

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



S.O. COORDINAMENTO TERRITORIALE SUD

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

LINEA POTENZA-METAPONTO

INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE TRATTA GRASSANO-BERNALDA

INTERVENTI DI ADEGUAMENTO DELL'IMPIANTO DI BERNALDA

GEOTECNICA

RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA GENERALE DELLA STAZIONE DI BERNALDA

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

I A 9 5 4 3 R 7 8 G E G E 0 0 0 6 0 0 2 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	G. Grimaldi	Ottobre 2021	C.Toraldo	Ottobre 2021	I. D'Amore	Ottobre 2021	
B	Emissione esecutiva	G. Grimaldi	Dicembre 2021	C.Toraldo	Dicembre 2021	I. D'Amore	Dicembre 2021	

File: [IA9543R78GEGE0006002B.docx](#)

n. Elab.: X

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA POTENZA–METAPONTO INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE TRATTA GRASSANO–BERNALDA INTERVENTI DI ADEGUAMENTO DEGLI IMPIANTI DI PISTICCI E BERNALDA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	Relazione Geotecnica e sismica generale della Stazione di Bernalda	COMMESSA IA95	LOTTO 43	CODIFICA R 78 GE	DOCUMENTO GE 0006 002	REV. A

INDICE

1	PREMESSA.....	5
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	6
3	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	7
4	LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICA DELL'AREA OGGETTO DI STUDIO	7
5	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO	9
5.1	ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO	9
5.1.1	Unità della Fossa Bradanica.....	9
5.1.2	Depositi continentali quaternari	9
5.2	ASSETTO GEOMORFOLOGICO.....	12
5.2.1.1	Elementi idrografici.....	12
5.2.1.2	Elementi strutturali e tettonici	13
5.2.1.3	Forme, processi e depositi gravitativi.....	13
5.2.1.4	Forme, processi e depositi dovuti alle acque correnti superficiali.....	14
5.2.1.5	Forme antropiche e manufatti	15
5.3	ASSETTO IDROGEOLOGICO	15
5.3.1	Assetto idrogeologico	16
5.3.1.1	Complessi delle unità del substrato	16
5.3.1.2	Complesso fluvio-lacustre dei depositi di copertura.....	16
6	INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	18
6.1	DESCRIZIONE DELLE INDAGINI	18
6.2	SONDAGGI.....	19
6.1	INDAGINI GEOFISICHE	19
7	CRITERI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	20
7.1	TERRENI A GRANA GROSSA (SABBIE E GHIAIE)	20
7.1.1	Classificazione.....	20

	LINEA POTENZA–METAPONTO INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE TRATTA GRASSANO–BERNALDA INTERVENTI DI ADEGUAMENTO DEGLI IMPIANTI DI PISTICCI E BERNALDA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	Relazione Geotecnica e sismica generale della Stazione di Bernalda	COMMESSA IA95	LOTTO 43	CODIFICA R 78 GE	DOCUMENTO GE 0006 002	REV. A

7.1.2	Stato di addensamento (Dr)	20
7.1.3	Resistenza in terreni incoerenti (ϕ').....	21
7.1.4	Caratteristiche di deformabilità	21
7.2	DEPOSITI COESIVI.....	22
7.2.1	Classificazione.....	22
7.2.2	Caratteristiche di resistenza	22
7.2.3	Caratteristiche di deformabilità	22
7.2.4	Caratteristiche di consolidazione.....	23
8	DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO.....	24
8.1	AZIONE SISMICA.....	24
8.2	VITA NOMINALE	24
8.3	CLASSE D'USO.....	25
8.4	PERIODO DI RIFERIMENTO	25
8.5	VALUTAZIONE DEI PARAMETRI DI PERICOLOSITÀ SISMICA.....	26
8.6	CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL TERRENO	27
8.6.1	Categorie di Sottosuolo	27
8.6.2	Condizioni Topografiche.....	27
8.6.3	Amplificazione Stratigrafica e Topografica	27
8.6.4	Parametri Sismici di Calcolo.....	28
9	ANALISI DI PERICOLOSITÀ RISPETTO AL FENOMENO DELLA LIQUEFAZIONE.....	29
10	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	35
10.1	DEFINIZIONE DELLE UNITÀ GEOTECNICHE INDIVIDUATE	35
10.1.1	Unità Ra.....	35
10.1.2	Unità Aa (LA)	35
10.1.2.1	Identificazione	35
10.1.2.2	Parametri di resistenza al taglio	42
10.1.2.3	Parametri di deformabilità	46
10.1.2.4	Permeabilità	46

	LINEA POTENZA–METAPONTO INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE TRATTA GRASSANO–BERNALDA INTERVENTI DI ADEGUAMENTO DEGLI IMPIANTI DI PISTICCI E BERNALDA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	Relazione Geotecnica e sismica generale della Stazione di Bernalda	COMMESSA IA95	LOTTO 43	CODIFICA R 78 GE	DOCUMENTO GE 0006 002	REV. A

10.2 DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI GEOTECNICI 47

11 MONITORAGGIO PIEZOMETRICO 48

1 PREMESSA

Nel presente documento si riporta la caratterizzazione geotecnica a supporto del Progetto di Fattibilità Tecnico Economica degli Interventi di adeguamento degli impianti della stazione di Bernalda della tratta Grassano – Bernalda, nell'ambito della linea ferroviaria Potenza-Metaponto.

Il presente studio è relativo agli interventi in corrispondenza della **stazione di Bernalda (km 258+723)**, in particolare il lavoro si è svolto attraverso le seguenti fasi operative:

- breve inquadramento geologico, morfologico e idrogeologico;
- descrizione delle indagini geotecniche eseguite in sito ed in laboratorio;
- rilievo del livello di falda;
- descrizione dei criteri in base ai quali sono stati interpretati i risultati delle indagini geotecniche effettuate;
- interpretazione dei risultati delle indagini geotecniche e definizione dei parametri geotecnici, in termini di proprietà fisiche e meccaniche (resistenza al taglio e deformabilità), per le unità geotecniche intercettate lungo la viabilità;

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>LINEA POTENZA–METAPONTO INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE TRATTA GRASSANO–BERNALDA INTERVENTI DI ADEGUAMENTO DEGLI IMPIANTI DI PISTICCI E BERNALDA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</p>					
<p>Relazione Geotecnica e sismica generale della Stazione di Bernalda</p>	<p>COMMESSA IA95</p>	<p>LOTTO 43</p>	<p>CODIFICA R 78 GE</p>	<p>DOCUMENTO GE 0006 002</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 6 di 48</p>

2 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

- [1]D.M. 17 gennaio 2018 (G.U. 20 febbraio 2018 n. 42) - Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni».
- [2]Circolare 21 Gennaio 2019 n. 7 C.S.LL.PP. (G.U. n. 35 del 11 febbraio 2019) - Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.
- [3]RFI DTC SI PS MA IFS 001 E - Manuale di Progettazione delle Opere Civili - Parte II - Sezione 2 – Ponti e Strutture (31 Dicembre 2020)
- [4]Eurocodice EN 1997-1: Progettazione Geotecnica – Parte 1: Regole generali
- [5]Eurocodice EN 1998-5: Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazione, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici
- [6]RFI DTC SICS MA IFS 001 E - Manuale di Progettazione delle Opere Civili - Parte II - Sezione 3 - Corpo Stradale (31 Dicembre 2020);

3 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

PFTE POTENZA METAPONTO - Grassano-Ferrandina:

- | | |
|-----------------------------|---|
| ➤ IA95 43 R69 SG GE0005 001 | Indagini geognostiche - Sondaggi S-V15 ed S-V28 |
| ➤ IA95 23 R69 IG GE0005 001 | Indagini geofisiche |
| ➤ IA95 43 R69 PR GE0005 001 | Prove di laboratorio - Campioni dei sondaggi S-V15 ed S-V28 |
| ➤ IA95 43 R69 RH GE0005 001 | Monitoraggio piezometrico (Lecture da Giugno 2021 a Ottobre 2021) |
| ➤ IA95 43 R69 L5 GE0001 002 | Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica |
| ➤ IA9543R69L5GE0001002 | Carta geologica con elementi di geomorfologia e sezioni geologiche-1:5000 |
| ➤ IA95 43 R69 L5 GE002 002 | Carta idrogeologica e sezioni idrogeologiche – 1:5000 |

4 LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICA DELL'AREA OGGETTO DI STUDIO

L'area di studio si colloca circa 13 km a nord ovest del Golfo di Taranto, nei settori più esterni dell'Appennino Lucano. Il tracciato ricade lungo il margine settentrionale del medio-basso corso del Fiume Basento, a ridosso della Linea ferroviaria Potenza Metaponto. L'opera in progetto, in corrispondenza della Stazione di Bernalda, ricade nei territori comunali di Bernalda (Provincia di Matera).



Figura 1 – Stralcio dell'area di studio in scala 1:10.000 con individuazione della tratta ferroviaria in progetto (magenta).

Dal punto di vista orografico, il tracciato di progetto impegna settori di fondovalle posti a quote variabili tra i 24 ed i 28 m circa s.l.m., sviluppandosi a quote di progetto comprese tra i 21.6 ed i 28.0 m circa s.l.m.. I rilievi collinari che bordano la piana presentano una morfologia piuttosto regolare e raggiungono quote mediamente comprese tra i 30 ed i 130 m circa s.l.m..

Dal punto di vista morfologico l'area di studio è caratterizzata da una piana alluvionale piuttosto estesa, con diversi ordini di terrazzi distribuiti a varie quote sul fondovalle attuale. Il tracciato in oggetto, si colloca lungo il margine settentrionale della piana del Fiume Basento, che presenta un andamento circa WNW-ESE. I fianchi della Valle del Basento sono bordati da rilievi collinari generalmente poco accentuati, spesso interrotti da valli fluviali e incisioni torrentizie drenanti verso i settori di fondovalle.

Il principale corso d'acqua dell'area è rappresentato dal Fiume Basento, che rappresenta il principale asse di drenaggio di tutto questo settore dell'Appennino Lucano. Tale fiume è alimentato da numerosi torrenti e corsi d'acqua secondari a carattere marcatamente stagionale o torrentizio, che intersecano in diversi punti il tracciato ferroviario in progetto. Ad essi si aggiungono numerosi solchi da ruscellamento concentrato, attivi solo in concomitanza con eventi meteorici particolarmente intensi.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA POTENZA–METAPONTO INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE TRATTA GRASSANO–BERNALDA INTERVENTI DI ADEGUAMENTO DEGLI IMPIANTI DI PISTICCI E BERNALDA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	Relazione Geotecnica e sismica generale della Stazione di Bernalda	COMMESSA IA95	LOTTO 43	CODIFICA R 78 GE	DOCUMENTO GE 0006 002	REV. A

5 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO

5.1 ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO

Nei settori di studio sono state individuate le seguenti unità geologiche, descritte dal basso verso l'alto stratigrafico. Di seguito se ne riporta una descrizione sintetica, rimandando, per i dettagli, alla Relazione Geologica e agli elaborati grafici dedicati.

5.1.1 Unità della Fossa Bradanica

Nell'area di studio, le successioni stratigrafiche della Fossa Bradanica sono rappresentate da una singola unità geologica, nota in letteratura come Argille Subappennine. L'unità affiora lungo i rilievi collinari che bordano il fondovalle del Fiume Basento e rappresenta il substrato geologico dell'intera area di studio.

Argille Subappennine

La formazione in esame si rinviene diffusamente in tutto l'area di studio, sia lungo i rilievi collinari che bordano la piana del Fiume Basento che al di sotto dei terreni di copertura più recenti. Si tratta di depositi marini di piattaforma e scarpata superiore, costituiti da due differenti litofacies a composizione argilloso-limosa e ghiaioso-conglomeratica. Poggiano in contatto stratigrafico discordante su unità non affioranti nell'area e presentano uno spessore massimo di circa 1000 m. Dal punto di vista cronologico, questi terreni sono riferibili all'intervallo Pleistocene inferiore – Pleistocene medio.

La litofacies argilloso-limosa (**ASP**) è formata da argille limose e limi argillosi di colore grigio e grigio-azzurro, marrone e giallastro per alterazione, in strati da sottili a molto spessi, generalmente poco evidenti e a laminazione piano-parallela, con sottili e frequenti intercalazioni di argille marnose, sabbie limose e sabbie medio-fini; nella parte bassa della sequenza le argille passano eteropicamente a sabbie quarzoso-micacee di colore grigio e giallo-ocra, a grana fine, massive o a stratificazione piano-parallela; nella parte alta della sequenza sono presenti strati da molto sottili a medi di vulcanoclastiti gradate a grana fine, cui si associano lamine di cineriti grigio-biancastre.

5.1.2 Depositi continentali quaternari

I depositi continentali quaternari sono rappresentati, nei settori di interesse progettuale, da sei distinte unità, di natura prevalentemente alluvionale, eluvio-colluviale e antropica. Tali terreni si rinvengono in tutta la zona di studio e, in particolare, lungo il fondovalle del Fiume Basento.

Depositi alluvionali antichi

Questi depositi affiorano nelle aree di raccordo tra i versanti e il settore di piana alluvionale del Fiume Basento e nei settori più esterni dello stesso, in corrispondenza di superfici terrazzate o conoidi. Si tratta di depositi continentali di canale fluviale, argine, conoide alluvionale, piana inondabile e lago di meandro, costituiti da due differenti litofacies a composizione ghiaioso-sabbiosa e limoso-argillosa. Poggiano in contatto stratigrafico discordante sulle unità più antiche e presentano uno spessore massimo superiore a 30 m. Questi terreni sono riferibili al Pleistocene superiore – Olocene.

La litofacies ghiaioso-sabbiosa (bc1) è formata da ghiaie poligeniche ed eterometriche, da sub-angolose a sub-arrotondate, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio, marrone e giallastro, da scarsa ad abbondante; a luoghi si rinvengono passaggi di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio e giallastro, a struttura indistinta o laminata, con abbondanti ghiaie poligeniche da sub-angolose a sub-arrotondate.

La litofacies limoso-argillosa (bc3) è formata da argille limose e limi argillosi di colore grigio e marrone, talora ocra o nocciola, a struttura indistinta o laminata, con rare ghiaie poligeniche da sub-angolose a sub-arrotondate; a

luoghi si rinvencono intercalazioni sabbie limose giallastre e passaggi di limi argilloso-sabbiosi marroni e bruno-rossastri; talora sono presenti sottili lenti di ghiaie poligeniche di dimensioni millimetriche e centimetriche, da sub-arrotondate ad arrotondate.

Depositi alluvionali recenti

L'unità in esame affiora in corrispondenza della piana alluvionale del Fiume Basento, nel settore meridionale dell'area di studio e, più limitatamente, lungo l'alveo di alcuni corsi d'acqua secondari. Si tratta di depositi continentali di canale fluviale, argine, conoide alluvionale, piana inondabile e lago di meandro, costituiti da una singola litofacies a composizione sabbioso-limosa. Poggiano in contatto stratigrafico discordante sulle unità più antiche e sono caratterizzati da uno spessore massimo superiore a 19 m. Dal punto di vista cronostatigrafico, i depositi in questione sono ascrivibili all'Olocene.

