



MINISTERO
DELLE INFRASTRUTTURE
E DELLA MOBILITÀ SOSTENIBILI



E.N.A.C
ENTE NAZIONALE per
L'AVIAZIONE CIVILE

Committente Principale



AEROPORTO INTERNAZIONALE DI FIRENZE AMERIGO VESPUCCI

Opera

MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035

Titolo Documento Completo

OPERE DI VIABILITÀ
Relazione Geotecnica

Livello di Progetto

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA

LIV	REV	DATA EMISSIONE	SCALA	CODICE FILE COMPLETO
PFTE	00	Ottobre 2022	-	FLR-MPL-PFTE-VBT2-002-OC-RT_Rel Geot
				TITOLO RIDOTTO
				Rel Geot

00	09/2022	Prima Emissione	TAE, SITECO	D. Vestrini	L. Tenerani
REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

COMMITTENTE PRINCIPALE	GRUPPO DI PROGETTAZIONE	SUPPORTI SPECIALISTICI
 ACCOUNTABLE MANAGER Dott. Vittorio Fanti	 DIRETTORE TECNICO Ing. Lorenzo Tenerani Ordine degli Ingegneri di Massa Carrara n°631	PROGETTAZIONE SPECIALISTICA Donata Vestrini Ordine degli ingegneri di Firenze N°6703
POST HOLDER PROGETTAZIONE AD INTERIM Dott. Vittorio Fanti POST HOLDER MANUTENZIONE Ing. Nicola D'ippolito POST HOLDER AREA DI MOVIMENTO Geom. Luca Ermini	RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE Donata Vestrini Ordine degli ingegneri di Firenze N°6703	SUPPORTO SPECIALISTICO SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE PER ADEGUAMENTO E SVILUPPO DELLE OPERE INFRASTRUTTURALI PROGETTISTA SPECIALISTICO Ing. Andrea Burchi

Sommario

1.	PREMESSA	2
1.1.	Generalità.....	2
1.2.	Descrizione delle opere e degli interventi.....	2
2.	GEOLOGIA.....	4
2.1.	Geologia dell'area di intervento.....	4
2.1.1.	<i>bna1 e bna2</i>	4
2.1.2.	<i>Depositi alluvionali attuali (b)</i>	4
2.1.3.	<i>Depositi antropici, terreni di riporto, bonifica per colmata (h5)</i>	4
2.1.4.	<i>Depositi antropici, discariche per inerti e rifiuti solidi [h1]</i>	4
3.	IDROGEOLOGIA	5
3.1.	Permeabilità delle unità litostratigrafiche affioranti nell'area in esame	5
3.2.	Superficie piezometrica.....	5
4.	RISULTATI DELLE INDAGINI ESEGUITE	6
4.1.	Generalità.....	6
4.1.1.	<i>Prove geotecniche di laboratorio</i>	12
4.2.	Indagini geofisiche	14
4.2.1.	<i>Sismica a rifrazione</i>	14
4.2.2.	<i>Indagine sismica in foro downhole</i>	14
5.	SISMICITÀ E DEFINIZIONE DEI PARAMETRI SISMICI	15
5.1.	Zona sismica	15
5.2.	Parametri sismici	16
5.2.1.	<i>Aspetti generali</i>	16
5.2.2.	<i>Categoria di sottosuolo (approccio semplificato)</i>	16
5.2.3.	<i>Categoria topografica</i>	19
5.2.4.	<i>Parametri dell'azione sismica locale</i>	19
6.	MODELLAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA	26
6.1.	Sezione geologica.....	26
6.2.	<i>Caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni presenti nel volume significativo e definizione del modello geotecnico di sottosuolo</i>	29
6.2.1.	<i>Aspetti generali</i>	29
6.2.2.	<i>Modello geotecnico</i>	29
6.2.3.	<i>Considerazioni sui terreni coesivi superficiali</i>	35
7.	LIQUEFAZIONE	37
7.1.	Indicazioni sulla necessità di opere provvisorie e loro tipologia	39

1. PREMESSA

1.1. Generalità

La presente relazione geotecnica preliminare è stata redatta su incarico di Toscana Aeroporti Engineering S.r.l. ai sensi del Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018¹ e della Circolare del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici 21 gennaio 2019 n. 72, a supporto della progettazione della nuova viabilità prevista nel Master Plan Project Review 2025-2035 per l'Aeroporto Internazionale Amerigo Vespucci di Firenze. Il progetto, da realizzarsi nel territorio del Comune di Sesto Fiorentino e, per una piccola porzione nel territorio del Comune di Firenze³, comprende un nuovo tracciato stradale che bypassa il tratto di Via dell'Osmannoro che sarà interrotto dalla realizzazione della nuova pista. Il bypass prevederà un sottopasso che sarà realizzato sottostante la nuova pista di decollo e alcune infrastrutture, due rotatorie principali, le rampe di accesso all'autostrada, le opere d'arte (n. 2 ponti e n.1 scatolare di attraversamento di rilevati stradali) e opere d'arte minori (muri andatori). Il presente studio descrive nel dettaglio le caratteristiche geologiche (litologiche e giaciture), idrogeologiche, idrauliche, geomorfologiche e di stabilità, di pericolosità (geologica, idraulica e sismica) dell'area in oggetto, riassume i risultati delle indagini geognostiche eseguite nel 2015 e nel 2017 dell'Aeroporto Internazionale di Firenze Amerigo Vespucci, determina le classi di fattibilità dell'intervento (geologica, idraulica e sismica) e contiene la modellazione geologica, geotecnica e sismica del terreno.

1.2. Descrizione delle opere e degli interventi

La presente relazione geotecnica ha come oggetto i seguenti interventi principali previsti dalla configurazione di progetto del Master Plan Project Review 2025-2035 secondo il quale le indicazioni progettuali al momento note sono le seguenti:

- Viabilità, tutte le strade saranno realizzate parte in trincea parte in rilevato, con altezza media di 1,5 m (a eccezione della nuova rampa di immissione sull'autostrada dove si raggiungeranno i 5,0 m);
- Tratto A-B : la nuova viabilità sostituirà l'attuale Via dell'Osmannoro, ripristinando il collegamento di Sesto con l'Osmannoro, (strada extraurbana secondaria di categoria C) avrà una carreggiata unica dotata di una corsia per senso di marcia di larghezza pari a 3,75 m e banchine di larghezza pari a 1,5m;
- Viabilità di accesso all'Aeroporto (strada extraurbana locale F1) presenterà una carreggiata unica dotata di una corsia per senso di marcia di larghezza pari a 3,5 m e banchine di larghezza pari a 1 m;
- Nuova tratto di riconnessione a Via del Pantano: viabilità che consente di "ricucire" la rete viaria locale

¹ Nuove norme tecniche per le costruzioni.

² Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.

³ Tratto di circa 330 m della viabilità di accesso all'aeroporto (si veda il § 0).

ripristinando il collegamento tra Via Perfetti Ricasoli e Casa Passerini (strada extraurbana locale di categoria F2) avrà una carreggiata unica dotata di una corsia per senso di marcia di larghezza pari a 3,25m e banchina di larghezza pari a 1m;

- Intersezioni:
- la viabilità principale sarà dotata di due rotatorie compatte: Il NODO B di diametro esterno 50 m, dislocato a sud della pista, in prossimità dello svincolo di Sesto Fiorentino, gestirà lo scambio tra i volumi autostradali e quelli presenti su Via dell'Osmannoro/Via del Cantone e consentirà l'accesso all'area aeroportuale; il NODO A, di diametro esterno 50 m, a nord della pista, situata in corrispondenza di via dell'Osmannoro, consentirà la deviazione dei flussi sul nuovo tracciato e l'accesso al Polo Scientifico Universitario;
- la viabilità di accesso all'aeroporto si snoderà invece tramite una rotatoria convenzionale di diametro esterno pari a 45 m.
- Verranno inoltre realizzate due rotatorie che consentiranno la circolazione dei mezzi pesanti per il trasporto merci dalla Stazione di Castello all'area logistica all'interno del sedime aeroportuale nei pressi del Parco Fotovoltaico. Si tratta del NODO E presso la Stazione Ferroviaria di Castello e NODO C esterno al sedime aeroportuale in corrispondenza del futuro Parco Fotovoltaico.i
- Opere d'arte:
- sono previsti due ponti a servizio della viabilità principale, entrambi insistenti sulla deviazione del Fosso Reale e poggiati su impalcato: il primo a nord della nuova pista, nei pressi della Baxter Manufacturing S.p.A., a campata unica di luce 26 m, con la base dei pilastri posta a circa 37,70 m s.l.m.; il secondo a sud della nuova pista nella rampa di immissione all'autostrada A11, nei pressi della vasca di auto contenimento idraulico C4, a campata unica di luce 35 m con la base dei pilastri posta a circa 36,40 m s.l.m.;
- sottoattraversamento della pista: ha uno sviluppo di circa 412 m nella parte più profonda (profondità massima scavo di circa 9 m da p.c.);
- opere d'arte minori: verrà infine previsto uno scatolare in corrispondenza della rotatoria B con attraversamento per viabilità di manutenzione argine del nuovo rilevato di progetto con dimensioni esterne di 5,00 x 5,00 e spessore 0,50m e lunghezza 10ml.

⁴ Si tratta di un'opera idraulica da realizzare nell'ambito dei lavori previsti dal Master Plan Review 2025-2035 per l'Aeroporto Internazionale Amerigo Vespucci di Firenze.

2. GEOLOGIA

2.1. Geologia dell'area di intervento

Nella zona in studio affiorano i Depositi Olocenici, in particolare i Depositi alluvionali recenti terrazzati (bna1 e bna2), i Depositi alluvionali attuali (b), i Depositi antropici, terreni di riporto, bonifica per colmata (h5) e i Depositi antropici, discariche per inerti e rifiuti solidi (h1), come mostrato nella carta geologica riportata nella carta geologica

Depositi alluvionali recenti terrazzati e non terrazzati (bna)

Si tratta di depositi di origine alluvionale costituiti da ghiaie, sabbie e limi dei terrazzi fluviali, di 1° ordine [bna1] e di 2° ordine [bna2] i quali compongono la totalità dei terreni affioranti nell'area della carta geologica. Le opere oggetto della presente relazione saranno realizzate quasi interamente sui terrazzi fluviali di 1° ordine (bna1).

2.1.1. bna1 e bna2

Dall'esame della documentazione inerente le campagne di indagine si evince che, dal punto di vista meramente litologico, nell'area interessata dal progetto in esame affiorano, al di sotto di alcuni decimetri di terreno vegetale oppure di terreni di riporto, argille e limi a tratti debolmente sabbiosi. Il colore del terreno in posto nelle porzioni più superficiali è giallastro per passare a grigio ad alcuni metri di profondità.

2.1.2. Depositi alluvionali attuali (b)

Sono costituiti da ghiaie, sabbie e limi dei letti fluviali attuali, soggetti ad evoluzione con ordinari processi fluviali, nella zona in studio sono presenti negli alvei sia naturali che artificiali del reticolo idrografico.

2.1.3. Depositi antropici, terreni di riporto, bonifica per colmata (h5)

L'unità raggruppa tutti quei depositi connessi con l'attività umana. Comprende quindi terreni di riporto, rilevati stradali, terreni di bonifica per colmata. In particolare, nell'area investigata, essi costituiscono i rilevati delle opere infrastrutturali come le autostrade e gli argini di fossi e di parte del reticolo idrografico minore della piana (a esempio gli argini del Fosso Reale).

2.1.4. Depositi antropici, discariche per inerti e rifiuti solidi [h1]

Questa unità identifica i terreni presenti in corrispondenza della discarica di Case Passerini, ubicata a ovest della zona in esame, in prossimità della località Osmannoro. La discarica e gli impianti si trovano in un'area delimitata dal Fosso Reale (a sud), dall'autostrada Firenze – Mare A11 (a nordest) e dagli stagni di Focognano (a nordovest).

