

**SEZIONI GEOLITOLOGICHE
E
VERIFICHE DI STABILITA'**

Negli allegati che seguono abbiamo riportato le sezioni geolitologiche relative ai principali interventi previsti. Inoltre, per le aree di variante alle quali è stata attribuita la classe di fattibilità F4 (fattibilità limitata) è stato eseguito uno specifico studio di stabilità del versante.

Considerando l'estensione dei versanti da studiare l'analisi di stabilità è stata effettuata attraverso la metodologia semi-automatica di Bishop mediante il software Slope della Geostru. Attraverso la realizzazione di una maglia di centinaia di centri il software ha consentito di misurare il fattore di sicurezza di numerose superfici circolari. Per l'esecuzione del calcolo sono stati utilizzati i parametri geotecnici drenati dei terreni indicati nella tabella seguente che indica anche, per ogni litotipo, i parametri di laboratorio a disposizione. I parametri scelti quali sono stati ridotti per tenere di conto dei coefficienti imposti dalla normativa nazionale in materia di costruzioni (N.T.C.).

Al fine di considerare le condizioni più cautelative è stato impostato un livello di saturazione prossimo al piano campagna ed è stata considerata l'azione sismica. Quest'ultima è stata riferita ad un evento sismico con tempo di ritorno di 475 anni, riconducibile ad un evento con probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

Tale evento genera effetti diversi al livello del suolo in risposta alle differenti inclinazioni del versante che si traducono in differenti valori di k_h e k_v (coefficienti sismici rispettivamente orizzontale e verticale). Per inclinazioni del versante inferiori a 15° si rientra nella classe topografica T1 ed il parametro k_h risulta pari a 0,05 (caso delle sezioni B-B' e D-D'), nel caso della sezione C-C' si ha una inclinazione superiore ($\sim 19^\circ$) pertanto la categoria topografica è T2 ed il parametro k_h sale a 0,06.

Le verifiche sono state effettuate sia per lo stato attuale dei versanti sia, indicativamente, per quello di progetto. In questa fase preliminare quest'ultima verifica assume ovviamente un carattere puramente indicativo data la mancanza di disegni di dettaglio delle opere, sui quali è lecito aspettarsi future revisioni con cambiamenti anche sostanziali delle strutture in progetto.

Tutte le verifiche sono state effettuate considerando l'azione permanente del carico degli edifici, ipotizzata pari a $0,5\text{kg/cm}^2$. Tale valore è puramente indicativo sebbene possa essere considerato cautelativo in ragione dell'assenza di costruzioni di altezza elevata.

La sezione C-C', data la maggiore inclinazione, è stata indagata anche con la metodologia di Morgenstern e Price ipotizzando tre superfici di scivolamento ritenute cinematicamente plausibili.

PARAMETRI GEOTECNICI ASSUNTI

LITOTIPO	INDAGINE	SPT	CAMPIONE	ESITI ANALISI SUI CAMPIONI	PARAMETRI GEOTECNICI ASSUNTI
ARGILLE AZZURRE	156	47 48 37	C2	$c=1,07$; $\varphi=16^\circ$ $\gamma = 2,02$	SPT = 30 cu = 1,9 c' = 0,3 $\varphi' = 18$ $\gamma = 2,05$
			C3	$c=1,35$; $\varphi=18^\circ$ $\gamma = 2,06$	
			C4	$c=0,97$; $\varphi=15^\circ$ $\gamma = 2,05$	
	212	-	C3	$c'=0,172$; $\varphi'=22^\circ$ $\gamma = 1,95$	
	3	56 40	C2	cu=2,05 $c'=0,74$; $\varphi'=18^\circ$ $\gamma = 2,135$	
	6	37 30	C4	cu=2,69 $c'=0,15$; $\varphi'=16^\circ$ $\gamma = 2,071$	
(ALTERATE) →	4	24 30	C2	cu=2,62 $c'=0,08$; $\varphi'=19^\circ$ $\gamma = 2,125$	SPT = 24 c' = 0,08 $\varphi' = 16$ $\gamma = 2,05$
SABBIE GIALLE	1F	Rif. 48 47	-	-	SPT = 42 $\varphi' = 38$ $\gamma = 1,9$
	2F	74 42 Rif.	-	-	
CALCARENITI DI VOLTERRA	18F	Numero di colpi compreso tra 20 e 30 SPT _{eq.} compreso tra 30 e 45			SPT = 35 c' ≥ 0,1 $\varphi' = 37$ $\gamma = 2,0$
	19F				
DETRITO	156	10	C1	$c=1,27$; $\varphi=10^\circ$ $\gamma = 1,99$	SPT = 7 cu = 1,2 c' = 0,17 $\varphi' = 19$ $\gamma = 2,0$
	212	-	C1	$c'=0,153$; $\varphi'=21^\circ$ $\gamma = 1,907$	
	4	15	C1	cu=1,74 $c'=0,17$; $\varphi'=19^\circ$ $\gamma = 2,044$	
	3	15	C1	cu=2,68 $c'=0,3$; $\varphi'=26^\circ$ $\gamma = 2,041$	
	6	29 7	C1	cu=2,44 $c'=0,42$; $\varphi'=17^\circ$ $\gamma = 2,076$	
			C2	$\gamma = 2,083$	
C3			cu=1,38 $c'=0,20$; $\varphi'=22^\circ$ $\gamma = 2,042$		
RIFIUTI DI ALABASTRO	S2	21 20	-	-	SPT = 20 $\varphi' = 30$ $\gamma = 1,9$

c = coesione derivante da prova di taglio non drenato, φ = angolo di attrito derivante da prova di taglio non drenato, cu = coesione non drenata, c' = coesione efficace da prova di taglio consolidata drenata, φ' = angolo di attrito efficace da prova di taglio consolidata drenata, γ = peso di volume allo stato naturale.

METODO DI CALCOLO

Introduzione all'analisi di stabilità

La risoluzione di un problema di stabilità richiede la presa in conto delle equazioni di campo e dei legami costitutivi. Le prime sono di equilibrio, le seconde descrivono il comportamento del terreno. Tali equazioni risultano particolarmente complesse in quanto i terreni sono dei sistemi multifase, che possono essere ricondotti a sistemi monofase solo in condizioni di terreno secco, o di analisi in condizioni drenate.

Nella maggior parte dei casi ci si trova a dover trattare un materiale che se saturo è per lo meno bifase, ciò rende la trattazione delle equazioni di equilibrio notevolmente complicata. Inoltre è praticamente impossibile definire una legge costitutiva di validità generale, in quanto i terreni presentano un comportamento non-lineare già a piccole deformazioni, sono anisotropi ed inoltre il loro comportamento dipende non solo dallo sforzo deviatorico ma anche da quello normale. A causa delle suddette difficoltà vengono introdotte delle ipotesi semplificative:

- (a) Si usano leggi costitutive semplificate: modello rigido perfettamente plastico. Si assume che la resistenza del materiale sia espressa unicamente dai parametri coesione (c) e angolo di resistenza al taglio (φ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si suppone valido il criterio di rottura di Mohr-Coulomb.
- (b) In alcuni casi vengono soddisfatte solo in parte le equazioni di equilibrio.

Metodo equilibrio limite (LEM)

Il metodo dell'equilibrio limite consiste nello studiare l'equilibrio di un corpo rigido, costituito dal pendio e da una superficie di scorrimento di forma qualsiasi (linea retta, arco di cerchio, spirale logaritmica); da tale equilibrio vengono calcolate le tensioni da taglio (t) e confrontate con la resistenza disponibile (t_f), valutata secondo il criterio di rottura di *Coulomb*, da tale confronto ne scaturisce la prima indicazione sulla stabilità attraverso il coefficiente di sicurezza $F = t_f / t$.

Tra i metodi dell'equilibrio limite alcuni considerano l'equilibrio globale del corpo rigido (*Culman*), altri a causa della non omogeneità dividono il corpo in conci considerando l'equilibrio di ciascuno (*Fellenius, Bishop, Janbu ecc.*).

Di seguito vengono discussi i metodi dell'equilibrio limite dei conci.

Metodo dei conci

La massa interessata dallo scivolamento viene suddivisa in un numero conveniente di conci. Se il numero dei conci è pari a n , il problema presenta le seguenti incognite:

n valori delle forze normali N_j agenti sulla base di ciascun concio;

n valori delle forze di taglio alla base del concio T_j

$(n-1)$ forze normali E_j agenti sull'interfaccia dei conci;

$(n-1)$ forze tangenziali X_j agenti sull'interfaccia dei conci;

n valori della coordinata a che individua il punto di applicazione delle E_j ;

$(n-1)$ valori della coordinata che individua il punto di applicazione delle X_j ;

una incognita costituita dal fattore di sicurezza F .

Complessivamente le incognite sono $(6n-2)$.

mentre le equazioni a disposizione sono:

Equazioni di equilibrio dei momenti n

Equazioni di equilibrio alla traslazione verticale n

Equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale n

Equazioni relative al criterio di rottura n
 Totale numero di equazioni $4n$

Il problema è staticamente indeterminato ed il grado di indeterminazione è pari a

$$i = (6n-2)-(4n) = 2n-2.$$

Il grado di indeterminazione si riduce ulteriormente a $(n-2)$ in quando si fa l'assunzione che N_i sia applicato nel punto medio della striscia, ciò equivale ad ipotizzare che le tensioni normali totali siano uniformemente distribuite. I diversi metodi che si basano sulla teoria dell'equilibrio limite si differenziano per il modo in cui vengono eliminate le $(n-2)$ indeterminazioni

Metodo di BISHOP (1955)

Con tale metodo non viene trascurato nessun contributo di forze agenti sui blocchi e fu il primo a descrivere i problemi legati ai metodi convenzionali.

