piastra commissionate da CONSEPI S.p.A. per quanto in progetto.

1. La banca dati geotecnica di Arpa Piemonte ha permesso di ricavare numerosi dati stratigrafici, alcuni dei più significativi riportati nel seguito, ottenuti a seguito di alcune perforazioni realizzate nell'intorno dell'area di indagine e ricadenti nello stesso complesso geologico che sarà interessato dai lavori in progetto (Fig. 3.1). I dati ricavati confermano il quadro geologico e idrogeologico dell'area: dal punto di vista geotecnico si ha la prevalenza di **depositi alluvionali sabbioso-ghiaiosi intervallati da livelli limosi** con l'aumentare della profondità, il livello della falda nell'intorno si attesta intorno ai 5,5-7 m dal p.c..

10

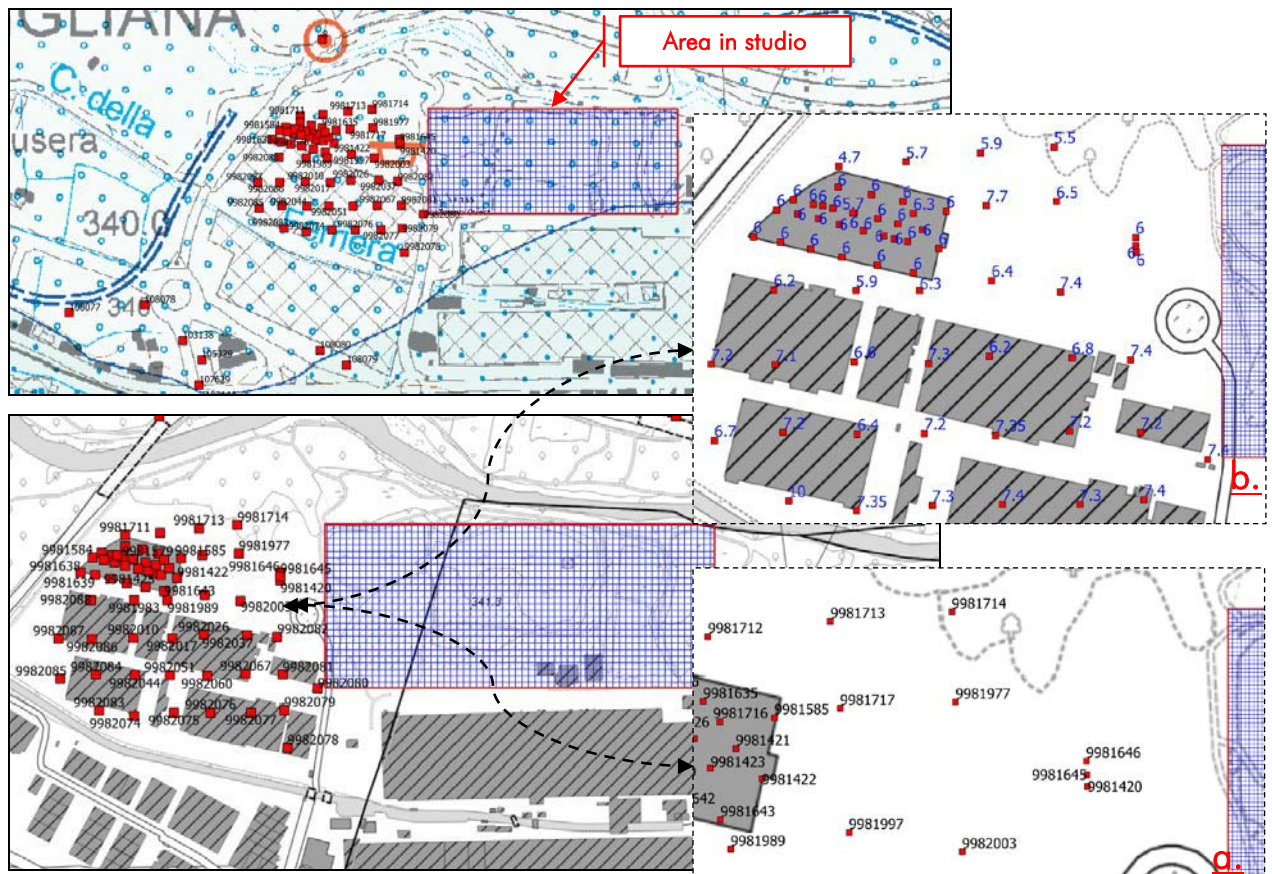


Figura 3.1 Ubicazione sondaggi geognostici (a: codice perforazione - b: livello falda) e relative stratigrafie semplificate (Arpa Piemonte) su Foglio 155 - prog. CARG e base BDTRE

STUDIO APOGEO
Ambiente e Territorio

Codice perforazione	Profondità (m)	Descrizione
9981420	4.50	terreno di riporto costituito prevalentemente da ghiaia sabbiosa con subordinati ciottoli, rari blocchi e frammenti lateritici, resti vegetali
9981420	8.00	terreno di riporto costituito da ghiaia sabbiosa con rari ciottoli, frammenti lateritici e resti vegetali
9981420	8.50	terreno rimaneggiato costituito da limo sabbioso con ghiaietto sparso e resti vegetali, moderatamente consistente
9981420	9.40	sabbia eterometrica limoso-ghiaioso fine, moderatamente addensata
9981420	13.00	sabbia debolmente limosa, moderatamente addensata
9981420	13.70	alternanza di livelli di sabbia con livelli siltosi, moderatamente consistente
9981420	17.00	sabbia prevalentemente limosa, poco addensata
9981420	17.90	alternanza di livelli di sabbia e livelli siltosi, moderatamente consistente
9981420	18.90	limo debolmente sabbioso fine passante a sabbia molto fine limosa, poco consistente
9981420	20.20	limo debolmente sabbioso fine, debolmente argilloso, poco consistente, debolmente plastico
9981420	22.00	sabbia eterometrica limosa, poco addensata
9981420	22.50	limo debolmente sabbioso fine, poco consistente, debolmente plastico
9981420	23.80	sabbia con subordinata laminazioni siltose, moderatamente addensata
9981420	25.00	alternanza di livelli di sabbia e livelli siltosi, moderatamente consistente
9981420	30.00	limo debolmente sabbioso con subordinati livelli sabbioso fini, moderatamente consistente

Codice perforazione	Profondità (m)	Descrizione
9981645	1.20	terreno di riporto costituito da sabbia ghiaiosa limosa con sporadici frammenti lateritici, poco addensato
9981645	4.00	terreno di riporto costituito da limo sabbioso con subordinata frazione ghiaioso e rari frammenti lateritici, poco addensato
9981645	6.40	terreno di riporto costituito da ghiaia sabbiosa con frammenti lateritici, poco addensata
9981645	7.00	terreno rimaneggiato costituito da limo sabbioso con subordinata frazione ghiaiosa, moderatamente consistente
9981645	10.00	ghiaia in matrice sabbiosa debolmente limosa, addensata

Codice perforazione	Profondità (m)	Descrizione
9981420	4.50	terreno di riporto costituito prevalentemente da ghiaia sabbiosa con subordinati ciottoli, rari blocchi e frammenti lateritici, resti vegetali
9981420	8.00	terreno di riporto costituito da ghiaia sabbiosa con rari ciottoli, frammenti lateritici e resti vegetali
9981420	8.50	terreno rimaneggiato costituito da limo sabbioso con ghiaietto sparso e resti vegetali, moderatamente consistente
9981420	9.40	sabbia eterometrica limoso-ghiaioso fine, moderatamente addensata
9981420	13.00	sabbia debolmente limosa, moderatamente addensata
9981420	13.70	alternanza di livelli di sabbia con livelli siltosi, moderatamente consistente
9981420	17.00	sabbia prevalentemente limosa, poco addensata
9981420	17.90	alternanza di livelli di sabbia e livelli siltosi, moderatamente consistente
9981420	18.90	limo debolmente sabbioso fine passante a sabbia molto fine limosa, poco consistente
9981420	20.20	limo debolmente sabbioso fine, debolmente argilloso, poco consistente, debolmente plastico
9981420	22.00	sabbia eterometrica limosa, poco addensata
9981420	22.50	limo debolmente sabbioso fine, poco consistente, debolmente plastico
9981420	23.80	sabbia con subordinata laminazioni siltose, moderatamente addensata
9981420	25.00	alternanza di livelli di sabbia e livelli siltosi, moderatamente consistente
9981420	30.00	limo debolmente sabbioso con subordinati livelli sabbioso fini, moderatamente consistente

Codice perforazione	Profondità (m)	Descrizione
9982003	0.40	terreno vegetale con ciottoli sparsi
9982003	4.00	riporto di blocchi di gneiss e detrito frammisto a sabbia limosa
9982003	6.30	riporto di ghiaia sabbiosa frammista a detrito
9982003	7.30	limo sabbioso con ghiaia
9982003	10.00	ghiaia sabbiosa con intercalazioni di limo compatto

Codice perforazione	Profondità (m)	Descrizione
9981977	1.70	riporto di blocchi e detriti
9981977	6.80	detriti grossolani, ciottoli frammisti a ghiaia con abbondante sabbia limosa
9981977	8.70	limo sabbioso inglobante ghiaia
9981977	10.00	ghiaietto con sabbia debolmente limosa

Codice perforazione	Profondità (m)	Descrizione
9981714	3.10	riporto di detriti e blocchi calcescisti frammisti a limo sabbioso
9981714	3.90	detriti vari
9981714	6.00	riporto di detriti e blocchi calcescisti frammisti a limo sabbioso
9981714	7.20	limo sabbioso
9981714	7.60	sabbia limosa frammista a ghiaietto
9981714	8.00	limo debolmente sabbioso compatto
9981714	10.00	sabbia limosa frammista a ghiaia compatta

Codice perforazione	Profondità (m)	Descrizione
9981713	5.00	riporto di blocchi gneissici frammisti a sabbia limosa
9981713	7.10	limo sabbioso mediamente consistente
9981713	10.00	ghiaia frammista a sabbia limosa mediamente compatta, con intercalazioni di limi sabbiosi

Codice perforazione	Profondità (m)	Descrizione
9981997	5.60	riporto di blocchi di gneiss e detriti vari frammisti a sabbia limosa
9981997	7.30	sabbia limosa poco compatta
9981997	8.00	ghiaia con rari ciottoli frammista a sabbia
9981997	10.00	sabbia debolmente limosa

2. I dati ricavati dalle indagini dirette e indirette effettuate nell'intorno del sito in esame ricadenti nel medesimo contesto geologico confermano il quadro geologico sopra riportato. Le indagini in esame si riferiscono alla caratterizzazione litostratigrafica eseguita nel comune limitrofo di Avigliana (dove era prevista la localizzazione della pista di guida sicura prima dell'attuale ubicazione) tramite:

- n°2 sondaggi a carotaggio continuo (fig. 3.3)
- n°6 saggi meccanici, denominati da Sa1 a Sa6, eseguiti con escavatore meccanico (fig. 3.3)
- un'indagine geofisica (una prova per onde superficiali e una tomografia sismica per onde di compressione P)



Figura 3.2 Indagini pregresse su foglio CARG n.155 e su immagine satellitare

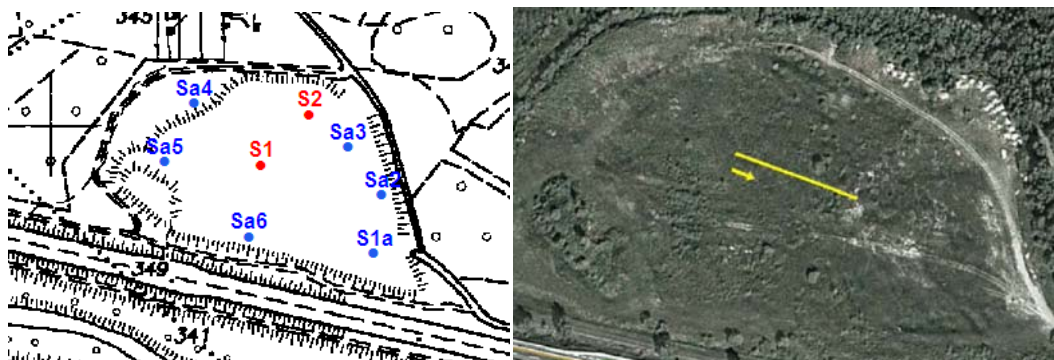


Figura 3.3 Ubicazione su estratto di C.T.R. ed immagine satellitare delle indagini pregresse: sondaggi geognostici S1 e S2, saggi meccanici da Sa1 a Sa6 ed indagine sismica

■ SAGGI e SONDAGGI LOCALIZZAZIONE PRECEDENTE (AVIGLIANA)



Foto 3.4 Esecuzione saggi e sondaggi



Sabbie limose
e limi sabbiosi:
DEPOSITI
ALLUVIONALI

Figura 3.5
Cassette
catalogatrici S1



Sabbie limose
e limi sabbiosi:
DEPOSITI
ALLUVIONALI

Figura 3.6
Cassette
catalogatrici
S2

Prova	Profondità d'indagine (m dal p.c.)	Profondità falda (m dal p.c.)	Stratigrafia semplificata
S1	8,30	n.p.	0,00 - 3,60 riporto 3,60 - 5,70 sabbie limose 5,70 - 8,30 ghiaie con ciottoli
S2	8,00	n.p.	0,00 - 3,45 riporto 3,45 - 6,60 sabbie limose 6,60 - 8,00 ghiaie con ciottoli

Tabella 3.7 Caratteristiche dei sondaggi pregressi effettuati

Prova	Profondità d'indagine (m dal p.c.)	Profondità falda (m dal p.c.)	Stratigrafia (m dal piano di calpestio)
S _{a1}	3,00	n.p.	0,00 - 2,00 ghiaie eterometriche in matrice sabbioso limosa 2,00 - 3,00 ghiaie eterometriche in matrice sabbioso limosa con ciottoli poligenici
S _{a2}	3,00	n.p.	0,00 - 3,00 ghiaie eterometriche in matrice sabbioso limosa con ciottoli poligenici
S _{a3}	3,00	n.p.	0,00 - 3,00 ciottoli a spigolo vivo in matrice sabbioso limosa di color nocciola
S _{a4}	2,50	n.p.	0,00 - 2,50 ciottoli a spigolo vivo in matrice sabbioso limosa di color nocciola
S _{a5}	3,00	n.p.	0,00 - 3,00 ghiaie eterometriche in matrice sabbioso limosa con ciottoli poligenici
S _{a6}	3,00	n.p.	0,00 - 3,00 ghiaie eterometriche in matrice sabbioso limosa con ciottoli poligenici

Tabella 3.8 Caratteristiche dei saggi pregressi effettuati

Dai risultati ottenuti si evince che la copertura di riporto presenta uno spessore compreso tra i 2 m e i 3,5 m circa ed è rappresentata da materiale eterogeneo quali ciottoli, ghiaie sabbiose, frantumato di roccia e successivamente per circa 3 m sono presenti sabbie limose di colore grigio con consistenza da scarsa e mediocre poste al di sopra delle ghiaie medie-grossolane addensate in matrice sabbiosa. In allegato si riportano le stratigrafie dei terreni attraversati dai sondaggi (S1-S2).

■ INDAGINI GEOFISICHE LOCALIZZAZIONE PRECEDENTE (AVIGLIANA)

L'indagine geofisica consistita in una prova per onde superficiali e una tomografia sismica per onde di compressione P ha permesso di verificare:

- ✓ uno strato superficiale (materiale eterogeneo di riporto) caratterizzato da bassi valori di velocità delle onde P (350-500 m/s) e spessore di circa 2,5-3 m (in accordo con le indagini geognostiche dirette svolte);
- ✓ un secondo strato formato da terreno naturale composto da limi e sabbie caratterizzato da valori di velocità di 700-900 m/s. Lo strato è caratterizzato da un notevole contenuto di acqua interstiziale;
- ✓ la zona satura alla profondità di circa 9-10 m da piano campagna;
- ✓ un valore di V_{s30} calcolato alla quota del piano di imposta delle fondazioni pari a 331 m/s (suolo di classe sismica "C").

3. Le indagini pregresse svolte nell'area in studio si riferiscono a:
- ✓ una prova di carico su piastra (marzo 2014) al fine di valutare gli effetti che i rilevati di terreno possono avere sul materiale in sito
 - ✓ n°4 sondaggi geognostici con caratterizzazione geomeccanica tramite SPT e analisi granulometriche, denominati S21-S22-S23-S24, svolti nel maggio-luglio 2003 a corredo del progetto definitivo dell'intervento di bonifica e messa in sicurezza nell'area del comprensorio Teksid a cura dello Studio "Bortolami - Di Molfetta S.r.l." (fig. 3.9)
 - ✓ una prova per onde superficiali e una tomografia sismica per onde di compressione P effettuate nel giugno 2016 per il progetto in studio al fine di valutare l'effetto della risposta sismica locale tramite il calcolo del parametro V_{s30} e ricostruire la topografia del substrato roccioso individuando possibili variazioni laterali (fig. 3.9)



Fig. 3.9 Ubicazione indicativa delle indagini pregresse su immagine satellitare

■ PROVA DI CARICO SU PIASTRA

L'indagine è stata svolta nell'area della discarica, per quanto concerne i risultati ottenuti si rimanda alla relazione allegata redatta dell'ing. M. Battaglio.

■ SONDAGGI GEOGNOSTICI

Nelle figure che seguono si riportano le stratigrafie dei quattro sondaggi allegate alla *Relazione Tecnica descrittiva* dello Studio "Bortolami - Di Molfetta S.r.l." a corredo del "Progetto definitivo di intervento nell'area del comprensorio Teksid (...)."

Dall'osservazione delle colonne stratigrafiche si evince che:

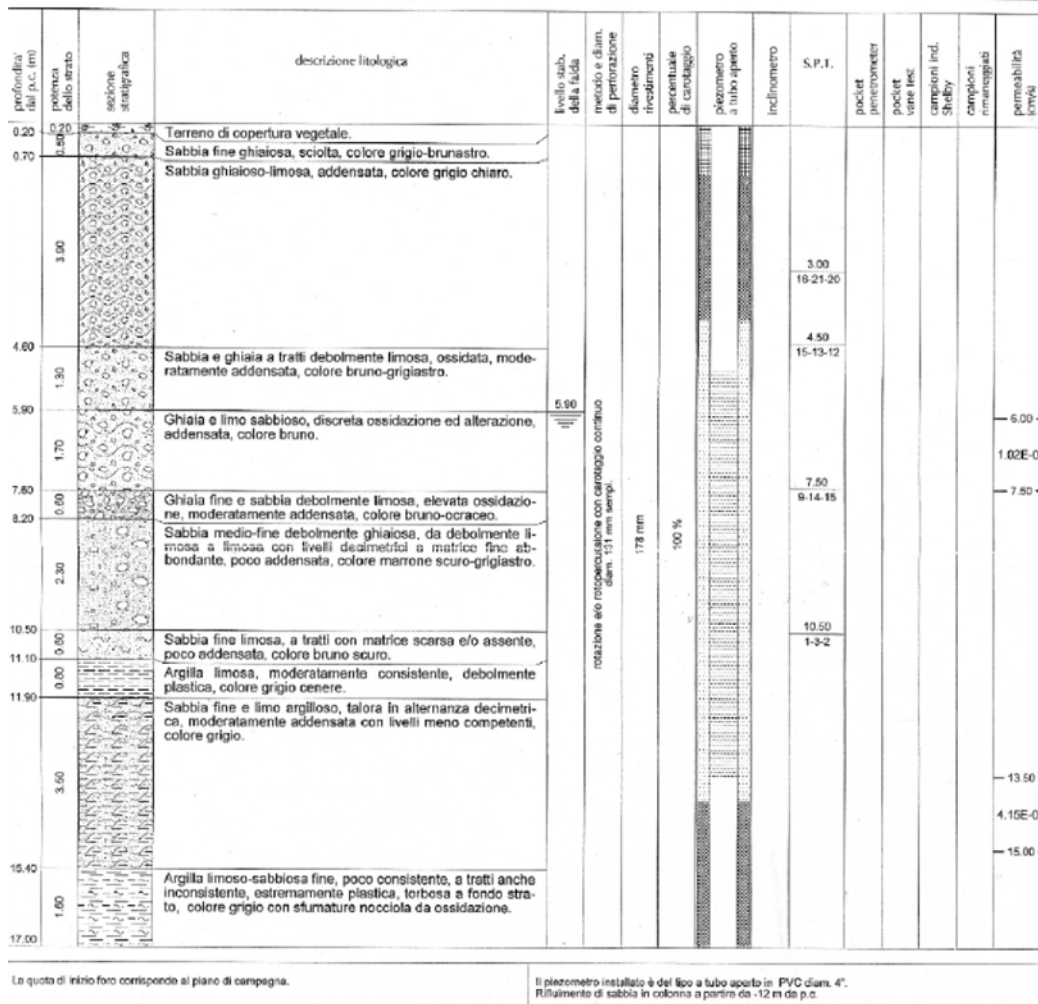
1. la quota della falda si attesta intorno ai 6 m dal p.c. nei sondaggi S21-S22-S23, mentre risulta più profonda nel sondaggio S24 (10.40m dal p.c.);
2. i depositi alluvionali presentano una granulometria decrescente all'aumentare della profondità passando da ghiaie-sabbiose/sabbie-ghiaiose a sabbie medio-fini con frazione limosa e successivamente limo-argilloso.



Via Cozzani/Agelli, 71 - 10122 Camagola (Ige)
Tel. 0119724111 ca. - Fax 0119771889
http://www.abrate.it - Email: info@abrate.it

Committente	Studio tecnico ass. Bortolami e Di Molfetta
Cantiere	Teksid s.p.a. - Recupero ambientale area discarica
Località	Avigliana (TO) - loc. Ferriere
Perforazione iniziata il	16/06/2003
Terminata il	16/06/2003
Dep. cassette	cantiere (nei pressi di S1)
Scala	1:75

SONDAGGIO	FOGLIO
S21	1
Il compilatore dott. M. Lavezzo	





Via Giovanni Agnoli, 71 - 10022 Caniggia (TO)
Tel. 0119724411 fax - Fax 011971889
http://www.abrate.it - E-mail: info@abrate.it

Committente **Studio tecnico ass. Bortolami e Di Molfetta**
Cantiere **Teksid s.p.a. - Recupero ambientale area discarica**
Localita' **Avigliana (TO) - loc. Ferriere**
Perforazione iniziata il **12/06/2003** Terminata il **12/06/2003**
Dip. cassette **cantiere (nei pressi di S1)** Scala **1:75**

SONDAGGIO **S22** FOGLIO **1**
Il compilatore **dott. M. Lavezzo**

profondità dal p.c. (m)	potenza dello strato	sezione stratigrafica	descrizione litologica	livello stab. data data	metodo e diam. di perforazione	diametro rivestimenti	percentuale di carotaggio	piezometro a tubo aperto	Inclinometro	S.P.T.	poCKET penetrometer	poCKET vane test	campioni ind. Sheelby	campioni rimaneggiati	permeabilità (cm/s)
0.20	0.20		Terreno di copertura vegetale.												
	2.70		Sabbia e ghiaia a tratti debolmente limosa, da moderatamente addensata ad addensata, colore grigio chiaro.												
2.90	0.80		Argilla limosa debolmente sabbiosa fine, moderatamente consistente, plastica, colore grigio.							3.00 5-6-8					
3.70	0.80		Ghiaia prevalentemente grossoliana sabbiosa debolmente limosa, moderatamente addensata, colore da grigio a nocciola.							4.50 14-16-19					
4.50	1.10		Sabbia ghiaiosa debolmente limosa, moderatamente addensata, colore nocciola-grigiastro.												
5.60	0.50		Come sopra, con livelli centimetrici limosi.	5.70											
6.10	1.10		Ghiaia fine e sabbia debolmente limosa, generalmente poco addensata, ossidata, colore bruno chiaro con sfumature ocree.		rotazione o/o rotapercussione con carotaggio continuo diam. 131 mm tempi	178 mm	100 %			7.50 3-3-4				6.00 1.22E-02	
7.20	0.70		Come sopra, non ossidata, colore grigio.												
7.90	1.40		Sabbia fine e/o finissima limosa, da poco a moderatamente addensata, colore grigio.												
9.30	0.70		Come sopra, sciolta.												
10.00	4.20		Sabbia fine e limo argilloso, talora in alternanza decimetrica, moderatamente addensata con livelli meno competenti, colore grigio.							10.50 5-5-7				9.00 1.93E-05	
14.20	1.80		Argilla limoso-sabbiosa fine, poco consistente, estremamente plastica, colore grigio con sfumature nocciola da ossidazione.												
16.00															

La quota di inizio foro corrisponde al piano di campagna.

Il piezometro installato è del tipo a tubo aperto in PVC diam. 4".
Da segnalare affluenti di sabbia in colonna nel tratto compreso tra 10 e 14 m da p.c.