3. IDROGEOLOGIA

3.1. Permeabilità delle unità litostratigrafiche affioranti nell'area in esame

Le formazioni geologiche presenti nell'area sono state suddivise in base alla permeabilità precedentemente indicata e riassunta nella tabella seguente:

Classe	Terreni permeabili per porosità primaria	Permeabilità
1	Depositi antropici, terreni di riporto, bonifica per colmata (h5) Depositi antropici, discariche per inerti e rifiuti solidi (h1)	molto bassa
2	Depositi alluvionali recenti terrazzati (bna1 e bna2)	bassa
3	Depositi alluvionali attuali (b)	media
4	-	alta
5	-	molto alta

Volendo invece fornire un valore indicativo del coefficiente di permeabilità K , si può far riferimento a quello ottenuto dalle prove edometriche eseguite sui campioni indisturbati prelevati durante la perforazione dei sondaggi che risulta compreso tra $8,00E-12$ m/sec e $2,47E-10$ m/sec, nel limo con argilla debolmente sabbioso. Le prove di permeabilità in situ di tipo Lefranc eseguite durante la prima fase di indagine non hanno fornito nella maggior parte dei casi valori di permeabilità indicativi per l'assenza di abbassamenti significativi; solo nel caso dei sondaggi S19 e S35 (realizzati lungo il sedime della nuova pista dell'aeroporto) è stato ricavato un valore medio del coefficiente k pari rispettivamente a $3,62E-09$ m/s (profondità prova 5,00÷7,00 m) e $4,47E-08$ m/s (tra 25,00 e 30,00 m)

3.2. Superficie piezometrica

Durante l'esecuzione della quasi totalità dei sondaggi realizzati non è stata riscontrata la presenza di acqua. Tuttavia in merito alle interferenze eventualmente presenti e prevedibili tra gli interventi in progetto e le acque di sottosuolo è opportuno fare le seguenti considerazioni:

- superficialmente è presente un livello dello spessore di un paio di metri al di sotto del piano di campagna, che a seconda della stagione, può essere interessato da saturazione alla profondità compresa tra 0 e 1,5 m; questo livello non ha alcun valore e interesse dal punto di vista della risorsa idrica;

Nella campagna di indagini geognostiche di riferimento per il presente studio, sono stati realizzati numerosi piezometri (si veda l'ubicazione delle indagini in allegato) all'interno dei quali è stato possibile effettuare delle misure piezometriche le quote delle quali variano da 0,47 a 4,37 m dal piano di campagna. In particolare si riportano nella tabella seguente le misure piezometriche effettuate in data 4 settembre

2017 nei piezometri S90 e S112 limitrofi e prossimi all'area in esame.

sigla piezometro	quota [m s.l.m.]	profondità [m da p.c.]
S90 (a nord dell'area in esame)	33,62	3,37
S112 (a nord dell'area in esame)	32,42	3,16

- Misure piezometriche (04/09/2017).

A seguito delle valutazioni riportate nella Relazione Geologica, sezione idrogeologia, e valutate le cartografie relative all' area in esame, si ritiene di assumere per il livello della falda il valore di progetto pari ad una soggiacenza di -2 m. dal p.c. Nelle fasi progettuali successive sarà disponibile un monitoraggio temporalmente più esteso.

4. RISULTATI DELLE INDAGINI ESEGUITE

4.1. Generalità

Come detto in premessa, le indagini di riferimento per il presente studio sono quelle eseguite da Ambiente sc di Carrara, su incarico di Toscana Aeroporto Engineering S.r.l., nella Campagna di indagini geognostiche realizzate nel 2015 e nel 2017. Di seguito si elencano nel dettaglio le indagini geognostiche realizzate per lo studio delle caratteristiche litologiche, stratigrafiche e meccaniche dei terreni presenti nell'area interessata dalle opere in progetto, (ubicate come mostrato nelle tavole allegate).

- Per la viabilità, il sottoattraversamento della pista e relative rotatorie:
 - n. 7 (sette) prove penetrometriche statiche con piezocono denominate CPTU01, CPTU11, CPTU12, CPTU18, CPTU23, CPTU24 e CPTU25, che hanno raggiunto profondità comprese tra di 8,19 e 10,27 m dal p.c., eseguite dalla Geosol s.n.c. di Sovicille (Provincia di Siena);
 - n. 6 (sei) sondaggi a carotaggio continuo denominati S21÷S25, S80÷S81, aventi una profondità di 4,0 m dal p.c.;
 - n. 1 (uno) sondaggio a carotaggio continuo denominato S118, fino ad una profondità di 5,0 m dal p.c. per poi essere a distruzione di nucleo fino ad una profondità di 32,0 m dal p.c.;
 - n. 7 (sette) sondaggi a carotaggio continuo denominati S92, S101, S103, S104, S106, S107 e S116, aventi una profondità di 15,0 m dal p.c.;
 - n. 4 (quattro) sondaggi a carotaggio continuo denominati S91, S117 e S119, aventi una profondità di 32,0 m dal p.c.;

- nei sondaggi S21, S24, S25, S91, S92, S101, S103, S104, S106, S107 e S116, S117, S118 e S119 sono state eseguite Standard Penetration Test (S.P.T.).

Sigla sondaggio	S.P.T.	Profondità [m da p.c.]	Profondità [m s.l.m.]	N1	N2	N3	N _{SPT}
S21	1	3,00 ÷ 3,45	33,550 ÷ 33,100	8	12	11	24
S24	1	1,50 ÷ 1,95	34,500 ÷ 34,050	6	7	10	17
S25	1	3,00 ÷ 3,45	33,550 ÷ 33,100	8	10	13	23
S91	1	2,60 ÷ 3,05	37,951 ÷ 37,501	3	5	8	13
	2	7,00 ÷ 7,45	33,551 ÷ 33,101	6	10	11	21
S92	1	2,10 ÷ 2,55	38,473 ÷ 38,023	3	4	7	11
	2	5,00 ÷ 5,45	35,573 ÷ 35,123	4	6	8	14
S101	1	3,50 ÷ 3,95	34,118 ÷ 33,668	4	6	7	13
	2	9,00 ÷ 9,45	28,618 ÷ 28,168	8	11	13	24
S103	1	3,50 ÷ 3,95	32,328 ÷ 31,878	7	9	9	18
	2	8,00 ÷ 8,45	27,828 ÷ 27,378	11	15	15	30
S104	1	4,00 ÷ 4,45	32,494 ÷ 32,044	6	9	11	20
	2	6,00 ÷ 6,45	30,494 ÷ 30,044	8	12	13	25
S106	1	4,00 ÷ 4,45	34,312 ÷ 33,862	5	6	6	12
	2	6,00 ÷ 6,45	32,312 ÷ 31,862	8	10	12	22
S107	1	3,00 ÷ 3,45	32,016 ÷ 31,566	6	8	7	15
	2	6,00 ÷ 6,45	29,016 ÷ 28,566	9	9	11	20
S116	1	2,10 ÷ 2,55	34,732 ÷ 34,282	2	3	3	6
	2	5,00 ÷ 5,45	32,232 ÷ 31,782	8	14	18	32
S117	1	2,60 ÷ 3,05	34,024 ÷ 33,574	3	4	3	7
	2	7,00 ÷ 7,45	29,624 ÷ 29,174	9	16	0	36
S118	1	2,10 ÷ 2,55	33,965 ÷ 33,615	6	5	7	12
	2	5,00 ÷ 5,45	31,065 ÷ 30,615	8	8	13	21
	3	7,00 ÷ 7,45	29,065 ÷ 29,615	10	11	14	25
S119	1	2,10 ÷ 2,55	34,252 ÷ 33,902	6	9	11	20
	2	4,00 ÷ 4,45	32,352 ÷ 31,902	8	8	10	18
	3	7,00 ÷ 7,45	29,352 ÷ 28,902	5	9	13	22

- Standard Penetration Test (S.P.T.) eseguite durante la perforazione dei sondaggi.

- prelievo di campioni indisturbati con fustella a pareti sottili tipo Shelby dai sondaggi realizzati, alle profondità indicate nella tabella **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.;**
- sui campioni suddetti sono state eseguite prove geotecniche da parte del laboratorio Igetecma s.n.c. di Montelupo Fiorentino (Provincia di Firenze).

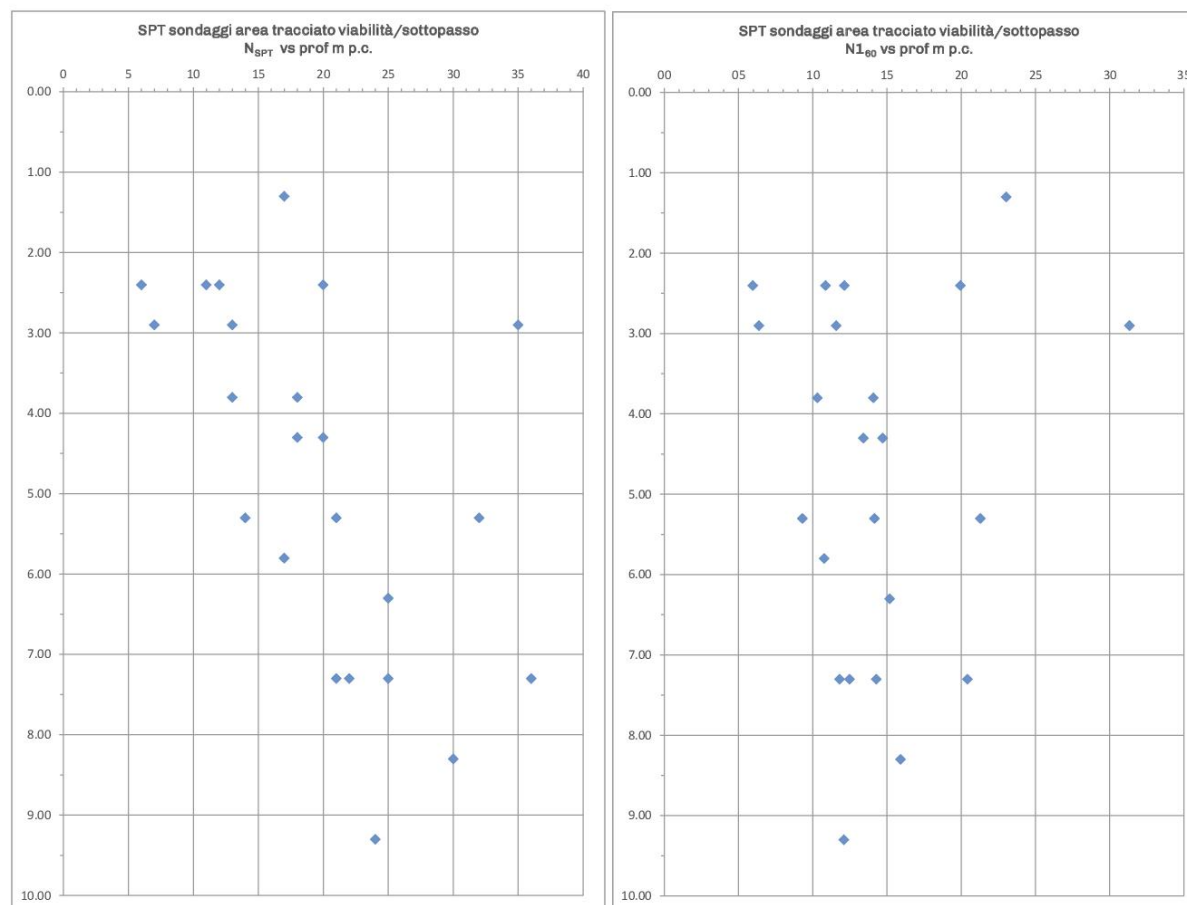
sigla sondaggio	sigla campione	profondità [m da p.c.]	quota [m s.l.m.]
S21	S21C1	0,50 ÷ 1,00	36,55
	S21C2	1,00 ÷ 1,50	
S23	S23C1	1,00 ÷ 1,50	35,98
S24	S24C1	1,00 ÷ 1,50	36,00
	S24C2	1,10 ÷ 1,60	
S25	S25C1	0,50 ÷ 1,00	36,55
	S25C2	1,50 ÷ 1,90	
S80	S25C2	1,50 ÷ 2,00	38,03
S81	S81C1	1,50 ÷ 2,00	38,03
S91	CI1	2,00 ÷ 2,50	38,551 ÷ 38,051
	CI2	4,50 ÷ 5,00	36,051 ÷ 35,551
	CI3	9,00 ÷ 9,50	31,551 ÷ 31,051
S92	CI1	1,50 ÷ 2,00	39,073 ÷ 38,573
	CI2	3,5 ÷ 4,00	37,073 ÷ 36,573
	CI3	6,50 ÷ 7,00	34,073 ÷ 33,573
S101	CI1	0,50 ÷ 1,00	37,118 ÷ 36,618
	CI2	2,50 ÷ 3,00	35,1183 ÷ 34,618
	CI3	4,00 ÷ 4,60	33,618 ÷ 33,018
S103	CI1	0,50 ÷ 1,00	35,328 ÷ 34,828
	CI2	2,00 ÷ 2,50	33,828 ÷ 33,328
	CI3	4,00 ÷ 4,50	31,828 ÷ 31,328

