Società di Geotecnica e Geomeccanica
di Restagno e Trimboli S.n.c.

Piazza Santa Cecilia 4/1
I-17100 SAVONA

tel.: (+39) 019504788 - FAX (+39)M 0198890650
email: admin@sggconsult.it web: www.sggconsult.it
pec: sggsnc@legalmail.it
C.F: P.IVA (VAT-IT) 01061930093
R.E.A. n°. 110285- Reg. Imp. CCIA SV n.° 01061930093

REGIONE LIGURIA

COMUNE DI CERANESI

CITTA' METROPOLITANA DI GENOVA

COMUNE DI CERANESI
CITTA' METROPOLITANA DI GENOVA

Sistemazione del versante in località San Pietro

Progetto definitivo

RELAZIONE GEOTECNICA

Firmato digitalmente da:
TRIMBOLI MARINO
Firmato il 05/07/2022 15:46
Seriale Certificato: 1339643
Valido dal 11/04/2022 al 11/04/2025
InfoCamere Qualified Electronic Signature CA

rif: 02/20/GEO/00	nomefile: Ceranesi_frana S Pietro_GEO_00	Verificato: Geol. Sergio Restagno
DATA: Marzo 2022		Approvato: Ing. Geol. Marino Trimboli

INDICE

1. PREMESSA 2

2. MODELLO GEOLOGICO DEL PENDIO 2

3. MODELLO GEOTECNICO E CINEMATICA DEL MOVIMENTO FRANOSO 3

4. PARAMETRI GEOTECNICI DA PROVE DI LABORATORIO E IN SITO 9

5. DIMENSIONAMENTO OPERE DI DRENAGGIO 11

6. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI PRIORITARI DI PROGETTO 14

1. PREMESSA

La scrivente Società di Professionisti ha ricevuto incarico dall'Amministrazione Comunale di Ceranesi di eseguire la progettazione preliminare degli interventi di sistemazione del versante in località San Pietro. La zona in questione ricade in area di frana attiva nel vigente Piano di bacino del Torrente Polcevera ed è stata sede di movimenti diffusi durante l'evento alluvionale del novembre 2014.

La presente relazione, basata sulle risultanze delle attività di indagine e di monitoraggio eseguite, illustra leverifiche geotecniche e le soluzioni progettuali finalizzate al miglioramento delle condizioni idrogeologiche del versante nonché all'incremento delle forze stabilizzanti nel computo del fattore di sicurezza globale del pendio.

2. MODELLO GEOLOGICO DEL PENDIO

La descrizione delle condizioni morfologiche e geologiche è illustrata nella relazione geologica del presente progetto; di seguito si descrivono le principali risultanze stratigrafiche ottenute dalle due campagne d'indagine eseguite.

Lungo l'impluvio che discende sul margine SE dell'abitato di San Pietro, si è rilevato un profilo stratigrafico suddivisibile in tre orizzonti principali: un livello più superficiale costituito da sabbie argilloso-limose con frammenti e pietrame, di spessore variabile da pochi centimetri a 5 *m*, riconducibile a copertura vegetale e riporti antropici. Al disotto è presente un secondo orizzonte, costituito da una coltre detritica di origine franosa, caratterizzata da sabbia argilloso limosa, con scaglie e frammenti, passante ad argille marroni derivanti dall'alterazione del basamento roccioso. I sondaggihanno messo in evidenza che il passaggio alla roccia di substrato, costituita da argilloscisti nerastri,non è netto, bensì caratterizzato da una potente zona di alterazione a prevalente matrice argillosa con scaglie argillitiche. Nel settore centrale del versante, dove la pendenza è minore, lo spessore di tale livello varia da un massimo di 12 *m* nella zona occidentale dell'area di interesse (sezione A-A') aun minimo di 5 *m* nella zona orientale (sezione B-B'). Come quello superficiale, questo livello si rastrema a monte e a valle dove la pendenza del versante aumenta.

Il terzo orizzonte è costituito dalle argilliti del substrato (*Argilloscisti di Murta* e *Argilloscisti di Costagiutta*). Si tratta di argilliti grigio-nerastre stratificate e/o foliate in livelli di spessore da centimetrico a decimetrico, fittamente piegate e fratturate, localmente brecciate. Si rileva la presenza di vene di calcite più abbondanti in profondità. L'immersione generale delle foliazioni è verso SE con un'inclinazione compresa tra i 25° e i 65°, a traverpoggio rispetto al versante.

3. MODELLO GEOTECNICO E CINEMATICA DEL MOVIMENTO FRANOSO

Le prove di laboratorio effettuate sui 4 campioni prelevati nei sondaggi geognostici del 2017 (integrati nel 2021) permettonodi classificare i terreni di copertura come sabbie limose – sabbie argillose, localmente ghiaie argillose.In generale la somma delle frazioni ghiaiosa e sabbiosa varia da circa il 55% nel campione più profondo, a quasi il 90 % nel campione prelevato a 7,5 – 8,0 m di profondità. Di contro le frazioni fini(limosa e argillosa) variano rispettivamente dal 45% circa a poco più del 10%. La componente argillosa risulta molto abbondante nei campioni superficiale e profondo, meno nei due prelevati a profondità intermedie. Tale aspetto evidenzia la natura detritica di versante dell'orizzonte intermediodi evidente origine franosa antica.

Nella tabella seguente, relativa agli esiti del monitoraggio inclinometrico del versante, si riportano alcuni dati relativi agli spostamenti registrati ed i relativi campi di profondità.

Inclinometro	Profondità (*m*)	Quota p.c (*m* slm)	Spostamento cumulato in superficie (*mm*) dal febbraio 2017 al 31 maggio 2018	Profondità da p.c. della superficie di scorrimento (*m*)	Max. velocità di spostamento (*mm/mese*)
S1/CER1	28	285,1	18	15	4,50
S2/CER2	15	291,0	15	8,5	4,95
S3/CER3	20	275,5	8	7	2,56
S4/CER4	20	309,0	11	11	3,62

Tabella 1: dati relativi agli spostamenti rilevati nelle colonne inclinometriche

Si può osservare che la massima componente di spostamento si è registrata nel settore centrale del pendio in un intervallo di profondità compreso fra 7 e 15 *m*. Confrontando i dati pluviometrici e le piezometrie con le velocità di spostamento negli inclinometri, si è osservato che i movimenti significativi sono relativi al periodo intercorsofra le misure del 17 gennaio ed il 18 aprile 2018. La quiescenza dei movimenti della frana rilevata nel periodo antecedente il mese di marzo 2018 e nel corso del 2021 confrontata con le piezometrie mette in risalto che sussistono condizioni prossime all'equilibrio limite lungo il versante in esame quando il livello della falda raggiunge le soggiacenze critiche comprese fra 2,5 e 1,5 *m* dalla quota di piano campagna.