Via Giovanni Agnelli, 71 - 10023 Carraglio (TO)
Tel. 0112724411 ca - Fax 0112727899
http://www.abrate.it - Email: info@abrate.it

Committente	Studio tecnico ass. Bortolami e Di Molfetta		
Cantiere	Teksid s.p.a. - Recupero ambientale area discarica		
Località	Avigliana (TO) - loc. Ferriere		
Perforazione iniziata il	13/06/2003	Terminata il	13/06/2003
Dep. cassetto	cantiere (nei pressi di S1)		Scala 1:75

SONDAGGIO	FOGLIO
S23	1
Il compilatore dott. M. Lavezzo	

profondità dal p.c. (m)	potenza dello strato	sezione stratigrafica	descrizione litologica	livello stab. della falda	metodo e diam. di perforazione	diámetro investimenti	percentuale di carotaggio	piezometro a tubo aperto	inclinometro	S.P.T.	podet penetrometer	podet vane test	campione Ind. Shelby	campioni rimangono	permeabilità (cm/s)
0.20	0.20		Terreno di copertura vegetale.												
1.10	1.10		Ciottoli (diam. max. 12-15 cm) e sabbia ghiaioso-limosa, poco addensata, colore nocciola-grigiastro (probabile riempimento a tergo della scogliera).												
2.30	2.30		Come sopra, limoso, con frustoli vegetali, presenza di blocchi rocciosi (max. 18-20 cm) di granitoidi, moderatamente addensato, colore bruno (probabile riempimento a tergo della scogliera).												
3.60	3.60		Sabbia ghiaioso-limosa, addensata, colore grigio.							3.00					
4.60	4.60		Sabbia debolmente ghiaioso-fine, limosa, debolte ossidazione, colore bruno-grigiastro.												
5.30	5.30		Ghiaia e limo sabbioso con livelli centimetrici a limo-argilloso prevalente, elevata ossidazione, colore bruno con screziature ocracee.							6.00					
6.20	6.20		Sabbia fine, sciolta, ossidata, colore ocra scuro.							2-1-5					
6.20	6.20		Argilla sabbiosa, poco consistente, plastica, colore nocciola ocraceo.												
6.20	6.20		Sabbia medio-fine, a tratti grossolana, debolmente limosa con livelli decimetrici a matrice abbondante o/o prevalente, da poco a moderatamente addensata, colore grigio scuro con sfumature brunastre da ossidazione.							7.50				7.50	
9.60	9.60		Sabbia fine limosa debolmente argillosa, poco addensata, a tratti sciolta, colore grigiastro.							5-5-8				4.88E-03	
14.40	14.40		Argilla limoso-sabbiosa fine, poco consistente, estremamente plastica, colore grigio con sfumature nocciola da ossidazione.							12.00				1.03E-05	
17.00	17.00									6-7-3				13.50	

La quota di inizio foro corrisponde al piano di campagna.

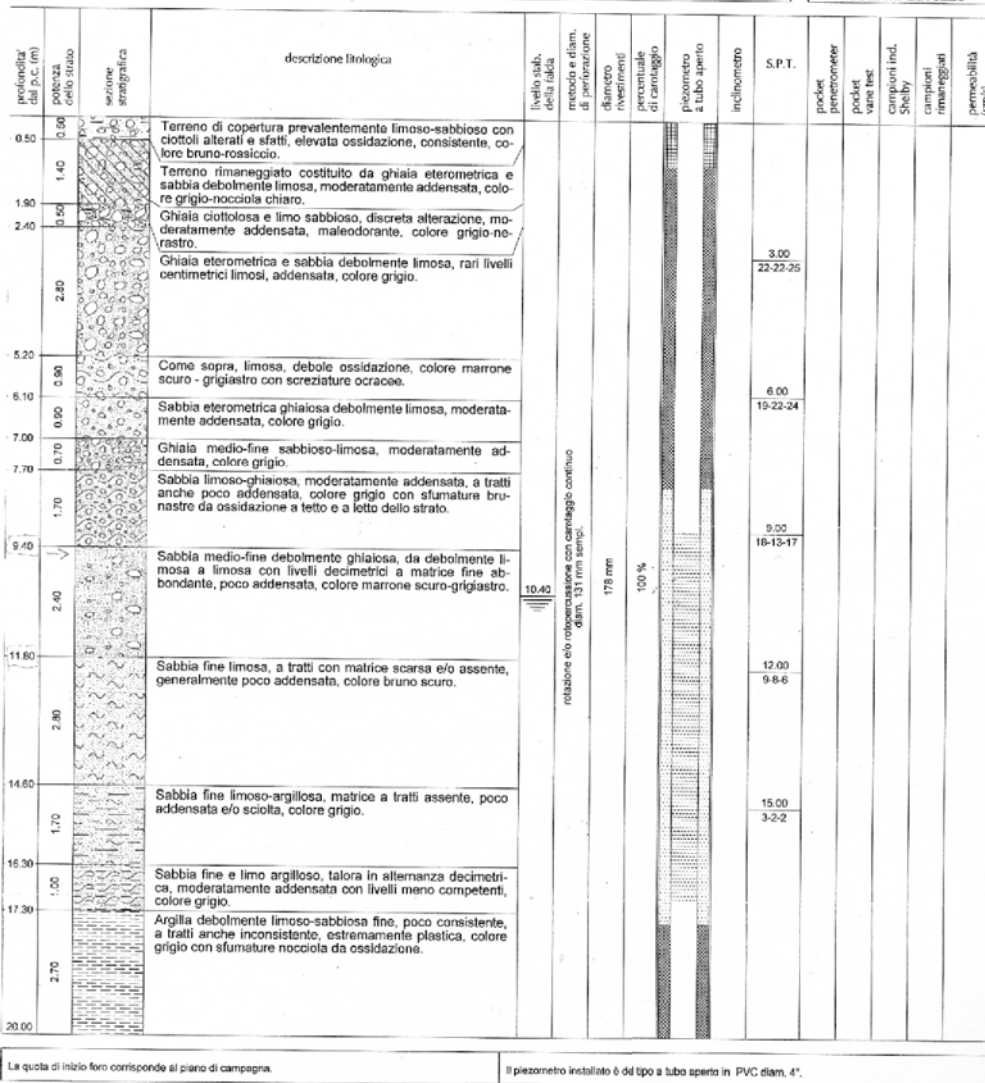
Il piezometro installato è del tipo a tubo aperto in PVC diam. 4".
Da segnalare rifilamenti di sabbia in colonna nel tratto compreso tra 9 e 12 m ca. da p.c.



Via Giovanni Agnelli, 71 - 10022 Corniglio (CI)
Tel. 0119724411 (4 l.) - Fax 0119771089
http://www.abrate.it - E-mail: info@abrate.it

Committente: Studio tecnico ass. Bortolami e Di Molfetta
Cantiere: Teksid s.p.a. - Recupero ambientale area discarica
Località: Avigliana (TO) - loc. Ferriere
Perforazione iniziata il: 10/06/2003 Terminata il: 11/06/2003
Dep. cassette: cantiere (nei pressi di S1) Scala: 1:75

SONDAGGIO: S24
FOGLIO: 1
Il compilatore: dott. M. Lavezzo



Sondaggio	Profondità (m)	N _{SPT} (n° colpi)	σ'vo (t/m2)	DR (%)	φ (°)	E' (Kg/cm ²)
S21	3.3	41	6.27	100	46	650.6
	4.8	25	9.12	80	44	481
	7.8	29	12.92	77	43	523.4
	10.8	5	15.62	30	30	269
S22	3.3	14	6.27	68	36	364.4
	4.8	35	9.12	92	45	587
	7.8	7	12.72	42	31	290.2
	10.8	12	15.42	52	35	343.2
S23	6.3	6	11.97	40	30	279.6
	7.8	13	14.82	55	33	353.8
	12.3	10	17.07	47	32	322
S24	3.3	47	6.27	100	46	714.2
	6.3	46	11.97	100	44	703.6
	9.3	30	17.67	75	37	534
	12.3	14	21.47	50	34	364.4
	15.3	4	24.17	22	25	258.4

Tab. 3.10 Interpretazione delle prove penetrometriche da "Relazione Tecnica descrittiva" a corredo del "Progetto definitivo di intervento nell'area del comprensorio Teksid (...)" dello Studio Bortolami - Di Molfetta S.r.l., luglio 2003

■ INDAGINI GEOFISICHE

Sono state effettuate una prova per onde superficiali (SWM) ed una tomografia sismica per onde di compressione P coincidente con il profilo SWM.

Nelle tabelle successive si riportano sinteticamente i parametri di acquisizione delle indagini eseguite, mentre in allegato viene restituita integralmente la relazione geofisica redatta a cura della ditta GAMUT S.r.l. con le procedure di elaborazione dati e relativa interpretazione.

Identificativo linea	P
Lunghezza stendimento (m)	61.25
Direzione stendimento	S - N
Canali (numero)	48
Spaziatura geofoni (m)	1.25
Tempo di campionamento (μ s)	125
Finestra di acquisizione (s)	0.5
Sorgenti (numero)	9

Tab. 3.11
Schema riassuntivo dell'indagine tomografica

Identificativo linea	SW
Lunghezza stendimento (m)	58.75
Direzione stendimento	S - N
Canali (numero)	48
Spaziatura geofoni (m)	1.25
Tempo di campionamento (μ s)	250
Finestra di acquisizione (s)	2

Tab. 3.12
Schema riassuntivo dell'indagine SWM



Fig.3.13
Ubicazione indagini geofisiche

21

TOMOGRAFIA SISMICA IN ONDE P

Si riportano le sezioni di velocità di propagazione delle onde P (cfr. fig. 3.14) e le relative mappe di copertura dei raggi sismici (cfr. fig. 3.15):

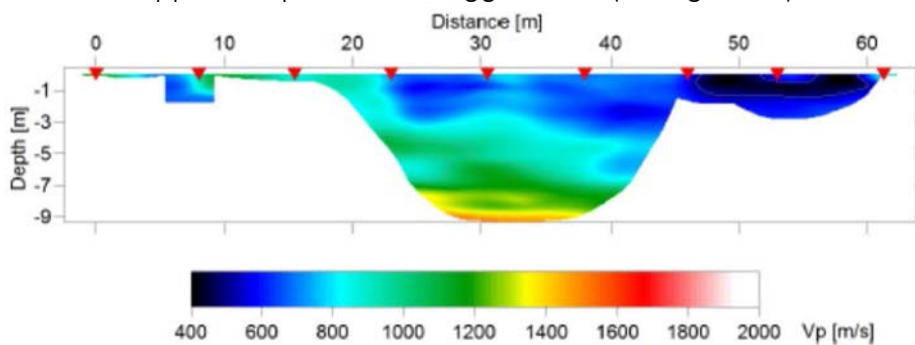


Fig. 3.14 Sezione tomografica di velocità delle onde P nel sottosuolo

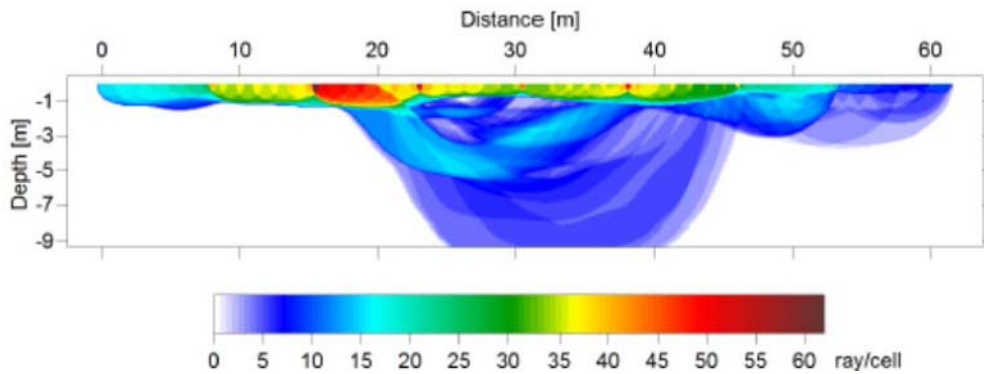


Fig. 3.15 Copertura dei raggi sismici della sezione tomografica di figura 3.14

L'analisi delle tomografie sismiche a rifrazione in onde P e delle relative mappe di copertura dei raggi sismici (Figg. 3.14 e 3.15) permette le seguenti considerazioni:

1. la sezione vede essenzialmente le onde dirette che si propagano nel primo metro e solo nella porzione centrale raggiungono un rifrattore posto a circa 9 m di profondità. La velocità di propagazione delle onde P sul margine inferiore della sezione è circa 1500 m/s, corrispondente molto probabilmente al livello saturo, compatibile con la quota della Dora Riparia
2. non sono apprezzabili variazioni laterali lungo la sezione.

PROFILO DI VELOCITA' E VALUTAZIONE DEL PARAMETRO V_{s30}

Il dataset acquisito è composto da 35 sismogrammi, di cui 20 relativi all'energizzazione sul lato sud dello stendimento e 15 sul lato nord. Ciascuna registrazione contiene 48 tracce con spaziatura di 1,25 m.

Il profilo che meglio si adatta alla curva di dispersione sperimentale è riportata in figura 3.16.

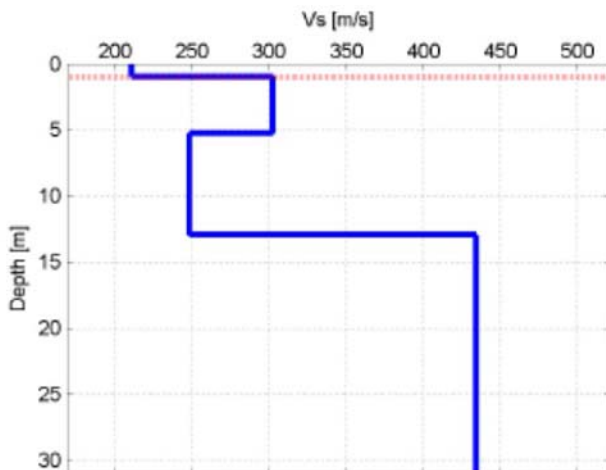


Fig. 3.16 Profilo stratigrafico di Vs (profondità da piano campagna) con indicazione del piano di imposta delle fondazioni

Strato (numero)	Velocità (m/s)	Spessore (m)	Profondità da p.c. (m)
1	210	1.0	0 - 1.0
2	302	4.3	1.0 - 5.3
3	248	7.7	5.3 - 13.0
4	434		da 13.0

Tabella 3.17 Profilo Vs - Parametri del modello di figura 3.16

L'analisi del profilo stratigrafico, riportato in fig. 3.16, evidenzia un assetto sismo stratigrafico caratterizzato dalla presenza dei seguenti livelli:

- I. un livello superficiale, fino a circa 5 m di profondità, probabilmente riconducibile allo strato di riporto;
- II. un sismostrato sottostante con valori di velocità delle onde S contenuti ($V_s \approx 250$ m/s) fino alla profondità di circa 13 m;
- III. un livello profondo, oltre i 13 m, caratterizzato da materiali più rigidi caratterizzato da un aumento di valori di velocità delle onde S (circa 435 m/s).

Il valore di V_{s30} calcolato alla quota del piano di imposta delle fondazioni (-1 m da piano campagna) è 346 m/s.

Pertanto è possibile definire il contesto geotecnico esaminato come **suolo di classe sismica "C"** (l'elaborazione del dato ottenuto rimane invariato con l'applicazione delle NTC 2018).

4. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL TERRENO

La caratterizzazione geotecnica dei terreni in studio è stata effettuata a partire dai dati del profilo MASW. I valori devono essere interpretati come indicativi e possono variare rispetto ad altre metodologie in quanto ottenuti tramite correlazioni empiriche. Il profilo verticale MASW assomiglia, per certi versi, al grafico di una prova penetrometrica. Tale similitudine deriva da una nota correlazione utilizzata generalmente per valutare le velocità delle onde di taglio a partire da dati penetrometrici.

Nel caso in esame, per derivare il valore di N_{SPT} si è utilizzata la formula di Ohta and Goto (1978):

$$V_s = 85,35 * (N_{SPT})^{0,348}$$

Noto il valore di N_{SPT} è possibile derivare direttamente il valore di angolo di attrito. Per derivare l'angolo di attrito si è utilizzato il metodo di correlazione diretta RBS (Road Bridge Specification) che si basa sulla seguente relazione:

$$\phi' = (15 * N_{norm})^{0,5} + 15$$

I valori ottenuti e la loro variazione lungo il profilo MASW di riferimento, pari a 30 m di profondità, sono riportati in Tabella 4.1.

Strato	Profondità (m)	Velocità V_s (m/s)	N_{SPT}	ϕ'
1	da 0,0 a -1,0	210	13	29
2	da -1,0 a -5,3	302	37	38
3	da -5,3 a -13,0	248	21	32
4	>13	434	R	-

Tab. 4.1 Valori di N_{SPT} e angolo d'attrito ϕ' calcolati sulla base del profilo MASW (tab. 3.17)

I valori geotecnici così calcolati **sono da ritenersi indicativi** dell'intorno analizzato. Si sottolinea che, trattandosi di valori dinamici in contesti con eterogeneità verticali e laterali, come quello oggetto della presente relazione, potrebbero discostarsi dai valori ottenuti con prove dirette o di laboratorio.

Da un punto di vista geotecnico, in base a quanto ricavato dalle indagini svolte, la stratigrafia dei terreni attraversati può essere stimata come segue:

	Profondità	Stratigrafia	Parametri geotecnici
Livello 1	0,00 - 5,00m	terreni eterogenei costituenti il riporto antropico	$c = 0 \text{ kg/cm}^2$ $\varphi = 28^\circ$ $\gamma = 1,95 \text{ t/m}^3$
Livello 2	5,00m - 13,00 m	Depositi ghiaioso sabbiosi in matrice fine crescente con la profondità	$c = 0 \text{ kg/cm}^2$ $\varphi = 30^\circ$ $\gamma = 1,80 \text{ t/m}^3$
Livello 3	> 13,00 m	Depositi sabbioso limosi	$c = 0 \text{ kg/cm}^2$ $\varphi = 26^\circ$ $\gamma = 1,90 \text{ t/m}^3$

* massima profondità indagata con l'indagine MASW

Si sottolinea che i parametri geotecnici indicati sono stati determinati prendendo in considerazione valori cautelativi per ogni strato a seguito di quanto individuato grazie alle indagini effettuate, alla raccolta di dati di letteratura e alle informazioni pregresse dello scrivente derivanti dall'esperienza progettuale ed esecutiva in terreni simili e in aree limitrofe a quella in esame.

In base a quanto ricavato dalle indagini effettuate in corrispondenza dell'area oggetto di studio, dalle conoscenze pregresse dello scrivente e dalla bibliografia, la stratigrafia dei terreni attraversati può essere considerata abbastanza omogenea, anche in accordo alla geologia dell'area indagata che risulta essere piuttosto uniforme.

I risultati delle indagini esaminate consentono di delineare l'assetto litostratigrafico locale in corrispondenza dell'area oggetto di intervento, che verrà in ogni caso approfondito nella successiva fase progettuale soprattutto laddove è prevista la realizzazione di un nuovo fabbricato ed il laghetto di raccolta acqua, dove le profondità di scavo previste sono dell'ordine rispettivamente del metro e di 3,5 m dal p.c..

La progettazione delle piste ricade in gran parte nel rilevato legato all'attività di bonifica della ex discarica di scorie da fonderia ex Teksid caratterizzato dalla presenza di uno strato di protezione superficiale delle scorie (capping) che non consente operazioni di scavo, se non per profondità molto modeste (circa 30cm) e nella porzione orientale su terreni attualmente agricoli.

Considerata la difficoltà di accesso al sito in questa fase del progetto non è stato possibile implementare le indagini geognostiche, pertanto per poter procedere alla caratterizzazione dettagliata del sottosuolo in esame, controllare puntualmente la profondità della falda in corrispondenza degli scavi più profondi nonché verificare la presenza e relativa potenza di terreno rimaneggiato si ritiene necessario effettuare indagini integrative come specificato nel capito che segue.

4a. Piano di indagini geotecniche

Per poter procedere alla caratterizzazione dettagliata del sottosuolo dei terreni in esame, dovranno inoltre essere effettuate le indagini geognostiche di seguito elencate:

- ▶ n. 10 saggi realizzati mediante escavatore meccanico spinti fino alla profondità di:
 - 1,0m da p.c. dal saggio n.1 al n.8 laddove la profondità massima di scavo in progetto è pari a 1m;
 - 4,0m da p.c. nei saggi n.9-10 in corrispondenza del bacino di accumulo in progetto che raggiungerà la profondità di circa 3.5 m da p.c..

L'ubicazione dei punti di indagine è riportata nelle figure che seguono.

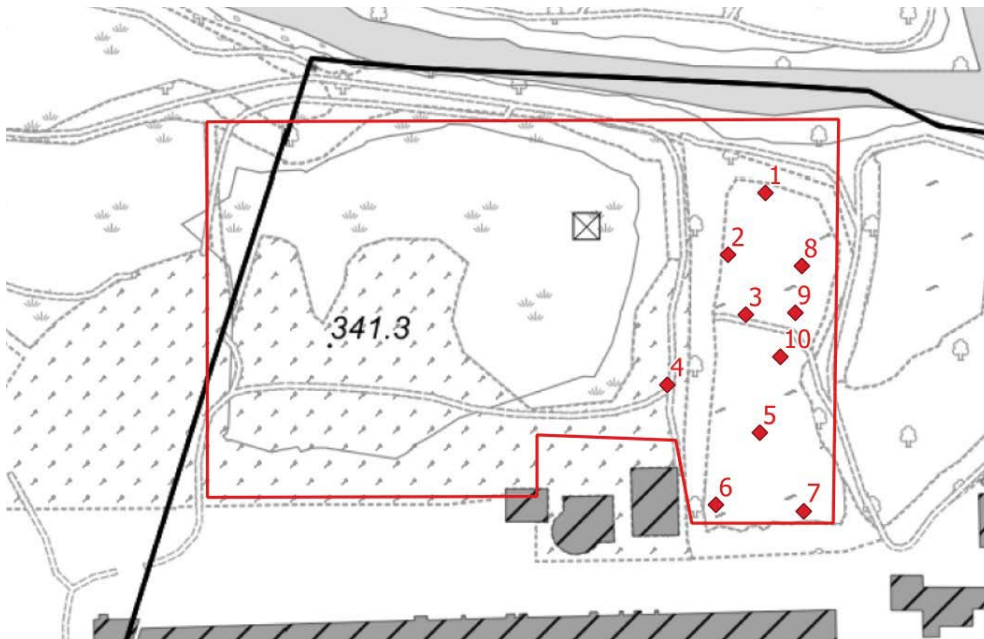


Figura 4.2 Estratto BDTRE e immagine satellitare con indicazione dell'area in studio e dei punti di indagine previsti

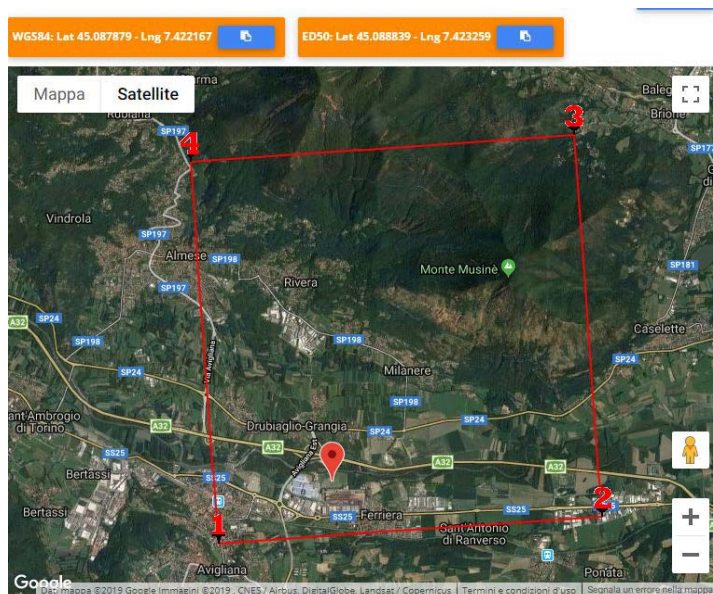
La campagna di indagini geognostiche dovrà essere effettuata con il duplice scopo di prelevare i campioni di terreno da sottoporre ad analisi di laboratorio chimico per la valutazione della gestione delle *Terre e rocce da scavo* (cfr. "Piano preliminare di utilizzo in sito delle terre e rocce da scavo escluse dalla disciplina dei rifiuti" contenuto nello Studio di Impatto Ambientale) e di osservare e studiare direttamente i terreni che ospiteranno le opere in progetto. *Nella rimanente porzione di area non si ritiene necessario prevedere ulteriori indagini in quanto non avverranno scavi se non per le operazioni di scotico superficiale del terreno vegetale.*

5. ZONAZIONE SISMICA

Il Comune di **Comune di Buttigliera Alta** ricade in Zona sismica 3 secondo la classificazione sismica del territorio piemontese prevista dalla D.G.R. n.6-887 del 30/12/2019.