Le equazioni usate per risolvere il problema sono:

$\Sigma F_v = 0, \Sigma M_0 = 0$, Criterio di rottura.

$$F = \frac{\Sigma \{ c_i \times b_i + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i \} \times \frac{\sec \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i / F}}{\Sigma W_i \times \sin \alpha_i}$$

I valori di F e di DX per ogni elemento che soddisfano questa equazione danno una soluzione rigorosa al problema. Come prima approssimazione conviene porre $DX = 0$ ed iterare per il calcolo del fattore di sicurezza, tale procedimento è noto come metodo di **Bishop ordinario**, gli errori commessi rispetto al metodo completo sono di circa 1 %.

Metodo di MORGENSTERN e PRICE

Si stabilisce una relazione tra le componenti delle forze di interfaccia del tipo $X = \lambda f(x)E$, dove λ è un fattore di scala e $f(x)$, funzione della posizione di E e di X , definisce una relazione tra la variazione della forza X e della forza E all'interno della massa scivolante. La funzione $f(x)$ è scelta arbitrariamente (costante, sinusoidale, semisinusoidale, trapezia, spezzata...) e influenza poco il risultato, ma va verificato che i valori ricavati per le incognite siano fisicamente accettabili.

La particolarità del metodo è che la massa viene suddivisa in strisce infinitesime alle quali vengono imposte le equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale e verticale e di rottura sulla base delle strisce stesse. Si perviene ad una prima equazione differenziale che lega le forze d'interfaccia incognite E, X , il coefficiente di sicurezza F_s , il peso della striscia infinitesima dW e la risultante delle pressioni neutra alla base dU .

Si ottiene la cosiddetta "equazione delle forze":

$$c' \sec^2 \frac{\alpha}{F_s} + \operatorname{tg} \varphi' \left(\frac{dW}{dx} - \frac{dX}{dx} - \operatorname{tg} \alpha \frac{dE}{dx} - \sec \alpha \frac{dU}{dx} \right) =$$

$$= \frac{dE}{dx} - \operatorname{tg} \alpha \left(\frac{dX}{dx} - \frac{dW}{dx} \right)$$

Una seconda equazione, detta "equazione dei momenti", viene scritta imponendo la condizione di equilibrio alla rotazione rispetto alla mezzeria della base:

$$X = \frac{d(E_\gamma)}{dx} - \gamma \frac{dE}{dx}$$

queste due equazioni vengono estese per integrazione a tutta la massa interessata dallo scivolamento.

Il metodo di calcolo soddisfa tutte le equazioni di equilibrio ed è applicabile a superfici di qualsiasi forma, ma implica necessariamente l'uso di un calcolatore.

VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

Nelle verifiche agli Stati Limite Ultimi la stabilità dei pendii nei confronti dell'azione sismica viene eseguita con il metodo pseudo-statico. Per i terreni che sotto l'azione di un carico ciclico possono sviluppare pressioni interstiziali elevate viene considerato un aumento in percento delle pressioni neutre che tiene conto di questo fattore di perdita di resistenza.

Ai fini della valutazione dell'azione sismica, nelle verifiche agli stati limite ultimi, vengono considerate le seguenti forze statiche equivalenti:

$$F_H = K_o \cdot W$$

$$F_V = K_v \cdot W$$

Essendo:

F_H e F_V rispettivamente la componente orizzontale e verticale della forza d'inerzia

applicata al baricentro del concio;

W: peso concio

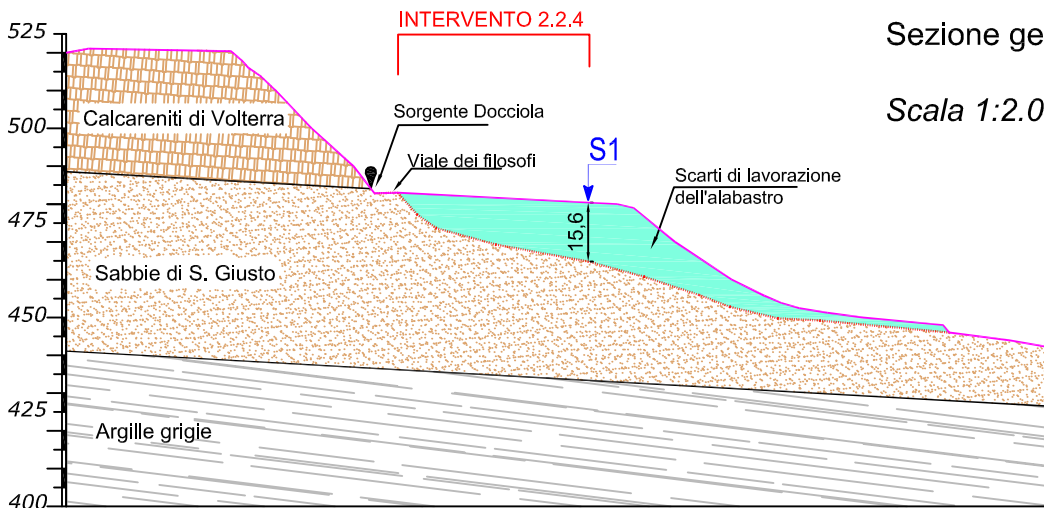
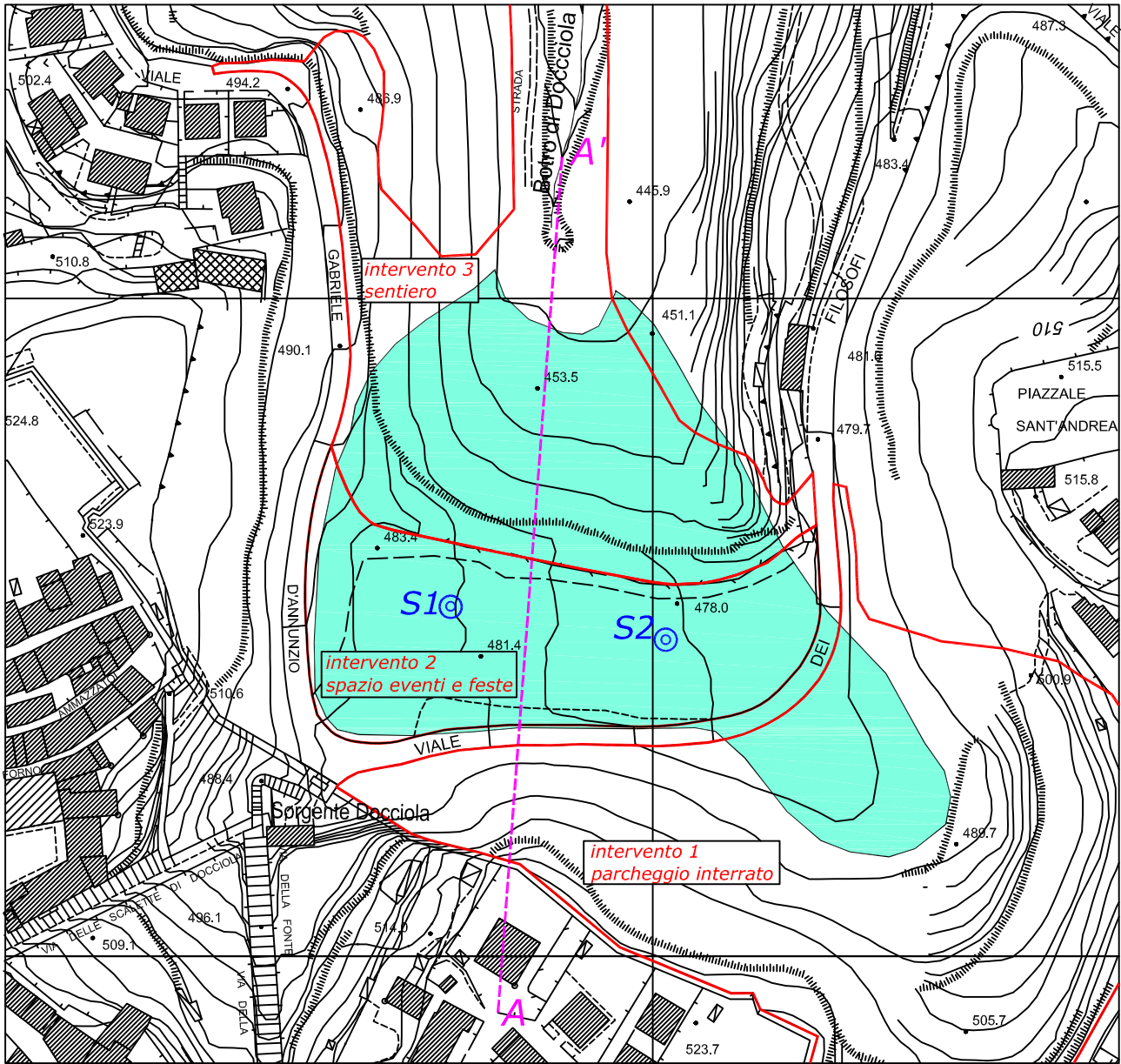
K_o : Coefficiente sismico orizzontale

K_v : Coefficiente sismico verticale.

