



REGIONE
CAMPANIA



PROVINCIA
DI
AVELLINO



COMUNE DI
SAVIGNANO IRPINO



PROVINCIA
DI
BENEVENTO



COMUNE DI
CASTELFRANCO
IN MISCANO



COMUNE DI
ARIANO IRPINO

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO DA 34 MW NEL COMUNE DI SAVIGNANO IRPINO (AV) , CON OPERE DI CONNESSIONE IN CASTELFRANCO IN MISCANO (BN) E ARIANO IRPINO (AV)



Proponente



GIGLIO RINNOVABILI S.R.L.
Largo Augusto n.3
20122 Milano
pec: gigliorinnovabili@legalmail.it

Progettazione



Viale Michelangelo, 71
80129 Napoli
TEL.081 579 7998
mail: tecnico@inesrl.it

Amm. Francesco Di Maso
Ing. Nicola Galdiero
Ing. Pasquale Esposito

Collaboratori:
Geol. V.E. Iervolino
Dott. Agr. A. Janniro
Archeol. A. Vella
Arch. M. Perillo
Arch. C. Gaudiero
Ing. F. Quarto
Arch. M. Mauro
Studio Rinnovabili Srl



Elaborato

Nome Elaborato:

INTERVENTI DI MITIGAZIONE CON OPERE DI INGEGNERIA NATURALISTICA

00	Giugno 2022	PRIMA EMISSIONE	INSE Srl	INSE Srl	Giglio rinnovabili s.r.l.
Rev.	Data	Oggetto della revisione	Elaborazione	Verifica	Approvazione

Scala: -:-

Formato: **A4**

Codice Pratica

S251

Codice Elaborato

AS251-SIA18-R

 Giglio rinnovabili srl Largo Augusto n.3 20122 Milano pec:gigliorinnovabili@legalmail.it	INTERVENTI DI MITIGAZIONE CON OPERE DI INGEGNERIA NATURALISTICA		Cod. AS251-SIA18- R
	Data 15/06/2022	Rev. 00	

SOMMARIO

1	PREMESSA	2
2	INTERVENTI DI MITIGAZIONE DI INGEGNERIA NATURALISTICA	2
2.1	TERRE RINFORZATE.....	3
2.1.1	<i>Verifiche di stabilità</i>	5
2.2	GEOCELLE A NIDO D'APE IN MATERIALE SINTETICO	8
2.3	GABBIONATA IN RETE METALLICA ZINCATA RINVERDITA	12
3	INTERVENTI DI INGEGNERIA NATURALISTICA IPOTIZZATI IN PROGETTO	14
3.1	PIAZZOLA E STRADA DI ACCESSO SAB01	15
3.2	PIAZZOLA E STRADA DI ACCESSO SAB 02	16
3.3	PIAZZOLA E STRADA DI ACCESSO SAB 03	17
3.4	PIAZZOLA E STRADA DI ACCESSO SAB 04	18
3.5	PIAZZOLA E STRADA DI ACCESSO SAB 05	19

 Giglio rinnovabili srl Largo Augusto n.3 20122 Milano pec:gigliorinnovabili@legalmail.it	INTERVENTI DI MITIGAZIONE CON OPERE DI INGEGNERIA NATURALISTICA		Cod. AS251-SIA18-R
	Data 15/06/2022	Rev. 00	

1 PREMESSA

La seguente relazione è redatta per descrivere gli interventi e gli accorgimenti ingegneristici necessari ad evitare fenomeni di dissesto o smottamento del suolo e le opere di mitigazione previste sui fronti di scavo e riporti necessari alla costruzione di strade e piazzole.

2 INTERVENTI DI MITIGAZIONE DI INGEGNERIA NATURALISTICA

Come già esplicitato nel progetto, si è cercato di ridurre al minimo l'entità di scavi e riporti relativi a piazzole e viabilità di nuova realizzazione, ma in alcuni casi si è reso necessario, ai fini dell'accessibilità al sito da parte dei mezzi addetti al trasporto e montaggio dei componenti delle turbine, prevedere sterri o rilevati.

Per questo motivo, in caso di movimenti di terra, in via generale, si prevedono interventi di ingegneria naturalistica a sostegno delle scarpate, e precisamente la tipologia di opera segue il criterio degli intervalli di altezza:

- per scarpate inferiori a 1,5 m non si considera necessario l'intervento con opere di presidio, in quanto il terreno debitamente compattato a 45° non necessita di sostegni;
- per scarpate comprese tra 1,5 m e 3 m si rende necessario intervenire con un rivestimento in geostuoia, in modo da preservare il terreno dagli agenti atmosferici che potrebbero compromettere la stabilità delle scarpate mediante erosione idrica ed eolica;
- per scarpate comprese tra 3 m e 5 m è previsto l'uso di gabbionate rinverdate incastrate all'interno della scarpata; infatti, in questo caso si necessita di un vero e proprio sostegno sia in caso di sterro che di riporto, considerate le caratteristiche del terreno. Le gabbionate, infatti, si oppongono alle forze instabilizzanti con il proprio peso, creando una naturale azione drenante che facilita l'integrazione con il terreno circostante e facilita lo sviluppo vegetale;
- per scarpate superiori a 5m, si prevede l'inserimento di terre rinforzate, queste ultime, infatti, riescono a sostenere pendenze fino a 70°, e migliorano le caratteristiche geotecniche del terreno, per queste ragioni si utilizzano nei casi più critici.

Le azioni di mitigazione e ripristino sono attività finalizzate a ridurre gli impatti generati dalla realizzazione del parco eolico, mediante l'utilizzo di interventi di ingegneria naturalistica. Le opere di ripristino possono consentire, attraverso una efficace minimizzazione degli impatti, la conservazione degli habitat naturali presenti.

Le opere di ingegneria naturalistica sono impiegate anche per evitare o limitare i fenomeni erosivi innescati o dalla sottrazione dei suoli, o dalla loro modifica. Inoltre, la ricostruzione della coltre erbosa può consentire notevoli benefici anche per quanto riguarda le problematiche legate all'impatto visivo.

Alla fine dei lavori di realizzazione del parco eolico, si prevede il ripristino ambientale, come alle condizioni ex ante di progetto.

Tutte le piante esistenti intercettate dalla realizzazione della viabilità di cantiere, saranno rimosse e mantenute in vita, per poi essere riposizionate alla fine dei lavori.

Gli interventi di ingegneria naturalistica previsti dopo la costruzione del cantiere sono:

- Ripristino morfologico del rilievo collinare

 Giglio rinnovabili srl Largo Augusto n.3 20122 Milano pec:gigliorinnovabili@legalmail.it	INTERVENTI DI MITIGAZIONE CON OPERE DI INGEGNERIA NATURALISTICA		Cod. AS251-SIA18-R
	Data 15/06/2022	Rev. 00	

- Ripristino del versante su scarpata

Le opere a verde mirano all'armonizzazione del parco eolico con il contesto ambientale circostante ed al ripristino dei luoghi interessati dai lavori della wind farm.

Dalla lettura delle sezioni di progetto per la realizzazione delle strade di nuova costruzione e delle piazzole in fase di esercizio (*cf. GS251-OC18-D_SEZIONI LONGITUDINALI E TRASVERSALI DELLE PIAZZOLE DI PROGETTO*) sono state definite le aree di scarpate e le altezze delle stessa. Le tipologie di opere di ingegneria naturalistica a cui faremo riferimento all'interno del progetto in esame, sono le seguenti:

- Terre rinforzate;
- Geocelle a nido d'ape in materiale sintetico
- Gabbionate in rete metallica zincata rinverdita

Si descrivono in dettaglio gli aspetti geotecnici delle suddette opere:

2.1 TERRE RINFORZATE

La terra rinforzata è una tecnica dell'ingegneria naturalistica, che punta alla stabilizzazione di un rilevato con terreno di riporto.