Le Norme Tecniche per le Costruzioni prevedono, in aggiunta alla suddetta classificazione, la determinazione dell'accelerazione orizzontale in modo più dettagliato in funzione delle coordinate geografiche e delle caratteristiche geomorfologiche del sito, a partire dai valori forniti dalla Norma stessa riferiti ad un reticolo di riferimento i cui nodi non distano più di 10 Km. La valutazione dei parametri che definiscono le accelerazioni sismiche relativamente alle aree di intervento secondo la più recente normativa in vigore, ottenuti per interpolazione a partire dai valori di riferimento, è stata pertanto effettuata utilizzando l'applicativo *Geostru PS 2018*; i risultati ottenuti, sulla base dei quali è possibile ricavare lo spettro di risposta per le azioni sismiche per la struttura in esame, sono riportati nelle figure che seguono.

26



Stati limite

Classe Edificio

II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e sociali...

Vita Nominale: 50

Interpolazione: Superficie rigata

CU = 1

Stato Limite	Tr [anni]	a _g [g]	F _o	Tc* [s]
Operatività (SLO)	30	0.032	2.477	0.199
Danno (SLD)	50	0.040	2.535	0.215
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.097	2.537	0.263
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.123	2.538	0.272
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

Coefficienti sismici

Tipo: Stabilità dei pendii e fondazioni

Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m): 1 us (m): 0,1

Cat. Sottosuolo: C

Cat. Topografica: T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,50	1,50
CC Coeff. funz categoria	1,79	1,74	1,63	1,61
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

Acc.ne massima attesa al sito [m/s²]: 0,6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.009	0.012	0.029	0.044
kv	0.005	0.006	0.014	0.022
Amax [m/s²]	0.464	0.581	1.421	1.812
Beta	0.200	0.200	0.200	0.240

I valori di accelerazione sismica orizzontale (K_h) e verticale (K_v) sono stati determinati considerando:

- ▶ categoria di sottosuolo di tipo "C" (dato ricavato dalle indagini geofisiche)
- ▶ categoria topografica "T1"
- ▶ classe d'uso II
- ▶ $V_N \geq 50$
- ▶ c_v pari a 1,0

Le verifiche hanno consentito di determinare i seguenti parametri, relativi allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV):

$$K_h = 0,029 - K_v = 0,014$$

$$a_{max} = 1,421 \text{ m/s}^2$$

6. QUADRO DI SINTESI

I risultati delle indagini effettuate, correlati con le informazioni desumibili dai dati bibliografici, hanno consentito di determinare l'assetto litostratigrafico locale in corrispondenza dell'area oggetto di intervento, caratterizzato da una prevalenza di depositi alluvionali ghiaioso sabbiosi in matrice fine dotati di mediocri caratteristiche geotecniche. Si sottolinea che la successiva fase progettuale consentirà di definire in modello geologico del sito.

La falda libera superficiale si colloca ad una profondità di circa 9 m da p.c. (dato stimato da indagini geofisiche).

Nel corso della prosecuzione dell'iter progettuale dell'opera dovrà essere implementata la campagna di indagine geognostica.

I dati geotecnici riportati sono stati desunti dalla bibliografia, da pregressi lavori eseguiti in aree ricadenti nel medesimo contesto geologico di quello in studio e dalle indagini condotte nella fase preliminare; la presente sarà pertanto integrata e approfondita (come espressamente previsto dalla vigente normativa) con gli esiti di una specifica campagna di indagini, al fine di definire nel dettaglio l'assetto litostratigrafico dell'area in esame.

Le indagini in programma, illustrate nel presente elaborato, consentiranno sia di approfondire il quadro ambientale dell'area in esame sia di verificarne l'assetto litostratigrafico.

La campagna di indagini prevede l'esecuzione di:

- n. 10 saggi meccanici con prelievo di campioni di terreno;
- analisi di laboratorio (tal quale e test di cessione in caso di presenza di terreno di riporto) come indicato nel D.Lgs. 152/2006 e s.m.i. e nel D.P.R. 120/2017.

7. CONCLUSIONI

In base a quanto emerso dalle elaborazioni descritte nel presente studio si afferma che:

- da un punto di vista idrogeologico la falda idrica superficiale, in base alle indicazioni bibliografiche ed alle risultanze dello studio effettuato si colloca in condizioni normali a profondità non significative per quanto in progetto (circa 9 m da p.c.);
- per quanto concerne i vincoli comunali e sovracomunali si rimanda allo "Studio di Impatto Ambientale - Ri-localizzazione Pista di Guida Sicura" redatto dallo Studio Kiwi & Associati;
- da un punto di vista geotecnico il terreno in cui ricadono le opere in progetto può essere classificato come ghiaioso sabbioso in matrice fine;
- i parametri geotecnici indicati sono stati stimati sulla base delle indicazioni bibliografiche, dei valori V_s ottenuti dall'indagine MASW e delle conoscenze pregresse dello scrivente, assumendo valori cautelativi che sono da ritenersi indicativi.

Considerata la difficoltà di accesso al sito in questa fase del progetto non è stato possibile implementare le indagini geognostiche, che verranno approfondite nella successiva fase progettuale soprattutto laddove è prevista la realizzazione di un nuovo fabbricato ed il laghetto di raccolta acqua, dove le profondità di scavo previste sono dell'ordine rispettivamente del metro e di 3,5 m dal p.c.;

- quanto riportato nel presente elaborato costituisce una prima analisi delle caratteristiche geologico-tecniche dell'area di studio, risultato di una serie di sopralluoghi effettuati ad integrazione dei dati bibliografici disponibili e delle indagini pregresse condotte.

Nel presente elaborato è stato predisposto un piano di indagini necessario per approfondire sia il quadro geologico-geotecnico sia lo stato di qualità ambientale del sito oggetto di intervento che prevede l'esecuzione di n. 10 saggi meccanici con prelievo di campioni di terreno da sottoporre ad analisi chimiche;

- in via preliminare si può affermare che, vista l'entità dei lavori in programma, non si ritiene che la realizzazione delle opere in progetto introduca fattori di rischio geologico.



ALLEGATI

- **INDAGINI SVOLTE NEL TERRITORIO DI AVIGLIANA**
(ex ubicazione pista di guida sicura)
 - **INDAGINI SVOLTE IN SITO**



CARATTERIZZAZIONE SISMICA DI SITO

COMUNE DI AVIGLIANA (TO)

RELAZIONE TECNICA

Committente: Studio Tecnico Dott. Ing. Valter Ripamonti

Relazione n.:	RS13045
Data stesura:	23/10/2013
Revisione n.:	0
Elaborazioni:	ing. Stefano Stocco
Stesura:	ing. Stefano Stocco

GAMUT S.r.l. CF e IVA: 10087030010
REA: TO1104410 - Capitale Sociale: € 10000 i.v.
Sede legale: corso Re Umberto 56, 10128 Torino
Sede operativa: via Maiole 15, 10040 Leinì TO
www.gamutgeophysics.com - info@gamutgeophysics.com
tel: +39 011 9987452 - fax: +39 011 7432123

INDICE

INDICE.....	2
1 RIASSUNTO.....	3
2 PREMESSA	3
3 OBIETTIVI E INDAGINI ESEGUITE	4
4 STRUMENTAZIONE	7
5 INFORMAZIONI A PRIORI	8
6 ELABORAZIONE DATI	8
6.1 Tomografia sismica in onde P	9
6.2 Prova per onde superficiali	11
7 INTERPRETAZIONE GEOFISICA	20
8 PARAMETRO VS30.....	21
8.1 Stima del Parametro VS30	22
9 TOMOGRAFIA SISMICA – Nota tecnica	22
9.1 Introduzione teorica.....	22
9.2 Modalità di acquisizione.....	23
9.3 Elaborazione dei dati tomografici	23
10 PROVE PER ONDE SUPERFICIALI – Nota tecnica	24
10.1 Introduzione teorica	24
10.2 Modalità di acquisizione	26
10.3 Elaborazione dati di onde superficiali	27
11 BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE.....	29

1 RIASSUNTO

In data 22 ottobre 2013 si è eseguita un'indagine geofisica in comune di Avigliana (TO), finalizzata alla valutazione dell'effetto della risposta sismica locale tramite il calcolo del parametro V_{S30} , ai sensi del D.M. 14/01/2008. A tale scopo sono stati acquisiti due profili sismici coincidenti, uno per onde superficiali (SWM) e uno di tomografia sismica in onde di compressione (P).

L'elaborazione con metodo probabilistico della curva di dispersione ottenuta con la prova per onde superficiali ha fornito un fuso di possibili soluzioni da cui è stata calcolata la distribuzione del parametro V_{S30} .

L'interpretazione del set di possibili soluzioni, congiuntamente all'analisi di informazioni a priori disponibili, ha permesso l'estrazione di un singolo profilo di velocità delle onde di taglio (S), ritenuto il più rappresentativo, da cui è stato calcolato il parametro V_{S30} .

La tomografia sismica integrativa ha consentito di migliorare la qualità dell'elaborazione del profilo di V_S , fornendo maggiore solidità interpretativa e ottenendo informazioni di carattere stratigrafico lungo lo stendimento.

Il valore del parametro **V_{S30}** calcolato riferito al piano di imposta delle fondazioni (-1 m da piano campagna) è **331 m/s**.

2 PREMESSA

La presente relazione tecnica descrive le modalità operative adottate in fase di acquisizione, le procedure di elaborazione dei dati e l'interpretazione geofisica della caratterizzazione sismica di sito eseguita in comune di Avigliana (TO) per la rilocalizzazione del centro regionale di guida sicura.

L'indagine è stata eseguita in data 22 ottobre 2013.

3 OBIETTIVI E INDAGINI ESEGUITE

Gli scopi dell'indagine sono i seguenti:

- Fornire informazioni indirette sulla velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio, secondo un profilo verticale relativo ai primi 30 m di profondità, misurati dal piano di imposta delle fondazioni (-1 m da piano campagna). L'indagine è finalizzata alla valutazione dell'effetto della risposta sismica locale, tramite il calcolo del parametro V_{S30} , ai sensi del D.M. 14/01/2008 (capitolo 8).
- Ricostruire la topografia del substrato roccioso, individuare possibili variazioni laterali.

Per soddisfare queste esigenze sono state condotte le seguenti indagini:

- Una prova per onde superficiali (SWM).
- Una tomografia sismica per onde di compressione P, coincidente con il profilo SWM.

Le tabelle seguenti riportano sinteticamente i parametri di acquisizione delle indagini eseguite.

Si rimanda ai capitoli 9 e 10 per gli approfondimenti sulle metodologie utilizzate.

Tabella 1. Schema riassuntivo dell'indagine tomografica.

Identificativo linea	P
Lunghezza stendimento (m)	73.5
Direzione stendimento	O - E
Canali (numero)	48
Spaziatura geofoni (m)	1.5
Tempo di campionamento (μ s)	125
Finestra di acquisizione (s)	0.5
Sorgenti (numero)	9

Tabella 2. Schema riassuntivo dell'indagine SWM.

Identificativo linea	SW
Lunghezza stendimento (m)	70.5
Direzione stendimento	O - E
Canali (numero)	48
Spaziatura geofoni (m)	1.5
Tempo di campionamento (μ s)	500
Finestra di acquisizione (s)	2

In Figura 1 si mostra l'ubicazione planimetrica dell'indagine eseguita. Le figure seguenti mostrano immagini fotografiche dello stendimento.

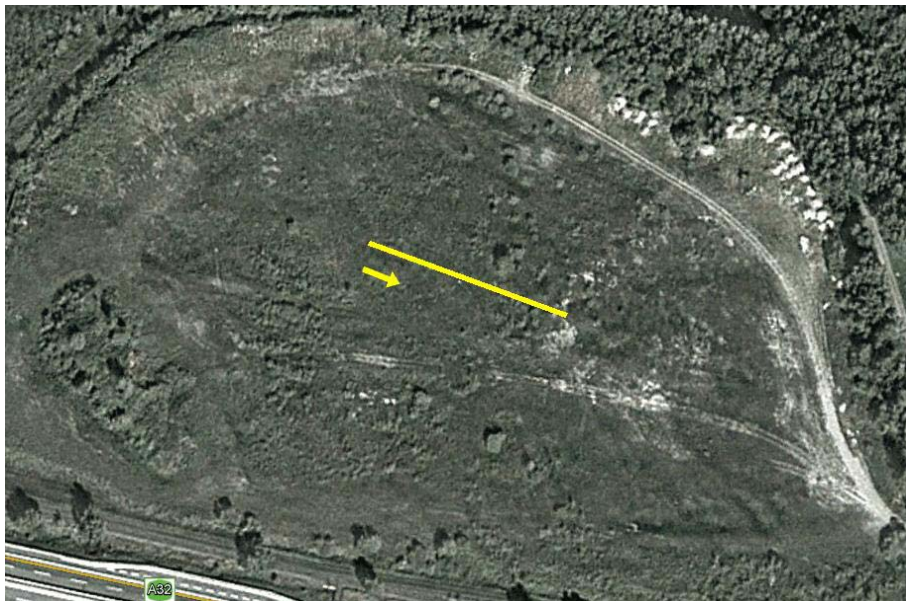


Figura 1 – Ubicazione planimetrica da immagine aerea. In giallo lo stendimento sismico (fuori scala).



Figura 2 – Foto dello stendimento - Ubicazione.



Figura 3 – Foto dello stendimento - Particolare.

4 STRUMENTAZIONE

La strumentazione utilizzata per l'acquisizione dei dati è la seguente (Figura 4 e Figura 5):

- sismografo Geometrics GEODE costituito da due moduli a 24 canali controllati tramite laptop, per un totale di 48 canali disponibili; l'intervallo di campionamento è selezionabile tra 20 μ s e 16 ms; la durata dell'acquisizione è funzione della frequenza di campionamento con il limite di 64000 campioni per canale; la dinamica del convertitore analogico/digitale è di 24 bit;
- geofoni verticali SENSOR SM-6/U-B con frequenza propria di 4.5 Hz;
- sorgente impulsiva: mazza da 5 kg su piastra metallica di ripartizione, dotata di trigger elettrico per contatto;

I dati sono stati elaborati e interpretati con:

- software non commerciale GIADA sviluppato in esclusiva da Gamut srl;
- RAYFRACT 3.06 – Intelligent Resources Inc.



Figura 4 – Sismografo Geometrics Geode.



Figura 5 – Geofono verticale SENSOR SM-6/U-B.

5 INFORMAZIONI A PRIORI

Sono disponibili le seguenti informazioni a priori derivanti da un sondaggio centrato sullo stendimento sismico:

- materiale eterogeneo di riporto fino a 2.9 m di profondità
- oltre i 2.9 m depositi alluvionali originali composto da limi e sabbie, inconsistenti.

6 ELABORAZIONE DATI

Nel seguito vengono descritte le modalità di elaborazione e di interpretazione dei dati acquisiti, corredate da alcune valutazioni critiche sulla qualità dei dati e sull'affidabilità dei risultati ottenibili.

6.1 Tomografia sismica in onde P

La prima fase prevede il picking dei tempi di primo arrivo su ogni sismogramma acquisito.

A titolo di esempio, Figura 6 riporta il picking dell'energizzazione (shot) n. 15 della tomografia.

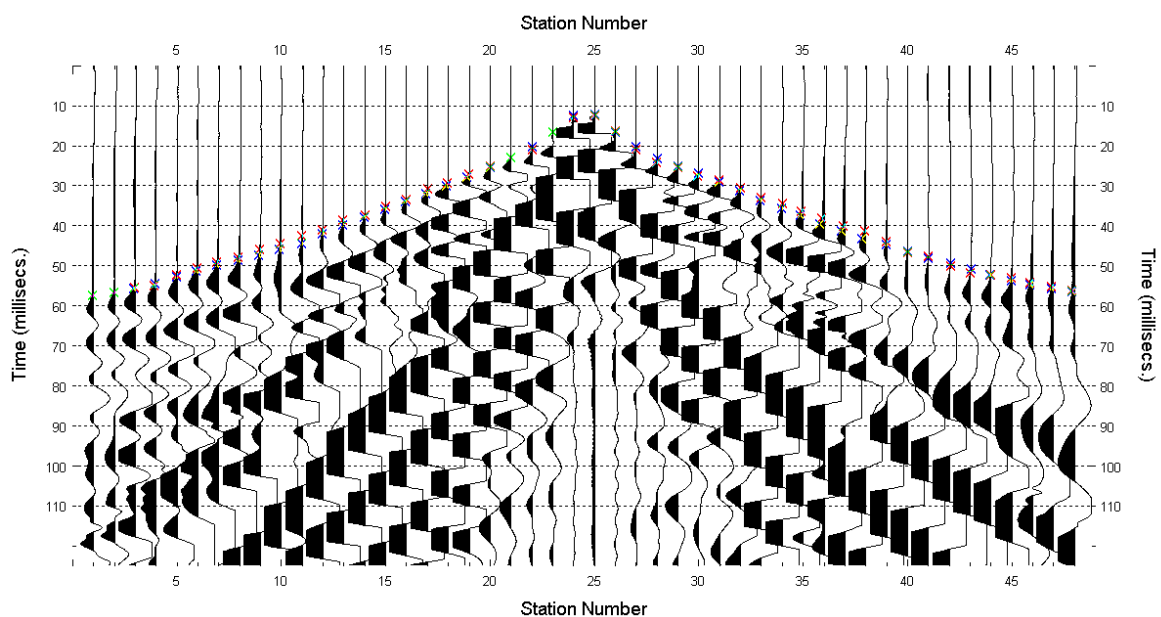


Figura 6 – Esempio di picking manuale dei primi arrivi delle onde P (shot n. 15).

Definita la topografia della superficie, la seconda fase dell'elaborazione prevede l'inversione di tutti i tempi di primo arrivo. Si producono le sezioni di velocità di propagazione delle onde P (Figura 7) e le relative mappe di copertura dei raggi sismici (Figura 8).

Sulle figure sono tracciate le intersezioni tra le tomografie. La numerazione degli shot in superficie coincide con la numerazione dei file registrati in campagna.

Si è scelto di adottare una scala verticale di quota relativa, ponendo lo zero alla quota del piano campagna.

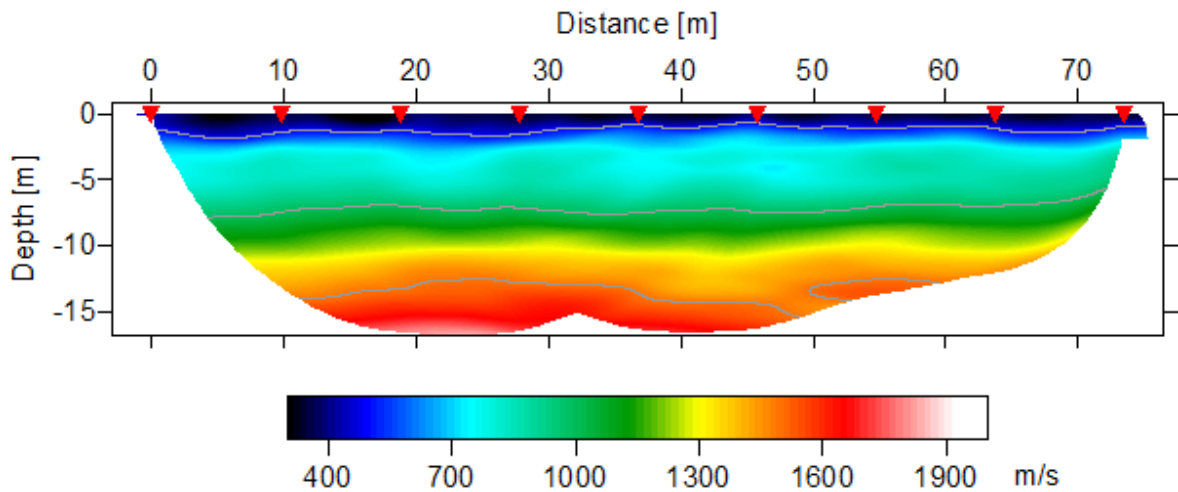


Figura 7 – Sezione tomografica di velocità delle onde P nel sottosuolo.

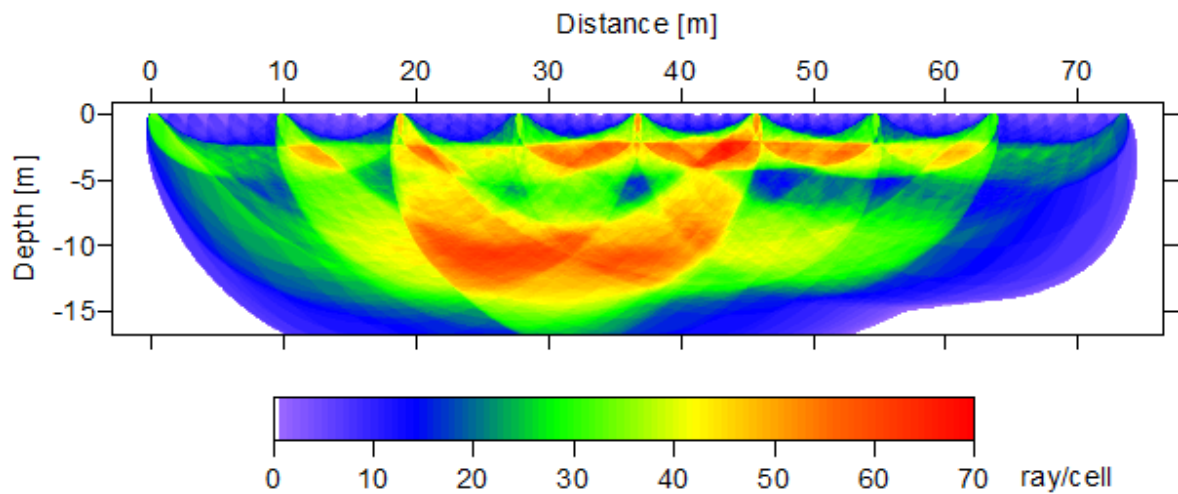
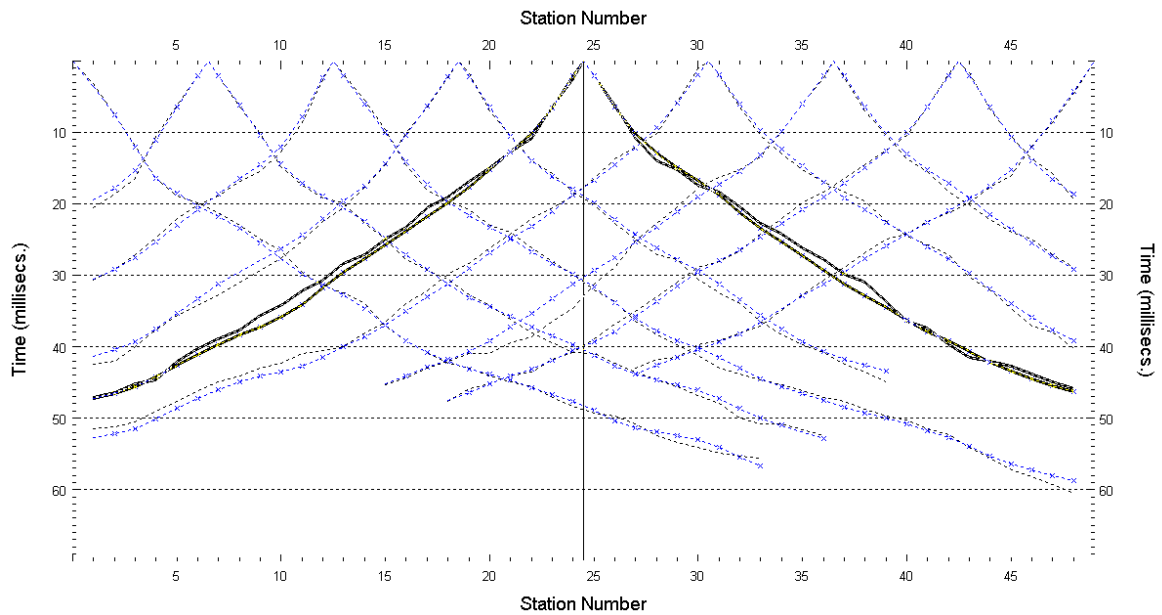


Figura 8 – Copertura dei raggi sismici della sezione tomografica di Figura 7.

La qualità del picking e dell'inversione è valutata mediante il confronto, per ogni shot, tra le dromocrone sperimentali e quelle calcolate.

A titolo di esempio, la Figura 9 riporta le dromocrone della tomografia con la traccia n. 15 in evidenza.



**Figura 9 – Dromocrone della tomografia,
(in evidenza lo shot n. 15)**

6.2 Prova per onde superficiali

Il dataset acquisito è composto da 20 sismogrammi, di cui 10 relativi all'energizzazione sul lato est dello stendimento e 10 sul lato ovest. Ciascuna registrazione contiene 48 tracce con spaziatura di 1.5 m.

La Figura 10 riporta lo stacking del sismogramma relativo all'energizzazione dall'estremo est.

