



Prof. Aurelio Gherzi - [www.dica.unict.it/users/agherzi/](http://www.dica.unict.it/users/agherzi/)

SPOLETO

22-23 settembre 2017



## MECCANICA DELLE FRANE E METODOLOGIE DI CONSOLIDAMENTO

### 1- INTRODUZIONE

Romolo Di Francesco - [www.romolodifrancesco.it](http://www.romolodifrancesco.it)



# 1) MODELLAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA DELLE FRANE IN EMERGENZA



Viviamo in un paese a forte rischio idrogeologico non solo per il pericolo insito nelle alluvioni, ma anche - e forse soprattutto - per le frane.

Il problema sembra aver subito un'accelerazione negli ultimi anni, forse per le presunte mutate condizioni climatiche o, più probabilmente, per l'eccessivo sfruttamento del suolo.

Ciò richiede che siano sviluppate nuove professionalità, con tecnici capaci di intervenire tempestivamente nello studio delle neo-frane o di quelle riattivate, capaci di modellare la geometria e la meccanica di una frana in tempi molto brevi ... anche dell'ordine delle ore



## 1) MODELLAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA DELLE FRANE IN EMERGENZA





## 1) MODELLAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA DELLE FRANE IN EMERGENZA





## 1) MODELLAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA DELLE FRANE IN EMERGENZA





# 1) MODELLAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA DELLE FRANE IN EMERGENZA

**SEZIONE STRATIGRAFICA FRANA MIANO**  
**(febbraio 2017) - scala 1:100**



— Suolo agrario

categoria di sottosuolo: B  
categoria topografica: T2

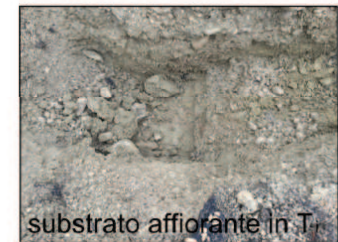
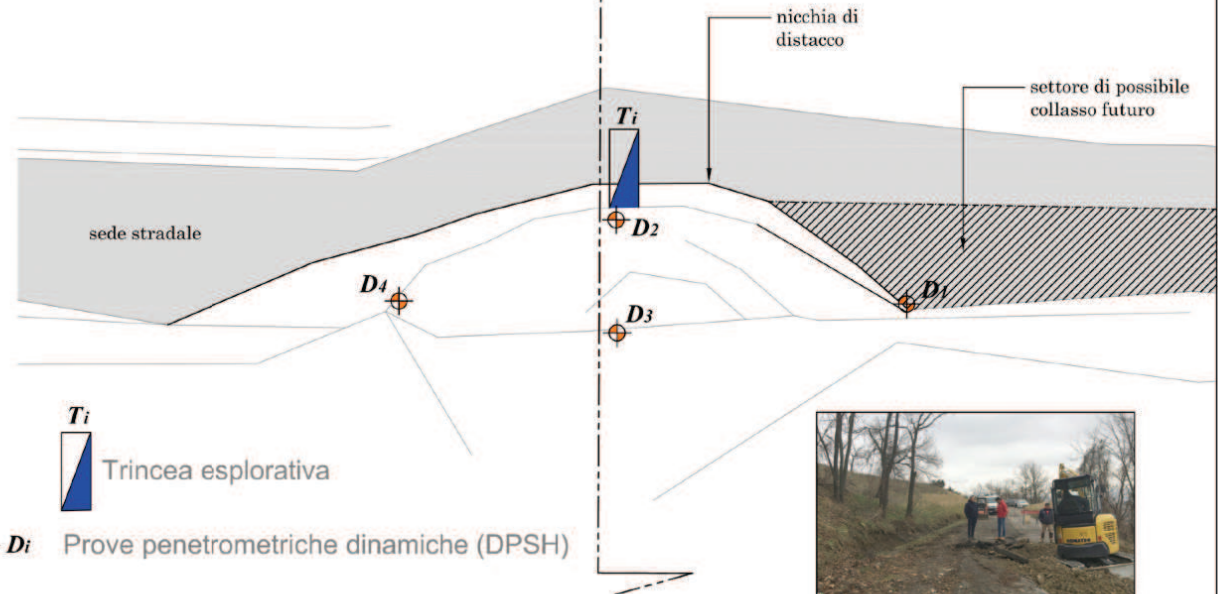
sede stradale

 $T_i$ 

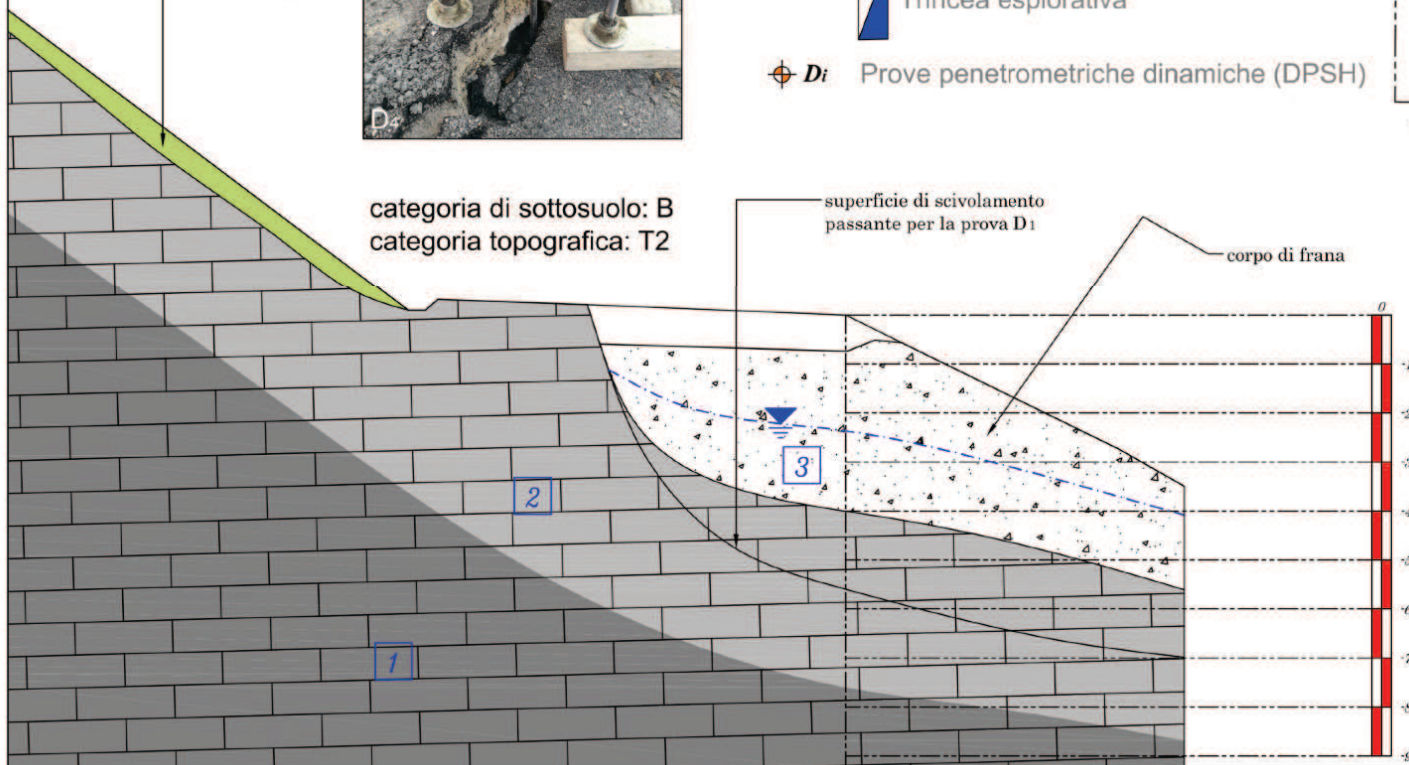
### Trincea esplorativa

 **Di** Prove penetrometriche dinamiche (DPSH)

**UBICAZIONE INDAGINI**  
**scala 1:200**



substrato affiorante in T<sub>1</sub>



1 Substrato integro			2 Substrato alterato			3 Corpo di frana		
$\phi$	25°	D	$\phi$	25°	D	$\phi$	21°	D
$c'$	30 kPa		$c'$	20 kPa		$c'$	0 kPa	
$\phi_u$	----	ND	$\phi_u$	----	ND	$\phi_u$	----	ND
$S_u$	----		$S_u$	----		$S_u$	----	
$\gamma^{nat}$	21.5 kN/mc		$\gamma^{nat}$	21.5 kN/mc		$\gamma^{nat}$	18.5 kN/mc	
$E'$	40 MPa		$E'$	18 MPa		$E'$	1.65 MPa	
$\nu$	0.22		$\nu$	0.28		$\nu$	0.39	



## 1) MODELLAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA DELLE FRANE IN EMERGENZA





## 1) MODELLAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA DELLE FRANE IN EMERGENZA





# 1) MODELLAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA DELLE FRANE IN EMERGENZA





## 1) MODELLAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA DELLE FRANE IN EMERGENZA





## 1) MODELLAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA DELLE FRANE IN EMERGENZA





## 1) MODELLAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA DELLE FRANE IN EMERGENZA





## 1) MODELLAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA DELLE FRANE IN EMERGENZA





# 1) MODELLAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA DELLE FRANE IN EMERGENZA

$\odot D_i$  Prove penetrometriche dinamiche (DPSH)

UBICAZIONE INDAGINI  
scala 1:200



5	Corpo di frana	
$\phi$	21°	D
$c'$	0 kPa	
$\phi_u$	----	ND
$S_u$	----	
$\gamma_{nat}$	19 kN/mc	
$E'$	3.5 MPa	
$\nu$	0.39	

4	limi sabbiosi	
$\psi$	22°	D
$c'$	15 kPa	
$\phi_u$	----	ND
$S_u$	----	
$\gamma_{nat}$	18 kN/mc	
$E'$	5.8 MPa	
$\nu$	0.38	

3	limi	
$\phi$	23°	D
$c'$	20 kPa	
$\phi_u$	----	ND
$S_u$	----	
$\gamma_{nat}$	18 kN/mc	
$E'$	9 MPa	
$\nu$	0.35	

2	Marne alterate	
$\phi$	27°	D
$c'$	20 kPa	
$\phi_u$	----	ND
$S_u$	----	
$\gamma_{nat}$	21 kN/mc	
$E'$	19 MPa	
$\nu$	0.28	

1	Marne non alterate	
$\phi$	27°	D
$c'$	30 kPa	
$\phi_u$	----	N
$S_u$	----	
$\gamma_{nat}$	21.6 kN/mc	
$E'$	40 MPa	
$\nu$	0.25	

## LEGENDA

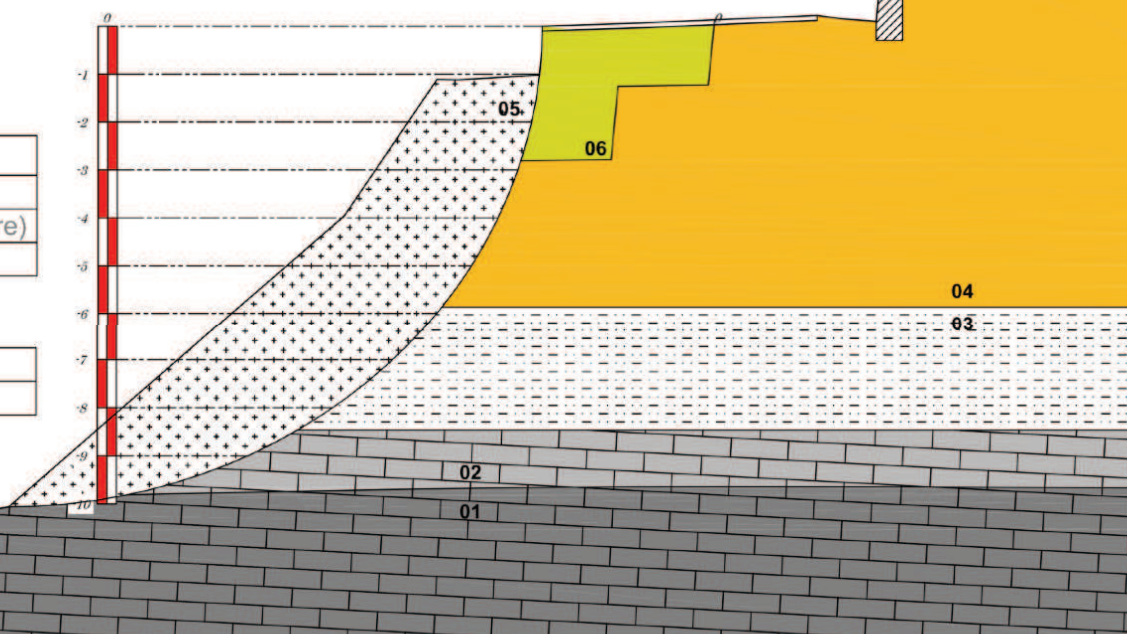
### LITOLOGIA DEL SUBSTRATO

04	Terreni regressivi limo-sabbiosi (Pleistocene inferiore)
03	Terreni regressivi limosi (Pleistocene inferiore)
02	Substrato marnoso alterato (Pliocene-Pleistocene inferiore)
01	Substrato marnoso (Pliocene-Pleistocene inferiore)

