



MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E
DEI TRASPORTI



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

Committente Principale



AEROPORTO INTERNAZIONALE DI FIRENZE - "AMERIGO VESPUCCI"

Opera

PROJECT REVIEW - PIANO DI SVILUPPO AEROPORTUALE AL 2035

Titolo Documento Completo





VBT1—ELABORATI GENERALI E SPECIALISTICI OPERE CIVILI
Relazione geotecnica

Livello di Progetto

SCHEDE DI APPROFONDIMENTO PROGETTUALE A LIVELLO MINIMO DI PROGETTO DI
FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA

LIV PSA	REV 01	DATA EMISSIONE MARZO 2024	SCALA —	CODICE FILE COMPLETO FLR—MPL—PSA—VBT1—005—OC—RT TITOLO RIDOTTO Rel Geot
------------	-----------	------------------------------	------------	--

01	03/24	EMISSIONE PER PROCEDURA VIA-VAS	TAE , SITECO	A. BURCHI	L. TENERANI
00	10/22	EMISSIONE PER DIBATTITO PUBBLICO	TAE , SITECO	D. VESTRINI	L.TENERANI
REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

<p>COMMITTENTE PRINCIPALE</p>  <p>ACCOUNTABLE MANAGER Dott. Vittorio Fanti</p>	<p>GRUPPO DI PROGETTAZIONE</p>  <p>DIRETTORE TECNICO Ing. Lorenzo Tenerani Ordine degli Ingegneri di Massa Carrara n°631</p>	<p>SUPPORTI SPECIALISTICI</p> <p>PROGETTAZIONE SPECIALISTICA</p>  <p>Ing. Lorenzo Tenerani Ordine degli Ingegneri di Massa Carrara n°631</p> <p>SUPPORTO SPECIALISTICO</p>  <p>Ing. Andrea Burchi</p>
<p>POST HOLDER PROGETTAZIONE Ing. Lorenzo Tenerani</p> <p>POST HOLDER MANUTENZIONE Ing. Nicola D'ippolito</p> <p>POST HOLDER AREA DI MOVIMENTO Geom. Luca Ermini</p>	<p>RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE Ing. Lorenzo Tenerani Ordine degli Ingegneri di Massa Carrara n°631</p>	

Sommario

1. Premessa.....	3
1.1. Descrizione delle opere e degli interventi.....	5
2. Geologia.....	6
2.1. Geologia dell'area di intervento.....	6
2.1.1. bna1 e bna2.....	6
2.1.2. Depositi alluvionali attuali (b).....	7
2.1.3. Depositi alluvionali attuali (b).....	7
2.1.4. Depositi antropici, terreni di riporto, bonifica per colmata (h5).....	7
2.1.5. Depositi antropici, discariche per inerti e rifiuti solidi [h1].....	7
3. Idrogeologia.....	7
3.1. Permeabilità delle unità litostratigrafiche affioranti nell'area in esame.....	7
3.2. Permeabilità delle unità litostratigrafiche affioranti nell'area in esame.....	8
4. Risultati delle indagini eseguite.....	9
4.1. Generalità.....	9
4.2. Indagini Geotecniche tratto AB.....	12
5. Interpretazione ed elaborazione delle prove penetrometriche.....	14
5.1. Analisi complessiva dei diagrammi penetrometrici.....	14
6. Modello geotecnico.....	16
7. Conclusioni.....	17

1

Indice delle figure

Figura 1 Planimetria ubicazioni indagini.....	13
Figura 2 Diagrammi delle resistenze di punta registrate nel corso delle prove CPTU.....	14

Figura 3 Diagrammi modello geotecnico Macrounità A.....19
Figura 4 Grafico del modello geotecnico macrounità B..... 20
Figura 5 Grafico del modello geotecnico Macrounità C.....21

Indice delle tabelle

Tabella 1 Misure piezometriche (04/09/17)9
Tabella 2 Standard Penetration Test (S.P.T.) eseguite durante la perforazione dei sondaggi
..... 10
Tabella 3 Tabella riassuntiva prelievi11

