



ROMA

**Comune di Orbetello**



**PRP DI TALAMONE  
E CONTESTUALI VARIANTI AL PS E AL RU**

**RELAZIONE GEOLOGICA DI FATTIBILITA'  
(INTEGRAZIONI A SEGUITO RICHIESTE DEL GENIO CIVILE TOSCANA SUD)**

**Agosto 2019**

Emesso da: *Dr. Massimo Pellegrini*



HYDROGEA VISION s.r.l.

sede legale: via B. Varchi, 34 – 50132 Firenze Italy – sede operativa: via F. Puccinotti, 61 Firenze Italy  
Tel. +39.055.411689 – fax +39.055.4473630 e-mail: segreteria@hydrogeavision.it [www.hydrogeavision.it](http://www.hydrogeavision.it)  
P.IVA/C.F/CCIAA Firenze 05506570489 – REA N.°551906

## **INDICE**

	<b>Pag.</b>
1. - PREMESSA .....	3
2. – QUADRO GEOLOGICO GEOMORFOLOGICO DI RIFERIMENTO .....	3
3. - STUDI GEOMORFOLOGICI DI APPROFONDIMENTO .....	8
4. – MODIFICA DELLA FOCE DEL COLLETTORE OCCIDENTALE.....	31
5. APPROFONDIMENTI RELATIVAMENTE ALLA FATTIBILITA' .....	36

\*\*\*



## **1. - PREMESSA**

La società Acquatecno Srl di Roma, ha predisposto la documentazione finale relativa al Piano Regolatore Portuale di Talamone e contestuali varianti al Piano Strutturale e al Regolamento Urbanistico per conto dell'Amministrazione comunale di Orbetello (GR).

Gli studi e l'elaborazione del piano sono iniziati nel 2010 e hanno subito variazioni in corso d'opera sia per richieste dell'Amministrazione comunale sia per alcune e successive variazioni normative introdotte dalla Regione Toscana, tra cui la L.R. 41/2018.

Tenuto conto anche del parere del Genio Civile Toscana Sud e di una prima richiesta di integrazione avanzata dallo stesso Ente in sede di Conferenza dei Servizi, nel 2018 Acquatecno aveva prodotto una revisione del progetto e della Relazione Geologica di Fattibilità secondo quanto richiesto dai nuovi disposti normativi.

Successive osservazioni da parte di attività locali interessate direttamente dal progetto e dell'Ente citato (Richiesta Gennaio 2019), hanno reso necessario nuove integrazioni legate alla necessità di eseguire approfondimenti di studio su alcune situazioni geomorfologiche locali, al fine di valutarne l'effettiva pericolosità, e al riposizionamento del tratto finale del Collettore principale così come richiesto dall'Amministrazione comunale sulla base delle osservazioni fatte dai privati.

Il presente documento, costituisce parte integrante della Relazione Geologica del 2018, e riassume il percorso attraverso il quale, tenendo conto del quadro geologico, geomorfologico e idraulico conoscitivo già ampiamente descritti nella citata relazione, a cui si rimanda per ogni dettaglio, sono state prodotte le integrazioni e modifiche richieste

Tenuto conto delle richieste avanzate, lo studio ha previsto il seguente programma operativo:

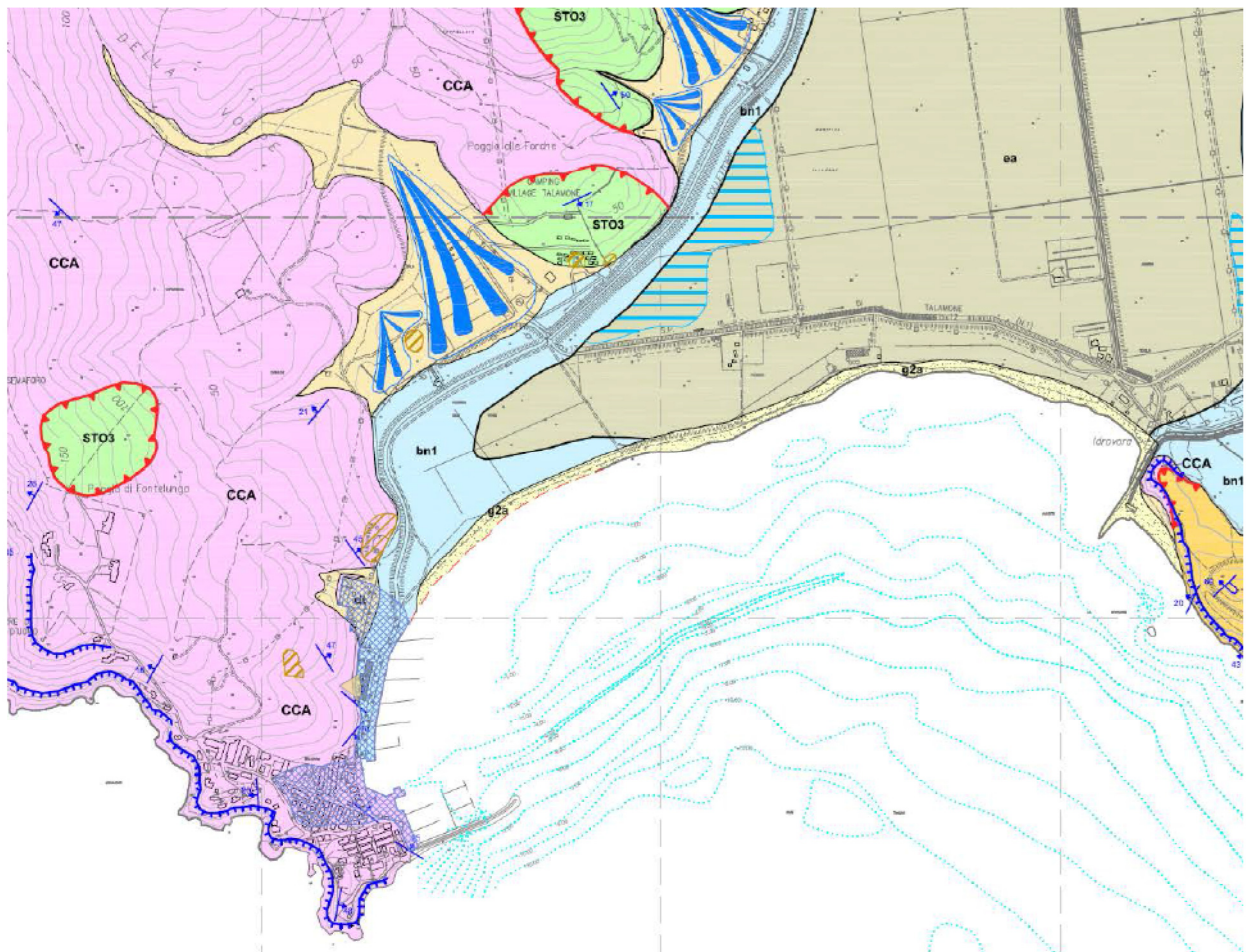
- Revisione della Pericolosità Idraulica e conseguente riclassificazione della fattibilità dei vari interventi alla luce dello spostamento del tratto finale del collettore.
- Approfondimenti di studio relativamente alle situazioni di pericolosità geomorfologica G3 segnalate nell'area interessata dal progetto. Esecuzione di indagini geognostiche e geofisiche.
- Predisposizione dei nuovi quadri di pericolosità idraulica e della nuova Carta della Fattibilità.

## **2. – QUADRO GEOLOGICO GEOMORFOLOGICO DI RIFERIMENTO**

Il quadro geomorfologico dell'area interessata dal PRP, come riportato in nella Relazione 2018, mostra come il versante collinare che si affaccia sulla piana della Bonifica di Talamone, sia caratterizzato da colline dal declivio più dolce, con presenza di ampie porzioni coltivate, in prevalenza olivi, e di qualche casale. La piana che si affaccia sul golfo di Talamone è caratterizzata da un paesaggio frazionato e regolato dalla bonifica; per lo più coltivata, essa presenta infatti una fitta rete, spesso ortogonale, di percorsi carrabili e canali irrigui.






Questi bassi rilievi collinari sono geologicamente caratterizzati dal Calcere Cavernoso, Fig.1, e questo riduce la propensione alla franosità che risulta essere modesta. I processi morfogenetici più significativi vengono segnalati lungo due incisioni vallive che scendono da Poggio di Fontelunga

verso la piana, e legati a processi erosivi con lo sviluppo di conoidi di deiezione allo sbocco delle piccole valli presenti, Fig.2.




#### LEGENDA




##### Depositi continentali quaternari

-  Frane di crollo quiescenti
-  Detriti indifferenziati; di versante, colluviale, debris flow
-  Depositi lagunari, lacustri, palustri - **ea**
-  Depositi alluvionali fluviali recenti - **bn1**
-  Depositi di spiaggia ed eolici - **g2a**


##### Dominio subligure

-  Argille e calcari di Canetolo - **ACC**

##### Unità tettoniche toscane

-  Macigno - Arenaria quarzoso-micacea - **MAC**
-  Scaglia toscana - Calcareniti a Nummulliti - **STO3**
-  Calcareniti cavernose - **CCA**

##### Unità toscane metamorfiche

-  Formazione della Verruca. Filiti quarzitiche - **VEU2**

##### Simboli










-  Misure di strato
-  Contatto stratigrafico
-  Contatto tettonico
-  Orlo di scarpata per frana
-  Scarpata morfologica
-  Conoide
-  Cave
-  Aree soggette a ristagni d'acqua
-  Terreni di riporto e forme antropiche

Fig. 1 Carta Geologica (da P.S. Comune di Orbetello modificata)



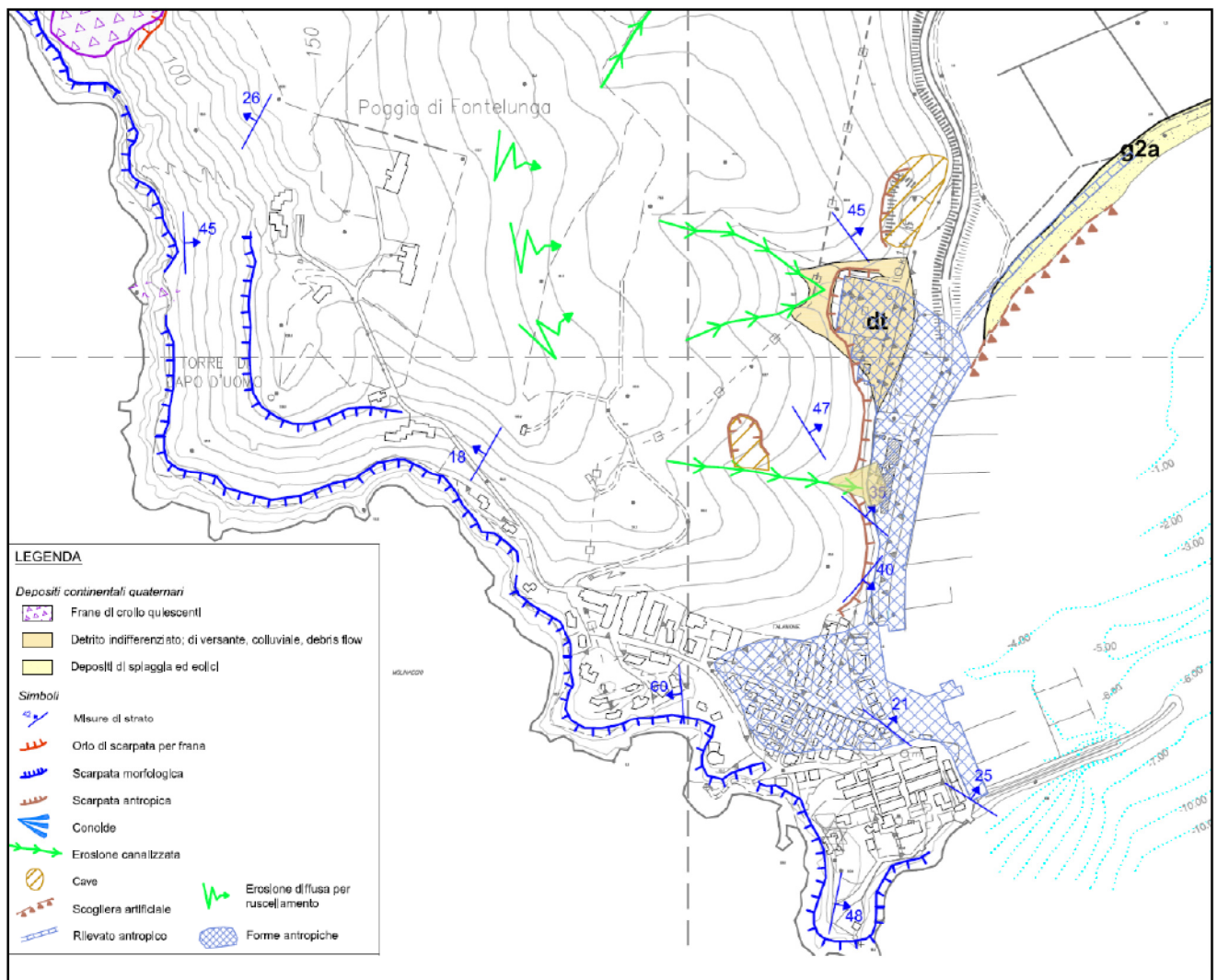


Fig. 2 Carta Geomorfologica (da P.S. Comune di Orbetello modificata)

Sotto il profilo della Pericolosità Geomorfologica, come è possibile evincere dalla Carta della Pericolosità allegata alla Relazione Geologica 2018 e quindi seguito riportata, Fig.3 (Fig. 17 Relazione Geologica 2018), la zona portuale e la quasi totalità dell'abitato vanno a ricadere in area a Pericolosità elevata G3. Alcune delle suddette zone, in particolare ubicate al piede del versante collinare adiacente all'area portuale, sono classificate dal PAI in P.F.E. (Pericolosità di frana elevata). Tale classificazione sembrerebbe trovare giustificazione nella segnalazione a monte della strada provinciale di alcuni canali soggetti ad attività erosiva torrentizia accentuata con possibile trasporto solido tipo debris flow, specie a monte del cimitero comunale. Come specificato nella Relazione citata, i sopralluoghi eseguiti in fase di studio non hanno tuttavia riscontrato elementi tali da giustificare tale penalizzante classificazione.