Sulla base delle informazioni acquisite si è costruito un modello geotecnico lungo una sezione topografica di massima pendenza, integrato dai dati idrogeologici relativi alle oscillazioni della falda registrate ai piezometri nel periodo di osservazione (febbraio 2017-giugno 2018), impostato sul codice di calcolo alle differenze finite *FLACSLOPE 8.0* dell'Itasca.

FLAC/Slope è un programma di calcolo, derivato da *FLAC (Fast Lagrangian Analysis of Continua)* e progettato in modo specifico per il calcolo del fattore di sicurezza nell'analisi di stabilità dei pendii. Questo programma differisce dai metodi tradizionali che utilizzano "l'equilibrio limite" per determinare il fattore di sicurezza.

I codici per l'equilibrio limite utilizzano uno schema approssimativo basato tipicamente sul

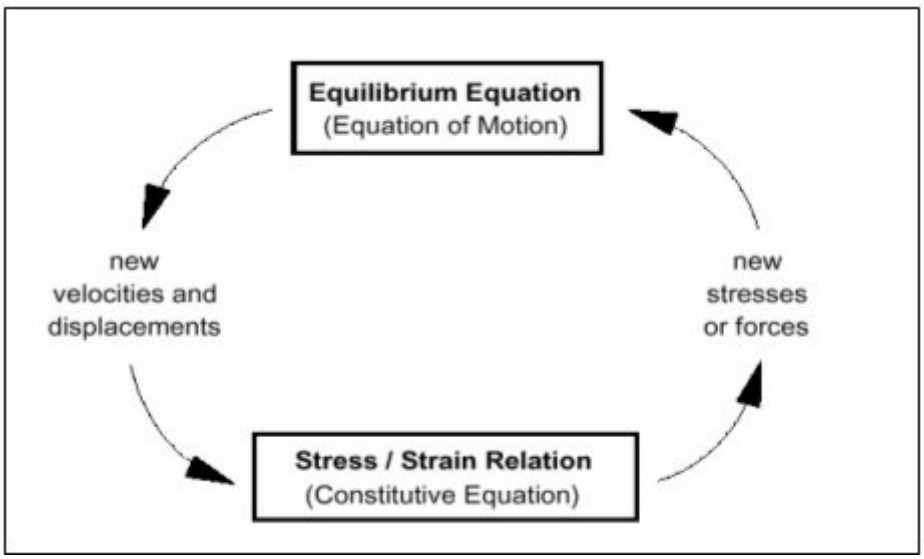
metodo dei conci e su determinate ipotesi, quali ad esempio la posizione e l'angolo delle forze all'interno dei conci. L'analisi si basa sul rapporto tra forze agenti e forze resistenti lungo superfici ipotetiche di potenziale rottura scegliendo tra queste la superficie in cui si sviluppa il valore più basso del fattore di sicurezza. L'equilibrio è soddisfatto soltanto per una serie ideale di superfici.

FLAC/Slope fornisce, invece, una soluzione completa sull'analisi sforzi/deformazioni, dell'equilibrio e delle equazioni costitutive. Sulla base di una serie di proprietà geometriche del pendio e geotecniche dei materiali il sistema calcola la stabilità o l'instabilità. Il programma calcola la superficie potenziale di scivolamento attraverso il cambiamento delle proprietà di resistenza dei materiali (tecnica della riduzione della resistenza al taglio), in corrispondenza del punto di stabilità.

Rispetto all'analisi dell'equilibrio limite, il metodo a differenze finite consente i seguenti vantaggi:

1. ciascuna superficie di scivolamento potenziale si sviluppa in modo naturale, senza il bisogno di specificare in anticipo un insieme di superfici di prova;
2. non vi è necessità di fornire in ingresso alcun parametro artificiale (es. funzioni per angoli di forza inter-concio);
3. le superfici multiple di scivolamento si evolvono naturalmente se le condizioni ne favoriscono l'insorgenza;
4. esiste la possibilità di modellare realisticamente l'interazione tra il terreno ed elementi strutturali (es. chiodature, tiranti, geotessili);
5. la soluzione consiste in meccanismi di tipo cinematico, mentre il metodo dell'equilibrio limite considera solo le forze).

Nel caso di *FLAC*, il programma utilizza un metodo *time-marching* esplicito per risolvere le equazioni algebriche, ma schemi di soluzione impliciti di tipo matriciale sono più comuni negli elementi finiti.



Nelle figure seguenti si riportano il modello geologico e la griglia di calcolo utilizzata.