### LITOLOGIA DELLA COPERTURA

05	Frana rotazionale
06	Riparto stradale

categoria di sottosuolo: B  
categoria topografica: T3



SEZIONE STRATIGRAFICA - FRANA SP02 COLONNELLA  
(febbraio 2017) - scala 1:100



## 1) MODELLAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA DELLE FRANE IN EMERGENZA





## 1) MODELLAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA DELLE FRANE IN EMERGENZA





## 1) MODELLAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA DELLE FRANE IN EMERGENZA





# 1) MODELLAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA DELLE FRANE IN EMERGENZA

## SEZIONE STRATIGRAFICA FRANA CASTROGNO (febbraio 2017) - scala 1:100

## UBICAZIONE INDAGINI scala 1:200

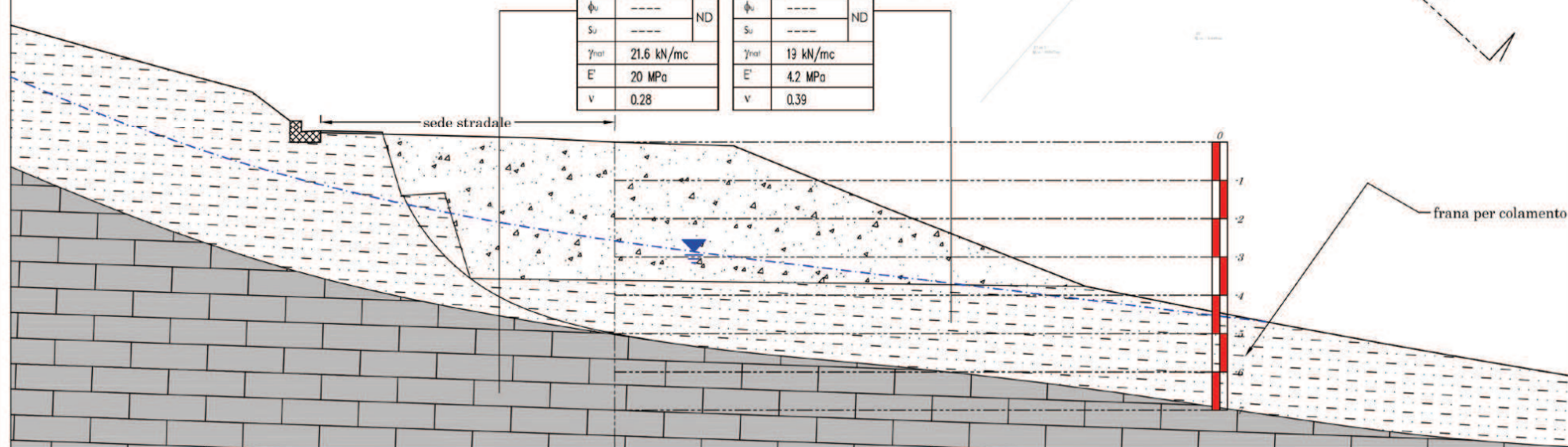


⊕  $D_i$  Prove penetrometriche dinamiche (DPSH)

categoria di sottosuolo: B  
categoria topografica: T2

1	Substrato alterato	
$\phi$	26°	D
$c'$	20 kPa	
$\phi_u$	----	ND
$S_u$	----	
$\gamma_{\text{sat}}$	21.6 kN/mc	
$E'$	20 MPa	
$v$	0.28	

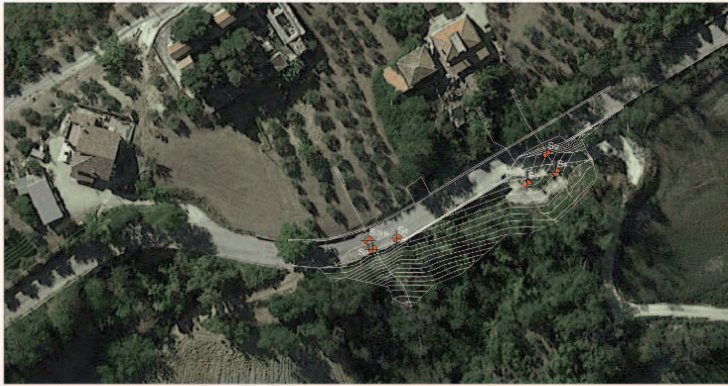
2	Colamento esistente	
$\phi$	22°	D
$c'$	0 kPa	
$\phi_u$	----	ND
$S_u$	----	
$\gamma_{\text{sat}}$	13 kN/mc	
$E'$	4.2 MPa	
$v$	0.39	



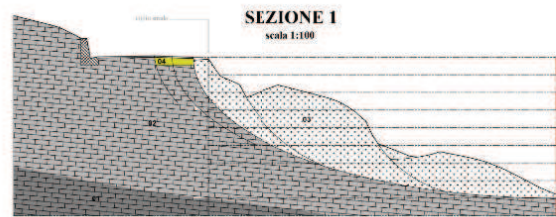


# 1) MODELLAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA DELLE FRANE IN EMERGENZA

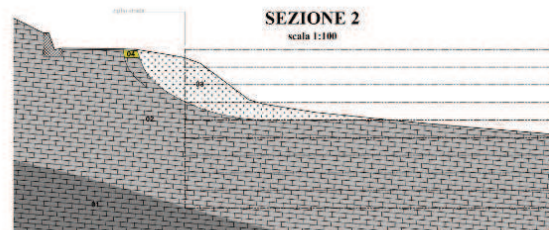
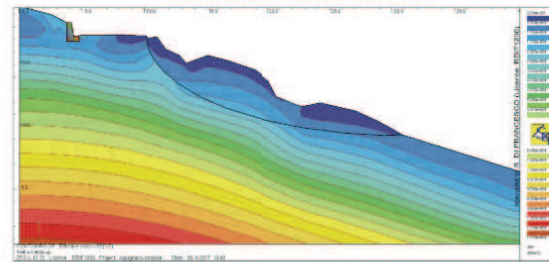
PLANIMETRIA CON UBICAZIONE INDAGINI  
scala 1:500



VISTE AEREE CON SOVRAPPOSIZIONE DEL RILIEVO TOPOGRAFICO



SEZIONE 1: MODELLO DI CALIBRAZIONE  
DEI PARAMETRI MECCANICI



SONDAGGIO 1



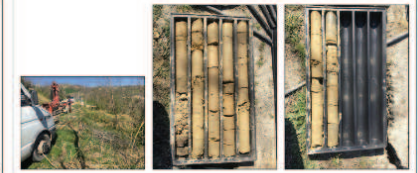
SONDAGGIO 2



SONDAGGIO 4



SONDAGGIO 2bis



SONDAGGIO 3



SONDAGGIO 5



1	2	3
Spessore m	Spessore m	Spessore m
1.00	1.00	1.00
2.00	2.00	2.00
3.00	3.00	3.00
4.00	4.00	4.00
5.00	5.00	5.00
6.00	6.00	6.00
7.00	7.00	7.00
8.00	8.00	8.00
9.00	9.00	9.00
10.00	10.00	10.00

NB: le frane hanno intaccato il substrato, nel senso che le superfici di rottura e scivolamento sono anche all'interno delle marie