PLANIMETRIA GENERALE

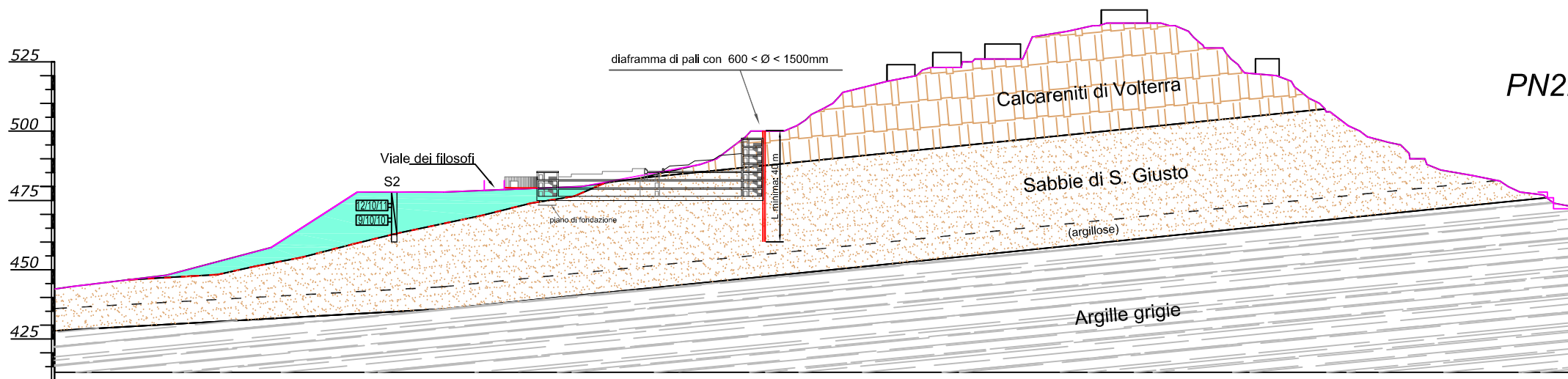
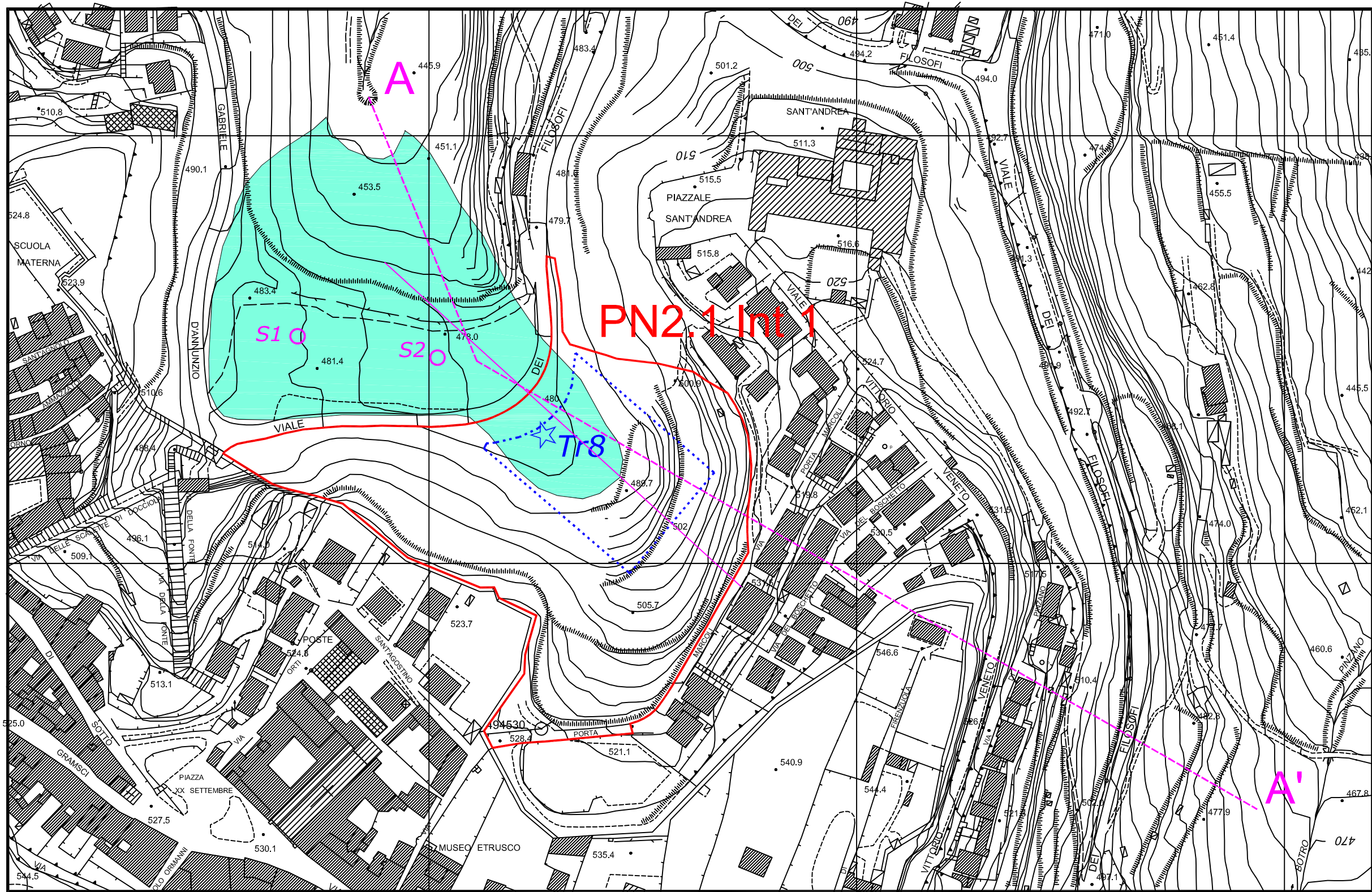
PN2.1 Docciaola, intervento 2: Spazio Eventi e feste

Scala 1:2.000



Sezione geolitologica A - A'

Scala 1:2.000



PLANIMETRIA GENERALE
 PN2.1 Docciola, intervento 1: Parcheggio
 interrato su quattro livelli
 Scala 1:2.000

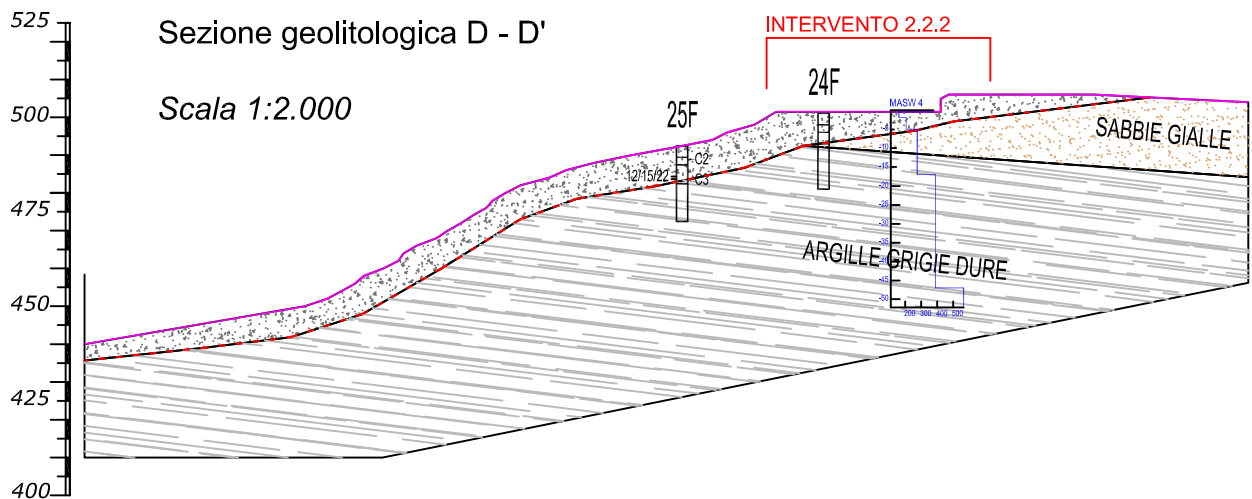
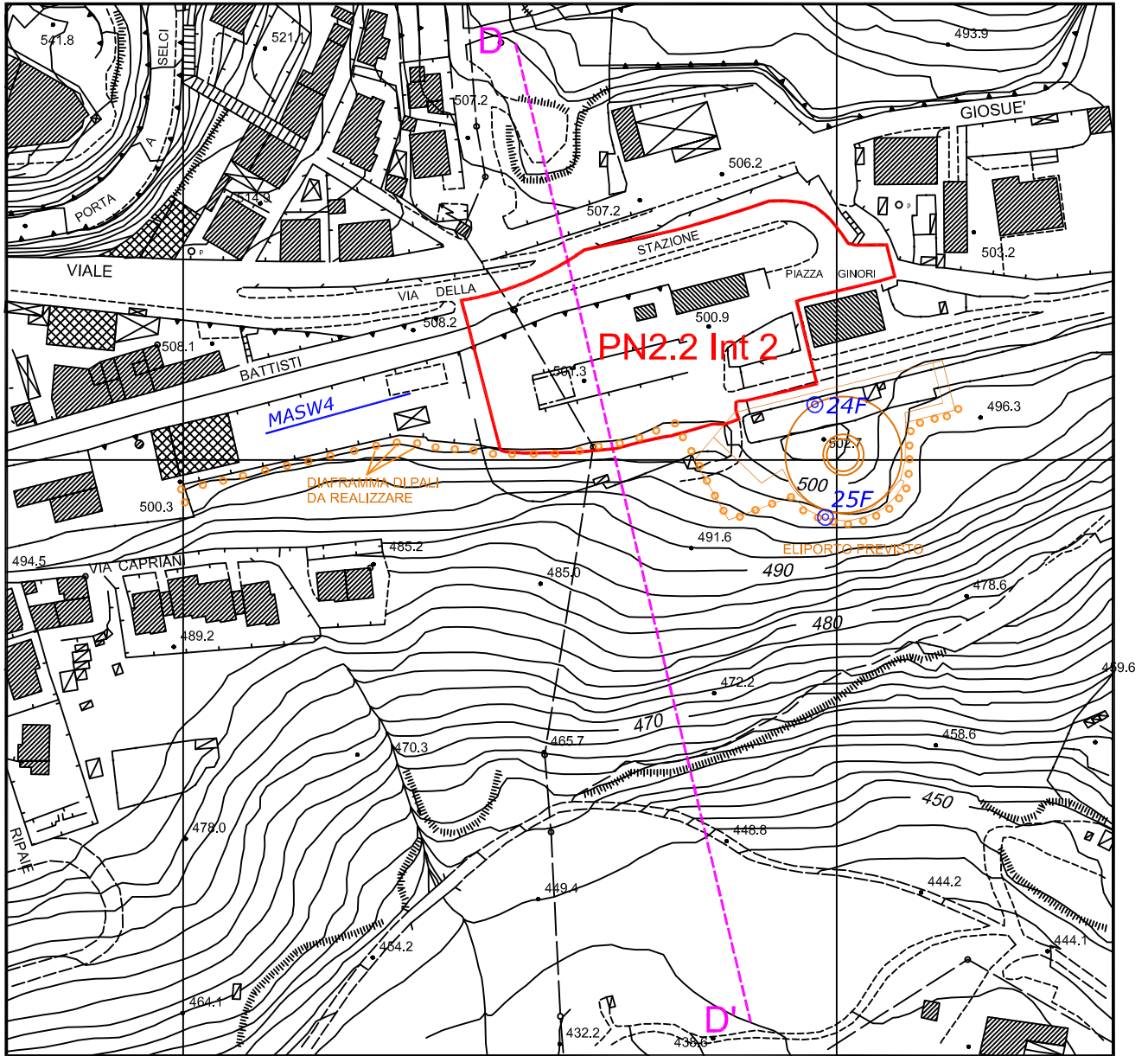
Sezione geolitologica A - A'