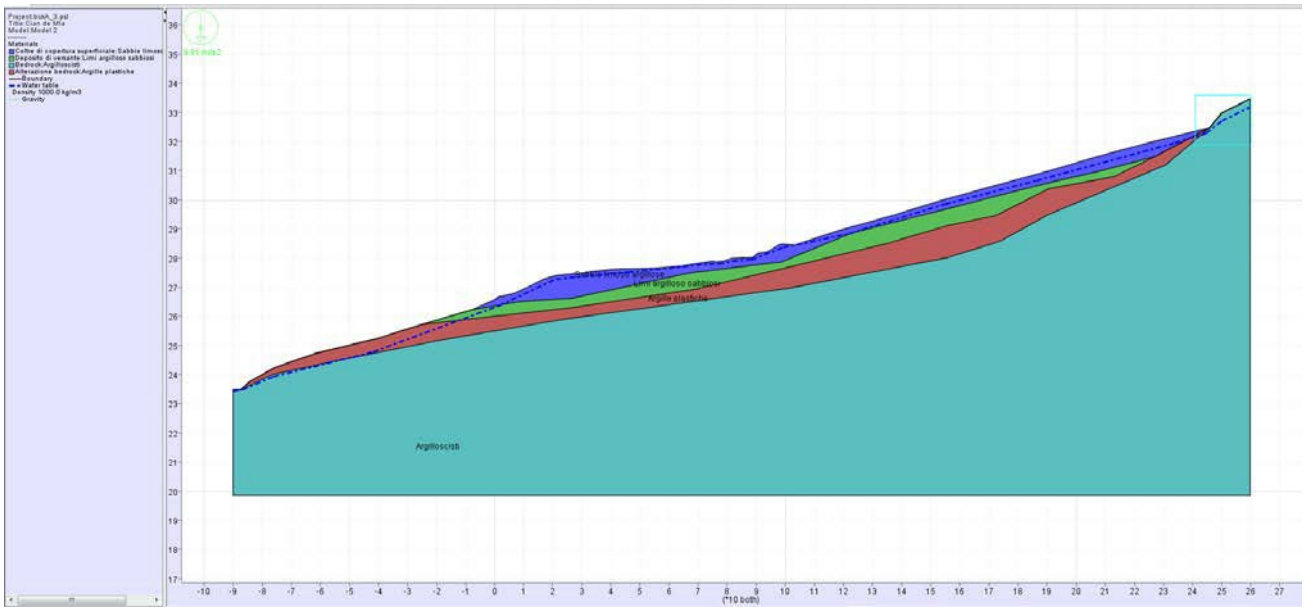


Figura 1: modello geologico a falda alta

Si può osservare che è stato inserito nell'ambito del secondo orizzonte detritico, un livello argilloso basale a bassa resistenza, per simulare la zona di interfaccia fra *bedrock* sano e detrito di frana.

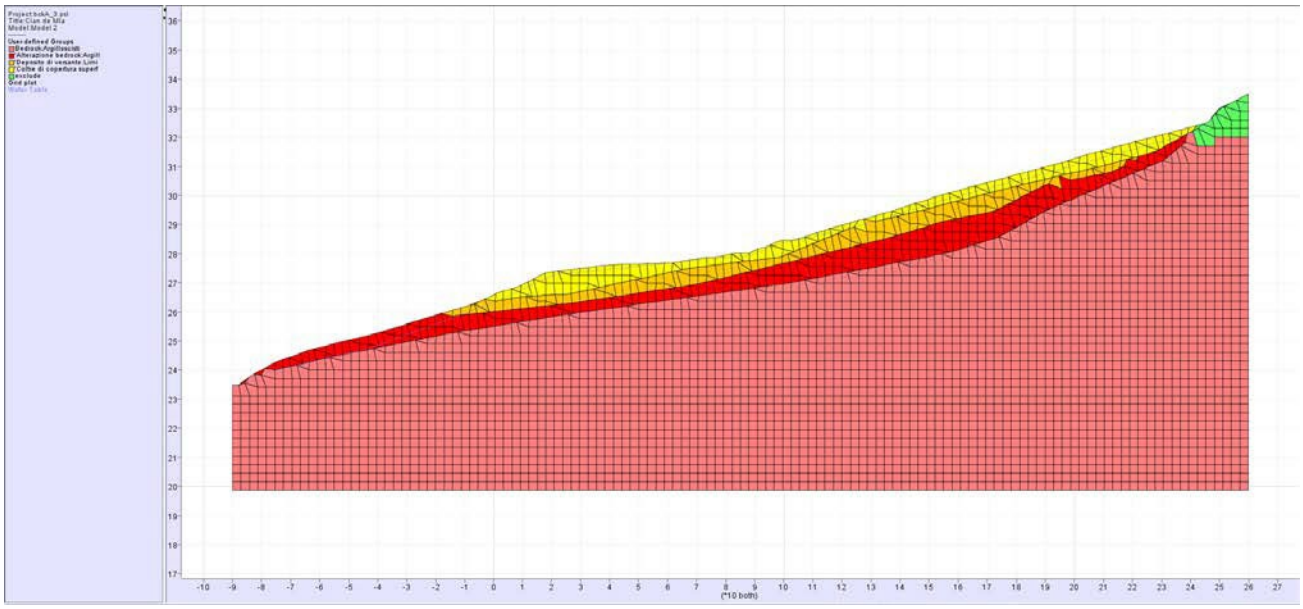


Figura 2: griglia di calcolo

Nella tabella seguente sono riportati i parametri geotecnici di ingresso e i valori più bassi dei coefficienti di sicurezza ottenuti nell'analisi numerica. Si può osservare che non sussiste un singolo meccanismo di instabilità esteso a tutto il pendio, bensì due diverse situazioni collocate a monte ed a valle del settore di versante a morfologia pianeggiante (località Cian de Mia). Tale situazione, individuata "a ritroso", giustifica la motivazione delle diverse profondità e velocità misurate nelle singole colonne inclinometriche.

Material Properties - Mohr-Coulomb

ClassName	Densityρ	Cohesion c	Tension$_{\sigma}$t	Frictionφ	Dilationψ
Units	kg/m^3	Pa	Pa	Deg.	Deg.
Coltre di copertura superficiale Sabbie limoso argillose	2000.0	2000.0	0.0	27.0	0.0
Deposito di versante Limi argilloso sabbiosi	2100.0	3000.0	0.0	28.0	0.0
Bedrock Argilloscisti	2700.0	150000.0	0.0	28.0	0.0
Alterazione bedrock Argille plastiche	2300.0	2000.0	0.0	24.0	0.0

Tabella 2: parametri geotecnici di ingresso nel modello di calcolo

Interface Properties

ClassName	CohesionPa	Tensile StrPa	FrictionDeg.	Dilation Deg.
Interfaccia bedrocknew 1	1000.0	0.0	25.0	0.0

Tabella 3: parametri geotecnici di ingresso relativi alla zona di interfaccia bedrock-coltre detritica

Factor of Safety

Project	Model	Material Type	Shape	Mesh	Switches	FOS
bckA	1_Model_2	Mohr-Coulomb	General slope	Z150	c	1.01
bckA	3_Model_2	Mohr-Coulomb	General slope	Z150	fc	1.06

Tabella 4: fattori di sicurezza delle superfici di rottura a falda alta

Le Figure n 3 e 4 riportate nella pagina seguente individuano i meccanismi di instabilità conseguenti ai livelli massimi di falda rilevati nel periodo di monitoraggio.