sigla sondaggio	sigla campione	profondità [m da p.c.]	quota [m s.l.m.]
S104	CI1	1,50 ÷ 2,00	34,994 ÷ 34,494
	CI2	3,00 ÷ 3,50	33,494 ÷ 32,994
S106	CI1	1,50 ÷ 2,00	36,812 ÷ 36,312
	CI2	3,00 ÷ 3,50	35,312 ÷ 34,812
S107	CI1	0,50 ÷ 1,00	34,516 ÷ 34,016
	CI2	2,00 ÷ 2,50	33,016 ÷ 32,516
	CI3	4,00 ÷ 4,50	30,016 ÷ 29,516
S116	CI1	2,50 ÷ 3,00	34,332 ÷ 33,832
	CI2	3,50 ÷ 4,00	33,332 ÷ 32,832
	CI3	6,00 ÷ 6,50	30,832 ÷ 30,332
S117	CI1	2,00 ÷ 2,50	34,624 ÷ 34,124
	CI2	4,50 ÷ 5,00	32,124 ÷ 31,624
	CI3	9,00 ÷ 9,50	27,624 ÷ 27,124
S118	CI1	1,60 ÷ 2,00	34,465 ÷ 34,065
	CI2	3,30 ÷ 4,00	32,765 ÷ 32,065
S119	CI1	1,50 ÷ 2,00	34,852 ÷ 34,352
	CI2	5,50 ÷ 6,00	30,852 ÷ 30,352
	CI3	9,00 ÷ 9,50	27,352 ÷ 26,852

Prove SPT eseguite nei sondaggi area tracciato viabilità/sottopasso - elaborazione NSPT

sigla sondaggio	progetto di riferimento	S.P.T.	prof.	descrizione litologica stimata (dai campioni prossimi)	n. colpi	NSPT (N2+N3)	NSPT correzione sotto falda	press litost efficace	correzione rapp energ	correzione diam foro	correzione met camp	correzione lungh aste	NSPT correz per efficienza 60%	C _N	NSPT correz press litost
			intervallo rif. (m p.c.)					σ'_v	C _L =E _R /60	C _B	C _S	C _R	N(60)		
								kPa							
S 91		SPT1	2.60-3.05	limo (54.0) con argilla (40.9) sabbia (4.9) ghiaia (0.3)	3-5-8	13		57	0.9	1.0	1.0	0.75	9	1.32	11.6
S 92		SPT1	2.10-2.55	limo (50.8) con argilla (39.1) debolm sabbioso (6.3) ghiaia (3.8)	3-4-7	11		47	0.9	1.0	1.0	0.75	7	1.46	10.9
S 92		SPT2	5.00-5.45	argilla (52.5) con limo (35.0) debolm ghiaiosa (9.5) sabbia (3.0)	4-6-8	14		103	0.9	1.0	1.0	0.75	9	0.98	9.3
S 109		SPT1	2.60-3.05	argilla (58.1) con limo (38.6) sabbia (3.0) ghiaia (0.3)	10-15-20	35		57	0.9	1.0	1.0	0.75	24	1.33	31.3
S 103		SPT1	3.50-3.95	limo (40.3) con argilla (34.3) ghiaioso (15.5) e debolm sabbioso (9.9)	7-9-9	18		74	0.9	1.0	1.0	0.75	12	1.16	14.1
S 101		SPT1	3.50-3.95	argilla (50.9) con limo (40.5) debolm sabbiosa (7.3)	4-6-7	13		73	0.9	1.0	1.0	0.75	9	1.17	10.3
S 116		SPT1	2.10-2.55	limo (54.0) con argilla (33.6) debolm sabbioso (1.9) ghiaia (0.5)	2-3-3	6		46	0.9	1.0	1.0	0.75	4	1.47	6.0
S 117		SPT1	2.60-3.05	limo (51.9) con argilla (32.8) debolm sabbioso (1.8) ghiaia (1.5)	3-4-3	7		55	0.9	1.0	1.0	0.75	5	1.35	6.4
S 24		SPT1	1.00-1.45	limo (51.9) con argilla (42.0) debolm sabbioso (5.0) ghiaia (1.1)	6-7-10	17		25	0.9	1.0	1.0	0.75	11	2.01	23.0
S 118		SPT1	2.10-2.55	argilla (67.0) con limo (30.2) sabbia (2.4) ghiaia (0.4)	6-5-7	12		45	0.9	1.0	1.0	0.75	8	1.50	12.1
S 119		SPT1	2.10-2.55	limo (49.4) con argilla (41.5) debolm sabbioso (6.3) ghiaia (0.9)	6-9-11	20		46	0.9	1.0	1.0	0.75	14	1.48	19.9
S 119		SPT2	4.00-4.45	argilla (50.9) con limo (32.9) debolm ghiaiosa (1.3) sabbia (2.9)	8-8-10	18		82	0.9	1.0	1.0	0.75	12	1.10	13.4
S 91		SPT2	7.00-7.45	limo (48.7) con argilla (42.5) debolm sabbioso (7.2) ghiaia (1.6)	6-10-11	21		144	0.9	1.0	1.0	0.75	14	0.83	11.8
S 109		SPT2	5.50-5.95	limo argilloso consistente	5-7-10	17		114	0.9	1.0	1.0	0.75	11	0.94	10.8
S 104		SPT1	4.00-4.45	limo (44.8) con argilla (38.7) debolm ghiaioso (9.4) e sabbioso (7.2)	6-9-11	20		84	0.9	1.0	1.0	0.75	14	1.09	14.7
S 104		SPT2	6.00-6.45	argilla e limo grigio-azzurri, consistenti	8-12-13	25		123	0.9	1.0	1.0	0.75	17	0.90	15.2
S 103		SPT2	8.00-8.45	argilla consistente nocciola-marrone con screziature azzurre	11-15-15	30		162	0.9	1.0	1.0	0.75	20	0.79	15.9
S 101		SPT2	9.00-9.45	argilla (50.9) con limo (40.5) debolm sabbiosa (7.3)	8-11-13	24		179	0.9	1.0	1.0	0.75	16	0.75	12.1
S 116		SPT2	5.00-5.45	argilla (50.7) con limo (43.2) sabbia (4.7) ghiaia (1.5)	8-14-18	32		103	0.9	1.0	1.0	0.75	22	0.99	21.3
S 117		SPT2	7.00-7.45	argilla (49.0) con limo (41.8) sabbia (4.9) ghiaia (4.3)	9-16-20	36		142	0.9	1.0	1.0	0.75	24	0.84	20.4
S 118		SPT2	5.00-5.45	argilla (56.6) con limo (36.0) ghiaia (4.2) sabbia (3.2)	8-8-13	21		100	0.9	1.0	1.0	0.75	14	1.00	14.2
S 118		SPT3	7.00-7.45	limo (49.2) con argilla (42.7) debolm sabbioso (5.9) ghiaia (2.3)	10-11-14	25		140	0.9	1.0	1.0	0.75	17	0.85	14.3
S 119		SPT3	7.00-7.45	sabbia limosa nocciola alternata a livelli limo-argillosi	5-9-13	22		142	0.9	1.0	1.0	0.75	15	0.84	12.5

Elaborazioni delle prove penetrometriche in foro S.P.T. realizzate nei sondaggi nell'area di studio.



Valori dei dati misurati (grafico di sinistra) e i valori normalizzati (diagramma di destra).

4.1.1. Prove geotecniche di laboratorio

Durante l'esecuzione dei sondaggi a carotaggio continuo sono stati prelevati dei campioni indisturbati con fustella a pareti sottili tipo Shelby per essere successivamente inviati al laboratorio Igetecma s.n.c. di Montelupo Fiorentino (Provincia di Firenze) per l'esecuzione delle prove geotecniche. Su tutti i campioni prelevati (tabella **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**) sono state eseguite le seguenti prove:

- prove speditive di consistenza (ASTM 2488), comprensive della fotografia;
- determinazione del contenuto d'acqua (ASTM D 2216);
- analisi granulometrica per sedimentazione (Raccomandazione AGI 1994, ASTM D 422);
- analisi granulometrica per vagliatura per via umida (Raccomandazione AGI 1994, ASTM D 422);
- determinazione limiti di Atterberg (ASTM D 4318);
- determinazione del peso dell'unità di volume (ASTM D 2937, BS 1377 T15/D);

Inoltre, come mostrato nel dettaglio nella tabella 1 su alcuni di essi sono state effettuate le seguenti prove:

- determinazione del peso specifico dei granuli (CNR-UNI 10013, ASTM D 854);
- prova di compressione semplice E.L.L.;
- prova di taglio diretto C.D.;
- prova triassiale non consolidata non drenata U.U. (ASTM D 2850);
- prova triassiale consolidata drenata C.D. (ASTM D 5311);
- prova triassiale consolidata non drenata C.U.;
- prova edometrica (ASTM D 2435);
- prova di taglio diretto (ASTM D 3080).

Nella seguente tabella sono evidenziate le principali prove di laboratorio (prove di resistenza meccanica e di compressione edometrica) realizzate su ciascun campione prelevato dai sondaggi eseguiti durante le campagne del 2015 e del 2017.

Sigla	Compressione semplice ELL	Triassiale UU	Triassiale CU	Edometrica*	Taglio CD
S21-CI1		X	X	X	
S21-CI2		X	X	X	
S23-CI1				X	
S24-CI1	X			X	
S24-CI2	X			X	
S25-CI1				X	
S25-CI2				X	
S81-CI1				X	
S91-CI1			X	X	
S91-CI2			X	X	
S91-CI3	X			X	
S92-CI1			X	X	
S92-CI2		X			X
S92-CI3	X				
S101-CI1			X		X
S101-CI2			X		X
S103-CI1			X		X
S103-CI2		X			X
S104-CI1	X			X	X
S104-CI2			X		X
S106-CI1			X	X	
S106-CI2		X			X
S107-CI1	X			X	X
S107-CI2		X			X
S107-CI3			X		X
S116-CI1	X			X	
S116-CI2			X		
S116-CI3	X				
S117-CI1			X	X	
S117-CI2	X			X	X
S117-CI3		X		X	
S118-CI1			X		X
S118-CI2		X			X
S118-CI3	X				X

Sigla	Compressione semplice ELL	Triassiale UU	Triassiale CU	Edometrica*	Taglio CD
S119-CI1			X	X	
S119-CI2	X			X	X
S119-CI3	X			X	X

Tabella 1 - Prove geotecniche di laboratorio specifiche eseguite sui campioni indisturbati.

