



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

**NUOVO TERMINAL PASSEGGERI**  
Relazioni Specialistiche  
Relazione sulle Terre Rinforzate Terminal

Livello di Progetto

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

LIV	REV	DATA EMISSIONE	SCALA	CODICE FILE COMPLETO
PSA	02	MARZO 2024	-	FLR-MPL-PSA-TRM2-002-ES-RT_Rel Terre Rinforz Term
				TITOLO RIDOTTO
				Rel Terre Rinforz Term

02	03/24	EMISSIONE PER PROCEDURA VIA-VAS	HYDROGEO INGEGNERIA	L.TENERANI	L.TENERANI
01	03/23	EMISSIONE PER APPROVAZIONE IN LINEA TECNICA DI ENAC	TAE , SITECO	L.TENERANI	L.TENERANI
00	10/22	EMISSIONE PER DIBATTITO PUBBLICO	TAE , SITECO	D. VESTRINI	L.TENERANI
REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

COMMITTENTE PRINCIPALE	GRUPPO DI PROGETTAZIONE	SUPPORTI SPECIALISTICI
 <b>ACCOUNTABLE MANAGER</b> Dott. Vittorio Fanti	 <b>DIRETTORE TECNICO</b> Ing. Lorenzo Tenerani Ordine degli Ingegneri di Massa Carrara n°631	<b>PROGETTAZIONE SPECIALISTICA</b>  Ing. Lorenzo Tenerani Ordine degli Ingegneri di Massa Carrara n°631
<b>POST HOLDER PROGETTAZIONE</b> Ing. Lorenzo Tenerani	<b>RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE</b> Ing. Lorenzo Tenerani Ordine degli Ingegneri di Massa Carrara n°631	<b>SUPPORTO SPECIALISTICO</b>   Via Aretina 167/B - 50136 Firenze Tel 055 6587050 - P.IVA 05142000487 e-mail: info@studiohydrogeo.it - pec: info@pec.hydrogeoingegneria.com Ing. Andrea Benvenuti Ordine degli ingegneri di Firenze n° 4186
<b>POST HOLDER MANUTENZIONE</b> Ing. Nicola D'Ippolito		
<b>POST HOLDER AREA DI MOVIMENTO</b> Geom. Luca Ermini		

È SEVERAMENTE VIETATA LA RIPRODUZIONE E/O LA CESSIONE A TERZI SENZA AUTORIZZAZIONE DELLA COMMITTENTE

## Contenuti

1	PREMESSA	2
2	INQUADRAMENTO TERRITORIALE	4
3	DEFINIZIONE DEI PARAMETRI SISMICI	6
4	MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO	8
	4.1 PERMEABILITÀ	10
5	INTERVENTI DI PROGETTO	12
	5.1 Sezione 1	15
	5.2 Sezione 2	16
6	VERIFICHE STRUTTURALI PRELIMINARI	17
	6.1 Falda	18
	6.2 Azioni	18
	6.2.1 Sovraccarichi	18
	6.2.2 Azione sismica	18
	6.3 Risultati	19
	6.3.1 Sezione 1	19
	6.3.2 Sezione 2	21
7	PREDIMENSIONAMENTO OPERE DI DRENAGGIO	24

## 1 PREMESSA

Il presente documento costituisce la Relazione tecnica dell'intervento di sostegno in terre rinforzate previsto nell'area Terminal, 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 20235, 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.

Nella presente relazione si descrivono, in particolare, i criteri di progettazione e i metodi di calcoli utilizzati per la modellazione numerica delle opere in oggetto.

Nei capitoli 3 e 4 sono riportati il modello geologico e geotecnico nonché i parametri da utilizzare per l'azione sismica, reperiti sulla Relazione tecnica geologica redatta su incarico di Toscana Aeroporti Engineering S.r.l. dal Dott. Geol. Michele Sani di Terra & Opere S.r.l.

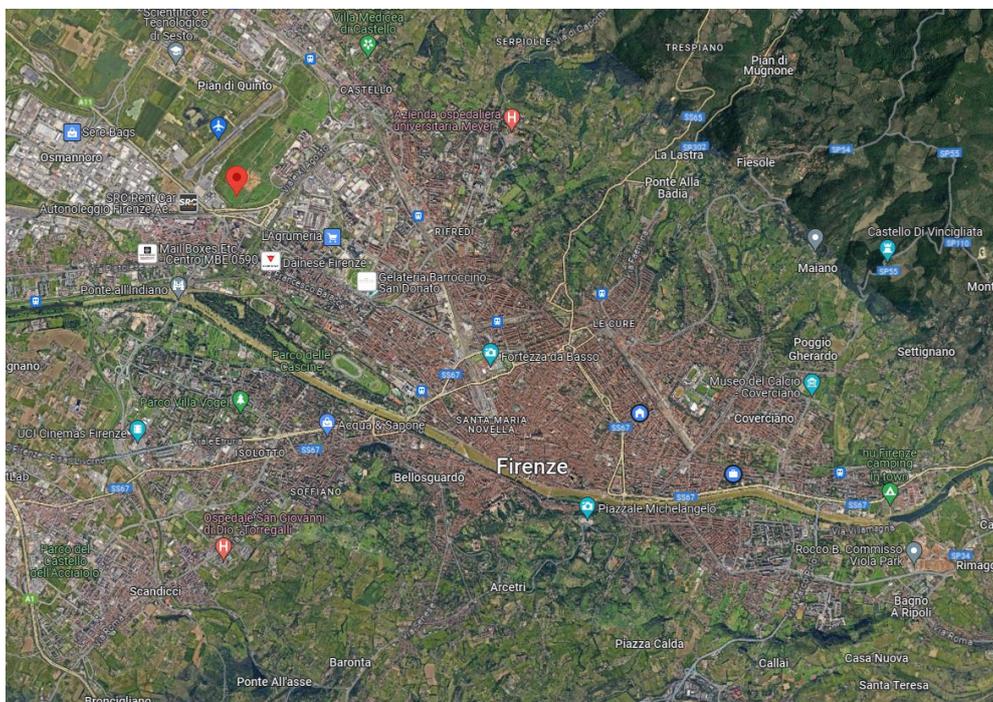
Nel capitolo 5 si descrive l'opera di progetto e i criteri di progettazione della stessa.

Nel capitolo 6 si riportano l'analisi e le verifiche delle sezioni di progetto, condotte con l'ausilio del codice di calcolo automatico GRETA - Terre Armate 16.0 di Aztec Informatica srl.

Nel capitolo 7 sono descritte le opere di drenaggio delle terre rinforzate e il loro predimensionamento.

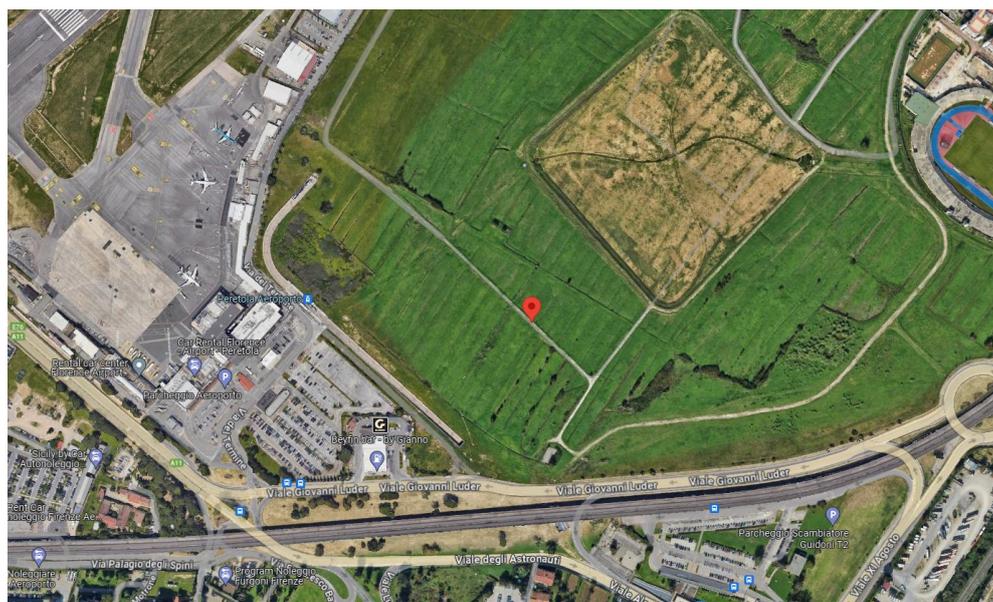
## 2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

La zona aeroportuale di Firenze si colloca nella zona nordorientale della città, in corrispondenza dell'inizio dell'autostrada A11, nota anche come Firenze-Mare.