Le opere ipotizzate dal PRP così come le opere connesse alla riconfigurazione della foce del collettore occidentale, come mostra la carta, vengono per lo più ad inserirsi in un contesto geologico stratigrafico caratterizzato da depositi di facies alluvionale costituiti da limi sabbiosi prevalenti alternati a sabbie e argille sabbiose. I livelli più superficiali appaiono in genere

caratterizzati da minore addensamento e quindi con necessità di tenere conto in fase progettuale dell'eventualità di cedimenti dei terreni di appoggio sotto i carichi rappresentati dalle future strutture a servizio dell'area portuale. Fondamentalmente quindi tali opere vanno ad interessare un contesto caratterizzato da terreni con caratteristiche geotecniche medio basse e quindi da una Pericolosità Geologica-Geomorfologica elevata G3 per problematiche legate più che a potenziale subsidenza, a possibili cedimenti differenziali. Per quanto concerne il PRP, solo uno dei previsti parcheggi a raso, quello a monte del canale collettore ricade su un'area considerata a livello di PAI in P.F.E.

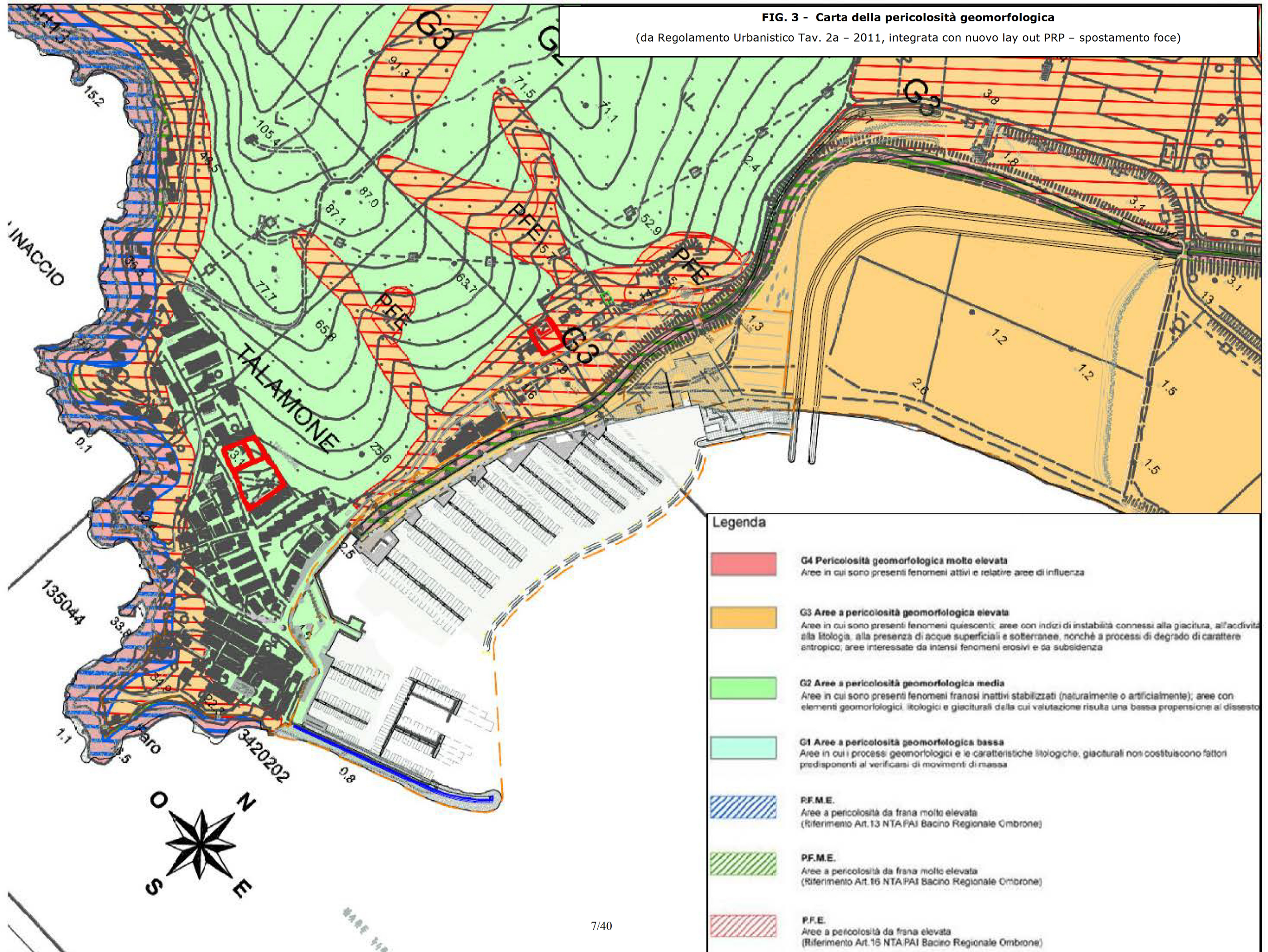
Tali situazioni di pericolosità portano ad una fattibilità di natura geologica (F3) condizionata per gli interventi quali il parcheggio a monte dell'esistente collettore e per la zona di realizzazione dei servizi di supporto all'attività portuale. Ai sensi del punto 3.1 e del punto 4 allegato A al D.P.G.R. 25/Ottobre/2011 n° 53/R, tali interventi sono subordinati all'esito di idonei studi geologici, idrogeologici e geotecnici finalizzati alla verifica delle effettive condizioni litotecniche dell'area ed alla prevenzione di fenomeni geomorfologici e di possibili cedimenti differenziati segnalati.

Gli approfondimenti di indagine suddetti devono essere eseguiti in sede di predisposizione del piano ed essere riportati all'interno della relazione di fattibilità.



**FIG. 3 - Carta della pericolosità geomorfologica**

(da Regolamento Urbanistico Tav. 2a - 2011, integrata con nuovo lay out PRP - spostamento foce)





### 3. - STUDI GEOMORFOLOGICI DI APPROFONDIMENTO

Gli studi di approfondimento richiesti hanno investito i due aspetti messi in evidenza, le singolarità geomorfologiche legate a potenziali fenomeni di debris flow e alla presenza di una ex cava considerate a pericolosità geomorfologica elevata, e la condizione geotecnica dei depositi di piana caratterizzati da mediocri caratteristiche geotecniche e soggetti ad una subsidenza naturale, anch'essa considerata elemento di pericolosità elevata.

#### 3.1. – Potenziali debris-flow e/o erosioni canalizzate con trasporto solido

Gli elementi morfologici che determinano le condizioni di pericolosità geomorfologica, come detto sono due vallette che scendono dal Poggio di Fontelunga, entrambi siano caratterizzate allo sbocco da limitati depositi di "conoide".

La forma di deposito che si sviluppa più a settentrione (Conoide nord) presenta le dimensioni maggiori, ed è afferente ad un bacino idrografico nettamente più esteso con una morfologia tipica e marcata, seppur sbarrato, a valle, dalla presenza della struttura cimiteriale, la cui impronta si sovrappone a quasi tutta la parte alta dell'accumulo detritico, Foto 1.



Foto 1 Struttura cimiteriale allo sbocco della valle (conoide nord)

L'incisione che si incontra circa 100 m più a meridione (Conoide sud), rispetto all'area cimiteriale, mostra invece dimensioni nettamente ridotte, oltre a caratteri morfologici e spessore nettamente differenziati, rispetto all'altro: deposito detritico esiguo, talora ridotto a poco più che decimetrico.

L'indagine si è articolata, in sopralluoghi e verifiche in situ relativamente alle condizioni geomorfologiche delle due vallette, ad un'indagine sismica sulla parte terminale, prima dell'arrivo sulla stretta fascia di piana che costeggia il canale collettore, dove sostanzialmente si sviluppano i limitati conoidi, per una valutazione dello spessore detritico presente ed eventualmente mobilizzabile.

Oltre a tutto ciò, si è altresì eseguito un iniziale esame degli aspetti morfometrici che contraddistinguono i bacini idrografici afferenti ai due conoidi, ed una successiva analisi degli elementi geometrico/genetici che caratterizzano i due corpi detritici, al fine di definirne la tipologia, la relativa pericolosità e dinamica.

Il versante su cui si sviluppano le due incisioni vallive è caratterizzato da bassa pendenza, Fot.2, la copertura detritico eluviale sul versante è molto esigua, e i maggiori depositi, anche se pure questi molto contenuti, si sviluppano pressoché al piede, formando come detto delle esigue conoidi.

I sopralluoghi non hanno evidenziato la presenza di depositi detritici significativi lungo i solchi vallivi e neppure sulle sponde. Il Calcare Cavernoso è affiorante e/o subaffiorante sotto uno strato detritico, peraltro spesso in buona parte cementato, con spessore di pochi decimetri, Foto 3, 4 e 5.

In particolare, nella zona del conoide più piccolo e meridionale lo spessore detritico appare veramente esiguo; il calcare è sempre pressoché subaffiorante, foto 5.



Foto 2 panoramica del versante su cui si sviluppano il due canali/valette (vista dal oltre il canale collettore)





Foto 3 affioramento lungo strada. Visibile l'esiguo spessore della copertura, sopra al substrato calcareo fratturato e cementato



Foto 4 scarpata dietro cimitero. Visibile il calcare cavernoso e l'esiguo spessore di copertura.



Foto 5 affioramento di Calcare cavernoso, zona conoide sud, immediatamente sopra strada. Lo spessore detritico è molto esiguo e il calcare è subaffiorante.



Come detto i sopralluoghi e i rilievi in situ non hanno rivelato elementi geomorfologici che indichino la presenza di processi geomorfici significativi in corso. Anche l'osservazione delle foto da satellite non rileva elementi in tal senso, Fig.6, confermando il quadro geomorfologico già conosciuto.

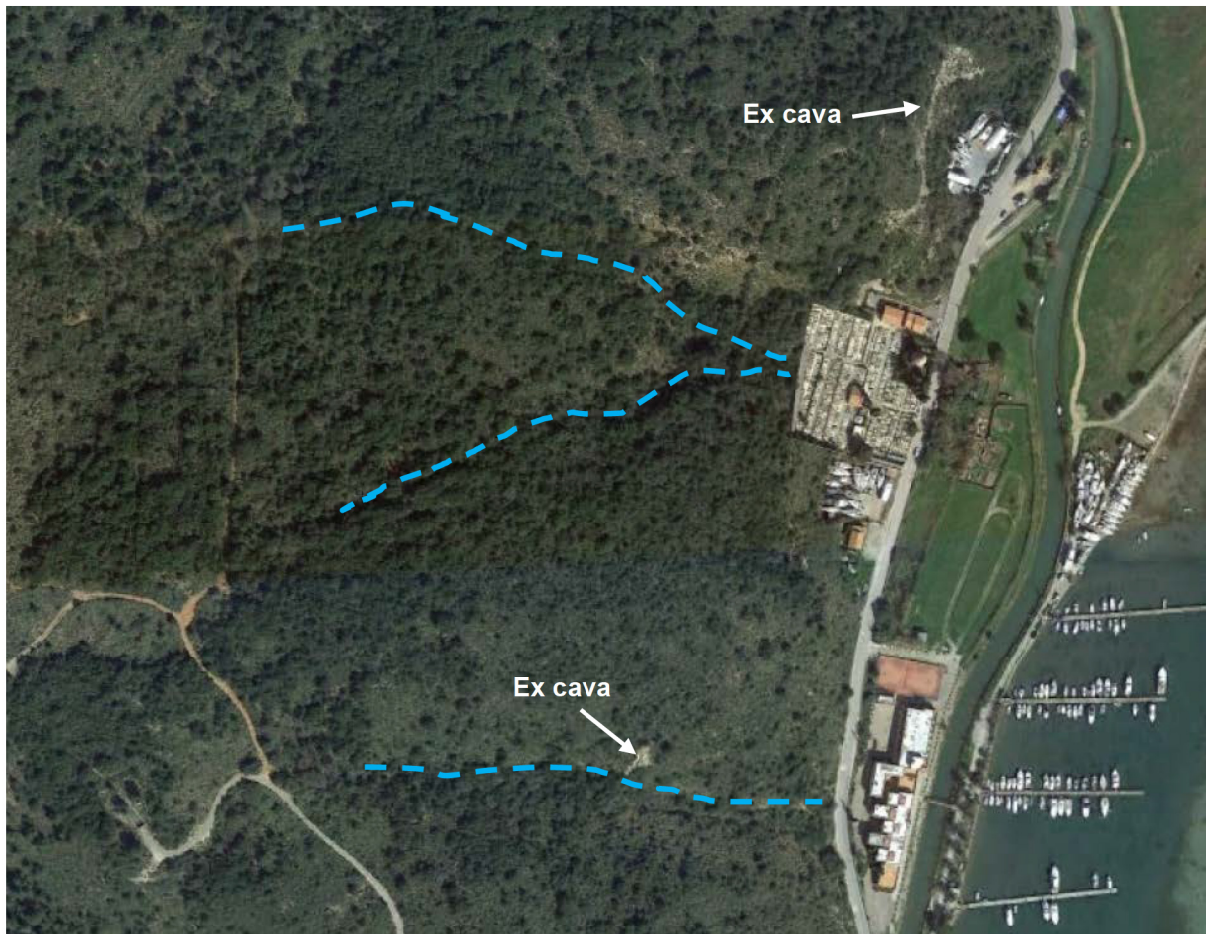


Fig. 6 Foto satellitare (da Google Earth)

Per cercare di valutare gli effettivi spessori di materiale detritico in gioco, presenti a costituire gli esigui conoidi cartografati, compatibilmente con la logistica locale, sono state eseguite delle prospezioni sismico di tipo tomografico in onde P, nei tratti terminali delle valleciole, Fig.7. In particolare sono state effettuate n° 2 prospezioni sismiche a rifrazione a 24 geofoni.

TOMO 1: interasse  $i = 2 \text{ m}$  - lunghezza ml 46, in onde P

TOMO 2: interasse  $i = 1.5 \text{ m}$  - lunghezza ml 34.5, in onde P

L'acquisizione dei dati in campagna è stata eseguita utilizzando un sistema composto dalle seguenti parti:

- sismografo
- sorgente energizzante
- trigger
- apparecchiatura di ricezione

Lo strumento utilizzato per l'indagine è un prospettore sismico Ambrogeo Echo 24/2002 a 16 bit. Come sorgente energizzante per le onde P è stato utilizzato un grave di circa 10 kg.