* compresa la determinazione del peso specifico dei granuli.

4.2. Indagini geofisiche

4.2.1. Sismica a rifrazione

Nella campagna di indagine del 2017 sono state realizzate 10 (dieci) indagini sismiche a rifrazione in onde P e onde Sh denominate RIFR1,÷11. Per le opere in progetto sono state utilizzate la rifrazione RIFR4 e RIFR5.

Il rilievo della RIFR4 evidenzia un livello superficiale (5,0÷10,0 m dal p.c.) con velocità molto basse ed un livello sottostante dominato da una inversione di velocità. Nella sezione RIFR5 è visibile un passaggio, seppur non molto marcato, alla profondità di circa 9,0 m dal p.c., con un incremento progressivo della velocità delle onde P e Sh all'interno del primo orizzonte.

4.2.2. Indagine sismica in foro downhole

Nei sondaggi S91, S117, S118 e S119 è stata svolta un'indagine sismica in foro di tipo *down-hole*; tale indagine prevede l'investigazione del terreno attraverso il posizionamento di un geofono tridimensionale all'interno di un foro di perforazione appositamente attrezzato.

Questo tipo di indagine viene utilizzata per determinare la velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m dal piano di imposta delle fondazioni (V_{s30}). Tale parametro risulta necessario, come detto, per individuare la categoria di sottosuolo, Ai sensi del § 7.11.3.4 delle NTC2018, e quindi per la definizione dell'azione sismica locale e di progetto. Per i dettagli operativi della metodologia di acquisizione dei dati, si rimanda al rapporto finale dell'indagine eseguita.

L'elaborazione delle onde Sh e delle onde P mostra un progressivo aumento delle velocità con la profondità: nella DH-S91 si osserva un netto accrescimento alla profondità di circa 8,50 m dal p.c.; nella DH-S117 sono presenti invece due gradini, rispettivamente a 4,50 e 12,5 m; nella DH-118 sono presenti invece due gradini rispettivamente a 8,50 e 19,0 m dal p.c.;

nella DH-119 sono presenti invece due gradini rispettivamente a 8,50 e 18,5 m dal p.c.. Il valore della $V_{S,eq}$ calcolato utilizzando la formula seguente:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}} \quad (3.2.1 \text{ NTC 2018})$$

Nella tabella **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** è riportato sono riportati i valori delle $V_{S,eq}$, espressa in m/s, per ciascuna Down-Hole:

sigla	Intervento	$V_{S,eq}$ [m/s]	
		da p.c.	da 3,00 m p.c.
S91-DH	Ponte area Polo Scientifico (pressi Baxter)	306	321
S117-DH	Ponte sul Fosso Reale nei pressi della Vasca di laminazione C	307	<i>non di interesse</i>
S118-DH	Edificio Bilanciamento Vigili del Fuoco (riferimento per Viabilità di accesso)	310	<i>non di interesse</i>
S119-DH	Edifici delle centrali tecnologiche (riferimento per Viabilità di accesso)	302	<i>non di interesse</i>

Valori $V_{S,eq}$.

5. SISMICITÀ E DEFINIZIONE DEI PARAMETRI SISMICI

5.1. Zona sismica

La nuova classificazione sismica è stata approvata con Deliberazione della Giunta Regionale della Toscana n. 421 del 26 maggio 2014, che ha apportato modifiche (per accorpamento di alcuni Comuni) alla classificazione sismica regionale definita con la Delibera della Giunta Regionale della Toscana n. 878 dell'8 ottobre 2012. L'aggiornamento introdotto con quest'ultima delibera, redatto ai sensi dell'O.P.C.M. del 28 aprile 2006 n. 3519 si era reso necessario al fine di recepire le novità introdotte dall'entrata in vigore delle NTC e di rendere la classificazione sismica maggiormente aderente all'approccio "sito-dipendente" introdotto da tali norme. Inoltre, contestualmente all'entrata in vigore della nuova classificazione sismica, è

stato approvato il regolamento 58/R del 22 ottobre 20125, di attuazione dell'art. 117, comma 2, lettera g) della L.R. 3 gennaio 2005, n. 1 (Norme per il governo del territorio). I Comuni di Sesto Fiorentino e Firenze sono inseriti nella “zona sismica 3” (in fascia di pericolosità B, contraddistinta da $0,125 < a_g \leq 0,15$ g, secondo il D.P.G.R. 19 gennaio 2022, n. 1/R, in vigore dal 20 febbraio 2022).

5.2. Parametri sismici

5.2.1. Aspetti generali

La stima della pericolosità sismica, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo rigido, viene definita tramite un approccio sito-dipendente. Come riportato al § 3.2 del D.M. 18 gennaio 2018 e al § C3.2 della Circolare C.S.LL.PP. n. 7/2019, è possibile fare riferimento all'*Allegato A* del D.M. 14 gennaio 2008 nel quale i parametri necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto vengono calcolati attraverso le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento (nella *Tabella 1 - Allegato B* del medesimo decreto NTC 2008 vengono forniti, per ciascuno dei 10.751 nodi della griglia che costituisce il reticolo, i valori di a_g , F_0 e T^*c , per nove valori del periodo di ritorno: 30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975 e 2.475 anni).

Nel presente studio si è utilizzato il software fornito dalla ditta GeoStru che permette di calcolare gli spettri di risposta rappresentativi delle componenti (orizzontali e verticale) delle azioni sismiche di progetto per un generico sito del territorio nazionale. Mediante questo programma è possibile, inserendo le coordinate e le caratteristiche progettuali del sito, ottenere direttamente i parametri relativi al computo dell'azione sismica di progetto.

5.2.2. Categoria di sottosuolo (approccio semplificato)

In base ai risultati delle indagini sismiche eseguite lungo il tracciato della viabilità (§ 4.2), vale a dire le prove *down-hole* eseguite nei seguenti sondaggi:

- S91-DH, ubicato nei pressi della rotatoria B Via dell'Osmannoro-Baxter ($V_{s,eq}=309$ m/s, rif. p.c.);
- S117-DH, posto nei pressi della rotatoria A di Via del Cantone-Via dell'Osmannoro

⁵ Regolamento di attuazione dell'art. 117, comma 2, lettera g) della L.R. 3 gennaio 2005, n. 1 (Norme per il governo del territorio). Verifiche nelle zone a bassa sismicità. Determinazione del campione da assoggettare a verifica.

($V_{s,eq}=314$ m/s, rif. p.c.);

- S118-DH, posizionato nei pressi dell'edificio VV.FF. ($V_{s,eq}=302$ m/s, rif. p.c.);
- S119-DH, realizzato nei pressi delle Centrali tecnologiche, vicine alla torre di controllo posta a lato della A11 ($V_{s,eq}=300$ m/s, rif. p.c.);

poiché il substrato sismico ($V_s \geq 800$ m/s) non è stato rilevato ad una profondità minore di 30 m da p.c., ai sensi del par. 3.2.2 delle NTC 2018 si assegna all'area di intervento la **categoria di sottosuolo C** (*"Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s."*) (Tab. 3.2.II D.M. 17 gennaio 2018 e § C3.2.2 Circolare C.S.LL.PP. n. 7/2019), prendendo a riferimento la quota del piano campagna.

In corrispondenza del tracciato dell'**attraversamento della pista tramite sottopasso**, sono state realizzate un paio di indagini sismiche a rifrazione con restituzione tomografica 2D in onde P e Sh, lungo gli stendimenti RIFR4 e RIFR5.

In RIFR5, in assenza di substrato sismico entro i primi 30 m dal piano di riferimento, la $V_{s,eq}$ è risultata pari a 310 m/s (rif. p.c.) e 412 m/s (rif. -9 m p.c., base stimata di imposta fondazione sottopasso), indicando la **categoria di sottosuolo**, rispettivamente, **C** (v. sopra) e **B** (*"Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s."*). Il calcolo (approssimato) della $V_{s,eq}$, stimato in base alle classi cromatiche a lato della sezione tomografica perché non disponibili le curve di isovelocità (quelle indicate nella sezione sono relative alle onde P), è stata eseguita in corrispondenza della verticale mostrata in figura 1, sia per la maggior vicinanza al tracciato sia per la configurazione dei sismostrati più regolare rispetto ad altre possibili verticali mostranti maggiori convoluzioni di velocità.

Quest'ultima considerazione è presente anche nella sezione tomografica RIFR4 (figura 2), in cui inoltre appare un'ampia zona con inversione di velocità che rende inapplicabile l'approccio semplificato di assegnazione della categoria di sottosuolo secondo le NTC 2018 par. 3.2.2. Nelle fasi progettuali successive tale questione dovrà essere oggetto di approfondimento.

Le varie prove sismiche DH eseguite lungo il tracciato (S91-DH, S117-DH, S118-DH, S119-DH) mostrano - come dettagliato più avanti nei paragrafi relativi ai parametri e coefficienti sismici - il passaggio fra le categorie di sottosuolo C e B, definito dalla $V_{s,eq}$ 360 m/s, in una fascia di profondità compresa fra 4.5 e 6.0 m p.c., poco più profonda nell'area di S119-DH (7.5 m p.c.). In corrispondenza del sottopasso, tale passaggio di categoria di sottosuolo (360 m/s) è risultato alla profondità di circa 3.5 m p.c., tramite elaborazione della $V_{s,eq}$ calcolata lungo il profilo RIFR5 in corrispondenza della verticale come evidenziato nella figura 1, tenendo presente la minor accuratezza dell'indagine tomografica rispetto alla prova DH.

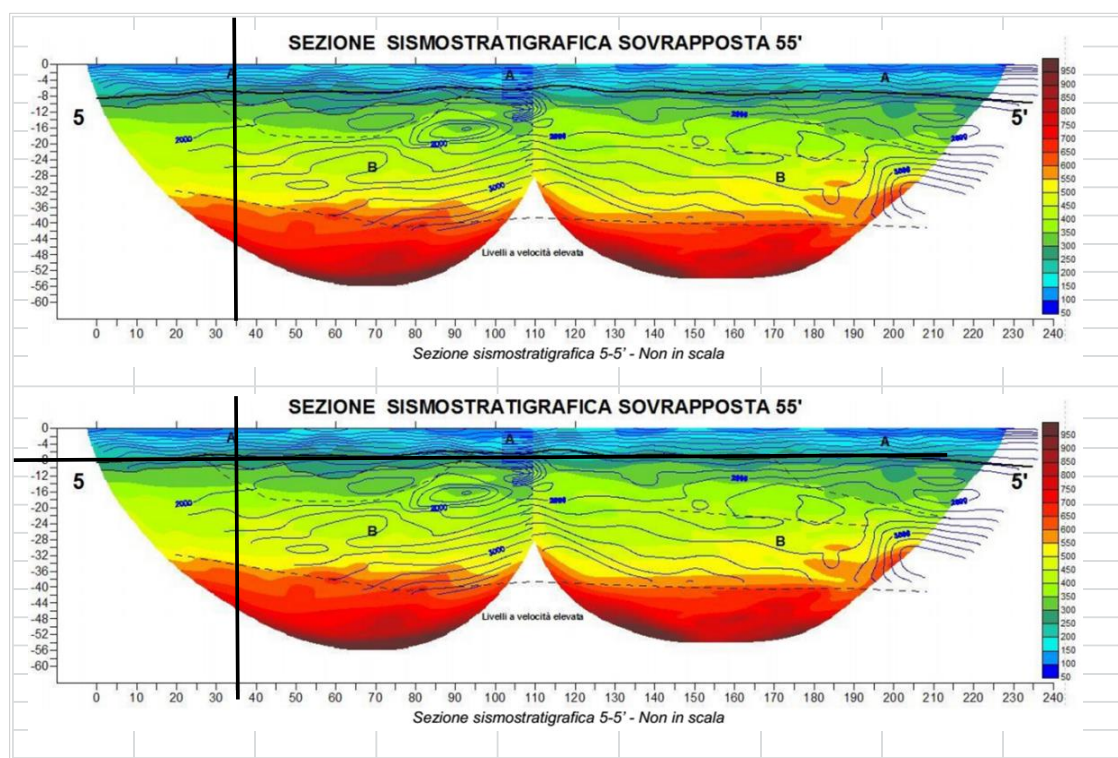


Figura 1 - Sezione sismica tomografica 2D RIFR5 (ubicata presso il tracciato del sottopasso), in alto piano di rif. 0 m p.c. , in basso piano di rif. -9 m p.c.