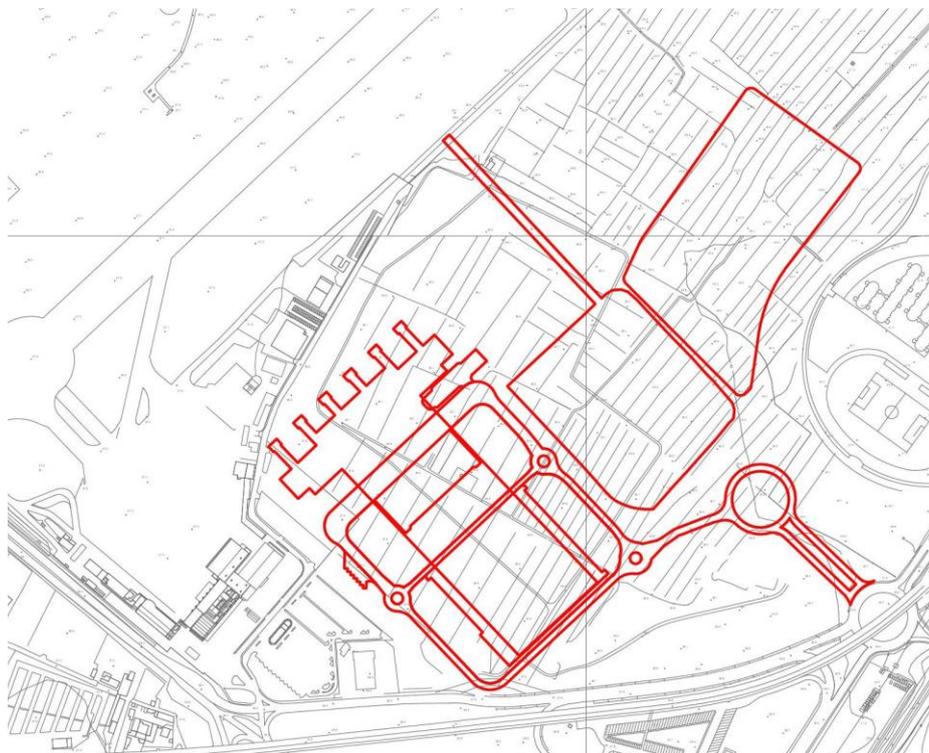


*Figura B-2-1: Inquadramento dell'ambito oggetto di studio*

Il sito in cui è prevista la realizzazione della terra rinforzata si trova ad est della struttura aeroportuale esistente e della stazione della linea tranviaria, in un'area attualmente occupata da campi coltivati.



*Figura B-2-2: Inquadramento dell'area di intervento*



*Figura B-2-3: Ubicazione dell'area di intervento nella quale sorgerà il nuovo Terminal Passeggeri*

La zona in esame ricade all'interno dei fogli 263150 e 275030 della Carta Tecnica Regionale in scala 1:10000.

### 3 DEFINIZIONE DEI PARAMETRI SISMICI

Le informazioni del presente paragrafo sono state desunte dalla Relazione tecnica geologica redatta su incarico di Toscana Aeroporti Engineering S.r.l. dal Dott. Geol. Michele Sani di Terra & Opere S.r.l.

Coordinate geografiche del sito (WGS84): latitudine 43.804605, longitudine 11.203493

Per determinare gli spettri di risposta elastici del sito, tenuto conto degli effetti locali dovuti all'amplificazione sia stratigrafica che topografica, sono stati assegnati i parametri progettuali riportati di seguito:

Vita nominale di progetto (VN):	≥100 anni (Costruzioni con livelli di prestazioni elevati)
Classe d'uso:	IV (Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti...)
coefficiente d'uso (CU):	2.0
Periodo di riferimento:	≥200 anni
Categoria 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
Categoria topografica:	T1 - Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$

I parametri sismici da adottare per la progettazione delle terre rinforzate risultano pertanto quelli riportati in Figura B-3-1.

Stato Limite	Tr [anni]	$a_g$ [g]	Fo	$T_c^*$ [s]
Operatività (SLO)	120	0.077	2.594	0.284
Danno (SLD)	201	0.094	2.518	0.294
Salvaguardia vita (SLV)	1898	0.205	2.409	0.316
Prevenzione collasso (SLC)	2475	0.222	2.418	0.318
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	200			

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,40	1,38
CC Coeff. funz categoria	1,59	1,57	1,54	1,53
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.000	0.066	0.109	0.000
kv	--	0.033	0.055	--
Amax [m/s <sup>2</sup> ]	1.130	1.386	2.813	3.001
Beta	--	0.470	0.380	--

*Figura B-3-1: Parametri sismici*

## 4 MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO

Le informazioni del presente paragrafo sono state desunte dalla Relazione tecnica geologica redatta su incarico di Toscana Aeroporti Engineering S.r.l. dal Dott. Geol. Michele Sani di Terra & Opere S.r.l.

Il modello geologico del sottosuolo dell'area di intervento è stato definito in base ai risultati dei sondaggi eseguiti presso l'area aeroportuale sia nelle aree limitrofe e reperibili nell'archivio Sistema Informa vo Geologico del Sottosuolo (S.I.G.S.) del Comune di Firenze.

L'area di intervento è caratterizzata dalla presenza, a partire dai terreni più recenti, di depositi costituenti ben definite e distinte unità stratigrafiche:

1. Dr<sub>a-b</sub> depositi attuali e recenti, di origine alluvionale [età: Olocene];
2. Da<sub>a-b</sub> depositi antichi, di origine alluvionale [età: Pleistocene sup.];
3. FPT sottostanti depositi di origine lacustre e palustre [età: Pliocene superiore – Pleistocene inferiore, "Villafranchiano" Auc3.] come attività di riempimento del bacino di Firenze- Pistoia.

Per gli spessori di tali unità, si è fatto riferimento alla ricostruzione fornitoci da Terra & Opere S.r.l per l'area in esame, riportata in Figura B-4-1.

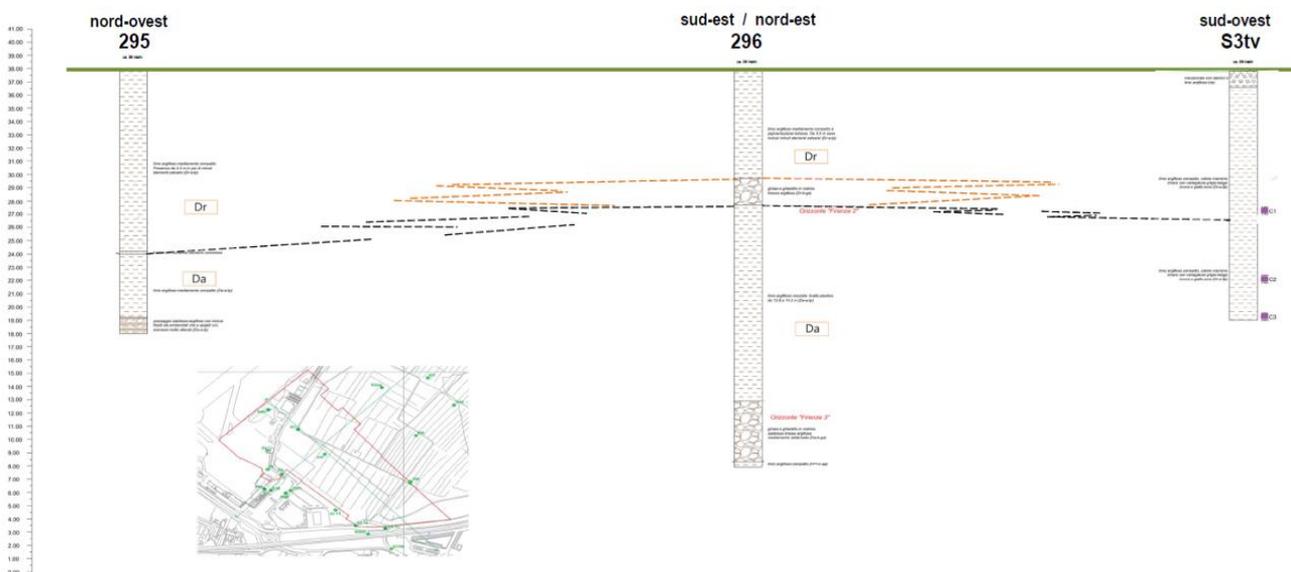


Figura B-4-1: Ricostruzione geologica dell'area in esame

Per le verifiche sono quindi stati adottati i seguenti spessori:

1. Dr<sub>a-b</sub> spessore 11 m;
2. Da<sub>a-b</sub> spessore 19 m.

Come si evince dalla ricostruzione geologica, un orizzonte costituito da ghiaie in matrice limosa si interpone tra la formazione Dr e il deposito antico alluvionale sottostante (Da).