FIG. 7 - Ubicazione tomografie sismiche

Le due prospezioni sismo-tomografiche, Figg. 8 e 9, hanno rilevato:

- un primo strato con  $V_p = 300 \div 500$  m/sec, correlabile con i depositi poco addensati;
- un secondo orizzonte con  $V_p$  tra 500 e 800 m/sec, riferibili a depositi mediamente addensati/compatti e per quanto osservato in campagna corrispondente a detrito cementato compatto;
- un terzo orizzonte con  $V_p$  tra 800 e 1400 m/sec, riferibili ai depositi molto compatti/cementati e riconducibile alla parte più superficiale e alterata del substrato calcareo;
- infine l'orizzonte a  $V_p$  maggiori di 1400 m/sec, riferibili al bedrock mediamente alterato e/o fratturato e che con  $V_p > 2000$  m/sec diviene sempre più compatto e meno alterato e fratturato.

Le suddette tomografie rilevano quindi come la copertura detritica sciolta che costituisce i depositi di conoide ha spessori molto contenuti. In particolare, per quanto concerne il deposito del conoide sud, la tomografia eseguita (tomo 1), conferma l'esiguità del suo spessore e la discontinuità del deposito; lo spessore sciolto e mobilizzabile, anche dalla prospezione appare al massimo di poche decimetri.

Discorso relativamente diverso è per il deposito costituente il conoide nord, peraltro di maggiori dimensioni. In questo caso la tomografia sismica (tomo 2) conferma la presenza di uno spessore decisamente più significativo per la parte sciolta e mobilizzabile, nell'ordine di circa 1 metro, cui

segue un'ulteriore spessore ancora di circa 1 metro di materiale molto più addensato e probabilmente cementato.

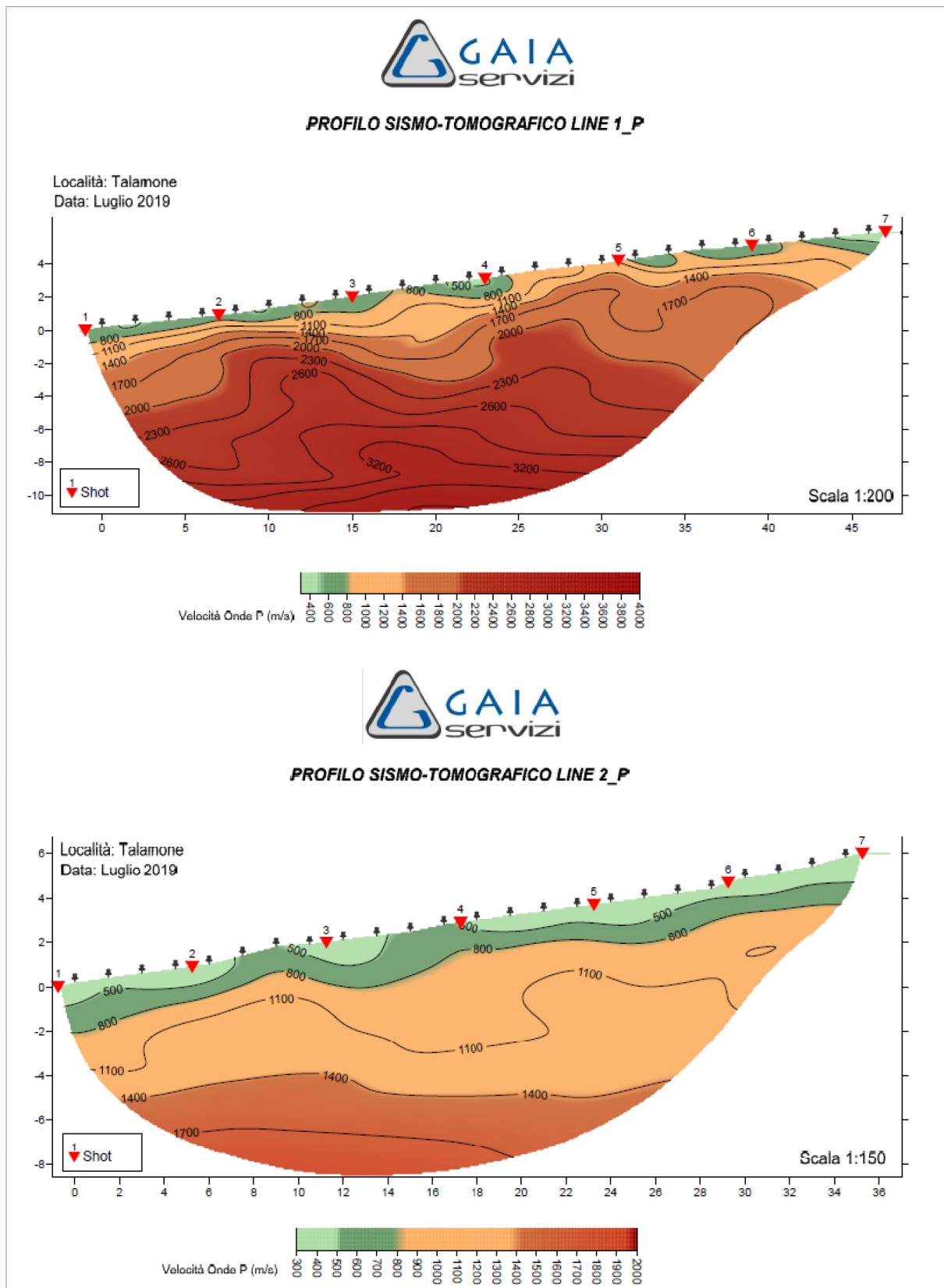


FIG.8 - Linee sismiche in onde P: profili tomografici



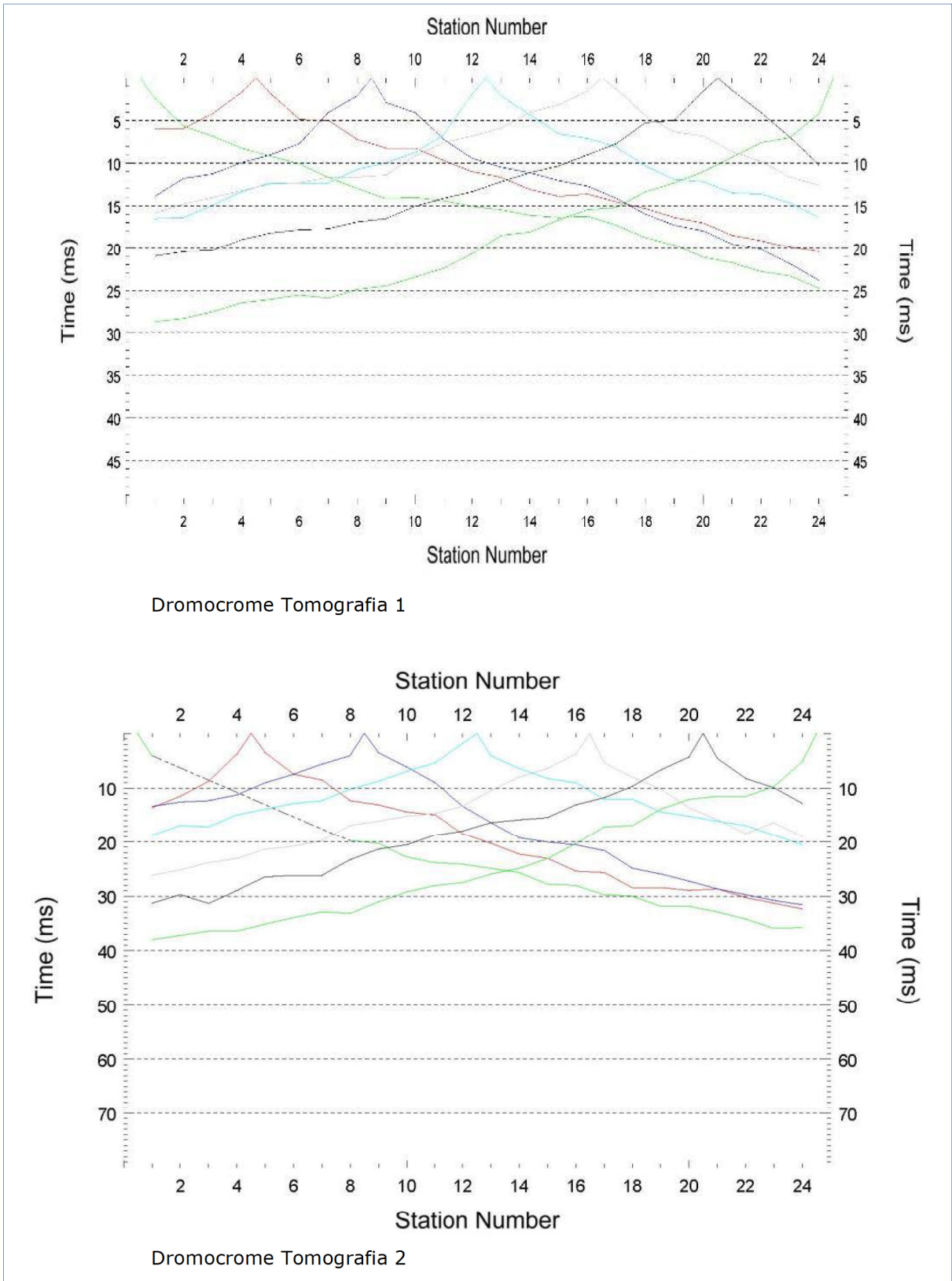


FIG.9 - Linee sismiche in onde P: dromocrome

### 3.2 Morfometria dei due bacini idrografici

Ai fini delle modalità di formazione del deflusso e quindi dell'erosione e del trasporto solido risultano fondamentali, unitamente a fattori di tipo fisico (quali la natura geologica, idrogeologia, ecc.), soprattutto i fattori morfometrici.

In tal senso, nella caratterizzazione di un bacino, assume quindi importanza la conoscenza della quota media (o altitudine media), intesa come media ponderata delle quote di tutti punti del bacino **hm**, nonché quella del dislivello medio **Hm**, ovvero la differenza esistente tra la quota media e la quota della sezione di chiusura (qui rappresentata dalla testa della conoide). A tali valori numerici si affianca quindi la curva ipsografica, che descrive graficamente l'andamento altimetrico della superficie di un bacino<sup>1</sup> e fornisce indicazioni sul grado di evoluzione morfologica dello stesso.

Con riferimento ai due canali esaminati, l'assetto altimetrico mostra una distribuzione delle fasce di quota che risulta simile in entrambi i bacini, Fig. 10, con pendenza media nell'ordine del 18 % nel bacino a nord che salgono leggermente, fino al 23%, in quello a sud.

Per entrambi, le porzioni più montane degli ambiti idrografici mostrano una distribuzione sostanzialmente omogenea, sottolineata dalla uniforme spaziatura delle fasce di quota.

Più a valle invece, dove i corsi vanno a riversarsi sulla striscia di piana costiera, i fianchi degli impluvi si mostrano relativamente più acclivi, e vanno ad evidenziare, talvolta in maniera simmetrica sui versanti, pendenze anche superiori al 50 %. Ne consegue un assetto generale segnato da un pannello delle isoipse sostanzialmente uniforme che assume caratteri pressoché analoghi nei due bacini.

Tale omogeneità e regolare degradare dei versanti diviene ancora più evidente dall'esame dei grafici (Figg. 11 e 12) dove sono diagrammate le curve ipsografiche dei due contesti idrografici individuati.

In particolare, per quanto riguarda le proprietà dei rilievi, il bacino nord mostra (al di sopra della rottura di pendio basale, sul margine costiero) una curva debolmente flessa, che denota un variazione media di 0,01 kmq di superficie di bacino per ogni delta di 6 m circa di quota. (Fig. 11).

Il bacino meridionale (Fig. 12) mostra invece, oltre alla citata acclività maggiore in basso e ad un andamento uniforme nella sezione centrale, anche una ripresa delle pendenze nella parte più alta del bacino, nonostante la quale il profilo finisce con l'assumere una forma leggermente convessa. In sintesi, il confronto tra le curve dei due grafici evidenzia, per il bacino nord, un profilo con forma debolmente più flessa e concava; condizione che lascerebbe supporre, per esso, una condizione debolmente più senescente dell'altro e forse una maggiore maturità morfologica.

---

<sup>1</sup> Indica, per ogni quota, l'area delle porzioni di bacino che sono al di sopra di essa.