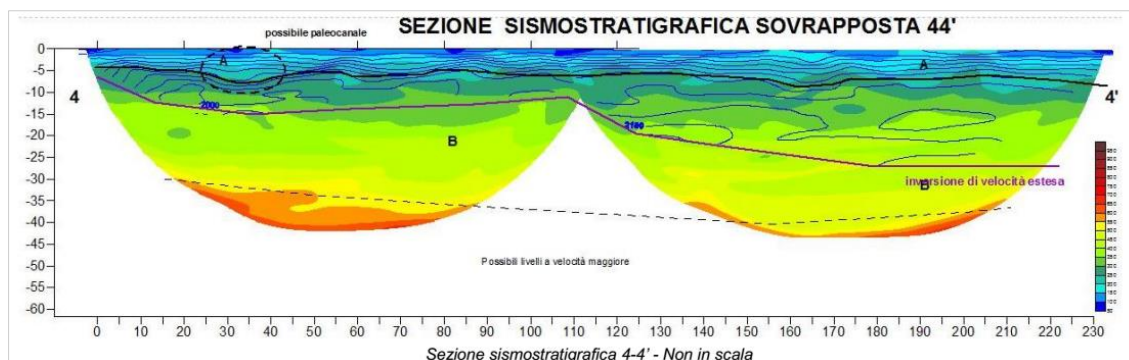


Figura 2 - Sezione sismica tomografica 2D RIFR4 (ubicata presso il tracciato del sottopasso)

5.2.3. Categoria topografica

Ai sensi del § 3.2.2 del D.M. 17 gennaio 2018 e del § C.3.2.2 della Circolare C.S.LL.PP. n. 7/2019, al sito di intervento viene assegnata la **categoria topografica T1** (*superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$* , Tab. 3.2.III del D.M. 17 gennaio 2018), alla quale corrisponde un coefficiente di amplificazione topografica S_T pari a 1.0 (Tab. 3.2.V del decreto suddetto).

5.2.4. Parametri dell'azione sismica locale

Per ricavare i valori dei parametri dell'azione sismica locale per l'area di progetto, si è utilizzato il programma fornito da *GeoStru S.r.l.* assegnando le coordinate geografiche WGS84. Per determinare gli spettri di risposta elastici del sito, tenuto conto degli effetti locali dovuti all'amplificazione sia stratigrafica che topografica, vengono assegnati determinati parametri progettuali. Questi ultimi, per la definizione dell'azione sismica, sono adottati come segue, ai sensi del § 2.4 del D.M. 17 gennaio 2018 e del § C2.4 della Circolare n. 7/2019:

- **vita nominale di progetto** (V_N) 50 anni (*Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari*) per tutte le opere collegate alla viabilità, ad esclusione dell'attraversamento della pista tramite sottopasso con V_N 100 anni (*Costruzioni con livelli di prestazioni elevati*);
- **classe d'uso IV** [*Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. (omissis). Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792... (omissis) ... Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico.(omissis)*] per tutte le opere;

- **coefficiente d'uso** (C_U) pari a 2 (per classe d'uso IV);
- **vita o periodo di riferimento per l'azione sismica** ($V_R = V_N \cdot C_U$) pari a 100 anni (per V_N 50 anni), e a 200 anni (per V_N 100 anni).

Di seguito si riportano parametri e coefficienti sismici relativi a distinti settori del tracciato della viabilità.

5.2.4.1. Parametri dell'azione sismica locale (area rotatoria B Osmannoro Baxter Polo Scientifico)

L'elaborazione della prova sismica DH eseguita nel foro di sondaggio S91-DH indica la **categoria di sottosuolo C** con piano di riferimento fino alla profondità di circa 6 m p.c. ($V_{s,eq}$ da 309 m/s a piano campagna a 357 a -6 m p.c.), sotto cui è indicata la **categoria di sottosuolo B**.

Ponte su Fosso Reale



All'opera del ponte sul Fosso Reale si assegna Vita Nominale VN 100 anni: Costruzioni con livelli di prestazioni elevati e Classe d'uso IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. (omissis). Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792... (omissis) ... Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico.(omissis)

5.2.4.2. Parametri dell'azione sismica locale (tratto fra rotatorie A e B, incluso tratto attraversamento pista tramite sottopasso)

In base alle considerazioni riportate precedentemente riguardo all'assegnazione della categoria di sottosuolo (categoria B) in corrispondenza dell'attraversamento della pista tramite sottopasso ed adottando Vita Nominale VN 100 anni e Classe d'uso IV, si ricavano i seguenti parametri e coefficienti sismici per le varie tipologie di opere/interventi.

Attraversamento pista tramite sottopasso



All'opera si assegna Vita Nominale VN 100 anni: Costruzioni con livelli di prestazioni elevati e Classe d'uso IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. (omissis). Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792... (omissis) ... Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico.(omissis)

Opere d'arte minori (e sedi stradali tratto viabilità fra rotatoria B Baxter e sottopasso)



A tali opere, poste lungo il tracciato in oggetto, si assegna Vita Nominale VN 50 anni: Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari e Classe d'uso IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. (omissis). Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792... (omissis) ... Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico.(omissis)

5.2.4.3. Parametri dell'azione sismica locale (area rotatoria A Cantone Osmannoro)

L'elaborazione della prova sismica DH eseguita nel foro di sondaggio S117-DH indica la **categoria di sottosuolo C** con piano di riferimento fino alla profondità di circa 4.5 m p.c. (Vs,eq da 314 m/s a piano campagna a 358/364 a -4/5 m p.c.), sotto cui è indicata la **categoria di sottosuolo B**.

Ponte su rampa di accesso A11



All'opera del ponte sulla rampa di accesso A11 si assegna Vita Nominale VN 50 anni: Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari e Classe d'uso IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. (omissis). Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792... (omissis) ... Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico.(omissis)

5.2.4.4. Parametri dell'azione sismica locale (area presso Vasca C)

L'elaborazione della prova sismica DH eseguita nel foro di sondaggio S118-DH indica la **categoria di sottosuolo C** con piano di riferimento fino alla profondità di circa 5.5 m p.c. ($V_{s,eq}$ da 302 m/s a piano campagna a 354/367 a -5/6 m p.c.), sotto cui è indicata la **categoria di sottosuolo B**.

Opere d'arte minori (e sedi stradali)



A tali opere, poste lungo il tracciato in oggetto, si assegna Vita Nominale VN 50 anni: Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari e Classe d'uso IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. (omissis). Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792... (omissis) ... Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico.(omissis)

5.2.4.5. Parametri dell'azione sismica locale (area presso Torre controllo A11)

L'elaborazione della prova sismica DH eseguita nel foro di sondaggio S119-DH indica la **categoria di sottosuolo C** con piano di riferimento fino alla profondità di circa 7.5 m p.c. (Vs,eq da 300 m/s a piano campagna a 355/365 a -7/8 m p.c.), sotto cui è indicata la **categoria di sottosuolo B**.

Opere d'arte minori e sedi stradali



A tali opere, poste lungo il tracciato in oggetto, si assegna Vita Nominale VN 50 anni: Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari e Classe d'uso IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. (omissis). Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792... (omissis) ... Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico.(omissis)

Ai sensi del R.U. 2015, N.T.A § **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** art. 76 comma 1, il valore del coefficiente di amplificazione stratigrafica (S_s) è quello derivante dall'indagine sismica specifica condotta sull'area di intervento (e quindi relativo alla categoria di sottosuolo C) in quanto più cautelativo rispetto al fattore di amplificazione sismica riportato

sulla *Carta del fattore di amplificazione sismica locale* della Variante al Piano Strutturale 2010 per il sito in oggetto (l'area è caratterizzata da un fattore di amplificazione FA minore di 1.2). Nei casi in cui invece il riferimento sia la categoria di sottosuolo B, il valore del coefficiente di amplificazione stratigrafica (Ss) è pari a $1.18 \div 1.20$, uguagliando di fatto il fattore di amplificazione FA (< 1.2).

6. MODELLAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

6.7. Sezione geologica

Di seguito è riportata la sezione geologico-geotecnica (con grafici delle indagini eseguite) realizzata lungo il percorso della viabilità (figura 3), nelle due sottosezioni (1) dalla rotonda B via dell'Osmannoro presso Baxter - Polo Scientifico alla terminazione sud dell'attraversamento della pista e (2) da quest'ultimo alla torre di controllo presso la A11.

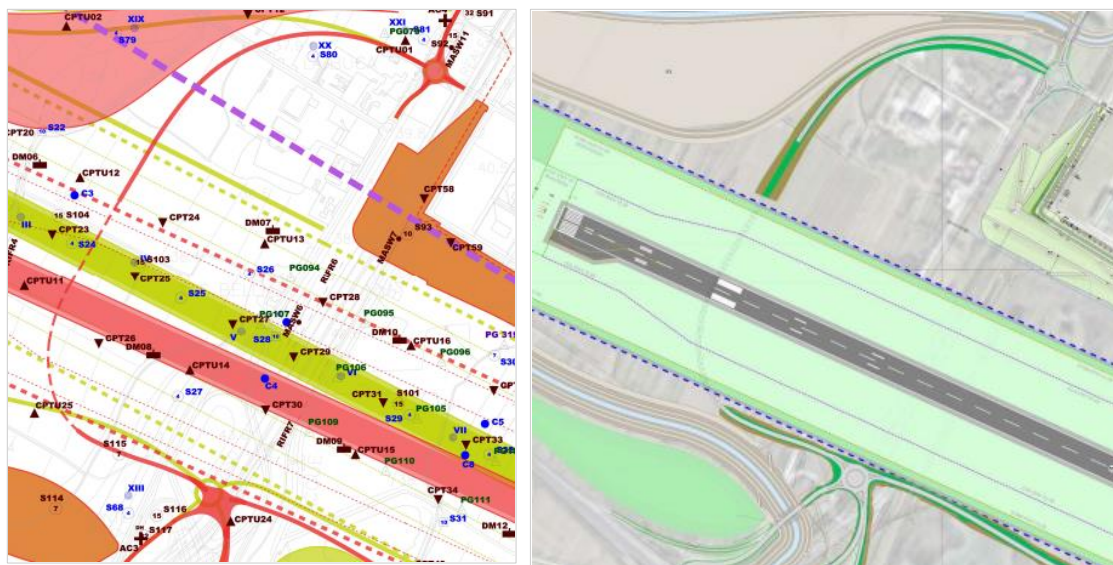


Figura 3 - Tratto viabilità compresa fra le due rotonde A e B con il sottoattraversamento della pista

La sezione evidenzia la potente successione di terreni coesivi costituiti da limo con argilla ed argilla con limo, debolmente sabbiosi (secondo le Racc. AGI 1977), con la presenza di lenti di ghiaie e sabbie a partire dalla profondità di circa 20 m. La suddivisione dei terreni è stata condotta sulla base delle informazioni ottenute da sondaggi a carotaggio continuo e da prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU), prendendo a riferimento il grado di

sovracconsolidazione (OCR) mostrato dai terreni coesivi, in diminuzione dai valori molto elevati nei livelli superficiali a valori più contenuti nei metri sottostanti.