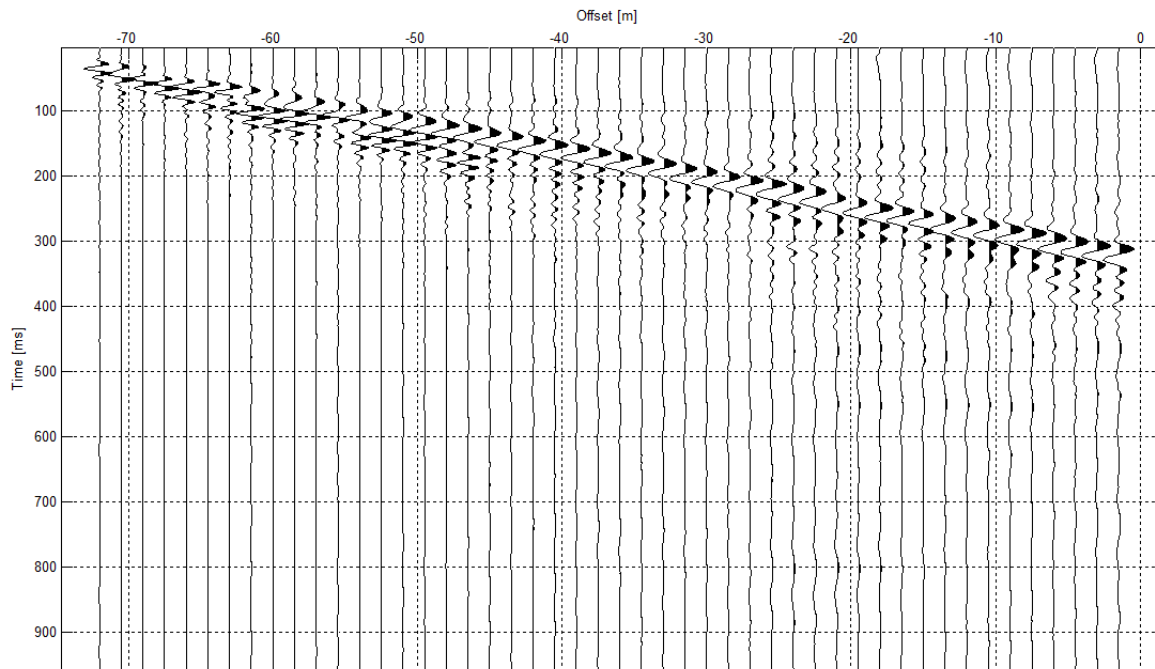


Figura 10 –Selezione del sismogramma della prova SW – Energizzazione lato est.

Il dato è trasformato in dominio f-k (Figura 11) e sono estratte e pulite le curve di dispersione (Figura 12).

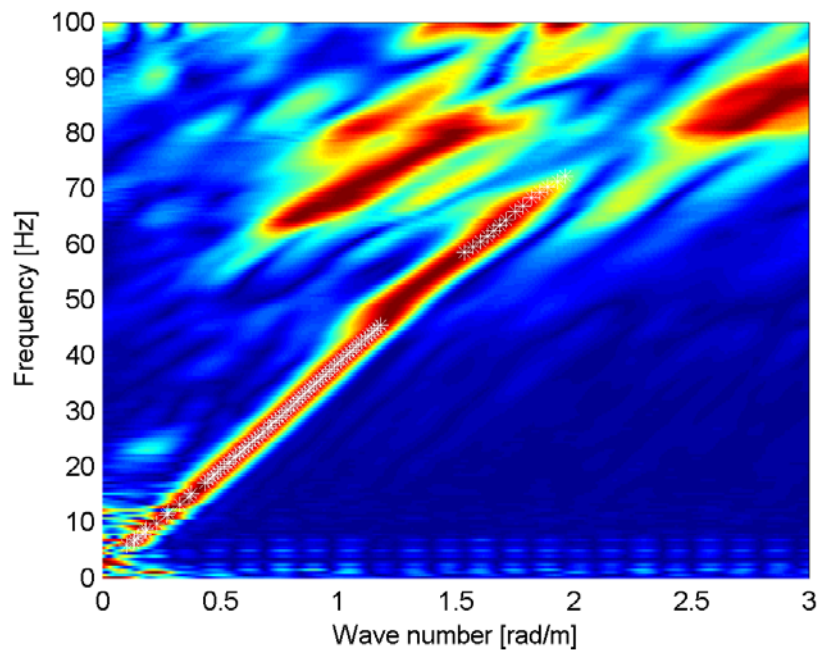


Figura 11 – Spettro f-k del sismogramma di Figura 10.

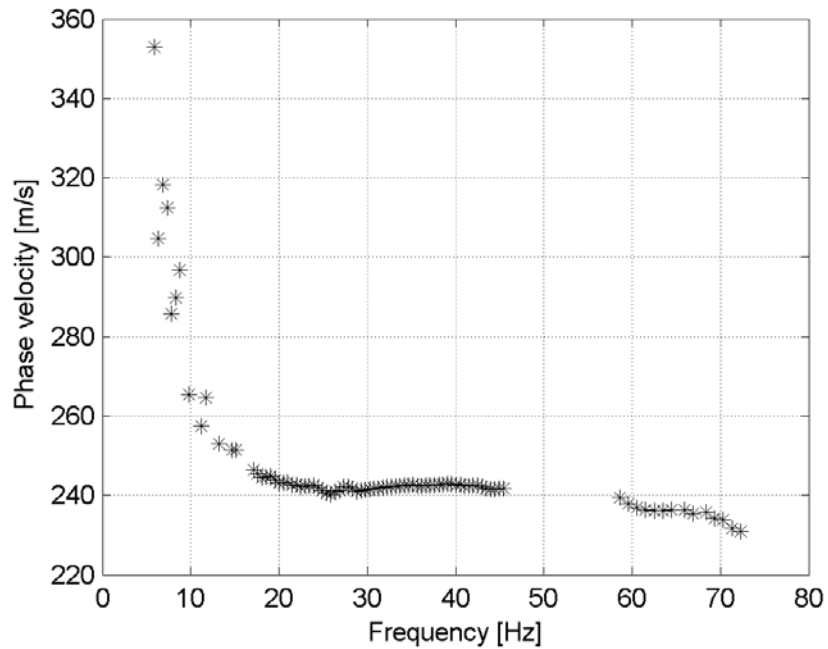


Figura 12 – Curva di dispersione estratta dallo spettro di Figura 11.

Il modo fondamentale delle curve di dispersione può essere mostrato in funzione della lunghezza d'onda λ diviso 2.5 (Figura 13) che dà un'idea qualitativa della profondità indagata e permette una valutazione preliminare sull'affidabilità dei risultati in funzione della profondità. La scala colori rappresenta la velocità di propagazione delle onde S per ogni lunghezza d'onda.

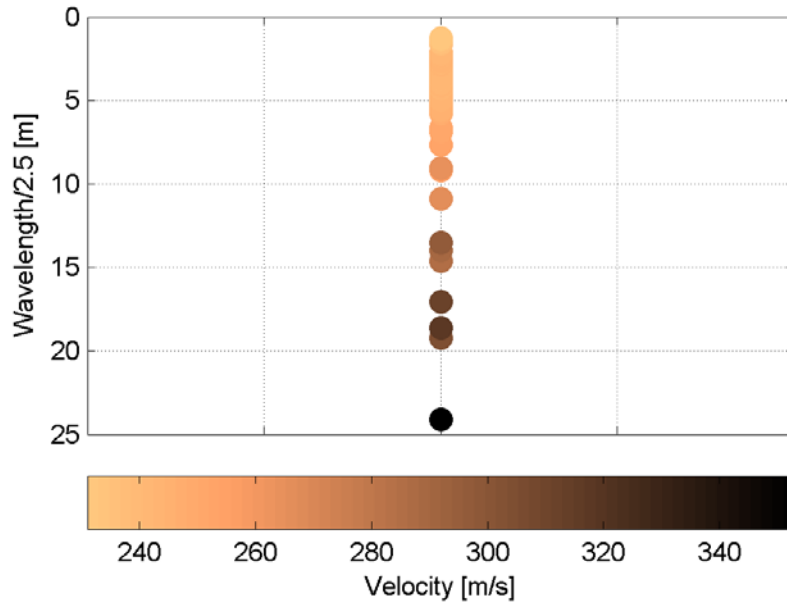


Figura 13 – Modo fondamentale delle curve di dispersione espresso in funzione di $\lambda/2.5$.

Si definisce un intervallo di variabilità dei parametri di modello (spessore degli strati, velocità delle onde di taglio, densità, coefficiente di Poisson), compatibile con la geologia del sito e si producono alcune migliaia di modelli di Vs compatibili con l'intervallo di variabilità dei parametri (Tabella 3)

Tabella 3. Intervallo di variabilità dei parametri di modello.

Numero di profili generati	10000
Numero di strati	3
Densità associata ad ogni strato (kg/dm^3)	1.8 - 1.9 - 1.9
Coefficiente di Poisson	0.3 - 0.3 - 0.45
Vs minima (m/s)	200 - 250 - 350
Vs massima (m/s)	250 - 320 - 500
Spessore minimo (m)	2 - 5
Spessore massimo (m)	3 - 15

Il problema diretto viene risolto per tutti i modelli estratti. Tramite un test statistico, si individuano i soli modelli in cui si minimizza la differenza fra il set di dati sperimentali e il set di dati calcolati (Figura 14 e Figura 15).

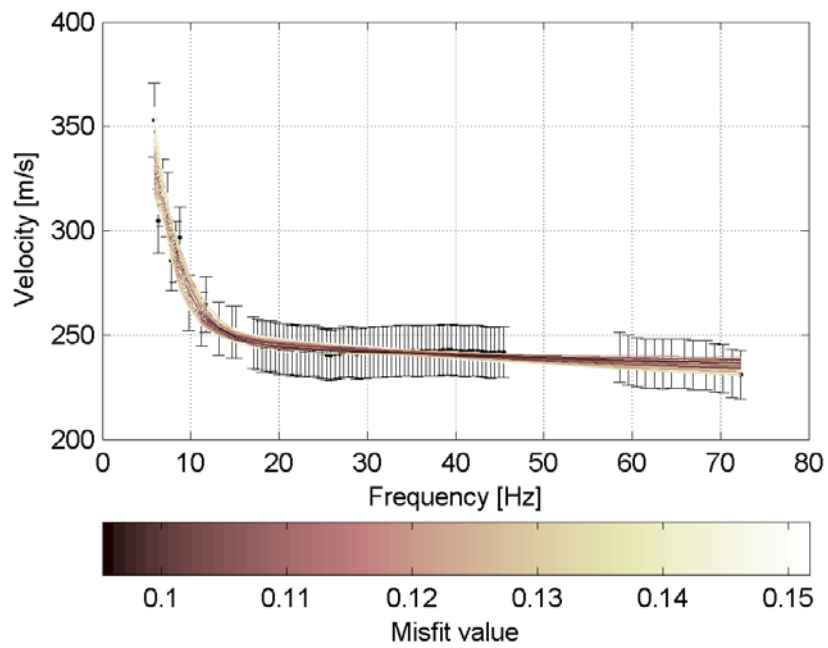


Figura 14 – Curve di dispersione delle possibili soluzioni che descrivono il dato sperimentale in modo statisticamente equivalente.

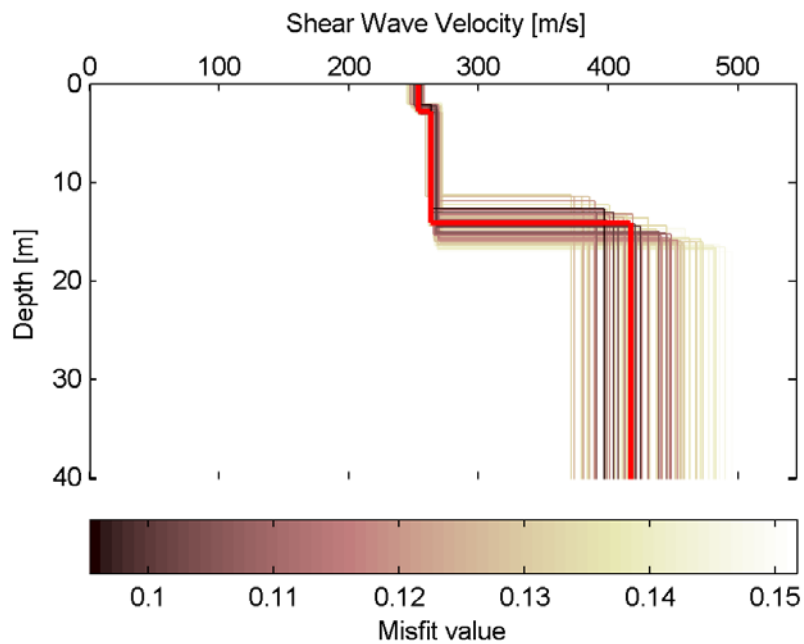


Figura 15 – Set di modelli delle possibili soluzioni che descrivono il dato sperimentale in modo statisticamente equivalente. In evidenza il profilo definitivo.

Per ognuno di questi modelli si calcola il valore di V_{S30} dal piano di imposta delle fondazioni, secondo la formulazione proposta nel D.M. 14/01/2008. Dalla distribuzione di tutti i valori di V_{S30} stimati (Figura 16) è possibile ricavare valore medio (333 m/s) e relativa deviazione standard (5 m/s).

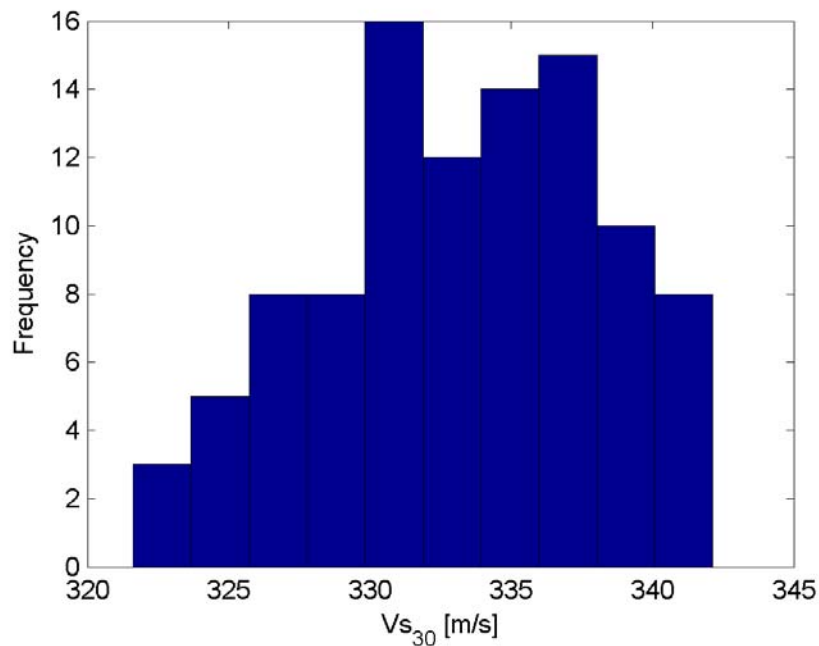


Figura 16 – Curva di distribuzione dei valori di V_{s30} stimati dal piano di imposta delle fondazioni.

Le informazioni geologiche note a priori e quelle desunte dall'indagine tomografica permettono di selezionare ulteriormente i modelli che descrivono il dato in modo statisticamente equivalente. In questo modo si seleziona il profilo che meglio si adatta a queste informazioni. (Figura 17).

La profondità di indagine è qualitativa ed è riferita alla quota media del piano campagna.

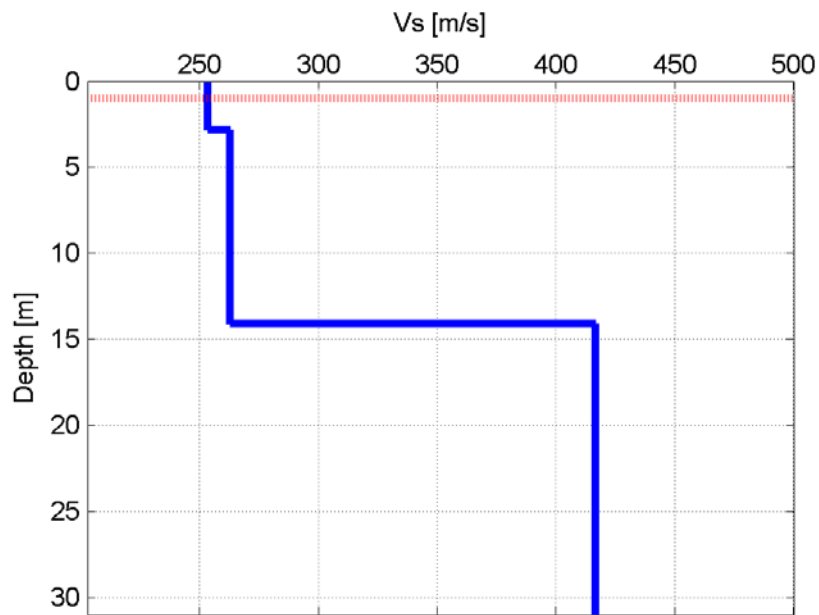


Figura 17 – Profilo stratigrafico di Vs (profondità da piano campagna) con indicazione del piano di imposta delle fondazioni.

In Figura 18 le curve di dispersione relative al profilo scelto di Figura 17 sono sovrapposte agli spettri f-k, mentre in Figura 19 sono sovrapposte alle curve di dispersione sperimentali.

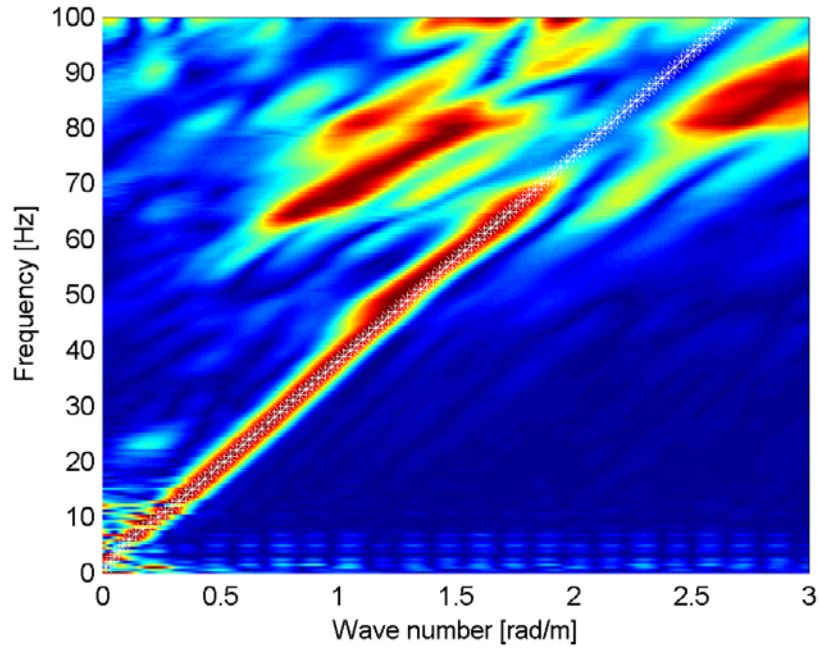


Figura 18 – Spettri f-k normalizzati e fitting delle curve di dispersione.

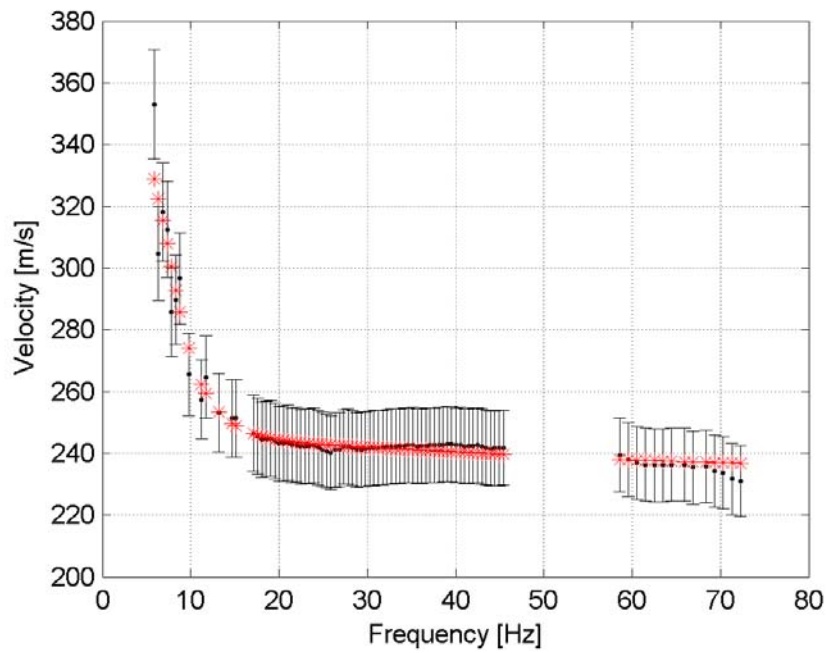


Figura 19 – Curve di dispersione da modello (punti rossi) e curve di dispersione sperimentali con relativa incertezza (barre nere).

I parametri del modello di Figura 17 sono riportati in Tabella 4.

Tabella 4. Profilo Vs - Parametri del modello di Figura 17.

Strato (numero)	Velocità (m/s)	Spessore (m)	Profondità da p.c. (m)
1	253	2.8	0 - 2.8
2	263	11.3	2.8 - 14.1
3	417		da 14.1

Il valore di V_{s30} del modello finale, calcolato alla quota del piano di imposta delle fondazioni (-1 m da piano campagna) è **331** m/s.

7 INTERPRETAZIONE GEOFISICA

L'analisi delle tomografie sismiche a rifrazione in onde P e delle relative mappe di copertura dei raggi sismici (Figura 7 e Figura 8) permette le seguenti considerazioni:

- Si notano due rifrattori
- Lo strato superficiale (materiale eterogeneo di riporto) è caratterizzato da bassi valori di velocità delle onde P (350-500 m/s) e spessore di circa 2.5-3 m.
- Il secondo strato (primo rifratore) è formato dal terreno naturale composto da limi e sabbie ed è caratterizzato da valori di velocità di 700-900 m/s. Lo strato è caratterizzato da un notevole contenuto di acqua interstiziale.
- Il secondo rifratore identifica la zona satura, alla profondità di circa 9-10 m da piano campagna.

Il profilo di Vs (Figura 17 e Tabella 4) mostra:

- Uno strato superficiale di ridotto spessore (2.8 m) riconducibile al materiale di riporto ($V_s \approx 250$ m/s).

- Un secondo strato formato da terreno naturale poco compatto caratterizzato da valori di velocità delle onde S di circa 260 m/s fino alla profondità di circa 14 m.
- Oltre i 14 m di profondità si nota probabilmente il medesimo strato, ma con un grado di compattazione maggiore ($V_s \approx 420$ m/s).

8 PARAMETRO VS30

Il D.M. 14/01/2008 (Norme Tecniche per le Costruzioni) disciplina la progettazione e la costruzione di nuovi edifici soggetti ad azioni sismiche, oltre alla valutazione della sicurezza e degli interventi di adeguamento su edifici esistenti soggetti al medesimo tipo di azioni.

La definizione dell'azione sismica a cui gli edifici sono soggetti è legata alla determinazione di alcuni fattori importanti per l'edificio stesso, tra i quali la classificazione del suolo di fondazione su cui l'edificio verrà costruito.

V_{S30} è la velocità media di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio e viene calcolata con la seguente espressione:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_i}}$$

h_i = spessore (in m);

V_i = velocità delle onde di taglio dello strato i-esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori;

N = numero di strati.

8.1 Stima del Parametro VS30

E' stato dimostrato (Comina et al., 2010) che, data un'adeguata profondità di investigazione, la non unicità della soluzione non costituisce un problema per la stima della V_{S30} . e che il metodo delle onde superficiali fornisce risultati comparabili a quelli ottenuti con metodi invasivi quali down-hole test (DH) o seismic dilatometer test (SDMT).

Per questo motivo, la metodologia proposta non fornisce un unico profilo di V_s , ma un set di possibili soluzioni che descrivono il dato sperimentale in modo statisticamente equivalente.

Per ogni modello si calcola il valore di V_{S30} secondo la formulazione proposta nel D.M. 14/01/2008 e dalla distribuzione dei valori di V_{S30} stimati è possibile ricavare un valore modale che rappresenta il parametro V_{S30} del sito.

9 TOMOGRAFIA SISMICA – Nota tecnica

9.1 Introduzione teorica

La tomografia sismica per onde P è una tecnica che sfrutta la velocità di propagazione delle onde sismiche di compressione, al fine di ottenere informazioni sulle caratteristiche meccaniche dei materiali che sono attraversati dal fronte d'onda. Tale metodo di indagine, rispetto ai metodi classici quali la sismica a rifrazione, non schematizza il terreno sottostante a strati con caratteristiche omogenee, ma permette di determinare la velocità di propagazione in funzione della profondità, evidenziando eventuali discontinuità laterali e interfacce non piane tra gli strati a diverse caratteristiche.

L'acquisizione dei dati avviene posizionando uno stendimento di geofoni a spaziatura preferibilmente costante sulla direzione lungo la quale si intende ottenere una sezione con l'andamento delle velocità ed energizzando in un numero generalmente dispari di punti (uno al centro dello stendimento e gli

altri distribuiti simmetricamente). Ogni singola acquisizione è sommata alle successive al fine di aumentare il rapporto segnale/rumore.