Tuttavia, non conoscendo l'esatta distribuzione planimetrica di questo orizzonte si è preferito non considerarlo nelle verifiche. Sarà opportuno nelle successive fasi progettuali approfondire tale tema integrando la campagna di indagine esistente con ulteriori prove specifiche.

In base alle indicazioni fornite dal modello geologico, è stato definito il modello geotecnico preliminare per l'area di progettazione come riportato di seguito, a partire dai livelli più superficiali:

- un livello geotecnico corrispondente ai sedimenti di origine alluvionale attuali e recenti [Dr a-b] costituito da:
  - 1) terreni coesivi [Dra] come limi argillosi (lp) e in misura minore da limi ghiaiosi e limi sabbiosi (ls) con componente granulare scarsa (lp) o più cospicua (ls);
  - 2) terreni prevalentemente incoerenti o misti [Drb] come ghiaie in matrice fine variabile, sabbia ghiaiosa e sabbia limosa (gs, gp, ss, sp) con spessore variabile e corrispondenti all'Orizzonte Firenze 2
  
- un livello geotecnico corrispondente ai sedimenti di origine alluvionale antichi [Da a-b], costituito da:
  - 1) da terreni coesivi [Daa] come limi argillosi (lp) con scarsa componente granulare e, in misura minore, da terreni misti come limi ghiaiosi e limi sabbiosi (ls);
  - 2) terreni prevalentemente incoerenti o misti [Dab] come ghiaie in matrice fine variabile, sabbia ghiaiosa e sabbia limosa (gs, gp, ss, sp) con spessore variabile e corrispondenti all'Orizzonte Firenze 3;
  
- un livello geotecnico corrispondente ai depositi di origine lacustre e palustre [FPT], attraversato da molti sondaggi (ma qui mai campionata) nell'area dell'aeroporto in tutte e tre le facies [FPT a-b-c]:
  - 1) la facies [FPTa], prevalentemente coesiva come limi argillosi (lp) e limi ghiaiosi e sabbiosi (ls), con i primi litotipi qui più rappresentati dei secondi, mostra spessori di (almeno) una decina di metri;
  - 2) la facies ghiaioso-sabbiosa [FPTb], qui quasi assente ma rinvenuta per alcuni metri (a fondo foro) in uno dei sondaggi a profondità di ca.80 m p.c., come sabbie pulite (sp);
  - 3) la facies [FPTc], coesiva ("argille turchine") e qui rinvenuta come limi argillosi ed argille limose (ap) per spessori di (almeno) 15 m in diversi sondaggi, oltre ad uno spessore di ca. 50 m in una verticale.

Nella Tabella 1 sottostante sono riportati i parametri geotecnici delle macro-unità indicate. Ogni macro-unità sarà eventualmente suddivisa e ulteriormente caratterizzata, qualora necessario, nelle successive fasi di progettazione.

livello geotecnico	peso volumetrico	Limite liquido	Limite plastico	Indice di plasticità	Classificaz. Casagrande	N <sub>SPT</sub>	φ'	c'	Cu	Eed
sistema subsistema	kN/m <sup>3</sup>	LL %	LP %	IP %			(°)	(kPa)	(kPa)	(kPa)
										198-196 kPa
Dr (Dr-a)	19.85	58.5	24.1	34.4	CH	31	19.0	20.1	121	10284
Da (Da-a)	20.10	61.7	22.6	39.1	CH	55	19.3	24.3	162	n.d.
FPT <sub>a</sub>	19.52	56.9	24.4	32.4	CH		19.0	n.d.	n.d.	n.d.
FPT <sub>b</sub>						72				
FPT <sub>c</sub>	19.96	50.1	22.8	27.3	CH		25.6	30.0	n.d.	18051

Tabella 1: Schema del modello geotecnico preliminare per l'area di progetto

#### 4.1 PERMEABILITÀ

Ai fini del predimensionamento del sistema di drenaggio della terra rinforzata e del rilevato di progetto, risulta fondamentale stimare il coefficiente di permeabilità del materiale di riempimento.

In merito alla permeabilità dei litotipi che caratterizzano la zona in esame la relazione tecnica geologica del Dott. Geol. Michele Sani riporta quanto segue:

*I terreni di origine alluvionale presenti nelle aree di pianura sono dotati di permeabilità per porosità primaria legata alla presenza di pori tra le particelle, acquisita al momento della loro formazione. Tale permeabilità per i Depositi alluvionali recenti terrazzati (bna) è in genere bassa e varia in corrispondenza sia dei livelli fini che grossolani. Considerando tutte le perforazioni dei sondaggi della campagna geognostica di supporto al Masterplan solo in alcuni sporadici casi è stata rinvenuta acqua. La spiegazione dell'acqua rinvenuta sta nel fatto che il sottosuolo dell'area esaminata, costituito da terreni fini in massima parte rappresenta da argille e limi, è un acquicludo in cui si può avere, nelle stagioni delle piogge, presenza di acqua di ritenzione a causa dell'alta porosità, ma quest'acqua non circola in quanto la porosità efficace è molto bassa, dell'ordine di pochi punti percentuali. Nella Carta idrogeologica, le formazioni geologiche affioranti nell'area di indagine sono state suddivise in base alla permeabilità precedentemente indicata che è riassunta nella successiva tabella.*

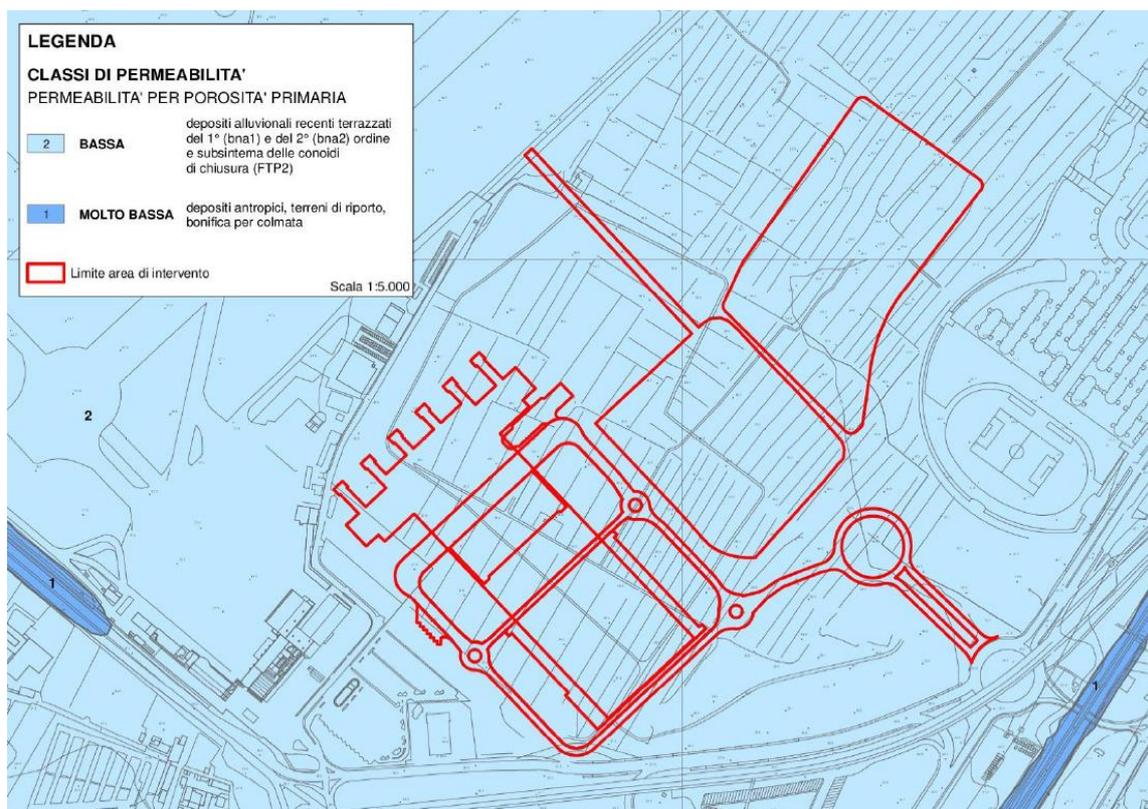


Figura B-4-2: Carta idrogeologica dell'area in esame.