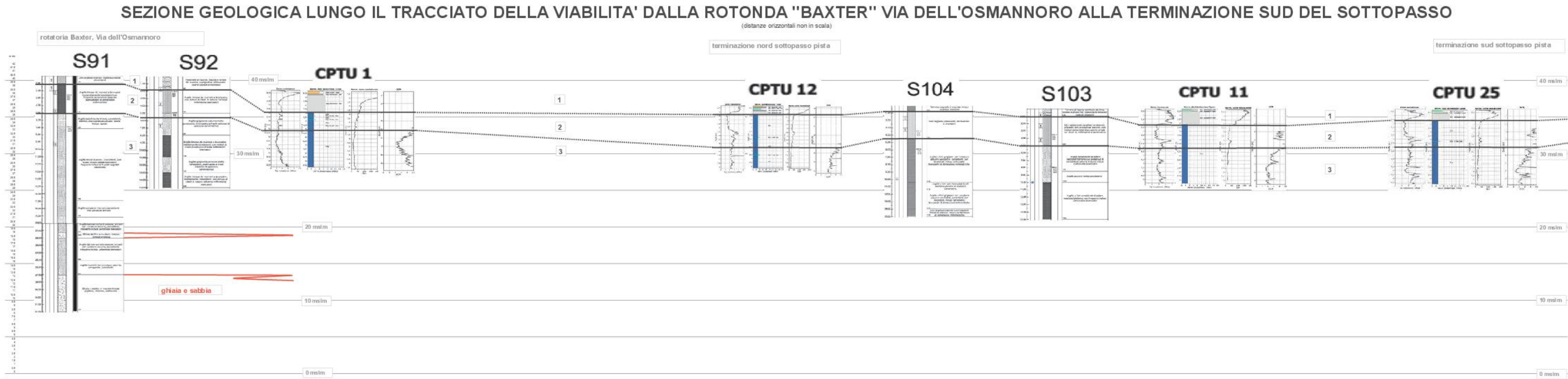


Figura 4 -Sezione geologica tracciato viabilità dalla rotonda B “BAXTER” via dell’Osmannoro alla terminazione sud del sottoattraversamento pista.

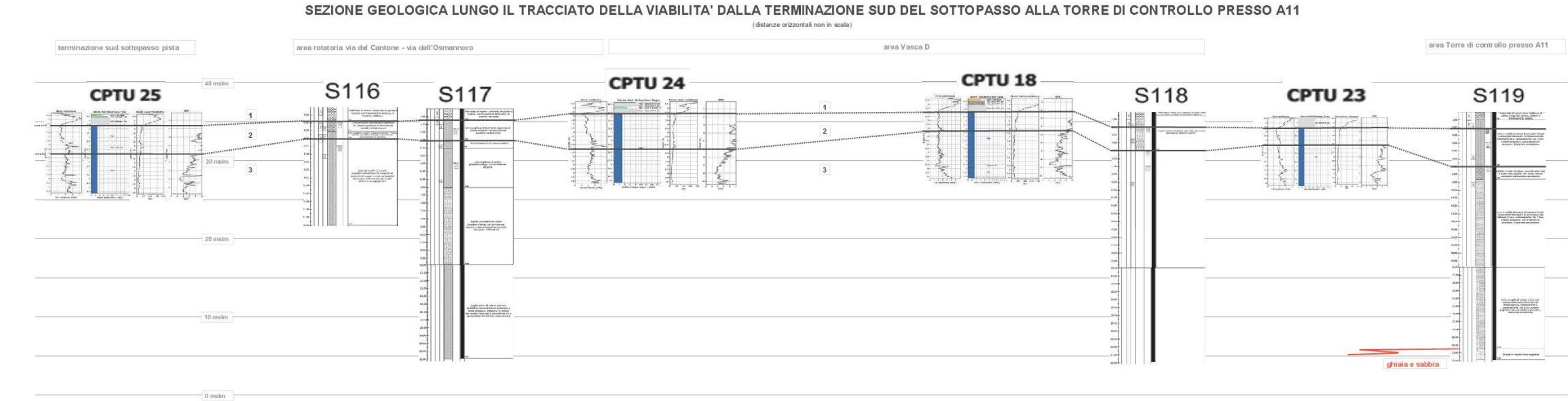


Figura 5 - Sezione geologica tracciato viabilità dalla terminazione sud del sottoattraversamento pista alla torre di controllo presso Autostrada A11.

6.2. Caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni presenti nel volume significativo e definizione del modello geotecnico di sottosuolo

6.2.1. Aspetti generali

Secondo l'EuroCodice 7 (EC7), il valore caratteristico è il *valore al quale è associata una prefissata probabilità di non superamento*, per una serie teoricamente illimitata di valori. Significa, quindi, che solo una percentuale di valori, pari alla probabilità prefissata, risulterà inferiore al valore caratteristico. Con riferimento all'EC7, il valore *soglia* di probabilità di non superamento è il 5% (5° percentile o frattile).

Nelle NTC 2018 per valore caratteristico di un parametro s'intende *una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro nello stato limite considerato* (§ 6.2.2. del D.M. 17 gennaio 2018 e del § C6.2.2 della Circolare n. 7/2019). Nelle valutazioni che il progettista deve svolgere per pervenire a una scelta corretta dei valori caratteristici appare giustificato, secondo la Circolare, il riferimento a valori prossimi ai *valori medi* quando nello stato limite considerato è coinvolto un elevato volume di terreno (come nel caso di fondazioni superficiali, fondazioni su pali relativamente alla resistenza laterale, verifiche di stabilità, opere di contenimento, di scatolari, di paramenti in terre rinforzate associati a rilevati stradali), mentre valori prossimi ai *valori minimi* dei parametri geotecnici appaiono più giustificati nel caso in cui siano coinvolti modesti volumi di terreno (come nel caso di fondazioni su pali relativamente alla resistenza di punta).

Per il progetto in questione, per il quale si possono prevedere compensazioni sia stratigrafiche che strutturali, le NTC indicano l'assunzione, come già accennato, di valori caratteristici prossimi al *valore medio* dei parametri geotecnici (unica deroga a questa assunzione è data dall'adozione di valori caratteristici prossimi ai *minimi* (riferimento al valore del 5° percentile) dei parametri geotecnici per quelle condizioni di rottura localizzata).

6.2.2. Modello geotecnico

Prendendo a riferimento il modello geologico, tenuto conto del *volume significativo* correlato alle varie opere in progetto, è stato definito il modello geotecnico del sottosuolo dell'intera area di intervento. Sulla base delle prove geognostiche e sismiche eseguite sono stati identificati i seguenti livelli:

Modello geotecnico e valori caratteristici [valori "medi" (mediana), v. note per 5° pct]

livello geotecnico				peso vol nat	peso vol sec	conten acqua	indice vuoti	grado saturaz	Limite liq	Limite plast	Indice plast	Classificaz. Casagrande	φ'	c'	Cu	Cu	Med (1-2 kg/cm²)	Med (2-4 kg/cm²)	Med (4-8 kg/cm²)	Cr ind ricompr	Cc ind compress	Cs ind rignonf	press. preconsoli daz.
n. id.	profondità m p.c.	descrizione (Raccomandazioni AGI 1977)	sondaggi ed indagini di rif.	kN/m3	kN/m3	Wn (%)	e -	Sr (%)	LL %	LP %	IP %		(°)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	-	-	-	σ' vmax (kPa)
													Tx CU-CD	Tx CU-CD	ELL	TxUU	EDOM	EDOM	EDOM	EDOM	EDOM	EDOM	EDOM
1	0.00÷ 2.00/2.50	limo con argilla e argilla con limo, debolm. sabbioso; localm. presente materiale di riporto. Valori molto elevati di OCR/pressione di preconsolidazione	S92, S81, S80, S104, S103, S21, S23, S24, S25, S28,S107, S106, S101, S118, S119. CPTU 01-12-11-25-24-18-23	19.1	15.6	22.3	0.692	89.0	51.8	23.6	28.2	CH (argille inorganiche ad alta plasticità)	25.9	16.4	171	169	12.4	13.1	15.2	0.042	0.181	0.060	303
2	2.00/2.50 ÷ 4.50/6.00	argilla con limo e limo con argilla, debolm. sabbioso. Valori molto elevati di OCR/pressione di preconsolidazione	S91, S92, S104, S103, S107, S106, S101, S118, S117, S118, S119. CPTU 01-12-11-25-24-18-23	19.5	15.9	23.2	0.655	94.3	54.7	22.2	32.5	CH (argille inorganiche ad alta plasticità)	24.2	18.2	77	77	13.0	13.3	16.7	0.039	0.173	0.057	343
3	> 4.50/6.00 ÷ 10.00/11.00	argilla con limo e limo con argilla, debolm. sabbioso. Valori molto elevati di OCR/pressione di preconsolidazione	S91, S92, S104, S103, S107, S106, S101, S118, S117, S118, S119. CPTU 01-12-11-25-24-18-23	19.9	16.3	21.8	0.596	97.4	54.8	22.1	32.7	CH (argille inorganiche ad alta plasticità)	25.0	16.0	141	141	12.4	13.7	18.7	0.042	0.162	0.060	296

Note:

volume significativo : l'attraversamento della pista tramite sottopasso prevede una profondità di scavo di circa 9+10 m, i campioni indisturbati più profondi prelevati dai sondaggi finora realizzati si attestano a quella stessa profondità, pertanto nelle successive fasi progettuali dovranno essere prelevati campioni ritenuti atti a caratterizzare il "volume significativo" del sottosuolo interessato dall'opera di attraversamento

livello 1 : calcolato φ', c' (da TxCU e TxCD) e Cu (da ELL) con elaborazione statistica secondo il 5° pct (rispettivamente: φ'= 21.9°; c'=8.5 kPa; Cu=61 kPa)

livello 2 : calcolato φ', c' (da TxCU e TxCD) e Cu (da TxUU) con elaborazione statistica secondo il 5° pct (rispettivamente: φ'=19.0°; c'=8.1 kPa; Cu=68 kPa)

livello 3 : valori mediana per φ' e c' da TG DIR CD. Calcolato f', c' (da TG DIR CD) e Cu (da ELL) con elaborazione statistica secondo il 5° pct (rispettivamente: φ'=20.5°; c'=15.7 kPa dopo selezione valori di laboratorio; Cu=104 kPa)

livello piezometrico : considerando l'assenza di un acquifero nei terreni argilloso limosi che costituiscono il sottosuolo del sedime aeroportuale, terreni corrispondenti ad un "aquiclude", con presenza di falde di entità limitate o sospese nei corpi lenticolari di ghiaie e sabbie poste a diverse profondità (fra 20 e 30 m p.c., per quelle più superficiali), il livello piezometrico è stato registrato nella fascia -9+12 m p.c. nei sondaggi S101-S103-S104-S106-S107-S112-S88, a circa -2 m p.c. nei sondaggi S28-S90-S108 fessurato in sabbie in profondità-S05-S13-S19-S22-(S35 a -5 m pc)-S39-S40-S44. Oltre al periodo stagionale di misurazione, il livello piezometrico è anche funzione dei lunghi tempi di ricarica da parte dei terreni costituenti l'aquiclude (k=10⁻⁹+10⁻¹⁰ cm/s). **Il livello piezometrico nell'area del sottopasso (S103-S104) è indicato a circa -10 m p.c..** In fasi progettuali successive è ovviamente necessario un monitoraggio più accurato.

azione sismica : le indagini sismiche di tipo down-hole (DH) eseguite nell'area del sedime aeroportuale hanno tutte indicato la presenza di terreni ricadenti in **categoria di sottosuolo C**, ai sensi deell'approccio semplificato di cui al par. 3.2.2 delle NTC 2018 (S91-DH presso rotatoria Baxter Via dell'Osmannoro; S117-DH presso rotatoria Via del Cantone; S118-DH presso VV.FF; S119-DH presso Centrali tecnologiche). Le indagini sismiche più vicine al tracciato del sottopasso sono gli stendimenti a rifrazione in onde P e Sh nn. 4-4' e 5-5', il primo indicante però la presenza di una notevole inversione di velocità nel sismostrato >10 m p.c., richiedendo un approfondimento di indagine nelle successive fasi progettuali. **Categoria topografica T1.**

Tabella 2 - Modello geotecnico e valori caratteristici.