La litofacies sabbioso-limosa (bb2) è formata da sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio, marrone e giallastro, a struttura indistinta o laminata, con locali ghiaie poligeniche da sub-angolose ad arrotondate; a luoghi si rinvencono passaggi di limi argilloso-sabbiosi marroni e lenti di ghiaie poligeniche ed eterometriche, da sub-angolose a sub-arrotondate, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio e marrone, generalmente abbondante.

Depositi alluvionali attuali

Questi depositi affiorano lungo l'alveo del Fiume Basento e dei suoi affluenti maggiori. Si tratta di depositi continentali di canale fluviale, argine e piana inondabile, costituiti da una singola litofacies a composizione ghiaioso-sabbiosa. Tali terreni poggiano in contatto stratigrafico discordante sulle unità più antiche e presentano uno spessore massimo di circa 3 m. Dal punto di vista cronostatigrafico, i depositi in questione sono riferibili all'Olocene – Attuale.

L'unica litofacies riferibile a tale unità (ba1) è costituita da ghiaie poligeniche ed eterometriche, da sub-angolose a sub-arrotondate, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio, giallastro e avana, da scarsa ad abbondante; a luoghi si rinvencono passaggi di sabbie limose, limi sabbiosi e limi argillosi di colore grigio, marrone e giallastro, a struttura indistinta o debolmente laminata, con abbondanti ghiaie poligeniche da sub-angolose a sub-arrotondate.

Coltri eluvio-colluviali

I terreni in esame si rinvencono diffusamente in tutta l'area di studio, nelle zone impluviali o alla base dei versanti più importanti ed estesi. Si tratta di depositi continentali di versante, dilavamento e alterazione del substrato, costituiti da una singola litofacies a composizione limoso-argillosa. Poggiano in contatto stratigrafico discordante sulle unità più antiche e sono caratterizzati da uno spessore massimo di circa 4 m. Questi terreni sono riferibili all'Olocene – Attuale.

La litofacies limoso-argillosa (b2) è formata da limi argillosi, argille sabbiose e limi argilloso-sabbiosi di colore marrone e bruno-rossastro, a struttura indistinta, con diffusi resti vegetali e locali ghiaie poligeniche da sub-angolose ad arrotondate; a luoghi si rinvencono passaggi di sabbie limose e limi sabbiosi di colore marrone, grigio e giallastro, a struttura indistinta, con diffusi resti vegetali e frequenti ghiaie poligeniche da sub-angolose a sub-arrotondate.

Riperti antropici

Nella zona di studio, questi terreni si rinvencono in corrispondenza dei nuclei industriali e lungo le principali reti stradali e ferroviarie. Si tratta di depositi continentali di genesi antropica, costituiti da una singola litofacies a composizione ghiaioso-sabbiosa. Poggiano in contatto stratigrafico discordante sulle unità più antiche e presentano uno spessore massimo di circa 3 m. Dal punto di vista cronostatigrafico, i depositi in questione sono riferibili

all'Attuale.

Sotto il profilo sedimentologico, l'unica litofacies riferibile a tale unità (h) sono formati prevalentemente da ghiaie poligeniche ed eterometriche, da angolose a sub-arrotondate, con locali frammenti di laterizi, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio e nocciola, da scarsa ad abbondante; a luoghi si rinvengono passaggi di sabbie e sabbie limose grigie, marroni e giallastre, a struttura indistinta, con diffusi resti vegetali e abbondanti ghiaie poligeniche da sub-angolose a sub-arrotondate.

5.2 ASSETTO GEOMORFOLOGICO

Le caratteristiche geomorfologiche dell'area risultano fortemente condizionate dall'assetto geologico del territorio e, quindi dalle caratteristiche stratigrafiche e strutturali dei termini litologici affioranti. Ad essi si aggiungono i fenomeni di modellamento superficiale che hanno agito durante tutto il Quaternario e le numerose variazioni eustatiche succedutesi nel tempo.



Figura 2 – Vista panoramica dell'alto corso del Fiume Basento e dei rilievi collinari che bordano i fianchi della valle alluvionale (Google Earth)

L'evoluzione morfologica del territorio ed i principali elementi geomorfologici rilevati, pertanto, sono direttamente connessi al deflusso delle acque correnti superficiali ed ai fenomeni gravitativi e/o erosivi agenti lungo i versanti. Tra questi assume particolare rilevanza il corso del Fiume Basento, che con la sua azione erosiva e deposizionale contribuisce in maniera sostanziale all'evoluzione geomorfologica dell'area. Ai suddetti fattori vanno aggiunti, inoltre, le forme ed i depositi connessi con l'attività antropica, le forme di genesi mista e gli elementi strutturali e tettonici.

5.2.1.1 Elementi idrografici

L'area di studio ricade interamente nel bacino idrografico del Fiume Basento. Tale bacino si estende per circa 1537 km² tra il Monte Arioso, dove sono presenti le sorgenti, e il Mar Ionio, dove è situata la sua foce. Dal punto di vista amministrativo, il bacino ricade nel territorio delle province di Potenza e Matera, interessando a NW i monti dell'Appennino lucano settentrionale e a SE, la costa ionica lucana. Dal punto di vista idrografico, il bacino confina a Nord con il bacino del Fiume Bradano, a Sud con il bacino dei Fiumi Cavone e Agri e a Ovest con il bacino del Fiume Sele.

Con un'asta di circa 149 km il Fiume Basento si sviluppa inizialmente in direzione grossomodo W-E tra Monte Arioso e la stazione di Salandra, dove devia in direzione circa NW-SE fino alla foce nel Mar Ionio, nei pressi di Metaponto. La portata media alla foce è di circa 12.2 m³/s.

I corsi d'acqua secondari dell'area sono tutti degli affluenti del Fiume Basento, sia in destra che in sinistra idrografica. Tra questi i principali sono rappresentati, da Nord a Sud, dal Fosso Bradanello, dal Fosso delle Rose e dal Fosso Lo Spineto. Si tratta in generale di corsi a carattere marcatamente stagionale o torrentizio, con portate estremamente variabili e fortemente condizionate dal regime delle piogge, con andamento grossomodo ortogonale a quello dell'alveo principale. Ad essi si aggiungono, inoltre, numerosi valloni e solchi di erosione concentrata attivi solo in concomitanza con eventi meteorici particolarmente intensi.

5.2.1.2 Elementi strutturali e tettonici

Un importante ruolo nell'evoluzione morfologica del territorio è svolto dall'assetto strutturale dei litotipi affioranti e dal loro differente grado di erodibilità. Quest'ultimo risulta essenzialmente legato alla natura litologica e sedimentologica dei depositi, oltre che al loro grado di cementazione e alterazione. Secondario è invece il ruolo svolto dalla tettonica, sia a causa della specifica evoluzione strutturale dell'area che in relazione alla presenza di diffuse e spesse coperture quaternarie.

In generale, la morfogenesi selettiva ha portato allo sviluppo di forme morbide e poco marcate in corrispondenza dei settori di affioramento di termini prevalentemente pelitici (ASP), con rilievi generalmente poco acclivi intervallati da vallate di genesi alluvionale. Fanno eccezione i settori di versante fortemente incisi dalle acque di ruscellamento superficiale, dove si rinvergono scarpate, stacchi morfologici e zone calanchive piuttosto estese. Localmente, la sommità dei rilievi collinari è caratterizzata dalla presenza di limitate superficie terrazzate, blandamente degradanti verso il fondovalle. Tali superfici presentano un assetto piuttosto regolare e sono generalmente bordate da scarpate morfologiche di genesi sia fluviale che gravitativa.

Le strutture connesse alla tettonica fragile sono rappresentate da faglie dirette ad alto angolo, con modesta estensione areale. Tali elementi presentano rigetti nell'ordine di pochi metri e interessano prevalentemente le unità marine del substrato. Essendo sempre sepolte al di sotto dei depositi quaternari più recenti, queste strutture non sono visibili in superficie e, pertanto, svolgono un ruolo secondario nell'evoluzione morfologica del territorio. La loro presenza può essere dedotta unicamente da studi bibliografici a grande scala, mentre non sono state rinvenute tracce dirette di elementi tettonici nella zona di studio.

5.2.1.3 Forme, processi e depositi gravitativi

Nell'attuale contesto morfoclimatico, i fenomeni gravitativi di versante rappresentano un fattore morfoevolutivo di particolare importanza, in quanto fortemente influenti sul modellamento dei rilievi e sull'evoluzione geomorfologica del territorio in esame. Nello specifico, questi fenomeni risultano particolarmente diffusi in corrispondenza dei rilievi collinari che delimitano il fondovalle del Fiume Basento, caratterizzati dall'affioramento di litotipi argillosi e argilloso-sabbiosi, su cui poggiano lembi di depositi alluvionali terrazzati. I versanti interessati da tali fenomeni sono situati sia lungo il fondovalle del Fiume Basento che in corrispondenza dei suoi affluenti maggiori, sia in destra che in sinistra idrografica.

I fenomeni di massa sono riconducibili sia a movimenti franosi s.s. che a fenomeni di creep e/o soliflusso. In particolare, le frane sono per lo più classificabili come colamenti, scivolamenti e movimenti complessi, prevalentemente in terra e solo raramente in detrito. I fenomeni di piccole e medie dimensioni sono prevalentemente attivi e quiescenti mentre quelli più profondi ed estesi presentano uno stato variabile dall'attivo allo stabilizzato. La distribuzione è per lo più retrogressiva o multidirezionale, raramente costante, mentre le velocità sono mediamente piuttosto basse.

I suddetti fenomeni sono originati dall'azione congiunta di vari fattori quali caratteristiche fisico-meccaniche dei

terreni, dinamica delle acque superficiali e sotterranee e attuale utilizzo del territorio. In un tale contesto geologico-strutturale, pertanto, le fenomenologie di dissesto seguono canali e orientazioni preferenziali dettate in massima parte dai fenomeni erosivi connessi al deflusso delle acque correnti superficiali. In particolare, quest'ultimo rappresenta uno dei maggiori fattori predisponenti e/o scatenanti al verificarsi di movimenti franosi, che risultano pertanto generalmente distribuiti in corrispondenza di solchi di erosione o alvei in approfondimento. Alcuni fenomeni, spesso di discrete dimensioni, si rinvergono lungo i fianchi della valle alluvionale del Fiume Basento, in quanto connessi alla forte azione erosiva laterale di tale corso d'acqua.

Il principale fattore scatenante dei fenomeni franosi è rappresentato dagli eventi meteorici, sia stagionali che eccezionali, che favoriscono la saturazione dei terreni e la diminuzione della resistenza meccanica degli stessi. Ad esso si aggiungono fenomeni di modellazione del versante, indotti sia da interventi antropici che da fenomeni erosivi lungo i fondovalle. Come in altri settori dell'Appennino, è possibile che esista una stretta relazione tra movimenti franosi ed eventi sismici, anche se non sono presenti dati certi in letteratura.

I fenomeni gravitativi sono principalmente distribuiti lungo i versanti che bordano il fondovalle del Fiume Basento e dei suoi affluenti maggiori, oltre che in corrispondenza delle aree impluviali più importanti ed estese. Le frane presentano caratteristiche morfologiche e cinematiche variabili da zona a zona, in funzione dell'assetto geologico-strutturale dell'area e delle caratteristiche dei termini litologici affioranti. In generale, è possibile individuare due differenti condizioni morfologiche, una relativa ai versanti caratterizzati da un substrato prevalentemente pelitico privo con coperture assenti o ridotte e una relativa a rilievi con substrato pelitico e spesse coltri di copertura.

I pendii con substrato prevalentemente pelitico e depositi di copertura assenti o di limitato spessore sono caratterizzati da movimenti franosi con dimensioni e profondità estremamente variabili. I fenomeni più estesi si sviluppano dalla parte alta del versante fino al fondovalle, mentre i fenomeni più piccoli coinvolgono porzioni variabili del pendio. I fenomeni più piccoli sono rappresentati da colamenti, scivolamenti, frane complesse in terra, che interessano le porzioni più superficiali ed alterate del substrato e, localmente, piccoli lembi di depositi alluvionali terrazzati. I fenomeni più estesi, invece, sono prevalentemente rappresentati da frane complesse e colamenti in terra, che interessano le porzioni più profonde e meno alterate del substrato. Mentre i fenomeni più superficiali risultano generalmente attivi o al più quiescenti, le frane più profonde presentano uno stato variabile dall'attivo allo stabilizzato.

I pendii con substrato prevalentemente pelitico ricoperto da uno spessore più o meno variabile di coltri eluvio-colluviali, invece, sono caratterizzati da aree a franosità diffusa e colate di piccole e medie dimensioni, che costituiscono estesi bacini di frana in corrispondenza delle aree impluviali di ordine minore. La coalescenza di diversi fenomeni e la relativa mobilità degli stessi determina spesso la formazione di estesi accumuli gravitativi in prossimità del fondovalle, che localmente possono raggiungere spessori rilevanti. Per via delle specifiche caratteristiche dei terreni, le frane presenti in tali settori sono per lo più superficiali e di limitata estensione. I fenomeni interessano per lo più le coltri di copertura e le porzioni più superficiali ed alterate del substrato, mentre sono rari i movimenti gravitativi con superficie di scivolamento posta a profondità significative. I movimenti gravitativi sono per lo più attivi o quiescenti e, in generale, risultano fortemente influenzati dalle precipitazioni meteoriche e dai fenomeni erosivi connessi al deflusso delle acque correnti superficiali.

5.2.1.4 Forme, processi e depositi dovuti alle acque correnti superficiali

Nell'area di studio, le forme di accumulo connesse al deflusso idrico superficiale derivano, essenzialmente, dai processi deposizionali dei principali sistemi fluviali presenti, che conferiscono alle maggiori depressioni vallive una morfologia pianeggiante e leggermente degradante verso SE. Tali depositi presentano al loro interno vistose variazioni granulometriche e tessiturali e risultano, molto spesso, fortemente interdigitati tra loro, creando così un articolato sistema sedimentario di origine alluvionale. Allo sbocco delle principali aste torrentizie nelle aree pianeggianti, si rinvergono inoltre locali conoidi alluvionali di estensione ed importanza variabile.

In corrispondenza dei corsi d'acqua principali, e secondariamente lungo gli alvei dei loro affluenti maggiori, si rinvencono inoltre vistose scarpate di erosione fluviale e zone di erosione laterale delle sponde. Tali elementi sono particolarmente evidenti lungo il fondovalle del Fiume Basento, che in questo settore risulta caratterizzato da una serie di canali intrecciati (braided channels) con elevata variabilità laterale. Gli alvei secondari mostrano, in generale, una marcata tendenza all'approfondimento (Foto 11), mentre gli alvei più importanti sono caratterizzati da zone in approfondimento e settori di prevalente deposizione. Ulteriori scarpate fluviali, ormai inattive e fortemente degradate, sono presenti in corrispondenza dei margini esterni dei terrazzi alluvionali più estesi, posti a quote variabili dai fondovalle attuali.

In prossimità dell'alveo del Fiume Basento, sono presenti tracce degli antichi corsi fluviali, spesso caratterizzati da depositi a granulometria fine tipici di un lago di meandro o canale in fase di abbandono. Tali elementi presentano, in generale, larghezza piuttosto contenuta e sono localmente sede di zone paludose o acquitrini di scarsa importanza ed estensione. I canali abbandonati sono ormai visibili solo attraverso l'analisi di foto aeree, in quanto l'attività antropica e i processi deposizionali del fondovalle hanno ormai completamente obliterato l'originaria morfologia depressa di questi settori.