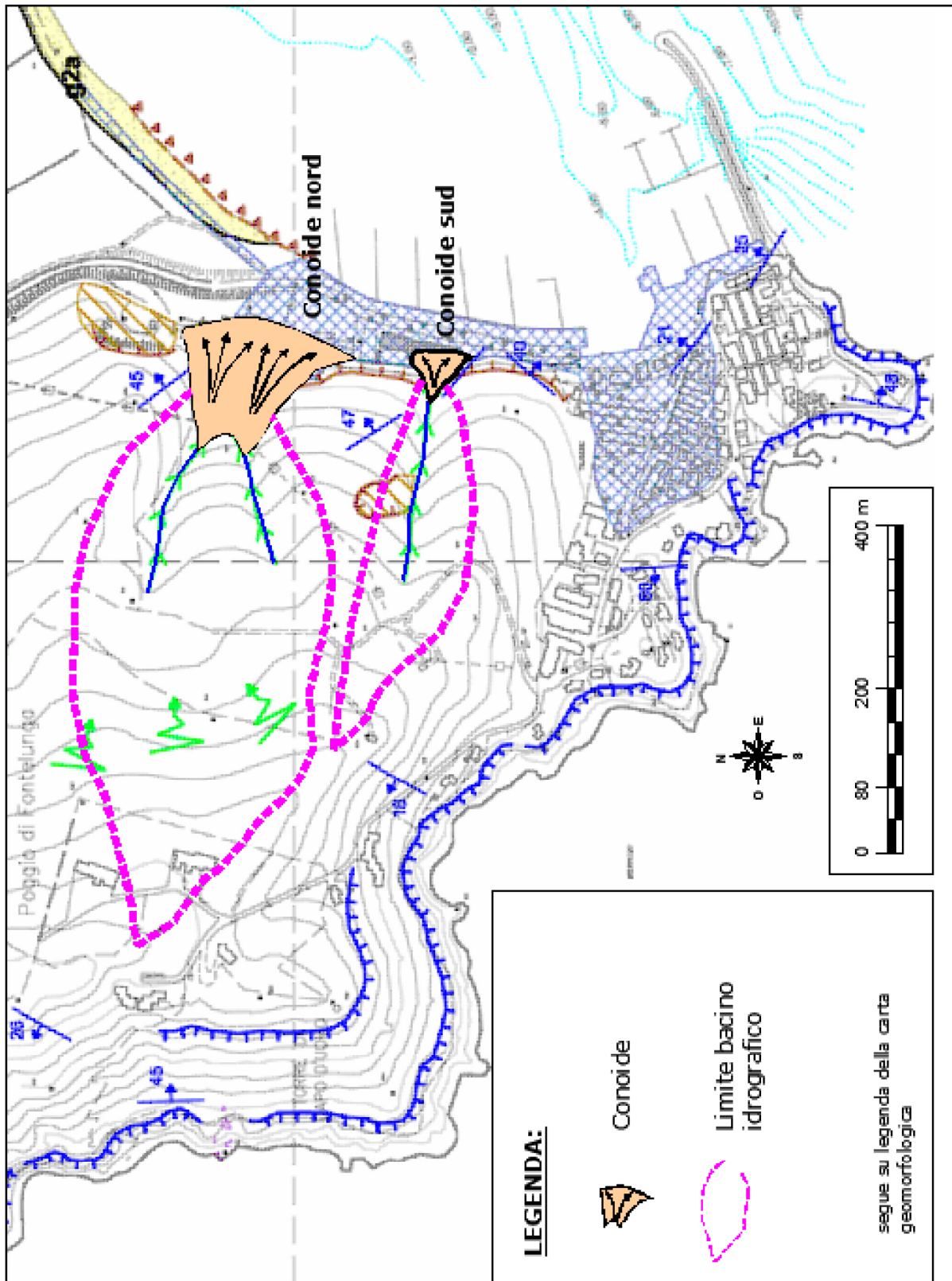


Fig. 10 - Corografia e principali aspetti geomorfologici

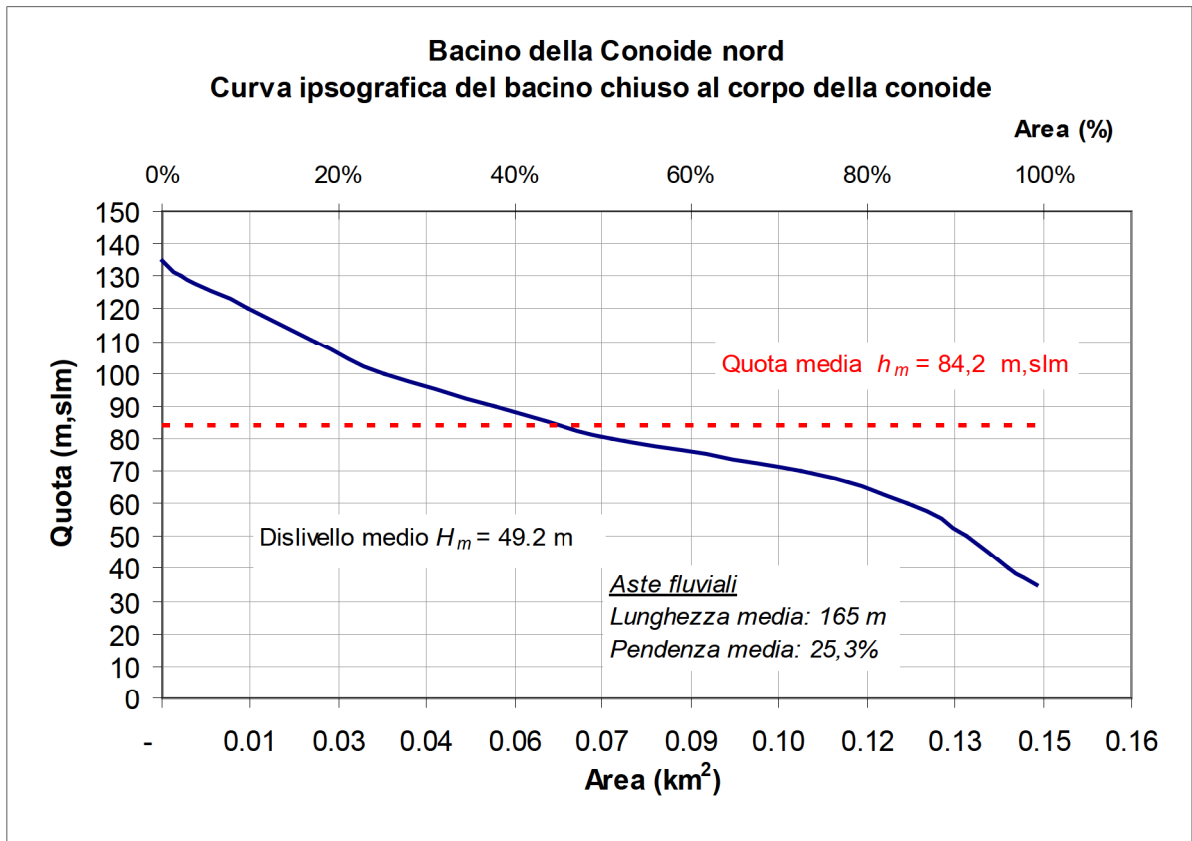


Fig. 11

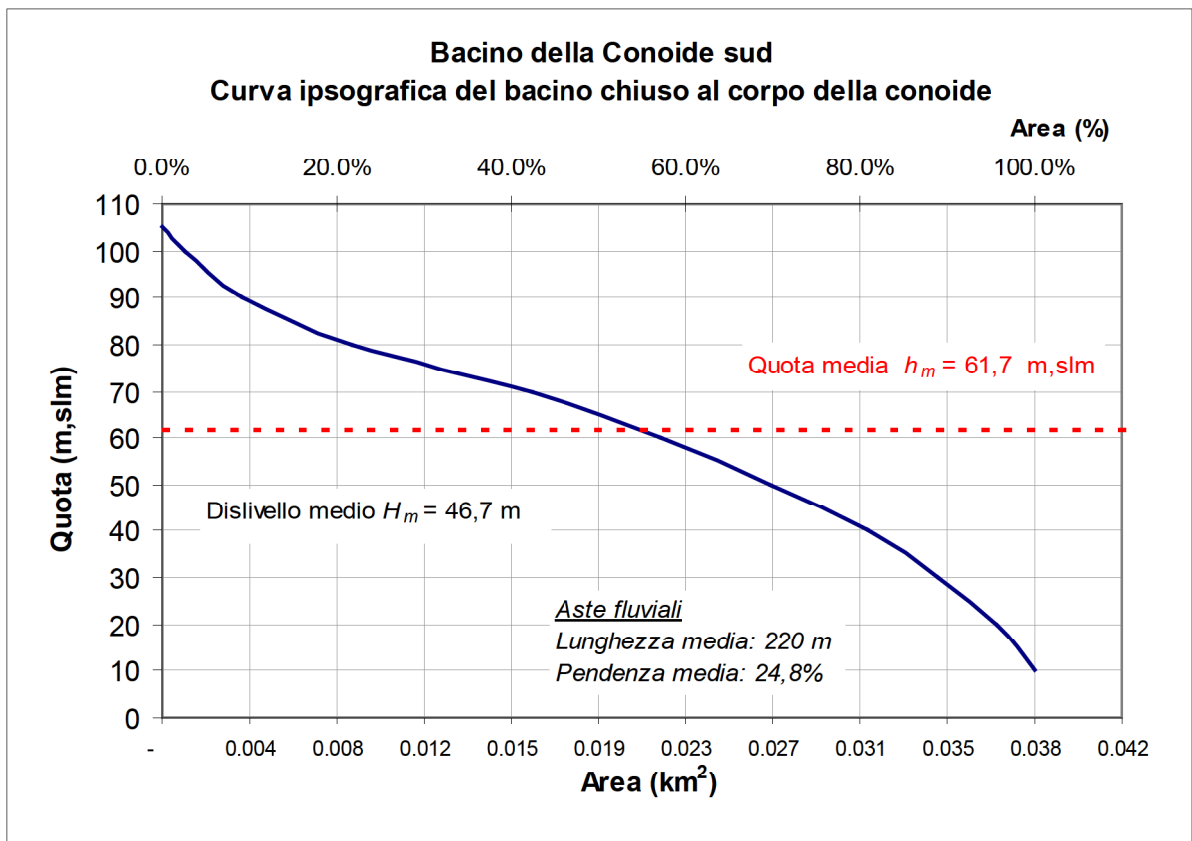


Fig. 12



Passando agli altri parametri morfometrici, molto prossimi appaiono i valori dei dislivelli medi che caratterizzano i due bacini (pari a 49,2 e 46,7 m rispettivamente a nord e a sud), mentre una maggiore differenza si rileva a livello di quota media. Tale parametro si attesta infatti sui 61,7 m, slm per il bacino meridionale e sugli 84,2 m, slm per l'altro, che si dispone su di un più esteso tratto montano del versante.

Il quadro dei principali caratteri morfometrici dei due bacini idrografici, chiusi all'altezza degli apici delle rispettive conoidi, trova riferimento nel prospetto di Tab. 1.

PARAMETRI BACINO		um	Bacino <i>Conoide nord</i>	Bacino <i>Conoide sud</i>
<b>Area</b>	( S )	kmq	0.144	0.038
<b>Perimetro</b>	( P )	km	1.70	1.04
<b>Quota max</b>		m slm	135	105
<b>Quota min</b>		m slm	35	15
<b>Altitudine media</b>	hm	m slm	84.2	61.7
<b>Dislivello medio</b>	Hm	m slm	49.2	46.7
<b>Rapporto di circolarità</b>	( Rc )		0.63	0.45
<b>Fattore di forma</b>	( F )		0.4	1.0
<b>Fattore di Gravelius</b>	( FG )		1.3	1.5
<b>Lunghezza corso fluv.</b>	( L )	km	0.164	0.222
<b>Pendenza media corso flv.</b>		%	25.3%	24.8%

Tab. 1 - Principali parametri morfometrici

In particolare, il Rapporto di circolarità esprime numericamente quanto, il perimetro di un bacino idrografico, si approssimi ad una forma circolare; è espresso dal rapporto fra la superficie del bacino (S) e quella del cerchio avente circonferenza pari al perimetro (P) del bacino stesso:  $RC = (4 \pi S) / P^2$

Il Fattore di forma rappresenta invece il rapporto tra la lunghezza (L) dell'asta principale ed il diametro del cerchio avente area (S) uguale a quella del bacino; tanto più questo fattore è vicino uno e tanto più è raccolta la forma del bacino:  $F = L / (4 S/\pi)$  0,5

Il Fattore di Gravelius esprime infine il rapporto fra il perimetro del bacino (P) e la circonferenza del cerchio avente area uguale alla superficie (S) del bacino:  $FG = P / (4 \pi S)$  0,5

Il confronto tra i dati raccolti per i due ambiti in esame, evidenzia come il bacino del conoide nord abbia superficie e perimetro (0,144 kmq e 1,7 km) rispettivamente quasi quadrupli e doppi dell'altro (0,038 kmq e 1,04 km).

A fronte di questo, tra le proprietà areali sia il fattore di Gravelius ma soprattutto il rapporto di Circolarità sottolineano come il bacino nord propenda verso una forma più svasata e quello sud tenda ad allungarsi assumendo un aspetto penniforme.

Per quanto riguarda infine l'assetto del reticolo idrografico, prendendo in esame le aste delle incisioni "fluviali" più evidenti riportate sulla carta morfologica è da rilevare come, il solco che taglia fondovalle dell'impluvio meridionale mostri una lunghezza leggermente superiore rispetto

all'altro: 0,22 km contro gli 0,16 km (quest'ultimo dato rappresenta la lunghezza media dei due corsi maggiori che caratterizzano il reticolo del bacino settentrionale), mentre la pendenza media di tali alvei si equivalga nei due ambiti, assumendovi valori oscillanti intorno al 25%

In definitiva, un esame degli impluvi mette a confronto un bacino di forma allungata ed un'asta fluviale a sviluppo rettilineo (a sud) con un bacino di forma più raccolta nel quale opera un reticolo più articolato, tendenzialmente dendritico (a nord). In tal senso, la presenza di un'asta di fondovalle più lineare da un lato e di una a sviluppo più tortuoso dall'altro, assume importanza a livello di energia del corso d'acqua. La prima condizione favorisce lo sviluppo di un moto uniforme, mentre il secondo reticolo, segnato da tronchi di raccordo e curve più o meno brusche, vede il formarsi di moti vorticosi che sottraggono fluido al moto generale di trasporto, con conseguente sottrazione di energia alla corrente che rallenta inducendo locali perdite di carico. Ne conseguono, a parità di altri fattori geologico/morfometrici, meccanismi di trasporto potenzialmente maggiori sul bacino a sud che su quello più a nord.

L'esame dimensionale dei corpi dei due conoidi evidenzia come l'apice della conoide a nord si collochi intorno a quota 35 m, s.l.m. e di come l'areale di esistenza di tale deposito si allunghi per circa 160 m in linea d'aria verso est, estendendosi ben oltre il piede del rilievo su di una superficie complessiva di oltre 18000 mq.

La testa della conoide meridionale prende invece origine a circa 15 m, s.l.m. e si estende in linea d'aria per soli circa 60 m, allargandosi su di un areale massimo stimabile pari ad appena 2300 mq, quasi completamente localizzati al piede del versante.

A questi due differenti assetti corrispondono condizioni di pendenza nettamente distinte: il corpo della conoide nord mostra una pendenza media del 18,5% (pari a 10,5°) mentre quello del deposito meridionale si attesta su pendenze di appena il 9,3% (pari a 5,3°).

### 3.3. – Rischio debris flow

Fra le metodologie più utilizzate e indirizzate a valutare il grado di pericolosità di una conoide, si può fare riferimento al **Numero di Melton (Me)**.

Si tratta di un indice che mette in specifica correlazione le condizioni di rilievo e di acclività di una conoide e del suo bacino, e che viene determinato con la formula:

$$M_e = (H_{max} - H_{min}) \times A^{-0.5}$$

$H_{max}$ : quota massima del bacino;

$H_{min}$ : quota apice conoide;

$A$ : superficie del bacino

Tale parametro permette di valutare se il bacino e la sua conoide sono a rischio di debris flow, condizione questa che si può verificare quando tale indice supera un valore teorico critico che il metodo individua pari a: **Me > 0,5**.

Applicando il metodo di Melton allo studio e ai due bacini/conoidi studiati e facendo riferimento ai valori parametri in precedenza determinati, si ottiene:

Conoide nord:

$$H_{\max} = 135 \text{ m, slm}$$

$$H_{\min} = 35 \text{ ms,lm}$$

$$A = 144000 \text{ mq}$$

Si ottiene in tal modo un Numero di Melton pari a **Me** = 0,26 (Conoide nord)

Conoide sud:

$$H_{\max} = 105 \text{ m, slm}$$

$$H_{\min} = 15 \text{ ms,lm}$$

$$A = 38000 \text{ mq}$$

Si ottiene in questo caso un Numero di Melton pari a **Me** = 0,46 (Conoide sud)

In sintesi:

- i valori dell'indice di Melton confermano le indicazioni emerse dallo screening morfologico preliminare e che associavano la conoide nord ad un bacino più maturo/senescente e quella a sud ad un bacino con maggiore energia, anche se è da sottolineare che per quest'ultimo il deposito detritico ha spessore comunque molto esiguo e che quindi il materiale mobilizzabile è in ogni caso del tutto insignificante;
- la quantificazione del grado di pericolosità delle due conoidi fornito dal numero di Melton, evidenzia come nessuna delle due superi il valore teorico critico  $Me > 0,5$  e che pertanto non esiste una condizione di rischio di debris flow: né per la minuscola conoide sud né, tantomeno, per il più consistente deposito che si estende a monte dell'area cimiteriale, che peraltro costituisce uno sbarramento nei confronti di tali fenomeni.