I procedimenti utilizzati per ottenere il rinforzo dei terreni appartengono a tre classi:

- Sistemi di rinforzo in sito: le inclusioni vengono eseguite direttamente nel terreno indisturbato; a tale scopo si impiegano tiranti di ancoraggio, pali, micropali o barre (soil nailing);
- Sistemi di rinforzo con rinterro: il terreno è di riporto e viene steso per strati compattandolo; durante la realizzazione del rilevato si mettono in opera le inclusioni: bandelle metalliche, barre metalliche, geosintetici, reti metalliche ecc.;
- Sistemi di rinforzo per miscelazione: il terreno viene miscelato a microelementi di rinforzo, come ad esempio fibre sintetiche, e successivamente steso e compattato.

I materiali che vengono impiegati nel rinforzo dei terreni, sulla base delle caratteristiche di resistenza meccanica, possono essere distinti in:

- Materiali dotati di rigidità assiale, trasversale e flessionale
- Materiali dotati unicamente di rigidità assiale.

Generalmente, un rilevato di terreno naturale viene rinforzato con elementi sintetici o metallici (rinforzi) dotati di elevata resistenza a trazione. Le terre rinforzate trovano applicazione come opere di sostegno e opere di contenimento e opere in rilevato. Esse assolvono quindi la funzione di opere di sostegno del pendio (funzione generalmente assolta da muri di contenimento, di controripa o di sottoscarpa) o di rilevati stabilizzati (ad esempio un rilevato paramassi, rilevati stradali e ferroviari, rialzi arginali di canali e fiumi etc.).

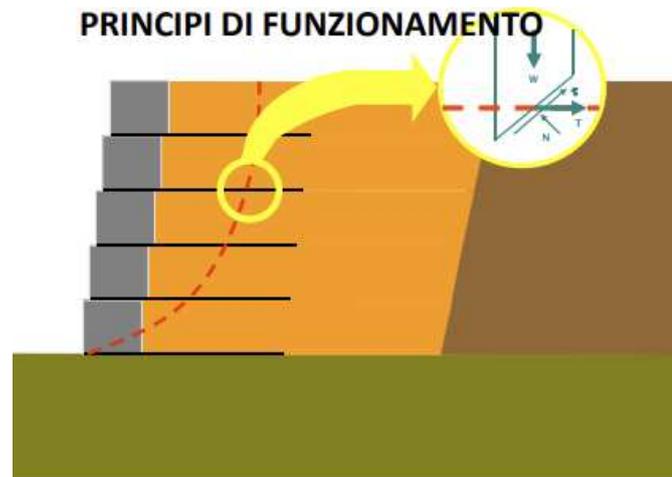


Figura 2: Principio di funzionamento delle terre rinforzate

Lo scopo dell'utilizzo di tale opera è quella di sopperire all'incapacità del terreno a contrastare la spinta attiva applicata sulla scarpata dal terreno retrostante, migliorando le caratteristiche meccaniche del terreno, conferendogli resistenza a trazione. La resistenza a trazione richiesta è generalmente fornita da rinforzi, quali ad esempio le geogriglie che vengono interposte orizzontalmente tra i diversi strati di terreno e sono caratterizzate da una certa lunghezza di ancoraggio (alla base dello strato) e da una certa lunghezza del risvolto (alla sommità dello strato). In altre parole, i rinforzi sono in grado di assorbire gli sforzi di taglio che i terreni non sono in grado di sostenere.

In genere la sovrapposizione degli strati è la seguente:

1. terreno naturale
2. geogriglia di rinforzo
3. biostuoia di ritenzione
4. cassero di contenimento
5. idrosemina.

La Normativa Europea di riferimento, recepita in Italia, è la UNI EN ISO10318:2005 "Geosintetici -Termini e definizioni". Attualmente sono disponibili rinforzi in grado di erogare una resistenza a trazione compresa nell'intervallo 30-1600 kN/m, nelle terre rinforzate si adottano rinforzi da 50 a 400 kN/m. La norma di riferimento per i geosintetici (ISO 10319) include anche i prodotti metallici: reti doppia torsione, reti elettrosaldate, bandelle, ecc.

I dati preliminari necessari al dimensionamento di una terra rinforzata sono:

- caratteristiche geologiche, idrogeologiche e geotecniche del sottosuolo (angolo di attrito interno, coesione e peso specifico) del terreno a tergo della futura opera;
- classificazione sismica dell'area e caratterizzazione sismica dei terreni;
- rilievi topografici dell'area con sezioni sullo stato di fatto;
- definizione della geometria della struttura in progetto (inclinazione del fronte, altezza etc.);
- carichi esterni applicati alla struttura.

 Giglio rinnovabili srl Largo Augusto n.3 20122 Milano pec:gigliorinnovabili@legalmail.it	INTERVENTI DI MITIGAZIONE CON OPERE DI INGEGNERIA NATURALISTICA		Cod. AS251-SIA18-R
	Data 15/06/2022	Rev. 00	

Dal punto di vista geotecnico per dimensionare correttamente una terra rinforzata occorre verificare le caratteristiche meccaniche del terreno di fondazione. La verifica del terreno di fondazione è generalmente effettuata attraverso l'esecuzione di sondaggi e prove in situ quali le prove penetrometriche per verificare lo stato di addensamento dei terreni.

In generale, per quanto riguarda il materiale di riempimento per la realizzazione della terra rinforzata, i terreni incoerenti rappresentano la soluzione ideale per la realizzazione del rilevato. Eventualmente si può utilizzare materiale incoerente proveniente dagli scavi. La funzione del geocomposito drenante a tergo delle strutture in terra rinforzata è quella di mantenere drenata l'area interna dell'opera, al fine di evitare un aumento della spinta idrodinamica nel terreno. In funzione dell'altezza, sarà opportuno inserire alla base del rilevato dei collettori fessurati per la raccolta ed il successivo smaltimento delle acque intercettate. La compattazione a ridosso del paramento deve essere fatta con piastra vibrante o rullo manuale.

2.1.1 Verifiche di stabilità

Dal punto di vista geotecnico occorre effettuare una serie di verifiche di stabilità che riguardano i possibili meccanismi di rottura della terra rinforzata. Le verifiche da eseguire sono:

- la verifica allo sfilamento degli elementi metallici
- verifica allo scorrimento
- verifica alla resistenza a trazione (ovvero a rottura) del rinforzo (ad es. geogriglie).

Vi sono poi le "verifiche globali" che riguardano:

- la verifica a ribaltamento,
- verifiche al collasso per carico limite
- verifiche allo scorrimento sul piano di posa.

Secondo le Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni D.M. 17.01.2018 (NTC 2018), le terre rinforzate rientrano nella categoria delle opere di sostegno quali strutture miste. "Strutture miste che esplicano la funzione di sostegno anche per effetto di trattamenti di miglioramento e per la presenza di particolari elementi di rinforzo e collegamento"

Dovrà essere verificata la condizione $Ed < Rd$ per ogni stato limite considerato con

Ed =azioni sollecitanti

Rd =azioni resistenti.