In corrispondenza dei versanti e dei rilievi più acclivi, dove affiorano i termini litologici del substrato marino pleistocenico, sono presenti chiari fenomeni erosivi, sia areali che lineari, connessi col deflusso non regimato delle acque correnti superficiali. Tali fenomeni generano, ovviamente, forme caratteristiche come solchi di erosione concentrata. Questi elementi sono spesso connessi a importanti sistemi di frana, in quanto favoriscono lo sviluppo di fenomeni di instabilità a causa delle modificazioni indotte sul profilo del versante.

Localmente, lungo i versanti esposti a Sud e SE che bordano le maggiori incisioni torrentizie, i solchi di erosione e le vallecole sono associati a forme di tipo calanchivo. Queste forme si impostano prevalentemente sui termini prevalentemente pelitici delle Argille Subappennine (ASP) e si presentano in uno stato generalmente da poco a mediamente evoluto. Spesso, soprattutto nella parte alta del versante e lungo le forme erosive di ordine minore, i calanchi sono associati a piccoli movimenti franosi superficiali, non cartografabili alla scala di rappresentazione degli elaborati progettuali.

5.2.1.5 Forme antropiche e manufatti

I principali elementi connessi con l'attività antropica derivano, essenzialmente, dai manufatti realizzati in corrispondenza delle maggiori aree urbanizzate e industriali e tutti gli elementi connessi con la costruzione delle principali infrastrutture a rete. In particolare, si sottolinea la presenza di importanti ed estesi rilevati ferroviari in corrispondenza delle linee esistenti, in uso o dismesse, e di rilevati stradali, soprattutto in corrispondenza della S.S. 407 Basentana. Ad essi si aggiungono, inoltre, opere di regimazione delle acque correnti superficiali e di interventi di sistemazione dei principali corsi d'acqua presenti nell'area, come argini, briglie e canali.

Nei settori più antropizzati si rinvencono estesi terreni di riporto provenienti da cavature e sbancamenti, realizzati nei depositi di copertura alluvionali ed esternamente all'area di studio. La maggior parte delle zone di riporto corrispondono, ovviamente, ai rilevati delle principali infrastrutture a rete ed ai terreni accumulati in corrispondenza delle aree urbane più importanti. Localmente sono presenti tagli e scarpate antropiche realizzate sia lungo le principali arterie stradali che in corrispondenza di fabbricati e abitazioni. Tali elementi presentano in genere altezze contenute, raramente possono superiori ai 3 m, e sono spesso posti in corrispondenza di elementi geomorfologici e scarpate naturali preesistenti.

5.3 ASSETTO IDROGEOLOGICO

L'approfondimento idrogeologico realizzato per il presente studio ha consentito di definire le principali caratteristiche dell'area e lo schema di deflusso idrico sotterraneo relativo a tale settore. Le analisi sono state basate, in particolare, sui dati geologico-strutturali a disposizione e sulle informazioni idrogeologiche presenti nella

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA POTENZA-METAPONTO INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE TRATTA GRASSANO-BERNALDA INTERVENTI DI ADEGUAMENTO DEGLI IMPIANTI DI PISTICCI E BERNALDA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	Relazione Geotecnica e sismica generale della Stazione di Bernalda	COMMESSA IA95	LOTTO 43	CODIFICA R 78 GE	DOCUMENTO GE 0006 002	REV. A

vasta letteratura scientifica riguardante l'area.

Il modello idrogeologico così sviluppato è stato quindi integrato, ove possibile, con ulteriori dati provenienti dal monitoraggio piezometrico delle strumentazioni appositamente installate nei fori di sondaggio e dalle numerose prove di permeabilità condotte in fase di perforazione. Inoltre, i dati piezometrici reperiti e le informazioni idrogeologiche contenute negli studi esistenti, hanno costituito un valido strumento per la ricostruzione del deflusso idrico sotterraneo di alcuni settori caratteristici dell'area di studio.

Infine, lo studio geologico condotto ha permesso di definire lo stato di alterazione/fessurazione degli ammassi rocciosi e le caratteristiche granulometriche dei terreni interessati dalle opere in progetto che, come noto, influenzano in maniera diretta il coefficiente di permeabilità dei vari corpi geologici e, quindi, la circolazione idrica sotterranea dell'area di studio.

5.3.1 Assetto idrogeologico

Nei settori di intervento sono stati individuati quattro complessi idrogeologici, distinti sulla base delle differenti caratteristiche di permeabilità e del tipo di circolazione idrica che li caratterizza. Di seguito vengono descritti i caratteri peculiari dei diversi complessi individuati, seguendo uno schema basato sull'assetto geologico dell'area e sulle caratteristiche di permeabilità dei diversi termini litologici.

5.3.1.1 Complessi delle unità del substrato

Questo gruppo è rappresentato da un singolo complesso idrogeologico, riferibile alla successione marina delle Argille Subappennine.

Al presente complesso sono associati i depositi silicoclastici delle Argille Subappennine, in facies argilloso-limosa ASP, costituenti il substrato geologico dell'intera area di studio. Dal punto di vista litologico, si tratta di argille limose e limi argillosi in strati da sottili a molto spessi, generalmente poco evidenti e a laminazione piano-parallela, con sottili e frequenti intercalazioni di argille marnose, sabbie limose e sabbie medio-fini; nella parte bassa della sequenza le argille passano eteropicamente a sabbie quarzoso-micacee a grana fine, mentre nella parte alta si rinvencono strati di vulcanoclastiti gradate cui si associano lamine di cineriti.

I litotipi in questione costituiscono limiti di permeabilità per gli acquiferi giustapposti verticalmente o lateralmente e, nel contesto idrogeologico di riferimento, rappresentano degli acquicludi di notevole importanza per tutti i corpi idrogeologici limitrofi; non sono presenti falde o corpi idrici sotterranei di una certa rilevanza. La permeabilità, per porosità e fessurazione, è variabile da impermeabile a molto bassa. A tale complesso si può pertanto attribuire un coefficiente di permeabilità k variabile tra $1 \cdot 10^{-10}$ e $5 \cdot 10^{-7}$ m/s.

5.3.1.2 Complesso fluvio-lacustre dei depositi di copertura

Tale gruppo è rappresentato da tre differenti complessi idrogeologici, composti essenzialmente da depositi quaternari di natura alluvionale, antropica ed eluvio-colluviale. I presenti depositi si rinvencono come copertura del substrato geologico dell'area e sono ulteriormente suddivisibili in relazione alla posizione morfologica e all'estensione plano-altimetrica.

Depositi alluvionali di fondovalle

Tale complesso è composto dai depositi ghiaioso-sabbiosi delle unità ba1, bc1, dai terreni sabbioso-limosi delle unità bb2 e dai depositi limoso-argillosi dell'unità bc3. Litologicamente si tratta di ghiaie poligeniche ed eterometriche, da sub-angolose ad arrotondate, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa da scarsa ad abbondante;

sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi a struttura indistinta o laminata, con locali ghiaie poligeniche da sub-angolose ad arrotondate; argille limose e limi argillosi a struttura indistinta o laminata, con rare ghiaie poligeniche da sub-angolose a sub-arrotondate; talora sono presenti livelli di limi argilloso-sabbiosi e lenti di ghiaie poligeniche di dimensioni millimetriche e centimetriche.

I litotipi in esame costituiscono acquiferi porosi di elevata trasmissività, fortemente eterogenei ed anisotropi; sono sede di una falda freatica di discreta rilevanza, generalmente a deflusso unitario, che presenta interscambi con i corpi idrici superficiali e/o sotterranei delle strutture idrogeologiche limitrofe; i livelli meno permeabili favoriscono il confinamento di alcune porzioni dell'acquifero e rappresentano, pertanto, degli aquitard di modesta rilevanza. La permeabilità, esclusivamente per porosità, è variabile da molto bassa a media. A tale complesso si può quindi attribuire un coefficiente di permeabilità k compreso tra $5 \cdot 10^{-8}$ e $1 \cdot 10^{-3}$ m/s.

Complesso detritico-colluviale dei depositi di copertura

A questo complesso sono riferiti i terreni di copertura recenti delle unità b2 e h. Sotto il profilo litologico, si tratta di ghiaie poligeniche ed eterometriche, da angolose a sub-arrotondate, con locali frammenti di laterizi, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa da scarsa ad abbondante; limi argillosi, argille sabbiose e limi argilloso-sabbiosi a struttura indistinta, con diffusi resti vegetali e locali ghiaie poligeniche da sub-angolose ad arrotondate; a luoghi si rinvencono passaggi di sabbie e sabbie limose a struttura indistinta, con diffusi resti vegetali e abbondanti ghiaie poligeniche da sub-angolose a sub-arrotondate.

I terreni in esame costituiscono acquiferi porosi di scarsa trasmissività a causa del ridotto spessore dei depositi, fortemente eterogenei ed anisotropi; sono privi di corpi idrici sotterranei di importanza significativa, a meno di piccole falde a carattere stagionale, direttamente influenzate dal regime delle precipitazioni meteoriche. La permeabilità, esclusivamente per porosità, è variabile da bassa ad alta. Al presente complesso, pertanto, è possibile attribuire un coefficiente di permeabilità k compreso tra $1 \cdot 10^{-7}$ e $1 \cdot 10^{-2}$ m/s.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA POTENZA–METAPONTO INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE TRATTA GRASSANO–BERNALDA INTERVENTI DI ADEGUAMENTO DEGLI IMPIANTI DI PISTICCI E BERNALDA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	Relazione Geotecnica e sismica generale della Stazione di Bernalda	COMMESSA IA95	LOTTO 43	CODIFICA R 78 GE	DOCUMENTO GE 0006 002	REV. A

6 INDAGINI GEOGNOSTICHE

6.1 DESCRIZIONE DELLE INDAGINI

La caratterizzazione geotecnica dei terreni, e la successiva definizione del modello geotecnico di sottosuolo, sono stati ottenuti sulla base dei risultati delle indagini geognostiche e geofisiche disponibili di seguito elencate:

- 1) campagna di indagini eseguita da RFI negli anni 1999-2000 (Lavori di sondaggi sulle linee Foggia-Potenza e Potenza Metaponto - sito A: linea Potenza-Metaponto, dal km 202+806 al km 203+050);
- 2) campagna di indagini 2021, redatta da Italferr nella presente fase progettuale;

I punti di ubicazione sono riportati negli elaborati relativi ai profili geotecnici dell'area oggetto di studio.

Nel complesso la campagna geognostica, ad oggi ancora in corso, conta per l'area in oggetto, n. 1 sondaggio spinto fino ad una profondità di 30 metri dal piano campagna, con prelievo di campioni rimaneggiati ed indisturbati, ed esecuzione di prove in sito (tra le quali prove penetrometriche dinamiche SPT, geofisiche tipo MASW e HVSR, prove di permeabilità tipo Lefranc) ed installazione di piezometro per il monitoraggio della falda.

Complessivamente sono state analizzate le seguenti indagini di sito:

- n. 1 sondaggio a rotazione e carotaggio continuo strumentato con piezometro;
- n. 1 stendimento sismico MASW;
- n. 1 misura di microtremitori HVSR.

Il numero totale dei campioni prelevati è di 5, mentre quello delle prove SPT effettuate nei fori di sondaggio è di 10.

Per il sondaggio è stato eseguito il rilievo della stratigrafia con esecuzione di fotografie a colori del materiale in cassetta.

Sui campioni prelevati sono state eseguite prove di laboratorio, in particolare analisi granulometrica, determinazione dei limiti di Atterberg, prove di taglio diretto, prove triassiali, prove di espansione laterale libera e prove edometriche.

Nel prosieguo i risultati principali verranno riportati generalmente in forma grafica e ne verrà fornita una sintesi volta alla definizione delle caratteristiche delle singole unità geotecniche.

6.2 SONDAGGI

Di seguito sono elencati tutti i sondaggi eseguiti nelle differenti fasi progettuali, con in evidenza i principali dati tecnici (sigla, progressiva di progetto, coordinate, quota di testa assoluta e tipo di strumentazione eventualmente installata in foro).

sigla	pk	WGS84/UTM zona 33N		quota m s.l.m.	strumentazione	prof m	campioni				prove in foro			
		X	Y				I	R	L	SPT	SPT	P	D	Ps
S-V28	-	642786	4473266	28.0	Piezometro	30.0	5	0	0	9	10	2	0	0
Totale							5	0	0	9	10	2	0	0

Tabella 1 - Sintesi dei sondaggi geognostici realizzati nell'ambito della campagna indagini

6.1 INDAGINI GEOFISICHE

Nelle tabelle seguenti è riportata una sintesi di tutte le indagini sismiche e geoelettriche eseguite nell'ambito della presente fase progettuale, con indicazione dei principali dati tecnici relativi ad ogni singola indagine (sigla, pk e coordinate nel sistema di riferimento WGS84/UTM zona 33N (EPSG 32633) del punto iniziale (a) e del punto finale (b) di ogni singolo stendimento, tipologia di indagine).

sigla	pk	WGS84/UTM zona 33N		tipologia indagine
		X	Y	
MASW S-V28	-	642723	4473268	MASW
HVSR S-V28	-	642703	4473276	HVSR

Tabella 2 - Sintesi delle indagini geofisiche di superficie realizzate nell'ambito della campagna indagini.

7 CRITERI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Si riportano, nei paragrafi che seguono, le modalità seguite per l'interpretazione dei risultati delle indagini svolte.

7.1 TERRENI A GRANA GROSSA (SABBIE E GHIAIE)

La caratterizzazione dei terreni a grana grossa avverrà essenzialmente ai risultati delle prove in sito, in particolare in base ai risultati delle prove penetrometriche dinamiche, e, ove disponibili, ai risultati delle prove di laboratorio, queste ultime eseguite generalmente su campioni rimaneggiati.

7.1.1 Classificazione

La classificazione di questi terreni avverrà essenzialmente sui risultati delle analisi granulometriche.