1. Premessa

La presente relazione geotecnica preliminare è stata redatta su incarico di Toscana Aeroporti Engineering S.r.l. ai sensi del Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018 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 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 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. Il presente documento costituisce la Relazione tecnica delle opere viarie parte integrante della Project Review del Piano di Sviluppo Aeroportuale (o Masterplan) al 2035 dell'aeroporto di Firenze, qui sviluppata e dettagliata ad un livello tecnico ritenuto congruo con le finalità della presente fase procedurale, comunque non inferiore a quello del progetto di fattibilità tecnica ed economica di cui all'art. 41 del D. Lgs. n. 36/2023. Il citato approfondimento tecnico viene previsto ad integrazione della Sezione Generale della Project Review del Piano di Sviluppo Aeroportuale al 2035, predisposta in aderenza alle normative e/o regolamenti specifici del settore aeronautico, rispetto alla quale si pone l'obiettivo di elaborare ulteriori elementi tecnici di studio, dettaglio, analisi e progettazione, ritenuti necessari ai fini del compiuto espletamento dei procedimenti amministrativi (di compatibilità ambientale e di autorizzazione) ai quali risulta per legge assoggettato lo strumento del Piano di Sviluppo Aeroportuale, così integrato in modo da

rafforzarne la valenza e la funzione progettuale, strettamente interconnessa con quella pianificatoria e programmatica di investimento.

Le informazioni di seguito riportate vanno, pertanto, analizzate in stretta correlazione rispetto ai più ampi ed estesi aspetti tecnico-economici trattati all'interno dei documenti afferenti alla Sezione Generale del Masterplan, con i quali esse si relazionano secondo un processo capillare di progressivo approfondimento e dettaglio, ritenuto utile per una più completa, consapevole e piena visione dell'insieme delle previsioni di trasformazione dello scalo aeroportuale e delle aree circostanti, e per una più esauriente analisi e comprensione della Project Review del Piano di Sviluppo Aeroportuale.

La citata Project Review costituisce la nuova formulazione tecnica delle previsioni progettuali e di investimento che ENAC prevede di attuare, nel medio-lungo periodo (orizzonte 2035, coerente con quello del Piano Nazionale degli Aeroporti in fase di aggiornamento), relativamente all'infrastruttura aeroportuale di Firenze, redatta dal Gestore aeroportuale di intesa con l'Ente regolatore in attuazione degli obblighi di miglioramento, ottimizzazione e sviluppo dell'aeroporto insiti nel contratto di concessione che lega lo stesso Gestore alle Istituzioni dello Stato (Ministero delle Infrastrutture e ENAC) per la gestione totale dell'infrastruttura aeroportuale (bene dello Stato). Ne consegue che l'insieme documentale di cui la presente relazione costituisce parte integrante deve essere visto e analizzato nella propria autonomia e indipendenza sostanziale, per quanto inevitabilmente consequenziale rispetto al precedente Masterplan 2014-2029 col quale risultano ancora sussistenti più elementi di dialogo che, tuttavia, ci si pone l'obiettivo di non assurgere a valenza prodromica e a funzionalità necessaria per una completa illustrazione, definizione e comprensione del nuovo Piano di Sviluppo Aeroportuale 2035.

Si auspica, infine, di aver esaurientemente e correttamente tradotto e trasferito, all'interno della documentazione di cui al nuovo Masterplan 2035, quel prezioso bagaglio di esperienza e quell'insieme di utili risultanze derivanti dal dialogo costruttivo e dialettico che, nell'ultimo decennio, ha visto in più momenti la partecipazione di ENAC, del Gestore aeroportuale, degli Enti/Amministrazioni interessati, delle Istituzioni nazionali e regionali, dei vari stakeholders e della cittadinanza attiva intorno ai temi relativi al trasporto aereo, alla multimodalità della mobilità, al ruolo della rete aeroportuale territoriale toscana e al

futuro dello scalo aeroportuale di Firenze, che ENAC vede sempre più strategico, integrato e funzionale alla rete nazionale ed europea dei trasporti.

1.1. 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 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 1.00 m;
- Nuova tratto di riconnessione a Via del Pantano: viabilità che consente di "ricucire" la rete viaria locale
- 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 1.00m;
- la viabilità principale sarà dotata di due rotatorie compatte: Il NODO B di diametro esterno 50.00m, 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 50.00m, 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 45.00m.