Scala 1:2.000

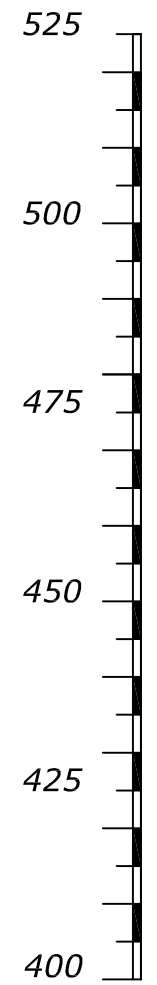
PLANIMETRIA GENERALE

PN2.2 dalla Stazione alla Badia, intervento 2: Parcheggio interrato su due livelli

Scala 1:2.000

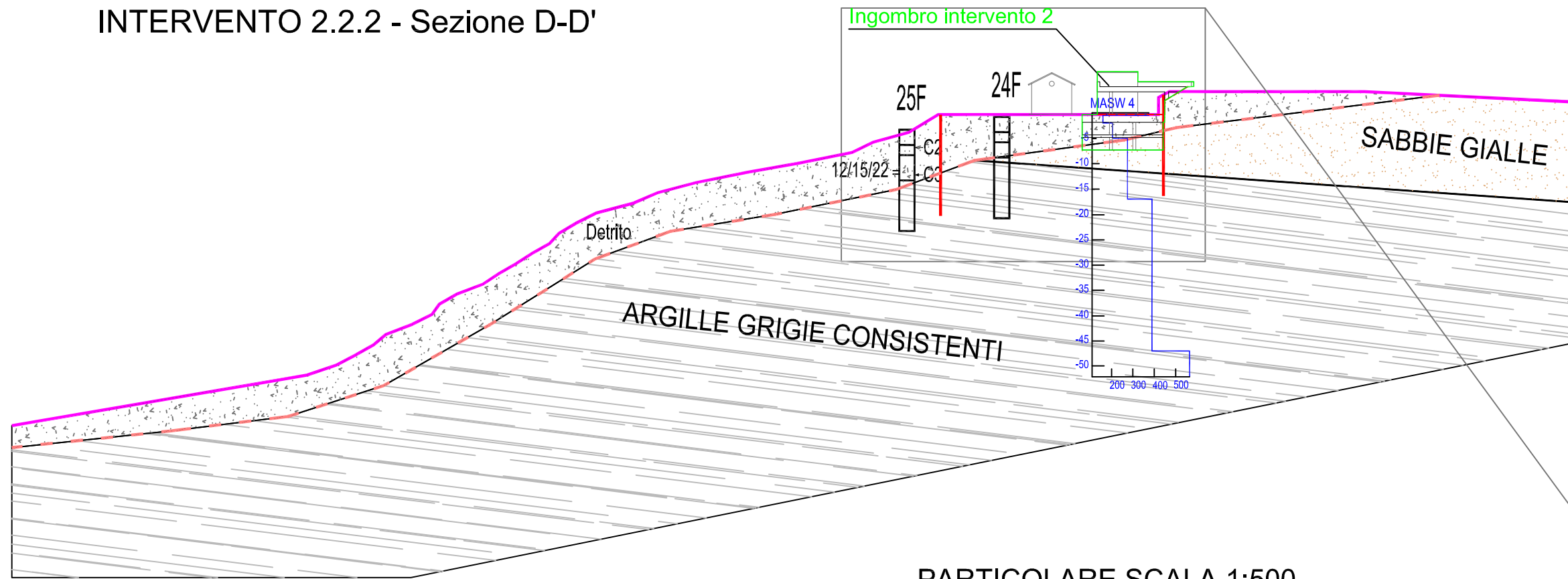


m s.l.m.

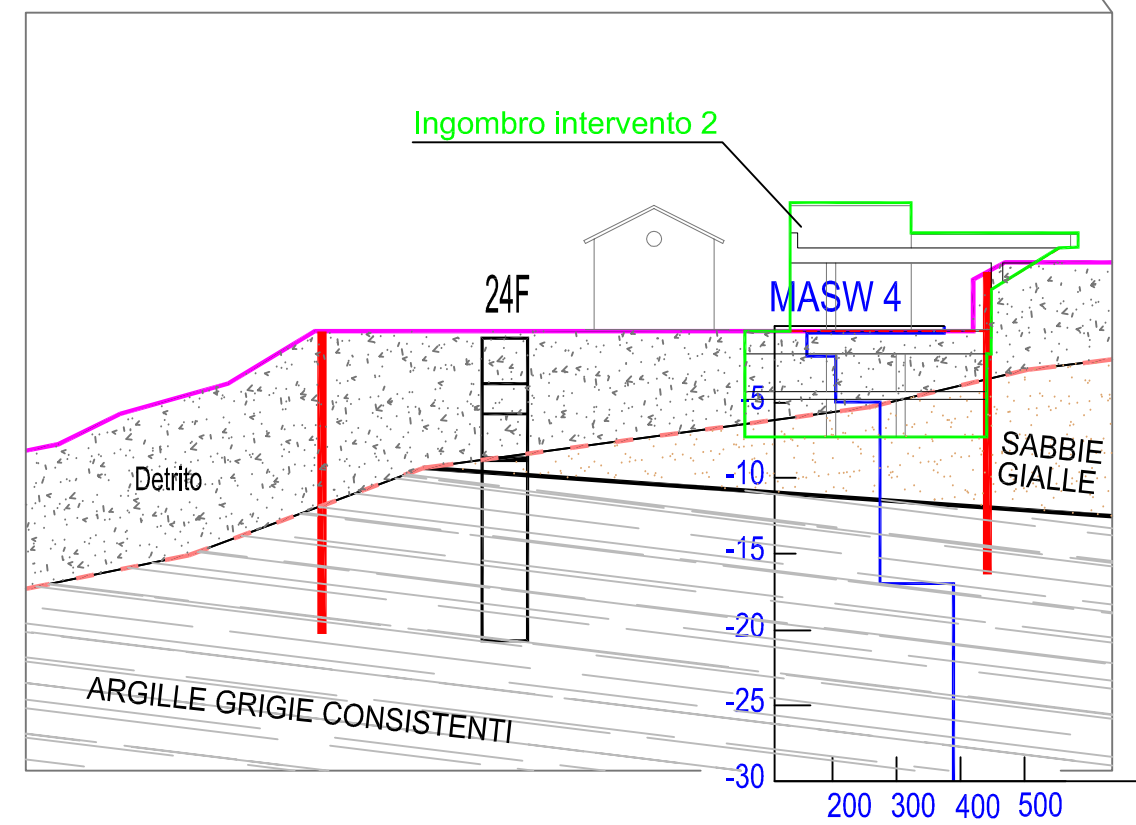


SEZIONE GEOLITOLOGICA *Scala 1:1.000*

INTERVENTO 2.2.2 - Sezione D-D'