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

Tabella 2: Permeabilità dei terreni

Considerando che il materiale che andrà a costituire il rilevato di progetto deriverà da scavi delle opere costituenti il masterplan e che dalle indagini svolte sul sedime aeroportuale sono stati registrati valori del coefficiente di permeabilità fra  $k = E10^{-8}$  e  $E10^{-10}$  cm/s, risulterebbe ragionevole ipotizzare un valore pari a  $k = E10^{-9}$  cm/s. Tuttavia, per tener conto di eventuali fenomeni che possono generare percorsi preferenziali di filtrazione, si è scelto di utilizzare cautelativamente un coefficiente  $k = 5 * E10^{-5}$  m/s.

Sarà opportuno nelle successive fasi progettuali approfondire questo tema programmando prove specifiche atte alla determinazione del coefficiente di permeabilità del materiale effettivamente posto in opera.

## 5 INTERVENTI DI PROGETTO

Come risulta dagli elaborati progettuali redatti per conto di Toscana Aeroporti Engineering S.r.l., il nuovo Terminal Passeggeri sorgerà a nord est di quello attuale e sarà composto da due corpi di fabbrica, uno destinato agli arrivi e uno destinato alle partenze.

Queste strutture e tutta l'area destinata ai parcheggi saranno sormontate da una copertura verde, composta da lunghi filari di vigna autoctona contenuti in un primo tratto, all'interno di vasche prefabbricate supportate da travi in cemento che si appoggiano su pilastri costituiti da leggere strutture metalliche ramificate e, in un secondo tratto, su rilevato di nuova realizzazione.

Nella parte più a sud dell'area di intervento, costituita appunto dalla parte in rilevato, è prevista la realizzazione in continuità della terra rinforzata oggetto della presente relazione.

L'andamento planimetrico delle terre rinforzate, riportato in Figura B-5-1Figura , è stato definito in modo tale che sui lati la testa dell'opera seguisse il profilo inclinato della copertura verde mentre, sul fronte nord, il piede si attestasse parallelamente alla facciata settentrionale dell'edificio in progetto.

In particolare, sul lato settentrionale, l'andamento del rilevato in terre rinforzate cinge il suddetto fabbricato distanziandosi da esso.

Dal punto di vista altimetrico, il rilevato presenta una superficie superiore inclinata, in continuità con la copertura verde, fino a ricongiungersi col piano campagna in corrispondenza della nuova viabilità ove è prevista la realizzazione di un canale interrato per la gestione delle acque meteoriche della copertura.

Il fronte della terra rinforzata presenta, quindi, un'altezza variabile da un massimo di 15,5 m fino ad annullarsi via via che si procede verso sud ovest in prossimità della viabilità.

Il rilevato di progetto sarà realizzato riutilizzando il materiale di scavo proveniente da alcuni siti di produzione nell'ambito del Masterplan aeroportuale, in un'ottica di ottimizzazione e recupero che minimizza gli approvvigionamenti esterni di materiale e i conferimenti a rifiuto.

Al fine di garantire la regimazione delle acque di infiltrazione è prevista la realizzazione di uno strato drenante a tergo delle opere di sostegno con scarico nella rete di drenaggio delle acque meteoriche in progetto, in modo da evitare sovrappressioni nelle terre rinforzate per la presenza di acqua.



Per quanto riguarda la porzione dell'opera fuori terra, di altezza massima pari a 15,50 m, questa sarà realizzata mediante la posa, procedendo dal basso verso l'alto, dei seguenti rinforzi:

- geogriglia Fortrac 200 T (o equivalenti),
- geogriglia Fortrac 80 T (o equivalenti),
- geogriglia Fortrac 55 T (o equivalenti).

Tutte le geogriglie sono state risvoltate sul fronte e in sommità per una lunghezza pari a 1,50 m e saranno poste in opera con uno spessore di 60 cm.

La lunghezza dei rinforzi varia da 3,00 m a 12,00m. Come descritto in precedenza infatti, l'opera sarà caratterizzata da una sezione variabile lungo il suo sviluppo, con un'altezza che varierà coerentemente con il profilo del terrapieno. Ciò comporterà una modifica nel numero, nella lunghezza e nella tipologia di rinforzi utilizzati al variare della sezione.

Tutti gli strati di terreno, compreso il piano di imposta, dovranno essere compattati in strati di massimo 30cm di spessore fino a raggiungere il 95% della densità ottenibile in una prova Proctor (AASHTO modificata).

Sul paramento esterno, si prevede l'utilizzo di una rete antierosione HaTe 23.142 (o similari), per evitare la fuoriuscita ed il progressivo dilavamento del terreno.

L'inclinazione del paramento è stata fissata in 70° rispetto all'orizzontale. Il fronte inclinato sarà realizzato con l'ausilio di casseri a perdere in rete elettrosaldata piegata a circa 70° e fissata con tiranti e picchetti.

Per migliorare l'impatto estetico dell'opera e favorirne l'integrazione all'interno del contesto ambientale e architettonico, la terra rinforzata presenterà un fronte rinverdito. Nel caso in cui il terreno di riempimento non fosse fertile, sarà necessario disporre almeno 30 cm di terreno vegetale sul fronte della terra rinforzata, all'interno di ogni strato.

In Figura B-5-2 si riporta una sezione tipologica del cassettone di fondazione appena descritto.

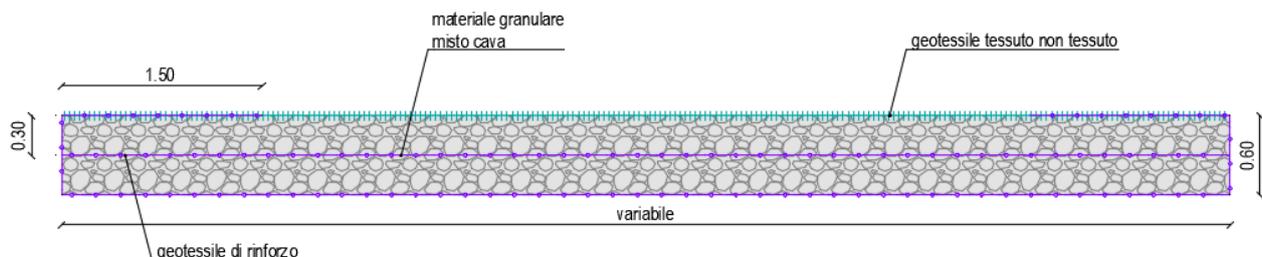


Figura B-5-2: Particolare Fondazione

Per le verifiche geotecniche sono stati implementati i modelli che riproducono due sezioni, le cui tracce sono riportate nella planimetria in Figura B-5-1. La sezione 1 (in Figura B-5-3) segue l'orientamento NE-SO mentre la sezione 2 (Figura B-5-4) risulta perpendicolare alla prima. Entrambe le sezioni analizzate sono caratterizzate da un'altezza massima di 16,10 m, di cui 0,60 m interrati e 15,50 m fuori terra.

Si riportano di seguito gli schemi dei rinforzi disposti, procedendo dal basso verso l'alto, nelle sezioni di verifica.