9.2 Modalità di acquisizione

L'energizzazione in più punti prestabiliti lungo la linea è stata eseguita con mazza da 4 kg su piastra metallica di ripartizione, impiegando un trigger elettrico. In ogni punto di energizzazione i colpi sono ripetuti e il segnale sommato (operazione di stacking) fino a quando l'operatore al sismografo non ritenga che il rapporto segnale/rumore sia accettabile.

9.3 Elaborazione dei dati tomografici

L'elaborazione dei dati prevede l'esecuzione del picking manuale dei primi arrivi delle onde P, il cui risultato è generalmente visualizzato sotto forma di dromocrone (grafici rappresentanti i tempi di primo arrivo in funzione della distanza dalla sorgente).

I tempi di primo arrivo, espressi in millisecondi, insieme alle coordinate spaziali di ogni geofono, sono poi forniti in input al programma di inversione, il quale effettua una prima interpretazione attraverso il metodo classico della sismica a rifrazione e crea un modello di primo tentativo per poter inizializzare il processo di inversione. Il programma procede suddividendo la sezione in celle alle quali assegna un certo valore di velocità delle onde di compressione, dedotto dal modello di primo tentativo creatosi in precedenza. Successivamente viene simulata l'energizzazione in ogni punto di scoppio.

Si suppone che la traiettoria dei raggi sismici dal punto di scoppio al singolo geofono sia curvilinea e che la velocità di propagazione lungo tale traiettoria sia differente a seconda della velocità che è stata assegnata dal programma ad ogni singola cella attraversata dal percorso sismico. Ne risulta che per ogni punto di energizzazione:

$$T_i = \int_S^R \frac{1}{V} ds$$

dove:

T_i = tempo di primo arrivo al geofono i -esimo;

S = punto di energizzazione;

R = ricevitore;

V = velocità di propagazione delle onde di compressione;

ds = tratto infinitesimo di percorso.

I tempi di primo arrivo ricavati dalla simulazione vengono poi confrontati con i tempi di primo arrivo sperimentali e, in base agli scarti, vengono corrette le velocità relative alle celle attraversate dai percorsi sismici. Il processo di inversione è iterativo e si ottiene il risultato finale quando il valore degli scarti è inferiore ad un valore soglia deciso dall'operatore oppure dopo un particolare numero di iterazioni anch'esso deciso dall'operatore.

Il risultato consiste in una sezione verticale con andamento delle velocità delle onde P nel sottosuolo e una sezione con i valori di "copertura" che riporta per ogni cella della sezione stessa il numero di raggi sismici che la attraversano nell'ultima iterazione. La sezione con i valori di copertura è utile alla definizione di affidabilità delle velocità ottenute, poiché alti valori di copertura sottintendono una maggiore accuratezza.

10 PROVE PER ONDE SUPERFICIALI – Nota tecnica

10.1 Introduzione teorica

Il metodo delle onde superficiali attive (anche detto S.W.M. – Surface Wave Method) è un metodo di caratterizzazione sismica basato sull'analisi della

dispersione geometrica delle onde superficiali. La procedura consiste nella valutazione delle caratteristiche dispersive del sito a partire dall'acquisizione e il trattamento dei dati sismici e nella loro successiva analisi per determinare le proprietà meccaniche del sottosuolo. La velocità di propagazione delle onde di Rayleigh in un semispazio elastico, omogeneo e isotropo, è indipendente dalla frequenza e il moto indotto dalla propagazione si smorza rapidamente con la profondità, sino ad estinguersi a una profondità circa pari a una lunghezza d'onda. La profondità raggiunta dalla perturbazione dipende, quindi, dalla lunghezza d'onda e, in mezzi omogenei, a diverse lunghezze d'onda corrisponde un'unica velocità di fase (V_R). In un mezzo verticalmente eterogeneo, costituito, cioè, da strati aventi proprietà meccaniche differenti, il comportamento delle onde superficiali diventa dispersivo: a frequenze diverse corrispondono differenti velocità di fase. Lunghezze d'onda diverse interessano, infatti, strati diversi ai quali sono associate proprietà meccaniche specifiche: ogni lunghezza d'onda (e quindi ogni frequenza) si propaga a una velocità di fase che dipende dalle caratteristiche degli strati interessati dalla propagazione.

Nel caso di un mezzo eterogeneo, quindi, le onde superficiali non hanno una singola velocità, ma diverse velocità di fase in corrispondenza delle diverse frequenze: tale fenomeno, dipendente dalla distribuzione spaziale delle proprietà sismiche del sottosuolo, è noto come dispersione geometrica e la relazione che lega la frequenza alla velocità di fase prende il nome di curva di dispersione.

La propagazione delle onde di Rayleigh in un mezzo verticalmente eterogeneo, è un fenomeno multi-modale: data una determinata stratigrafia, in corrispondenza di una certa frequenza, possono esistere diverse velocità di propagazione, a ognuna delle quali corrisponde un modo di vibrazione del sito. Differenti modi di vibrazione possono manifestarsi simultaneamente.

Da un punto di vista teorico, per quanto riguarda il modo fondamentale, alle alte frequenze, la velocità di fase coincide con la velocità delle onde di Rayleigh dello strato più superficiale, mentre, alle basse frequenze, l'effetto degli strati più profondi diventa importante e la velocità di fase tende

asintoticamente alla velocità di propagazione delle onde di taglio dello strato più profondo come se questo fosse esteso infinitamente in profondità. La curva di dispersione gioca un ruolo centrale nell'utilizzo delle onde di Rayleigh ai fini della caratterizzazione dei terreni; infatti, è funzione delle caratteristiche di rigidità del mezzo e può essere utilizzata per un processo inverso avente come obiettivo la stima delle caratteristiche di rigidità stesse.

10.2 Modalità di acquisizione

La fase di acquisizione prevede l'utilizzo di una sorgente, impulsiva o controllata, tramite la quale viene creata una perturbazione che si propaga lungo la superficie libera e viene rilevata da uno o più ricevitori posti lungo dispositivi lineari sul piano campagna. La sorgente è posta a un estremo dello stendimento di misura e di norma si effettuano energizzazioni ai due lati opposti dello stendimento per avere ridondanza di informazione e gestire eventuali disomogeneità del sottosuolo. L'obiettivo è indagare la propagazione delle onde superficiali in una banda di frequenza più ampia possibile, poiché ciò consente di ottenere informazioni sulle proprietà degli strati profondi, che influenzano le componenti a bassa frequenza, e di risolvere con adeguata risoluzione gli strati più superficiali, che influenzano in maniera significativa soprattutto le componenti ad alta frequenza. Questo implica la scelta di corretti parametri di acquisizione (nello spazio e nel tempo) atti a permettere un'adeguata risoluzione spettrale nella fase di elaborazione.

Il campionamento temporale deve garantire che tutto il treno d'onda relativo alla propagazione delle onde superficiali sia registrato, quindi la durata dell'acquisizione (T) deve essere maggiore o uguale al tempo necessario per l'armonica più lenta a raggiungere il sensore più lontano. L'intervallo di campionamento (dt) deve garantire la stima delle armoniche di interesse in base alle regole del campionamento (frequenza di campionamento almeno doppia (meglio pari a cinque volte) della frequenza più alta da registrare).

Il campionamento spaziale deve consentire di stimare in modo affidabile le lunghezze d'onda di interesse. In particolare la lunghezza dello stendimento di misura (L) non deve essere inferiore alla metà della massima lunghezza d'onda e la distanza intergeofonica (d_l) deve essere metà della minima lunghezza d'onda.

Inoltre, poiché dal punto di vista fisico le onde di superficie sono sensibili alle proprietà del mezzo in cui si propagano, fino ad una profondità pari a circa 0.4 volte la lunghezza d'onda massima, la lunghezza L deve essere definita anche in funzione della profondità d'indagine desiderata.

10.3 Elaborazione dati di onde superficiali

Obiettivo dell'elaborazione è la stima della curva di dispersione caratteristica del sito, che esprime la velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza.

La procedura può essere sintetizzata nei seguenti punti:

- I dati di campagna vengono trasformati tramite una doppia trasformata di Fourier in dominio f - k (frequenza-numero d'onda). I massimi di energia sono associabili alle onde di Rayleigh (Tselentis and Delis, 1998) e vengono riconosciuti gli eventi coerenti in ampi intervalli di frequenza, discriminando gli eventi associabili ai diversi modi di propagazione.
- Le curve di dispersione sperimentali sono ricavate con un algoritmo di ricerca dei massimi spettrali. Per ogni frequenza f , il picco spettrale è associato a un determinato valore del numero d'onda k , da cui è possibile ricavare la velocità di fase delle onde di Rayleigh attraverso la relazione:

$$V_R(f) = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{k}$$

- Il modello di sottosuolo viene schematizzato come un mezzo elastico a strati piano-paralleli, omogenei ed isotropi, nel quale l'eterogeneità è

rappresentata dalla differenziazione delle caratteristiche meccaniche degli strati.

- Si definisce uno spazio dei parametri di modello (spessore degli strati, velocità delle onde di taglio, densità, coefficiente di Poisson), compatibile con la geologia del sito.
- Tramite un algoritmo di inversione probabilistica, si producono alcune migliaia di profili di Vs (modelli) compatibili con il range di variabilità dei parametri.
- Il problema diretto viene risolto per tutti i modelli estratti e si individuano i soli modelli in cui si minimizza la differenza fra il set di dati sperimentali (curva di dispersione misurata) e il set di dati calcolati (curva di dispersione simulata). La procedura è condotta con tecniche di ricerca globale della soluzione (Wathelet et al, 2004; Socco and Boiero, 2008).

11 BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

- Ryden, N. and Park, C.B., 2006. Fast simulated annealing inversion of surface waves on pavement using phase-velocity spectra. *Geophysics* 71, R49-R58.
- Socco, L.V., Strobbia, C., 2004. Surface-wave method for near-surface characterization: a tutorial. *Near Surface Geophysics* 2, 165-185.
- Socco, L.V., and D. Boiero, 2008, Improved Monte Carlo inversion of surface wave data: *Geophysical Prospecting*, 56, 357-371.
- Tselentis, G.A., and G. Delis, 1998, Rapid assessment of S-wave profiles from the inversion of multichannel surface wave dispersion data: *Annali di Geofisica*, 41, 1-15.
- Wathelet, M., D. Jongmans, and M. Ohrnberger, 2004, Surface-wave inversion using a direct search algorithm and its application to ambient vibration measurements: *Near Surface Geophysics*, 2, 211-221.

INDAGINI SVOLTE IN SITO

- ▶ Indagini geofisiche
- ▶ Prova di carico su piastra



**CARATTERIZZAZIONE SISMICA DI SITO NELL'AMBITO DEL
PROGETTO DI RILOCALIZZAZIONE DELLA PISTA DI GUIDA
SICURA**

COMUNE DI BUTTIGLIERA ALTA (TO)

RELAZIONE TECNICA

Committente: CONSEPI spa

Relazione n.:	RS16021
Data stesura:	29/06/2016
Revisione n.:	0
Elaborazioni:	ing. Stefano Stocco
Stesura:	ing. Emanuele Bena

GAMUT S.r.l. CF e IVA: 10087030010
REA: TO1104410 - Capitale Sociale: € 10000 i.v.
Sede legale: via Lamarmora 16, 10128 Torino
Sede operativa: via Maiole 15, 10040 Leinì TO
www.gamutgeophysics.com - info@gamutgeophysics.com
tel: +39 011 9987452 - fax: +39 011 7432123

INDICE

INDICE	2
1 RIASSUNTO	3
2 PREMESSA	3
3 OBIETTIVI E INDAGINI ESEGUITE	4
4 STRUMENTAZIONE	6
5 INFORMAZIONI A PRIORI	8
6 ELABORAZIONE DATI	8
6.1 Tomografia sismica in onde P	8
6.2 Prova per onde superficiali	10
7 INTERPRETAZIONE GEOFISICA	17
8 PARAMETRO VS30	18
8.1 Stima del Parametro VS30	18
9 TOMOGRAFIA SISMICA – Nota tecnica	19
9.1 Introduzione teorica	19
9.2 Modalità di acquisizione	19
9.3 Elaborazione dei dati tomografici	19
10 PROVE PER ONDE SUPERFICIALI – Nota tecnica	21
10.1 Introduzione teorica	21
10.2 Modalità di acquisizione	22
10.3 Elaborazione dati di onde superficiali	23
11 BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE	24

1 RIASSUNTO

In data 22 giugno 2016 si è eseguita un'indagine geofisica in comune di Buttigliera Alta (TO), finalizzata alla valutazione dell'effetto della risposta sismica locale tramite il calcolo del parametro V_{S30} , ai sensi del D.M. 14/01/2008. A tale scopo sono stati acquisiti due profili sismici coincidenti, uno per onde superficiali (SWM) e uno di tomografia sismica in onde di compressione (P).

L'elaborazione con metodo probabilistico della curva di dispersione ottenuta con la prova per onde superficiali ha fornito un fuso di possibili soluzioni da cui è stata calcolata la distribuzione del parametro V_{S30} ,

L'interpretazione del set di possibili soluzioni, congiuntamente all'analisi di informazioni a priori disponibili, ha permesso l'estrazione di un singolo profilo di velocità delle onde di taglio (S), ritenuto il più rappresentativo, da cui è stato calcolato il parametro V_{S30} .

La tomografia sismica integrativa ha consentito di migliorare la qualità dell'elaborazione del profilo di V_S , fornendo maggiore solidità interpretativa e ottenendo informazioni di carattere stratigrafico lungo lo stendimento.

Il valore del parametro **V_{S30}** calcolato riferito al piano di imposta delle fondazioni (-1 m da piano campagna) è **346 m/s**.

2 PREMESSA

La presente relazione tecnica descrive le modalità operative adottate in fase di acquisizione, le procedure di elaborazione dei dati e l'interpretazione geofisica della caratterizzazione sismica di sito eseguita nel piazzale di ingresso alla pista minimoto e kart, il località Ferriera, Buttigliera Alta (TO).

L'indagine è stata eseguita in data 22 giugno 2016.

3 OBIETTIVI E INDAGINI ESEGUITE

Gli scopi dell'indagine sono i seguenti:

- Fornire informazioni indirette sulla velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio, secondo un profilo verticale relativo ai primi 30 m di profondità, misurati dal piano di imposta delle fondazioni (-1 m da piano campagna). L'indagine è finalizzata alla valutazione dell'effetto della risposta sismica locale, tramite il calcolo del parametro V_{s30} , ai sensi del D.M. 14/01/2008 (capitolo 8).
- Ricostruire la topografia del sottosuolo, individuare possibili variazioni laterali.

Per soddisfare queste esigenze sono state condotte le seguenti indagini:

- Una prova per onde superficiali (SWM).
- Una tomografia sismica per onde di compressione P, coincidente con il profilo SWM.

Le tabelle seguenti riportano sinteticamente i parametri di acquisizione delle indagini eseguite.

Si rimanda ai capitoli 9 e 10 per gli approfondimenti sulle metodologie utilizzate.

Tabella 1. Schema riassuntivo dell'indagine tomografica.

Identificativo linea	P
Lunghezza stendimento (m)	61.25
Direzione stendimento	S - N
Canali (numero)	48
Spaziatura geofoni (m)	1.25
Tempo di campionamento (μ s)	125
Finestra di acquisizione (s)	0.5
Sorgenti (numero)	9

Tabella 2. Schema riassuntivo dell'indagine SWM.

Identificativo linea	SW
Lunghezza stendimento (m)	58.75
Direzione stendimento	S - N
Canali (numero)	48
Spaziatura geofoni (m)	1.25
Tempo di campionamento (μ s)	250
Finestra di acquisizione (s)	2

In Figura 1 si mostra l'ubicazione planimetrica dell'indagine eseguita; La figura successiva mostra un'immagine fotografica dello stendimento.



Figura 1 – Ubicazione planimetrica da immagine aerea. In rosso lo stendimento sismico (fuori scala).



Figura 2 – Foto dello stendimento - Da inizio linea.

4 STRUMENTAZIONE

La strumentazione utilizzata per l'acquisizione dei dati è la seguente (Figura 3 e Figura 4):

- sismografo Geometrics GEODE costituito da due moduli a 24 canali controllati tramite laptop, per un totale di 48 canali disponibili; l'intervallo di campionamento è selezionabile tra 20 μ s e 16 ms; la durata dell'acquisizione è funzione della frequenza di campionamento con il limite di 64000 campioni per canale; la dinamica del convertitore analogico/digitale è di 24 bit;
- geofoni verticali SENSOR SM-6/U-B con frequenza propria di 4.5 Hz;
- sorgente impulsiva: mazza da 5 kg su piastra metallica di ripartizione, dotata di trigger elettrico per contatto;

I dati sono stati elaborati e interpretati con:

- software non commerciale Gamut GIADA;
- RAYFRACT 3.06 – Intelligent Resources Inc.



Figura 3 – Sismografi Geometrics Geode.



Figura 4 – Geofono verticale SENSOR SM-6/U-B.

5 INFORMAZIONI A PRIORI

Non sono disponibili informazioni a priori. Probabile interfaccia tra copertura di riporto e piano campagna originale: -5 m; probabile livello piezometrico: -9 m.

6 ELABORAZIONE DATI

Nel seguito vengono descritte le modalità di elaborazione e di interpretazione dei dati acquisiti, corredate da alcune valutazioni critiche sulla qualità dei dati e sull'affidabilità dei risultati ottenibili.

6.1 Tomografia sismica in onde P

La prima fase prevede il picking dei tempi di primo arrivo su ogni sismogramma acquisito.

A titolo di esempio, Figura 5 riporta il picking dell'energizzazione (shot) n. 23 della tomografia.

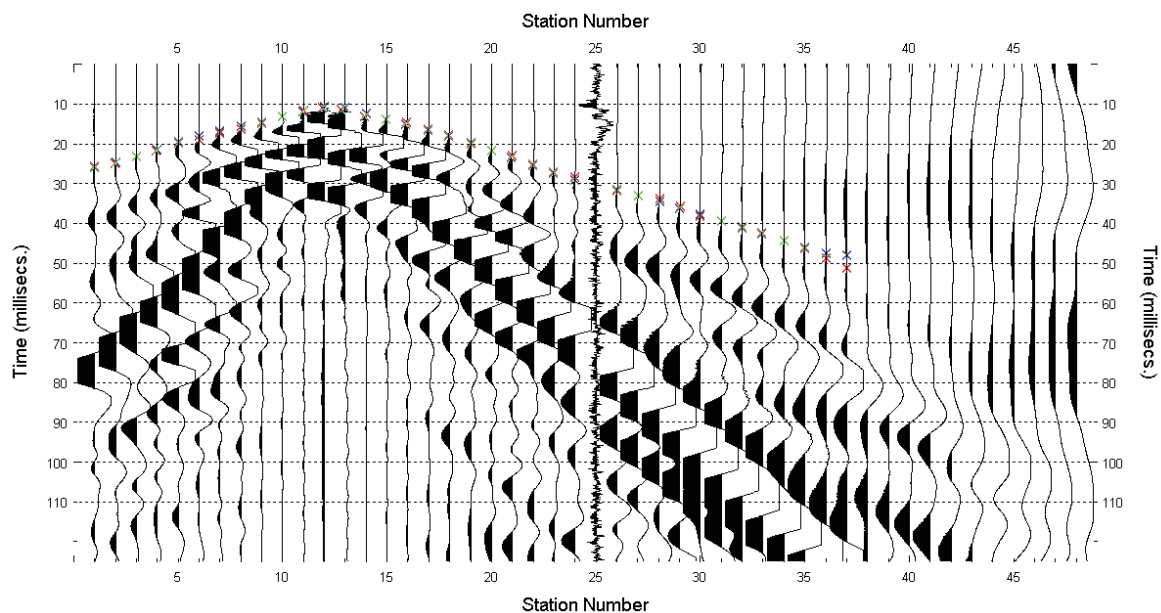


Figura 5 – Esempio di picking manuale dei primi arrivi delle onde P (shot n. 23).

Definita la topografia della superficie, la seconda fase dell'elaborazione prevede l'inversione di tutti i tempi di primo arrivo. Si producono le sezioni di velocità di propagazione delle onde P (Figura 6) e le relative mappe di copertura dei raggi sismici (Figura 7).

La numerazione degli shot in superficie coincide con la numerazione dei file registrati in campagna. Si è scelto di adottare una scala verticale di quota relativa, ponendo lo zero alla quota del piano campagna.

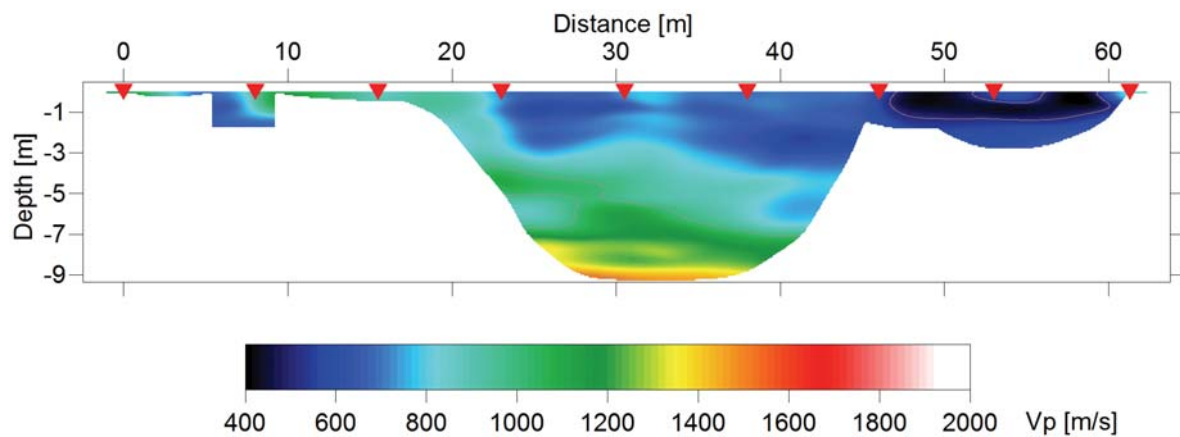


Figura 6 – Sezione tomografica di velocità delle onde P nel sottosuolo.

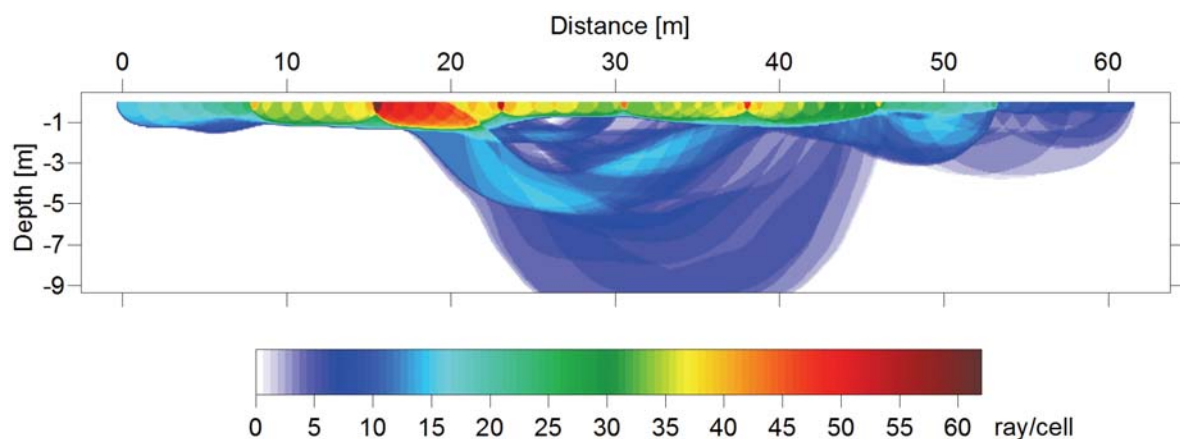
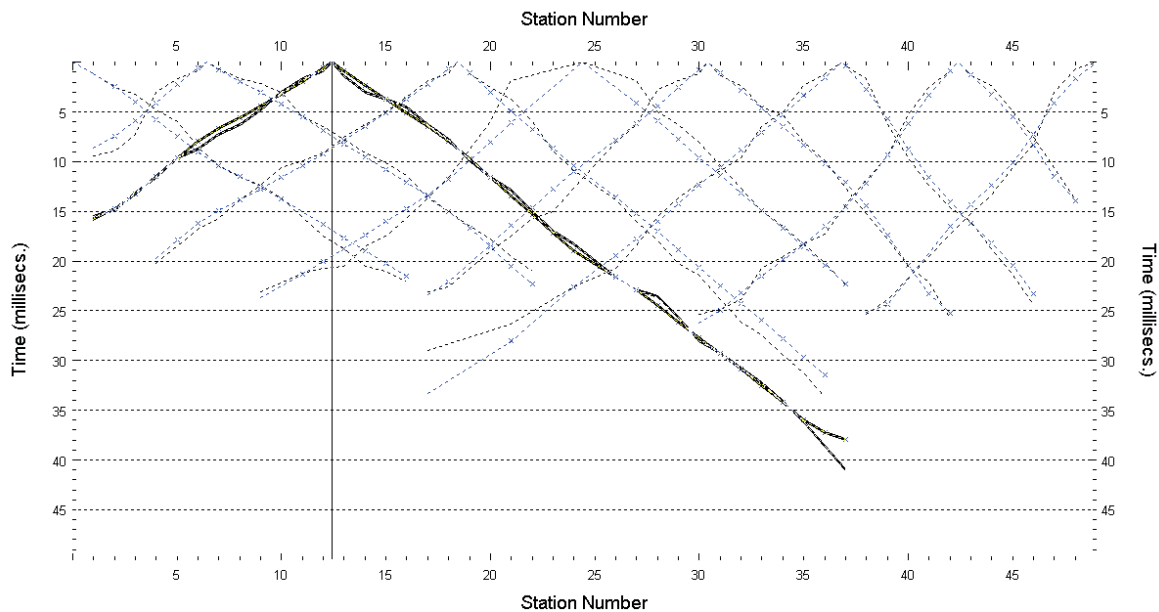


Figura 7 – Copertura dei raggi sismici della sezione tomografica di Figura 6.