**SEZIONE 3**  
scala 1:100





# 1) MODELLAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA DELLE FRANE IN EMERGENZA





# 1) MODELLAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA DELLE FRANE IN EMERGENZA

## SONDAGGIO 2

quota zero



## SONDAGGIO 2bis

quota zero

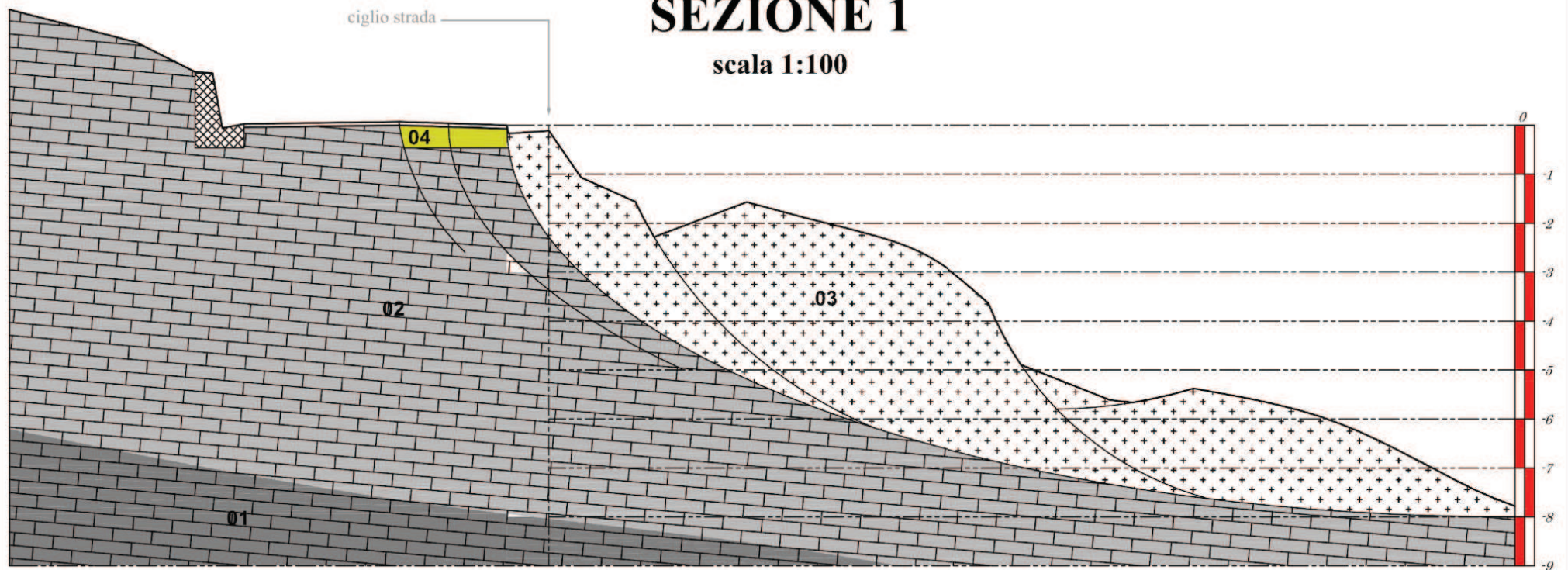




# 1) MODELLAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA DELLE FRANE IN EMERGENZA

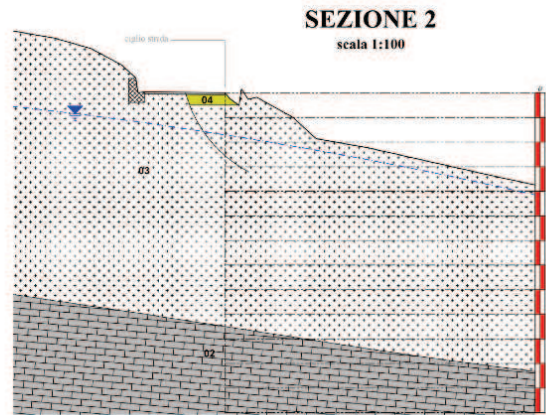
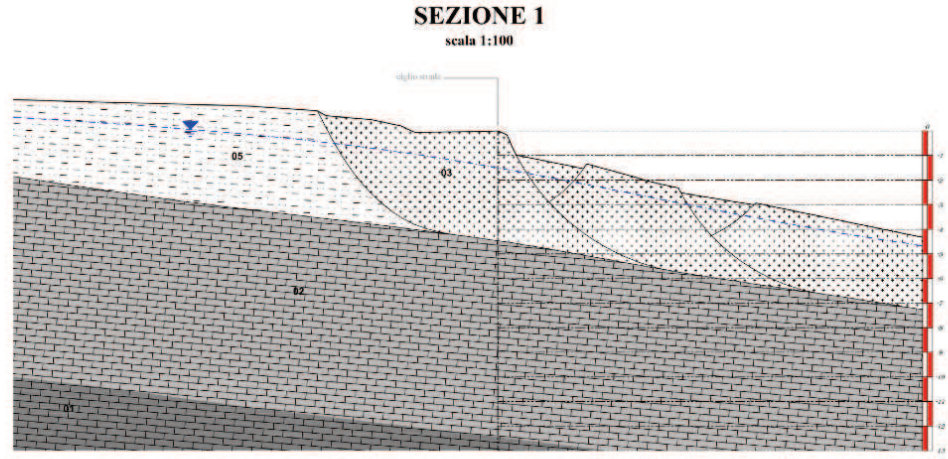
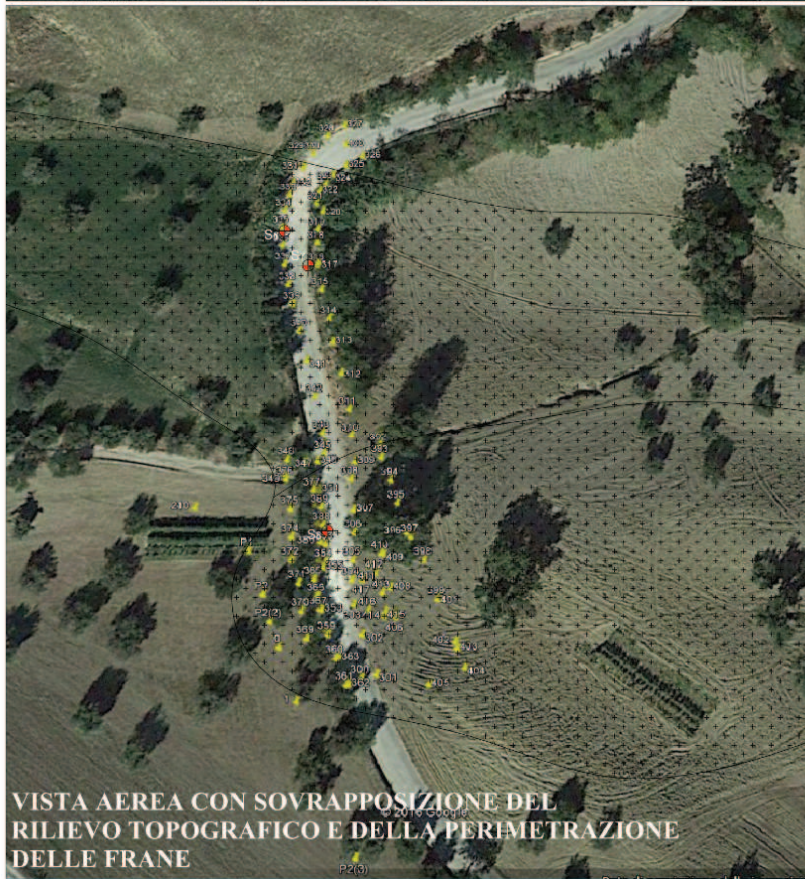
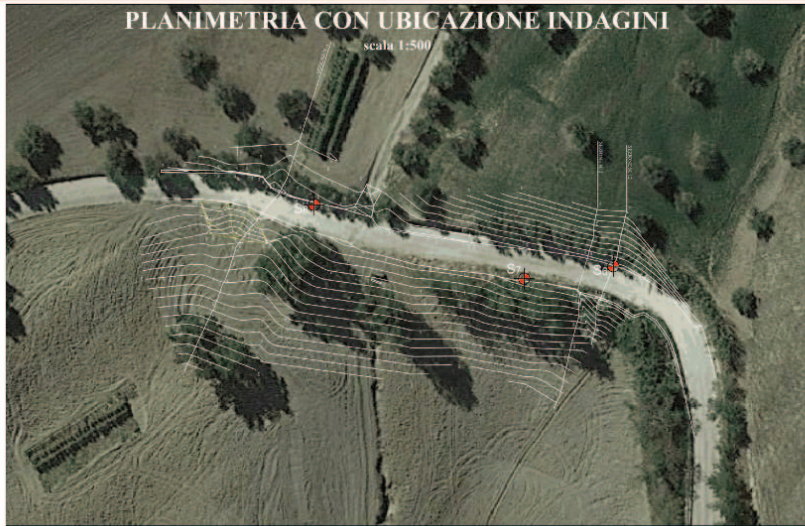
## SEZIONE 1

scala 1:100





# 1) MODELLAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA DELLE FRANE IN EMERGENZA



1	Solubilità integrata
$\phi$	25°
$c'$	50 MPa
$\phi_c$	-----
$\phi_c$	-----
$\gamma_{ad}$	21.6 kN/mc
$\Gamma'$	60 MPa
$\nu$	0.22

2	Substrato diorita	
$\phi$	24"	
$c'$	38 MPa	
$\phi_s$	-----	
$\phi_c$	-----	
$\gamma_{int}$	28.5 kN/mc	
$E'$	48 MPa	
$\nu$	0.26	

3	Terroni in bono
6	15
c'	2 kPa
6	15
5	15
7	15 kN/mc
E'	4 MPa
e	2.45

**NB:** le frane hanno intaccato il substrato, nel senso che le superfici di rottura e scivolamento sono anche all'interno delle marne

## SONDAGGIO 6



## SONDAGGIO 7



## SONDAGGIO 8





## 1) MODELLAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA DELLE FRANE IN EMERGENZA





## 1) MODELLAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA DELLE FRANE IN EMERGENZA





# 1) MODELLAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA DELLE FRANE IN EMERGENZA

che tipo di intervento?