7.1.2 Stato di addensamento (D_R)

a) Gibbs e Holtz (1957)

$$D_R = 1.5 \cdot \left(\frac{N_{60}}{F} \right)^{0.222} - 0.6$$

$$F = 0.65 \cdot \left(\frac{\sigma'_{v0}}{p_a} \right)^2 + 16.8 \cdot \left(\frac{\sigma'_{v0}}{p_a} \right) + 14$$

b) Meyerhof (1957)

$$D_R = 0.21 \cdot \left(\frac{N_{60}}{\frac{\sigma'_{v0}}{p_a} + 0.7} \right)^{0.5}$$

c) Yoshida e Kokuso (1988)

$$D_R = 0.22 \cdot N_{60}^{0.57} \cdot \left(100 \cdot \frac{\sigma'_{v0}}{p_a} \right)^{-0.14} \quad \text{sabbia fine}$$

$$D_R = 0.18 \cdot N_{60}^{0.57} \cdot \left(100 \cdot \frac{\sigma'_{v0}}{p_a} \right)^{-0.14} \quad \text{sabbia 75% ghiaia 25%}$$

$$D_R = 0.25 \cdot N_{60}^{0.44} \cdot \left(100 \cdot \frac{\sigma'_{v0}}{p_a} \right)^{-0.13} \quad \text{sabbia 50% ghiaia 50%}$$

$$D_R = 0.25 \cdot N_{60}^{0.46} \cdot \left(100 \cdot \frac{\sigma'_{v0}}{p_a} \right)^{-0.12} \quad \text{tutti i terreni granulari}$$

d) Skempton (1989)

$$D_R = 100 \cdot \left(\frac{N_{1(60)}}{60} \right)^{0.5}$$

7.1.3 Resistenza in terreni incoerenti (ϕ')

Per la stima dell'angolo di resistenza al taglio dalle prove SPT sono state utilizzate correlazioni che passano per la stima della D_R , stimata come descritto nel paragrafo precedente, e correlazioni che forniscono direttamente l'angolo di attrito in funzione del numero di colpi.

a) Schmertmann (1977)

$$\phi = 38.5 + 0.08 \cdot D_R \quad \text{sabbia e ghiaia poco limosa e ghiaietto uniforme}$$

$$\phi = 34.5 + 0.10 \cdot D_R \quad \text{sabbia grossa–media uniformemente ben gradata}$$

$$\phi = 31.5 + 0.115 \cdot D_R \quad \text{sabbia medio-fine uniformemente ben gradata}$$

$$\phi = 28.0 + 0.14 \cdot D_R \quad \text{sabbia fine uniforme}$$

essendo: D_r = densità relativa

b) Schmertmann (1975)

$$\phi = \arctan \left(\frac{N_{60}}{12.2 + 20.3 \cdot \frac{\sigma'_{v0}}{p_a}} \right)^{0.34},$$

c) Hatanaka & Uchida (1996)

$$\phi = 20 + (15.4 \cdot N_{1(60)})^{0.5}$$

7.1.4 Caratteristiche di deformabilità

Le caratteristiche di deformabilità dei depositi incoerenti sono state stimate per mezzo delle indagini sismiche in sito (prove MASW).

Il modulo di taglio e quello di Young a piccole deformazioni (G_0 , E_0), sono stati ricavati dalle consuete relazioni della teoria dell'elasticità:

- $G_0 = \gamma \cdot V_s^2$
- $E_0 = 2G_0 \cdot (1 + \nu)$

con:

- γ = peso di volume naturale del terreno
- ν = coefficiente di Poisson
- V_s = velocità di propagazione delle onde di taglio

I moduli di deformabilità “operativi” (E') da adottare per il calcolo delle deformazioni/cedimenti delle opere di sostegno, saranno assunti pari a 1/5 di quello a piccole deformazioni da prove geofisiche (E_0).

Nel caso di valutazione di cedimenti di rilevati e fondazioni, i moduli elastici “operativi” saranno assunti pari a 1/10 di quello a piccole deformazioni da prove geofisiche ($E_{op}' = E_0/10$).

7.2 DEPOSITI COESIVI

Per la caratterizzazione geotecnica dei terreni a grana fine si è proceduto alla definizione dei parametri non drenati e drenati. In particolare, si è fatto riferimento ai risultati delle prove in sito e di laboratorio

7.2.1 Classificazione

La classificazione di questi terreni avverrà essenzialmente sui risultati delle seguenti prove di laboratorio:

- Analisi granulometriche;
- Pesi di volume naturale e secco;
- Contenuti d'acqua naturale;
- Limiti di Atterberg.

7.2.2 Caratteristiche di resistenza

Per la determinazione delle caratteristiche di resistenza dei depositi coesivi ci si è basati principalmente sui risultati delle prove di laboratorio ovvero:

- Prove di taglio diretto
- Prove triassiali (CID, CIU, UU)

La coesione non drenata è stata stimata, per confronto, anche a partire dalla interpretazione delle prove penetrometriche dinamiche SPT in base alla seguente correlazione di Stroud (1974):

$$c_u \cong (4.5 \div 5) \times N_{SPT} \quad (\text{kPa})$$

7.2.3 Caratteristiche di deformabilità

Le caratteristiche di deformabilità dei depositi coesivi sono state stimate dall'interpretazione delle indagini sismiche in sito (MASW), e da quelli delle prove di compressibilità edometrica.

Il modulo di taglio e quello di Young a piccole deformazioni (G_0 , E_0), sono stati ricavati dalle consuete relazioni della teoria dell'elasticità:

- $G_0 = \gamma \cdot V_s^2$
- $E_0 = 2G_0 \cdot (1 + \nu)$

con:

- γ = peso di volume naturale del terreno
- ν = coefficiente di Poisson
- V_s = velocità di propagazione delle onde di taglio

I moduli di deformabilità “operativi” (E') da adottare per il calcolo delle deformazioni/cedimenti delle opere di sostegno, saranno assunti pari a 1/5 di quello a piccole deformazioni da prove geofisiche (E_0).

Nel caso di valutazione di cedimenti di rilevati e fondazioni, i moduli elastici “operativi” saranno assunti pari a 1/10 di quello a piccole deformazioni da prove geofisiche ($E_{op}' = E_0/10$).

7.2.4 Caratteristiche di consolidazione

Per i terreni coesivi, soggetti a fenomeni di consolidazione a seguito dell'applicazione dei carichi derivanti dalla costruzione dei manufatti ferroviari (rilevati e scatolari), le caratteristiche di consolidazione sono state determinate per mezzo di prove di compressibilità edometrica. Tale prova consente di:

- determinare la relazione tensione-deformazione che caratterizza le proprietà dicomprensibilità e di rigonfiamento per effetto di variazioni di stato tensionale effettivo in condizioni monodimensionali (edometriche, o di deformazione trasversale impedita);
- determinare le caratteristiche che governano la variabilità di tali deformazioni nel tempo, per effetto dei fenomeni di consolidazione primaria e secondaria;

In particolare si è provveduto a riportare in forma grafica, al variare della profondità di prelievo del campione, le seguenti proprietà:

- e_0 : indice dei vuoti iniziale
- c_c : indice di compressibilità (lungo la retta di “normal consolidazione”)
- c_s : indice di rigonfiamento (lungo i rami di scarico ed eventuale ricarico)
- σ'_p : tensione di preconsolidazione
- E_{ed} : modulo edometrico
- c_v : coefficiente di consolidazione verticale

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA POTENZA–METAPONTO INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE TRATTA GRASSANO–BERNALDA INTERVENTI DI ADEGUAMENTO DEGLI IMPIANTI DI PISTICCI E BERNALDA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	Relazione Geotecnica e sismica generale della Stazione di Bernalda	COMMESSA IA95	LOTTO 43	CODIFICA R 78 GE	DOCUMENTO GE 0006 002	REV. A

8 DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO

8.1 AZIONE SISMICA

Con riferimento alla normativa vigente (NTC-2018), le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione. Essa costituisce l’elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche. La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR, come definite nel § 3.2.1 del D.M. 2018, nel periodo di riferimento VR, come definito nel § 2.4.3 del D.M. 2018. Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

a_g accelerazione orizzontale massima al sito;

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

T_c^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Gli spettri di risposta di progetto sono stati definiti per tutti gli stati limite considerati, e, note la latitudine e la longitudine del sito, si sono ricavati i valori dei parametri necessari alla definizione dell’azione sismica e quindi del relativo spettro di risposta. Più avanti sono indicati i valori di a_g , F_0 e T_c^* necessari per la determinazione delle azioni sismiche.

8.2 VITA NOMINALE

La vita nominale di un’opera strutturale V_N è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. Per la definizione della Vita Nominale da assegnare ad ogni singolo manufatto facente parte di una infrastruttura ferroviaria si rimanda al “MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE CIVILI” - RFI DTC SI AM MA IFS 001 A del 28.03.2018.

TIPO DI COSTRUZIONE ⁽¹⁾	Vita Nominale [V_N] ⁽¹⁾
OPERE NUOVE SU INFRASTRUTTURE FERROVIARIE ESISTENTI OPERE NUOVE SU INFRASTRUTTURE FERROVIARIE PROGETTATE CON LE NORME VIGENTI PRIMA DEL DM 14/01/2008 A VELOCITA' CONVENZIONALE ($V < 250$ Km/h)	50
ALTRE OPERE NUOVE A VELOCITÀ ($V < 250$ km/h)	75
ALTRE OPERE NUOVE A VELOCITÀ ($V \geq 250$ Km/h)	100
OPERE DI GRANDI DIMENSIONI: PONTI E VIADOTTI CON CAMPATE DI LUCE MAGGIORE DI 150 m	≥ 100 ⁽²⁾

(1) - La medesima V_N si applica anche ad apparecchi di appoggio, coprigiunti e impermeabilizzazione delle stesse opere.
(2) - Da definirsi per il singolo progetto a cura di RFI.

Tabella 3: Vita Nominale in funzione del tipo di costruzione

Tenendo conto delle indicazioni precedenti le strutture di progetto avranno Vita Nominale $V_N=75$.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA POTENZA–METAPONTO INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE TRATTA GRASSANO–BERNALDA INTERVENTI DI ADEGUAMENTO DEGLI IMPIANTI DI PISTICCI E BERNALDA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	Relazione Geotecnica e sismica generale della Stazione di Bernalda	COMMESSA IA95	LOTTO 43	CODIFICA R 78 GE	DOCUMENTO GE 0006 002	REV. A

8.3 CLASSE D'USO

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

- Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
- Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
- Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
- Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

TIPO DI COSTRUZIONE	Classe d'uso	Coefficiente d'uso [C _U]
GRANDI STAZIONI	C IV	2,0
OPERE D'ARTE DEL SISTEMA DI GRANDE VIABILITÀ FERROVIARIA	C III	1,5
ALTRE OPERE D'ARTE	C II	1,0

Tabella 4: Tabella Classe d'uso Coeff. d'uso in funzione del tipo di costruzione per l'infrastruttura ferroviaria.

Facendo riferimento al "MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE CIVILI" - RFI DTC SI AM MA IFS 001 A del 28.03.2018, – Ponti e strutture - per le strutture di progetto si considera una classe d'uso tipo II con **coefficiente d'uso C_U=1**, in quanto non è la linea presente nel sistema di grande viabilità ferroviaria (allegato 5).

8.4 PERIODO DI RIFERIMENTO

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

$$V_R = V_N \cdot C_U = 75 \cdot 1.0 = 75 \text{ anni (tutte le opere del progetto).}$$

8.5 VALUTAZIONE DEI PARAMETRI DI PERICOLOSITÀ SISMICA

Fissata la vita di riferimento V_R , i due parametri T_R e P_{VR} sono immediatamente esprimibili, l'uno in funzione dell'altro, mediante l'espressione:

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

	STATO LIMITE	P_{VR}: probabilità di superamento nel periodo di riferimento
SLE	SLO - Stato Limite di Operatività	81%
	SLD - Stato Limite di Danno	63%
SLU	SLV - Stato Limite di salvaguardia della Vita	10%
	SLC - Stato Limite di prevenzione del Collasso	5%

Tabella 5: Probabilità di superamento P_{VR} al variare dello stato limite considerato.

da cui si ottiene la seguente Tabella:

Stati limite		Valori in anni del periodo di ritorno T_R al variare del periodo di riferimento V_R (anni)
SLE	SLO	45
	SLD	75
SLU	SLV	712
	SLC	1462

Tabella 6: Probabilità di superamento P_{VR} al variare dello stato limite considerato

Per il sito in esame, in base ai parametri precedentemente adottati, il periodo T_R in corrispondenza dello stato limite ultimo SLV è pari a $T_R = 712$ anni.

Le strutture di progetto avranno quindi i seguenti parametri sismici:

- vita nominale $V_N = 75$;
- periodo di riferimento pari a $V_R = 75$;
- il periodo T_R in corrispondenza dello SLV sarà pari a $T_R = 712$ anni.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA POTENZA–METAPONTO INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE TRATTA GRASSANO–BERNALDA INTERVENTI DI ADEGUAMENTO DEGLI IMPIANTI DI PISTICCI E BERNALDA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	Relazione Geotecnica e sismica generale della Stazione di Bernalda	COMMESSA IA95	LOTTO 43	CODIFICA R 78 GE	DOCUMENTO GE 0006 002	REV. A

8.6 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL TERRENO

8.6.1 Categorie di Sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale.

Per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione delle categorie di sottosuolo di riferimento in accordo a quanto indicato nel § 3.2.2 delle NTC2018.

8.6.2 Condizioni Topografiche

In condizioni topografiche superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione:

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tabella 7: Classificazione topografica superfici.

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

In base all'assetto stratigrafico, topografico e ai risultati delle prove sismiche MASW, il sottosuolo può essere classificato dal punto di vista della categoria sismica, come riassunto nella seguente tabella:

indagine	Anno	$V_{s,eq}$	categoria suolo	categoria topografica
(-)	(-)	(m/s)	(-)	(-)
MASW S-V28	2021	263	C	T1

Tabella 8: Risultati prove MASW, categoria di sottosuolo e Categoria topografica

8.6.3 Amplificazione Stratigrafica e Topografica

In riferimento a quanto indicato nel §3.2.3.2.1 delle NTC2018 per la definizione dello spettro elastico in accelerazione è necessario valutare il valore del coefficiente $S = S_S \cdot S_T$ e di C_C in base alla categoria di sottosuolo e alle condizioni topografiche; si fa riferimento nella valutazione dei coefficienti che sono riportati di seguito:

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

Tabella 9: Tabella delle espressioni per S_s e C_c .

Categoria Topografica	Ubicazione dell'opera dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

Tabella 10: Valori massimi del coeff. di amplificazione topografica S_T

8.6.4 Parametri Sismici di Calcolo

Di seguito si riportano i parametri sismici di calcolo validi per le opere in progetto per lo stato limite di salvaguardia della vita SLV.

Stazione di Bernalda

- $a_g/g = 0.113$
- $F_0 = 2.626$
- $T_c^* = 0.425$ s
- $S_s = 1.50$
- $C_c = 1.39$
- $S_T = 1.00$

9 ANALISI DI PERICOLOSITÀ RISPETTO AL FENOMENO DELLA LIQUEFAZIONE

Allo scopo di accertare la stabilità nei confronti della liquefazione, per il sito in esame sono state eseguite delle verifiche che hanno consentito di determinare il potenziale di liquefazione, parametro indicativo dell'estensione che il fenomeno può avere nei terreni. La liquefazione è infatti un fenomeno per cui durante un sisma la rigidezza e la resistenza del terreno possono ridursi significativamente. Ad essa sono associati la perdita di resistenza al taglio o l'accumulo di deformazioni plastiche che avvengono in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, a causa delle azioni cicliche e dinamiche che si verificano in condizioni non drenate. Tali fenomeni sono legati allo sviluppo di sovrappressioni interstiziali che, se positive, causano una diminuzione della tensione media efficace nel terreno e una riduzione della resistenza al taglio. Questa riduzione può essere una condizione temporanea o può indurre una condizione di collasso definitiva.