Le verifiche saranno quindi effettuate con gli approcci 1 e 2:



VERIFICHE STATICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Stabilità Globale (GEO)

Approccio 1 - Combinazione 2 **(A2+M2+R2)**
 Fattore parziale Earth Resistance $\gamma_r = 1.1$

Stabilità Interna (STR)

Approccio 1 - Combinazione 1 **(A1+M1+R1)**
 Ex. Scorrimento gabbione-gabbione

Scorrimento e Capacità Portante (GEO)

Approccio 1 - Combinazione 2 **(A2+M2+R2)**
 Fattore parziale Earth resistance e Bearing Capacity $\gamma_r = 1.4$; Sliding $\gamma_r = 1.1$

Ribaltamento (EQU)

Combinazione di carico **(EQU+M2+R1)**
 Non prevede la mobilitazione della resistenza del terreno di fondazione

Tabella 1: verifiche statiche allo SLU

La verifica di stabilità globale (del complesso opera di sostegno-terreno) va fatta secondo l'Approccio 1 – Combinazione 2 (A2+M2+R2), tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle tabelle per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e fronti di scavo ($\gamma_R=1.1$).

Per le opere e i sistemi geotecnici (§7.11 NTC2018) le verifiche degli SLU in presenza di azioni sismiche devono essere eseguite ponendo pari a 1 i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici e impiegando le resistenze di progetto, con i coefficienti parziali γ_R .

SLU	TIPO DI VERIFICA	APP.1 COMB.2 A2+M2+R2	APPR. 2 COMB.1 A1+M1+R3
GEO	STABILITA' GLOBALE	✓	
GEO	SCORRIMENTO		✓
GEO	COLLASSO FONDAZIONE		✓
GEO	RIBALTAMENTO		✓
STR	RESISTENZA ELEMENTI STRUTTURALI		✓

Tabella 2 riassunto delle NTC 2018

Quando possibile, sono raccomandate scarpate con inclinazione inferiore a 70°.

Generalmente, al termine dell'intervento, è prevista un'idrosemina per agevolare la crescita del manto erboso per ridurre l'impatto visivo e aumentare la compattazione degli strati più superficiali del terreno .



Vista del cantiere in tre diverse fasi dei lavori.



Figura 3: Fasi di esecuzione terre rinforzate

Nell'esecuzione delle opere a verde di riqualificazione ambientale verranno impiegati come materiali vegetali le piante erbacee, arbustive ed arboree prelevate dall'area di cantiere mediante zollatura o talea prima dell'avvio dei lavori.

Gli interventi di Ingegneria Naturalistica hanno la funzione di consolidamento e recupero, ma a volte assolvono anche la funzione di ricostruire la naturale stratificazione di un suolo.

Saranno anche eseguite delle scoline secondo l'andamento delle isoipse per attenuare il potere erosivo dell'acqua lungo pendii con elevata pendenza e/o lunghezza.

Sotto il profilo statico, la stabilità della struttura è garantita dal peso stesso del terreno consolidato internamente dai rinforzi; la stabilità superficiale dell'opera è assicurata dalle stuoie sul paramento e dalle piante.

Le prescrizioni di progetto generali sono le seguenti:

- pendenza massima del fronte esterno di 60° per consentire alle piante di ricevere almeno in parte l'apporto delle acque meteoriche;
- presenza di uno strato di terreno vegetale verso l'esterno a contatto con il paramento, per uno spessore di circa 50 cm;
- rivestimento verso l'esterno con una stuoia biodegradabile che trattenga il suolo consentendo la radicazione delle piante erbacee;
- idrosemina con miscele adatte alle condizioni di intervento;
- messa a dimora di specie arbustive pioniere locali per talee che svolgono nel tempo le seguenti funzioni:
 - -consolidamento mediante radicazione dello strato esterno della terra rinforzata;
 - -copertura verde della scarpata con effetto combinato di prato-pascolo arbustato che più si avvicina agli stadi vegetazionali delle scarpate naturali in condizioni analoghe;
 - -raccolta e invito delle acque meteoriche, sopperendo in tal modo all'eccessivo drenaggio dell'inerte e all'eccessiva verticalità.



- -realizzazione di sistemi di drenaggio che non impediscano però la crescita delle radici.

L'impiego delle specie arbustive sulle terre rinforzate va considerato quindi una condizione importante per dare completezza naturalistica a questo tipo di interventi.

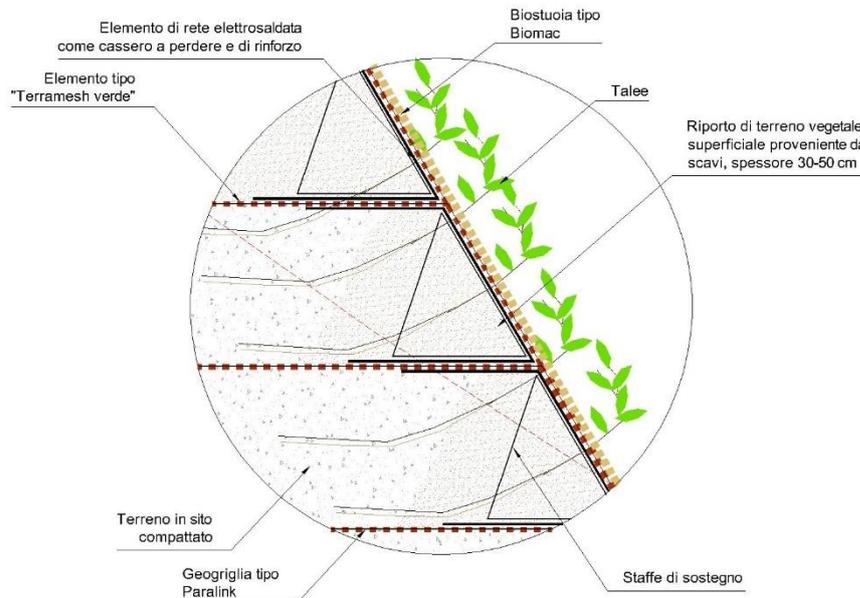


Figura 4: particolare del paramento esterno alla struttura in terre armate

A conclusione della costruzione della parete in terra rinforzata, vanno realizzati i raccordi con la morfologia preesistente (nelle zone laterali e sommitale della struttura onde evitare pericolosi inneschi erosivi), l'asporto di detriti e scarti di lavorazione (eventuali residui organici quali rami, ramaglia, legno possono essere mischiati al materiale di riempimento, facendo però attenzione che non provochino il formarsi di pericolosi vuoti in fase di costipamento), la pulizia totale del sito. Tali operazioni vanno effettuate mediante l'utilizzo del mezzo meccanico e completate manualmente.

Questo tipo di struttura di sostegno risulta molto adatta per sistemazioni in spazi limitati o in vicinanza di infrastrutture viarie.

2.2 GEOCELLE A NIDO D'APE IN MATERIALE SINTETICO

Le geocelle trovano impiego nella protezione delle scarpate soggette a un'azione di erosione profonda che necessita di una importante azione di confinamento del terreno; la struttura a nido d'ape forma una mantellata di celle (disponibili in varie altezze e diametri) ed è realizzata mediante un processo di estrusione in continuo di polietilene (PE). Le celle verranno completamente riempite con terreno vegetale e successivamente eseguita una semina ed eventualmente messi a dimora arbusti autoctoni e talee.

Le geocelle sono facilmente trasportabili, la struttura è apribile a fisarmonica e occupa un minimo ingombro. Una volta posate ed estese alla massima apertura, devono essere riempite con terriccio vegetale (oppure ghiaietto o altri tipi di terreno): in questo modo si crea un'azione di confinamento del terreno che impedisce lo scivolamento dello stesso verso valle e blocca i meccanismi di formazione dell'erosione.