- **livello geotecnico 1 (da 0.00 a 2.00÷2.50 m p.c.):** limo con argilla e argilla con limo, debolmente sabbioso; localmente presente materiale di riporto. Valori molto elevati di OCR/pressione di preconsolidazione. Argille inorganiche ad alta plasticità (CH) secondo la classificazione di Casagrande;
- **livello geotecnico 2 (da 2.00÷2.50 a 4.50÷6.00 m p.c.):** argilla con limo e limo con argilla, debolmente sabbioso. Valori molto elevati di OCR/pressione di preconsolidazione. Argille inorganiche ad alta plasticità (CH) secondo la classificazione di Casagrande;
- **livello geotecnico 3 (da 4.50÷6.00 a 10.00÷11.00 m p.c.):** argilla con limo e limo con argilla, debolmente sabbioso. Valori molto elevati di OCR/pressione di preconsolidazione. Argille inorganiche ad alta plasticità (CH) secondo la classificazione di Casagrande.

Nella tabella 2 viene riportato il *modello geotecnico* del sottosuolo dell'intera area di progetto ed i *valori caratteristici*, definiti in base alle seguenti considerazioni:

livello geotecnico 1:

- indagini di riferimento: valori geotecnici ottenuti dai seguenti sondaggi, ubicati lungo il tracciato della viabilità o in un areale limitrofo posto all'interno del sedime aeroportuale: S92, S81, S80, S104, S103, S21, S23, S24, S25, S28, S107, S106, S101, S118, S119;
- calcolato ϕ' , c' (da TxCU e TxCD) e C_u (da ELL) con elaborazione statistica secondo il 5° percentile (rispettivamente: $\phi'=21.9^\circ$; $c'=8.5$ kPa; $C_u=61$ kPa).

livello geotecnico 2:

- indagini di riferimento: valori geotecnici ottenuti dai seguenti sondaggi, ubicati lungo il tracciato della viabilità o in un areale limitrofo posto all'interno del sedime aeroportuale: S91, S92, S104, S103, S107, S106, S101, S116, S117, S118, S119;
- calcolato ϕ' , c' (da TxCU e TxCD) e C_u (da TxUU) con elaborazione statistica secondo il 5° percentile (rispettivamente: $\phi'=19.0^\circ$; $c'=8.1$ kPa; $C_u=68$ kPa).

livello geotecnico 3:

- indagini di riferimento: valori geotecnici ottenuti dai seguenti sondaggi, ubicati lungo il tracciato della viabilità o in un areale limitrofo posto all'interno del sedime aeroportuale: S91, S92, S104, S103, S107, S106, S101, S116, S117, S118, S119;

- valori mediana per ϕ' e c' da TG DIR CD. Calcolato ϕ' , c' (da TG DIR CD) e C_u (da ELL) con elaborazione statistica secondo il 5° percentile (rispettivamente: $\phi'=20.5^\circ$; $c'=15.7$ kPa dopo selezione valori di laboratorio; $C_u=104$ kPa).

Per quanto riguarda il volume significativo correlato all'attraversamento della pista tramite sottopasso, opera che prevede una profondità di scavo di circa $9\div 10$ m, i campioni indisturbati più profondi prelevati dai sondaggi finora realizzati si attestano a quella stessa profondità, pertanto nelle successive fasi progettuali dovranno essere prelevati campioni ritenuti atti a caratterizzare il volume significativo del sottosuolo interessato dall'opera di attraversamento.

A tal riguardo, facendo riferimento a dati geologici e geotecnici ottenuti da sondaggi realizzati per il centro commerciale IKEA, ubicato sul lato corsia sud della A11 a poche centinaia di metri dal tracciato della viabilità, disponibili sull'archivio del Sistema Informativo Geologico del Sottosuolo (S.I.G.S.) del Comune di Firenze e a libera consultazione, si è definito un modello geotecnico per i terreni profondi, da collegare al modello sopra esposto (da intendersi come continuazione del livello geotecnico 3). In tabella **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** è inserito tale modello geotecnico "profondo" con dati relativi ai terreni posti nella fascia di profondità $8\div 25$ m p.c.. Sono riportati anche i dati dei campioni più profondi (prelevati a 9 m p.c.) contenuti nel livello geotecnico 3, per collegarli e confrontarli con quelli dei campioni della fascia profonda suddetta $8\div 25$ m p.c..

I campioni disponibili per il modello geotecnico "profondo" mostrano caratteristiche geotecniche tutto sommato analoghe a quelle presentate dai campioni soprastanti del livello geotecnico 3, le principali variazioni sono le seguenti:

- limite di liquidità (LL%) sempre maggiore di 60 ($59\div 75$) con l'eccezione di un campione, sempre nel campo quindi delle argille ad alta plasticità (CH), con indice di plasticità (IP%) quasi sempre superiore a 40;
- indice dei vuoti (e) sempre ben superiore a quello dei campioni del livello 3;
- angolo di resistenza al taglio (ϕ'), da prova TG DIR CD, con valori superiori a quelli del livello 3.

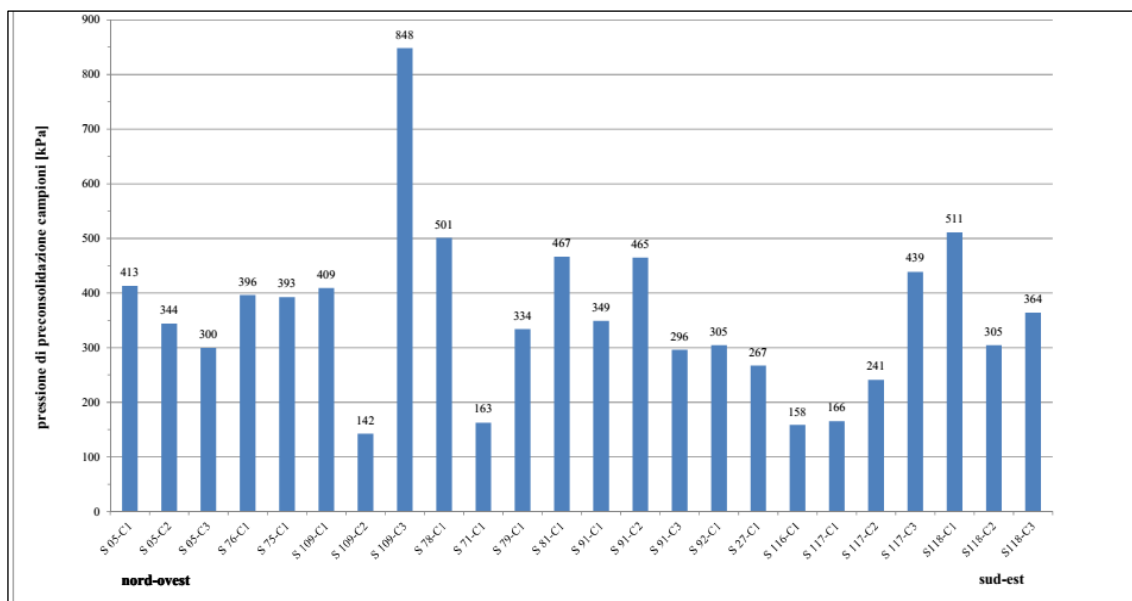
sondaggio	campione o SPT	prof camp m pc	granulometria (in grassetto la descrizione secondo Raccomandazioni AGI 1977)	Parametri fisici		Limiti di Atterberg					Tx CIU	Tx CIU	ELL	Tx CUU	TG DIR	CD TG DIR	Tx CD	Tx CD	EDOM	1-1.5 kg/cm2	2-2.5 kg/cm2	4-5 kg/cm2	8-9 kg/cm2
				peso vol nat	ind vuoti	Umid nat	Limite liq	Limite plast	Indice plast	Classificaz	φ'	c'	Cu	Cu	φ'	c'	φ'	c'	Ind compress	Mod edom	Mod edom	Mod edom	Mod edom
				kN/m3	(-)	W %	LL %	LP %	IP %	Casagrande	°	(kPa)	(kPa)	(kPa)	°	(kPa)	°	(kPa)	Cc	Med (kPa)	Med (kPa)	Med (kPa)	Med (kPa)
S160 (Ikea)	CI 1	8.00-8.50	n.d.	17.6	1.024	31.5	73.0	29.0	44.0	CH			79.9		31.0	9.81			0.247	10648	9758	12573	17296
S150 (Ikea)	CI 3	9.00-9.50	n.d.	19.0	0.701								169.7						0.166	11716	11443	15181	21648
S151 (Ikea)	CI 3	9.00-9.50	n.d.	18.7	0.804	25.2	72.0	28.0	44.0	CH	21.0	1.0							0.231	16821	11959	12228	16996
S 91	CI 3	9.00-9.50	limo (48.7) con argilla (42.5) debolm sabbioso (7.2) ghiaia (1.6)	20.0	0.572	19.4	48.1	17.4	30.7	CL			137.2						0.163				
S 117	CI 3	9.00-9.50	argilla (49.0) con limo (41.8) sabbia (4.9) ghiaia (4.3)	20.2	0.561	20.3	54.5	22.5	32.0	CH				78.4					0.159				
S 118	CI 3	9.00-9.50	limo (49.2) con argilla (42.7) debolm sabbioso (5.9) ghiaia (2.3)	19.7	0.596	21.8	48.8	22.3	26.5	CL			136.6		26.7				0.177				
S 119	CI 3	9.00-9.50	argilla (54.5) con limo (40.2) sabbia (2.9) ghiaia (2.4)	19.9	0.618	22.4	59.3	17.8	41.5	CH			145.3		21.2	15.8			0.129				
S157 (Ikea)	CI 2	10.00-10.50	n.d.	19.8	0.633	20.4	63.0	29.0	34.0	CH			204.0		34.0	14.7			0.130	22288	21988	22753	28508
S166 (Ikea)	CI 2	10.00-10.50	n.d.	18.5	0.808	24.5	65.0	25.0	40.0	CH			78.5		32.0	19.6			0.227	15792	12122	12621	17326
S167 (Ikea)	CI 3	11.00-11.50	n.d.	19.0	0.738	23.0	66.0	26.0	40.0	CH			103.5		34.0	16.7			0.170	16792	15018	17085	22544
S157 (Ikea)	CI 3	15.00-15.40	n.d.	19.0	0.751	23.6	69.0	26.0	43.0	CH			120.6		27.0	4.9			0.188	19458	14904	15468	20646
S164 (Ikea)	CI 5	15.00-15.50	n.d.	18.6		26.3	75.0	27.0	48.0	CH													
S166 (Ikea)	CI 3	15.00-15.40	n.d.	18.6	0.837	26.9													0.230	28180	16593	14995	18330
S167 (Ikea)	CI 4	16.00-16.40	n.d.	19.4	0.674	21.9	59.0	25.0	34.0	CH			128.5		30.0	5.9			0.162	27165	21696	19973	24095
S163 (Ikea)	CI 4	16.00-16.50	n.d.	19.1	0.754	23.7	71.0	27.0	44.0	CH			118.7		31.0	12.7			0.184	31132	24827	19343	22596
S164 (Ikea)	CI 6	18.00-18.50	n.d.	19.4		21.3	67.0	29.0	38.0	CH													
S164 (Ikea)	CI 7	21.00-21.50	n.d.	19.3		21.0	65.0	25.0	40.0	CH													
S164 (Ikea)	CI 8	24.00-24.50	n.d.	19.1		22.9	70.0	26.0	44.0	CH													
S150 (Ikea)	CI 7	25.00-25.40	n.d.	18.7	0.742		69.0	25.0	44.0	CH			106.9				23.0	1.0	0.161	22753	18127	19771	24578
MEDIA				19.2	0.721	23.3	64.4	25.1	39.3				127.4		29.7	12.5			0.182	20250	16221	16545	21324
MEDIANA				19.1	0.738	22.9	66.0	26.0	40.0				136.6		31.0	13.7			0.170	19458	15018	15468	21648
DEV.STD.													34.06		3.86	4.91							
VAL. CARATT. K (5° pct)													71.4		23.3	4.4							

Modello geotecnico e valori caratteristici dei terreni profondi.