## 5.1 Sezione 1

- cassonetto di fondazione realizzato con geotessile di rinforzo Stabilenka 1000/100 (o equivalenti) di lunghezza pari a 35 m;
- 2 strati di geogriglia Fortrac 200 T (o equivalenti) con lunghezza di 35,00 m;
- 9 strati di geogriglia Fortrac 200 T (o equivalenti) con lunghezza di 12,00 m;
- 6 strati di geogriglia Fortrac 80 T (o equivalenti) con lunghezza di 10,00 m;
- 6 strati di geogriglia Fortrac 55 T (o equivalenti) con lunghezza di 9,00 m;
- 3 strati di geogriglia Fortrac 55 T (o equivalenti) con lunghezza di 3,00 m

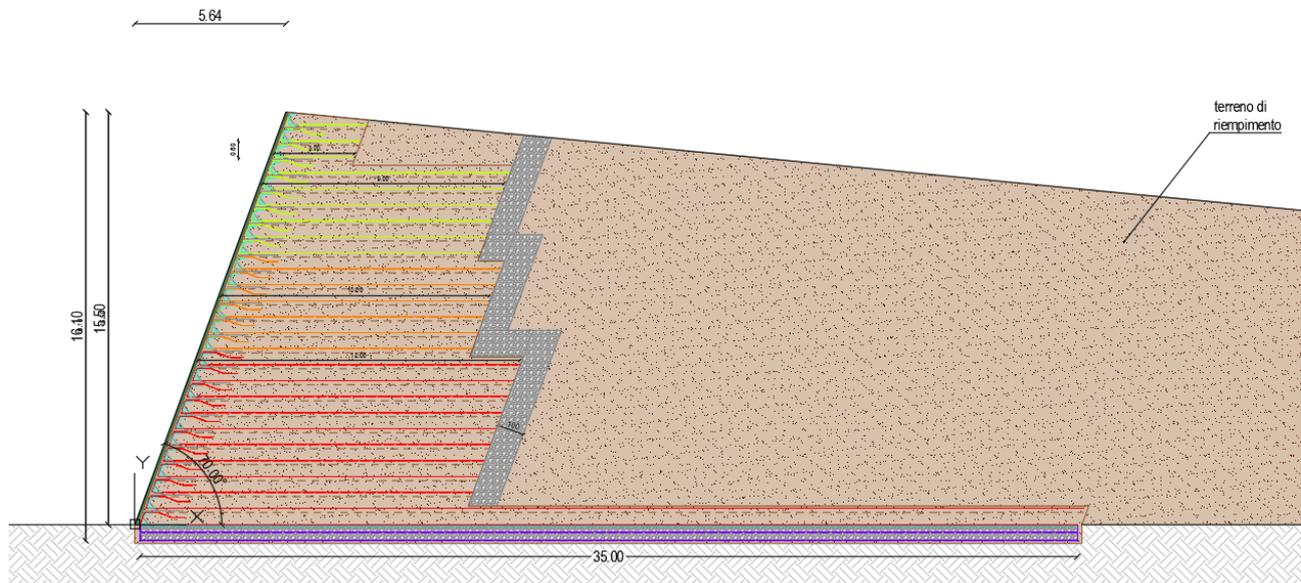


Figura B-5-3: Sezione 1

## 5.2 Sezione 2

- cassonetto di fondazione realizzato con geotessile di rinforzo Stabilenka 1000/100 (o equivalenti) di lunghezza pari a 50 m;
- 4 strati di geogriglia Fortrac 200 T (o equivalenti) con lunghezza variabile da 50,00 m a 48,50 m, in modo tale da intercettare i due fronti della sezione;
- 6 strati di geogriglia Fortrac 200 T (o equivalenti) con lunghezza di 14,00 m;
- 6 strati di geogriglia Fortrac 80 T (o equivalenti) con lunghezza di 14,00 m;
- 10 strati di geogriglia Fortrac 55 T (o equivalenti) con lunghezza di 14,00 m.

Dato che la posa sarà realizzata in maniera speculare sui due lati della terra rinforzata, è stato verificato solo uno dei due fronti, considerando per la fondazione e per gli strati di geogriglia Fortrac 200 T (o equivalenti) la semilunghezza.

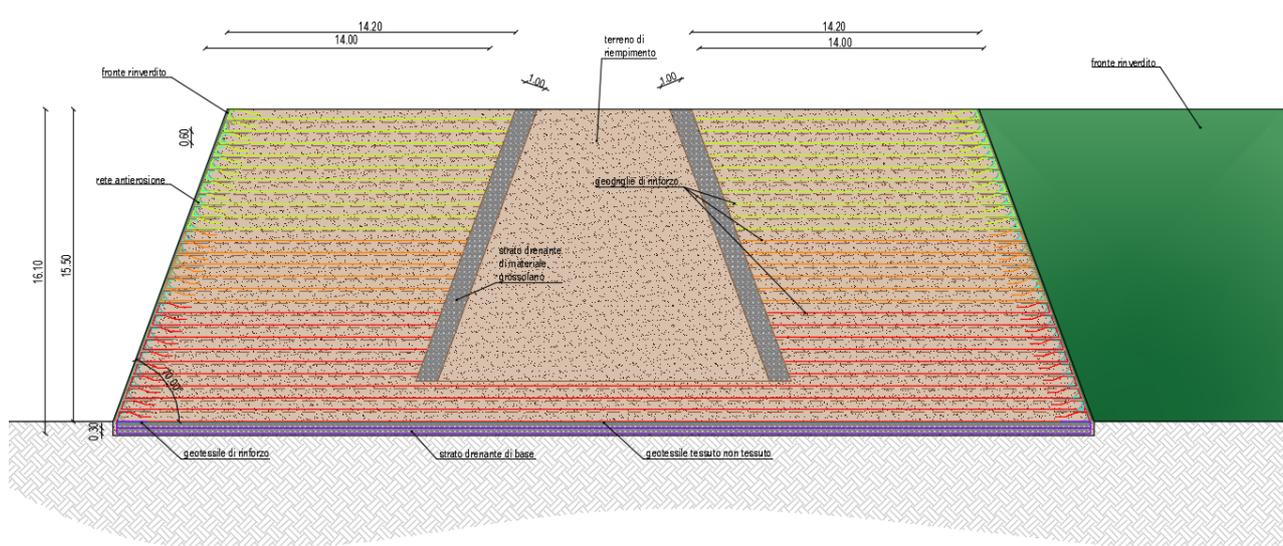


Figura B-5-4: Sezione 2

## 6 VERIFICHE STRUTTURALI PRELIMINARI

L'analisi e le verifiche delle sezioni di progetto sono state condotte con l'ausilio del codice di calcolo automatico GRETA - Terre Armate 16.0 di Aztec Informatica srl.

Il calcolo delle terre armate viene eseguito secondo le seguenti fasi:

- Calcolo della spinta del terreno;
- Verifica a ribaltamento;
- Verifica a scorrimento sul piano di posa;
- Verifica della stabilità complesso fondazione terreno (carico limite);
- Verifica della stabilità globale;
- Verifica dell'opera nei confronti di potenziali superfici di rottura interni alla terra armata.

In particolare, viene eseguita un'analisi globale (compound) che assicura la stabilità globale e l'esistenza di rinforzi di lunghezza sufficiente a garantirne l'ancoraggio in una porzione del terreno stabile.

L'analisi sotto le azioni sismiche è condotta con il metodo dell'analisi statica equivalente secondo le disposizioni del capitolo 7 del DM 17/01/2018.

Per entrambi gli ordini delle terre rinforzate, le verifiche di capacità portante sono state eseguite con il metodo di Vesic mentre quelle di stabilità globale e di compound sono state eseguite con il metodo di Bishop.

Per le verifiche interne è stato considerato il meccanismo rotazionale con superficie curvilinea (Circolare).

Sulla terra rinforzata sono state effettuate verifiche di stabilità interne, composte e globali, quindi analizzando le superfici di scivolamento che attraversano la terra rinforzata totalmente o parzialmente, nonché quelle che sono completamente esterne alla terra rinforzata. Tra tutte le superfici di scorrimento analizzate, si è ottenuto il valore della superficie più critica ovvero quella che fornisce il fattore di sicurezza più basso.

Le verifiche composte ricercano i cinematismi di rottura che riguardano l'insieme terreno rinforzi. Il programma analizza delle famiglie di superfici circolari. Il calcolo del fattore di sicurezza della superficie circolare è effettuato con il metodo delle strisce tenendo conto del contributo di resistenza dei rinforzi contenuti.

Nel par. 6.3 si riportano in maniera riassuntiva i risultati delle verifiche eseguite per le due sezioni di progetto.

Per un maggior dettaglio sui risultati delle verifiche di stabilità interne e composte effettuate si rimanda all'elaborato:

*FLR-MPL-PSA-TRM2-003-ES-RC Relazione di Calcolo sulle Terre Rinforzate Terminal*

In questa fase progettuale non sono state eseguite verifiche in termini di cedimenti. Questo tema ed un eventuale miglioramento dei terreni di fondazione, qualora necessario, sono demandati alle successive fasi progettuali.