## 1) MODELLAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA DELLE FRANE IN EMERGENZA





## 1) MODELLAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA DELLE FRANE IN EMERGENZA





## 1) MODELLAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA DELLE FRANE IN EMERGENZA





## 1) MODELLAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA DELLE FRANE IN EMERGENZA





## 1) MODELLAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA DELLE FRANE IN EMERGENZA





## 1) MODELLAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA DELLE FRANE IN EMERGENZA





## 1) MODELLAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA DELLE FRANE IN EMERGENZA





## 1) MODELLAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA DELLE FRANE IN EMERGENZA





## 1) MODELLAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA DELLE FRANE IN EMERGENZA





## 1) MODELLAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA DELLE FRANE IN EMERGENZA



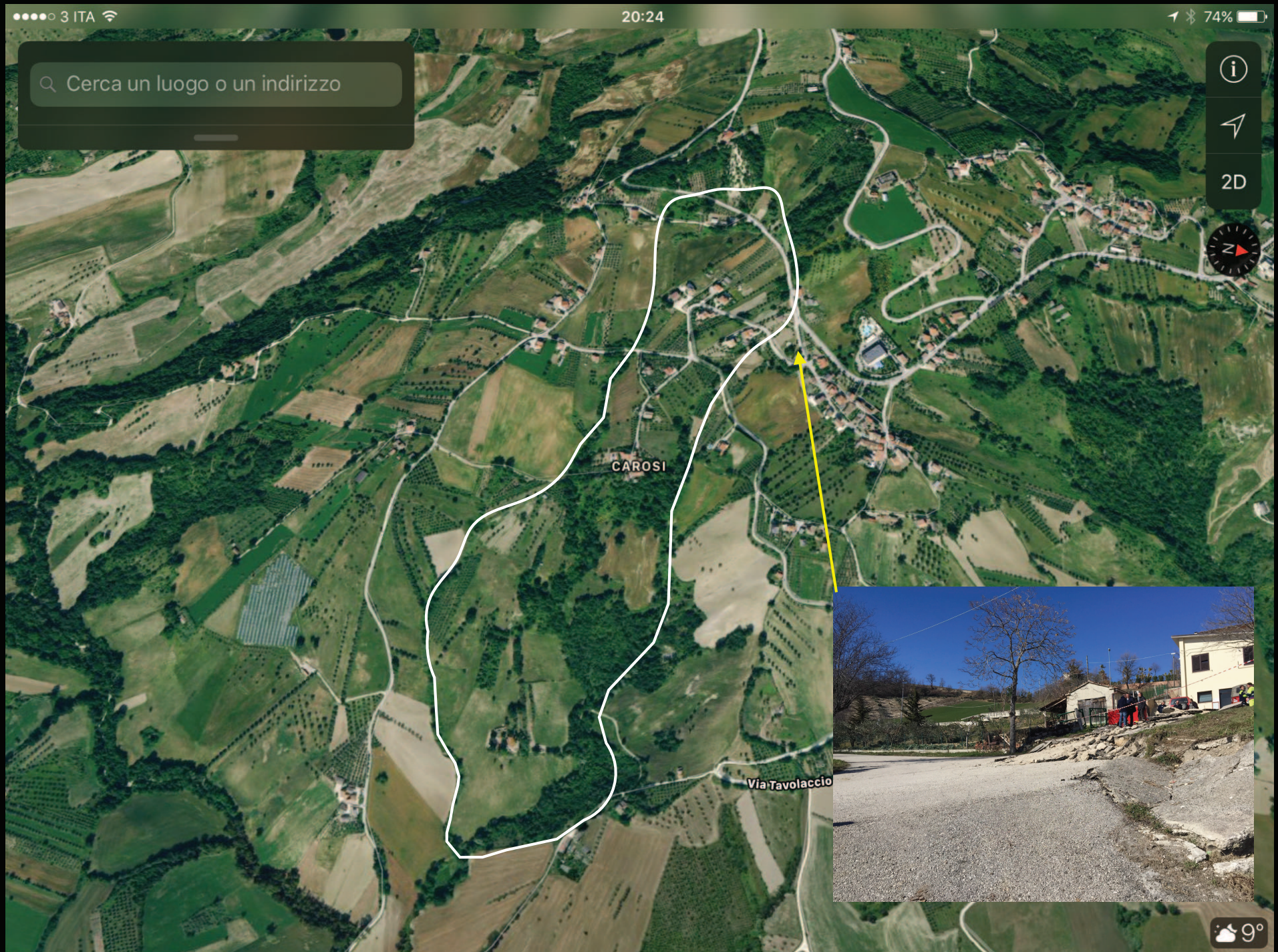


## 1) MODELLAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA DELLE FRANE IN EMERGENZA



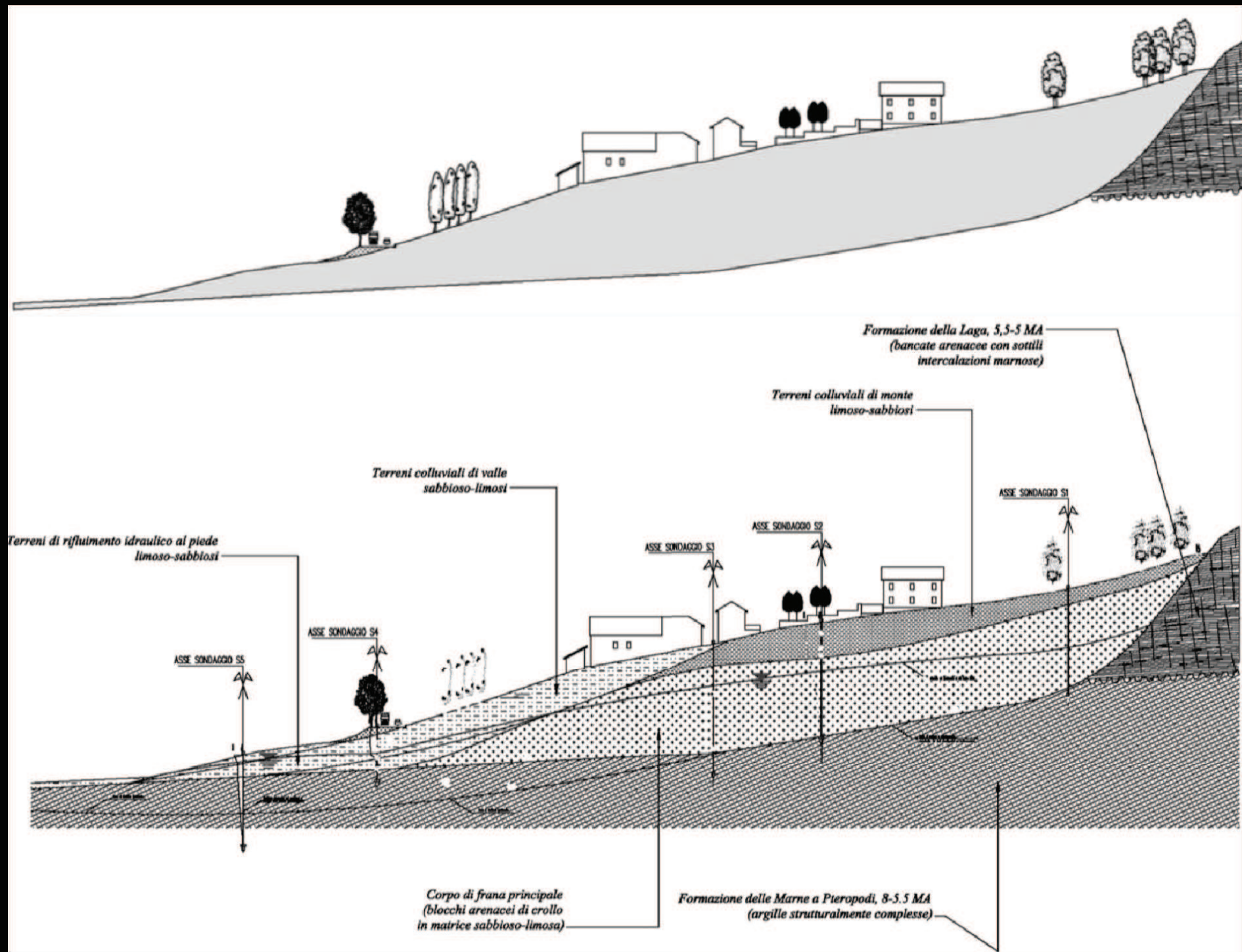


# 1) MODELLAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA DELLE FRANE IN EMERGENZA



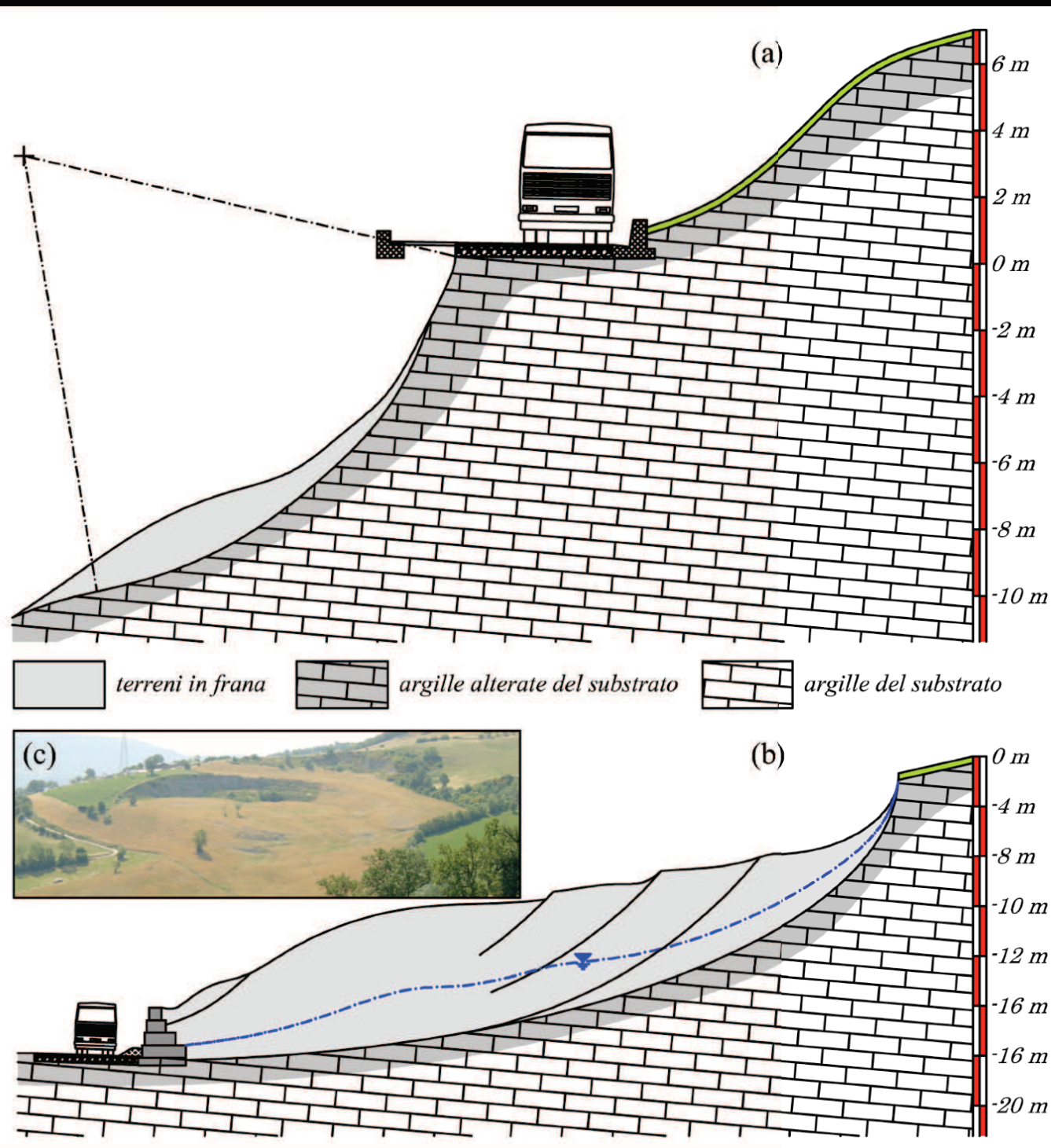


## 2) MODELLAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA DELLE FRANE ... sempre





## 2) MODELLAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA DELLE FRANE ... sempre



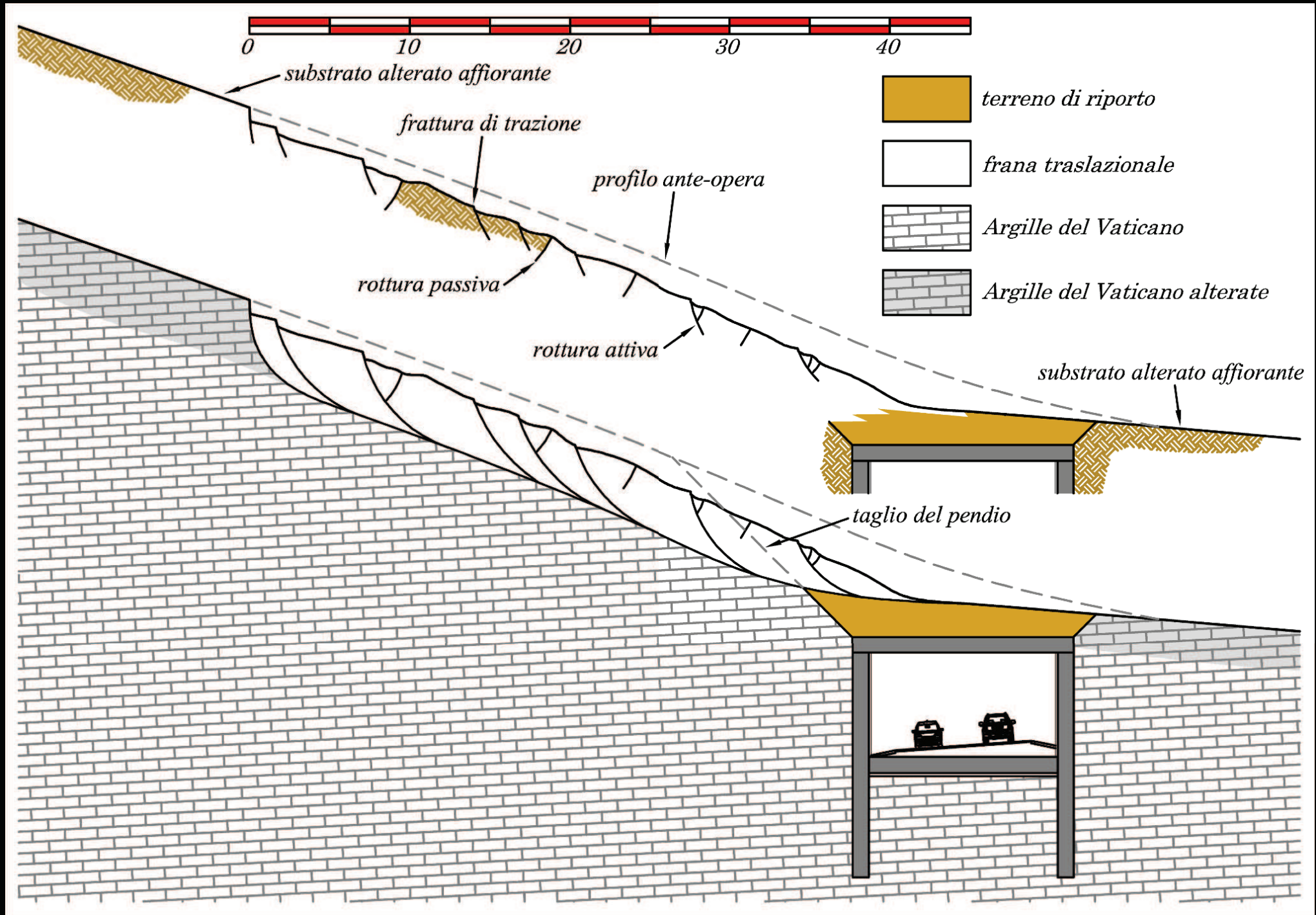


## 2) MODELLAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA DELLE FRANE ... sempre





## 2) MODELLAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA DELLE FRANE ... sempre





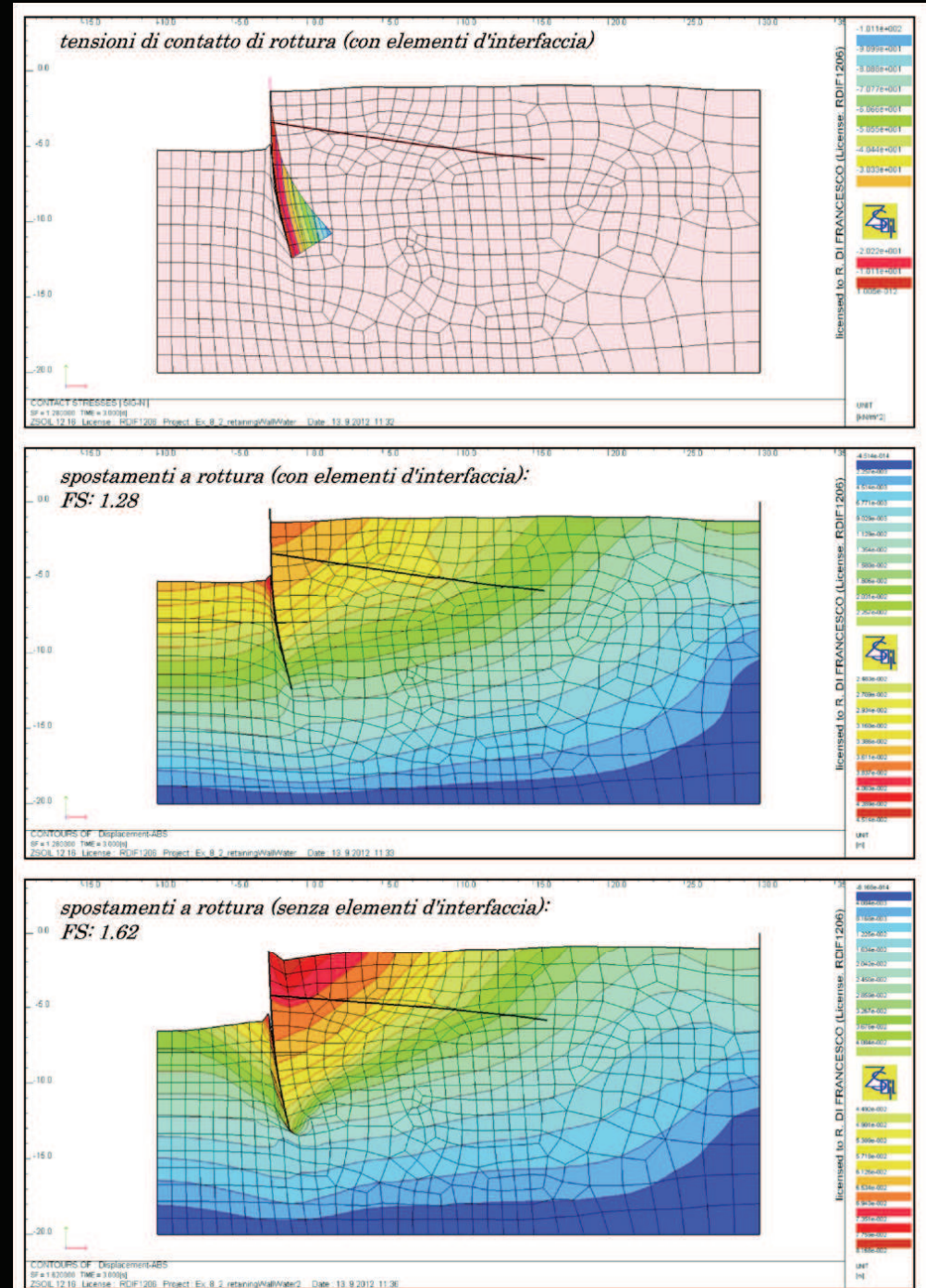