- 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;
- Opere d'arte:
 - sono previsti due ponti a servizio della viabilità principale, entrambi insistenti sulla deviazione del Fosso Reale e poggianti su impalcato: il primo a nord della nuova pista, nei pressi della Baxter Manufacturing S.p.A., a campata unica di luce 26.00m, 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 35.00m con la base dei pilastri posta a circa 36,40m 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.);

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 e 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 alluvionali attuali (b)

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, terreni di riporto, bonifica per colmata (h5)

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 nord) e dagli stagni di Focognano (a nordovest).

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

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.

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).

8

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

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.

Tabella 1 Misure piezometriche (04/09/17)

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

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

9

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.;

Tabella 2 Standard Penetration Test (S.P.T.) eseguite durante la perforazione dei sondaggi

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

- prelievo di campioni indisturbati con fustella a pareti sottili tipo Shelby dai sondaggi realizzati, alle profondità indicate nella tabella;

- sui campioni suddetti sono state eseguite prove geotecniche da parte del laboratorio Igetecma s.n.c. di Montelupo Fiorentino (Provincia di Firenze)

Tabella 3 Tabella riassuntiva prelievi

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
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

4.2. Indagini Geotecniche tratto AB

Per la modellazione geotecnica del sottosuolo dell'area in cui si realizza il sottopasso, sono stati elaborati i risultati delle seguenti prove penetrometriche:

- CPTU24;
- CPTU11;
- CPTU12;
- CPTU14;
- CPTU25.

La figura sottostante mostra la planimetria della zona interessata dalla costruzione del sottopasso. Le prove sono state realizzate in un'area pressoché piana, pertanto si assume che tutte le prove siano iniziate dalla stessa quota del piano campagna. La tabella seguente mostra le profondità raggiunte con le singole prove penetrometriche CPTU.

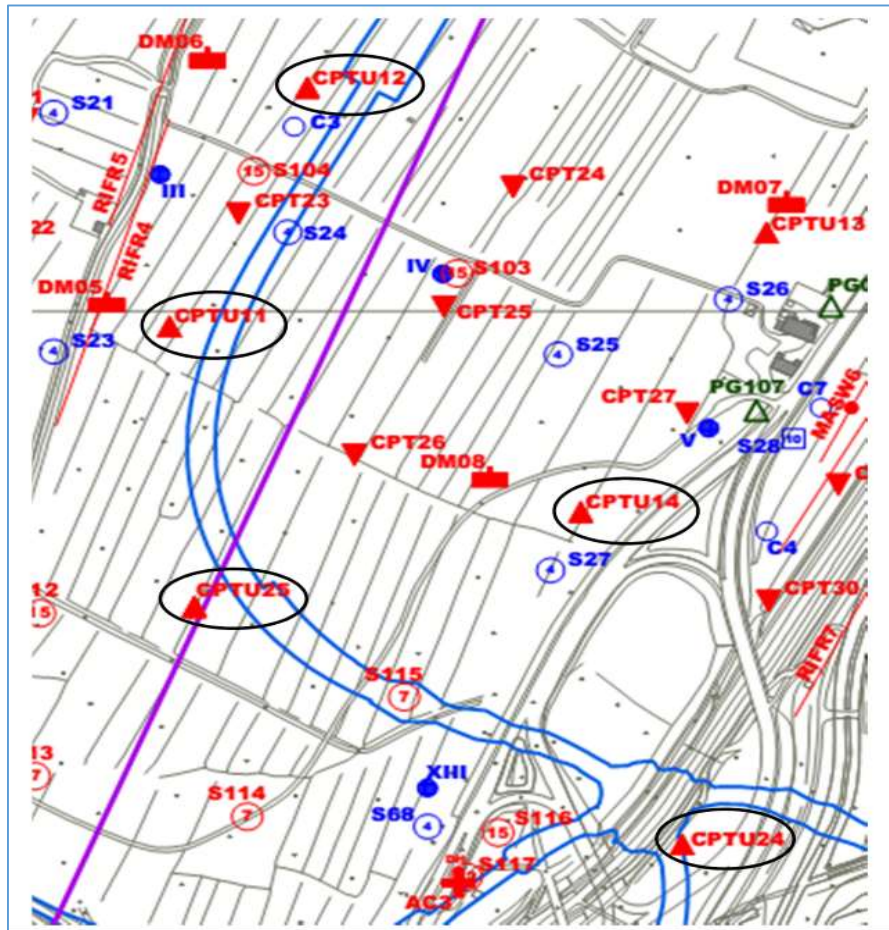


Figura 1 Planimetria ubicazioni indagini

CPTU24	10,50 m	Prove eseguite da Soc. Geosol s.r.l. di Siena. Campagna anno 2017
CPTU11	9,50 m	
CPTU12	8,50 m	
CPTU14	10,0 m	
CPTU25	9,70 m	

Le prove hanno raggiunto profondità relativamente modeste vista la necessità di eseguire un'opera inter-rata.