Figura 5 -stesura geocelle a nido d'ape- Foto G. Sauli

Le celle sono collegate tra di loro attraverso giunzioni che hanno un'apertura centrale attraverso la quale può passare l'acqua: in questo modo tutte le celle risultano idraulicamente collegate tra di loro e l'acqua di infiltrazione può scorrere verso il basso senza appesantire la struttura.

I campi di applicazione sono generalmente per versanti ripidi con scarso terreno vegetale e limitato spazio a disposizione.



Materiali impiegati
<ul style="list-style-type: none">• Geocelle in non tessuto poliestere o in polietilene estruso• Picchetti di ferro acciaioso sagomati ad U di lunghezza 40-50 cm• Terreno vegetale• Semina• Arbusti autoctoni in zolla o talee prelevate dal selvatico
Modalità di esecuzione
<ul style="list-style-type: none">• Regolarizzazione della superficie e allontanamento di apparati radicali, pietrame, ecc.• Formazione di uno scavo a monte del versante• Fissaggio delle strisce all'interno del solco con picchetti sagomati a U• Stesura delle strisce di geocelle lungo il versante e loro apertura a fisarmonica• Fissaggio delle celle lungo il versante con picchetti sagomati a U (dovranno risultare celle di forma esagonale)• Riempimento con terreno vegetale• Semina a spaglio o idrosemina• Messa a dimora di specie arbustive autoctone in zolla o per talea con prelievo in loco dal selvatico
Prescrizioni
<ul style="list-style-type: none">• La quantità minima di picchetti deve essere di 1 ogni 2 celle• Ulteriori ancoraggi saranno effettuati lungo il versante in ragione di almeno due ancoraggi/m²
Limiti di applicabilità
Pendenza della scarpata superiore a 40°
Vantaggi
Struttura elastica, che si adatta al terreno. E' un rivestimento di tipo elastico.
Svantaggi
Limitata altezza costruttiva.
Effetto
Contenimento e rinforzo del terreno superficiale.
Periodo di intervento
Le geocelle possono essere posizionate in qualsiasi periodo dell'anno. Qualora vi siano abbinate semine e piantagioni i periodi di riferimento sono quelli primaverili-autunnali. Sono da evitarsi i periodi di gelo invernale e aridità estiva.
Possibili errori
<ul style="list-style-type: none">• Insufficiente picchettatura



Tabella 3: stralcio da Tecniche di Ingegneria Naturalistica, Sauli G., Cornolini P., Preti-Regione Lazio 2002.

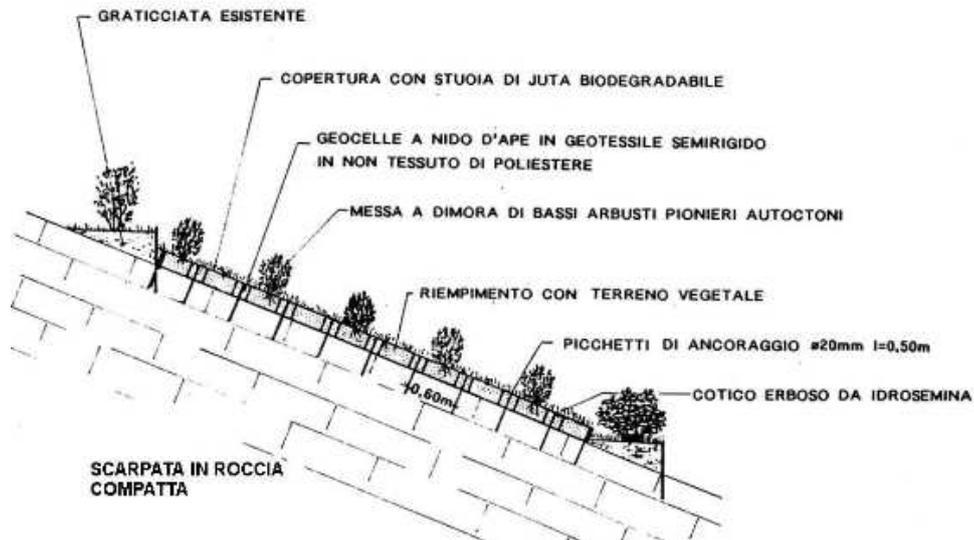


Figura 6 schema della sezione tipo



Figura 7- schema del particolare cella

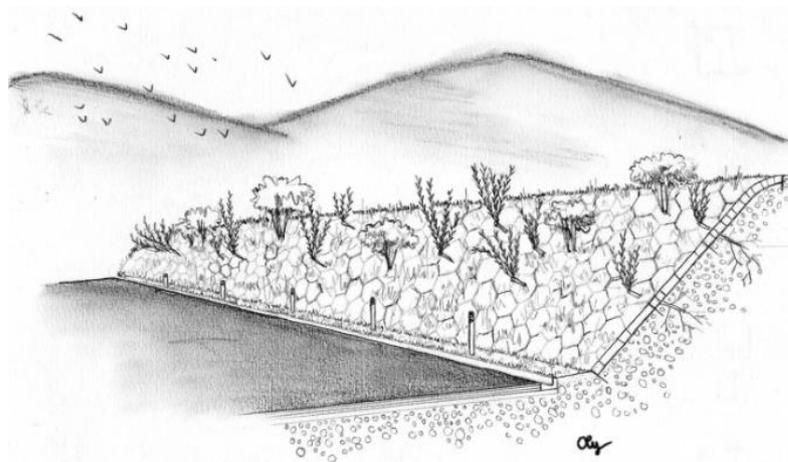


Figura 8- rappresentazione del risultato finale



2.3 GABBIONATA IN RETE METALLICA ZINCATA RINVERDITA

Le gabbionate sono particolari opere di sostegno a gravità. Sono costituite da elementi indipendenti (gabbioni), affiancati e appoggiati l'uno sull'altro (vedi figura seguente). I gabbioni sono parallelepipedi di rete metallica, di norma di dimensioni 1x1x2 m, riempiti in sito di pietrame, ciottoli e ghiaia pulita. Queste opere hanno il vantaggio di essere molto flessibili in quanto si adattano agli spostamenti verticali ed orizzontali del terreno ed inoltre sono molto permeabili. Tali caratteristiche rendono le gabbionate particolarmente utili per la stabilizzazione dei pendii in frana e per opere di difesa dall'erosione delle sponde dei corsi d'acqua e delle coste.

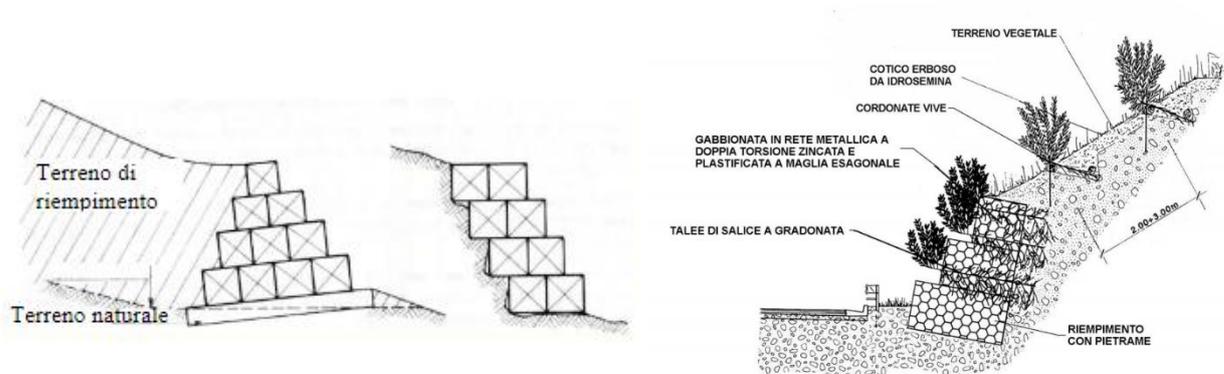


Figura 9 – schemi di gabbionate

La struttura in gabbione sfrutta la mutua interazione tra pietrame e rete metallica, agendo come un insieme solido e monolitico.