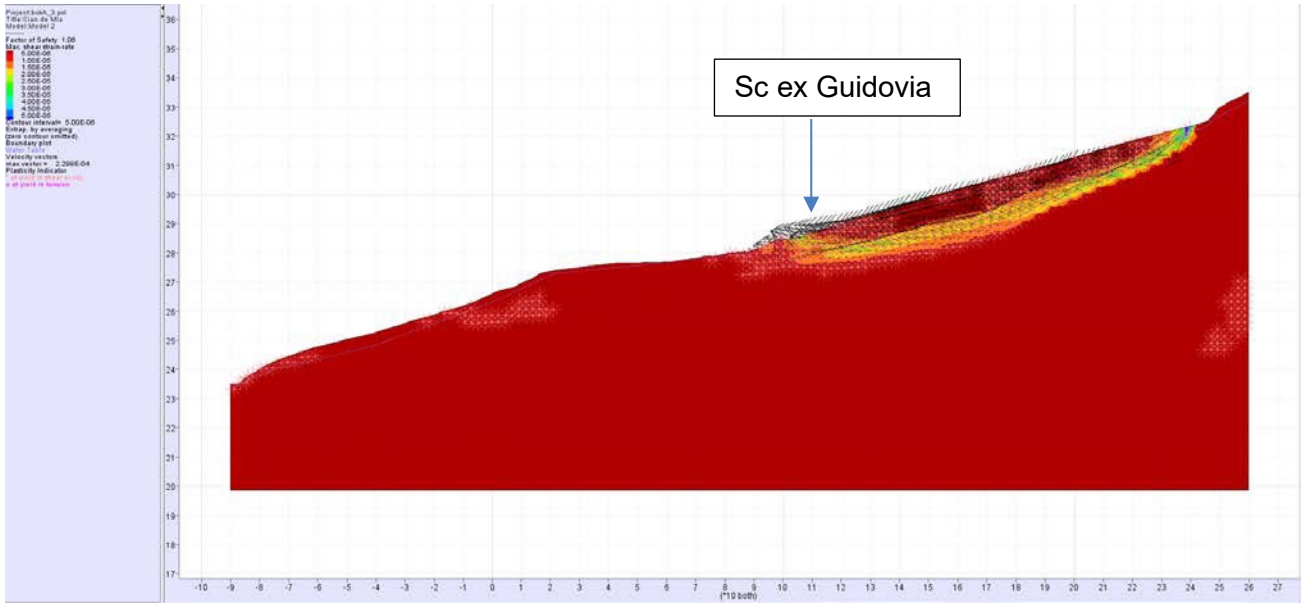


Figura 3: meccanismi di scivolamento a monte della strada dell'ex Guidovia (falda alta)

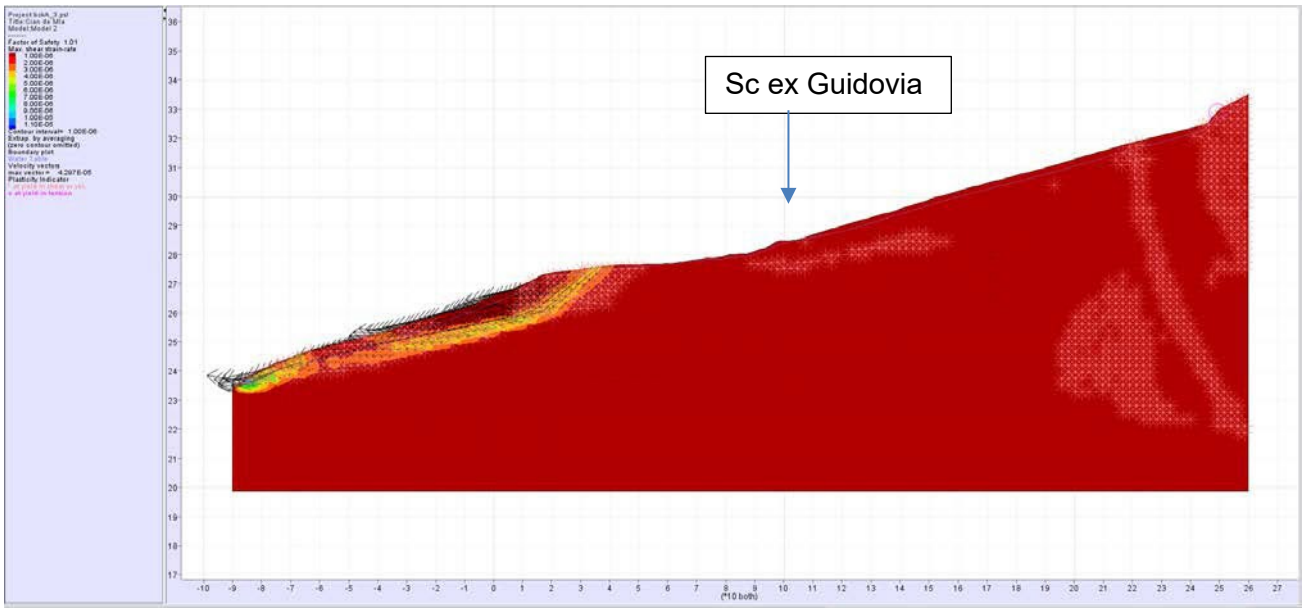


Figura 4: meccanismi di scivolamento a valle della località di Cian de Mia (falda alta)

I meccanismi di scivolamento individuati, a riscontro dei dati misurati negli inclinometri, interessano fasce di profondità da piano campagna fino a 15 *m*; come già riportao nel Progetto preliminare, si tratta di profondità per le quali nonsi possono adottare interventi di miglioramento del coefficiente di sicurezza con impiego di elementi strutturali resistenti al taglio. L'esame delle condizioni idrogeologiche del comparto, dal quale si è palesata l'influenza del livello piezometrico della falda nell'innesco di movimenti gravitativi, ha consentito di prendere in considerazione e simulare l'effetto sul fattore di sicurezza del pendio ottenibile con sistemi di depressione del livello della falda nel sottosuolo dell'area instabile. Nelle analisi di seguito riportate è stato introdotto nel modello un profilo di falda "di progetto" quale risultatodi una rete di pozzi drenanti dislocati lungo il pendio.