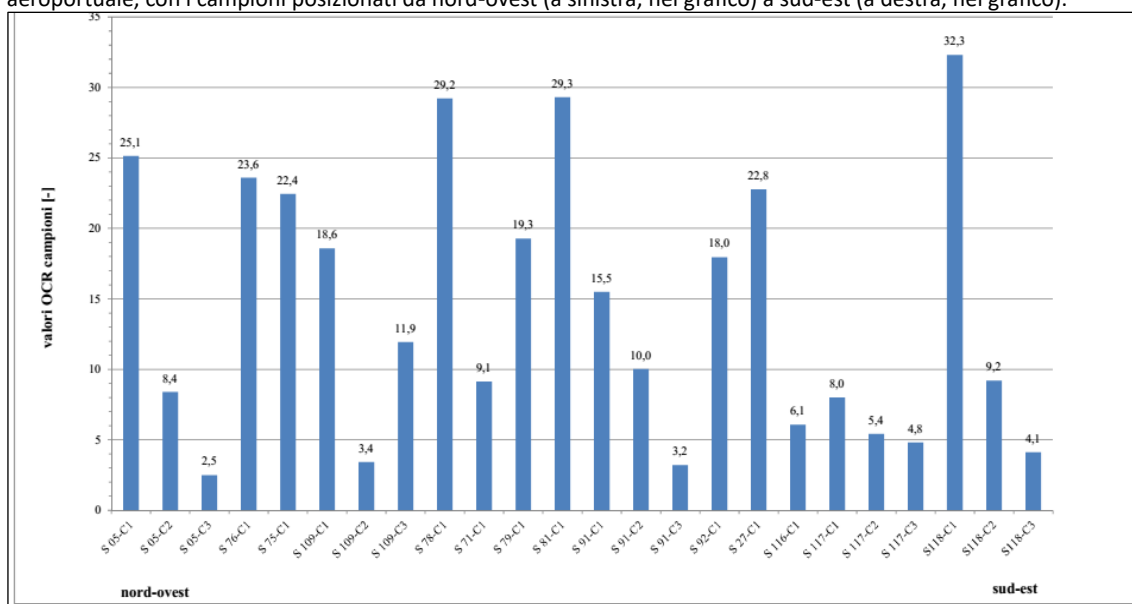
6.2.3. Considerazioni sui terreni coesivi superficiali

L'analisi delle prove di laboratorio (prove edometriche) e delle prove in sito (prove penetrometriche statiche CPT e prove penetrometriche statiche con piezocono CPTU) ha mostrato la presenza di terreni superficiali con un elevato grado di sovraconsolidazione (OCR), concentrata soprattutto nei primi 1,50-2,00 metri di profondità dal piano campagna e dovuta a processi di essiccamento per temporanea emersione di sedimenti in ambiente di deposizione lacustre-palustre, processi che sono annoverati in letteratura fra le cause di preconsolidazione di terreni, fenomeno diverso da quello meccanico dovuto a precarico (con successiva erosione). Tali evidenze di sovraconsolidazione sono state registrate anche in corrispondenza di aree limitrofe a quella in oggetto in terreni coesivi del tutto analoghi quali argille limose e limi argillosi.

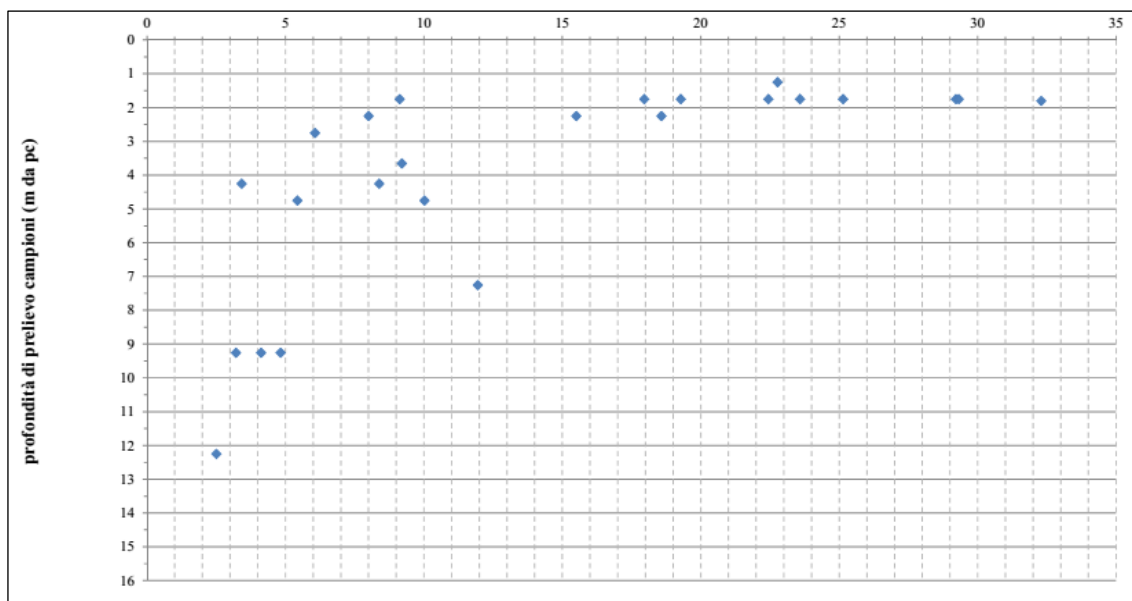
Per quanto riguarda l'area di progetto, ma ciò è valido anche per le altre aree circostanti oggetto delle opere previste dal Master Plan Review 2025-2035, la sovraconsolidazione assume valori molto variabili sia in senso orizzontale che verticale. Le figure seguenti mostrano, rispettivamente, la pressione di preconsolidazione (da prova edometrica) e l'OCR conseguente (rapporto fra la pressione di preconsolidazione e la pressione verticale efficace alla profondità di campionamento del terreno) ricavate dai campioni di terreno prelevati dai sondaggi eseguiti nelle diverse aree interessate dalla realizzazione della viabilità e da altre aree circostanti del sedime aeroportuale, con i campioni posizionati da nord-ovest (a sinistra, nel grafico) a sud-est (a destra, nel grafico).



Valori della pressione di preconsolidazione ottenuti dalle prove di laboratorio eseguite sui campioni prelevati dai sondaggi realizzati all'interno delle diverse aree del sistema della viabilità e di aree circostanti del sedime aeroportuale, con i campioni posizionati da nord-ovest (a sinistra, nel grafico) a sud-est (a destra, nel grafico).



Valori di OCR ottenuti dalle prove di laboratorio eseguite sui campioni prelevati dai sondaggi realizzati all'interno delle diverse aree oggetto della presente relazione e di altre circostanti del sedime aeroportuale, con i campioni posizionati da nord-ovest (a sinistra, nel grafico) a sud-est (a destra, nel grafico).



Valori di OCR in funzione della profondità di prelievo (m dal p.c.), ottenuti dalle prove di laboratorio eseguite sui campioni dei sondaggi realizzati per la presente relazione e di altre aree del sedime aeroportuale.

I valori di OCR dei campioni prelevati dai sondaggi realizzati all'interno delle diverse aree di intervento e di altre limitrofe del sedime aeroportuale, vengono posizionati alla profondità di prelievo, evidenziando quanto detto riguardo alla maggiore concentrazione della sovraconsolidazione nei primi 1,50÷2,00 m di spessore dal p.c..

7. LIQUEFAZIONE

Ai sensi del § 7.11.3.4 del D.M. 17 gennaio 2018, la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti condizioni:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0.1g;
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 – C.P.T.*) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;

4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1a e b delle NTC 2018.

§ 7.11.3.4 DM 17-01-18	Criteri per omissione verifica	Valore	Verifica liquefazione	Note
1	Accelerazione max attesa al p.c. < 0.1 g	0.168-0.208 g (SLV)	SI	§ 5.2.4
2	Profondità falda > 15 m	Terreni sottosuolo impermeabili ("aquiclude" o "acquitardo"), falda s.s. solo nei livelli sabbioso-ghiaiosi come l'Orizzonte Firenze 2 posto a circa 10-13 m p.c. [livello piezometrico in genere profondo (10 m)]	SI/NO	§ 0
3	$q_{c1N} > 180$ $(N_1)_{60} > 30$	Non sono presenti <i>depositi costituiti da sabbie pulite</i> , salvo eventuali intervalli in corrispondenza degli orizzonti acquiferi come Firenze 2 e Firenze 3 , comunque non raggiunti dalle prove CPT/CPTU	(NO)	§ vedi Allegato indagini penetrometriche
4	Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nelle fig. 7.11.1 a) e b) delle NTC 2018	I fusi granulometrici dei campioni prelevati nelle campagna 2015-2017 mostrano sempre un passante >80-90% (escluso pochi campioni come S28C1, S103C2, S117C1 con passanti 60-70%)	NO	§ vedi Allegato analisi gotecniche di laboratorio

Condizioni di esclusione della verifica a liquefazione.

La prima condizione (*accelerazione max attesa al p.c. < 0.1 g*) per l'omissione della verifica risulta non soddisfatta (sempre maggiore di 0.1 g).

Relativamente alla seconda condizione (*profondità falda > 15 m*), i terreni costituenti in linea generale il sottosuolo del sedime aeroportuale sono di fatto impermeabili ("aquiclude" o "acquitardo"), la prima falda s.s. è ubicata nei livelli sabbioso-ghiaiosi come l'Orizzonte Firenze 2 posto nella fascia di profondità media di 10-13 m p.c..

La terza condizione (*depositi costituiti da sabbie pulite*), non trova riscontro nella generale successione litologica costituente il sottosuolo del sedime aeroportuale, salvo eventuali intervalli in corrispondenza degli orizzonti acquiferi come Firenze 2 (fascia prof. media 10-13 m p.c.) e Firenze 3 (fascia prof. media 25-32 m p.c.), comunque non raggiunti

dalle prove CPT/CPTU.

Con riferimento alla quarta condizione, i fusi presentano una distribuzione granulometrica esterna alle zone di cui alla Fig. 7.11.1 delle NTC 2018, con valori del passante superiori a 80÷90%, salvo poche eccezioni (Tabella **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

Per quanto riguarda la seconda e la quarta condizione, va ricordato che i terreni suscettibili di liquefazione sono quelli in cui la resistenza alla deformazione è mobilizzata per solo attrito tra le particelle, vale a dire i terreni incoerenti (sabbie e limi). Nei materiali coesivi (argille), come nella generale successione litologica costituente il sottosuolo del sedime aeroportuale, le forze interlamellari riducono la mobilità delle particelle e, benché sotto l'azione di carichi la pressione interstiziale aumenti, il decadimento della resistenza è graduale e non consente il verificarsi del fenomeno.

Pertanto, si ritiene di omettere la verifica a liquefazione.

7.1. Indicazioni sulla necessità di opere provvisorie e loro tipologia

Con la definizione in dettaglio delle opere da realizzare, nelle fasi progettuali successive verrà valutata la necessità di ricorrere a opere provvisorie di sostegno.

* * *