Le NTC2018 al paragrafo 7.11.3.4.2 stabiliscono che la verifica alla liquefazione può essere omessa quando si manifesti una delle seguenti circostanze:

- 1 Accelerazioni massime attese al piano campagna in condizioni di campo libero minori di 0.1 g;
- 2 Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- 3 Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$ dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa, e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione verticale efficace di 100 kPa;
- 4 Distribuzione granulometrica esterna alle zone comprese tra le curve rappresentate nelle figure seguenti (coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$ e coefficiente di uniformità $U_c > 3.5$).

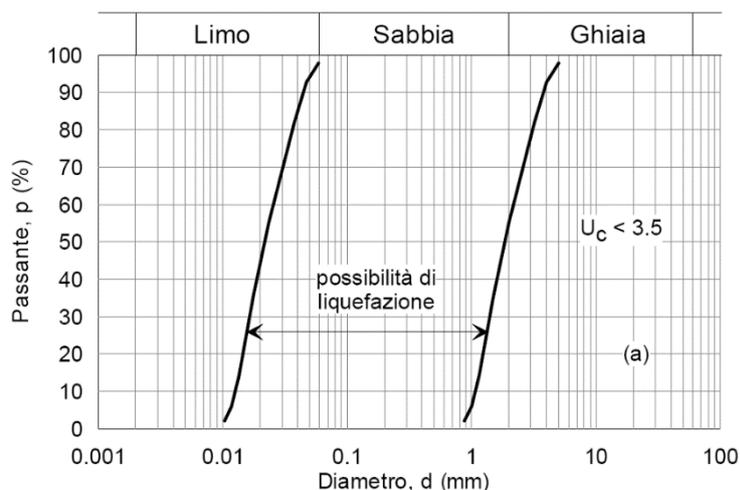


Figura 3 – Ambito di potenziale liquefacibilità dei terreni ($U_c < 3.5$)

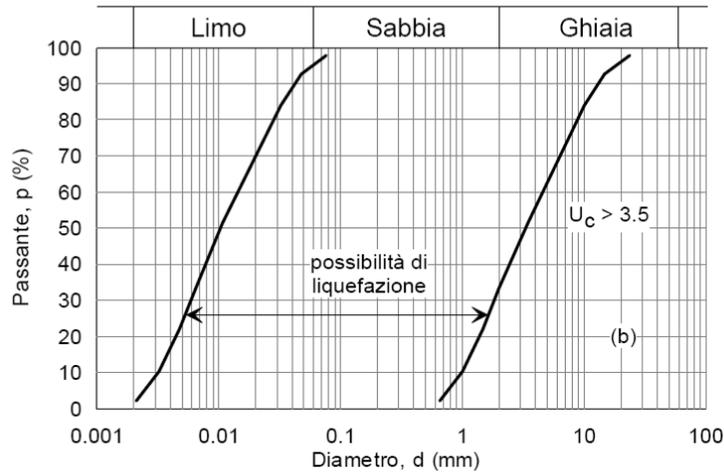


Figura 4 – Ambito di potenziale liquefacibilità dei terreni ($U_c > 3.5$)

La valutazione del pericolo di liquefazione è stata condotta in accordo al “metodo semplificato” originariamente proposto da Seed e Idriss (1971,1982) e da Seed et al. (1985), confrontando lo sforzo di taglio ciclico normalizzato rispetto alla pressione verticale in sito (CSR) e la resistenza normalizzata del terreno al taglio ciclico (CRR) così definiti:

$$CSR = \frac{\tau_{media}}{\sigma'_{v0}} \quad \text{Rapporto di tensione ciclica}$$

$$CRR = \frac{\tau_l}{\sigma'_{v0}} \quad \text{Rapporto di resistenza ciclica}$$

Lo sforzo di taglio indotto ad ogni profondità in un sito a superficie piana durante l’evento sismico è dovuto essenzialmente alla propagazione delle onde di taglio polarizzate orizzontalmente. In accordo al metodo utilizzato, la tensione di taglio ciclico indotta dallo scuotimento sismico (sforzo di taglio ciclico normalizzato CSR) viene approssimata da un valore dell’accelerazione pari al 65% della accelerazione di picco a_{max} come segue:

$$CSR = \frac{\tau_c}{\sigma'_{v0}} = 0.65 \frac{\tau_{max}}{\sigma'_{v0}} = 0.65 \frac{a_{max}}{g} \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} r_d$$

dove:

a_{max} accelerazione di picco al sito

g accelerazione di gravità

τ_c valore rappresentativo dello sforzo di taglio ciclico

σ_{v0} tensione verticale alla profondità in esame, in termini di tensioni totali

σ'_{v0} tensione verticale alla profondità in esame, in termini di tensioni efficaci

r_d coefficiente di riduzione dello sforzo di taglio ciclico in funzione della profondità da piano campagna, calcolato come segue in accordo a Blake (Blake, 1996, riportato da Youd et al., 2001):

$$r_d = \frac{1 - 0.4113 \cdot z^{0.5} + 0.04052 \cdot z + 0.001753 \cdot z^{1.5}}{1 - 0.4177 \cdot z^{0.5} + 0.05729 \cdot z - 0.006205 \cdot z^{1.5} + 0.00121 \cdot z^2}$$

CSR può essere messo in relazione al numero di cicli significativi dell'azione sismica, funzione della magnitudo M. Per $M \neq 7.5$ è necessario introdurre un fattore di scala della magnitudo MSF così definito:

$$MSF = \frac{CSR_M}{(CSR)_{M=7.5}} = \left(\frac{N_{M=7.5}}{N_M} \right)^b$$

dove CSR_M e N_M rappresentano i valori di CSR e numero di cicli equivalenti per il valore di magnitudo di progetto, mentre $(CSR)_{M=7.5}$ e $N_{M=7.5}$ sono riferiti all'evento con $M=7.5$. Nelle verifiche a liquefazione, è stato posto cautelativamente $MSF=1.0$.

Magnitude, M (1)	Seed and Idriss (1982) (2)	Idriss ^a (3)	Ambraseys (1988) (4)	Arango (1996)		Andrus and Stokoe (1997) (7)	Youd and Noble (1997b)		
				Distance based (5)	Energy based (6)		$P_L < 20\%$ (8)	$P_L < 32\%$ (9)	$P_L < 50\%$ (10)
5.5	1.43	2.20	2.86	3.00	2.20	2.8	2.86	3.42	4.44
6.0	1.32	1.76	2.20	2.00	1.65	2.1	1.93	2.35	2.92
6.5	1.19	1.44	1.69	1.60	1.40	1.6	1.34	1.66	1.99
7.0	1.08	1.19	1.30	1.25	1.10	1.25	1.00	1.20	1.39
7.5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	—	—	1.00
8.0	0.94	0.84	0.67	0.75	0.85	0.8?	—	—	0.73?
8.5	0.89	0.72	0.44	—	—	0.65?	—	—	0.56?

Figura 1: Valori del fattore di scala dovuto alla Magnitudo definito da vari autori (Youd e Noble 1997)

Il rapporto di resistenza ciclica CRR può essere valutato mediante relazioni empiriche che correlino la sollecitazione sismica ai risultati di prove in sito di tipo SPT, come meglio descritto nel seguito.

CRR da correlazione su prove SPT

Il procedimento qui utilizzato si basa sulla relazione riportata nella figura che segue, originariamente proposta da Seed e Idriss (1971,1982) e da Seed et al. (1985), e successivamente confermata da Youd et al. (2001). La resistenza penetrometrica SPT è espressa come numero corretto di colpi $N_{1(60)}$, ossia normalizzato ad una pressione verticale efficace di 100 kPa e corretto per un valore standard di energia trasmessa (60% del valore nominale), come segue:

$$(N_1)_{60} = N_{SPT} C_N C_E C_B C_R C_S$$

In questa espressione:

C_N = coefficiente correttivo che tiene conto dell'influenza della pressione verticale efficace. In letteratura sono presenti diversi metodi per la valutazione del coefficiente correttivo C_N . Qui è stata applicata la relazione proposta da Liao e Whitman (1986):

$$C_N = \left(\frac{P_a}{\sigma'_{vo}} \right)^{0.5} \leq 1.7$$

in cui P_a è la pressione atmosferica, pari a 100 kPa, e σ'_{vo} è la tensione verticale in sito, in termini di sforzi efficaci.

C_E = coefficiente correttivo che va a considerare il rendimento energetico dell'attrezzatura e riconduce le misure ad un rendimento energetico del 60 % e può essere valutato nel modo seguente:

$$C_E = \frac{ER_m}{60}$$

in cui ER_m è il fattore di rendimento (espresso in %) del trasferimento dell'energia del meglio all'attrezzo campionatore, relativo alla macchina utilizzata per fare la prova; considerando che la configurazione di prova normalmente adoperata in Italia ha un rendimento energetico del 60 %, tale coefficiente è stato posto pari ad 1.

I coefficienti C_B (fattore correttivo per le dimensioni del foro di sondaggio), C_R (fattore correttivo per la lunghezza

delle aste della macchina esecutrice) e C_5 (fattore correttivo per il tipo di attrezzo campionario) sono stati assunti pari ad 1 dato che le prove sono state eseguite sulla base delle raccomandazioni fornite dall'AGI (1977).

Sull'asse delle ordinate è riportato il valore di CSR calcolato ed i corrispondenti valori di $N_{1(60)}$ da siti in cui sono stati osservati o meno gli effetti della liquefazione per eventi simili avvenuti in passato, con magnitudo 7.5. Le corrispondenti curve CRR sono state determinate all'interno del grafico in modo da separare chiaramente i dati corrispondenti all'avvenuta liquefazione da quelli per i quali non è stato osservato il fenomeno in esame.

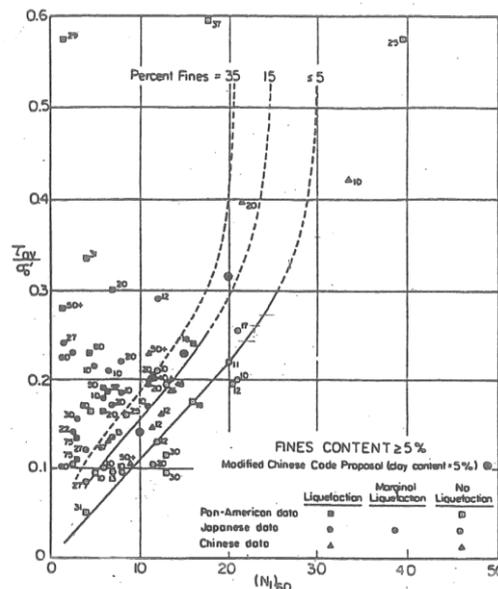


Figura 2:

Figura 5 – Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e $N_{1(60)}$ – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Seed et al., 1985)

Le curve sono valide per eventi simili di magnitudo pari a 7.5, per cui è necessario introdurre un fattore di scala (MSF) per adattare le curve di CRR alla magnitudo di riferimento per il caso in esame, come indicato in precedenza.

Le curve di resistenza ciclica sono state inoltre riferite a terreni aventi diverso contenuto di fine, a partire dalla curva di riferimento corrispondente alla sabbia pulita ($FC < 5\%$).

La curva di riferimento per sabbie pulite è descritta dalla seguente equazione (Rauch, 1998, come riportato da Youd et al., 2001):

$$CRR_{7.5} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60}} + \frac{(N_1)_{60}}{135} + \frac{50}{[10 \cdot (N_1)_{60} + 45]^2} - \frac{1}{200}$$

L'equazione è valida per $N_{1(60)} < 30$. Nel caso in cui sia $N_{1(60)} \geq 30$, le sabbie pulite sono classificate come non liquefacibili, a causa della loro elevata densità.

L'equazione che segue (Idriss e Seed, come riportato da Youd et al. 2001) viene utilizzata per la correzione di valori di $N_{1(60)}$ ai valori corrispondenti per sabbia pulita $N_{1(60)cs}$:

$$(N_1)_{60cs} = \alpha + \beta(N_1)_{60}$$

Nella quale:

$$\alpha = 0 \text{ per } FC < 5\%$$

$$\alpha = \exp [1.76 - (190/FC^2)] \text{ per } 5\% < FC < 35\%$$

$$\alpha = 5 \text{ per } FC \geq 35\%$$

$$\beta = 1 \text{ per } FC < 5\%$$

$$\beta = [0.99 + (FC^{1.5}/1000)] \text{ per } 5\% < FC < 35\%$$

$$\beta = 1.2 \text{ per } FC \geq 35\%$$

La resistenza alla liquefazione aumenta meno che proporzionalmente al crescere della tensione di confinamento. Una rappresentazione di tale relazione è stata proposta da Hynes e Olsen (1999) e riportata da Youd et al. (2001), elaborata sulla base dei risultati di prove cicliche in laboratorio. In particolare, gli autori raccomandano di utilizzare il seguente coefficiente di correzione:

$$k_{\sigma} = \left(\frac{\sigma'_{v0}}{p_a} \right)^{(f-1)} \leq 1$$

dove:

σ'_{v0} = tensione verticale efficace

p_a = pressione atmosferica di riferimento

f = fattore che dipende dalla densità relative del materiale in sito.

In accordo a Youd et al. (2001) il fattore “f” si può stimare come segue, sia per sabbie pulite o limose e per ghiaie:

$$40\% < D_R < 60\% \quad f = 0.7 \div 0.8$$

$$60\% < D_R < 80\% \quad f = 0.6 \div 0.7$$

In conclusione, in accordo a Youd et al. (2001) il fattore di sicurezza FL rispetto al fenomeno della liquefazione vale:

$$FL = (CRR_{7.5}/CSR) MSF k_s$$

In base ai risultati delle indagini eseguite nel 2021, la verifica a liquefazione risulta sempre soddisfatta, come si evince dai risultati di seguito presentati.

Le curve granulometriche del materiale granulare esaminato sono di seguito riportate per il confronto con i fusi di riferimento (nello specifico il coefficiente di uniformità è $\gg 3.5$). Come si nota dall'andamento delle curve è possibile escludere il rischio di liquefazione in quanto le curve granulometriche risultano generalmente esterne al fuso di riferimento.