La scelta di utilizzare i gabbioni come opere di sostegno è dettata dalle seguenti motivazioni:

- Economicità;
- Permeabilità: sono strutture altamente permeabili all'acqua per cui inibiscono la formazione di pericolose spinte idrostatiche in grado di minacciare la stabilità della struttura stessa.
- Flessibilità ed Elasticità, nel senso che sono in grado di sopportare deformazioni e cedimenti differenziali senza che ne venga compromessa la stabilità e la funzionalità.

La progettazione delle opere in gabbioni deve avvenire secondo i criteri stabiliti per i muri di sostegno a gravità tradizionali, con riferimento agli stati limite elencati dalle NTC 2018 validi sia per le condizioni statiche che per quelle pseudo-statiche.

Normativa di riferimento:

NTC 2018: Norme tecniche per le costruzioni D.M. 17 Gennaio 2018

Per i muri di sostegno o per altre strutture miste ad essi assimilabili, devono essere effettuate le verifiche con riferimento almeno ai seguenti stati limite, accertando che la condizione $E_d < R_d$ sia soddisfatta per ogni stato limite considerato con:

- E_d =azioni sollecitanti

 Giglio rinnovabili srl Largo Augusto n.3 20122 Milano pec:gigliorinnovabili@legalmail.it	INTERVENTI DI MITIGAZIONE CON OPERE DI INGEGNERIA NATURALISTICA		Cod. AS251-SIA18-R	
			Data 15/06/2022	Rev. 00

- Rd=azioni resistenti

SLU di tipo geotecnico (GEO)

- scorrimento sul piano di posa;
- collasso per carico limite del complesso fondazione-terreno;
- ribaltamento;
- stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno.

La verifica a scorrimento accerta la stabilità dell'opera allo scorrimento lungo il piano orizzontale di posa, con parametri di resistenza del terreno (coesione e angolo di attrito sulla superficie di scorrimento) valutati da prove geotecniche.

La verifica di capacità portante (o collasso per carico limite) accerta la sicurezza nei confronti della rottura del terreno di fondazione sotto il peso dell'opera. In particolare, il carico limite dei terreni di fondazione viene calcolato con il classico metodo di Terzaghi che consente di tenere in conto situazioni stratigrafiche o geometriche complesse.

La verifica a ribaltamento accerta la stabilità dell'opera al ribaltamento attorno ad un punto alla base del muro.

La verifica di stabilità globale fa riferimento ai metodi di stabilità all'equilibrio limite. La porzione di terreno soggetta a rottura viene divisa in conci e per ciascuno di questi si calcolano le forze alle quali sono assoggettati: forze esterne, peso, reazioni alla base e forze di contatto tra concio e concio.

L'analisi in condizione sismiche è eseguita mediante il metodo pseudostatico, ovvero l'azione sismica viene rappresentata da un'azione statica equivalente.

La verifica di stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno deve essere effettuata secondo l'Approccio 1, con la Combinazione 2 (A2+M2+R2), tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 4a per le azioni e i parametri geotecnici e nella Tab. 4b per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e fronti di scavo.

Effetto	Coefficiente Parziale γ_F (γ_{GE})	Coefficiente Parziale			Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	Coefficiente Parziale	
		EQU	(A1)	(A2)				(M1)	(M2)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	0.9	1.0	1.0	Tangente dell'angolo resistenza a taglio	$\tan^i \varphi_k$	γ_j	1.0	1.25
	Sfavorevole	1.1	1.3	1.0					
Carichi permanenti G_2 ⁽¹⁾	Favorevole	0.8	0.8	0.8	Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1.0	1.25
	Sfavorevole	1.5	1.5	1.3					
Azioni variabili Q	Favorevole	0.0	0.0	0.0	Peso dell'unità di volume	γ_s	γ_g	1.0	1.0
	Sfavorevole	1.5	1.5	1.3					

(a)

(b)

Tabella 4 a) coefficienti parziali per le azioni, b) coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno.

 Giglio rinnovabili srl Largo Augusto n.3 20122 Milano pec:gigliorinnovabili@legalmail.it	INTERVENTI DI MITIGAZIONE CON OPERE DI INGEGNERIA NATURALISTICA		Cod. AS251-SIA18-R
			Data 15/06/2022

Le rimanenti verifiche devono essere effettuate secondo l'Approccio 2, con la combinazione **(A1+M1+R3)**, tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nella tabella 5

Verifica	Coefficiente
	Parziale (R3)
Carico limite	$\gamma_R = 1.4$
Scorrimento	$\gamma_R = 1.1$
Ribaltamento	$\gamma_R = 1.15$
Resistenza del terreno a valle	$\gamma_R = 1.4$

Tabella 5: Coefficienti parziali γ_R per le verifiche degli stati limite (SLV) dei muri di sostegno.

Ai fini della verifica alla traslazione sul piano di posa di muri di sostegno con fondazioni superficiali, non si deve in generale considerare il contributo della resistenza passiva del terreno antistante il muro. In casi particolari, da giustificare con considerazioni relative alle caratteristiche meccaniche dei terreni e alle modalità costruttive, la presa in conto di un'aliquota (comunque non superiore al 50%) di tale resistenza è subordinata all'assunzione di effettiva permanenza di tale contributo, nonché alla verifica che gli spostamenti necessari alla mobilitazione di tale aliquota siano compatibili con le prestazioni attese dell'opera.

3 INTERVENTI DI INGEGNERIA NATURALISTICA IPOTIZZATI IN PROGETTO

Nel progetto in esame, per stabilizzare le scarpate in seguito a sterri e riporti, vengono ipotizzate alcune opere di ingegneria naturalistica.

Si deve tener conto che, in terreni coerenti (a grana fine), se si suppone che il terreno non resista a trazione, dalla condizione che solo alla base della parete verticale si possano avere stati limite di sforzo, si deduce un'altezza critica entro cui lo scavo si autosostiene pari a

$$H_{cr} = 2 \frac{cu}{\gamma}$$

essendo:

- γ il peso dell'unità di volume del terreno in kN/m^3
- cu la coesione non drenata in kPa.

Questa espressione può essere adottata in prima approssimazione per verificare a breve termine la stabilità di uno scavo temporaneo.

Considerando le caratteristiche geotecniche medie della litologia dell'area in esame e cioè argille limose debolmente sabbiose (orizzonte n.2 da 1 a 7m), con un γ pari a 17 kN/m^3 e Cu pari a $22,5 \text{ kPa}$, e applicando

 Giglio rinnovabili srl Largo Augusto n.3 20122 Milano pec:gigliorinnovabili@legalmail.it	INTERVENTI DI MITIGAZIONE CON OPERE DI INGEGNERIA NATURALISTICA		Cod. AS251-SIA18-R
	Data 15/06/2022	Rev. 00	

la formula dell'altezza critica, si può ritenere che lo scavo si autosostenga fino ad 2,7 m, in condizioni non drenate (per ulteriori dettagli sui parametri geotecnici si veda la relazione geologica).