## 6.1 Falda

Le verifiche sono state svolte in presenza di falda all'interno del terrapieno, posta a +7,50 m dal piano campagna. L'andamento della superficie freatica è stato impostato considerando che la falda sia drenata a tergo dello strato drenante di fondazione e incanalata attraverso quest'ultimo, in modo tale che essa non intercetti mai il corpo delle terre rinforzate.

## 6.2 Azioni

### 6.2.1 Sovraccarichi

Ai fini delle verifiche, per entrambe le sezioni implementate è stato considerato uno schema di carico distribuito di intensità pari a 10,0 kPa, per rappresentare l'eventuale passaggio di mezzi da cantiere o di manutenzione al di sopra del rilevato.

### 6.2.2 Azione sismica

Per l'azione sismica è stato preso a riferimento ai parametri riportati nel cap. 3.

In si riporta l'impostazione dei parametri implementati sul software di calcolo.

Parametri sismici				
	$T_R$ [anni]	$a_g$ [m/s <sup>2</sup> ]	$F_0$ [...]	$T_C^*$ [s]
SLO	120	0.746	2.598	0.284
SLD	201	0.916	2.517	0.293
SLV	1898	1.994	2.408	0.315
SLC	2475	2.158	2.418	0.317

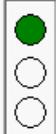
 <ul style="list-style-type: none"> <li>ID Punto 1 = 19836</li> <li>ID Punto 2 = 19835</li> <li>ID Punto 3 = 20057</li> <li>ID Punto 4 = 20058</li> </ul> <p><b>Dati sismici rilevati correttamente.</b></p>	
---	--

Figura B-6-1: Parametri sismici da modello

## 6.3 Risultati

Si riporta di seguito il riassunto dei risultati ottenuti per le due sezioni in progetto.

Si riporta per ogni sezione la superficie circolare caratterizzata dal coefficiente di sicurezza minimo.

Inoltre, per quanto attiene alle verifiche esterne e quelle composte, sono restituite le tabelle contenenti i coefficienti di sicurezza minimi ottenuti.

Per non appesantire la trattazione, le tabelle riguardanti le verifiche interne e ulteriori dettagli sulle modellazioni saranno riportati nell'elaborato:

*FLR-MPL-PSA-TRM2-002-ES-RT Relazione sulle Terre Rinforzate Terminal*

### 6.3.1 Sezione 1

#### Verifiche esterne

IC	Indice della combinazione
FSRib	Fattore di sicurezza a ribaltamento
FSScor	Fattore di sicurezza a scorrimento
FSQlim	Fattore di sicurezza a carico limite
FSStab	Fattore di sicurezza a stabilità globale

IC	FS <sub>Scor</sub>	FS <sub>Qlim</sub>	FS <sub>Rib</sub>	FS <sub>Stab</sub>
1	1.519	5.573	--	--
2	1.579	5.705	--	--
3	1.451	6.013	--	--
4	1.505	6.156	--	--
5	--	--	4.901	--
6	--	--	5.034	--
7	--	--	3.385	--
8	--	--	3.446	--
9	--	--	--	1.207
10	--	--	--	1.221
11	--	--	--	1.207
12	--	--	--	1.229
13	2.092	6.953	--	--
14	2.034	6.443	--	--
15	2.001	6.812	--	--
16	2.131	6.578	--	--

Tabella 3: Verifiche esterne - Sez. 1

Verifiche composte

IC Indice della combinazione  
FSComp Coefficiente di sicurezza a stabilità locale (compound)