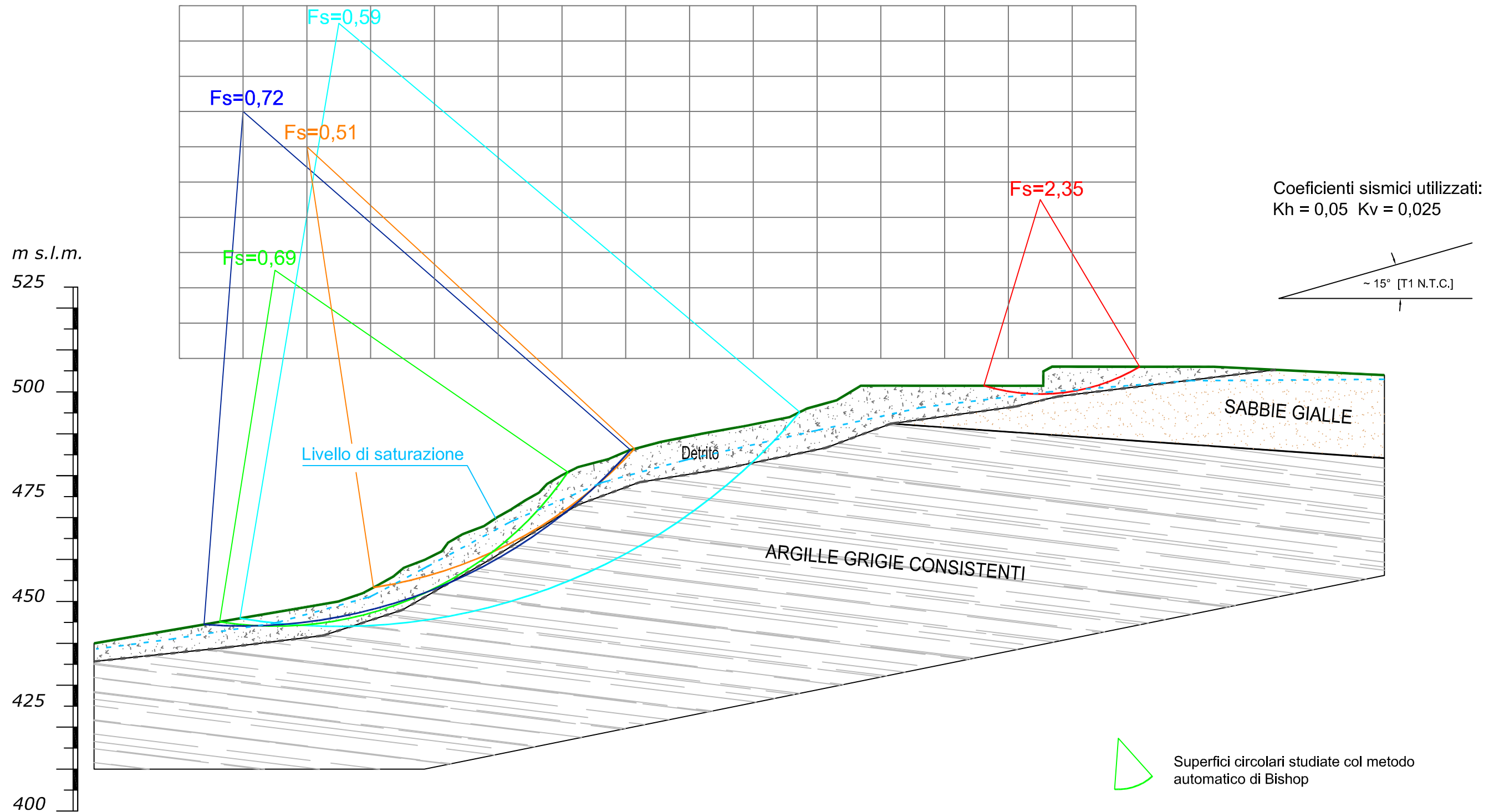


PARTICOLARE SCALA 1:500



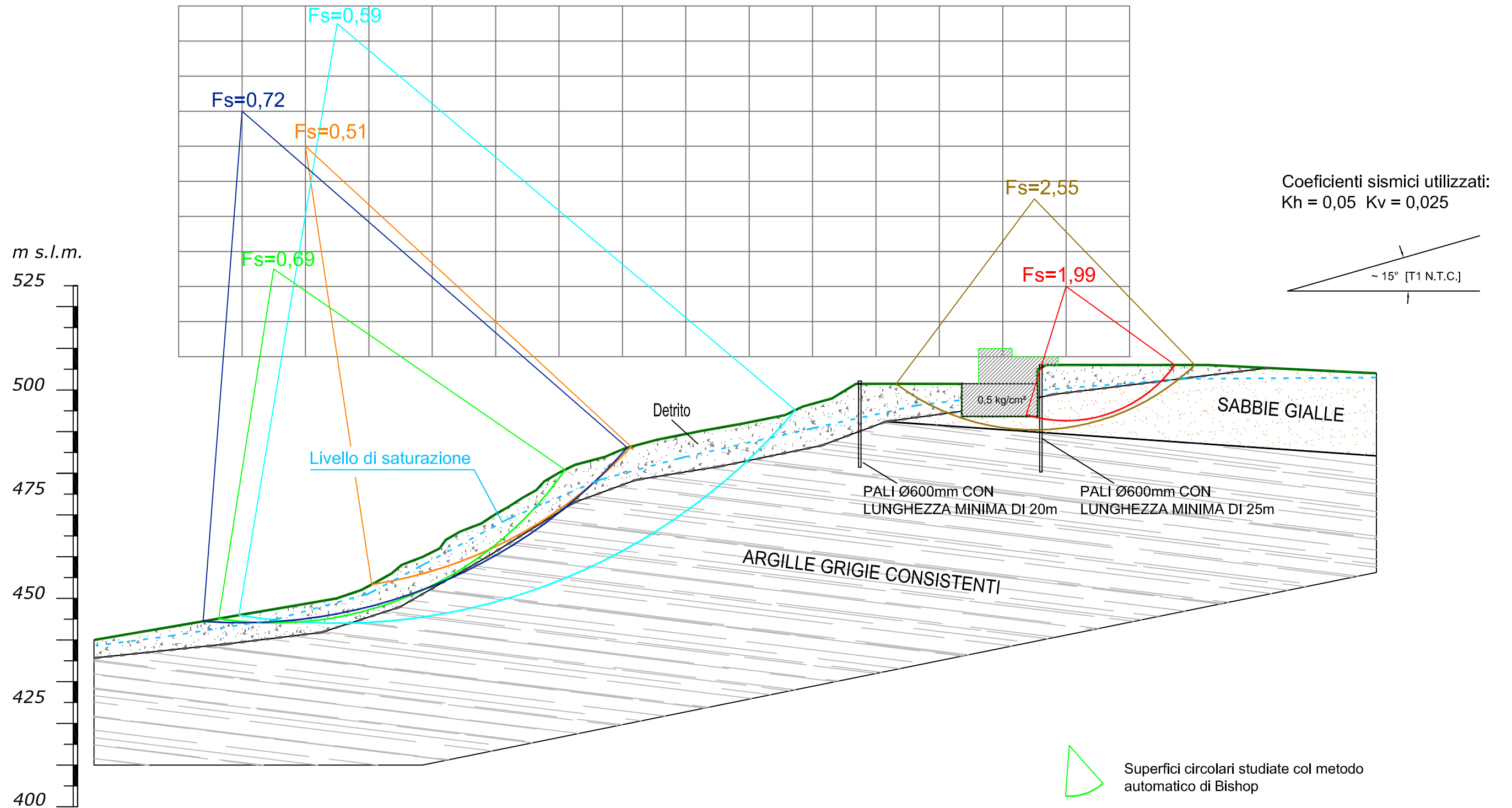
STATO ATTUALE - CONDIZIONI DRENATE E SISMICHE

INTERVENTO 2.2.2 - Sezione D-D'