La **falda**, dalle indicazioni acquisite dalle informazioni pervenute dagli studi geologici, è ritenuta a **-4,0m da p.c.**

5. Interpretazione ed elaborazione delle prove penetrometriche

5.1. Analisi complessiva dei diagrammi penetrometrici

Come accennato in precedenza si assume che le prove siano state eseguite a partire dalla stessa quota del piano medio di campagna.

La quota della falda è assunta a - 4,0m dal piano medio di campagna.

Le prove sono state eseguite nel luglio dell'anno 2017 dalla soc. Geosol Srl di Siena.

Le prove sono state eseguite nel luglio dell'anno 2017 dalla soc. Geosol Srl di Siena..

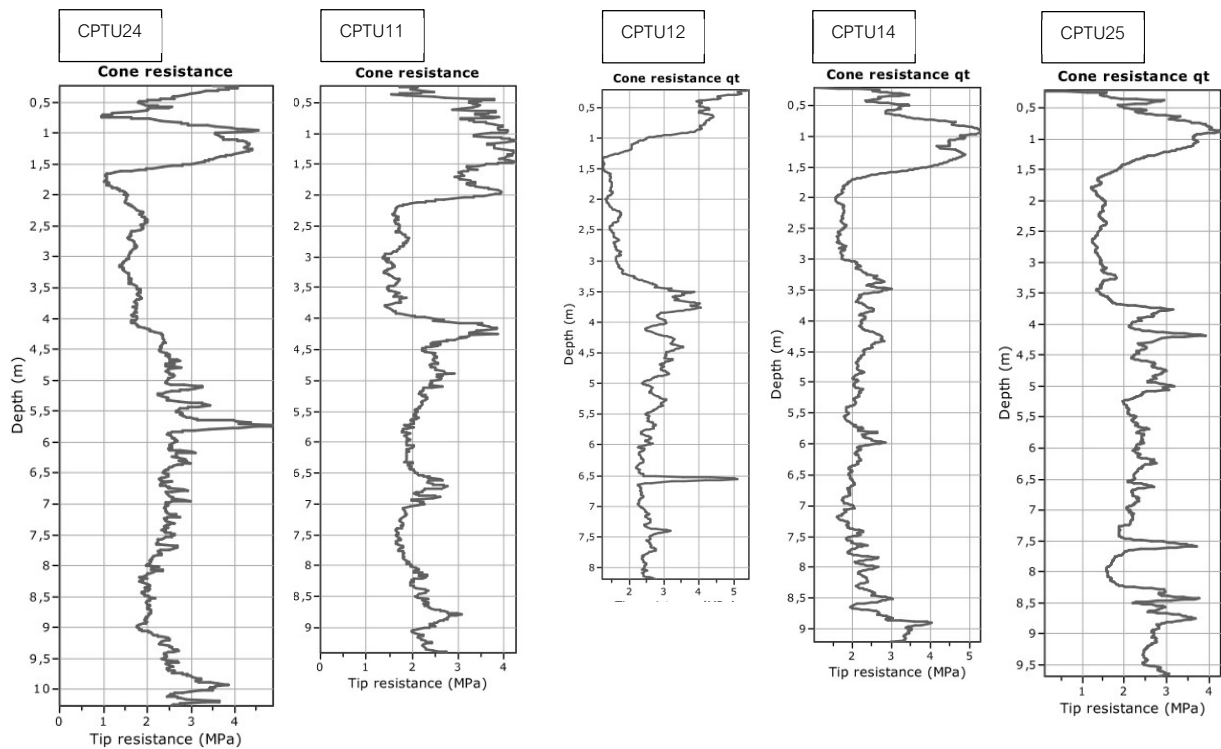


Figura 2 Diagrammi delle resistenze di punta registrate nel corso delle prove CPTU

I diagrammi delle resistenze di punta delle 5 prove penetrometriche messi a confronto mostrano una loro sostanziale similitudine stratigrafica. I diagrammi sono rappresentati con la stessa scala altimetrica mentre i valori delle resistenze alla punta sono in scale diverse.