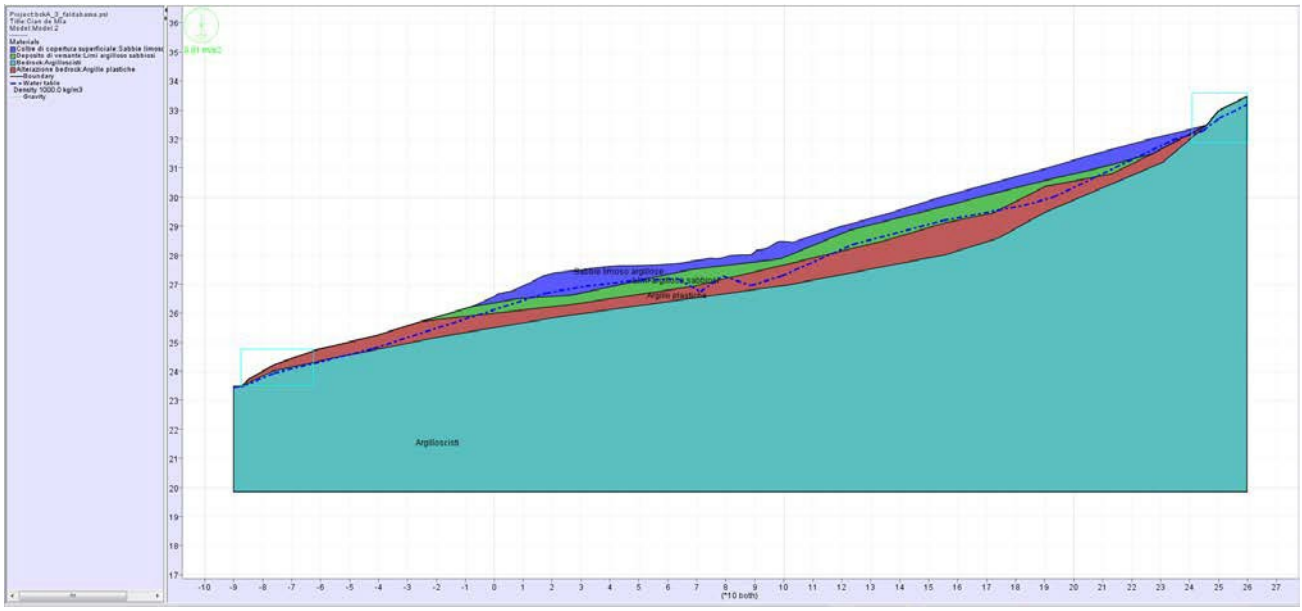


Figura 5: modello geologico a falda depressa

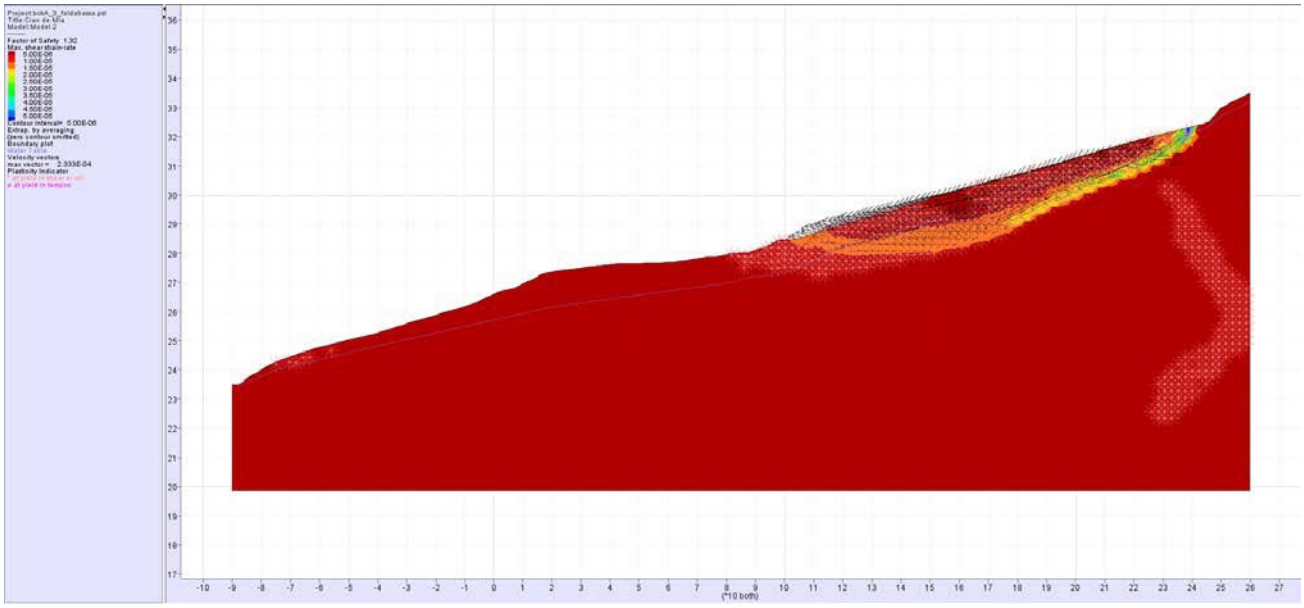


Figura 6: meccanismi di scivolamento a monte della strada dell'ex Guidovia (falda depressa)