Questo ragionamento vale nel breve termine mentre nel lungo periodo, le condizioni drenate faranno sì che il terreno sarà tutto spingente con spinta attiva. Infatti, la condizione a lungo termine è sempre la più critica negli scavi poiché si annulla il contributo stabilizzante delle sovrappressioni negative.

Gli aerogeneratori poggiano su terreni a grana fine con angolo di attrito medio di 26 °. Teoricamente si può dimostrare che in assenza di acqua, in un terreno perfettamente incoerente ($c' = 0$), un fronte di scavo è stabile solo se la scarpata ha un'inclinazione $\beta < \phi'$. Si constata anche che una debole coesione è sufficiente ad assicurare la stabilità di pendii notevolmente più acclivi, o anche di tagli verticali, purché di altezza limitata. Nel caso specifico, la coesione drenata media della coltre è di circa 22 kPa. Le pendenze degli scavi raggiungono i 45°, così come i riporti. La coesione media del terreno, quindi è sufficiente a mantenere stabili riporti e sterri.

Ad ogni modo, per garantire la stabilità delle scarpate anche in condizioni drenate, si considerano interventi naturalistici tesi a stabilizzare i fronti di scavo. Di seguito si riportano gli interventi per singola piazzola o strada di nuova costruzione.

3.1 PIAZZOLA E STRADA DI ACCESSO SAB01

Prendendo a riferimento la tavola di progetto con i profili Longitudinali e le sezioni delle piazzole e della viabilità di nuova realizzazione (cfr. GS251-OC18-D_SEZIONI LONGITUDINALI E TRASVERSALI DELLE PIAZZOLE DI PROGETTO e GS251-OC16-D_SEZIONI E PROFILI STRADALI), le quote dei riporti e degli sterri sono variabili. In genere non superano i 4 metri di altezza, tranne in un caso in cui il fronte di scavo raggiunge circa 5,20 m di altezza. Si prevede l'utilizzo delle geocelle a nido d'ape con idrosemina, per altezze fino ai 3 metri, che oltre a garantire la stabilizzazione della scarpata, ridurrà l'impatto visivo dell'opera; per le sezioni di scavo con fronti che raggiungono circa 4 e i 5 metri di altezze si prevede una sistemazione con gabbionata metallica rinverdata.

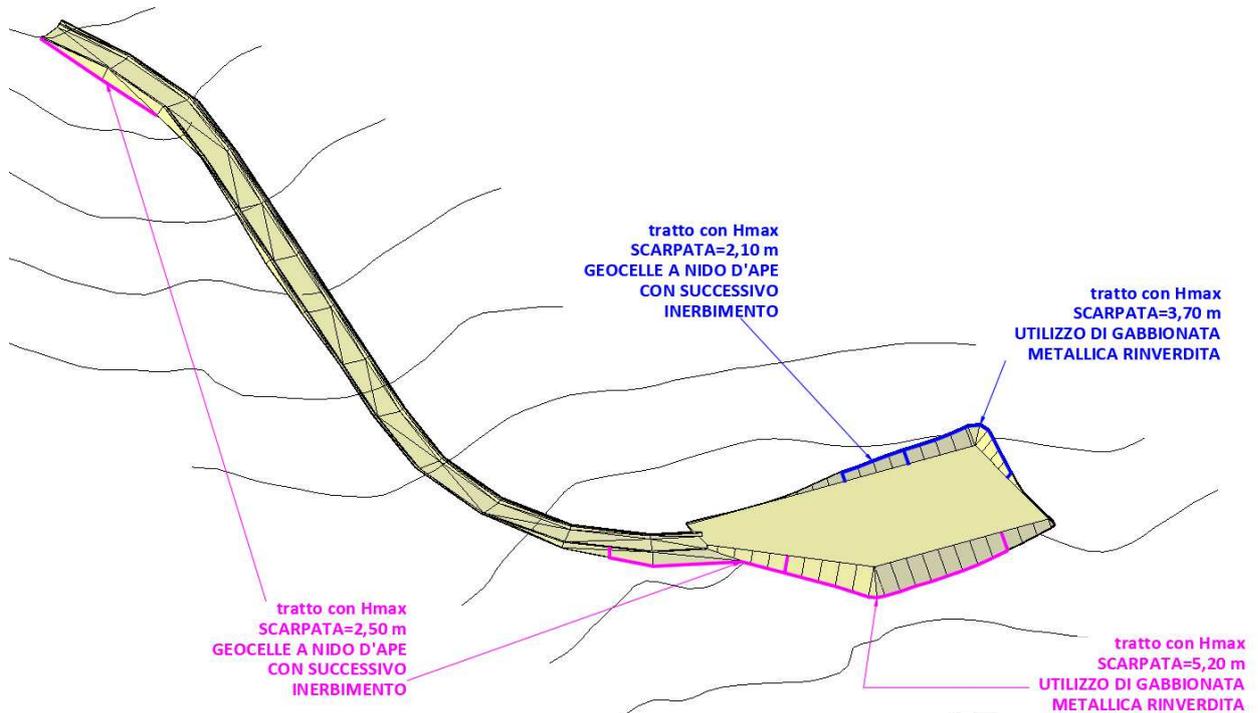


Figura 1: Individuazione della localizzazione delle opere di ingegneria naturalistica per strada e piazzola SAB 01

3.2 PIAZZOLA E STRADA DI ACCESSO SAB 02

Per la piazzola SAB02 i riporti più significativi sono localizzati nell'area sud-ovest della stessa. In quest'area i riporti raggiungono i 7,5 metri di altezza massima mentre gli scavi, localizzati nell'area a nord-est della piazzola, raggiungeranno una profondità di 5 m. Le caratteristiche geotecniche della litologia presente in loco non permettono allo scavo di autosostenersi in condizioni drenate. Pertanto, si sceglie di proteggere lo scavo e il riporto attraverso l'utilizzo di gabbionate metalliche rinverdite. Per i tratti di scavo da 3 a 3,5 metri, si prevede invece l'utilizzo di geocelle con successiva idrosemina per ottenere anche una mitigazione ambientale.