Ad ulteriore verifica di quanto sopra riportato i suddetti valori del numero di Melton ( $Me$ ) sono stati anche diagrammati e posti in correlazione con la pendenza media della rispettiva conoide, in modo da poter puntualizzare la tipologia di trasporto che caratterizza i due depositi in esame (Marchi et alii, 1996 - Valutazione della pericolosità geologica sulle conoidi - Professione Geologo, aprile 1998).

Utilizzando i valori di pendenza dei due accumuli richiamati nel precedente paragrafo (10,5° e 5,3° rispettivamente per il conoide nord e per quello sud) è stato quindi ottenuto l'elaborato grafico di seguito riportato (Fig. 13).

Il diagramma, nonostante il deposito del conoide più sud sia in effetti molto ridotto e di spessore molto esiguo, evidenzia come i due depositi siano entrambi identificabili come conoidi miste, nettamente più prossime alle forme classificabili come **a** - *conoidi da trasporto solido* che alle **c** - *conoidi da debris flow*.

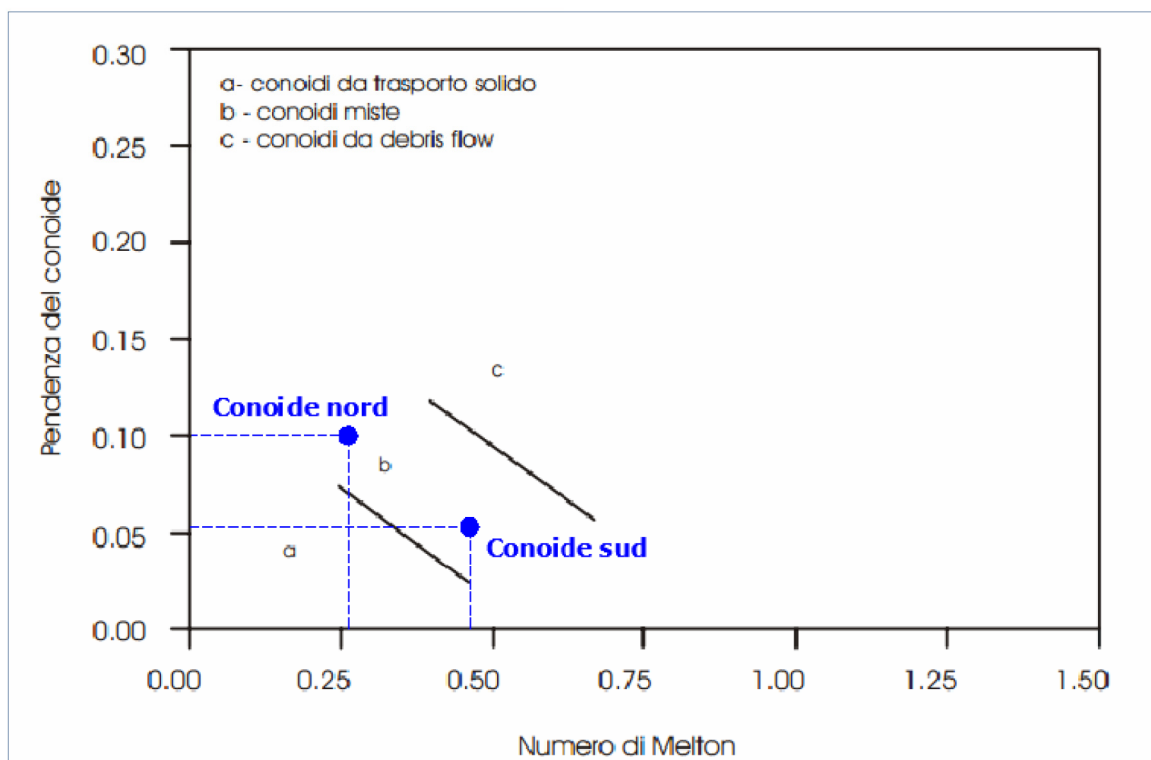


Fig. 13 - Correlazione tra Pendenza e Numero di Melton

Il complesso delle informazioni evidenziate dalla presente analisi, unitamente a quelle emerse dai sopralluoghi ed anche dagli elementi geomorfologici rilevati in tale ambito (esiguità dello spessore dei depositi, presenza di strutture artificiali di sbarramento quali cimitero) portano ad escludere la possibilità di fenomeni di debris flow in corrispondenza dei due depositi di conoide presi in esame e quindi a ripensare la classe di pericolosità geologica geomorfologica attribuita a tali settori, che non deve più intendersi elevata.

### 3.2. – Zona Ex cava

L'ex cava segnalata a pericolosità geologica-geomorfologica G3 si trova immediatamente a nord dell'area cimiteriale e del conoide nord, Fig.14. La zona appare caratterizzata da una scarpata non troppo elevata, poco oltre i 20 metri nel punto più alto, ad andamento subverticale, con il Calcare Cavernoso variamente alterato, in affioramento. Alla base si sviluppa l'ex piazzale di lavoro, con immediatamente a ridosso delle pareti un relativo deposito detritico ricoperto da fitta boscaglia per lo più arbustiva, Fig.15, che testimonia una generale stabilità del deposito stesso e il non elevato apporto detritico dalla parete superiore. Peraltro la barriera vegetale offre uno schermo protettivo al sottostante piazzale, attualmente utilizzato come rimessaggio autorizzato per imbarcazioni e attività cantieristica per riparazioni etc., Foto 6, 7 e 8.

La scarpata non mostra segni di cedimenti e/o distacchi significativi recenti, del resto le condizioni stratigrafiche, caratterizzate da una giacitura a traverspoggio tendono a favorire una relativa stabilità all'ex fronte di scavo. In ogni caso è evidente una relativa fratturazione e alterazione dell'ammasso e quindi, nonostante siano evidenti i segni di una relativa ricolonizzazione vegetale



sulla parete che tende a confermare la discreta stabilità della stessa, Foto 9, non si possono escludere distacchi di blocchi, anche se il grado di frammentazione visibile, indica volumi per il singolo blocco molto contenuti, poco più che decimetrici max.

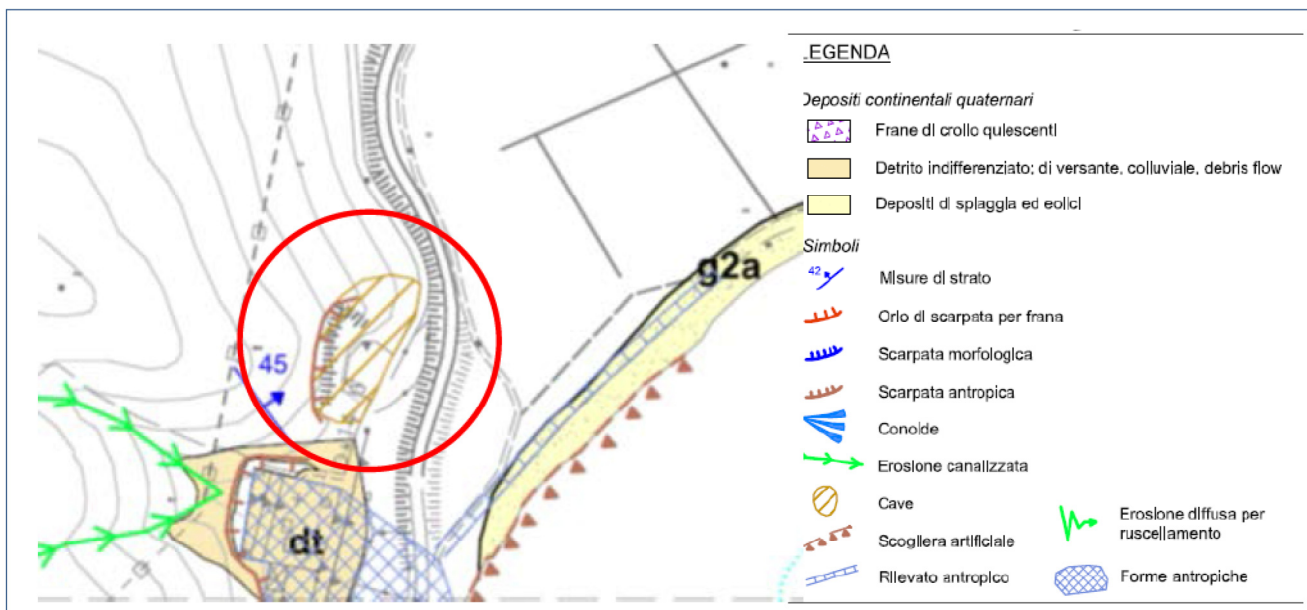


Fig. 14 - Ubicazione ex cava







Foto 6 Panoramica della zona dell'ex cava (vista dalla strada provinciale)



Foto 7 Panoramica della zona interna del piazzale col rimessaggio imbarcazioni (settore nord)



Foto 8 Panoramica della zona del piazzale, col deposito detritico vegetato alle spalle e la ex parete di scavo (vista da strada provinciale)



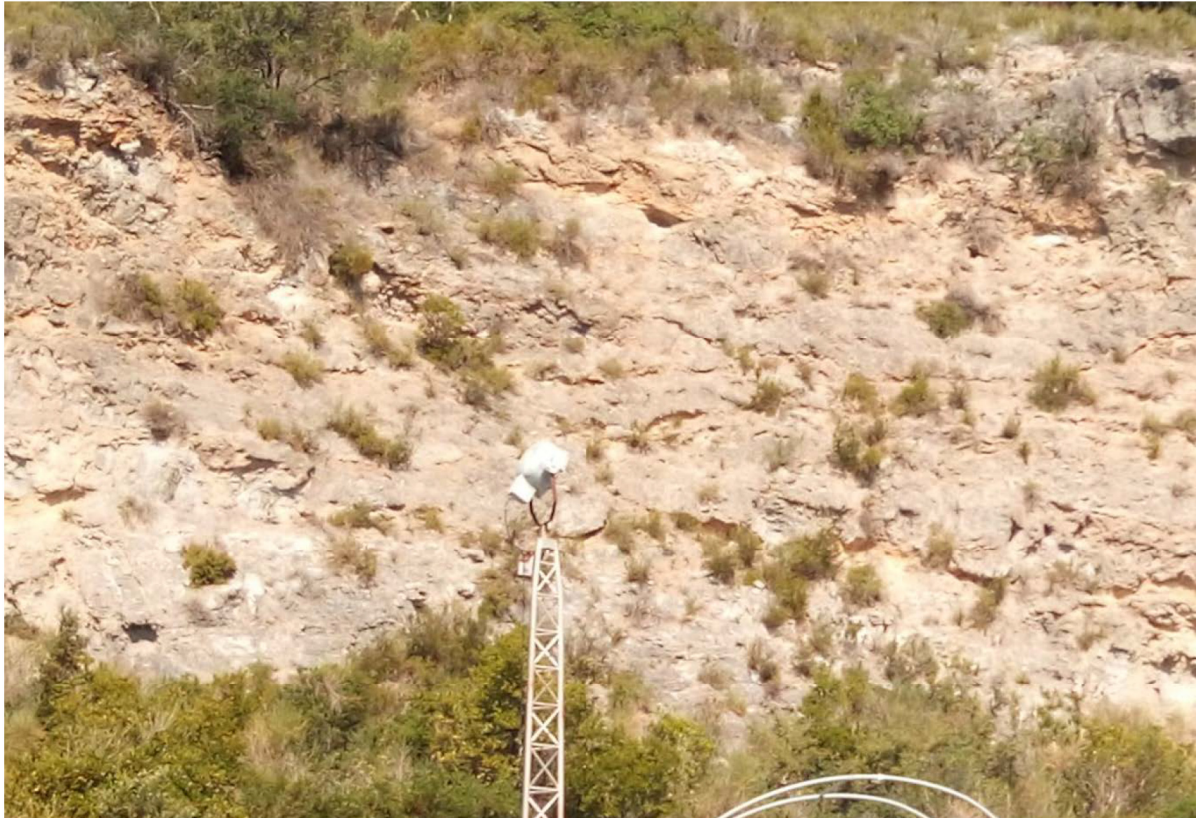


Foto 9 Vista dell'ex parete di scavo. Sono evidenti i segni di ricolonizzazione vegetale sulla parete

L'area a monte della scarpata, dovuta all'ex attività estrattiva, non presenta elementi geomorfologici che lascino intravedere attività geomorfica in atto, né tanto meno elementi da ricondurre a fragilità condizionate dalla presenza della stessa scarpata morfologica. L'area appare stabile e senza particolarità geomorfologiche significative. Non si intravedono aree da cui si abbiano distacchi significativi di materiale

Il quadro che emerge dai rilievi e dalle osservazioni fatte non evidenzia quindi elementi di fragilità geomorfologica tali da far presupporre condizioni di rischio importanti né per le attività oggi presenti sul piazzale a valle dell'ex area di scavo, né tanto meno per gli interventi di riassetto stradale programmati nel PRP (rotonda), che peraltro andranno ad investire un'area che solo marginalmente, nel settore più esterno, verso l'attuale strada provinciale, interesserà il piazzale dove oggi insiste l'attività di rimessaggio. Eventuali collassi parziali della ex parete di scavo, poco probabili viste le attuali condizioni geomorfologiche, troverebbero nel detrito alla base un ostacolo. Lo stesso distacco di blocchi, viste le non elevate altezze della scarpata, la sua conformazione, non troverebbe l'energia sufficiente per andare ad interessare la viabilità, distante oltre 35-40 metri dalla base della scarpata, anche nella conformazione prevista dal PRP.