IPOPETICO STATO MODIFICATO - CONDIZIONI DRENATE E SISMICHE

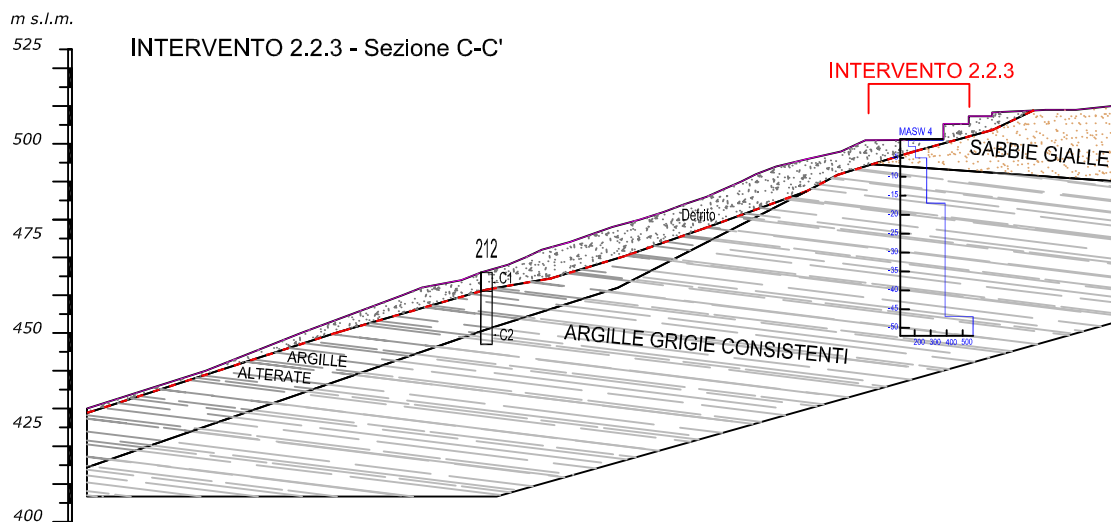
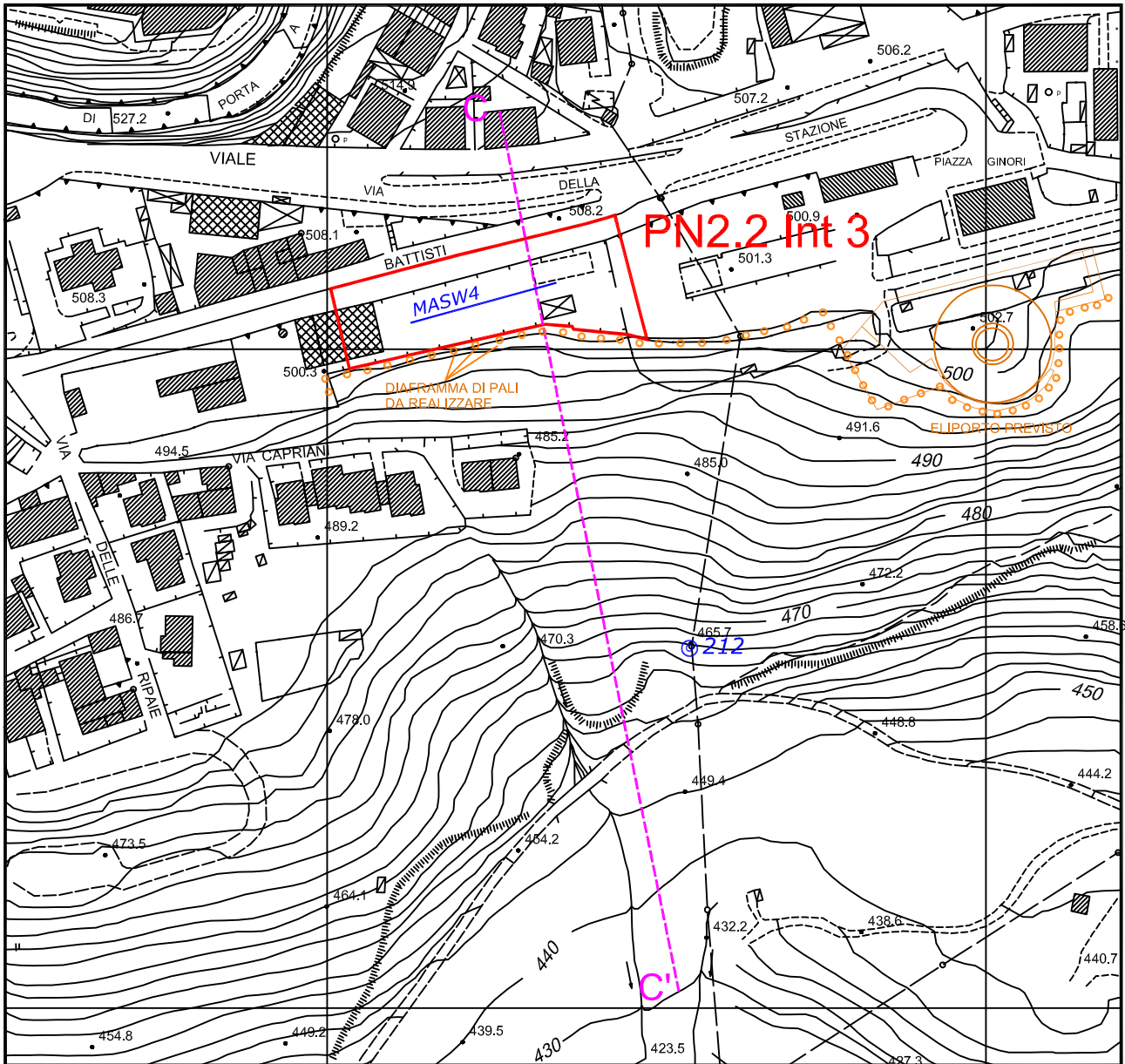
INTERVENTO 2.2.2 - Sezione D-D'



PLANIMETRIA GENERALE

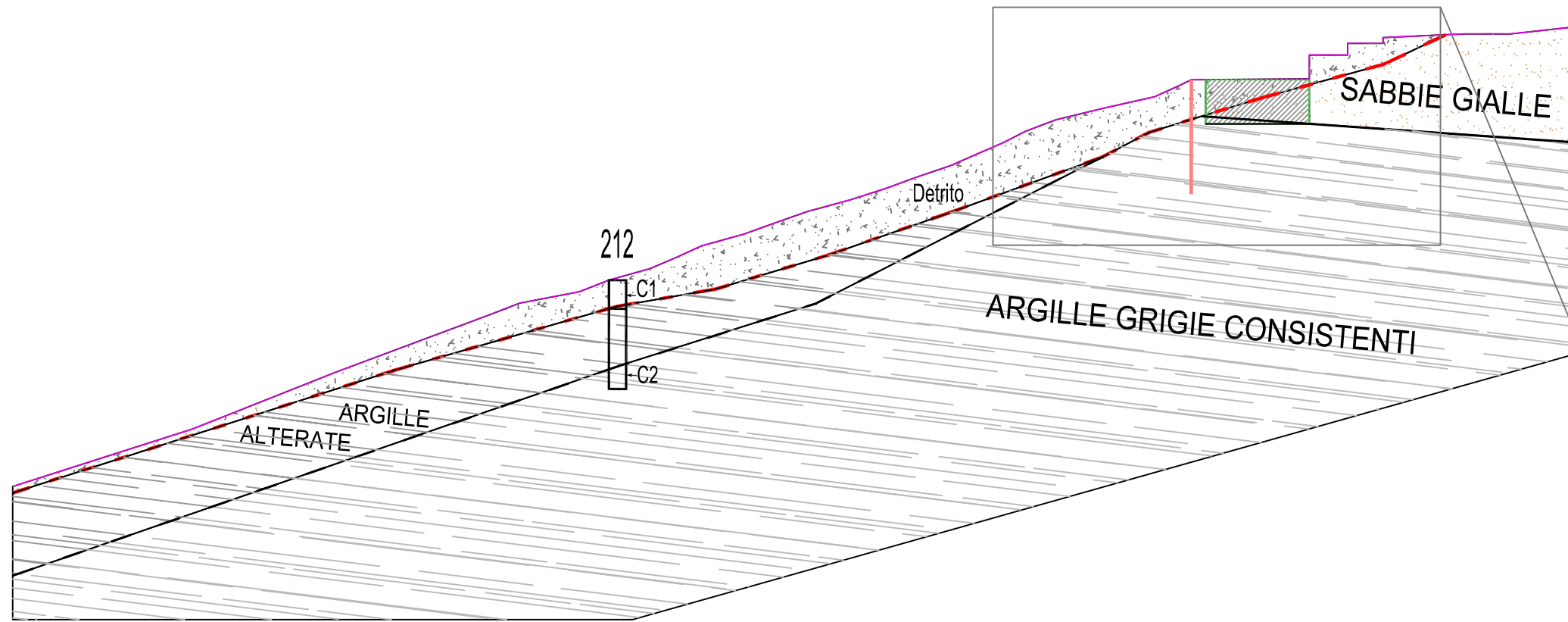
PN2.2 dalla Stazione alla Badia, intervento 3: Parcheggio interrato su due livelli

Scala 1:2.000

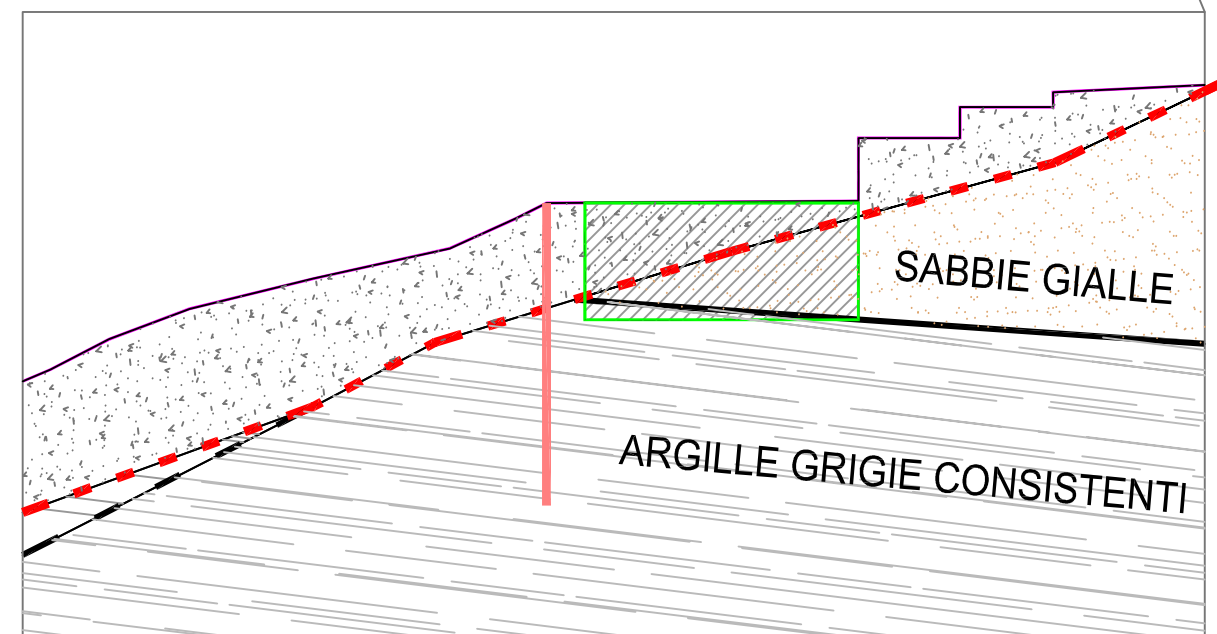


SEZIONE GEOLITOLOGICA *Scala 1:1.000*
INTERVENTO 2.2.3 - Sezione C-C'