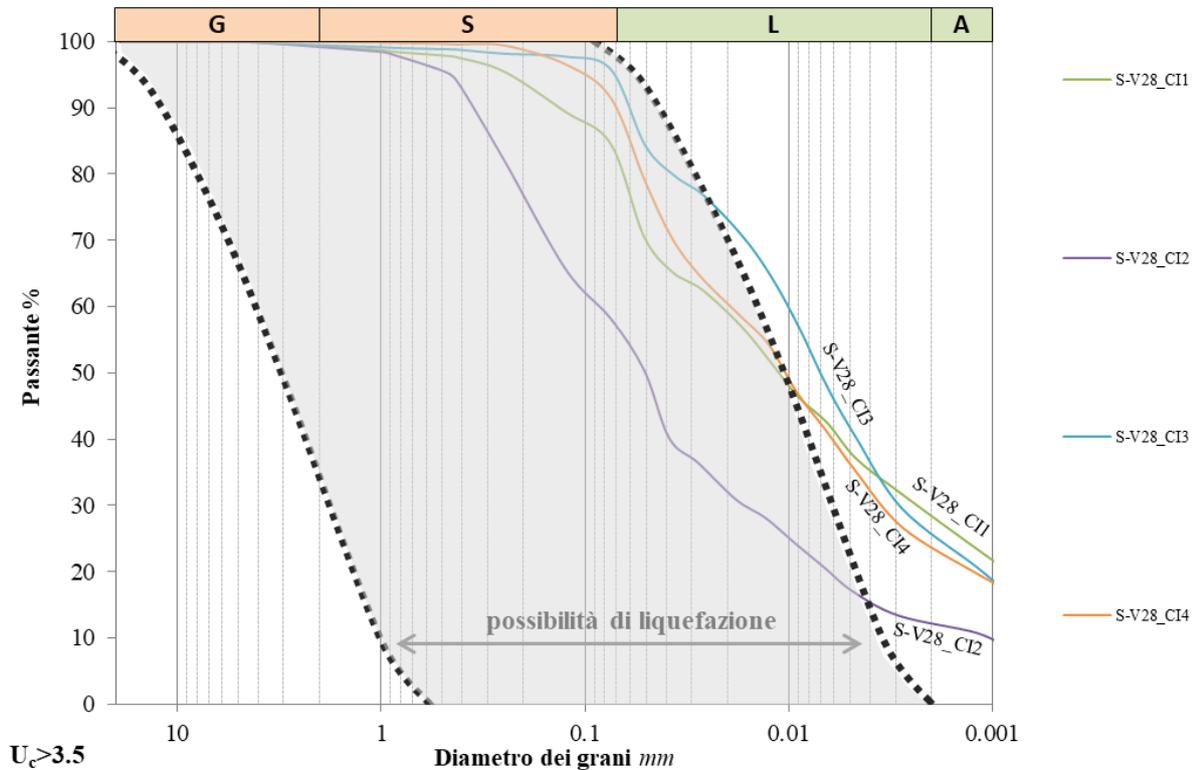


Figura 6 – curve granulometriche dei campioni esaminati e confronto con i fusi di riferimento per la liquefazione

		Criteri di esclusione						
Sondaggio	Anno	a_g/g	$a_g < 0.1g$	Z_{falda}	$Z_{falda} > 15m$	$(N_1)_{60} > 30$	Granulometria	Verifica a liquefazione
SV-28	2021	0,120	✗	2,50	✗	✗	✓	VERIFICA DA NON ESEGUIRE

Tabella 11: sintesi dei risultati delle verifiche a liquefazione

Seppur la verifica potrebbe essere omessa considerando che la percentuale della frazione fine riscontrata nei campioni è mediamente pari all'80%, si riporta di seguito un'analisi avendo cautelativamente preso come riferimento il valore di N_{spt} minimo registrato sotto falda a circa 8.55m e un valore $FC = 50\%$, il più basso riscontrato al campione CI2.

bh	Mw	ag	z (m)	zw (m)	γ (kN/mc)	σ_v (kPa)	u (kPa)	σ'_{v0} (kPa)	σ'_{v0} / Pa	N_{SPT}	Dr (%)
S-V28	5.91	0.11	8.55	2.5	20	171	61	110.5	1.11	27	75%

C_N	C_E	C_R	N_{60}	FC	α	β	N_{60cs}	MSF	CRR	rd	tau_m (kPa)	CSR	k_α	FL
0.95	1.00	1.00	26	50	5.00	1.20	30	1.00	0.468	0.93	11.68	0.11	0.970	4.29

10 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Si riporta, nei paragrafi che seguono, la caratterizzazione geotecnica dei materiali rinvenuti nell'area di progetto basata sull'interpretazione dei dati disponibili.

10.1 DEFINIZIONE DELLE UNITÀ GEOTECNICHE INDIVIDUATE

10.1.1 Unità Ra

Si tratta dello spessore di terreno vegetale costituito prevalentemente da limo sabbioso debolmente argilloso con resti vegetali e inclusi clasti e da terreno di riporto antropico. Si presenta con spessori medi non superiori a 1.00-1.50 m.

Per tale unità non sono state eseguite determinazioni di laboratorio nè prove in sito: per tale motivo le caratteristiche meccaniche sono state assegnate traendo spunto da dati bibliografici per terreni di simile composizione granulometrica. Di seguito se ne riportano i valori:

- $\gamma = 17-18 \text{ kN/m}^3$
- $c' = 0-5 \text{ kPa}$
- $\varphi' = 22^\circ-26^\circ$
- $E_0 = 150-250 \text{ MPa}$

10.1.2 Unità Aa (LA)

10.1.2.1 Identificazione

Si tratta di depositi alluvionali antichi in litofacies limoso-sabbiosa. Tale unità è stata rinvenuta fino ad una profondità massima di circa 30 m dal piano campagna (sondaggio S-V28) ed è in genere affiorante o si trova poco al di sotto dello strato dei riporti antropici.

L'unità è essenzialmente costituita da "limi sabbioso-argillosi o sabbie con limo talvolta con struttura laminata" classificabili in prevalenza come A7-6 o più raramente come A-6 (HRB-AASHTO) di colore marrone chiaro/grigio-verde.



CASSETTA C4 - 15,00-20,00 m. pc

Figura 7 –Foto del materiale in cassetta – Unità Aa(LA) [sondaggio S-V28]

Per l'unità geotecnica in esame sono stati prelevati principalmente campioni indisturbati, su cui sono state eseguite di laboratorio delle quali si riportano di seguito i risultati principali.

Dalle analisi granulometriche si ottiene:

- ghiaia: sostanzialmente assente
- sabbia compresa fra 6 e 45 % (media 19%);
- limo compreso fra 42 e 76 % (media 59%);
- argilla compresa fra 12 e 29 % (media 22%).

Per quanto sopra l'unità **Aa(LA)** è classificabile mediamente come **Limo con argilla – limo con argilla debolmente sabbioso**. La distribuzione delle varie frazioni con la profondità è mostrata in Figura 9.

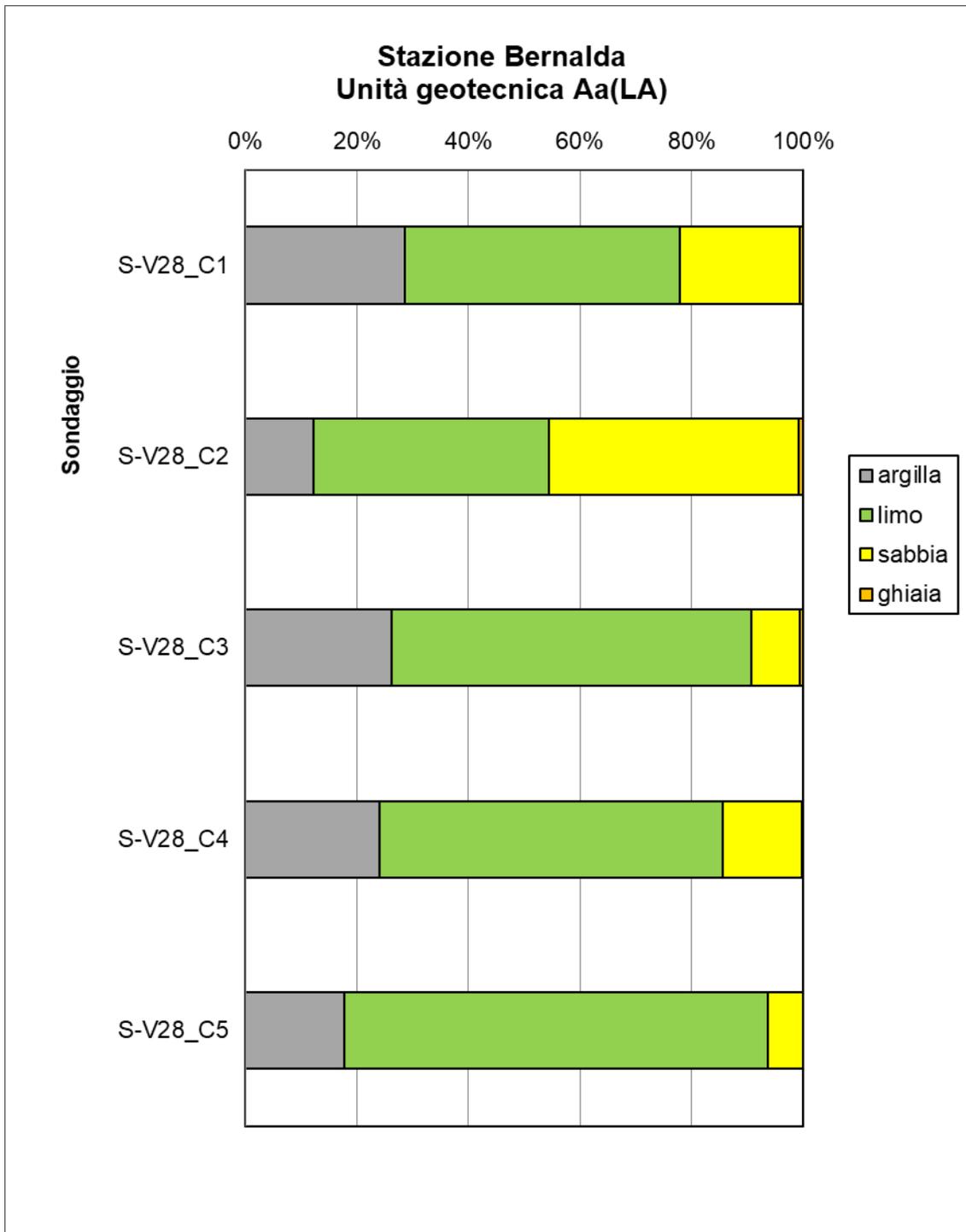


Figura 8 Analisi granulometrica per ciascuno dei campioni lavorati – Unità Aa(LA)

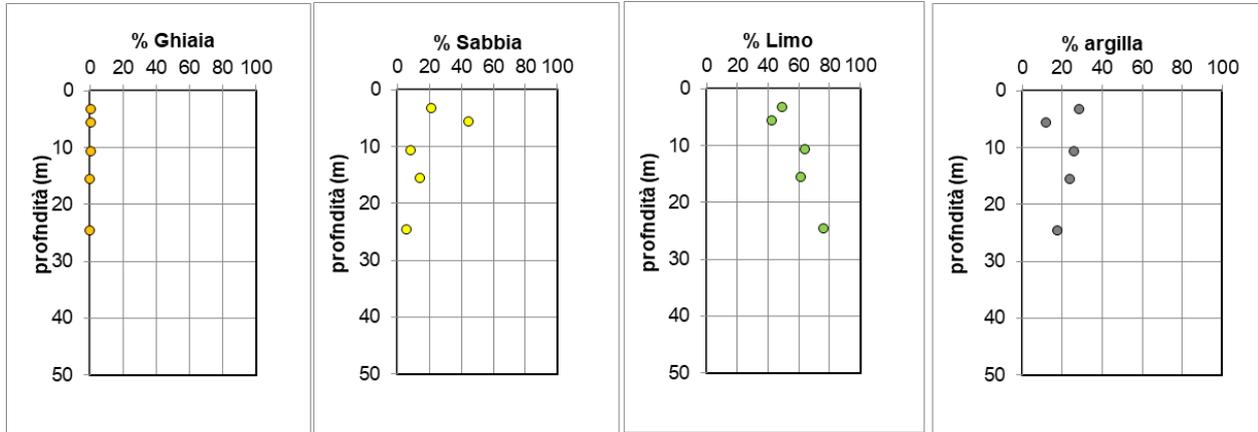


Figura 9 - Distribuzione granulometrica con la profondità del campione – Unità Aa(LA))

Il peso specifico dei grani è risultato compreso tra 26.6 e 26.8 kN/m³ (media 26.7 kN/m³), mentre il peso dell'unità di volume, determinato sui campioni indisturbati, è risultato compreso tra 19.1 e 20.6 KN/m³ (media 19.8 kN/m³).

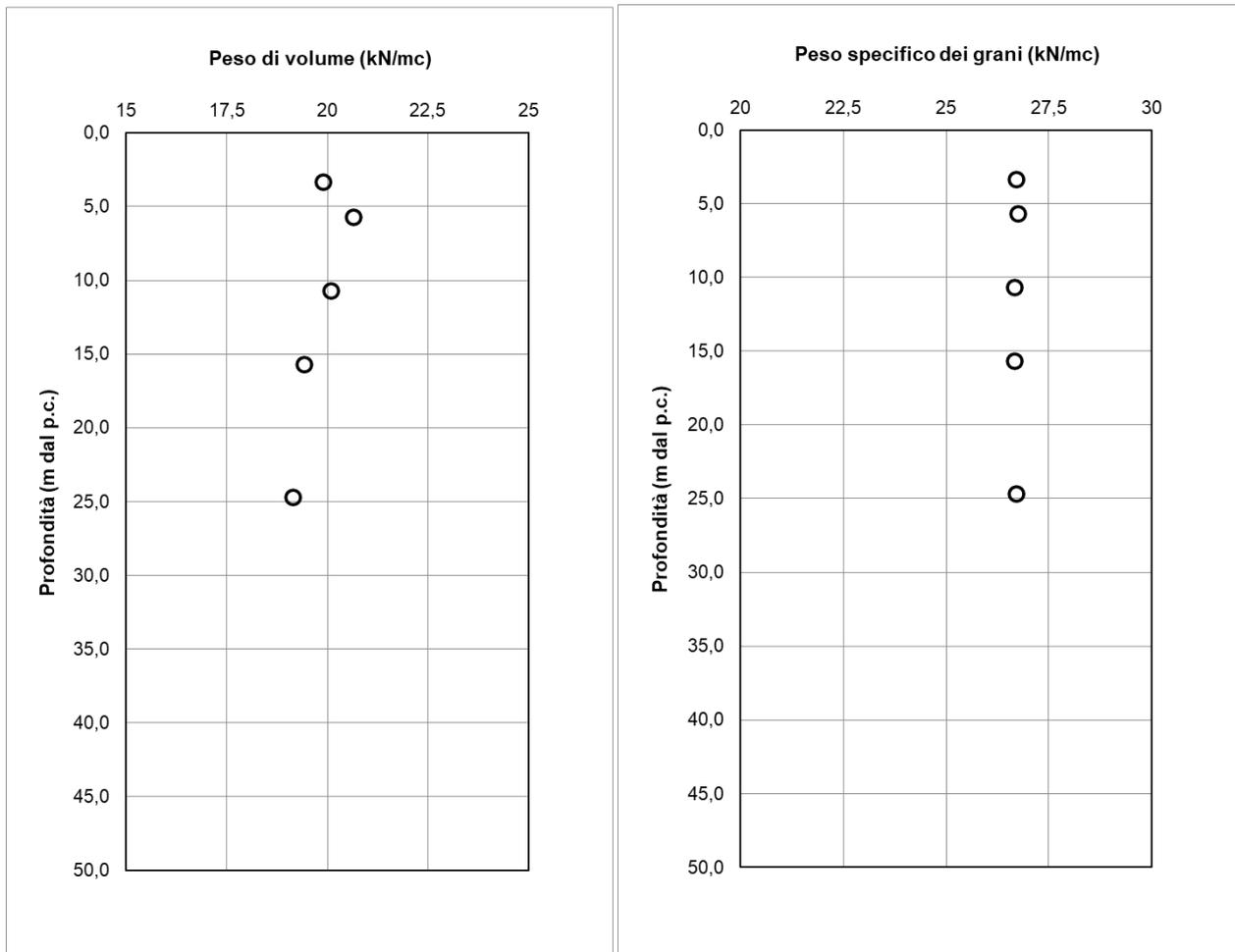


Figura 10 - peso dell'unità di volume (γ) e peso specifico dei grani (γ_s) al variare della profondità da p.c. – Unità Aa(LA)

Il limite liquido è compreso tra 26 e 42% (media 35%), il limite plastico tra 15 e 21% (media 18%), l'indice plastico tra 11 e 21 % (media 17%, plastico).