IC	FSComp
1	2.966
2	2.966
3	2.796
4	2.796
13	2.860
14	2.964
15	2.860
16	2.964

Tabella 4: Verifiche composte - Sez. 1

Stabilità globale - Superficie di scorrimento critica

Combinazione n° 9  
Cerchio n° 2315  
Fs = 1.21

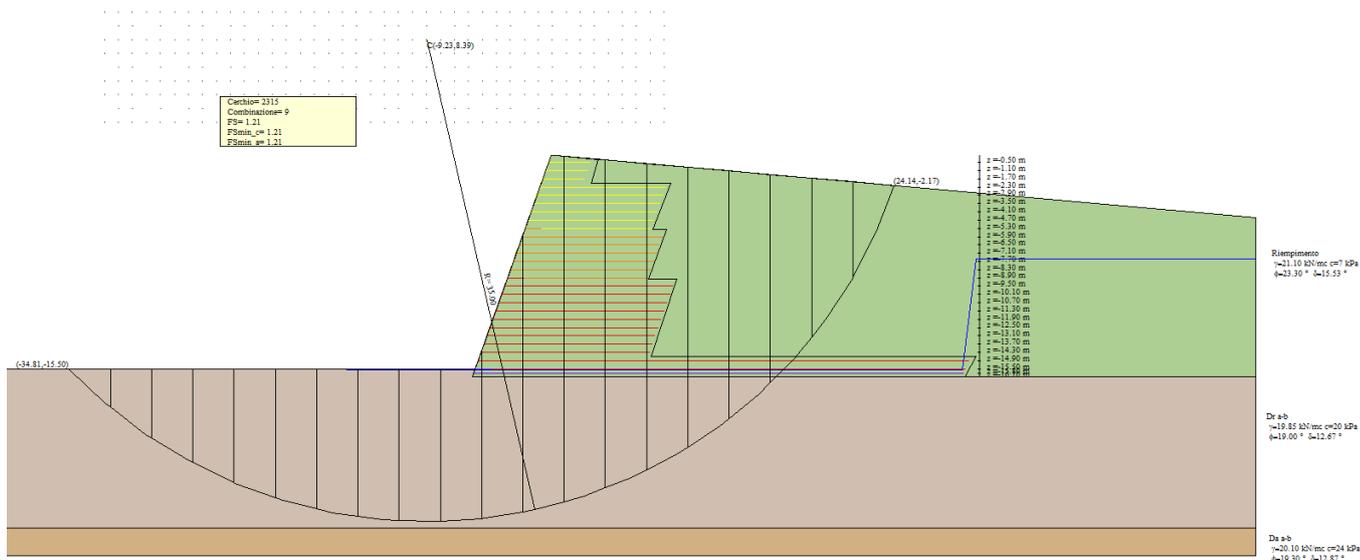


Figura B-6-2: Superficie di scorrimento critica comb. 9 - Sez. 1

Combinazione n° 11  
Cerchio n° 6200  
Fs = 1.21

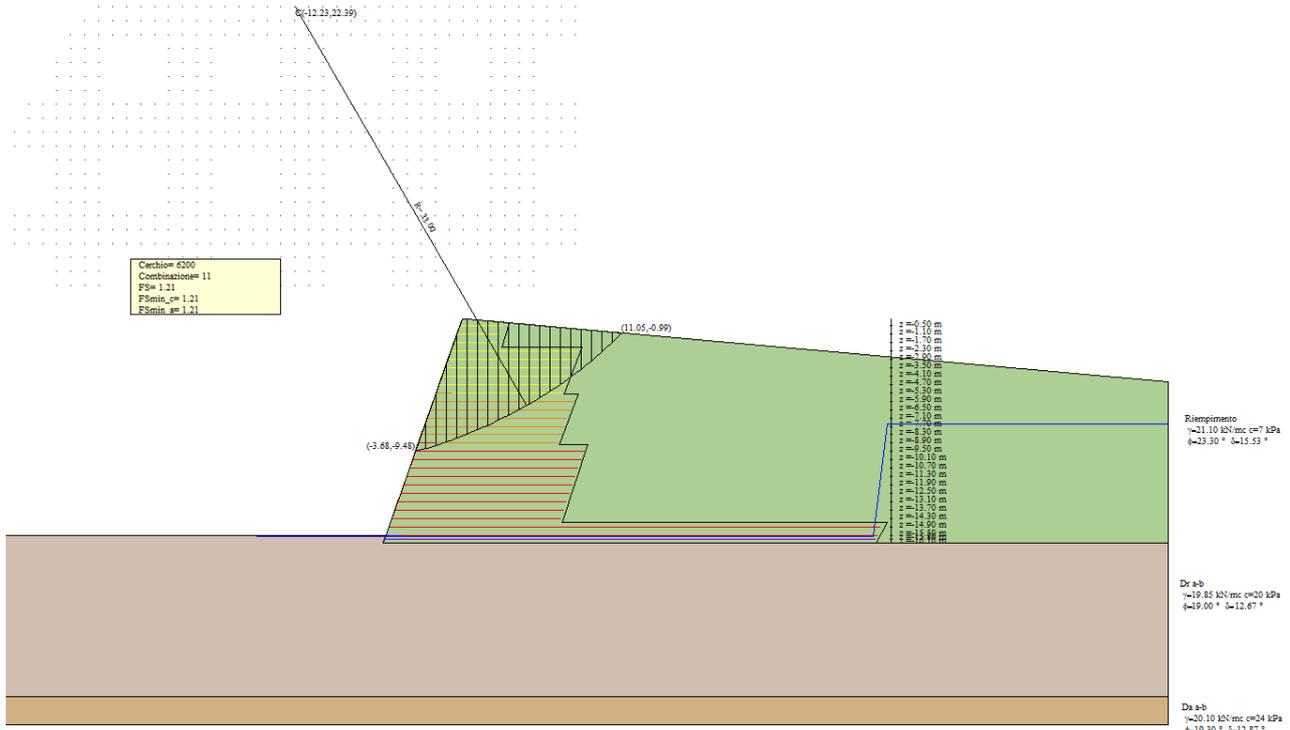


Figura B-6-3: Superficie di scorrimento critica comb. 11 - Sez. 1

## 6.3.2 Sezione 2

### Verifiche esterne

IC	Indice della combinazione
FSRib	Fattore di sicurezza a ribaltamento
FSScor	Fattore di sicurezza a scorrimento
FSQlim	Fattore di sicurezza a carico limite
FSStab	Fattore di sicurezza a stabilità globale

IC	FS <sub>Scor</sub>	FS <sub>Qlim</sub>	FS <sub>Rib</sub>	FS <sub>Stab</sub>
1	1.327	5.989	--	--
2	1.332	6.112	--	--
3	1.273	6.469	--	--
4	1.275	6.600	--	--
5	--	--	3.781	--
6	--	--	3.793	--
7	--	--	3.033	--
8	--	--	3.017	--
9	--	--	--	1.215
10	--	--	--	1.229
11	--	--	--	1.218
12	--	--	--	1.231
13	1.528	7.786	--	--
14	1.550	7.196	--	--
15	1.524	7.635	--	--
16	1.556	7.339	--	--

Tabella 5: Verifiche esterne - Sez. 2

Verifiche composte

IC                   Indice della combinazione  
FSComp            Coefficiente di sicurezza a stabilità locale (compound)

IC	FSComp
1	1.373
2	1.412
3	1.312
4	1.343
13	1.406
14	1.417
15	1.373
16	1.454

Tabella 6: Verifiche composte - Sez. 2

Stabilità globale - Superficie di scorrimento critica

Combinazione n°            9  
Cerchio n°                    79  
Fs =                            1.22

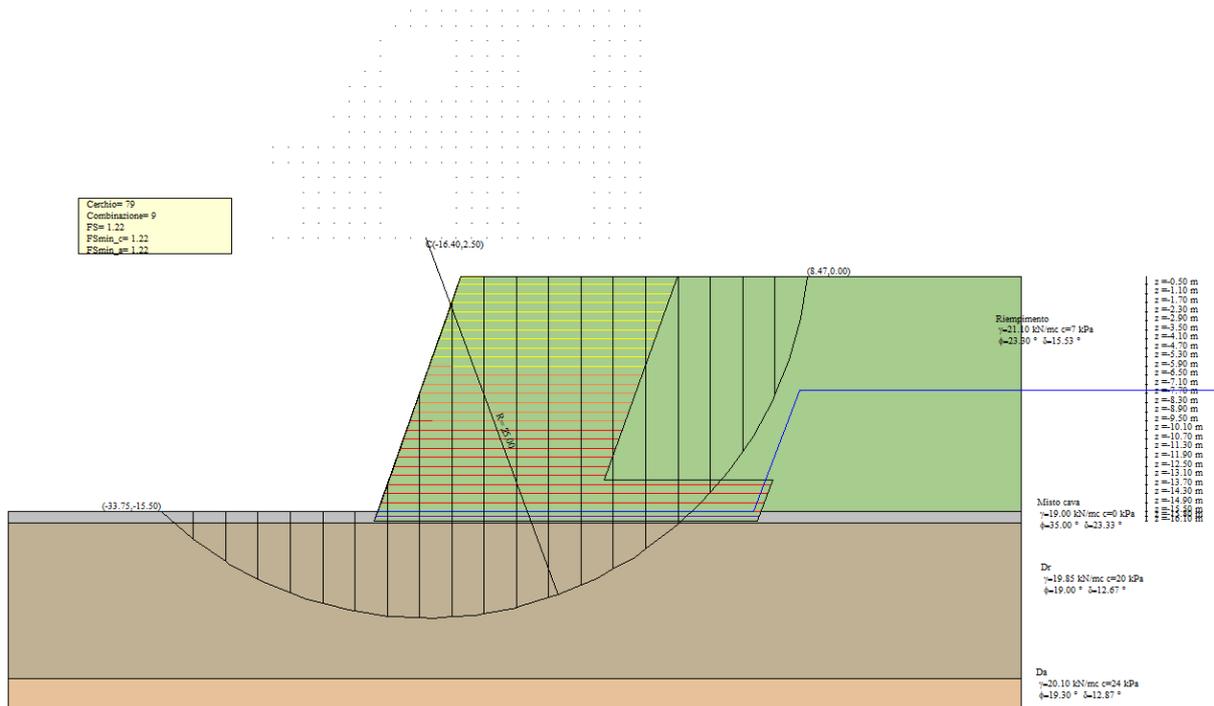


Figura B-6-4: Superficie di scorrimento critica comb. 9 - Sez. 2

Combinazione n°            11  
Cerchio n°                    79  
Fs =                            1.22

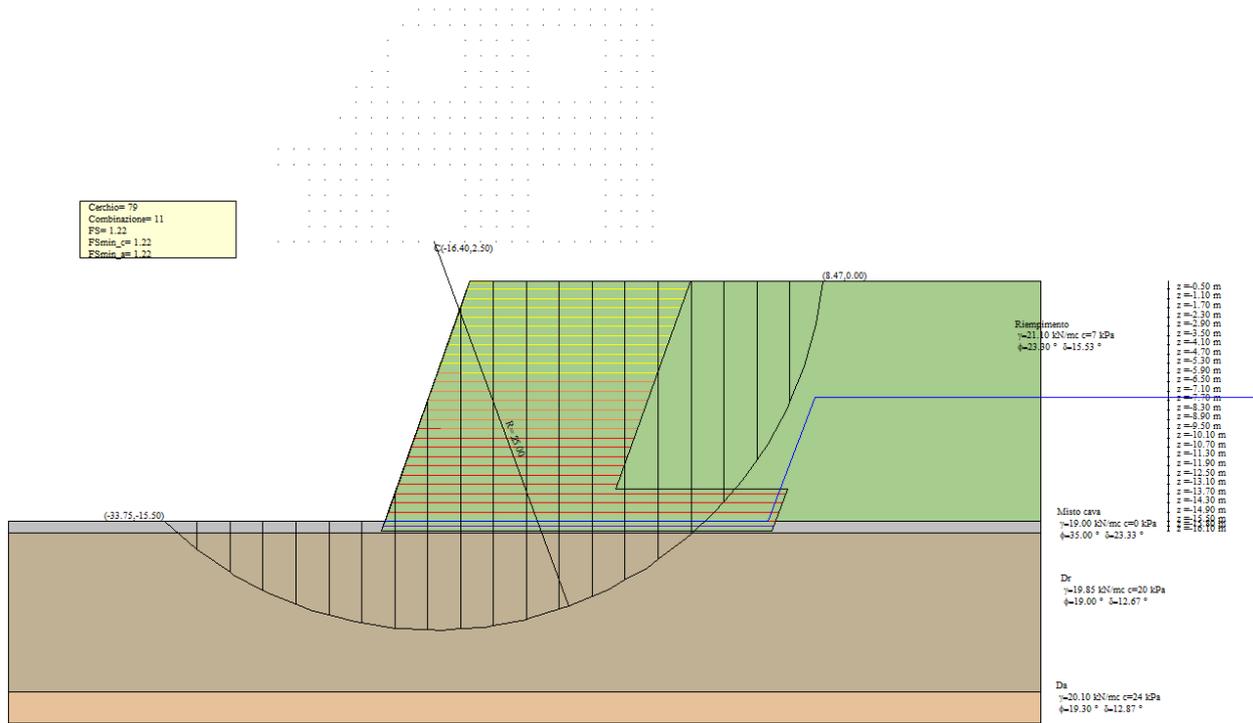


Figura B-6-5: Superficie di scorrimento critica comb. 11 - Sez. 2

## 7 PREDIMENSIONAMENTO OPERE DI DRENAGGIO

Per la gestione delle acque di infiltrazione e ridurre le pressioni interstiziali, è stato interposto tra l'opera e il volume di rinterro uno strato di materiale drenante di pezzatura grossolana dello spessore di 1 m. Le portate infiltrate nello strato drenante vengono raccolte da una tubazione microfessurata e scaricata in un canale di raccolta posto al piede dell'opera, il quale le convoglierà alla rete di drenaggio delle acque meteoriche.