### **3.3 - Problematiche legate al quadro geotecnico locale della piana alluvionale**

Come riportato nella Relazione Geologica del 2018, il quadro geotecnico nell'area della piana a ridosso della collina su cui si sviluppa gran parte dell'abitato di Talamone, come hanno mostrato alcuni sondaggi eseguiti a supporto di precedenti progetti di adeguamento e ampliamento del

porto, il Calcarea Cavernoso che rappresenta il litotipo costituente i rilievi circostanti, rappresenta anche il substrato litoide, che mediamente viene incontrato tra una profondità minima di 2 metri ed una massima di 8.50 dal p.c.. Tale litotipo, più o meno alterato, compare in genere sotto una copertura rappresentata da riporto (max 2 metri) oppure sotto uno spessore variabile tra 6.00 e 8.50 metri di sabbia medio fine, da poco addensata a bene addensata, quest'ultima talora con "pezzame" calcareo.

Nei sondaggi a mare i calcari sono stati incontrati a profondità variabili. In acque basse (qualche decimetro di profondità) il tetto si trova tra gli 8/9 e i 15 m sotto il l.m.; in acque più alte, alcuni metri di profondità (tra 5 e 7 metri) il tetto è stato incontrato tra un minimo di 10 metri ed un massimo di 17 metri.

La copertura sui calcari mostra una litologia di due tipi: il primo, generalmente in posizione più superficiale, è un deposito sabbioso da medio-fine a fine limoso, debolmente addensato, con resti vegetali e conchigliari; il secondo è invece costituito da "pezzame" calcareo, talora con ciottoli, in matrice sabbiosa molto addensata; quando, a luoghi, manca il "pezzame" calcareo la sabbia risulta sempre molto addensata. Facendo quindi riferimento ai dati geognostici a disposizione nella relazione già citata, cui si rimanda per una più dettagliata descrizione del quadro geotecnico, e tenuto conto anche dei risultati di prove geotecniche di laboratorio è stato ricostruito un quadro geognostico parametrico differenziato per la zona di terra ferma e per quella a mare entrambe interessate dalle previsioni del Piano Regolatore Portuale:

#### Zona terra ferma

0.0m	-	6.0÷8.5m	sabbia con "pezzame" calcareo e/o sabbia da media fine a fine limosa, debolmente addensata, con resti vegetali (alghe) e con raro ghiaino. ( <b>Orizzonti A e A'</b> )
6.0÷8.5m	-	<10.0m	calcare molto fratturato. Trias superiore: calcare cavernoso, unità di Talamone. ( <b>Orizzonte B</b> )

#### Zona mare

0.0m	-	6.60m	mare
6.6m	-	8.5÷12.7m	sabbia da media fine a fine limosa, debolmente addensata, con resti vegetali (alghe) e con raro ghiaino. Deposito recente, superficialmente rimaneggiato dai moti ondosi. ( <b>Orizzonte A'</b> )
8.5÷12.7m	-	17.0m	sabbia media con "pezzame" calcareo, molto addensata. ( <b>Orizzonte A</b> )
17.0m	-	<18.0m	calcare molto fratturato. Trias superiore: calcare Cavernoso. ( <b>Orizzonte B</b> ).

Sotto il profilo geotecnico quindi, il sottosuolo è sostanzialmente caratterizzato nei primi 8-10 metri da un deposito costituito da sabbie fini, sabbie limose, con resti vegetali, scarsamente addensato. Questo quadro è particolarmente valido per l'attuale zona portuale.

L'area di piana più direttamente alle spalle dell'attuale area portuale, è ancora caratterizzata superficialmente da depositi prevalentemente sabbiosi fini di facies alluvionale ma che verso nord-est, passano invece lateralmente a depositi più di facies lacustre e più fini argillosi limosi, sicuramente meno addensati e compressibili.

L'area di pianura che caratterizza l'entroterra di Talamone e che si sviluppa verso Fonteblanda è quindi caratterizzata da depositi superficiali relativamente poco addensati, che possono dar luogo



a fenomeni di cedimenti differenziali. L'area non è tra quelle comunque segnalate a livello regionale come affetta da fenomeni significativi di subsidenza naturale e progressiva.

Al fine di definire con maggiore dettaglio il quadro geotecnico del sottosuolo dell'area interessata dal PRP, rispondendo così anche alle richieste di integrazioni avanzate del Genio Civile Toscana Sud, è stata programmata una opportuna campagna geognostica. La logistica locale unitamente alle destinazioni d'uso locali delle aree, in parte caratterizzate da presenza di infrastrutture portuali e/o altrimenti da attività turistiche, ha necessariamente condizionato la scelta della tipologia di indagine e il suo svolgimento.

In particolare sono state programmate alcune penetrometrie statiche con punta meccanica, che viste le condizioni locali, permettevano una più rapida esecuzione e più facile ubicazione in un contesto, in cui, prevedendo sondaggi a carotaggio, sarebbero state necessarie più difficili autorizzazioni e preventive preparazioni delle aree di perforazione, nonché approvvigionamenti di materiale e acqua per le varie operazioni. L'ubicazione delle prove eseguite, che come detto è stata comunque condizionata dall'accessibilità non sempre facile, è riportata nella Fig.16.



Fig. 16 Ubicazione prove CPT

Sostanzialmente le prove eseguite hanno raggiunto profondità max di 8 – 9 metri, a cui in genere l'infissione ha incontrato rifiuto.

Fino a tale profondità la resistenza alla penetrazione della punta  $R_p$  ( $q_c$ ), ha mostrato, dopo il primissimo metro, metro e mezzo, generalmente più consolidato e talora caratterizzato da riporto, la presenza di un orizzonte a bassa resistenza fino verso i 5-6 metri dal p.c. (Orizzonte A), cui segue, anche se non sempre, uno spessore di 3-5 metri a maggiore resistenza (Orizzonte B) e infine l'orizzonte basale (Orizzonte C).

Questo andamento è pressoché costante su tutta l'area. La pseudo sezioni di Figg. 17 e 18, illustrano il quadro litotecnico emergente dalle prove.

Sostanzialmente, superato l'orizzonte superficiale, quasi sempre marcato nel primo 0.5/1.0 metri da presenza di terreno rimaneggiato e/o di riporto, si entra nell'Orizzonte A, in cui le resistenze sono decisamente basse:  $R_p$  varia da 1  $\text{kg/cm}^2$  (CPT 4) a mediamente 2-3 max 5  $\text{kg/cm}^2$ . Il deposito prevalentemente sabbioso, come evidenzia anche la resistenza laterale, sembrerebbe mostrare la presenza di intercalazioni più scadenti, probabilmente caratterizzate da materiali vegetali e resti di alghe e non da escludere, specie nelle zone più interne dell'area, da intervalli torbosi.

L'orizzonte che appare poco addensato (CPT 1, 2 e 3) e talora molto sciolto (CPT 4), è quindi caratterizzato da elevata compressibilità.

Oltre i 5-6 metri dal p.c., il quadro migliora. L'Orizzonte B, sabbioso, mostra resistenze all'infissione  $R_p$  mediamente superiori ai 15-20  $\text{kg/cm}^2$ , con punte oltre i 40-50  $\text{kg/cm}^2$ . L'orizzonte appare decisamente più addensato e poco compressibile.

L'Orizzonte C, basale segna con ogni probabilità il passaggio al substrato, che come visto dalle stratigrafie dei vari sondaggi, nell'area è sempre più o meno attestato sugli 8-9 metri dal piano campagna.

Le indagini di fatto hanno confermato la presenza nei primi 5-6 metri dal piano campagna di terreni caratterizzati da scarsa resistenza e da una significativa compressibilità, caratteristiche che fanno sì che la possibilità di cedimenti differenziali possa essere concreta, specie in caso di strutture significative in elevazione e sviluppate in pianta.

Il PRP, prevede la realizzazione di poche strutture, sostanzialmente semplici, e per lo più destinate a servizio delle attività svolte nell'area del nuovo sistema portuale. Fondamentalmente le condizioni di fragilità geotecnica evidenziate non hanno alcun riflesso sulla realizzazione delle aree a parcheggio, sui piazzali di servizio e per quanto riguarda le opere non particolarmente incidenti sul terreno e contenute strutturalmente, potranno essere ovviate e mitigate con adozione di fondazioni rigide e strutture alleggerite.

Particolari attenzioni andranno tuttavia tenute per la progettazione e realizzazione delle strutture arginali. La possibilità di deformazioni legate ad assestamenti anche differenziali, specie su strutture con geometria particolare come quella di un argine, potrà richiedere la necessità di ricorrere a tecnologie quali Terre Armate, che oltre a garantire una maggiore elasticità e compattezza alla struttura, permette di contenere la geometria della stessa e quindi anche i carichi conseguenti.

Considerata inoltre la compressibilità dei terreni, seppur si tratti di depositi prevalentemente sabbiosi peraltro con falda molto superficiale, la presenza di una certa componente organica e la possibilità di torbe nei primissimi metri dal p.c., inducono a consigliare comunque l'adozione di precarichi, lasciando assestare almeno parzialmente, l'area sotto il carico del rilevato arginale non completato. Il tempo di precarico dipenderà dagli effettivi carichi rappresentati dalle opere che saranno progettate.