In base alla carta di plasticità i campioni dell'unità Aa (LA) sono per la maggior parte ascrivibili alle "Argille inorganiche di media-bassa plasticità". Il valore dell'indice di consistenza I_c , è risultato variabile tra 0.3 e 0.9 e pertanto la consistenza del materiale è generalmente da plastica a semisolida.

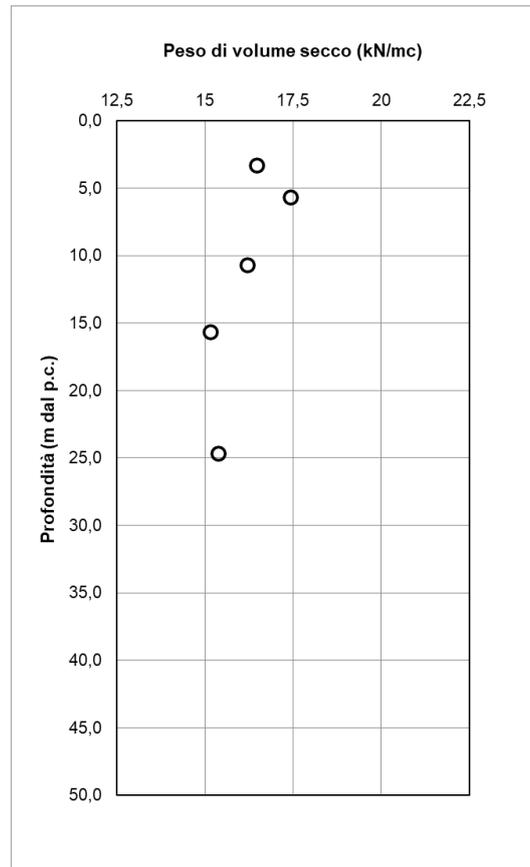


Figura 11 - Peso di volume secco – Unità Aa (La)

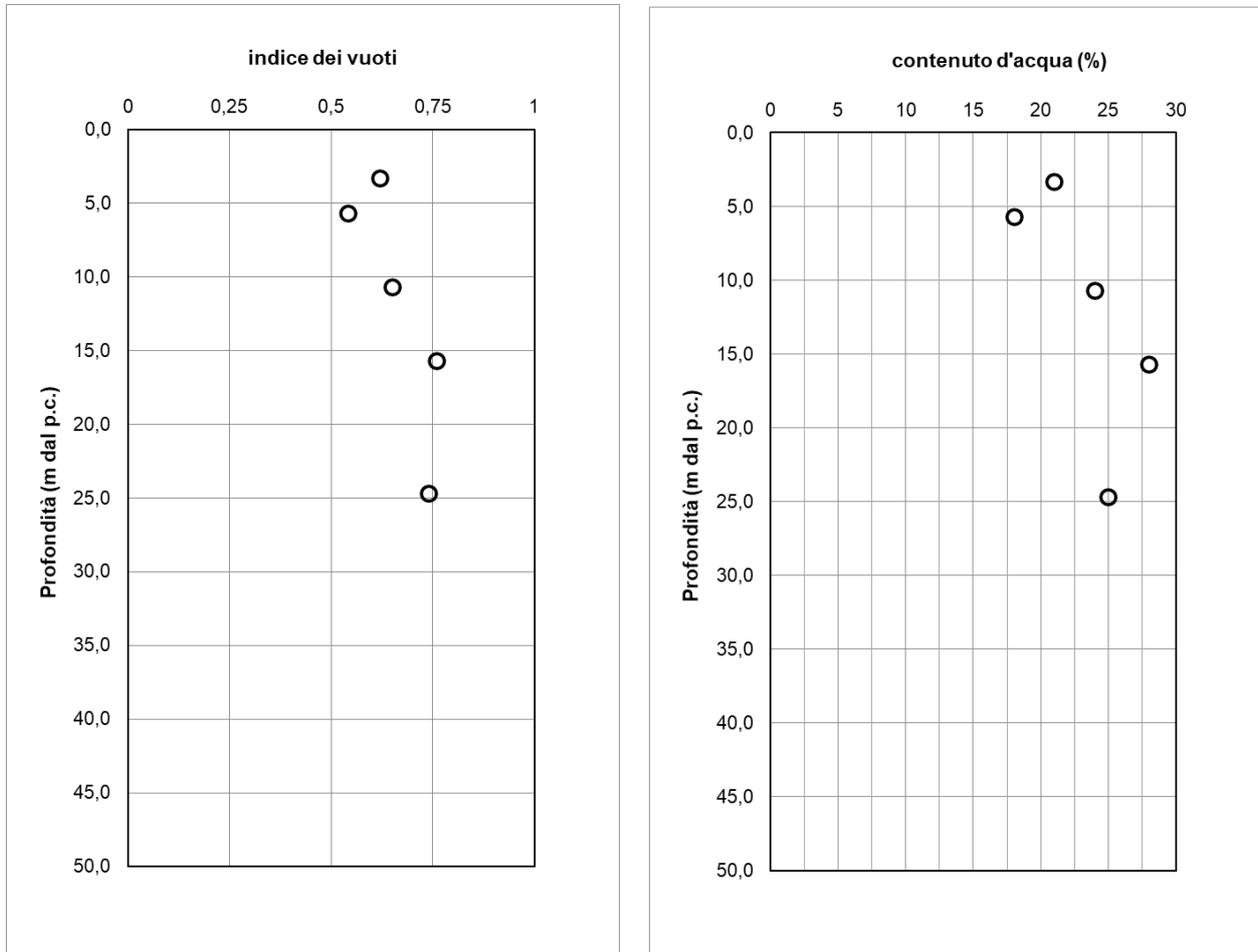


Figura 12 - indice dei vuoti e contenuto d'acqua – Unità Aa (LA)

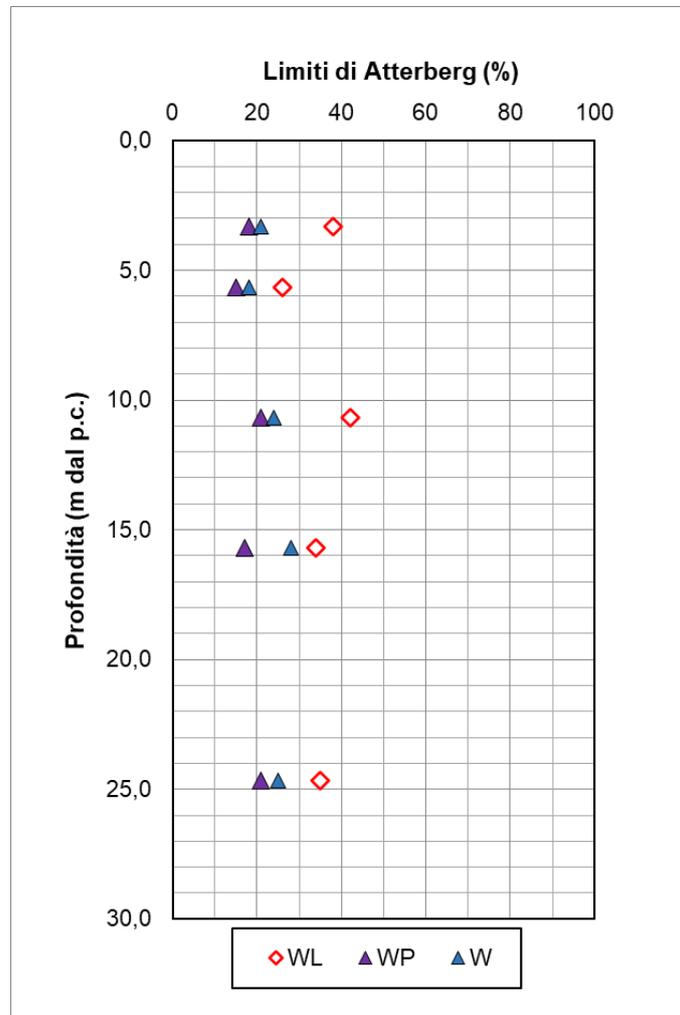


Figura 13 - Limiti di Atterberg al variare della profondità dal piano campagna – Unità Aa (LA)

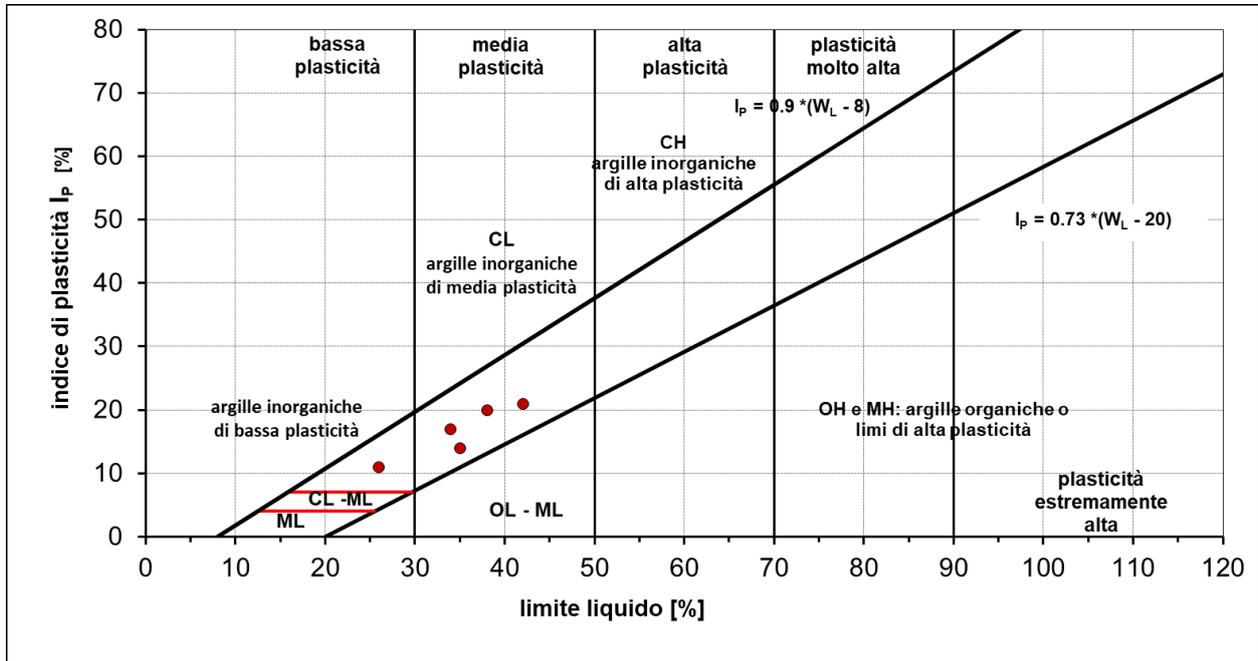


Figura 14 - Carta di plasticità di Casagrande – Unità Aa (LA)

10.1.2.2 Parametri di resistenza al taglio

Sui campioni indisturbati presenti all'interno dell'unità, sono state eseguite prove di laboratorio (triassiali UU e CID, prove di taglio diretto) volte a determinare i parametri di resistenza al taglio. I risultati di queste prove sono di seguito riassunti, precisando che per la caratterizzazione di questa unità si è fatto principalmente riferimento ai risultati delle prove triassiali, considerando la forte dispersione del dato fornita dalle prove di taglio dirette.

TAGLIO DIRETTO

$c' = 11-53$ (kPa)
 $\varphi' = 19-33$ (°)

TX-CID

16 (kPa)
29 (°)

coesione drenata
angolo di resistenza al taglio

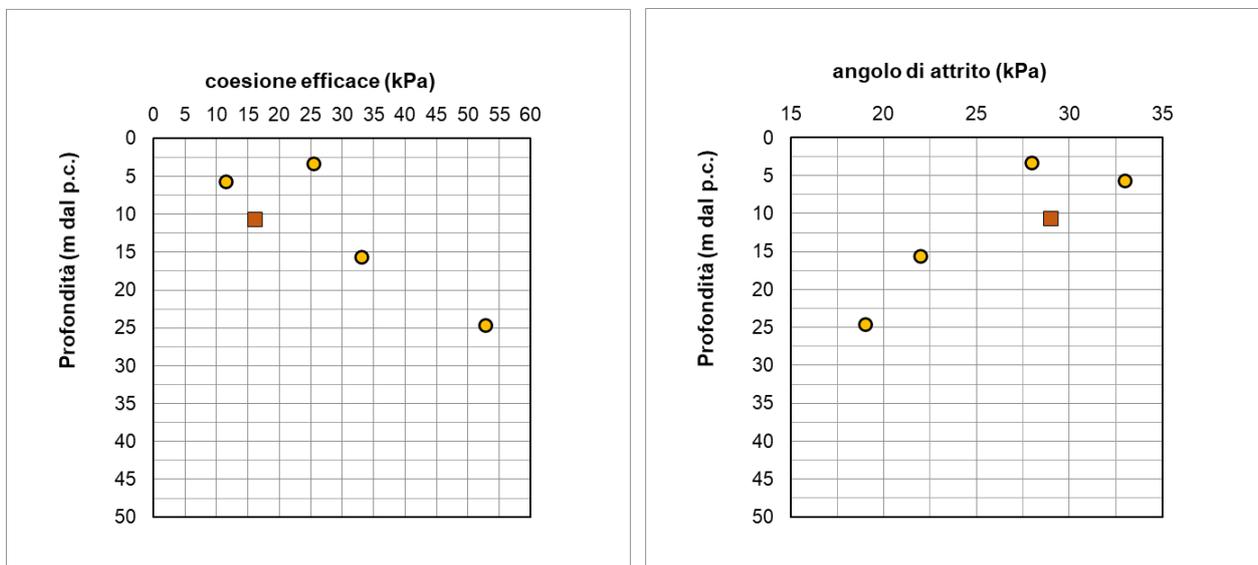


Figura 15 - Coesione efficace (c'), angolo di resistenza al taglio (φ) al variare della profondità da p.c. – Unità Aa (LA)

La resistenza in condizioni non drenate è stata misurata per mezzo di prove triassiali non consolidate non drenate e stimata con pocket test sulle carote di laboratorio. Di seguito si riportano inoltre i valori di c_u ottenuti dalle prove penetrometriche dinamiche SPT con le correlazioni empiriche in precedenza esplicitate. Si precisa che, trattandosi di depositi prevalentemente coesivi, per l'angolo di resistenza al taglio si è fatto riferimento esclusivamente alle prove di laboratorio e non alle correlazioni con i risultati delle prove penetrometriche dinamiche.

In generale i valori sono rappresentativi di un materiale di media resistenza con una coesione non drenata variabile tra i 50 ed i 100 kPa. I valori stimati attraverso prove SPT sono maggiormente dispersi.