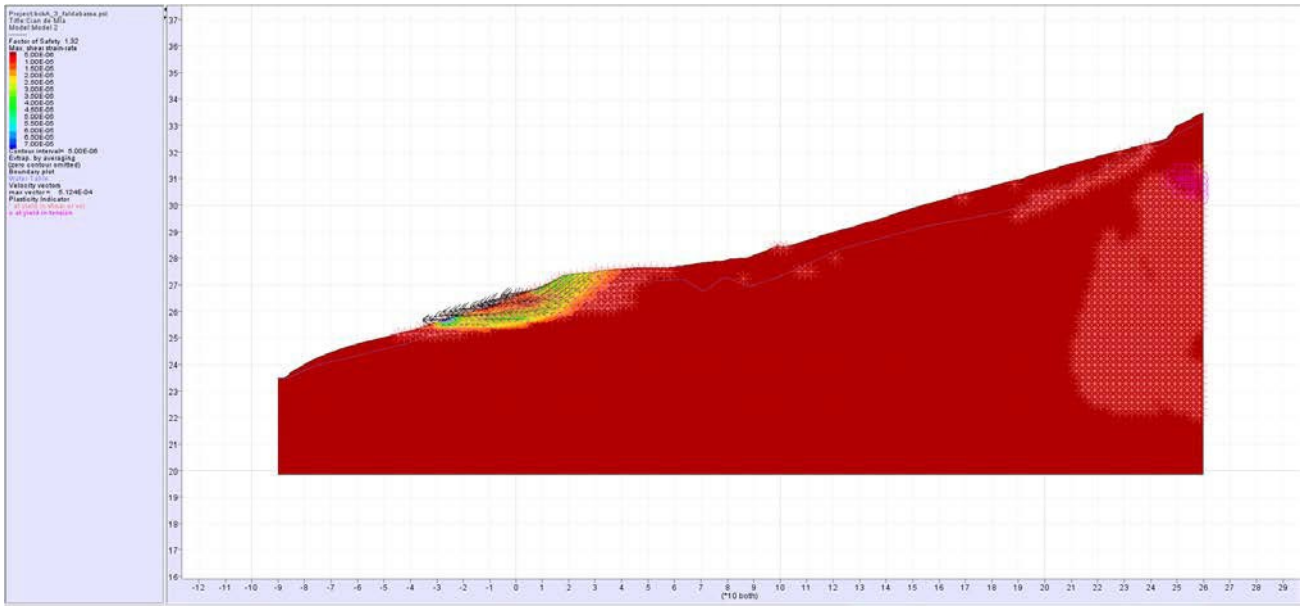


Figura 7: meccanismi di scivolamento a valle della località di Cian de Mia (falda depressa)

Nella tabella seguente sono riportati i fattori di sicurezza relativi alle analisi a falda alta e depressa per l'effetto dell'inserimento di pozzi drenanti.

Factor of Safety						
Project	**Model**	**Material Type**	**Shape**	**Mesh**	**Switches**	**FOS**
bckA	1_Model_2	Mohr-Coulomb	General slope	Z150	c	1.01
bckA	3_Model_2	Mohr-Coulomb	General slope	Z150	fc	1.06
bckA	3_faldabassa_Model_2	Mohr-Coulomb	General slope	Z120	fc	1.31
bckA	3_faldabassa_Model_2	Mohr-Coulomb	General slope	Z150	fc	1.32

Tabella 5: fattori di sicurezza delle superfici di rottura a falda alta e depressa

Si può osservare che le analisi numeriche effettuate indicano la possibilità di incrementare di circa il 30% il fattore di sicurezza lungo le superfici di rottura individuate, con la sola depressione della falda.

4. PARAMETRI GEOTECNICI DA PROVE DI LABORATORIO E IN SITO

4.1 Prove di laboratorio

I campioni prelevati durante le operazioni di sondaggio sono stati sottoposti a prove geotecniche presso il laboratorio S.G.L. - SERVIZI GEOTECNICI LIGURI S.r.l., autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti per l'esecuzione e la certificazione di prove su terreni esu rocce ai sensi del D.P.R. n. 380/2001. Sono state effettuate alcune prove tipiche delle terre sui campioni, i cui risultati sono riportati in Tabella 6.

Sondaggio	Campione	Profondità	Classificazione USCS	Contenuto d'acqua	Peso di volume naturale	Limiti di Atterberg			Composizione granulometrica				Angolo di resistenza al taglio	Coesione drenata	Angolo di resistenza al taglio residua	Coesione drenata residua
				W	γ_n	LL	LP	IP	Ghiaia	Sabbia	Limo	Argilla	Φ'	c'		c'
n°	n°	m		%	kN/m^3	%	%	%	%	%	%	%	°	kPa	°	kPa
S1	CI1	13.00-13.40	SM-SC	11.82	21.31	34.0	23.5	10.5	25.17	30.25	18.85	25.74	30.3	10.2	28.0	2.7
S2	CI1	7.50-8.00	SM	8.98	8.98	21.5	19.5	2.0	43.56	43.95	7.82	4.68	33.8	2.6	28.9	0
S3	CI1	9.00-9.50	GC	14.74	14.74	35.1	22.7	12.4	53.5	26.15	10.17	10.17	31.5	8.7	28.3	4.5
S4	CI1	4.00-4.50	SC	11.34	11.34	31.1	21.9	9.4	10.3	40.17	31.44	18.08	29.4	7.2	27.0	2.0

Tabella 6: risultati delle prove di laboratorio

Le prove granulometriche effettuate sui campioni prelevati permettono di classificarli tutti come sabbie limose – sabbie argillose, tranne il campione prelevato dal sondaggio S3 che risulta una ghiaia argillosa. In generale la somma delle frazioni ghiaiosa e sabbiosa varia da circa il 55% nel campione più profondo, a quasi il 90 % nel campione prelevato a 7,5 – 8,0 *m* di profondità. Di controle frazioni fini (limosa e argillosa) variano rispettivamente dal 45% circa a poco più del 10%. La componente argillosa risulta molto abbondante nei campioni superficiale e profondo, meno nei dueprelevati a profondità intermedie.

Il contenuto d'acqua è compreso tra il 9% e il 15 % circa. Il limite plastico risulta sempre circail doppio del contenuto d'acqua; pertanto, i campioni prelevati non hanno un comportamento plastico.Calcolando l'indice di attività si ricavano valori inferiori a 1 per tutti i campioni tranne che per quello prelevato dal sondaggio S3 (a profondità 9,0 – 9,5 *m*) che risulta di 1,2. Ne deriva che le argille presenti sono tutte inattive o normalmente attive.

Le prove di taglio diretto hanno messo in evidenza angoli di attrito di picco compresi fra 29,4°e 33,8° e coesione drenata fra 2,6 kPa (campione di S2, profondità 7,5 – 8,0 *m*) e 10,2 kPa (campione S1 profondità 13,0-13,5 *m*). Le prove di taglio residuo indicano la diminuzione di entrambii parametri con un angolo di attrito che risulta compreso fra 27° e 28,9° e una coesione drenata residua da 0 kPa (campione di S2, profondità 7,5 – 8,0 *m*) a 4,5 kPa (campione S1 profondità 13,0-13,5 *m*).

4.2 Prove pressiometriche

I dati sperimentali sono riportati nel report della società M3D srl, allegato alla documentazione progettuale; di seguito vengono riassunti in Tabella 7. I parametri si riferiscono ai moduli pressiometrici e di Young, alla resistenza al taglio ed i moduli di taglio.