La qualità del picking e dell'inversione è valutata mediante il confronto, per ogni shot, tra le dromocrone sperimentali e quelle calcolate.

A titolo di esempio, la Figura 8 riporta le dromocrone della tomografia con la traccia n. 23 in evidenza.



**Figura 8 – Dromocrone della tomografia,
(in evidenza lo shot n. 23)**

6.2 Prova per onde superficiali

Il dataset acquisito è composto da 35 sismogrammi, di cui 20 relativi all'energizzazione sul lato sud dello stendimento e 15 sul lato nord. Ciascuna registrazione contiene 48 tracce con spaziatura di 1.25 m.

La Figura 9 riporta lo stacking del sismogramma relativo all'energizzazione dall'estremo sud.

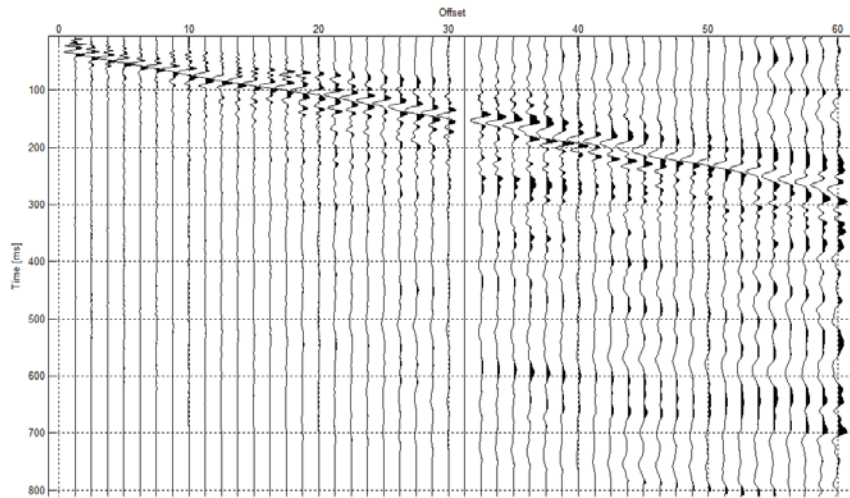


Figura 9 –Selezione del sismogramma della prova SW – Energizzazione lato sud.

Il dato è trasformato in dominio f-k (Figura 10) e sono estratte e pulite le curve di dispersione (Figura 11). Il modo fondamentale delle curve di dispersione può essere mostrato in funzione della lunghezza d'onda λ diviso 2.5 (Figura 12) che dà un'idea qualitativa della profondità indagata e permette una valutazione preliminare sull'affidabilità dei risultati in funzione della profondità. La scala colori rappresenta la velocità di propagazione delle onde S per ogni lunghezza d'onda.

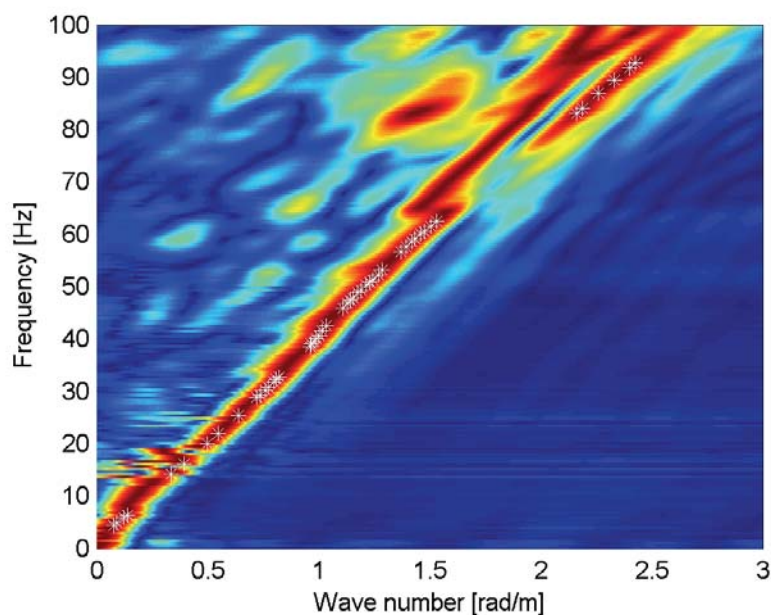


Figura 10 – Spettro f-k del sismogramma di Figura 9.

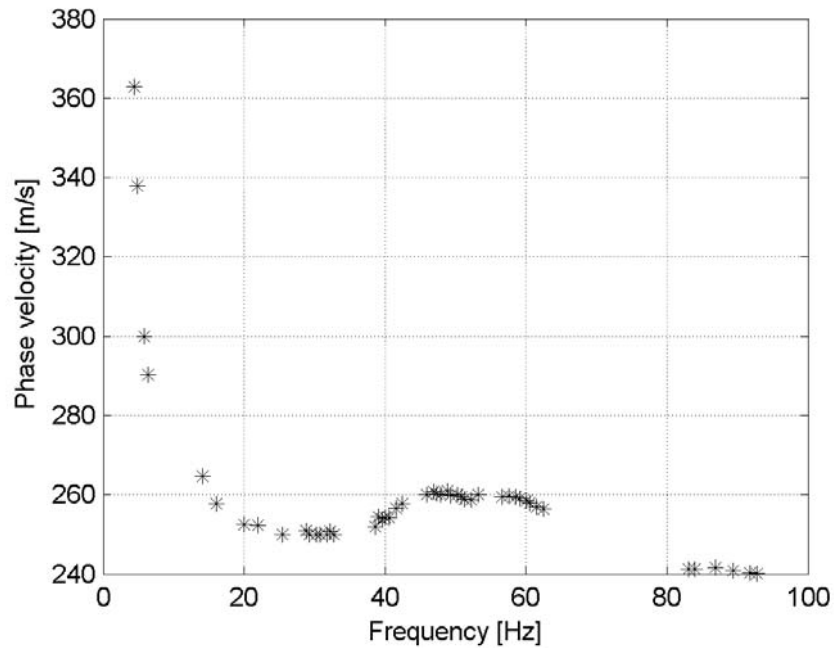


Figura 11 – Curva di dispersione estratta dallo spettro di Figura 10.

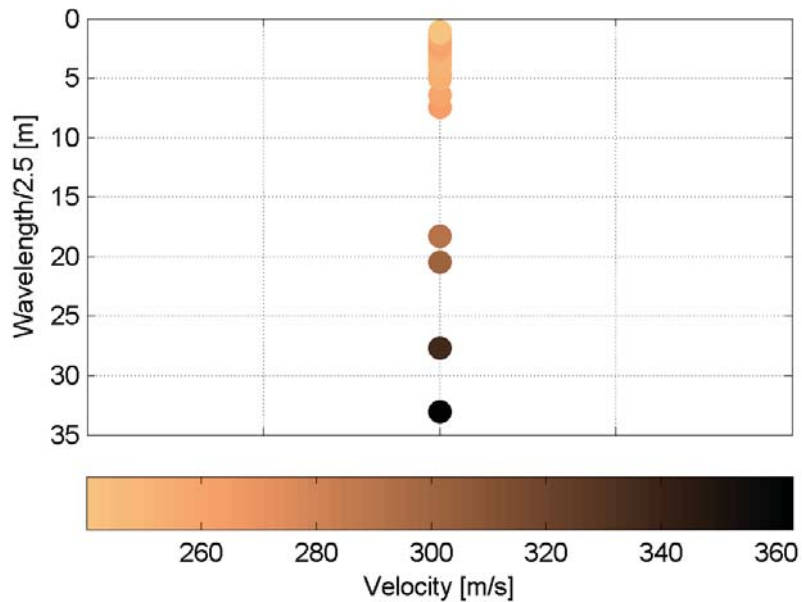


Figura 12 – Modo fondamentale delle curve di dispersione espresso in funzione di $\lambda/2.5$.

Si definisce un intervallo di variabilità dei parametri di modello (spessore degli strati, velocità delle onde di taglio, densità, coefficiente di Poisson), compatibile con la geologia del sito e si producono alcune migliaia di modelli di Vs compatibili con l'intervallo di variabilità dei parametri (Tabella 3)

Tabella 3. Intervallo di variabilità dei parametri di modello.

Numero di profili generati	10000
Numero di strati	4
Densità associata ad ogni strato (kg/dm ³)	1.7 - 1.7 - 1.8 - 1.9
Coefficiente di Poisson	0.3 - 0.3 - 0.3 - 0.4
Vs minima (m/s)	210 - 280 - 230 - 450
Vs massima (m/s)	230 - 320 - 260 - 600
Spessore minimo (m)	1 - 3.5 - 4 - semispazio
Spessore massimo (m)	1.5 - 4.5 - 8 - semispazio

Il problema diretto viene risolto per tutti i modelli estratti. Tramite un test statistico, si individuano i soli modelli in cui si minimizza la differenza fra il set di dati sperimentali e il set di dati calcolati (Figura 13 e Figura 14).

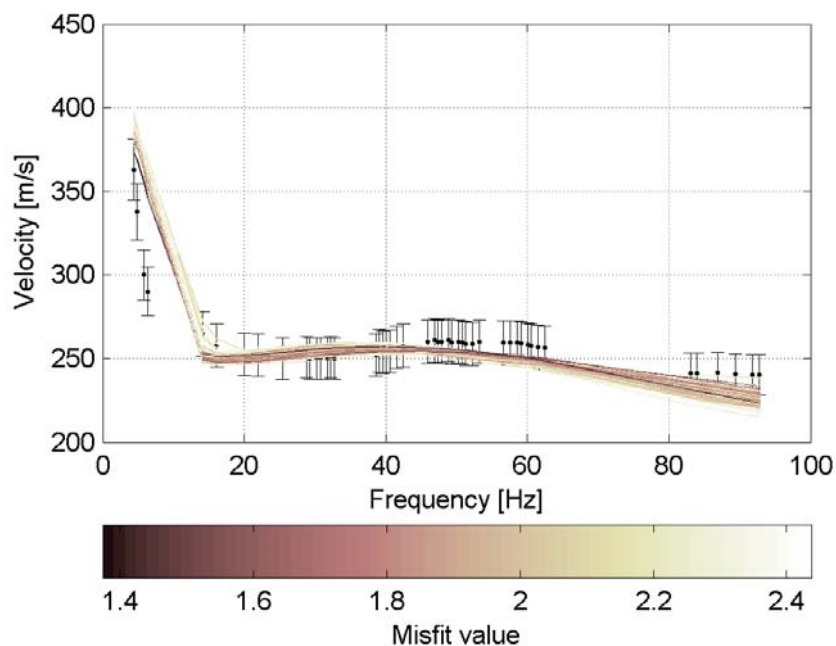


Figura 13 – Curve di dispersione delle possibili soluzioni che descrivono il dato sperimentale in modo statisticamente equivalente.

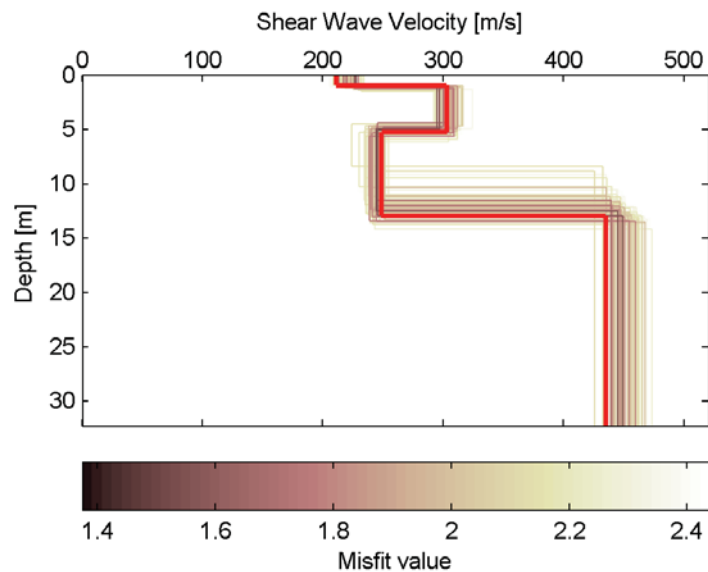


Figura 14 – Set di modelli delle possibili soluzioni che descrivono il dato sperimentale in modo statisticamente equivalente. In evidenza il profilo definitivo.

Per ognuno di questi modelli si calcola il valore di V_{s30} dal piano di imposta delle fondazioni, secondo la formulazione proposta nel D.M. 14/01/2008. Dalla distribuzione di tutti i valori di V_{s30} stimati (Figura 15) è possibile ricavare valore medio (354 m/s) e relativa deviazione standard (4 m/s).

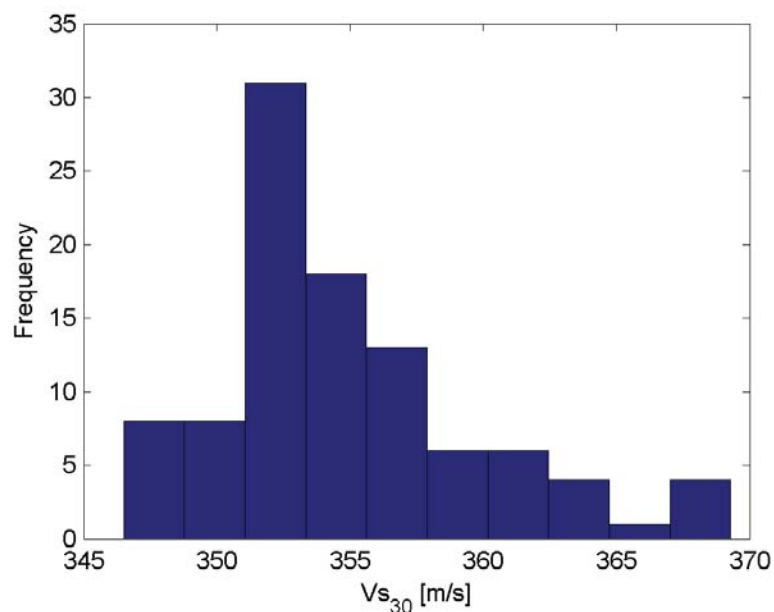


Figura 15 – Curva di distribuzione dei valori di V_{s30} stimati dal piano di imposta delle fondazioni.

Il profilo che meglio si adatta alla curva di dispersione sperimentale è illustrato in Figura 16.

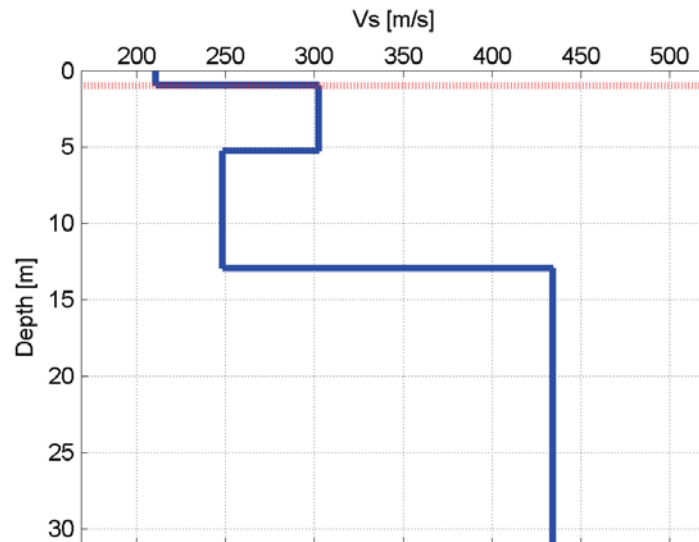


Figura 16 – Profilo stratigrafico di Vs (profondità da piano campagna) con indicazione del piano di imposta delle fondazioni.

In Figura 17 le curve di dispersione relative al profilo scelto di Figura 16 sono sovrapposte agli spettri f-k, mentre in Figura 18 sono sovrapposte alle curve di dispersione sperimentali.

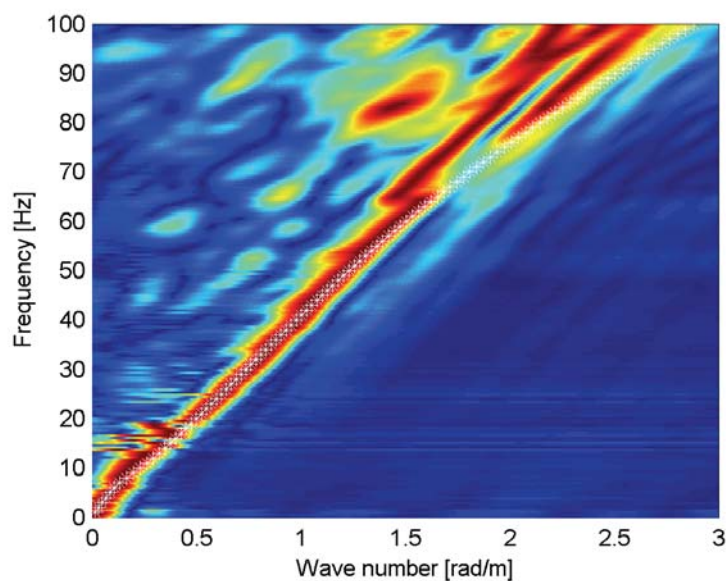


Figura 17 – Spettro f-k normalizzato e fitting delle curve di dispersione.

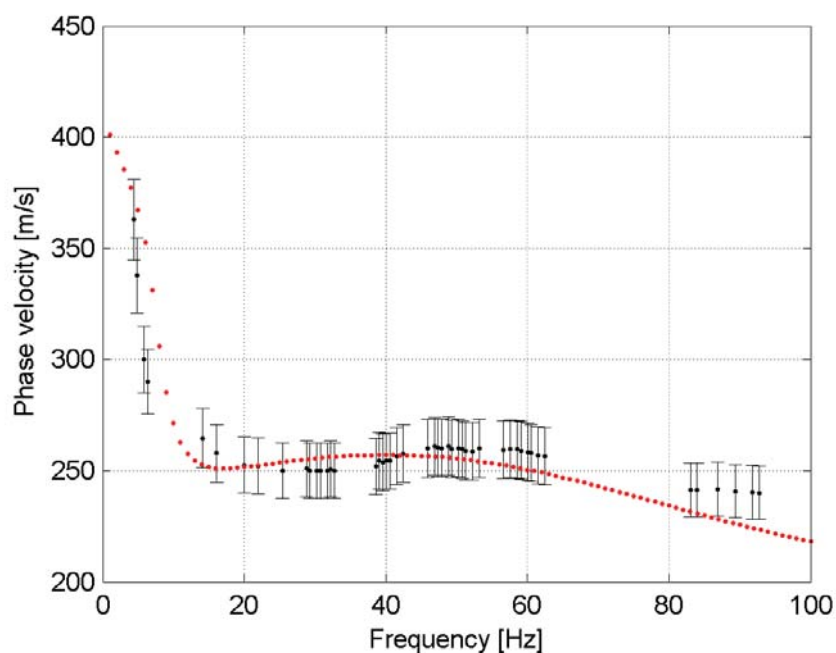


Figura 18 – Curve di dispersione da modello (punti rossi) e curve di dispersione sperimentali con relativa incertezza (barre nere).

I parametri del modello di Figura 16 sono riportati in Tabella 4.

Tabella 4. Profilo V_s - Parametri del modello di Figura 16.

Strato (numero)	Velocità (m/s)	Spessore (m)	Profondità da p.c. (m)
1	210	1.0	0 - 1.0
2	302	4.3	1.0 - 5.3
3	248	7.7	5.3 - 13.0
4	434		da 13.0

Il valore di V_{s30} del modello finale, calcolato alla quota del piano di imposta delle fondazioni (-1 m da piano campagna) è **346** m/s.

7 INTERPRETAZIONE GEOFISICA

L'analisi della tomografia sismica a rifrazione in onde P e della relativa mappa di copertura dei raggi sismici (Figura 6 e Figura 7) permette le seguenti considerazioni:

- L'indagine è affetta da forte rumore antropico (industrie, autostrada e ferrovia nelle vicinanze), a cui si aggiunge scarsa energia utile nel segnale, dovuto all'impossibilità di usare il fucile sismico sulla pavimentazione asfaltata. Questo ha limitato fortemente la profondità di indagine.
- La tomografia P non è in grado di distinguere l'inversione di velocità descritta dalla prova per onde superficiali perché è un limite intrinseco della metodologia.
- La sezione vede essenzialmente le onde dirette che si propagano nel primo metro e solo nella porzione centrale raggiungono un rifratore posto a circa 9 m di profondità. La velocità di propagazione delle onde P sul margine inferiore della sezione è circa 1500 m/s, corrispondente molto probabilmente al livello saturo, compatibile con la quota della Dora Riparia.
- Non sono apprezzabili variazioni laterali lungo la sezione.

Il profilo di Vs (Figura 16 e Tabella 4) mostra:

- Uno strato superficiale di circa 5 m di spessore probabilmente coincidente con lo strato di riporto.
- Un secondo strato che manifesta inversione di velocità e valori contenuti ($V_s \approx 250$ m/s), fino alla profondità di circa 13 m.
- Un ultimo strato più rigido caratterizzato da un aumento di valori di velocità delle onde S (circa 435 m/s).

8 PARAMETRO VS30

Il D.M. 14/01/2008 (Norme Tecniche per le Costruzioni) disciplina la progettazione e la costruzione di nuovi edifici soggetti ad azioni sismiche, oltre alla valutazione della sicurezza e degli interventi di adeguamento su edifici esistenti soggetti al medesimo tipo di azioni.

La definizione dell'azione sismica a cui gli edifici sono soggetti è legata alla determinazione di alcuni fattori importanti per l'edificio stesso, tra i quali la classificazione del suolo di fondazione su cui l'edificio verrà costruito.

V_{S30} è la velocità media di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio e viene calcolata con la seguente espressione:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_i}}$$

h_i = spessore (in m);

V_i = velocità delle onde di taglio dello strato i -esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori;

N = numero di strati.

8.1 Stima del Parametro VS30

E' stato dimostrato (Comina et al., 2010) che, data un'adeguata profondità di investigazione, la non unicità della soluzione non costituisce un problema per la stima della V_{S30} . e che il metodo delle onde superficiali fornisce risultati comparabili a quelli ottenuti con metodi invasivi quali down-hole test (DH) o seismic dilatometer test (SDMT).

Per questo motivo, la metodologia proposta non fornisce un unico profilo di V_s , ma un set di possibili soluzioni che descrivono il dato sperimentale in modo statisticamente equivalente.

Per ogni modello si calcola il valore di V_{S30} secondo la formulazione proposta nel D.M. 14/01/2008 e dalla distribuzione dei valori di V_{S30} stimati è possibile ricavare un valore modale che rappresenta il parametro V_{S30} del sito.

9 TOMOGRAFIA SISMICA – Nota tecnica

9.1 Introduzione teorica

La tomografia sismica per onde P è una tecnica che sfrutta la velocità di propagazione delle onde sismiche di compressione, al fine di ottenere informazioni sulle caratteristiche meccaniche dei materiali che sono attraversati dal fronte d'onda. Tale metodo di indagine, rispetto ai metodi classici quali la sismica a rifrazione, non schematizza il terreno sottostante a strati con caratteristiche omogenee, ma permette di determinare la velocità di propagazione in funzione della profondità, evidenziando eventuali discontinuità laterali e interfacce non piane tra gli strati a diverse caratteristiche.

L'acquisizione dei dati avviene posizionando uno stendimento di geofoni a spaziatura preferibilmente costante sulla direzione lungo la quale si intende ottenere una sezione con l'andamento delle velocità ed energizzando in un numero generalmente dispari di punti (uno al centro dello stendimento e gli altri distribuiti simmetricamente). Ogni singola acquisizione è sommata alle successive al fine di aumentare il rapporto segnale/rumore.

9.2 Modalità di acquisizione

L'energizzazione in più punti prestabiliti lungo la linea è stata eseguita con mazza da 4 kg su piastra metallica di ripartizione, impiegando un trigger elettrico. In ogni punto di energizzazione i colpi sono ripetuti e il segnale sommato (operazione di stacking) fino a quando l'operatore al sismografo non ritenga che il rapporto segnale/rumore sia accettabile.