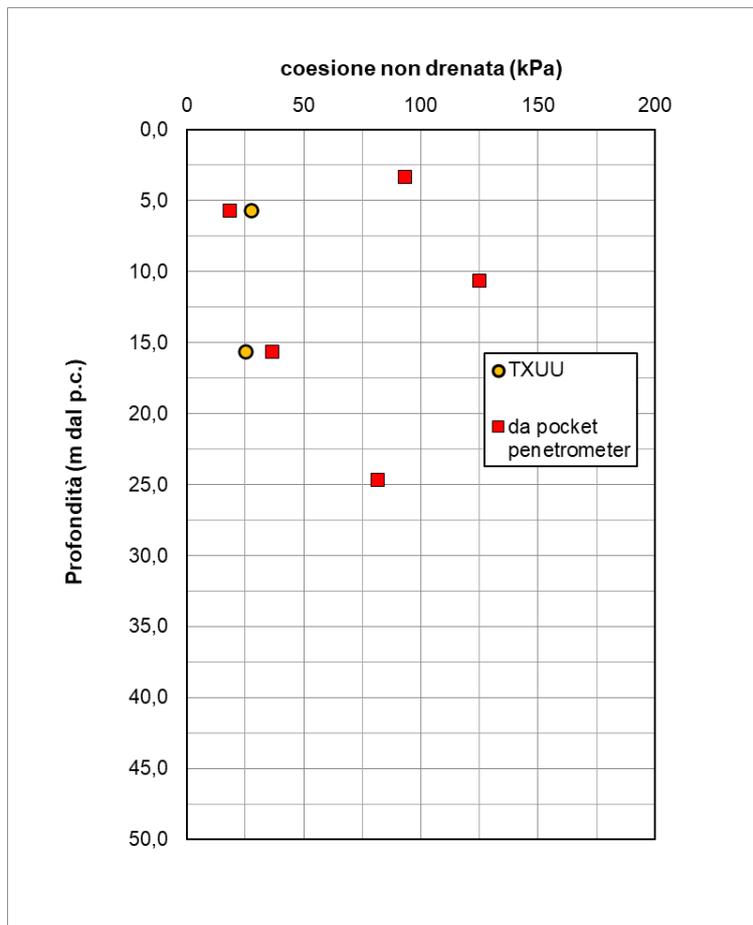


Figura 16 - Coesione non drenata (c_u) al variare della profondità da p.c. – Unità Aa(LA)

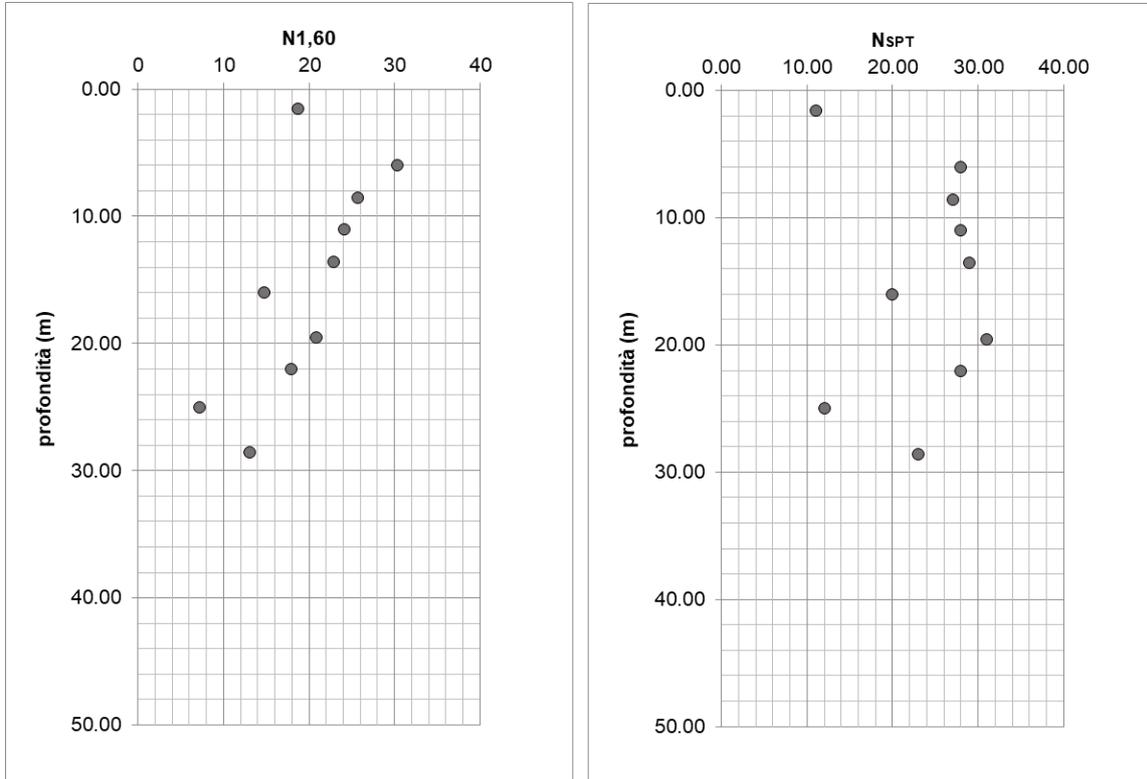


Figura 17 - Valori del numero di colpi N_{SPT} e $N_{1,60}$ al variare della profondità da p.c. – Unità Aa(LA)

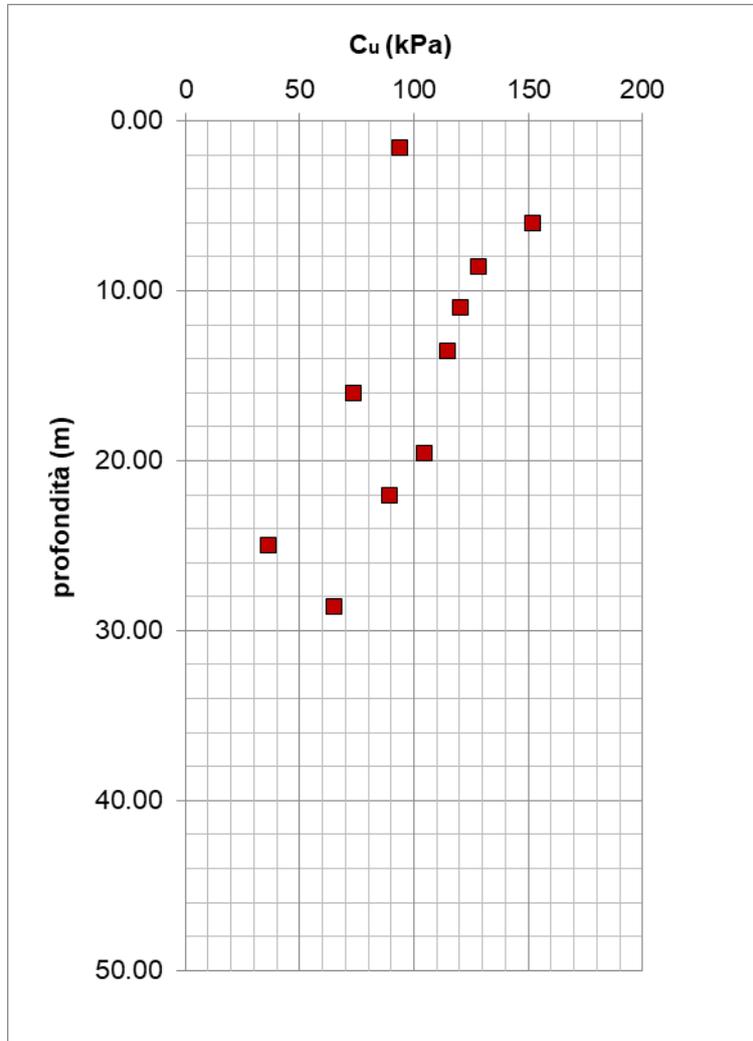


Figura 18 - Coesione non drenata stimata da prove penetrometriche dinamiche SPT mediante la correlazione di Stroud (1974)

10.1.2.3 Parametri di deformabilità

I parametri di deformabilità sono stati stimati a partire dai risultati delle indagini sismiche di tipo MASW i cui risultati sono sintetizzati nella che segue.

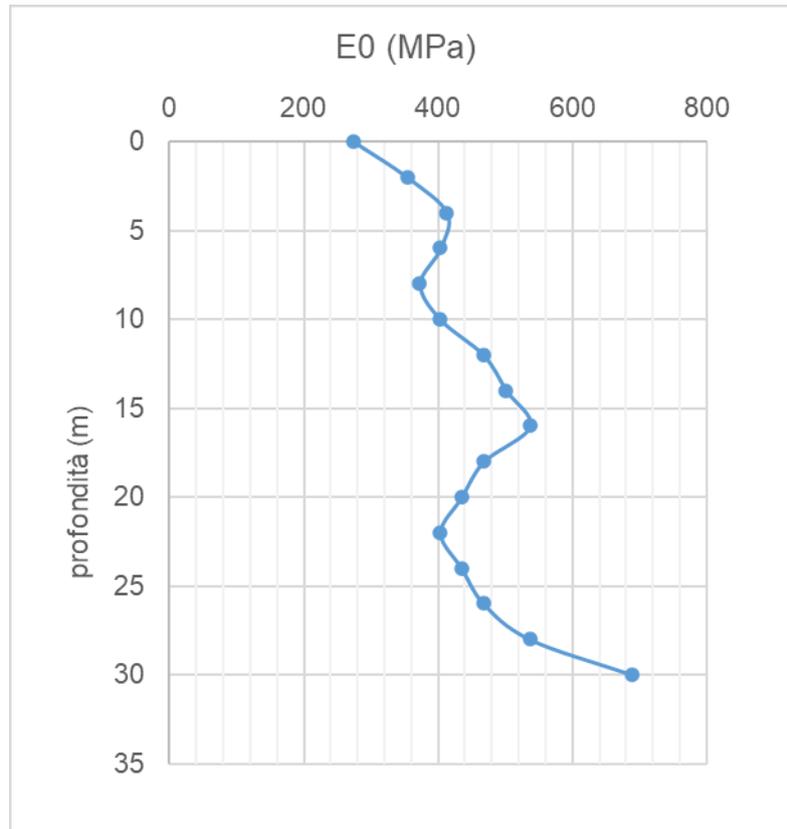


Figura 19 - Modulo dinamico E_0 variare della profondità da p.c. – Unità Aa(LA)

All'unità Aa(LA) possono essere quindi attribuiti i seguenti valori dei moduli operativi:

Profondità (m da p.c.)	E_0 (MPa)	$E_0/5$ (MPa)	$E_0/10$ (MPa)
0-30 m	250-500	50-100	25-50

10.1.2.4 Permeabilità

La permeabilità dell'unità geotecnica è stata stimata mediante num. 3 prove Lefranc i cui risultati sono stati riportati nella seguente tabella. La permeabilità misurata è compresa tra 2.3×10^{-8} e 3.2×10^{-8} m/s (media 2.8×10^{-8} m/s).

LEFRANC STAZIONE BERNALDA			
BH	Profondità (m)	k (m/s)	UNITA'
S-V28	2,00	3,22E-08	Aa (LA)
S-V28	9,00	2,32E-08	Aa (LA)

Tabella 12: Risultati delle prove Lefranc – Unità Aa(LA)

10.2 DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI GEOTECNICI

Sulla base dell'analisi dei dati proveniente dalle campagne geognostiche, è stato possibile caratterizzare dal punto di vista geotecnico i materiali. Di seguito se ne riporta la sintesi:

Stazione Bernalda

Unità geotecnica	γ	ϕ'_k	c'_k	c_{uk}	$K_{LEFRANC}$
	[kN/m ³]	[°]	[kPa]	[kPa]	[m/s]
Ra	17-18	22-26	0-5	-	-
Aa(LA)	19.1-20.6	20-28	10-25	50-100	2.3×10^{-8} - 3.2×10^{-8}

Tabella 13: Parametri di resistenza caratteristici dei terreni

Unità Geotecnica	G_0	E_0
	[MPa]	[MPa]
Ra	90-120	270-350
Aa(LA)	140-230	400-700

Tabella 14: Parametri di deformabilità da prove geofisiche

11 MONITORAGGIO PIEZOMETRICO

Allo scopo di indagare l'effettiva presenza di falde idriche sotterranee ed il relativo andamento della superficie piezometrica, nel corso dello studio sono state eseguite apposite campagne di monitoraggio consistenti nella misura del livello di falda nei tubi piezometrici precedentemente installati nei fori di sondaggio. In particolare, nell'area in oggetto il sondaggio SV28 è stato attrezzato con piezometro a tubo aperto.

Al momento della stesura della presente relazione, sono disponibili i dati di monitoraggio dei piezometri installati nell'area in esame fino all'ultima lettura di Dicembre 2021. I livelli variano tra circa 2.20 e 3.00 metri dal piano campagna.

La seguente tabella mostra i dati misurati in campagna.

sigla	piezometro	data	prof. falda m dal p.c.	quota falda m s.l.m.	note
S-V28	Tubo aperto	06/2021	2.48	21.42	-
		07/2021	2.73	21.17	-
		08/2021	2.73	21.17	-
		09/2021	2.23	21.67	-
		10/2021	2.98	20.92	-
		11/2021	3.03	20.87	-
		12/2021	2.95	20.95	-

Tabella 15: Monitoraggio piezometrico mesi Giugno - Dicembre 2021

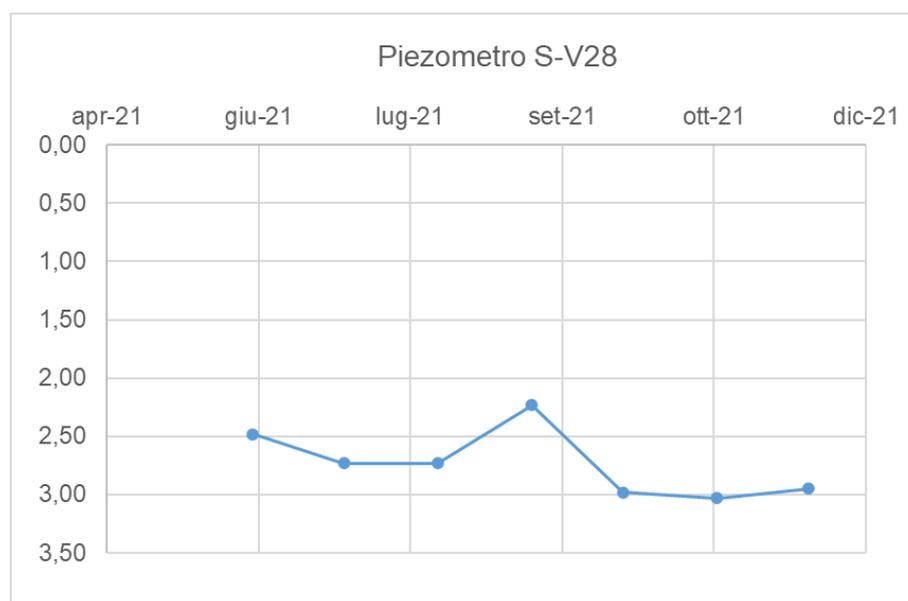


Figura 20 - andamento del livello piezometrico nell'area della Stazione di Bernalda