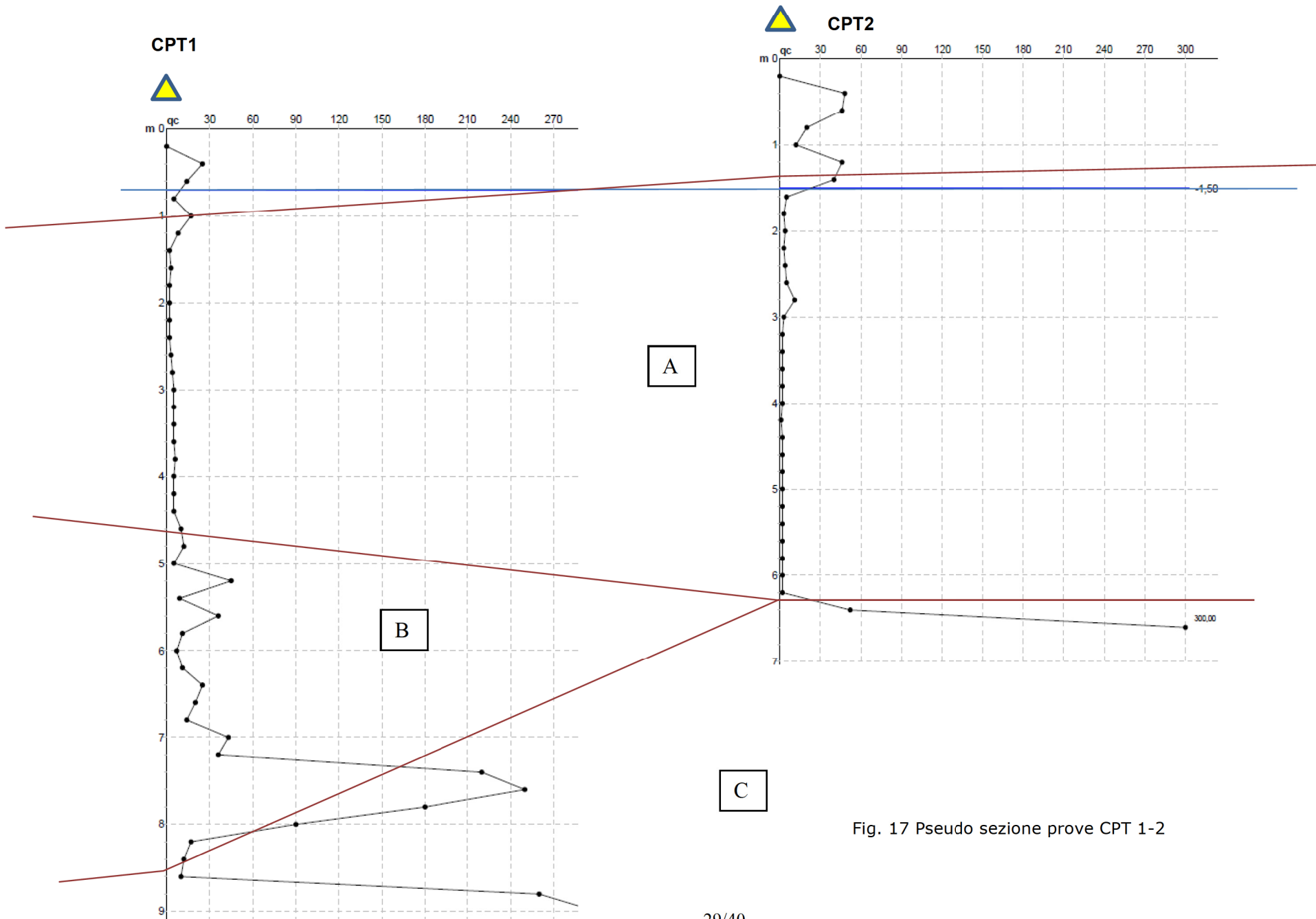


Fig. 17 Pseudo sezione prove CPT 1-2

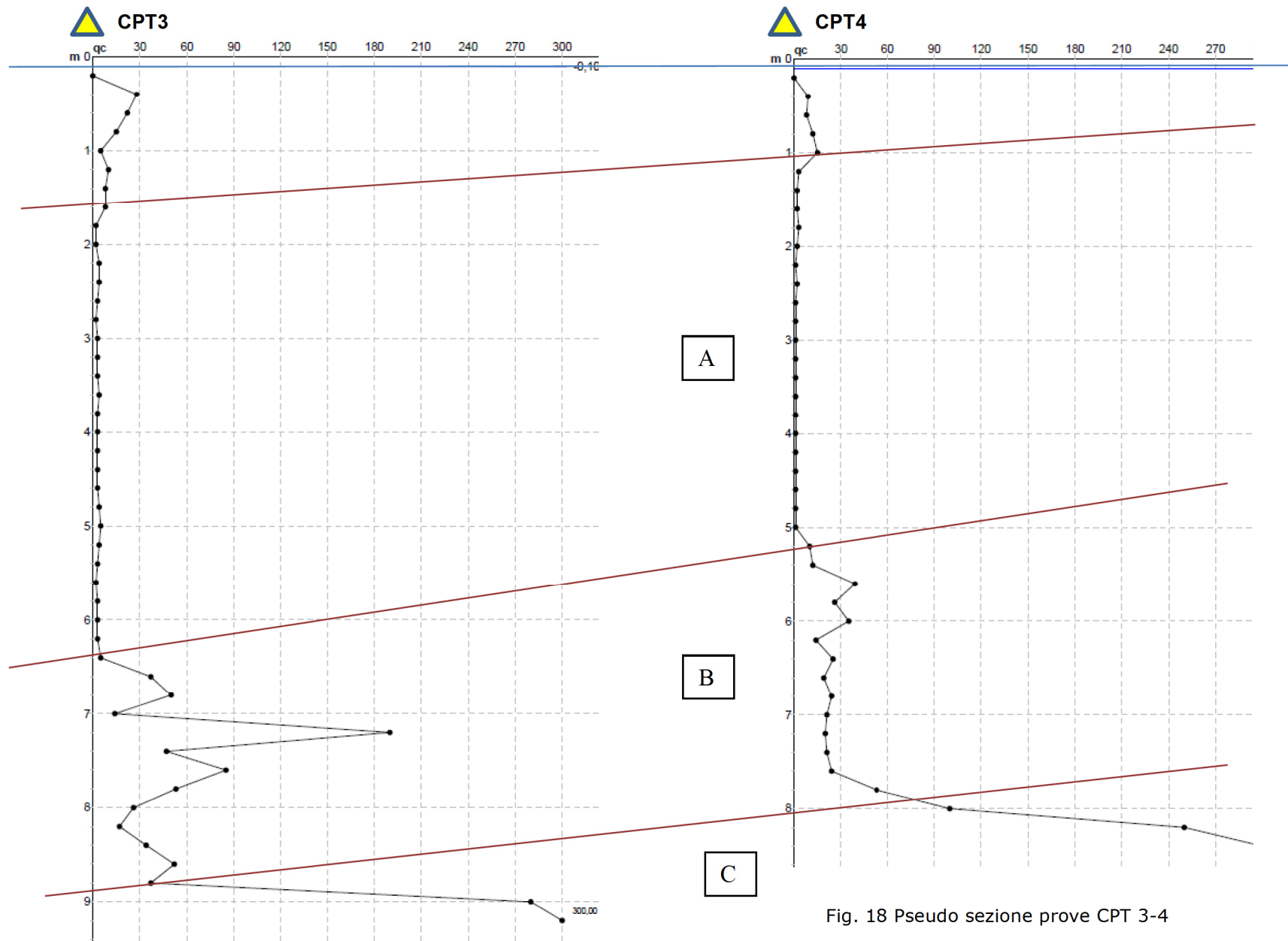


Fig. 18 Pseudo sezione prove CPT 3-4



#### 4. – MODIFICA DELLA FOCE DEL COLLETTORE OCCIDENTALE

Come descritto nella Relazione Geologica del 2018, cui si rimanda per tutti i dettagli riguardo al quadro di fragilità idraulico locale, sia l'area dell'abitato di Talamone così come la zona interessata dal PRP sono caratterizzate da condizioni di rischio idraulico legate alla eventualità che l'area sia invasa dalle acque fuoriuscite dalla rete idrografica per insufficiente capacità di smaltimento delle portate in transito nella stessa, in particolare dal Collettore occidentale, dalla rete di acque basse ad esso connessa ed anche in arrivo dai rilievi circostanti.

Il P.G.R.A. (2016), Fig.19, illustra le condizioni di pericolosità idrauliche locali.

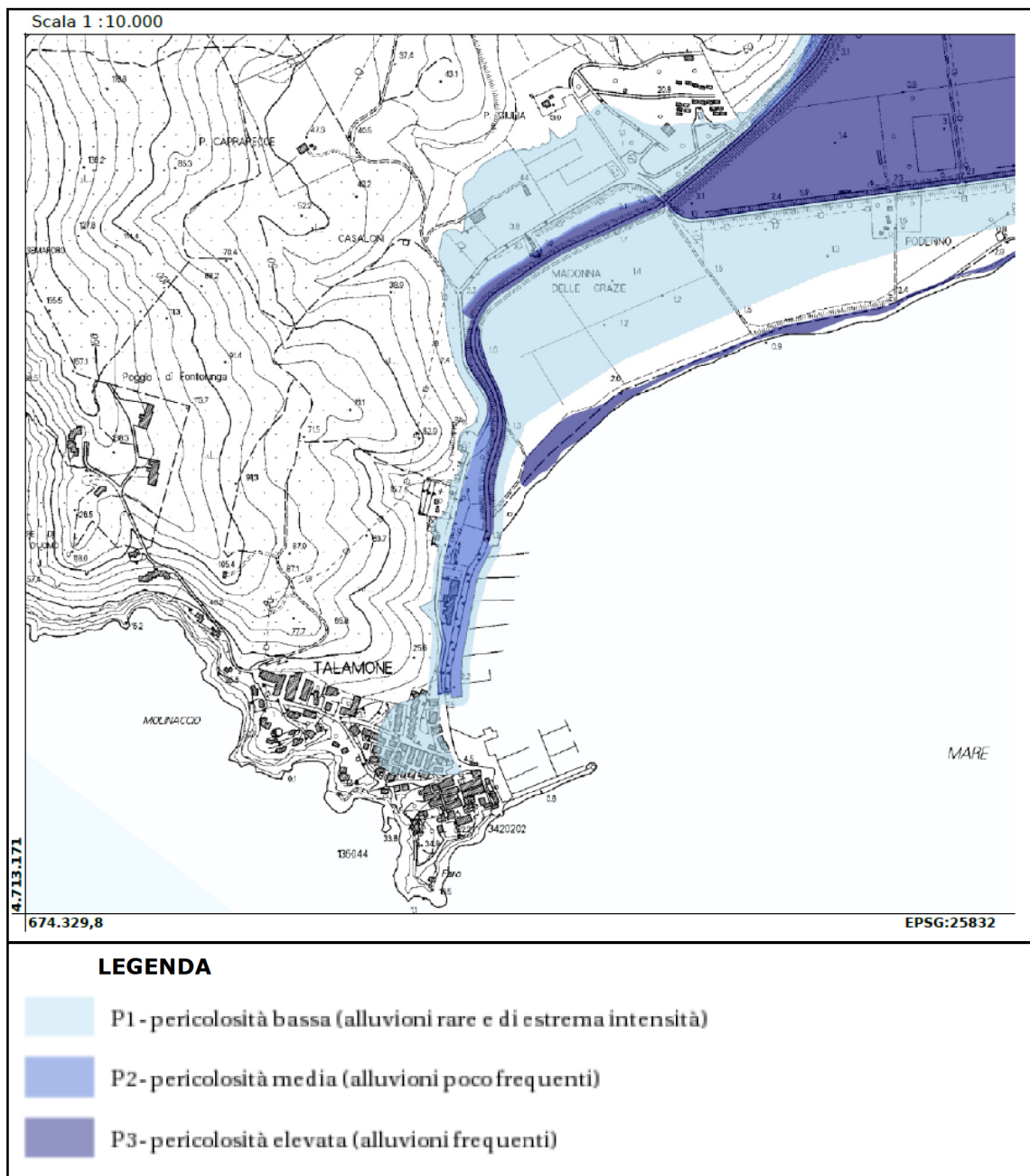


FIG. 19 - Carta della pericolosità idraulica (da P.G.R.A. Regione Toscana)

La tabella che segue si riporta un quadro di raffronto tra le classi di pericolosità idraulica così come previste dal PGRA e dal DPGR 53/R:

<b>Classi di Pericolosità DPGR 53/R</b>	<b>Classi di Pericolosità Direttiva Alluvioni P.G.R.A.</b>
I1	--
I2	P1
I3	P2
I4	P3

Tab. 2 Confronto classi di Pericolosità PGRA/DPGR 53R

Il Piano Regolatore Portuale, con le sue previsioni, interferisce con zone drenate naturalmente dal Canale Collettore, potenzialmente inondabili e considerate nel PS a Pericolosità Idraulica Elevata **I3** e/o Molto Elevata **I4** e dal PGRA a pericolosità rispettivamente media P2 ed elevata P3, che quindi ai sensi della L.R.41/2018 si configurano in scenari rispettivamente di pericolosità per *alluvioni poco frequenti* e per *alluvioni frequenti*.

L'area che è invece interessata dalla riconfigurazione della foce del collettore e delle opere connesse, ricade sostanzialmente in una zona considerata in classe di pericolosità **I2** media (P1 per PGRA). Una relativa fascia a pericolosità **I4** (P3) è evidenziata lungo la spiaggia ad Est dell'abitato di Talamone, probabilmente legata al rischio di allagamenti per forti mareggiate, Fig.20.

Acquatecno a supporto del PRP del Porto di Talamone proposto e a supporto della Variante di Riconfigurazione della foce del collettore, ha eseguito uno Studio Idrologico ed uno Studio Idraulico, i cui esiti sono già stati sottoposti all'approvazione degli Enti di controllo e i cui risultati erano altresì riportati nella Relazione Geologica citata.

Lo studio era stato indirizzato ad individuare soluzioni progettuali di deflusso che non aumentassero la pericolosità idraulica del Collettore Occidentale né a monte né a valle delle opere presenti e previste e che portassero ad una mitigazione delle condizioni di rischio sia per le future opere che per tutta l'area, compreso l'abitato contermina.

A seguito dello studio idrologico e idraulico e della conseguente modellazione idraulica, veniva proposta la nuova Carta della Pericolosità Idraulica, rispetto anche al Lay out di progetto, con il probabile scenario di pericolosità idraulica dopo la realizzazione dei lavori di deviazione del collettore e la realizzazione delle strutture arginali di protezione previste dal PRP.

A seguito di osservazioni fatte da privati e su proposta degli stessi, il comune ha accettato di spostare la foce del collettore, allontanando quest'ultimo dalla zona dell'attività di Camping posta a est della strada provinciale. Ciò ha richiesto un nuovo studio idrologico e idraulico con nuove modellazioni, eseguite da tecnici appositamente incaricati (Relazione Idrologica Idraulica Ing Moretti COOPERATIVA CIVILE STP Soc. Coop.- 2019), cui si rimanda per i risultati e per ogni dettaglio riguardo a metodi, condizioni di calcolo e modelli. Di seguito tenuto conto dei risultati dei citati studi, si riporta la nuova Carta della Pericolosità idraulica ricostruita, tenendo conto della nuova configurazione della foce e degli scenari esondativi emersi per tempi di ritorno  $Tr=30$  anni e  $Tr=200$  anni, Fig.21. Gli studi hanno previsto anche modellazioni con previsione delle velocità dei

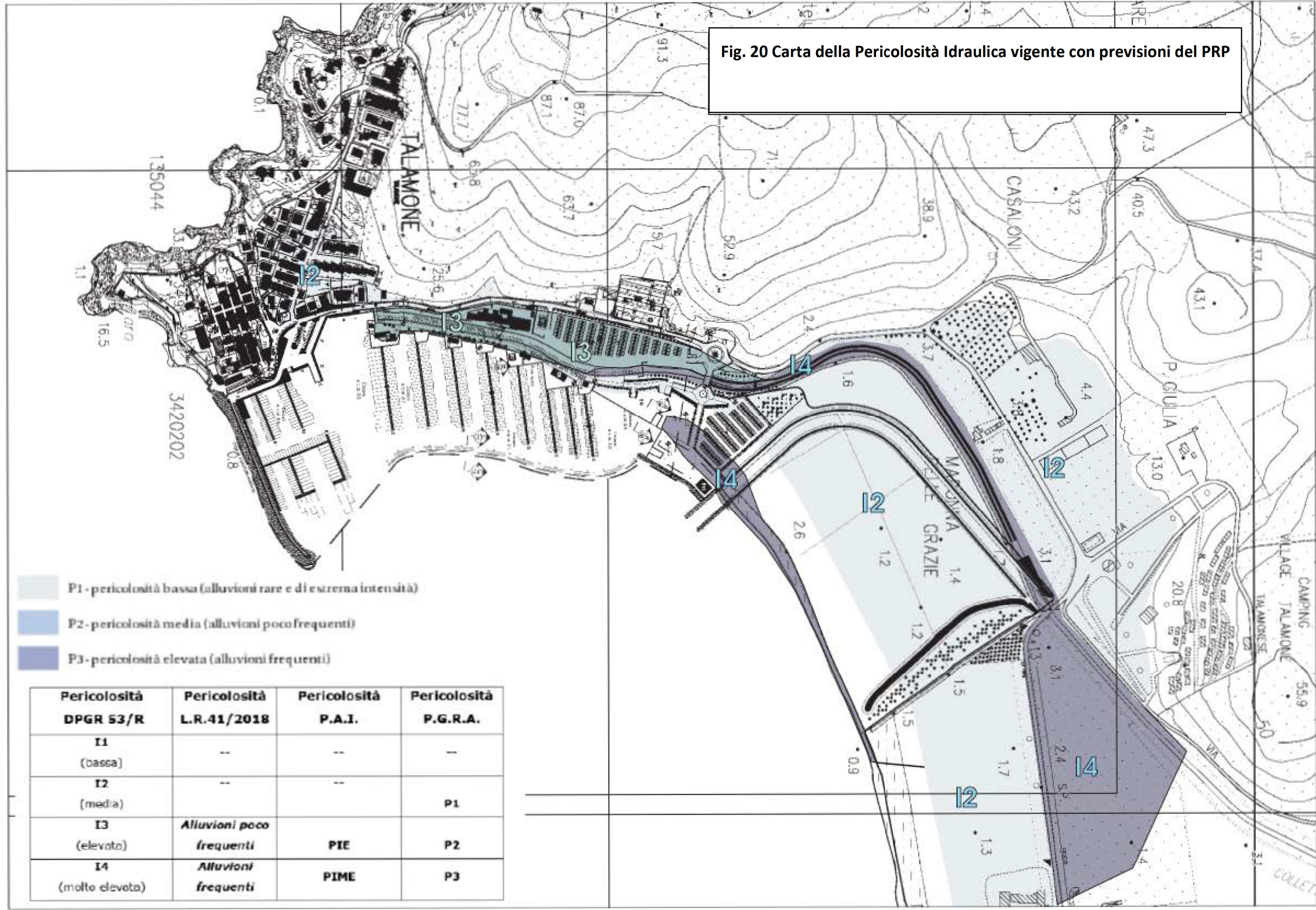
tiranti idraulici e dei battenti competenti l'area di studio. Fondamentalmente il quadro emergente, nei criteri informativi generali rimane lo stesso rispetto al precedente proposto con la Relazione del 2018.

Le modellazioni escludono esondazioni che oltrepassino l'argine di contenimento del nuovo collettore, anche nel caso di eventi con  $Tr=500$  anni. Tuttavia si è ritenuto di mantenere la classe di pericolosità I2 media (alluvioni rare e di estrema intensità **P1** PGRA  $Tr=500$  anni) per la porzione di abitato di Talamone che si affaccia sul porto e per la fascia immediatamente a valle del Poggio di Fontelunga, per le quali riteniamo, anche alla luce della quota morfologica cui si trovano rispetto al l.m e al collettore, zone di transito di acque non controllate provenienti dal suddetto poggio in caso di eventi rari.

L'intervento di riconfigurazione della foce del collettore porta quindi a notevoli benefici in termini di sicurezza idraulica per tutta l'area portuale, e ugualmente ha funzione mitigatrice anche per parte del territorio urbanizzato di Talamone.