9.3 Elaborazione dei dati tomografici

L'elaborazione dei dati prevede l'esecuzione del picking manuale dei primi arrivi delle onde P, il cui risultato è generalmente visualizzato sotto forma di dromocrone (grafici rappresentanti i tempi di primo arrivo in funzione della distanza dalla sorgente).

I tempi di primo arrivo, espressi in millisecondi, insieme alle coordinate spaziali di ogni geofono, sono poi forniti in input al programma di inversione, il quale effettua una prima interpretazione attraverso il metodo classico della sismica a rifrazione e crea un modello di primo tentativo per poter inizializzare il processo di inversione. Il programma procede suddividendo la sezione in celle alle quali assegna un certo valore di velocità delle onde di compressione, dedotto dal modello di primo tentativo creatosi in precedenza. Successivamente viene simulata l'energizzazione in ogni punto di scoppio.

Si suppone che la traiettoria dei raggi sismici dal punto di scoppio al singolo geofono sia curvilinea e che la velocità di propagazione lungo tale traiettoria sia differente a seconda della velocità che è stata assegnata dal programma ad ogni singola cella attraversata dal percorso sismico. Ne risulta che per ogni punto di energizzazione:

$$T_i = \int_S^R \frac{1}{V} ds$$

dove:

T_i = tempo di primo arrivo al geofono i -esimo;

S = punto di energizzazione;

R = ricevitore;

V = velocità di propagazione delle onde di compressione;

ds = tratto infinitesimo di percorso.

I tempi di primo arrivo ricavati dalla simulazione vengono poi confrontati con i tempi di primo arrivo sperimentali e, in base agli scarti, vengono corrette le velocità relative alle celle attraversate dai percorsi sismici. Il processo di inversione è iterativo e si ottiene il risultato finale quando il valore degli scarti è inferiore ad un valore soglia deciso dall'operatore oppure dopo un particolare numero di iterazioni anch'esso deciso dall'operatore.

Il risultato consiste in una sezione verticale con andamento delle velocità delle onde P nel sottosuolo e una sezione con i valori di "copertura" che riporta per

ogni cella della sezione stessa il numero di raggi sismici che la attraversano nell'ultima iterazione. La sezione con i valori di copertura è utile alla definizione di affidabilità delle velocità ottenute, poiché alti valori di copertura sottintendono una maggiore accuratezza.

10 PROVE PER ONDE SUPERFICIALI – Nota tecnica

10.1 Introduzione teorica

Il metodo delle onde superficiali attive (anche detto S.W.M. – Surface Wave Method) è un metodo di caratterizzazione sismica basato sull'analisi della dispersione geometrica delle onde superficiali. La procedura consiste nella valutazione delle caratteristiche dispersive del sito a partire dall'acquisizione e il trattamento dei dati sismici e nella loro successiva analisi per determinare le proprietà meccaniche del sottosuolo. La velocità di propagazione delle onde di Rayleigh in un semispazio elastico, omogeneo e isotropo, è indipendente dalla frequenza e il moto indotto dalla propagazione si smorza rapidamente con la profondità, sino ad estinguersi a una profondità circa pari a una lunghezza d'onda. La profondità raggiunta dalla perturbazione dipende, quindi, dalla lunghezza d'onda e, in mezzi omogenei, a diverse lunghezze d'onda corrisponde un'unica velocità di fase (V_R). In un mezzo verticalmente eterogeneo, costituito, cioè, da strati aventi proprietà meccaniche differenti, il comportamento delle onde superficiali diventa dispersivo: a frequenze diverse corrispondono differenti velocità di fase. Lunghezze d'onda diverse interessano, infatti, strati diversi ai quali sono associate proprietà meccaniche specifiche: ogni lunghezza d'onda (e quindi ogni frequenza) si propaga a una velocità di fase che dipende dalle caratteristiche degli strati interessati dalla propagazione.

Nel caso di un mezzo eterogeneo, quindi, le onde superficiali non hanno una singola velocità, ma diverse velocità di fase in corrispondenza delle diverse frequenze: tale fenomeno, dipendente dalla distribuzione spaziale delle

proprietà sismiche del sottosuolo, è noto come dispersione geometrica e la relazione che lega la frequenza alla velocità di fase prende il nome di curva di dispersione.

La propagazione delle onde di Rayleigh in un mezzo verticalmente eterogeneo, è un fenomeno multi-modale: data una determinata stratigrafia, in corrispondenza di una certa frequenza, possono esistere diverse velocità di propagazione, a ognuna delle quali corrisponde un modo di vibrazione del sito. Differenti modi di vibrazione possono manifestarsi simultaneamente.

Da un punto di vista teorico, per quanto riguarda il modo fondamentale, alle alte frequenze, la velocità di fase coincide con la velocità delle onde di Rayleigh dello strato più superficiale, mentre, alle basse frequenze, l'effetto degli strati più profondi diventa importante e la velocità di fase tende asintoticamente alla velocità di propagazione delle onde di taglio dello strato più profondo come se questo fosse esteso infinitamente in profondità. La curva di dispersione gioca un ruolo centrale nell'utilizzo delle onde di Rayleigh ai fini della caratterizzazione dei terreni; infatti, è funzione delle caratteristiche di rigidità del mezzo e può essere utilizzata per un processo inverso avente come obiettivo la stima delle caratteristiche di rigidità stesse.

10.2 Modalità di acquisizione

La fase di acquisizione prevede l'utilizzo di una sorgente, impulsiva o controllata, tramite la quale viene creata una perturbazione che si propaga lungo la superficie libera e viene rilevata da uno o più ricevitori posti lungo dispositivi lineari sul piano campagna. La sorgente è posta a un estremo dello stendimento di misura e di norma si effettuano energizzazioni ai due lati opposti dello stendimento per avere ridondanza di informazione e gestire eventuali disomogeneità del sottosuolo. L'obiettivo è indagare la propagazione delle onde superficiali in una banda di frequenza più ampia possibile, poiché ciò consente di ottenere informazioni sulle proprietà degli strati profondi, che influenzano le componenti a bassa frequenza, e di risolvere con adeguata risoluzione gli strati più superficiali, che influenzano in maniera significativa soprattutto le

componenti ad alta frequenza. Questo implica la scelta di corretti parametri di acquisizione (nello spazio e nel tempo) atti a permettere un'adeguata risoluzione spettrale nella fase di elaborazione.

Il campionamento temporale deve garantire che tutto il treno d'onda relativo alla propagazione delle onde superficiali sia registrato, quindi la durata dell'acquisizione (T) deve essere maggiore o uguale al tempo necessario per l'armonica più lenta a raggiungere il sensore più lontano. L'intervallo di campionamento (dt) deve garantire la stima delle armoniche di interesse in base alle regole del campionamento (frequenza di campionamento almeno doppia (meglio pari a cinque volte) della frequenza più alta da registrare).

Il campionamento spaziale deve consentire di stimare in modo affidabile le lunghezze d'onda di interesse. In particolare la lunghezza dello stendimento di misura (L) non deve essere inferiore alla metà della massima lunghezza d'onda e la distanza intergeofonica (dI) deve essere metà della minima lunghezza d'onda.

Inoltre, poiché dal punto di vista fisico le onde di superficie sono sensibili alle proprietà del mezzo in cui si propagano, fino ad una profondità pari a circa 0.4 volte la lunghezza d'onda massima, la lunghezza L deve essere definita anche in funzione della profondità d'indagine desiderata.

10.3 Elaborazione dati di onde superficiali

Obiettivo dell'elaborazione è la stima della curva di dispersione caratteristica del sito, che esprime la velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza.

La procedura può essere sintetizzata nei seguenti punti:

- I dati di campagna vengono trasformati tramite una doppia trasformata di Fourier in dominio f - k (frequenza-numero d'onda). I massimi di energia sono associabili alle onde di Rayleigh (Tselentis and Delis, 1998) e vengono riconosciuti gli eventi coerenti in ampi intervalli di frequenza, discriminando gli eventi associabili ai diversi modi di propagazione.

- Le curve di dispersione sperimentali sono ricavate con un algoritmo di ricerca dei massimi spettrali. Per ogni frequenza f , il picco spettrale è associato a un determinato valore del numero d'onda k , da cui è possibile ricavare la velocità di fase delle onde di Rayleigh attraverso la relazione:

$$V_R(f) = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{k}$$

- Il modello di sottosuolo viene schematizzato come un mezzo elastico a strati piano-paralleli, omogenei ed isotropi, nel quale l'eterogeneità è rappresentata dalla differenziazione delle caratteristiche meccaniche degli strati.
- Si definisce uno spazio dei parametri di modello (spessore degli strati, velocità delle onde di taglio, densità, coefficiente di Poisson), compatibile con la geologia del sito.
- Tramite un algoritmo di inversione probabilistica, si producono alcune migliaia di profili di Vs (modelli) compatibili con il range di variabilità dei parametri.
- Il problema diretto viene risolto per tutti i modelli estratti e si individuano i soli modelli in cui si minimizza la differenza fra il set di dati sperimentali (curva di dispersione misurata) e il set di dati calcolati (curva di dispersione simulata). La procedura è condotta con tecniche di ricerca globale della soluzione (Wathelet et al, 2004; Socco and Boiero, 2008).

11 BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

- Socco, L.V., and D. Boiero, 2008, Improved Monte Carlo inversion of surface wave data: Geophysical Prospecting, 56, 357-371.



- Tselentis, G.A., and G. Delis, 1998, Rapid assessment of S-wave profiles from the inversion of multichannel surface wave dispersion data: *Annali di Geofisica*, 41, 1-15.
- Wathelet, M., D. Jongmans, and M. Ohrnberger, 2004, Surface-wave inversion using a direct search algorithm and its application to ambient vibration measurements: *Near Surface Geophysics*, 2, 211-221.



ing. Mauro BATTAGLIO

GEOTECNICA
MECCANICA DEI TERRENI E INGEGNERIA DELLE FONDAZIONI
CONSULENZA E PROGETTO

COMUNE DI BUTTIGLIERA ALTA
(Provincia di Torino)

CONSEPI SPA

EX AREA TEKSID IN FRAZIONE FERRIERA

RELAZIONE GEOTECNICA
SULLA
INTERPRETAZIONE DELLA PROVA DI CARICO

Rif. 701-14-R1

Torino, 08-03-2014

Sommario

1. PREMESSA	1
2. LA PROVA DI CARICO	2
3. RISULTATI OTTENUTI	5
4. INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI	7
4.1 Interpretazione della prova come impronta di carico flessibile	7
4.2 Interpretazione della prova come impronta di carico di tipo rigido	11
5. CONCLUSIONI	14

1. PREMESSA

La relazione riporta i risultati della prova di carico su piastra eseguita nel sito "ex area Teksid" in frazione Ferriera nel comune di Buttigliera Alta, in Provincia di Torino, in data 3 marzo 2014.

Lo scopo della prova era quello valutare gli effetti che i rilevati di terreno, la cui esecuzione è prevista alla sommità dell'esistente, possono avere sul materiale attualmente in sito.

Per questo si è proceduto all'esecuzione di una prova di carico direttamente sul terreno, utilizzando come elemento portante una piastra di acciaio di spessore di circa 20 mm, di dimensioni $L \times B$ pari a 1,70 metri x 1,63 metri, caricata fino a comunicare al terreno sottostante una pressione di 69,28 kPa e misurando il cedimento conseguente.

La relazione illustra l'interpretazione dei risultati della prova di carico, attraverso la quale è possibile ricavare un valore operativo del modulo di deformazione del materiale che supporterà il carico dei manufatti in progetto. Sulla base di questa interpretazione è stato possibile fare una previsione sul comportamento dell'ammasso.

La relazione si compone di tre parti:

- l'esposizione delle modalità di prova e le ragioni che le hanno suggerite,
- i risultati ottenuti (si veda a questo proposito la relazione allegata, redatta a cura della ditta *Georilievi*),
- l'interpretazione dei risultati e la loro estensione al caso dei rilevati in progetto.

2. LA PROVA DI CARICO

Essa è stata condotta dopo aver scoticato parte del terreno superficiale esistente (coesivo, limoso argilloso), ricavando così un piano di appoggio regolare e piano, sul quale è stata appoggiata direttamente la piastra di acciaio.

Si veda a questo proposito lo schema di figura 1 dove sono distinti schematicamente i due strati sottostanti la piastra, strato 1 (terreno argilloso) e strato 2 (scorie di lavorazione).

Lo scavo preliminare è di spessore pari a circa 30 cm, per cui, tenuto conto che tale strato di terreno ha uno spessore totale intorno a 60-70 cm, la situazione risultante è quella rappresentata nella fotografia di figura 2.

Le dimensioni della piastra sono pari a 1,70 metri x 1,63 metri: esse sono sensibilmente maggiori di quelle usualmente impiegate per effettuare le prove di carico sui terreni (piastre circolari di diametro pari a 30 cm oppure 76 cm); l'incremento consente infatti di trasmettere la pressione di superficie a profondità maggiori, e di ottenere quindi informazioni sul comportamento del materiale a profondità significative per il problema in esame.

Essendo il mezzo su cui appoggia la piastra un mezzo costituito da due strati, di caratteristiche di compressibilità sensibilmente diverse, è stato necessario ricorrere, per interpretare la prova, a metodi di calcolo che consentono la presa in conto di un mezzo eterogeneo.

Il carico sulla piastra era costituito da elementi prismatici di calcestruzzo armato (new Jersey) del peso ciascuno di 32 kN: in totale sono stati posti n. 6 elementi in due fasi di carico, ciascuna di n. 3 elementi. Il carico totale è quindi pari a 192 kN e la corrispondente pressione (teorica) sul terreno è pari a:

$$p = W/A = 69,28 \text{ kPa}$$

essendo W il peso complessivo degli elementi di carico, A l'impronta di carico (area della piastra). Ciascuno dei due gradini di carico comporta una pressione sul terreno pari a 34,6 kPa.

In corrispondenza di ogni gradino di carico è stato misurato il corrispondente cedimento della piastra: questo è stato misurato ai quattro spigoli, in modo da avere una misura affidabile del cedimento medio. Data la presenza, infatti, di uno strato di terreno tenero (lo strato di argilla) immediatamente al di sotto della piastra, era prevedibile che il suo'abbassamento non sarebbe stato omogeneo.

Va inoltre osservato che:

- le caratteristiche proprie della piastra la rendono, agli effetti geotecnici, un'impronta di carico di tipo flessibile (lastra di acciaio dello spessore di 20 mm circa),
- tuttavia, considerando l'insieme piastra + elementi di carico (rigidi), esso si comporta come una impronta di carico molto rigida.
- Per questo, l'interpretazione dei risultati della prova è stata condotta sia con riferimento ad un'impronta di carico infinitamente flessibile sia, al contrario, ad una impronta rigida. Come si

vedrà, in termini di modulo di deformazione dei due strati di materiale sottostanti la piastra, la differente interpretazione non comporta sostanziali differenze.

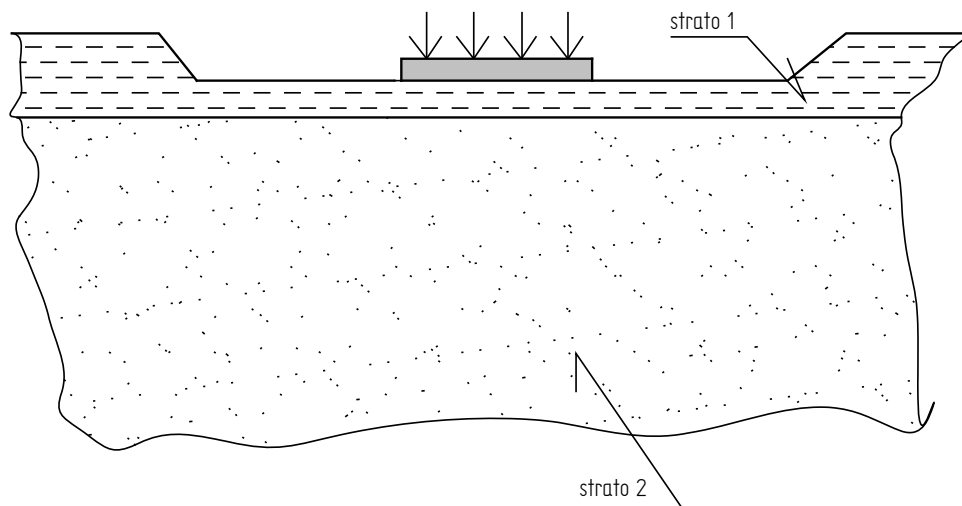


Figura 1 – Schema della prova di carico



Figura 2 – Posa della piastra di carico dopo lo scotico superficiale



Figura 3 – Inizio della prima fase di carico



Figura 4 – Fine della fase di carico

3. RISULTATI OTTENUTI

A questo proposito si rimanda a quanto esposto in dettaglio nella relazione redatta dalla ditta che ha eseguito le misure topografiche del cedimento della piastra (*Georilievi*).

In sintesi si è ottenuto che:

Pressione pari a 34,6 kPa (metà carico)

- Abbassamento spigolo 1: 10,9 mm
- Abbassamento spigolo 2: 0,0 mm
- Abbassamento spigolo 3: 8,1 mm
- Abbassamento spigolo 4: 18,2 mm

Pressione pari a 69,28 kPa (carico completo)

- Abbassamento spigolo 1: 13,8 mm
- Abbassamento spigolo 2: 6,4 mm
- Abbassamento spigolo 3: 18,4 mm
- Abbassamento spigolo 4: 18,3 mm

Si vedano la figura 3 e la figura 4 in cui sono mostrate le condizioni in corrispondenza delle due fasi di carico.

Si noti che in corrispondenza della prima fase di carico, al punto di misura 2 l'abbassamento è stato nullo, mentre sullo spigolo opposto (punto 4) l'abbassamento ha un valore che non muterà nonostante il raddoppio successivo della pressione (fase 2 di carico). Tale comportamento è dovuto alla non perfetta posizione del primo carico, rispetto al centro della piastra. Nel posizionare la seconda parte di carico si è cercato di compensare l'eccentricità di carico, e l'abbassamento misurato sui 4 punti di misura è più regolare.

Indirettamente, questo problema mette in luce il fatto che l'insieme piastra + carico si comporta come una fondazione rigida.

Volendo stabilire un valore medio significativo del cedimento misurato, si può considerare semplicemente il valor medio delle 4 letture per ciascuna fase, ottenendo così:

- cedimento medio fase di carico 1: 9,3 mm
- cedimento medio fase di carico 2: 14,2 mm.

In figura 5 sono stati diagrammati i risultati, in termini di pressione-cedimento medio misurato.

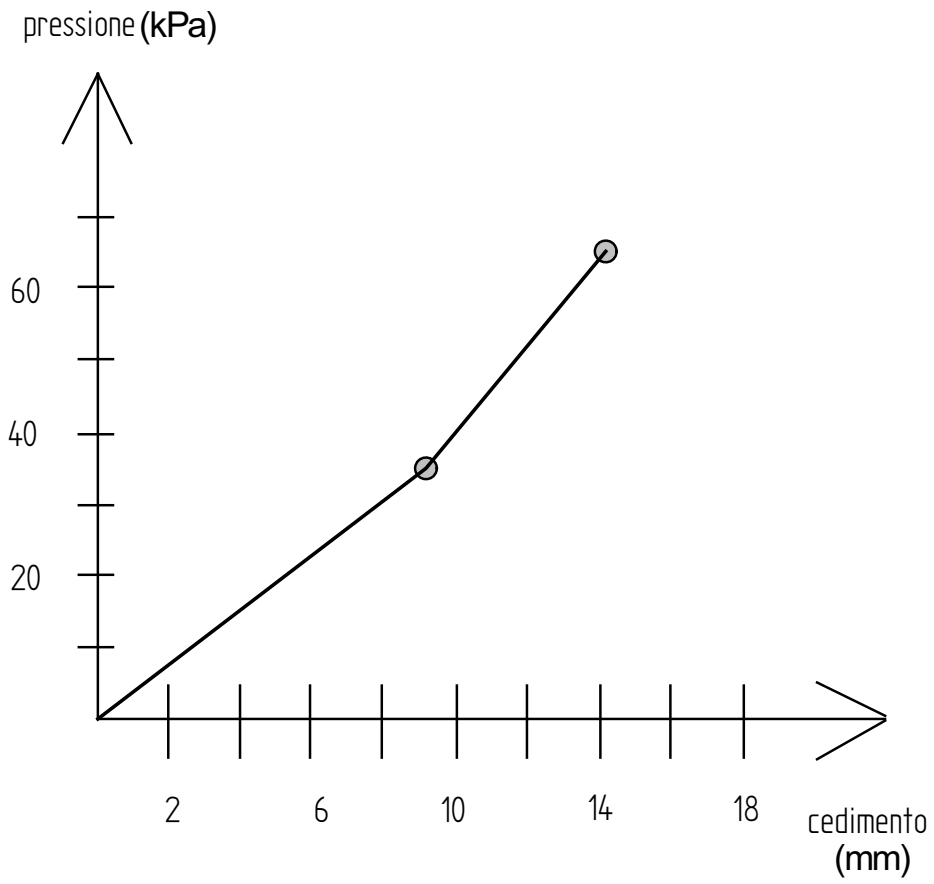


Figura 5 - Relazione carico-cedimento misurata

4. INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI

Nel seguito sono riportate le considerazioni per interpretare i risultati della prova di carico, allo scopo di ottenere un valore rappresentativo del modulo di deformazione dei materiali coinvolti dall'incremento tensionale.

Essendo il materiale di appoggio costituito da un mezzo bi-strato (spessore residuo dell'argilla superficiale e materiale stoccato sottostante), occorre a priori assegnare un rapporto tra i due valori possibili dei rispettivi moduli di deformazione: a questo riguardo si è tenuto presente che tale valore, tipicamente, vale:

$$R = \text{rapporto dei moduli} \approx 4 \div 5$$

con riferimento a quello che è il rapporto caratteristico tra il modulo di deformazione di un terreno argilloso compatto e non saturo e quello di un terreno granulare poco addensato.

4.1 Interpretazione della prova come impronta di carico flessibile

In questo caso la flessibilità propria dell'impronta di carico comporta un valore dell'abbassamento della piastra diverso da punto a punto, ed in particolare: massimo cedimento al centro e minimo ai bordi.

Le misure di cedimento sono state eseguite allo spigolo. Adottando un programma di calcolo che schematizza il mezzo sottostante la piastra come un mezzo ideale, elastico lineare, isotropo ed eterogeneo alla Poulos, sono stati assegnati a ciascuno dei due strati di cui è composto un valore di tentativo del modulo di deformazione, nel rispetto del loro rapporto prefissato.

Adottando:

- modulo E_1 (strato superiore, 1) = 3000 kPa
- modulo E_2 (strato inferiore, 2) = 13500 kPa

si ottiene quanto quanto nel seguito riportato.