m s.l.m.
525
500
475
450
425
400

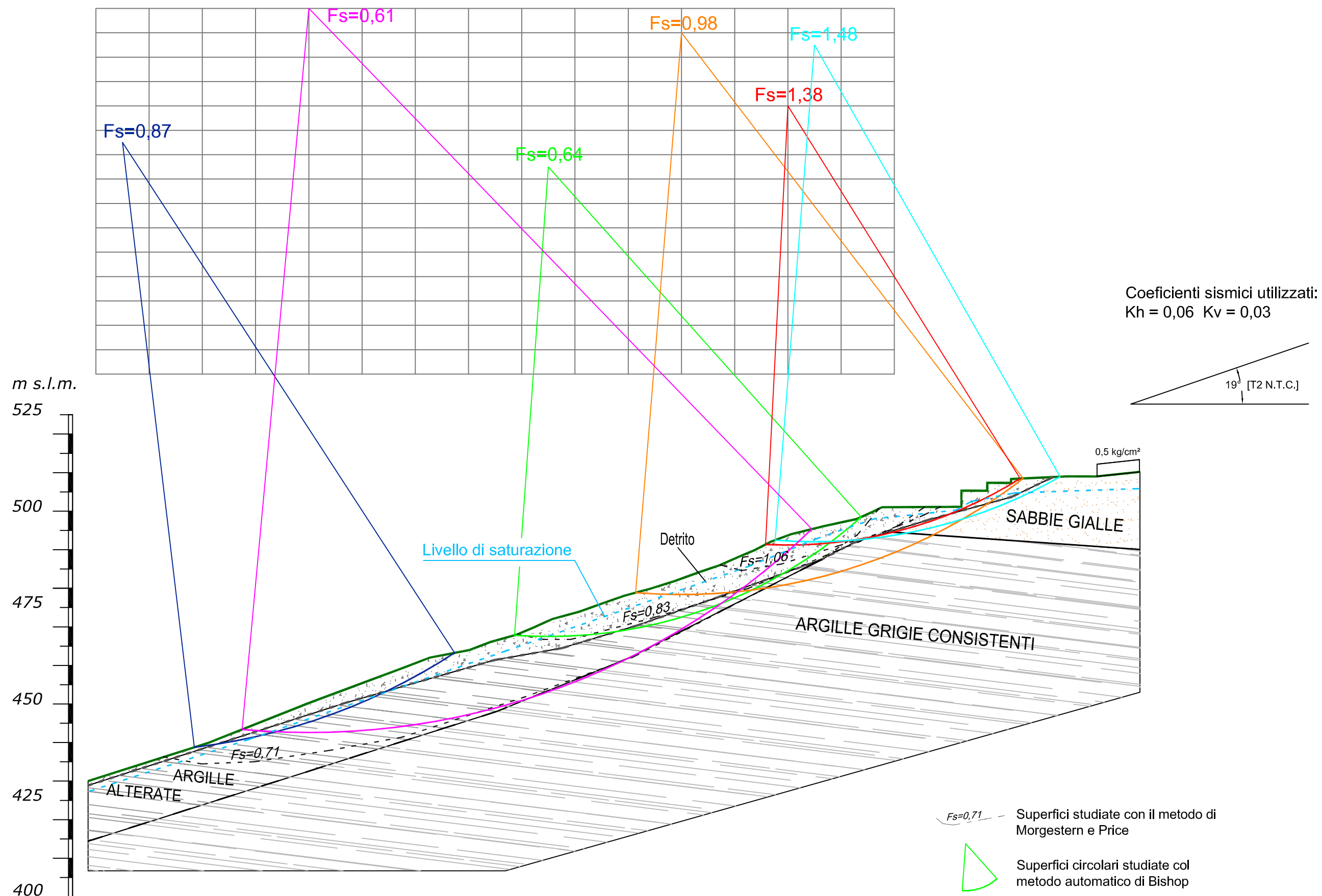


PARTICOLARE SCALA 1:500



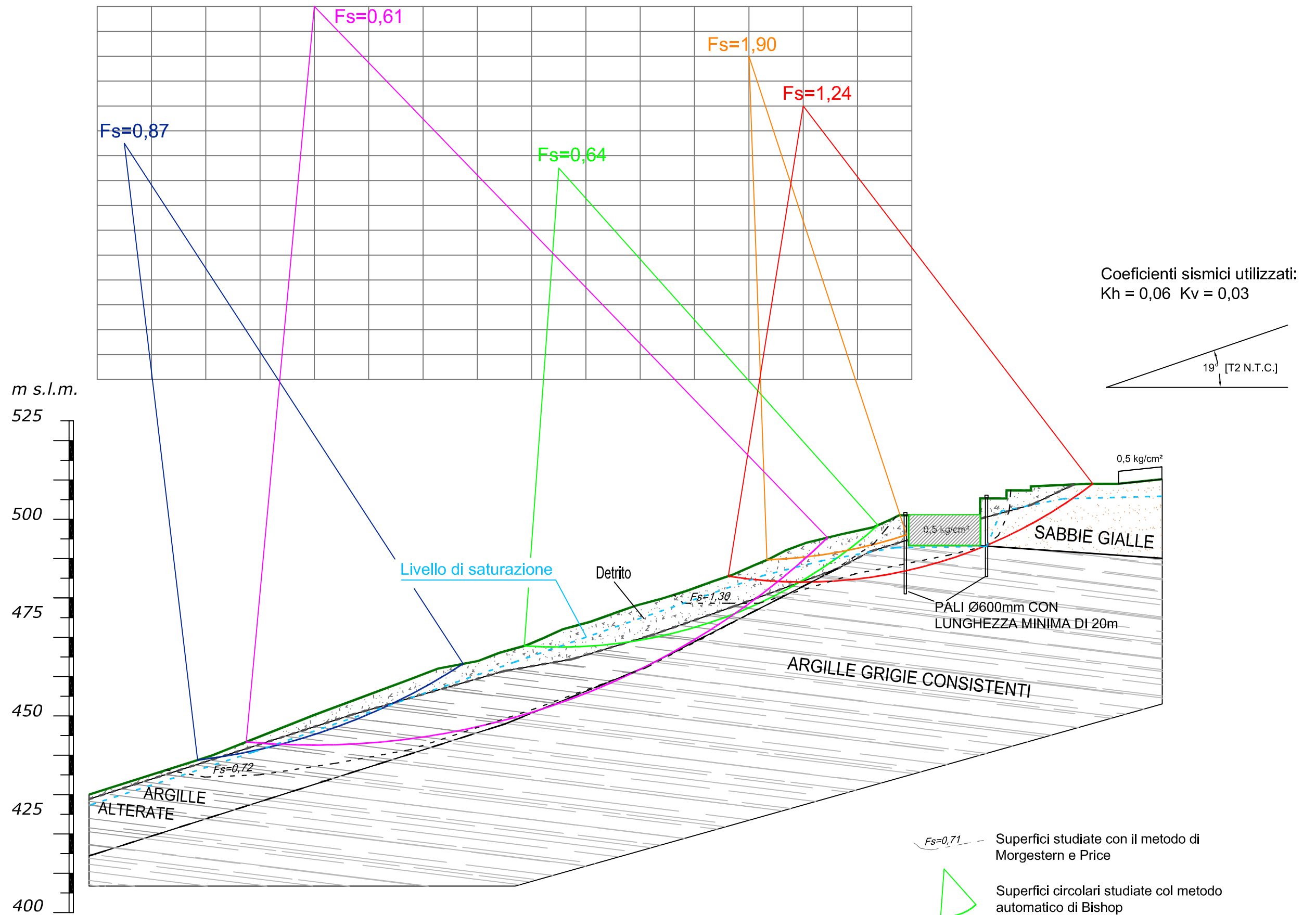
STATO ATTUALE - CONDIZIONI DRENATE E SISMICHE

INTERVENTO 2.2.3 - Sezione C-C'