### 3) L'INGEGNERIA E LA GEOLOGIA s.l.

La Geotecnica è sostanzialmente il punto d'incontro tra due mondi tecnico-scientifici solo apparentemente contrapposti, ovvero la geologia e l'ingegneria.

Il suo obiettivo è associato ad un unico assioma: studio dell'interazione terreno-struttura.

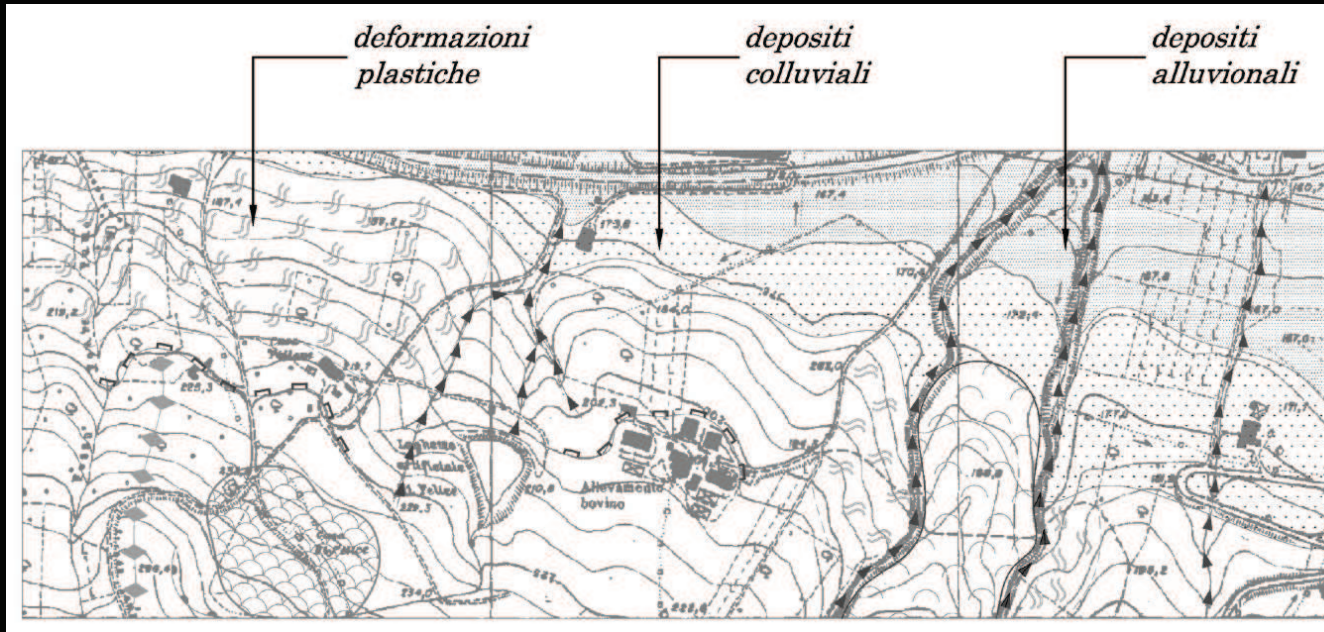
Tale aspetto può essere paragonato all'analisi dei "sistemi chiusi" dei fisici ed è incentrato sulla necessità di dover codificare i processi fisici reali in modelli matematici ai quali affidare le nostre previsioni progettuali.

Qual è l'unico ostacolo nello sviluppo di tale codifica? Il differente linguaggio parlato dalle varie figure professionali ognuna delle quali si trincerava nella propria terminologia tecnica trasformando il processo in un dialogo tra sordi. Così gli ingegneri continuano a parlare di molle, di momenti flettenti, sforzi taglienti e sforzi normali; al contrario i geologi insistono nell'attribuire i terreni ad un periodo geologico (Calabrianiano piuttosto che Siciliano?) senza fornire (e capirne) le relative implicazioni.





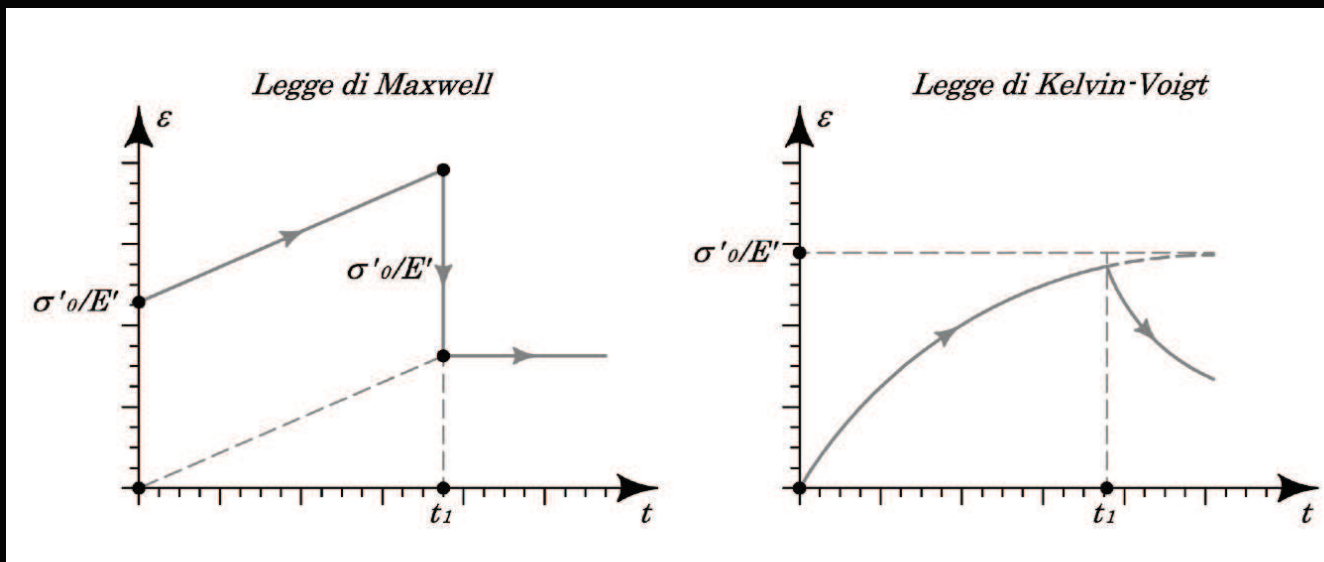
### 3) L'INGEGNERIA E LA GEOLOGIA: un banale esempio



Un esempio del differente linguaggio parlato dalle varie figure professionali che concorrono al medesimo obiettivo (al medesimo progetto).

Per i geologi una deformazione plastica è "una traslazione lenta e continua senza una vera e propria superficie di distacco" (Panizza, 1987).

Ciò implica l'esistenza di una forma, interpretabile in termini di deposito quale risultato di un processo morfogenetico codificato che si traduce in un versante con sottosuolo argilloso e coltre detritica a granulometria fine in lento movimento che coinvolge parte del sottostante substrato.



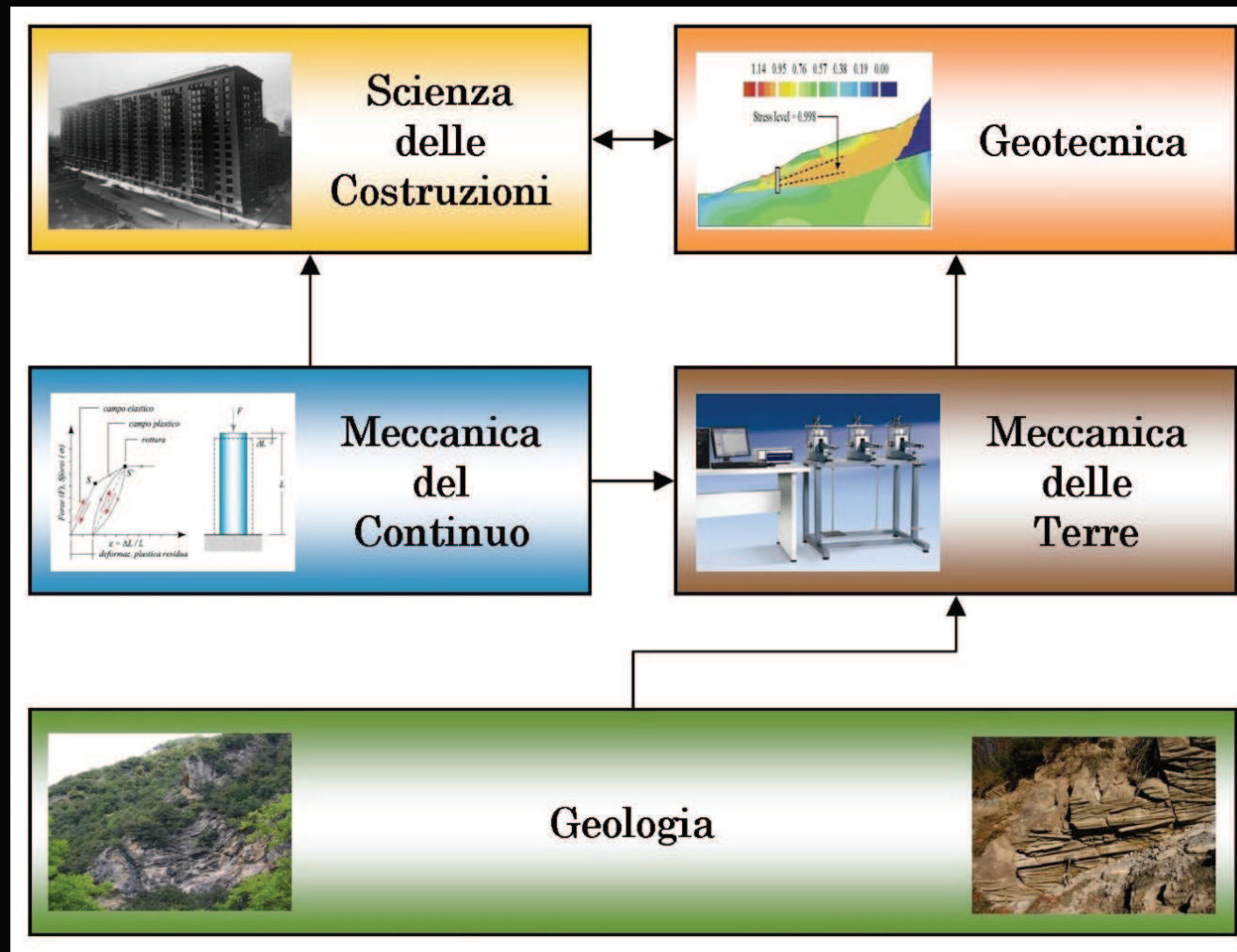
Per i geotecnici si traduce in un creep in condizioni drenate dipendente dalla componente viscosa delle deformazioni.