Complessivamente si può ritenere, valutando le resistenze di punta, di modellare il sottosuolo indagato con 3 macrounità geotecniche:

Macrounità A: si tratta di terreni prevalentemente a grana grossa e di natura variabile, di consistenza da media ad elevata, che formano una crosta di spessore variabile da quota campagna fino a $-1,20 \div -2,00$ m. Lo spessore minimo è registrato nella prova CPTU12 e lo spessore massimo nella CPTU12. Nei primi centimetri i valori della resistenza di punta sono molto variabili: questo dipende dalla natura della crosta più superficiale del piano di campagna.

Macrounità B: La seconda macrounità è compresa tra le quota $-1,20 \div -2,0$ e $-3,00 \div -4,00$ m. E' una macrounità costituita da limi argillosi e sabbiosi da poco consistenti a consistenti. Il valore medio della resistenza di punta può essere assunto pari a $q_c = 1,5$ MPa con un valore minimo a $q_c = 1,0$ MPa rilevato solo nella prova CPT xx.

Macrounità C: Dalla quota $-4,00$ m fino alla profondità massima raggiunta pari a $-9,70$ m: si tratta di argille limose, talora limi argillosi, da mediamente consistenti a consistenti. Il valore medio della resistenza di punta può essere assunto pari a $2,0$ MPa.

Le valutazioni condotte sulla base delle prove penetrometriche, dei rispettivi diagrammi delle resistenze di punta, dei diagrammi della resistenza all'attrito laterale, e delle pressioni interstiziali a rottura portano a ritenere possibile, con una buona approssimazione, l'elaborazione di un unico modello litostratigrafico e geotecnico, costituito dalle tre macrounità geotecniche dianzi indicate.

I parametri geotecnici di seguito riportati sono stati stimati sulla base delle relazioni e delle teorie ampiamente riconosciute nell'ambito dell'ingegneria geotecnica internazionale. Alcuni parametri non sono direttamente stimabili dai valori delle prove CPTU: queste sono tratte dalla letteratura tecnica scientifica e da risultati di prove eseguite su terreni simili. Nella tabella seguente si riportano i valori dei parametri geotecnici di progetto, elaborati secondo criteri di interpretazione che si avvalgono della necessaria esperienza per la modellazione geotecnica dei terreni. Il modello geotecnico è lo schema rappresentativo delle condizioni stratigrafiche e strutturali del terreno indagato, del regime delle pressioni interstiziali e della caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni. Nel caso in esame i valori caratteristici sono stati ottenuti da elaborazione delle prove in sito costituite da prove CPTU.

6. Modello geotecnico

Il modello geotecnico è descritto per singole macrounità, nell'ordine dalla superficie in profondità. Nelle appendici alla relazione sono riportati i diagrammi relativi alle modellazioni geotecniche delle macrounità.

Macrounità "A"

profondità: 0,00m ÷ -1,5m

Litologia: argille limose e limi sabbiosi compatti oltre a materiali vari in sommità

Peso di Volume: si assume costante con la profondità: $\Gamma = 19,0 \div 19,5 \text{ kN/mc}$

Densità relativa: 80% segnatamente per la sola componente limo-sabbioso: $D_r = 80\%$

Angolo di resistenza a taglio: $\phi' = 23^\circ \div 26^\circ$ per la componente argillo-limosa;

$\phi' = 27^\circ \div 30^\circ$ per il livello limo sabbioso.

Coesione: $c' = 2,0 \div 3,2 \text{ kPa}$

Coesione non drenata: $c_u = 70,0 \div 100,0 \text{ kPa}$, per le argille limose

Modulo edometrico: $E = 9,0 \div 15,0 \text{ MPa}$, per le argille limose

Grado di sovraconsolidazione $OCR > 10$

Coefficiente di permeabilità: $k_v = 1,0E-6 \text{ m/s}$; $k_h = 1,0E-4$

Velocità delle onte di taglio $V_s = 150 \text{ m/s}$.