Sond./prova	Profondità (m)	P_{fluage} (kPa)	P_{lim} (kPa)	E_P (MPa)	E (MPa)	c_u (kPa)	Φ' (°)	G (MPa)
S1/P1	5,4	305	460	2,18	5,7	6	28	0,8
S1/P2	8,2	1069	1820	17,4	48,5	200	33	6,6
S1/P3	14,7	1614	3350	28,0	90,4	350	36	10,5
S2/P1	3,7	389	806	4,4	7,9	10	28	1,7
S2/P2	6,7	970	1760	21,5	39,8	190	33	8,1
S2/P3	9,7	1598	3040	46,0	135,3	310	36	17,3

Tabella 7: risultati delle prove pressiometriche

4.3 Prove di permeabilità in foro

Le risultanze delle prove Lefranc sono riassunte in Tabella 8

Sondaggio/prova	Tipo prova	Tratto prova (*m*)	*K* (*m/s*)
S1/21 p1	*Lefranc* carico variabile	3,00-4,00	2,37E-06
S1/P2 p2	"	6,00-7,00	3,80E-06
S1/21 p3	"	12,00-13,00	9,47E-07
S2/21 p1	"	1,60-2,60	5,47E-07
S2/21 p2	"	4,60-5,60	3,55E-06
S2/21 p3	"	10,00-11,00	7,11E-06

Tabella 8: risultati delle prove di permeabilità

5. DIMENSIONAMENTO OPERE DI DRENAGGIO

5.1 Trincee drenanti

Il progetto delle trincee consiste nel dimensionamento dell"interasse *S* in quanto l'altezza delle trincee *H0* dipende dalle modalità e lo spazio di scavo. Una volta calcolata l'efficienza media richiesta all"opera, si utilizzano specifici abachi ottenuti da soluzioni analitiche in funzione della profondità del substrato impermeabile e della profondità della superficie di scorrimento *D*, entrambi dati assegnati, e si ottiene l"interasse.

Desideri et al. (1997) analizzano il comportamento delle trincee con riferimento allo schema piano

in Figura 8. Le ipotesi considerate sono: piano campagna orizzontale, condizioni iniziali idrostatiche, lama d"acqua al piano campagna, terreno omogeneo e isotropo limitato inferiormente da uno strato impermeabile ad una profondità *H*.

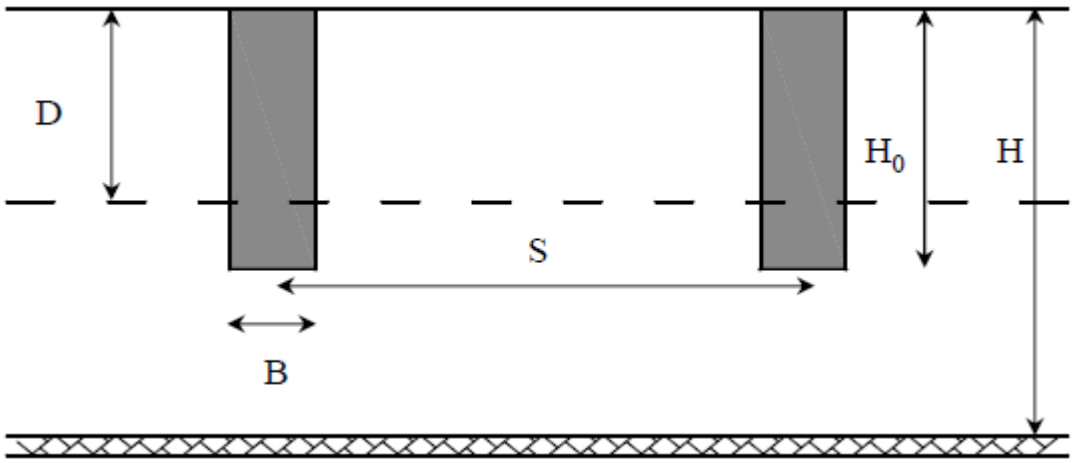


Figura 8 schema di calcolo interasse trincee (Desideri et al. 1997)

La soluzione ottenuta con un modello alla differenze finite applicato ad un mezzo poroso omogeneo, è riportata in termini di efficienza media stazionaria ($\bar{E}\infty$) in abachi adimensionali.

$$\bar{E}_{\infty} = \frac{u_0 - u(\infty)}{u_0}$$

Il comportamento del sistema dipende dalla geometria attraverso i rapporti *S/H0* ed *H/H0*. Lo spessore della trincea *B* non influenza la soluzione in quanto viene ritenuto costante e dato dal rapporto *B/H0* pari *0.16*. Nel caso in esame (Figura 9), assumendo un'efficienza media stazionaria del 50%, si entra negli abachi tenendo conto della profondità del substrato impermeabile e della profondità della superficie di scorrimento *D*, si ottiene interasse di circa 20 *m*.

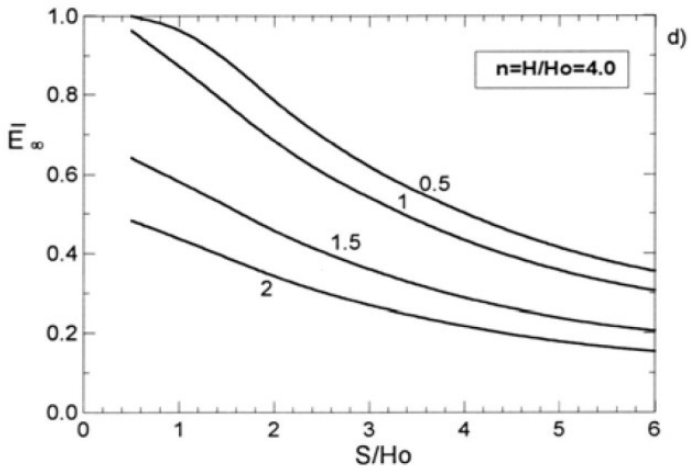


Figura 9 abaco di calcolo interasse trincee (Desideri et al. 1997)

5.2 Dimensionamento dei pozzi drenanti

L'efficienza di un sistema tridimensionale di pozzi drenanti in condizioni stazionarie è determinabile attraverso metodi bibliografici (Aloi, 2016), con l'utilizzo di specifici abachi in funzione del valore dell'interasse adimensionalizzato dei pozzi rispetto alla profondità raggiunta. Ognuno degli abachi presenta una serie di curve relative ai rapporti fra il diametro e la profondità dei pozzi realizzati. Tale parametro tiene conto dell'effetto della snellezza del pozzo sul suo funzionamento. Gli altri parametri analizzati sono: profondità del substrato impermeabile e profondità del piano di valutazione dell'efficienza idraulica sulla depressione della falda (Figura 10).