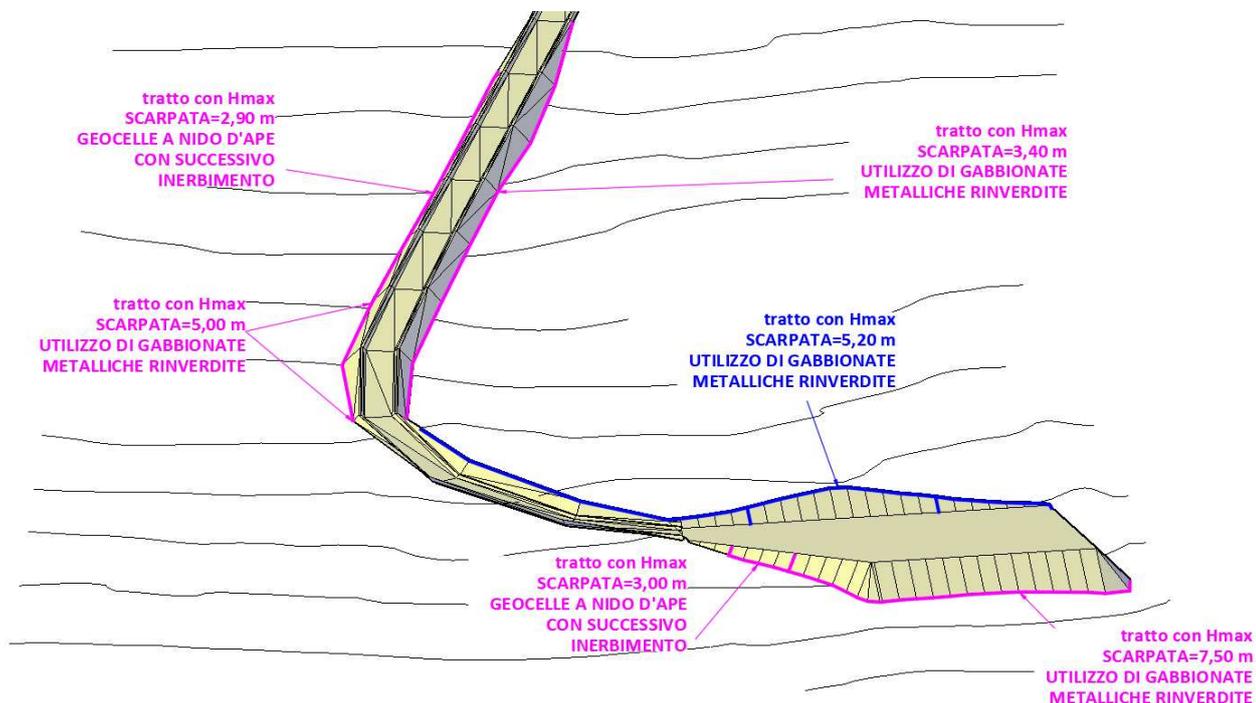


Figura 2: Individuazione della localizzazione delle opere di ingegneria naturalistica per strada e piazzola SAB 02

3.3 PIAZZOLA E STRADA DI ACCESSO SAB 03

In questo caso la piazzola si sviluppa prevalentemente in sterro. L'altezza massima di scavo è pari a 5.10 m. Poiché in fase di progetto si è scelto di riutilizzare in loco la massima quantità di materiale proveniente dagli scavi, viste le caratteristiche geotecniche dei materiali a grana fine presenti in loco, si prevede l'utilizzo di gabbionate per le aree con riporti di altezze da 3 a 5m.

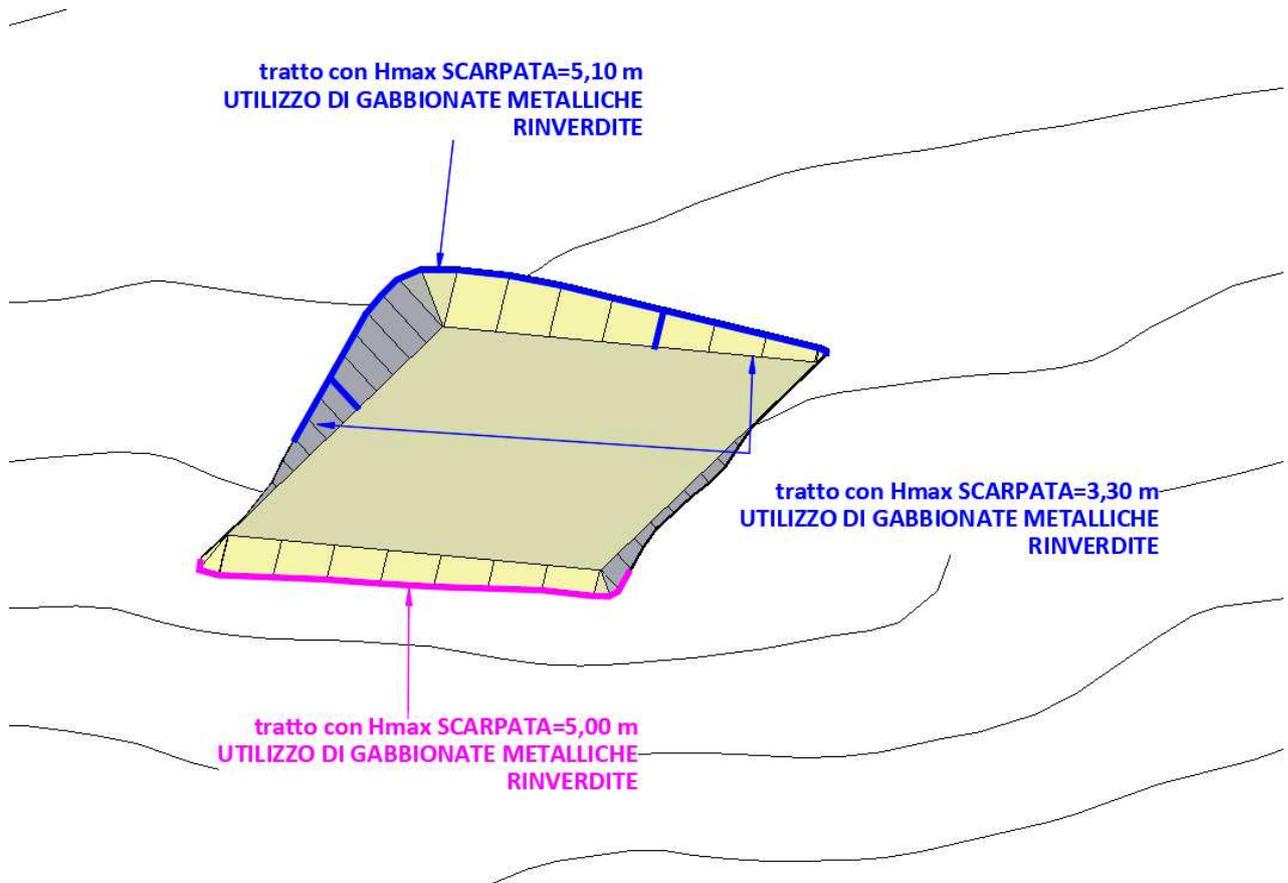


Figura 3: Individuazione della localizzazione delle opere di ingegneria naturalistica per strada e piazzola SAB 03

3.4 PIAZZOLA E STRADA DI ACCESSO SAB 04

La piazzola SAB04 prevede fronti di scavo e riporto prossimi ai 7 metri, in particolare variabile da 6,20 e 6,80 m. Viste le dimensioni non indifferenti dei fronti di scavo sarà necessario stabilizzare le scarpate mediante gabbionate metalliche successivamente rinverdite. Per i tratti di viabilità di accesso sarà previsto la messa in opera di geocelle a nido d'ape per i tratti compresi tra 1,5 a 3 m, e gabbionate metalliche per fronti di scavo maggiori di 3 m.