In figura 6 è rappresentato l'andamento con la profondità della compressione del mezzo bi-strato nel caso in cui il punto considerato sia quello centrale. Il valore dell'abbassamento in corrispondenza della superficie (alla profondità z pari a zero) è il cedimento ottenuto. Esso, teoricamente, è pari a:

$$S_C = 40 \text{ mm}$$

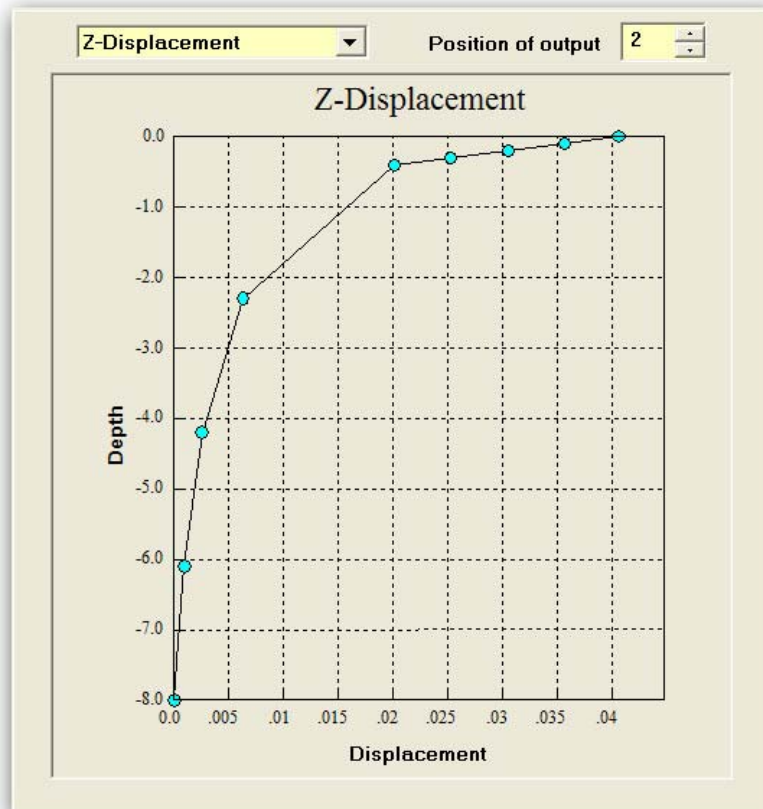


Figura 6 - Cedimento al centro della piastra flessibile

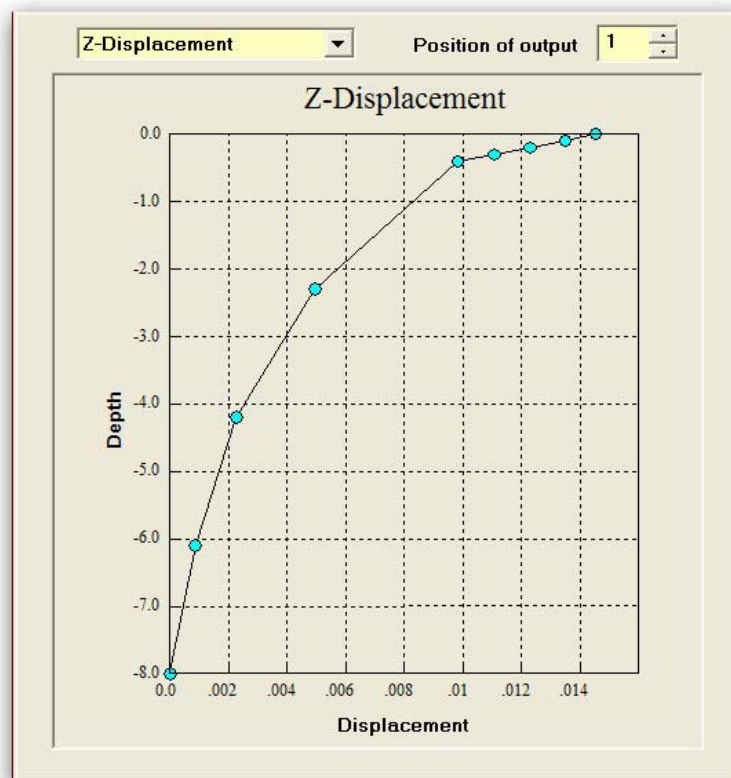


Figura 7 - Cedimento allo spigolo della piastra flessibile

In figura 7 è riportato lo stesso andamento, ma con riferimento al cedimento calcolato allo spigolo della piastra. Esso è pari a 14 mm circa, pari quindi a quello misurato nello stesso punto.

In figura 8 è rappresentata la deformazione calcolata al centro della piastra, mentre in figura 9 è riportata la stessa grandezza calcolata allo spigolo. In entrambi i casi si può osservare che il suo valore è massimo all'interno dello strato argilloso superficiale, il cui modulo è stato valutato pari a 3000 kPa.

In figura 10 è rappresentato l'andamento della tensione verticale nel terreno in funzione della profondità, nel caso piastra flessibile, mentre in figura 11 la stessa variabile, calcolata però allo spigolo.

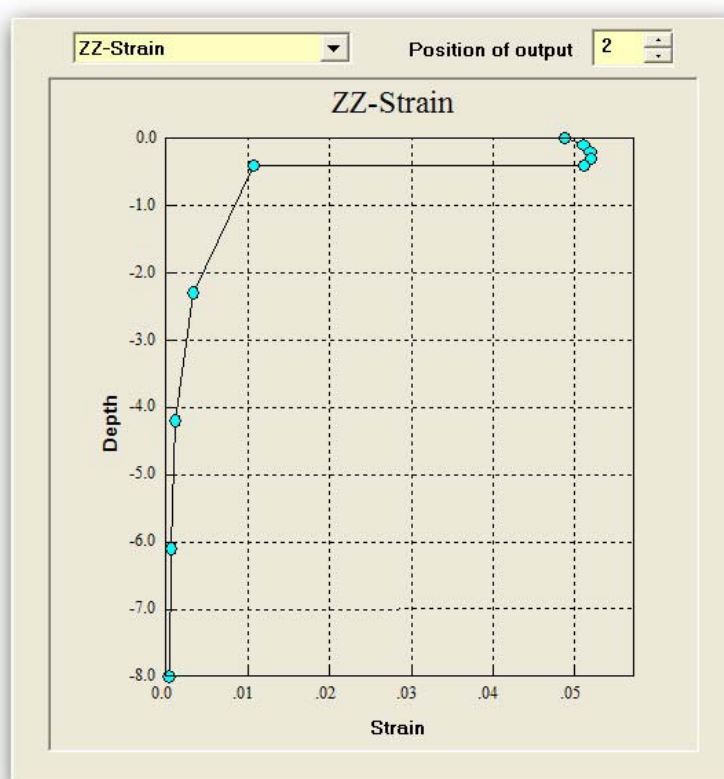


Figura 8 - Deformazione calcolata al centro della piastra flessibile

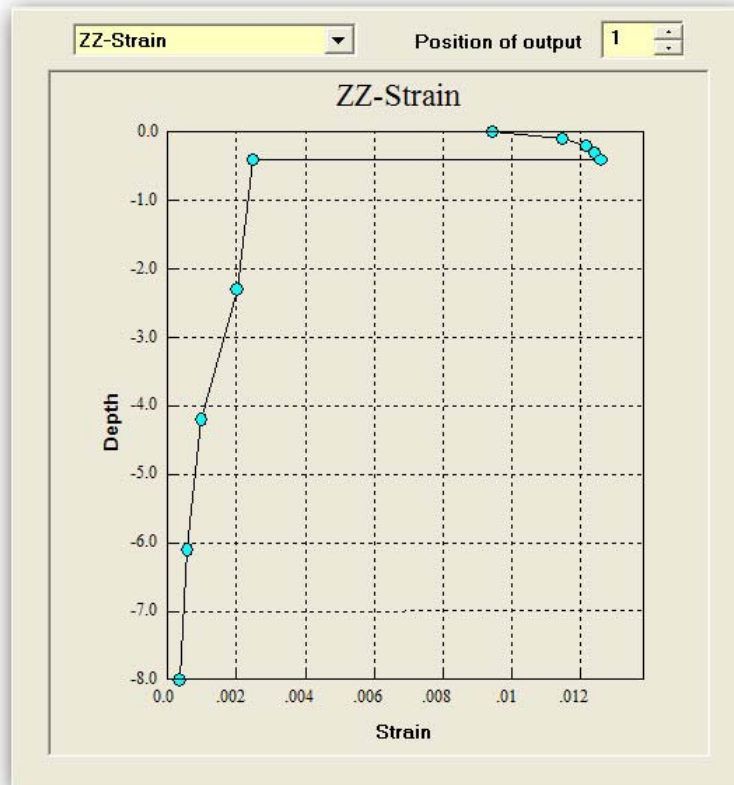


Figura 9 - Deformazione calcolata allo spigolo della piastra flessibile

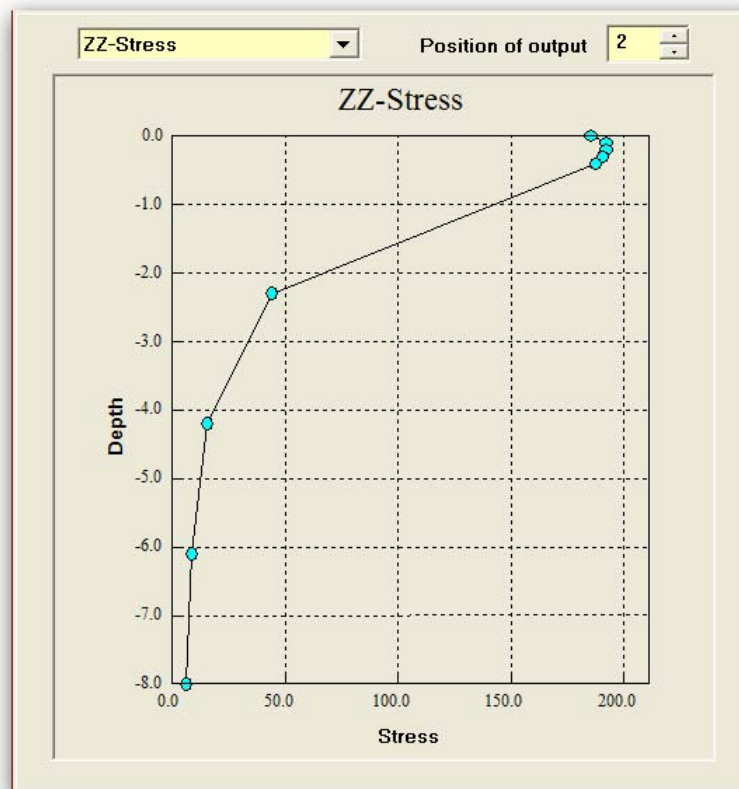


Figura 10 - Tensione al centro della piastra flessibile

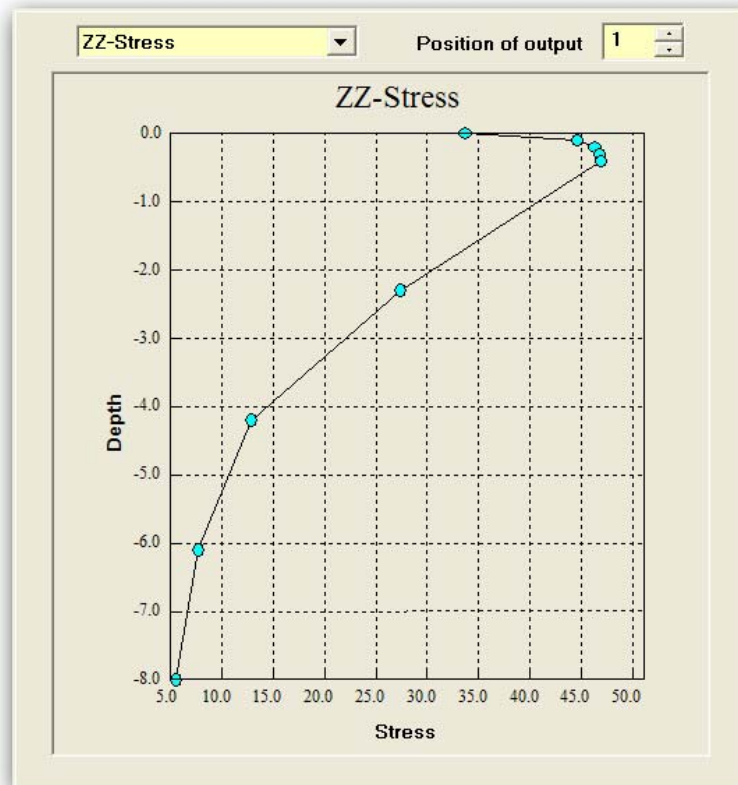


Figura 11 - Tensione allo spigolo della piastra flessibile

4.2 Interpretazione della prova come impronta di carico di tipo rigido

In questo caso ha senso fare riferimento al solo cedimento costante della piastra, in quanto essa può solo traslare rigidamente.

Adottando in questo caso la stessa copia di valori di modulo di deformazione prima vista per il calcolo secondo una piastra flessibile, si ottiene un cedimento di tipo rigido S pari a circa:

$$S = 12 \text{ mm}$$

e quindi all'incirca uguale a quello precedentemente ottenuto allo spigolo della piastra flessibile. Si veda a questo proposito quanto rappresentato in figura 12, che riporta l'insieme dei dati di calcolo impiegati ed il valore ottenuto.

Nel caso in cui dalla stratigrafia venisse eliminato lo strato sottile di argilla compatta di spessore stimato pari a 40 cm, il cedimento corrispondente (dovuto alla compressione del solo strato di modulo E_2 sarebbe stato pari circa:

$$S' = 6 \text{ mm}$$

essendo così evidente che circa il 50% del cedimento (calcolato ma anche misurabile) è dovuto alla sola compressione dello strato superiore. Si veda a tale proposito la figura 13.

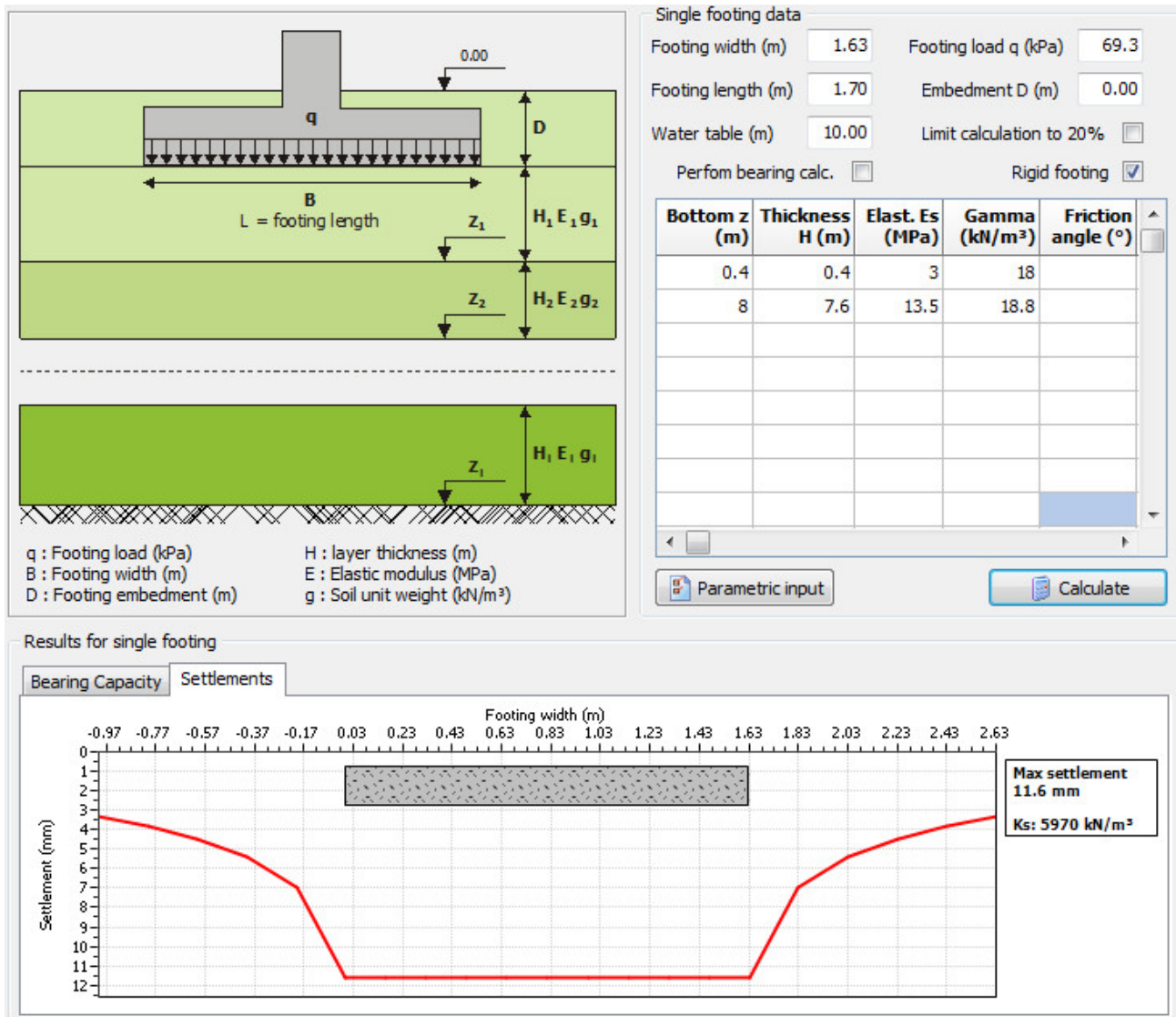


Figura 12 - Cedimento rigido della piastra calcolato con E_1 e con E_2

5. CONCLUSIONI

In base alla prova sperimentale eseguita (prova di carico su piastra) e all'interpretazione dei risultati ottenuti, è stato possibile, attraverso l'analisi a ritroso dei dati, ricavare un valore operativo per il materiale stoccato nel sito, in abbinamento alla stessa grandezza relativa allo strato superficiale (capping di argilla).

Tale valore è risultato pari a circa:

$$E_2 = 13500 \text{ kPa}$$

Nel corso della prova si è osservato che all'aumento della pressione il cedimento si mantiene pressoché in relazione lineare con la pressione applicata.

Ciò porta a concludere che l'incremento di tensione nel terreno avviene in campo lineare, e quindi si è lontani da fenomeni di plasticizzazione del materiale. Questo risultato è stato ottenuto fino a valori di pressione sulla piastra di circa 70 kPa, valore che è certamente maggiore di quanto sarà realizzato in sito.

Da ciò si può dedurre che per tali incrementi tensionali (imposti alla superficie) non sarà indotto nel materiale della discarica alcuna modificazione fisica.

Dal punto di vista progettuale, è possibile stimare il cedimento che subirà il materiale della discarica a seguito della realizzazione di manufatti quali i riporti in progetto. A questo proposito si può osservare quanto riportato nell'Allegato 1, pagina 1, in cui il diagramma in basso a sinistra rappresenta la variazione del cedimento (in mm) con la pressione comunicata al terreno: ad esempio, nel caso di un rilevato di base pari a 6 metri e per un valore della pressione compreso tra 40 e 50 kPa, si avrebbe un cedimento del terreno pari a circa 16 mm. Si veda infatti la linea di colore marrone superiore.

Nel caso in cui si volesse asportare localmente, prima della esecuzione del rilevato, l'intero strato coesivo superficiale, con lo stesso criterio sopra visto si otterrebbe quanto riportato a pagina 2 dell'allegato citato: in questo caso, nell'ambito dello stesso campo di pressioni, il cedimento atteso sarebbe pari a circa 11 mm.

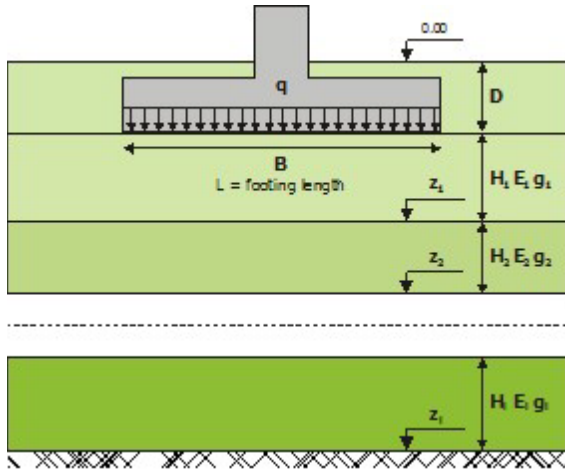
ing. Mauro Battaglio



ALLEGATO 1

Valutazione del cedimento dei rilevati

Parametric analysis of expected settlements below a rectangular footing according to DIN 4019
Project :



Parametric analysis data

Footing type:	Rigid
Ground water:	10.00 (m)
L/B ratio:	1.00
Minimum footing width B_{min} :	1.00 (m)
Maximum footing width B_{max} :	6.00 (m)
Minimum footing pressure q_{min} :	30.00 (kPa)
Maximum footing pressure q_{max} :	100.00 (kPa)
Embedment depth D:	0.00 (m)

Soil layer input data

Layer No	Bottom z (m)	Layer thickness (m)	Modulus of elasticity (MPa)	Gamma
1	0.40	0.40	3.00	18.00
2	8.00	7.60	13.50	18.80

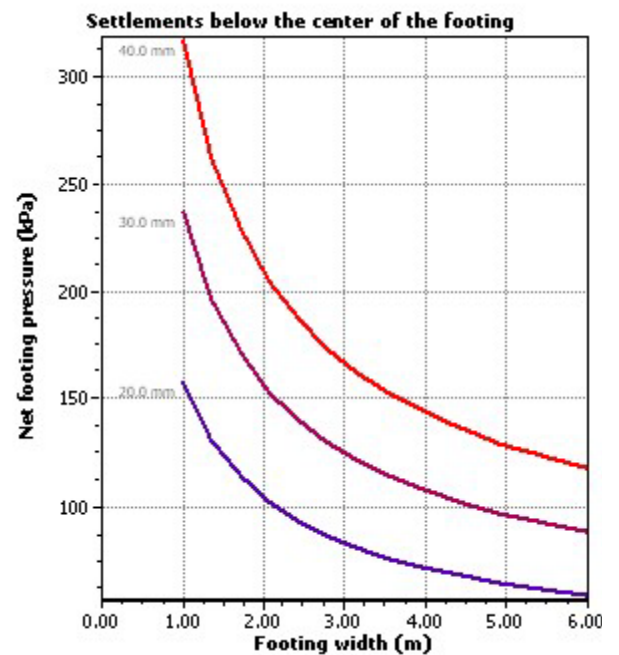
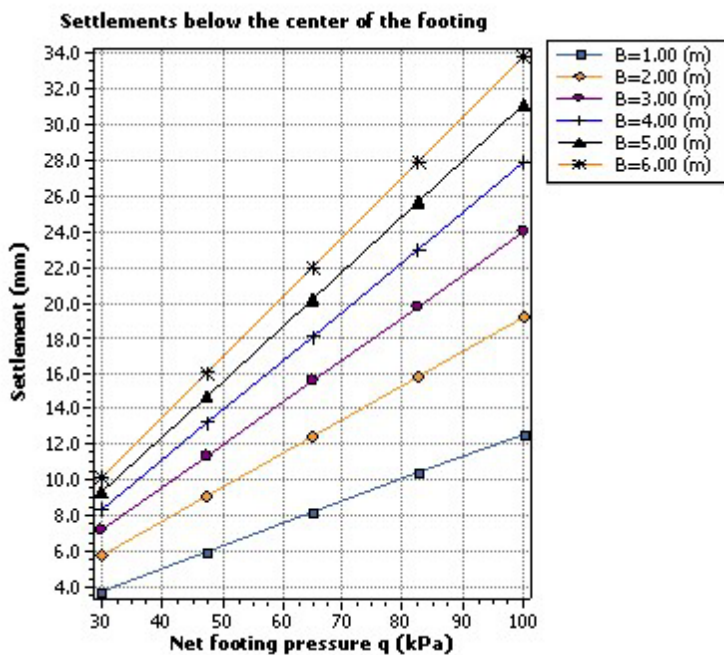
Parametric settlement results

$$\text{Settlement} = \frac{1}{E_s} \times \int_0^{d_s} l \times \sigma_1 dz$$

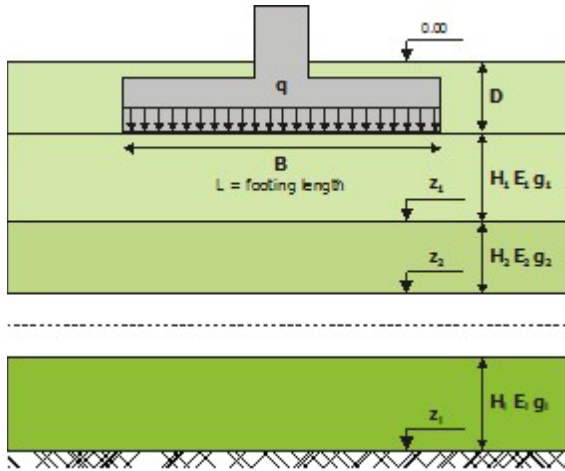
Calculations are carried out using the procedure described in DIN 4019. The general equation for a single soil layer is presented above. The software uses an analytical procedure to calculate the above integral.

Expected settlements (mm)

q_0 (kPa)	B = 1.00	B = 2.00	B = 3.00	B = 4.00	B = 5.00	B = 6.00
30.00	3.80	5.75	7.20	8.36	9.32	10.14
47.50	6.01	9.10	11.40	13.23	14.76	16.05
65.00	8.22	12.46	15.60	18.11	20.19	21.97
82.50	10.44	15.81	19.79	22.98	25.63	27.88
100.00	12.65	19.16	23.99	27.86	31.07	33.79



**Parametric analysis of expected settlements below a rectangular footing according to DIN 4019
Project :**



Parametric analysis data

Footing type:	Rigid
Ground water:	10.00 (m)
L/B ratio:	1.00
Minimum footing width B_{min} :	1.00 (m)
Maximum footing width B_{max} :	6.00 (m)
Minimum footing pressure q_{min} :	30.00 (kPa)
Maximum footing pressure q_{max} :	100.00 (kPa)
Embedment depth D:	0.00 (m)

Soil layer input data

Layer No	Bottom z (m)	Layer thickness (m)	Modulus of elasticity (MPa)	Gamma
1	8.00	8.00	13.50	18.80

Parametric settlement results

$$\text{Settlement} = \frac{1}{E_s} \times \int_0^s l \times \sigma_1 dz$$

Calculations are carried out using the procedure described in DIN 4019. The general equation for a single soil layer is presented above. The software uses an analytical procedure to calculate the above integral.

Expected settlements (mm)

q_0 (kPa)	B = 1.00	B = 2.00	B = 3.00	B = 4.00	B = 5.00	B = 6.00
30.00	1.37	2.86	4.16	5.27	6.21	7.02
47.50	2.16	4.53	6.59	8.35	9.84	11.12
65.00	2.96	6.20	9.02	11.42	13.46	15.22
82.50	3.76	7.87	11.45	14.50	17.09	19.31
100.00	4.55	9.53	13.88	17.57	20.71	23.41