La macrounità può essere trattata come omogenea, dati il relativo spessore ed inconsiderazione dei relativi gradi di incertezza che si possono registrare con prove penetrometriche in terreni compatti come quello in esame, che rappresenta una "crosta superficiale" con caratteristiche molto influenzate dalle condizioni climatiche e dal grado di antropizzazione subito. La figura 4 mostra il grafico del modello geotecnico della macrounità "A"

Macrounità "B"

profondità: -1,50m ÷ -4,00m

Litologia: argille e argille debolmente limose.

Peso di Volume: si assume costante con la profondità: $\Gamma = 18,5 \div 19,5 \text{ kN/mc}$

Densità relativa:

Angolo di resistenza a taglio: $\phi' = 18^\circ \div 20^\circ$.

Coesione: $c' = 2,0 \div 3,0 \text{ kPa}$

Coesione non drenata: $c_u = 70,0 \div 100,0$ kPa, per le argille limose

Modulo edometrico: $E = 10,0 \div 20,0$ MPa, per le argille limose

Coefficiente di permeabilità: $k_v = k_h = 1,0E-7$

Grado di sovraconsolidazione $OCR > 8$

Velocità delle onde di taglio $V_s = 150$ m/s.

Modulo a taglio: $G_0 = 50$ MPa

La macrounità B può essere trattata come omogenea per tutto lo spessore di 2,50m: si tratta di uno strato di argilla sovraconsolidata con una modesta percentuale di limo

La figura 5 mostra il grafico del macromodello "B".

Macrounità "C"

profondità: $-4,00$ m \div $-9,70$ m

Litologia: argille e argille debolmente limose, consistenti.

Peso di Volume: si assume costante con la profondità: $\Gamma = 19,0 \div 20,0$ kN/mc

Densità relativa:

Angolo di resistenza a taglio: $\phi' = 10^\circ \div 20^\circ$.

Coesione: $c' = 8,0 \div 9,5$ kPa

Coesione non drenata: $c_u = 80,0 \div 100,0$ kPa

Modulo edometrico: $E = 10,0 \div 30,0$ MPa

Grado di sovraconsolidazione $OCR: 3 \div 4$

Velocità delle onde di taglio $V_s = 200$ m/s.

Coefficiente di permeabilità: $k_v = k_h = 1,0E-7$

Modulo a taglio: $G_0 = 80 \div 100$ MPa

La macrounità C può essere trattata come omogenea per tutto lo spessore di 5,70m: si tratta di uno strato di argilla sovraconsolidata con una modesta percentuale di limo

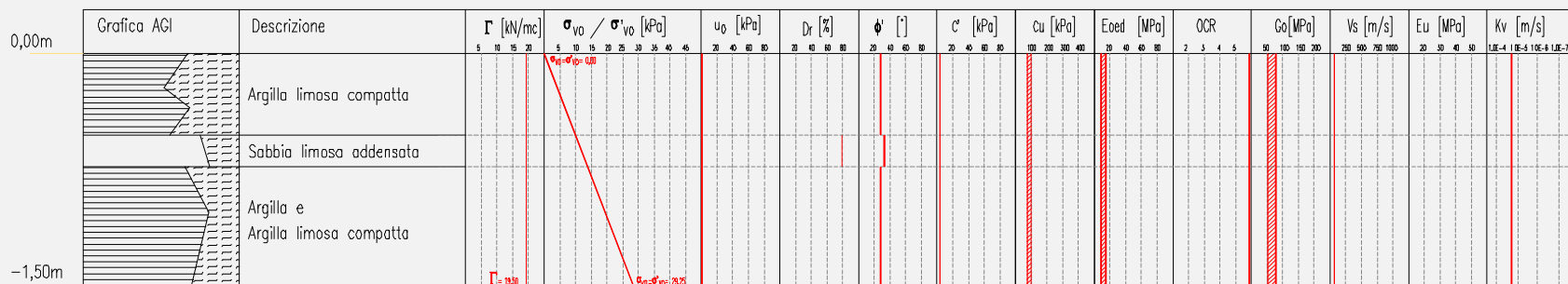
La figura 6 mostra il grafico del macromodello "C".