### 3) LA GEOTECNICA

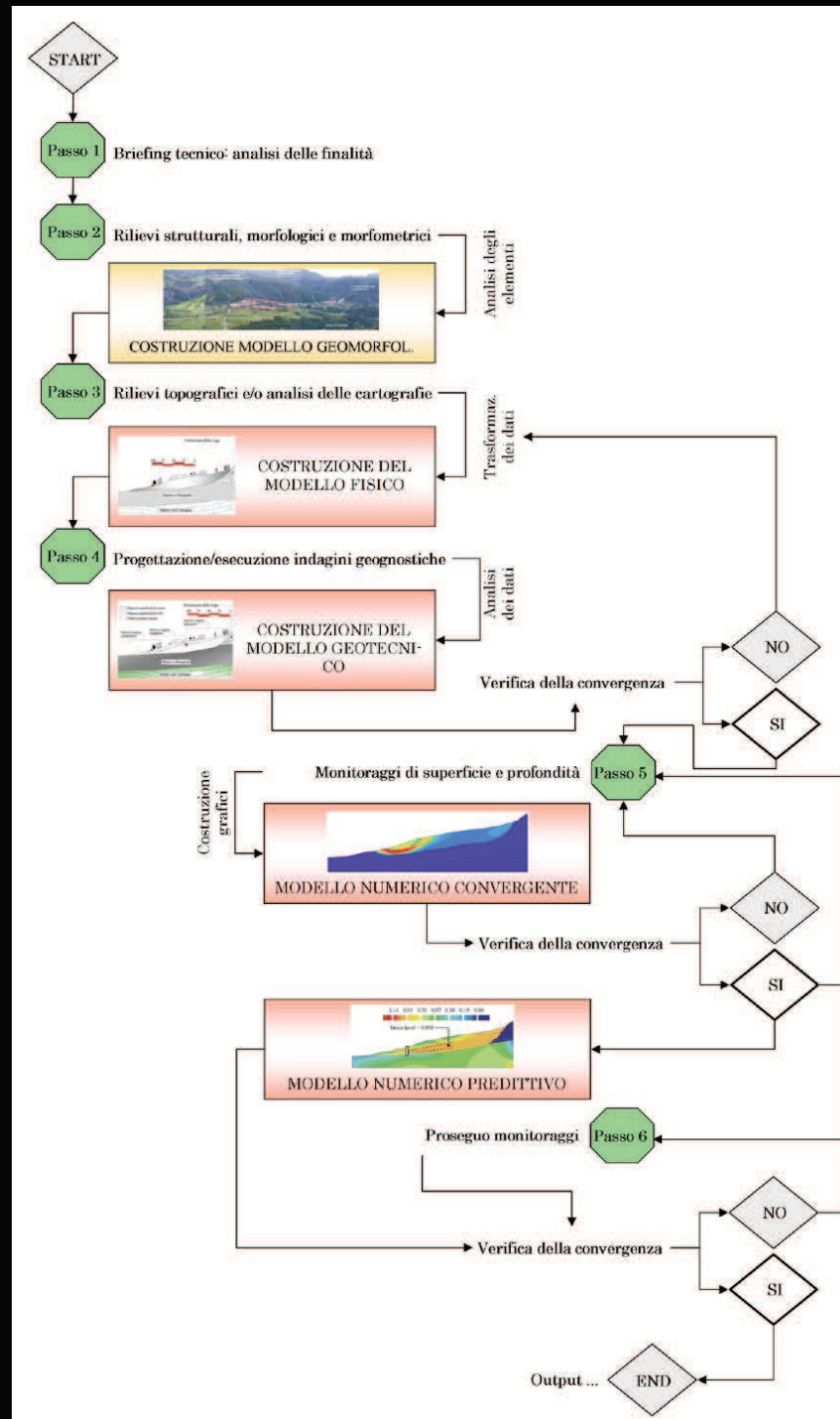
"Dare importanza alla sola geologia o alla sola meccanica dei terreni sarebbe stato un passo in direzione sbagliata. La meccanica dei terreni non è in grado di raggiungere i suoi scopi pratici se non viene intesa come mezzo per determinare le conseguenze tecniche di determinati aspetti geologici."

(Karl Terzaghi, Rivista Italiana di Geotecnica n. 1 – 1967).



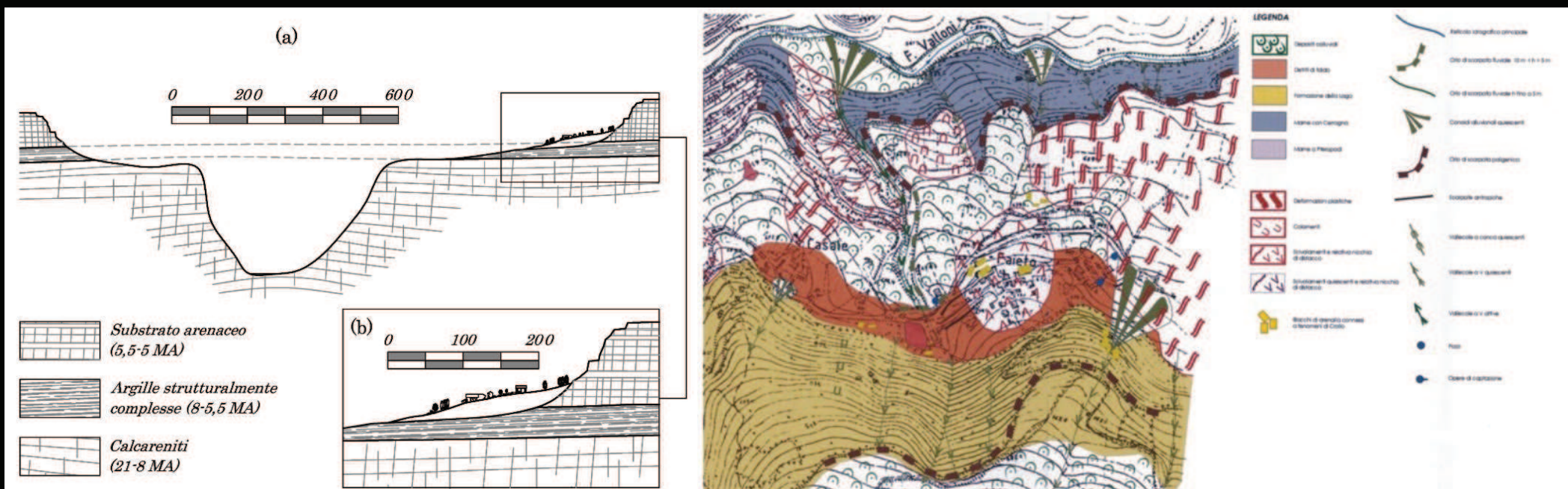


### 3) LA GEOMORFOLOGIA E LA GEOTECNICA, ovvero la Geomorfologia Tecnica





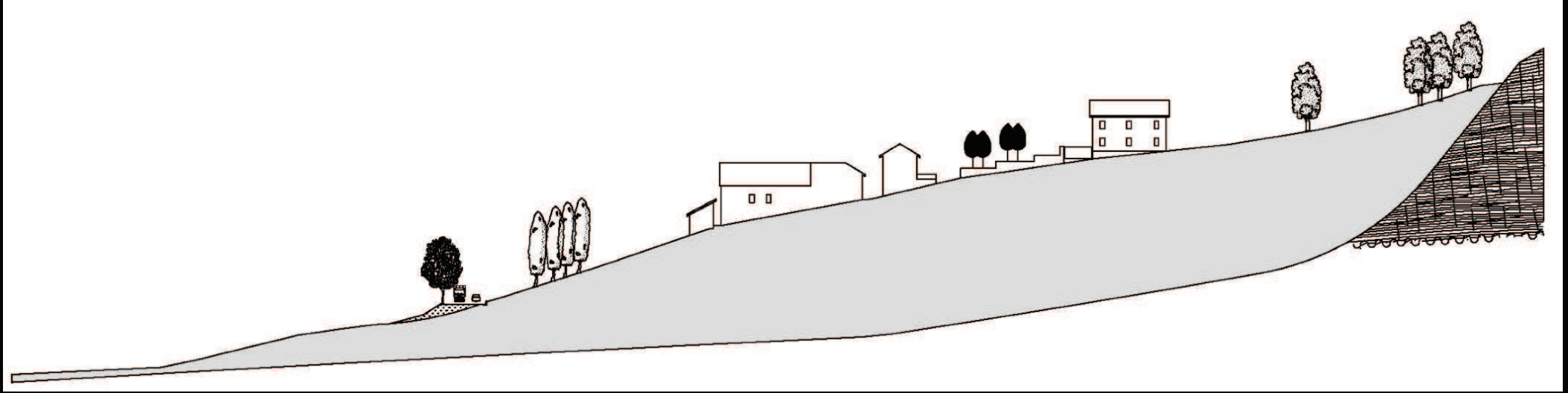
### 3) LA GEOMORFOLOGIA E LA GEOTECNICA, un esempio applicativo





### 3) LA GEOMORFOLOGIA E LA GEOTECNICA, un esempio applicativo

Sezione geologica preliminare, costruita a partire dai dati geomorfologici e morfometrici, eventualmente coadiuvati da indagini geofisiche .....



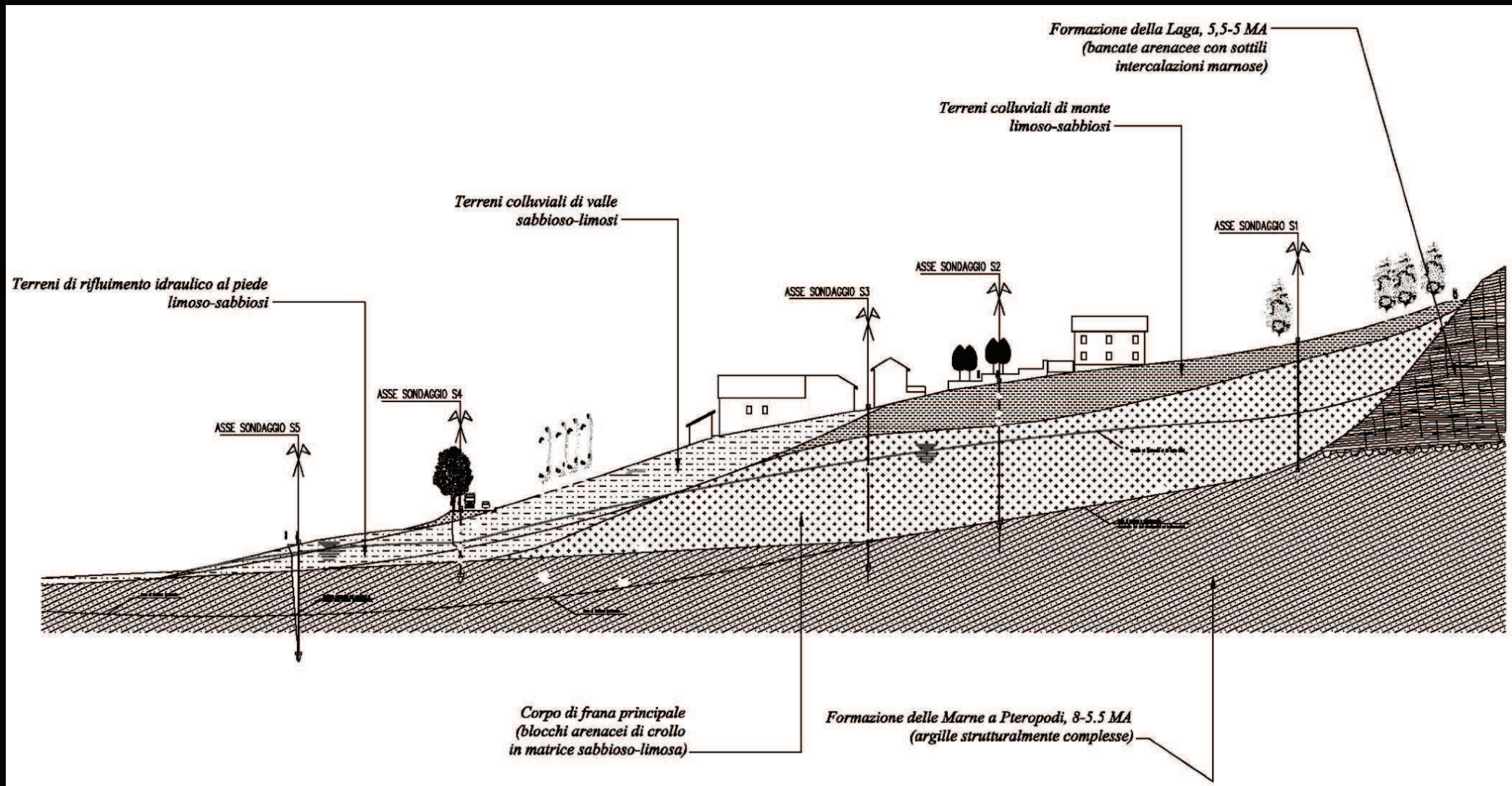
Quali strumenti possediamo per poter costruire una sezione geologica bilanciata?