I POTETICO STATO MODIFICATO - CONDIZIONI DRENATE E SISMICHE

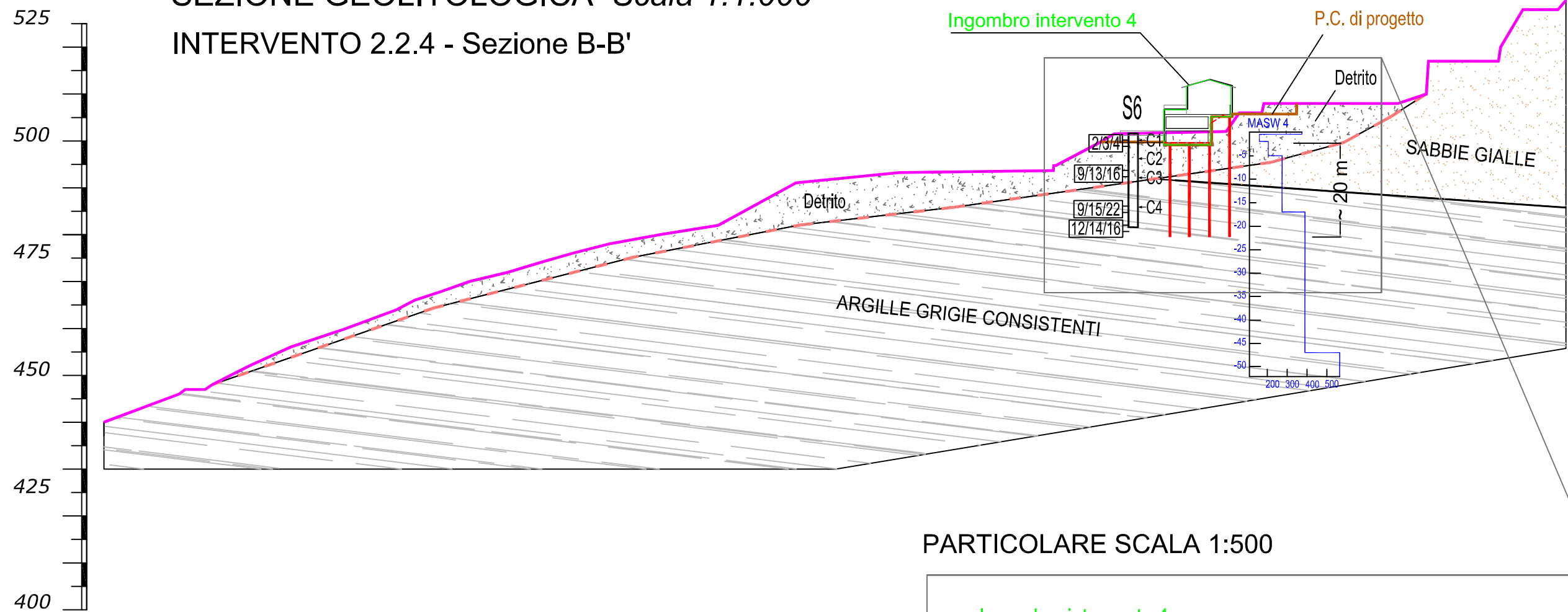
INTERVENTO 2.2.3 - Sezione C-C'



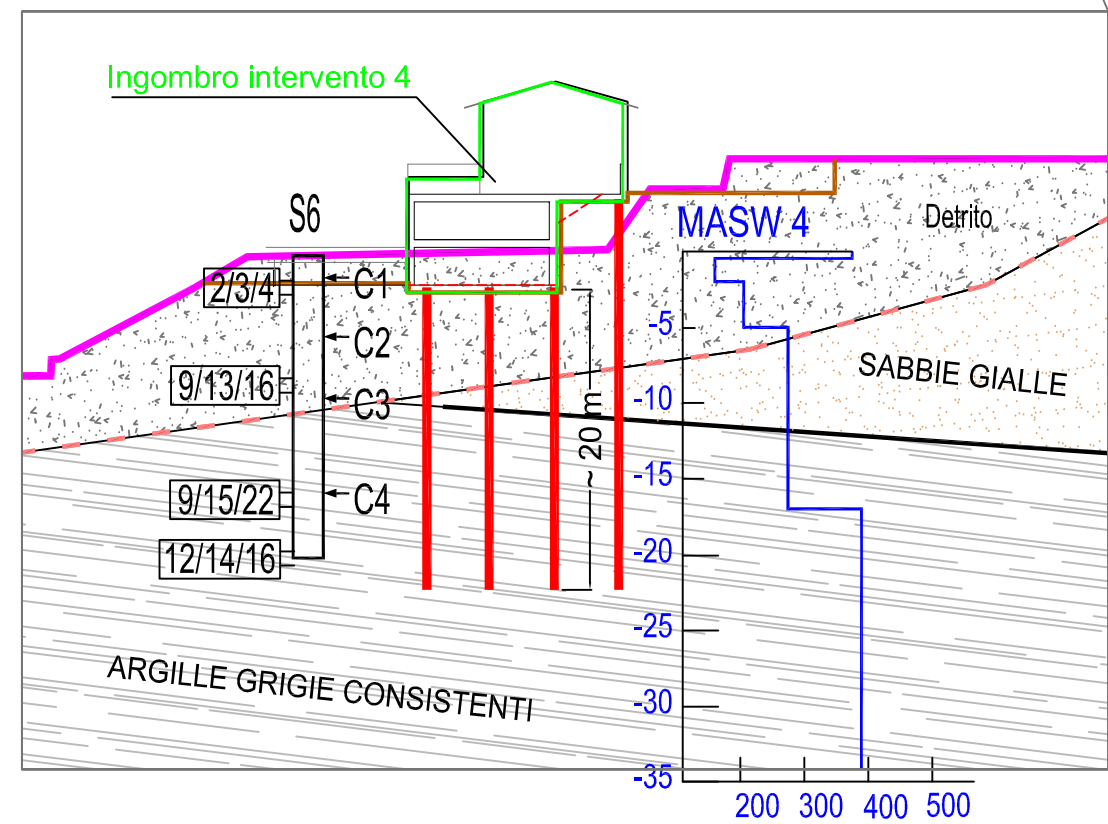
m s.l.m.

SEZIONE GEOLITOLOGICA Scala 1:1.000

INTERVENTO 2.2.4 - Sezione B-B'

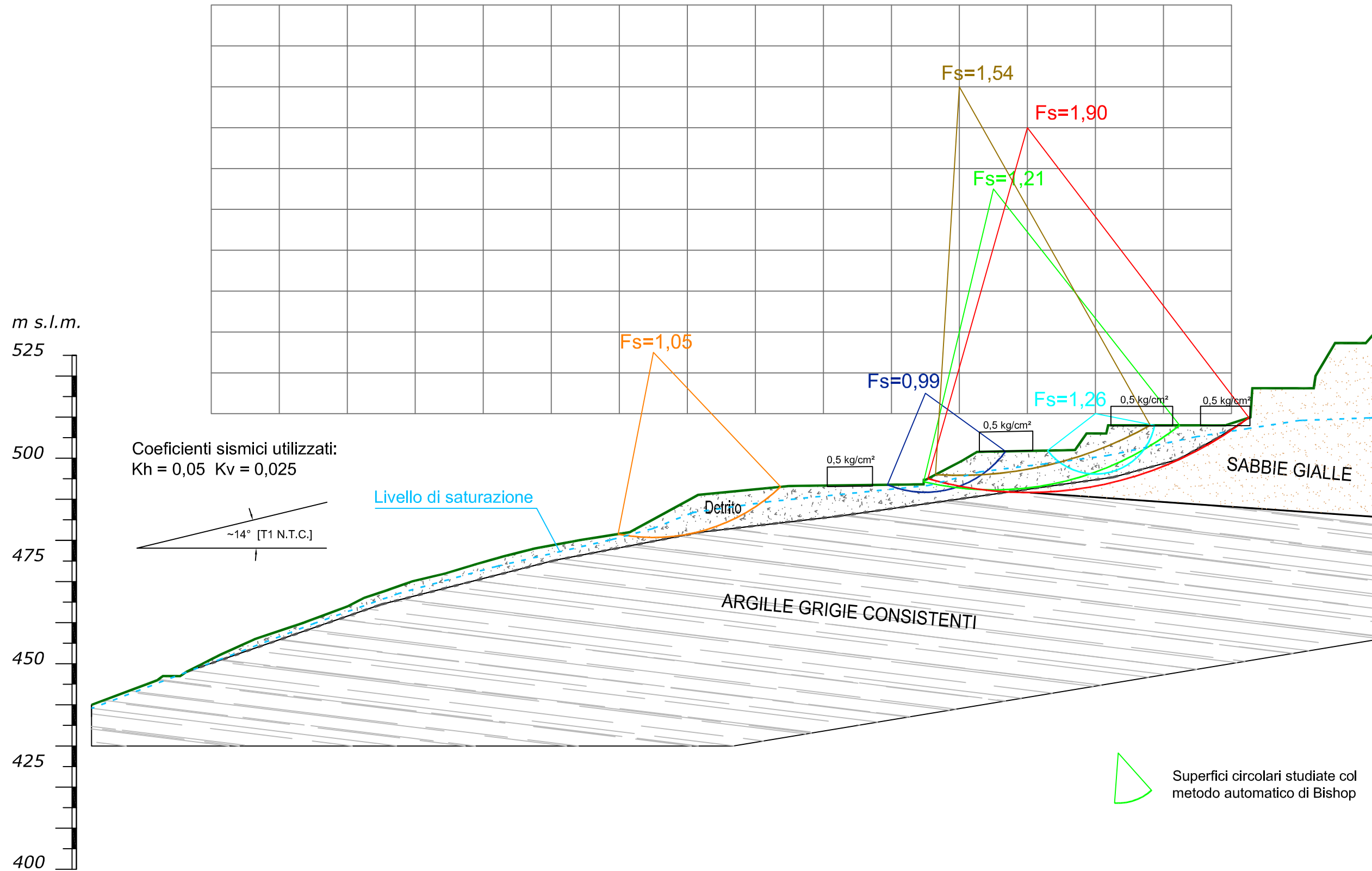


PARTICOLARE SCALA 1:500



STATO ATTUALE - CONDIZIONI DRENATE E SISMICHE

INTERVENTO 2.2.4 - Sezione B-B'



SEZIONI GEOLITOLOGICHE *Scala 1:1.000*

INTERVENTO 2.2.4 - Sezione B-B'