7. Conclusioni

L'immediato sottosuolo dell'area destinata ad accogliere un sottopasso all'area dell'aeroporto Amerigo Vespucci è stato indagato con prove in sito costituite da prove penetrometriche statiche con punta elettrici e filtro per la stima delle pressioni interstiziali a rottura (piezocono). I risultati delle prove eseguite hanno messo in evidenza

una sostanziale similitudine, sia in merito alla struttura litotecnica, sia ai valori di resistenza alla punta e per attrito laterale. È stato possibile con buona approssimazione costruire un unico modello geotecnico, articolato su tre macrostrutture, ciascuna con valori dei parametri geotecnici elaborati sulla base delle correlazioni e delle teorie disponibili in letteratura scientifica, sulla base di informazioni derivanti da indagini eseguite nelle vicinanze dell'area di interesse, ed infine in base all'esperienza maturata per analisi e studi già condotti su terreni simili.

MACROUNITA' A: valori caratteristici di progetto dei parametri geotecnici



LEGENDA

Γ [kN/mc]: Peso unità di volume
 σ_{vo} [kPa]: Pressione litostatica totale
 σ'_{vo} [kPa]: Pressione litostatica efficace
 u_0 [kPa]: Pressione interstiziale
 D_r [%]: Densità relativa
 ϕ [°]: Angolo di resistenza a taglio

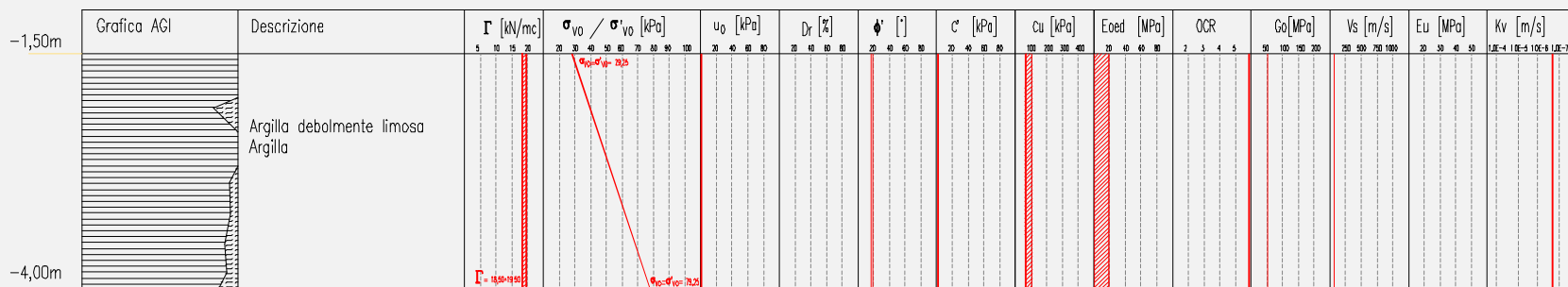
c' [kPa]: Coesione
 c_u [kPa]: Coesione non drenata
 E_{oed} [MPa]: Modulo di deformazione edometrico
 G_0 [MPa]: Modulo di deformazione a taglio
 V_s [m/s]: Velocità onde di taglio
 E_u [MPa]: Modulo di deformazione non drenata

PRINCIPALI CORRELAZIONI UTILIZZATE

Litostratigrafia: Robertson P.K. e All. (1986); Disen R., Farr J., (1986); Searle (1979)
 Peso di volume: Letteratura
 Angolo di resistenza a taglio: Sabbie: Robertson P.K., Campanella R.G., 1983); Durgunoglu Mitchell (1983) ; Argille: Wayne (2006).
 Coesione: Moretto O. et Al. (1963) .
 Coesione non drenata: $c_u = (q_c - \sigma_{v0}) / N_k$.
 Modulo deformazione edometrica: Mitchell & Gardner (1975) .
 Modulo deformazione trasversale G_0 : Robertson Campanella (1983)
 Grado di sovraconsolidazione: Ladd (1972); Andresen et All (1979)
 Permeabilità: Robertson (1992)

Figura 3 Diagrammi modello geotecnico Macrounità A

MACROUNITA' B: valori caratteristici di progetto dei parametri geotecnici



LEGENDA

Γ [kN/mc]: Peso unità di volume
 σ_{vo} [kPa]: Pressione litostatica totale
 σ'_{vo} [kPa]: Pressione litostatica efficace
 u_0 [kPa]: Pressione interstiziale
 D_r [%]: Densità relativa
 ϕ [°]: Angolo di resistenza a taglio