Ne abbiamo almeno 3 .....



### 3) LA GEOMORFOLOGIA E LA GEOTECNICA, un esempio applicativo

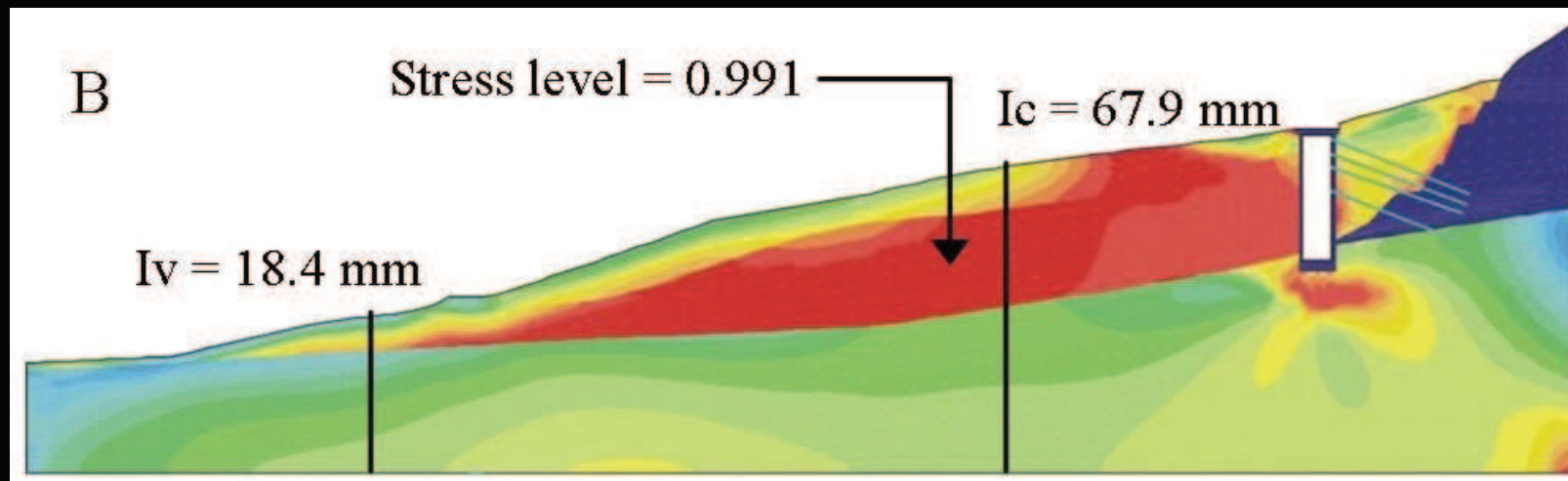
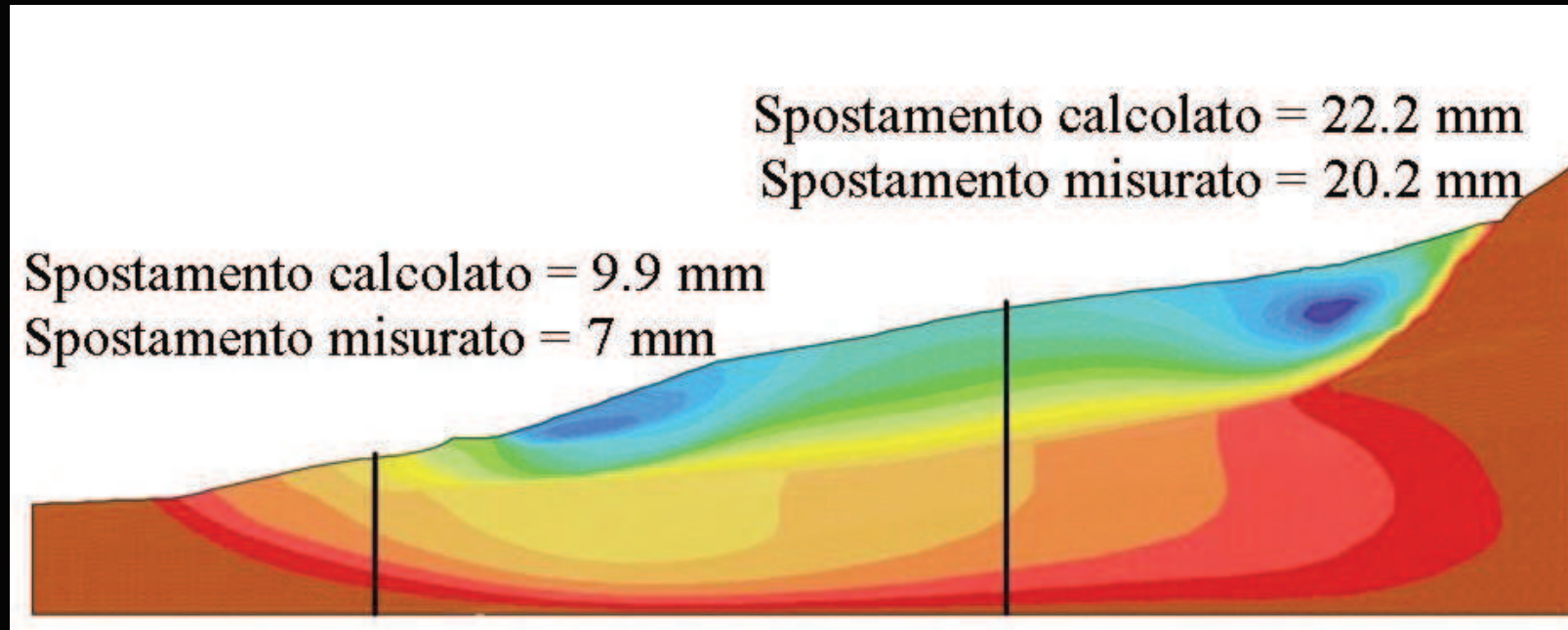
Sezione stratigrafica finale, costruita dopo la campagna di indagini sviluppata sulla sezione preliminare.





### 3) LA GEOMORFOLOGIA E LA GEOTECNICA, un esempio applicativo

Solo quando siamo sicuri della convergenza del modelli fisico-matematico con il modello fisico reale (dettato sostanzialmente dalla geomorfologia), possiamo passare alla geotecnica vera e propria .....