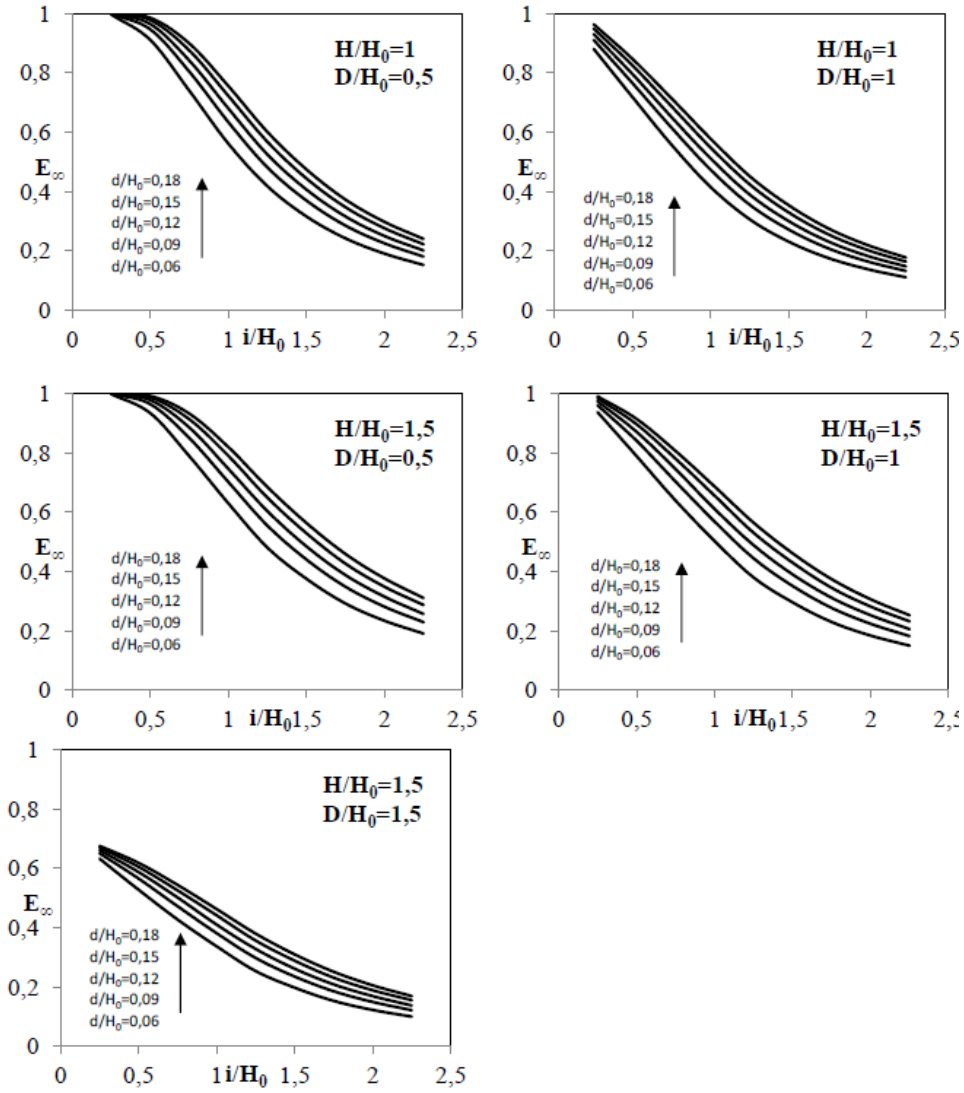


Figura 10 abaco di calcolo interasse pozzi (Aloi 2016)

Nello specifico, se si vuole ottenere un'efficienza del 30% che comporterebbe una depressione della falda di circa 3,6 *m*, fissando il diametro dei pozzi a 1,5 *m*, profondità 10 *m*, considerando che il rapporto fra la profondità del bedrock H e lunghezza del pozzo H_0 vale 1,5 e il rapporto D/H_0 risulta circa 0,5, si ricava dal terzo abaco in Figura 10 un rapporto i/H_0= 2 che significa una distanza fra pozzi

di 20 *m*.

6. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI PRIORITARI DI PROGETTO

Le rilevazioni ad oggi effettuate, unitamente alle analisi di stabilità a ritroso eseguite per la modellazione geotecnica del pendio, hanno consentito di definire le modalità di intervento al fine di incrementare il fattore di sicurezza del pendio.

In particolare, l'obiettivo del progetto è quello di ottenere il mantenimento dei livellidi falda nel sottosuolo al disotto delle soggiacenze critiche che hanno segnato la ripresa degli spostamenti lungo tutte le verticali di monitoraggio messe in opera.

La profondità di sicurezza è stata stimata a circa 2 *m* da quota di piano campagna lungo il sondaggio 1 e 3 *m* nel sondaggio 4.

Per ottenere delle efficaci depressioni della piezometrica nel terreno si è previsto una rete drenante di trincee e pozzi collegati, la cui rappresentazione grafica è riportata nella tavola di progetto D03, così suddivisa:

1. realizzazione di nuovo sistema di trincee drenanti, estese fino alla profondità di 4 *m* dalla quota di piano campagna, raccordate con l'alveo del Rio San Pietro. La finalità del sistema di trincee drenanti è la raccolta delle acque di infiltrazione superficiale che scorrono in maniera incontrollata nell'impluvio in esame e che alimentano alcune sorgenti temporanee ubicate a monte della strada dell'ex Guidovia;
2. trivellazione di 10 pozzi di diametro 1500 *mm*, della profondità di 10 *m*, dai quali si dipartono 2 ordini di dreni suborizzontali della lunghezza di 10 m, collegati mediante scarichi di fondo eseguiti con perforazioni a *trivellazione orizzontale controllata* (TOC);
3. realizzazione di un Sistema di monitoraggio geotecnico e idrogeologico dell'efficienza nel tempo delle opere previste

Nella relazione tecnica illustrativa si riporta una descrizione dei lavori di maggior dettaglio.