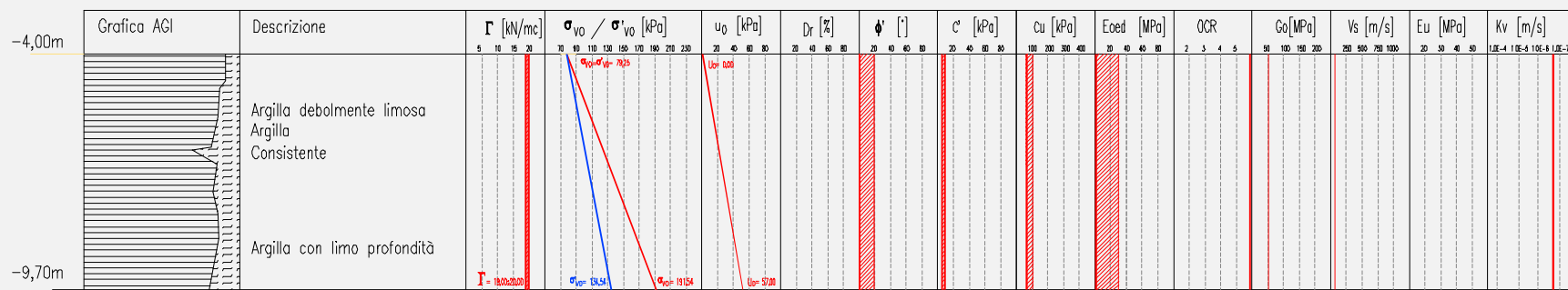
c [kPa]: Coesione
 c_u [kPa]: Coesione non drenata
 E_{oed} [MPa]: Modulo di deformazione edometrico
 G_o [MPa]: Modulo di deformazione a taglio
 V_s [m/s]: Velocità onde di taglio
 E_u [MPa]: Modulo di deformazione non drenato

PRINCIPALI CORRELAZIONI UTILIZZATE

Litostratigrafia: Robertson P.K. e All. (1986); Olsen R., Farr J., (1986); Searle (1979)
Peso di volume: Letteratura
Angolo di resistenza a taglio: Sabbie: Robertson P.K., Campanella R.C., 1983; Durgunoglu Mitchell (1983); Argille: Mayne (2006).
Coesione: Moretto O. et Al. (1963).
Coesione non drenata: $c_u = (q_c - \sigma_{vo}) / N_k$.
Modulo deformazione edometrica: Mitchell & Gardner (1975).
Modulo deformazione trasversale G_o : Robertson Campanella (1983)
Grado di sovraconsolidazione: Ladd (1972); Andresen et All (1979)
Permeabilità: Robertson (1992)

Figura 4 Grafico del modello geotecnico macrounità B

MACROUNITA' C: valori caratteristici di progetto dei parametri geotecnici



LEGENDA

Γ [kN/mc]: Peso unità di volume
 σ_{vo} [kPa]: Pressione litostatica totale
 σ'_{vo} [kPa]: Pressione litostatica efficace
 u_0 [kPa]: Pressione interstiziale
 D_r [%]: Densità relativa
 ϕ' [°]: Angolo di resistenza a taglio

c' [kPa]: Coesione
 C_u [kPa]: Coesione non drenata
 E_{oed} [MPa]: Modulo di deformazione edometrico
 G_0 [MPa]: Modulo di deformazione a taglio
 V_s [m/s]: Velocità onde di taglio
 E_u [MPa]: Modulo di deformazione non drenato

PRINCIPALI CORRELAZIONI UTILIZZATE

Litostratigrafia: Robertson P.K. e All. (1986); Olsen R., Farr J., (1986); Searle (1979)
 Peso di volume: Letteratura
 Angolo di resistenza a taglio: Sabbie: Robertson P.K., Campanella R.G., 1983; Durgunoglu Mitchell (1983); Argille: Mayne (2006).
 Coesione: Moretto O. et Al. (1963).
 Coesione non drenata: $c_u = (q_c - \sigma_{vo}) / N_k$.
 Modulo deformazione edometrico: Mitchell & Gardner (1975).
 Modulo deformazione trasversale G_0 : Robertson Campanella (1983)
 Grado di sovraconsolidazione: Ladd (1972); Andresen et Al (1979)
 Permeabilità: Robertson (1992)

Figura 5 Grafico del modello geotecnico Macrounità C