#### 4) QUALCHE ALTRO ESEMPIO ...





#### 4) QUALCHE ALTRO ESEMPIO ...





#### 4) QUALCHE ALTRO ESEMPIO ...





#### 4) QUALCHE ALTRO ESEMPIO ...





#### 4) QUALCHE ALTRO ESEMPIO ...

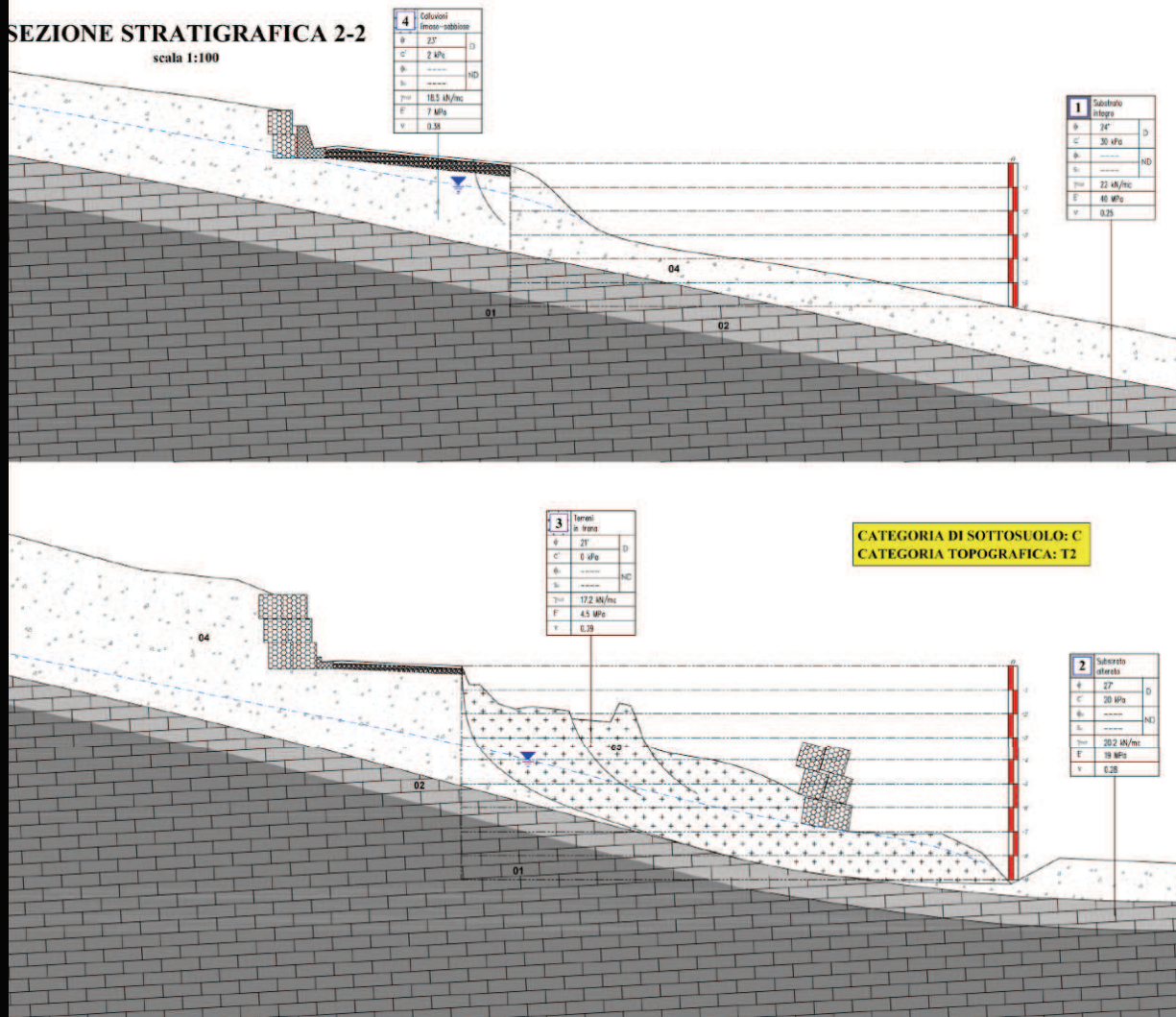




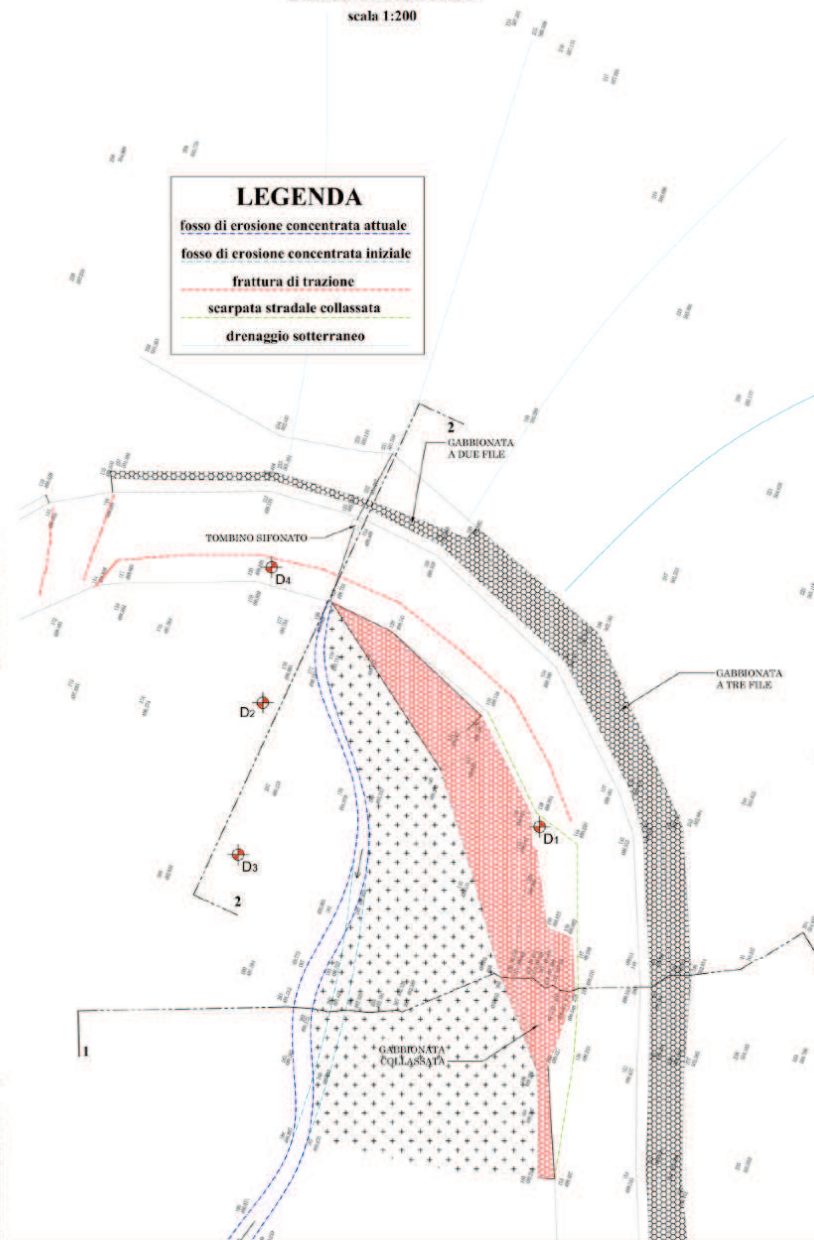
## 4) QUALCHE ALTRO ESEMPIO ...



**SEZIONE STRATIGRAFICA 2-2**  
scala 1:100



**PLANIMETRIA**  
scala 1:200





#### 4) QUALCHE ALTRO ESEMPIO ...





#### 4) QUALCHE ALTRO ESEMPIO ...



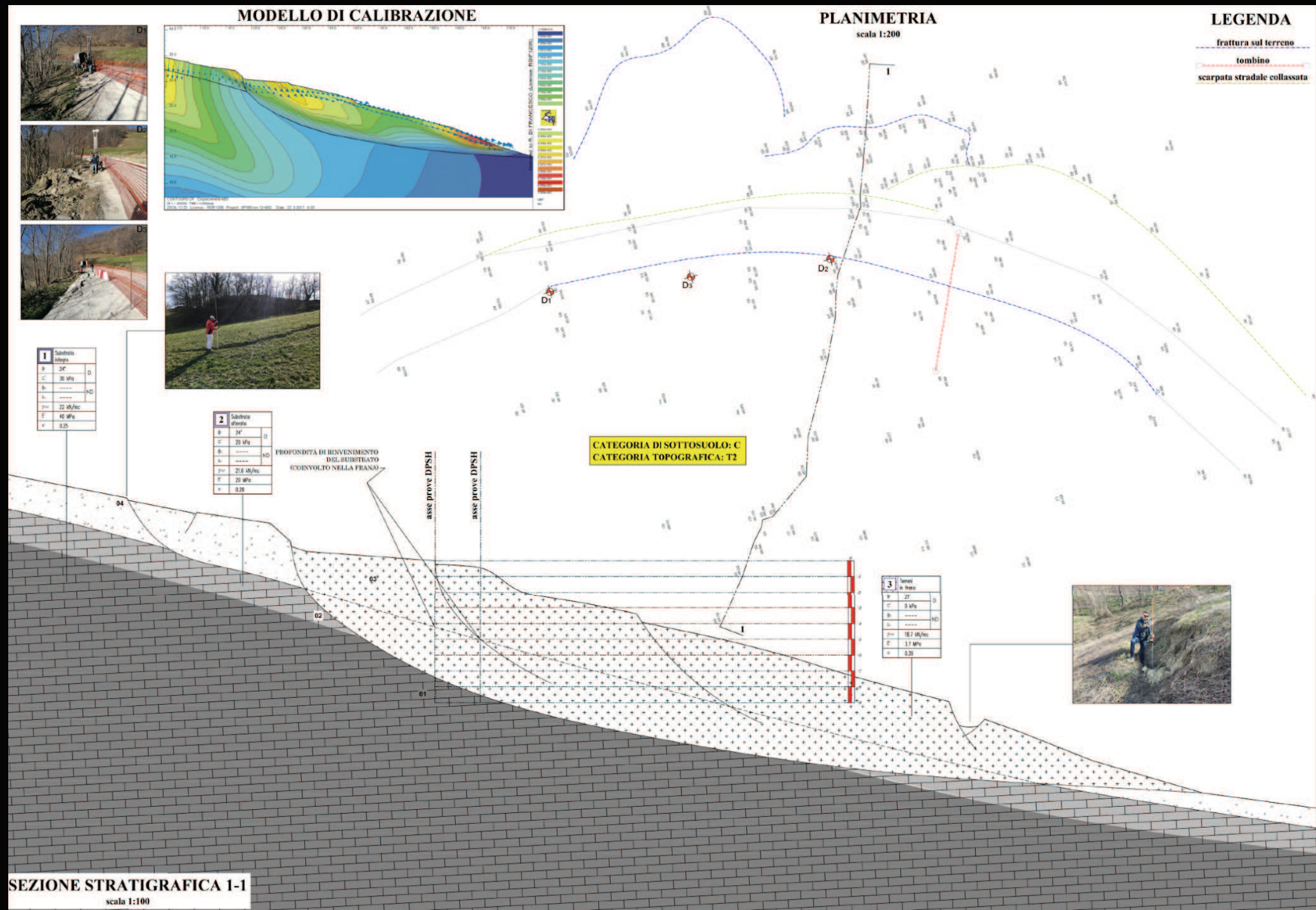


#### 4) QUALCHE ALTRO ESEMPIO ...





# 4) QUALCHE ALTRO ESEMPIO ...





#### 4) QUALCHE ALTRO ESEMPIO ...





#### 4) QUALCHE ALTRO ESEMPIO ...





#### 4) QUALCHE ALTRO ESEMPIO ...





#### 4) QUALCHE ALTRO ESEMPIO ...





#### 4) QUALCHE ALTRO ESEMPIO ...





#### 4) QUALCHE ALTRO ESEMPIO ...





#### 4) QUALCHE ALTRO ESEMPIO ...



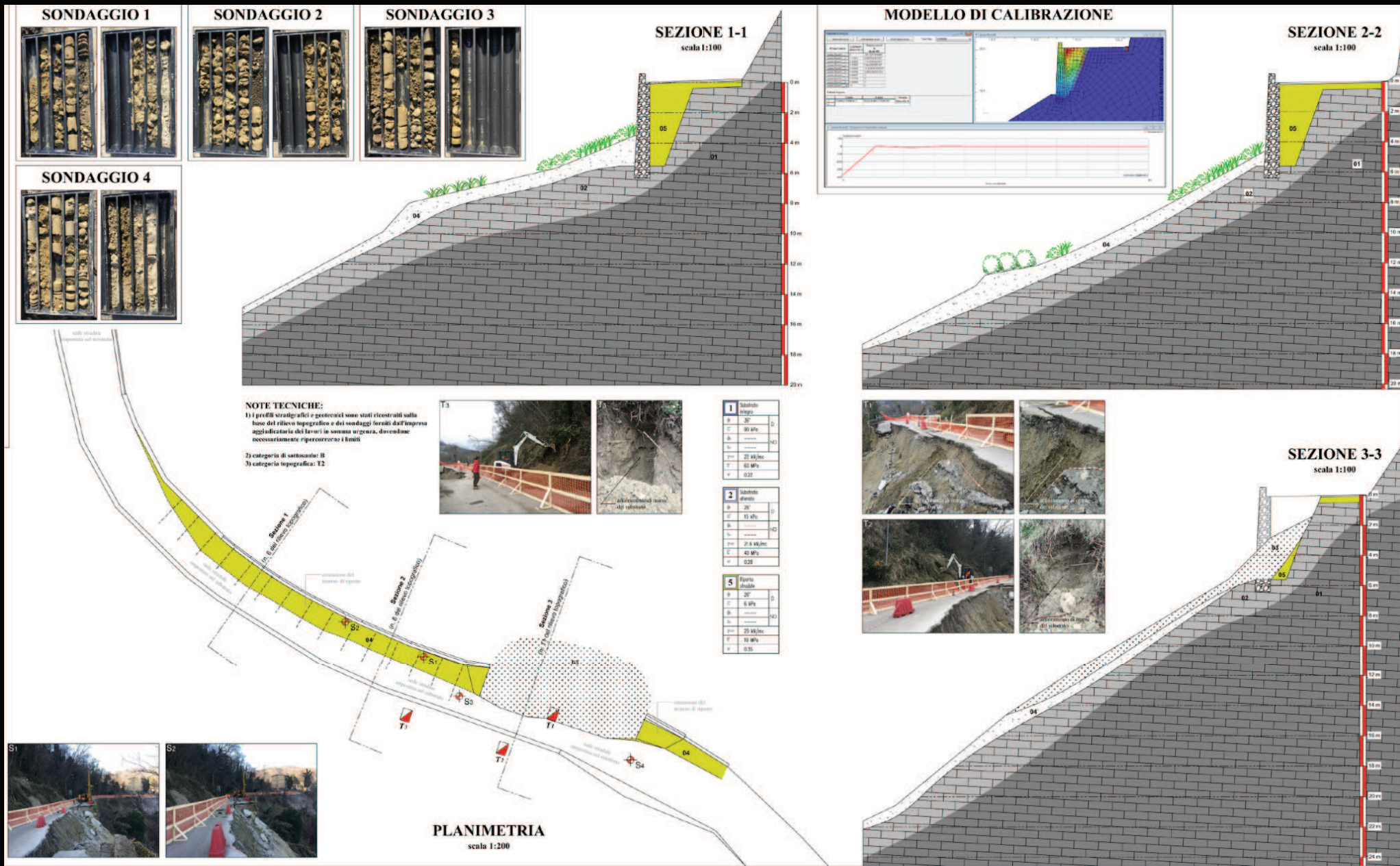


#### 4) QUALCHE ALTRO ESEMPIO ...





## 4) QUALCHE ALTRO ESEMPIO ...





# FINE

Tutte le figure sono protette dai diritti di copyright;  
contattare l'autore per l'autorizzazione all'uso.