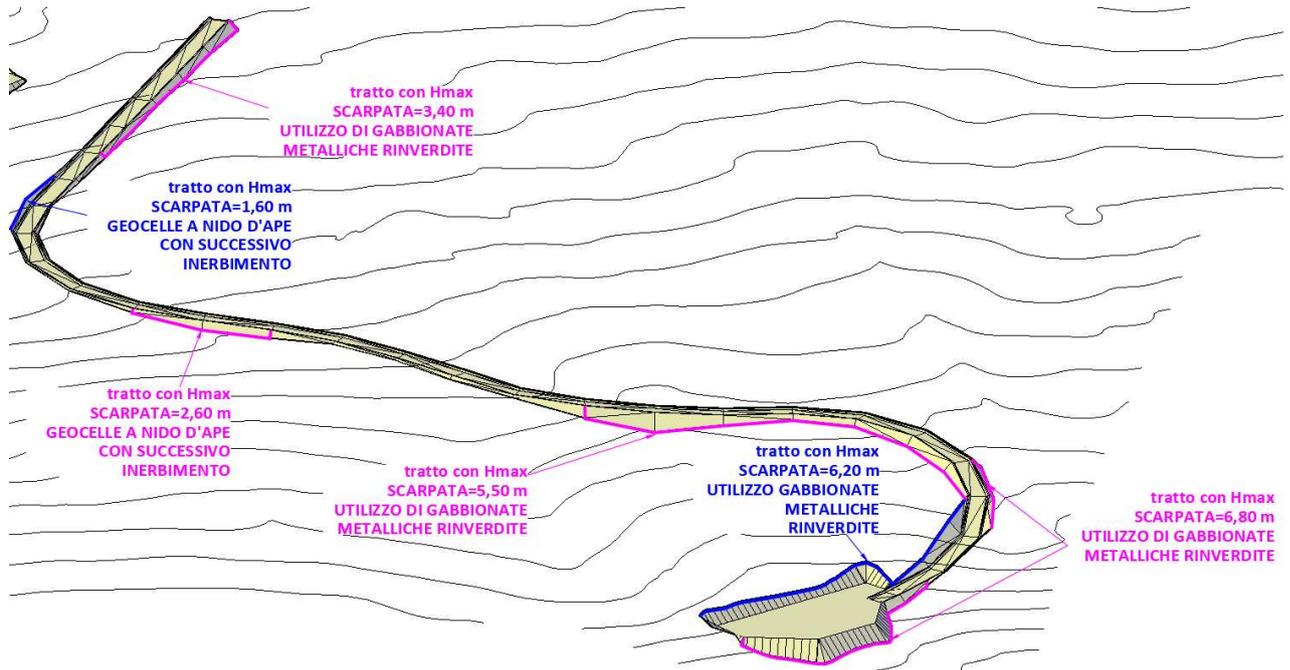


Figura 4: Individuazione della localizzazione delle opere di ingegneria naturalistica per strada e piazzola SAB 04

3.5 PIAZZOLA E STRADA DI ACCESSO SAB 05

. Per raggiungere la piazzola bisogna realizzare una strada con rilevati superiore ad 1,5 m e dell'ordine di 3 m; per questo motivo si prevede l'utilizzo di geocelle con idrosemina sui fronti di scavo della strada di nuova realizzazione che porta alla piazzola SAB 05. Per i rilevati della piazzola invece si prevede l'utilizzo di gabbionate metalliche rinverdate poiché i fronti superano i 5 metri di altezza.

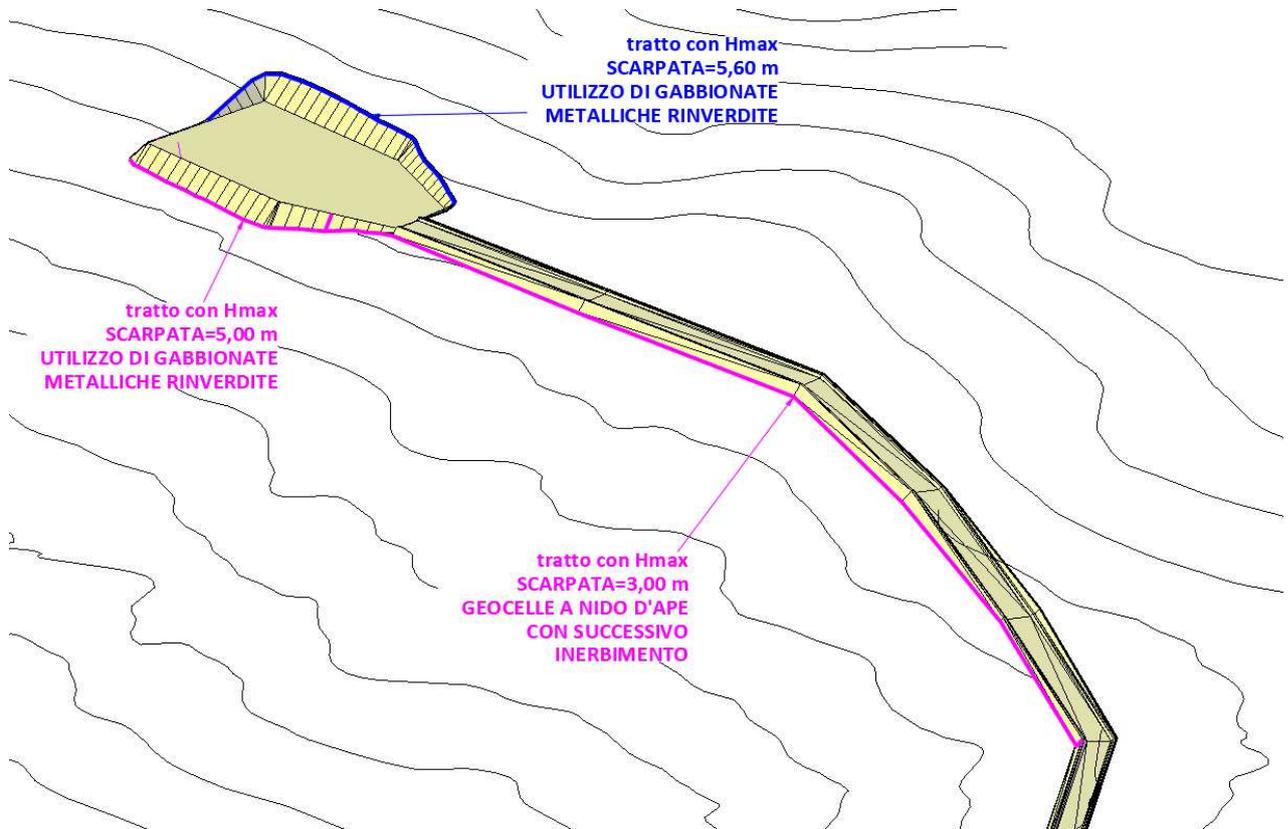


Figura 5: Individuazione della localizzazione delle opere di ingegneria naturalistica per strada e piazzola SAB 02

Il criterio adottato comunemente per stabilire le caratteristiche dei fronti temporanei di scavo è solamente empirico, consistendo nell'osservazione, spesso puramente visuale, del comportamento effettivo delle scarpate durante e dopo gli scavi. Questo criterio è applicabile soltanto a scavi temporanei, in terreni abbastanza omogenei, e in condizioni di sicurezza per gli operatori. In conclusione, la valutazione delle condizioni di stabilità di una scarpata di scavo può essere solo approssimata e si deve tener conto dei tempi di cantiere di circa 1 anno che comporterebbero, per i terreni a grana fine, il passaggio dalle condizioni non drenate a drenate. In genere, per terreni a grana fine come limi e argille, i tempi che impiega l'acqua per drenare dal terreno e cioè per dissipare le sovrappressioni neutre che si instaurano, sono dell'ordine di mesi o anni ma mettendosi in condizioni di precauzione, risulta utile diminuire questo periodo.

Come specificato nei paragrafi precedenti, le aree delle piazzole e delle strade di nuova realizzazione saranno oggetto di opere di stabilizzazione dei fronti di scavo e rilevati con opere naturalistiche che hanno l'obiettivo di stabilizzare e proteggere il versante creato dallo scavo o dal riporto dalla potenziale erosione a cui potrebbero essere esposti soprattutto nel lungo periodo e in condizioni drenate. Inoltre, per mitigare l'impatto che i fronti di scavo possono creare sull'ambiente circostante da un punto di vista paesaggistico e naturalistico, si è pensato di intervenire con il rinverdimento delle scarpate attraverso l'utilizzo di specie arbustive di piccole dimensioni che possono ricreare habitat naturali e ripariali per specie faunistiche presenti nelle aree di impianto.