Per il predimensionamento della tubazione microfessurata, da porre in opera all'interno del materiale granulare drenante, sono state definite le superfici scolanti di pertinenza di ogni tratto, riportate in Figura Figura B-7-1.

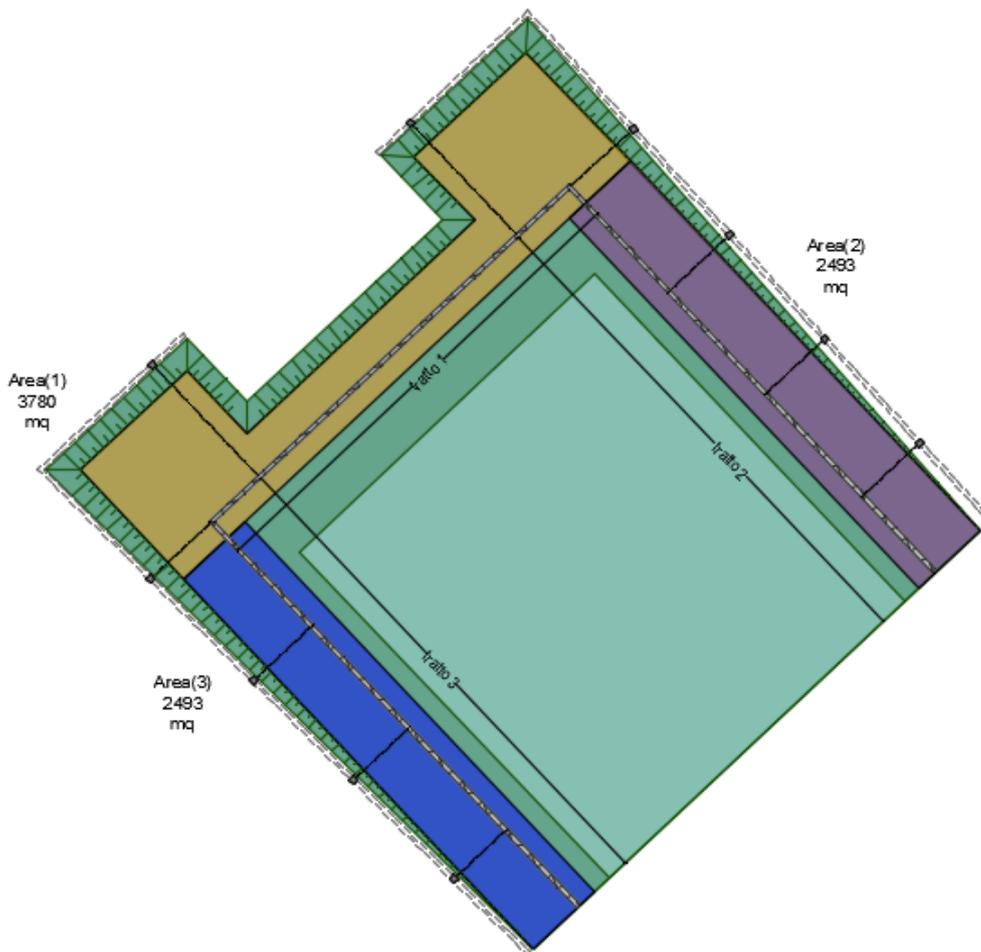


Figura B-7-1: Superfici scolanti per il predimensionamento dei drenaggi

Considerando un coefficiente di permeabilità pari a  $k = 5 \cdot 10^{-5}$  m/s, le portate afferenti ai 3 tratti della tubazione microfessurata risultano quelle riportate in Tabella 7.

Tratto	Area scolante [m <sup>2</sup> ]	Q [l/s]
1	3780	189.0
2	2493	124.7
3	2493	124.7
<b>Totale</b>		<b>438.3</b>

Tabella 7: Portate predimensionamento tubazione microfessurata

Sulla base dei valori ottenuti, si è previsto l'utilizzo di una tubazione avente le caratteristiche riportate in Tabella 8.

Diametro	0.30	m
Pendenza	0.001	m/m
Riempimento	80	%
Coefficiente di scabrezza	110	-
Portata max convogliata	46.7	l/s

Tabella 8: Caratteristiche tubazione microfessurata

Utilizzando la suddetta tubazione, risultano necessari:

- 4 tubazioni per il tratto 1
- 3 tubazioni per il tratto 2
- 3 tubazioni per il tratto 3

#### Predimensionamento del canale interrato in calcestruzzo

Una volta fissata la portata di progetto, è stata dunque effettuata una verifica idraulica volta a stimare la sezione geometrica e la pendenza longitudinale degli scatolari in calcestruzzo che saranno realizzati al piede dell'opera per indirizzare le acque raccolte verso la rete di drenaggio delle acque meteoriche.

Ad ognuno dei due tratti previsti è stata attribuita una portata corrispondente a metà della superficie scolante del tratto 1 del drenaggio e ad una delle aree scolanti dei tratti laterali.

La portata afferente a ciascuno dei due tratti del canale risulta quindi pari a 219.5 l/s.

È stata condotta un'analisi idraulica in moto uniforme in grado di fornire il battente idrico nella sezione geometrica trasversale dello scatolare.

L'equazione del moto uniforme è basata sulla formula di Chezy:

$$Q = u\Omega = \chi\Omega\sqrt{Ri_f}$$

dove:

- Q = portata di progetto [mc/s]  
 $\chi$  = coefficiente di attrito =  $kR^{1/6}$  [ $m^{1/2} s^{-1}$ ]  
k = coeff. di Gauckler-Strickler =  $100 m^{1/3} s^{-1}$   
 $\Omega$  = sezione idraulica [mq]  
g = costante di accelerazione gravitazionale [ $m/s^2$ ]  
R = raggio idraulico [m]  
i<sub>f</sub> = pendenza del fondo [m/m]

Si è scelto di utilizzare una sezione rettangolare (Figura B-7-2) con le caratteristiche riassunte in Tabella 9, la quale assicura un franco di sicurezza pari a 26 cm:

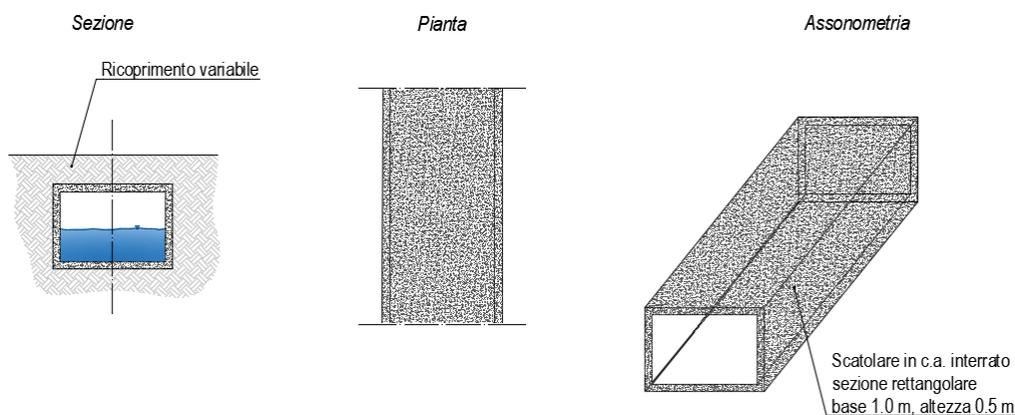


Figura B-7-2: Dettaglio scatolare in calcestruzzo

Q	Base	H	Ks	i	Yu
[mc/s]	[m]	[m]	[-]	[-]	[m]
0.21	1	0.50	100	0.001	0.24

Tabella 9: Caratteristiche canale in calcestruzzo