Fig. 20 Carta della Pericolosità Idraulica vigente con previsioni del PRP

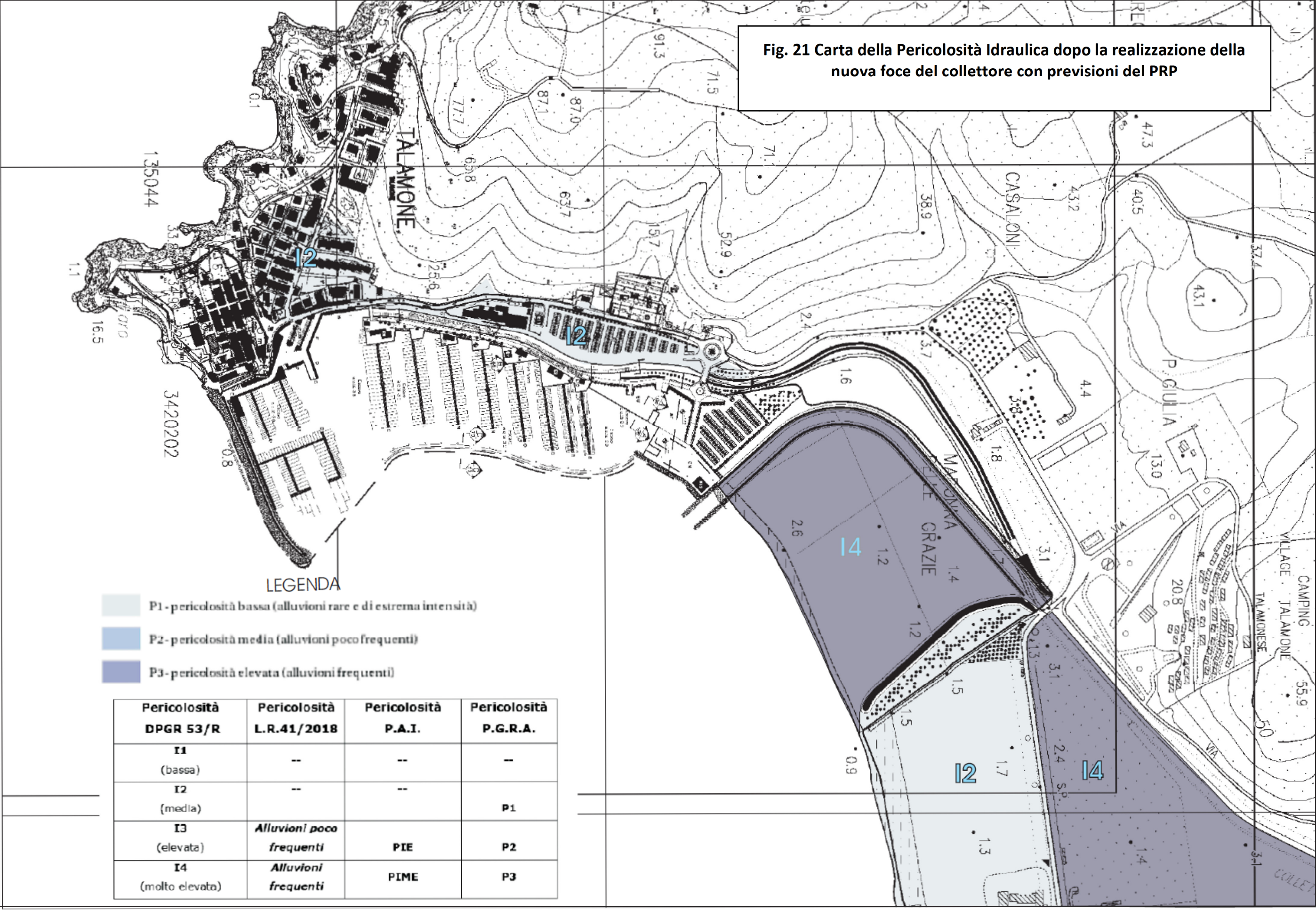


- P1 - pericolosità bassa (alluvioni rare e di estrema intensità)
- P2 - pericolosità media (alluvioni poco frequenti)
- P3 - pericolosità elevata (alluvioni frequenti)

Pericolosità DPGR 53/R	Pericolosità L.R.41/2018	Pericolosità P.A.I.	Pericolosità P.G.R.A.
I1 (bassa)	--	--	--
I2 (media)	--	--	P1
I3 (elevato)	<i>Alluvioni poco frequenti</i>	PIE	P2
I4 (molto elevato)	<i>Alluvioni frequenti</i>	PIME	P3



Fig. 21 Carta della Pericolosità Idraulica dopo la realizzazione della nuova foce del collettore con previsioni del PRP



- LEGENDA**
- P1 - pericolosità bassa (alluvioni rare e di estrema intensità)
  - P2 - pericolosità media (alluvioni poco frequenti)
  - P3 - pericolosità elevata (alluvioni frequenti)

Pericolosità DPGR 53/R	Pericolosità L.R.41/2018	Pericolosità P.A.I.	Pericolosità P.G.R.A.
<b>I1</b> (bassa)	--	--	--
<b>I2</b> (media)	--	--	<b>P1</b>
<b>I3</b> (elevata)	<b>Alluvioni poco frequenti</b>	<b>PIE</b>	<b>P2</b>
<b>I4</b> (molto elevata)	<b>Alluvioni frequenti</b>	<b>PIME</b>	<b>P3</b>



## 5. APPROFONDIMENTI RELATIVAMENTE ALLA FATTIBILITA'

Le limitazioni e le prescrizioni per le diverse classi di pericolosità che condizionano la fattibilità degli interventi sono riportate nelle disposizioni contenute nel DPGR n.53/R-Regolamento di attuazione dell'articolo 62 della legge regionale 3 gennaio 2005, n. 1 (Norme per il governo del territorio). In particolare, e sono ampiamente illustrate nella relazione geologica prodotta nel 2018. Come detto in premessa

Le opere ipotizzate dal PRP così come le opere connesse alla riconfigurazione della foce del collettore occidentale, come descritto in precedenza vengono per lo più ad inserirsi in un contesto geologico stratigrafico caratterizzato da depositi di facies alluvionale costituiti da limi sabbiosi prevalenti alternati a sabbie e argille sabbiose. Fondamentalmente quindi tali opere vanno ad interessare un contesto caratterizzato da terreni con caratteristiche geotecniche medio basse e quindi da una Pericolosità Geologica-Geomorfologica elevata G3 per problematiche legate più che a potenziale subsidenza, a possibili cedimenti differenziali. Il PRP, prevede anche parcheggi a raso, tra cui quello a monte del canale collettore che come descritto ricade su un area considerata a livello di PAI in P.F.E. Ugualmente, con riferimento al quadro di Pericolosità idraulica vigente alcune opere e interventi vanno ad interferire con classi di pericolosità I3 e I4 che portano a classi di fattibilità F4.

In Fig. 22 si riporta la Carta della Fattibilità già predisposta nella Relazione Geologica 2018, ma integrata con la nuova posizione della foce così come rivista. La descrizione delle fattibilità competenti i vari interventi desunte in base al grado di pericolosità, è stato illustrato nella Relazione Geologica citata, a cui si rimanda per ogni dettaglio in merito.

Tali situazioni di pericolosità portano ad una fattibilità di natura geologica (F3) condizionata per gli interventi quali il parcheggio a monte dell'esistente collettore e per la zona di realizzazione dei servizi di supporto all'attività portuale. Per tali interventi, ai sensi del punto 3.1 e del punto 4 allegato A al D.P.G.R. 25/Ottobre/2011 n° 53/R, il Genio Civile ha richiesto studi geologici, idrogeologici e geotecnici finalizzati alla verifica delle effettive condizioni litotecniche dell'area ed alla prevenzione di fenomeni geomorfologici e di possibili cedimenti differenziati segnalati, i cui esiti sono stati illustrati nei capitoli precedenti.

Gli studi in particolare hanno evidenziato come:

### **Pericolosità Geologica – Geomorfologica: G3 —————> Fattibilità Geologica F3**

#### Pericolosità legate a condizione geomorfologiche

La zona su cui è previsto il parcheggio a monte dell'esistente collettore è classificata dal PAI come **PFE**. Tale classificazione sembrava giustificata dalla presenza a monte della strada provinciale di alcuni canali soggetti ad attività erosiva torrentizia tipo debris flow, in particolare a monte del cimitero comunale. Da sopralluoghi eseguiti già in passato non sembravano tuttavia riscontrarsi elementi geomorfologici riconducibili ad attività geomorfica significativa e tali da giustificare tale penalizzante classificazione.

Gli studi geomorfologici di approfondimento eseguiti su richiesta del Genio Civile, come descritto in dettaglio nei capitoli precedenti, e consistiti in sopralluoghi con determinazione

degli elementi morfologici descrittivi, indagini geofisiche, determinazione degli spessori detritici e determinazione dello potenziale grado di rimobilizzazione con il Metodo di Melton, portano ad escludere la possibilità di fenomeni di debris flow e quindi a ritenere per le aree a valle, molto remota/nulla la possibilità di rischi per dinamiche torrentizie con trasporto solido. Pertanto si devono ritenere superate le condizioni poste dalla classe di fattibilità F3.

Per quanto concerne invece l'area posta poco più a nord rispetto al cimitero e a monte della viabilità esistente, all cui altezza è prevista dal PRP una rotonda, come descritto nei precedenti capitoli, si tratta di una ex cava, al cui piede, su l'ampio piazzale esistente, oggi viene svolta un'attività di rimessaggio e riparazione imbarcazioni. L'area a monte della scarpata, dovuta all'ex attività estrattiva, non presenta elementi geomorfologici che lascino intravedere attività geomorfica in atto, né tanto meno elementi da ricondurre a fragilità condizionate dalla presenza della stessa scarpata morfologica, alta poco più di 20 metri. L'area appare stabile e senza particolarità geomorfologiche significative. Non si intravedono aree da cui si abbiano distacchi significativi di materiale

Il quadro che emerge dai rilievi e dalle osservazioni fatte non evidenzia quindi elementi di fragilità geomorfologica tali da far presupporre condizioni di rischio importanti né per le attività oggi presenti sul piazzale a valle dell'ex area di scavo, né tanto meno per gli interventi di riassetto stradale programmati nel PRP (rotonda), che peraltro andranno ad investire un'area che solo marginalmente, nel settore più esterno, verso l'attuale strada provinciale, interesserà il piazzale dove oggi insiste l'attività di rimessaggio. Eventuali collassi parziali della ex parete di scavo, poco probabili viste le attuali condizioni geomorfologiche, troverebbero nel detrito alla base un ostacolo. Lo stesso distacco di blocchi, viste le non elevate altezze della scarpata, la sua conformazione, non troverebbe l'energia sufficiente per andare ad interessare la viabilità, distante oltre 35-40 metri dalla base della scarpata.

#### Pericolosità legate alle condizioni litotecniche

L'area di pianura che caratterizza l'entroterra di Talamone e che si sviluppa verso Fonteblanda come ampiamente illustrato nei capitoli precedenti e nella Relazione Geologica del 2018, è caratterizzata da depositi superficiali relativamente poco addensati, che possono dar luogo a fenomeni di cedimenti differenziali. L'area non è tra quelle comunque segnalate a livello regionale come affetta da fenomeni significativi di subsidenza naturale e progressiva.

Per rispondere alle richieste avanzate dal Genio Civile di approfondimento relativamente alle problematiche legate alla fragilità litotecnica locale, è stata eseguita una campagna geognostica, i cui esiti, precedentemente descritti nei dettagli, hanno permesso di aumentare il grado conoscitivo relativamente al quadro geostatigrafico e litotecnico del sottosuolo dell'area interessata dalle previsioni del PRP.

Le indagini in particolare hanno confermato la presenza nei primi 5-6 metri dal piano campagna di terreni caratterizzati da scarsa resistenza e da una significativa compressibilità, caratteristiche che fanno sì che la possibilità di cedimenti differenziali possa essere concreta, specie in caso di strutture significative in elevazione e sviluppate in pianta.



Il PRP, escluse le opere arginali della nuova foce, prevede la realizzazione di poche strutture, sostanzialmente semplici, e per lo più destinate a servizio delle attività svolte nell'area del nuovo sistema portuale. Fondamentalmente le condizioni di fragilità geotecnica evidenziate, che portano ad una Pericolosità G3, non hanno alcun riflesso sulla realizzazione delle aree a parcheggio, sui piazzali di servizio. Per quanto riguarda le opere non particolarmente incidenti sul terreno e contenute strutturalmente, le problematiche legate alla possibilità di cedimenti differenziali, potranno essere ovviate e contenute con adozione di fondazioni rigide e strutture alleggerite. In caso di strutture particolarmente incidenti sul terreno dovrà essere valutata la necessità di ricorrere a fondazioni indirette su pali approfondite a raggiungere l'Orizzonte D, peraltro presente entro gli 8-9 metri dal p.c..

Particolari attenzioni andranno invece tenute per la progettazione e realizzazione delle strutture arginali. La possibilità di deformazioni legate ad assestamenti anche differenziali, specie su strutture con geometria particolare come quella di un argine in terra, potrà richiedere la necessità di ricorrere a tecnologie quali Terre Armate, che oltre a garantire una maggiore elasticità e compattezza alla struttura, permetteranno di contenere la geometria dell'opera e quindi ridurre i carichi di esercizio.

Considerata inoltre la compressibilità dei terreni, seppur si tratti di depositi prevalentemente sabbiosi peraltro con falda molto superficiale, la presenza di una certa componente organica e la possibilità di torbe nei primissimi metri dal p.c., inducono a consigliare comunque l'adozione di precarichi, lasciando assestare almeno parzialmente, l'area sotto il carico del rilevato arginale non completato. Il tempo di precarico, che vista la litologia granulare non sarà presumibilmente lungo, dipenderà comunque dalla geometria che sarà studiata per l'argine e quindi dai carichi incidenti.

Il quadro litotecnico ricostruito ha permesso di avere le sufficienti informazioni per fornire le necessarie prescrizioni di carattere geotecnico per poter indirizzare verso una corretta progettazione degli interventi previsti nel PRP. Si intendo quindi superate le condizioni dettate dalla Fattibilità F3.

Ulteriori indagini, puntuali e funzionali al futuro progetto esecutivo e alle effettive scelte tecniche progettuali, saranno ovviamente necessarie per un maggior dettaglio locale e per l'effettivo rispetto delle normative vigenti in materia di costruzioni (NTC 2018).

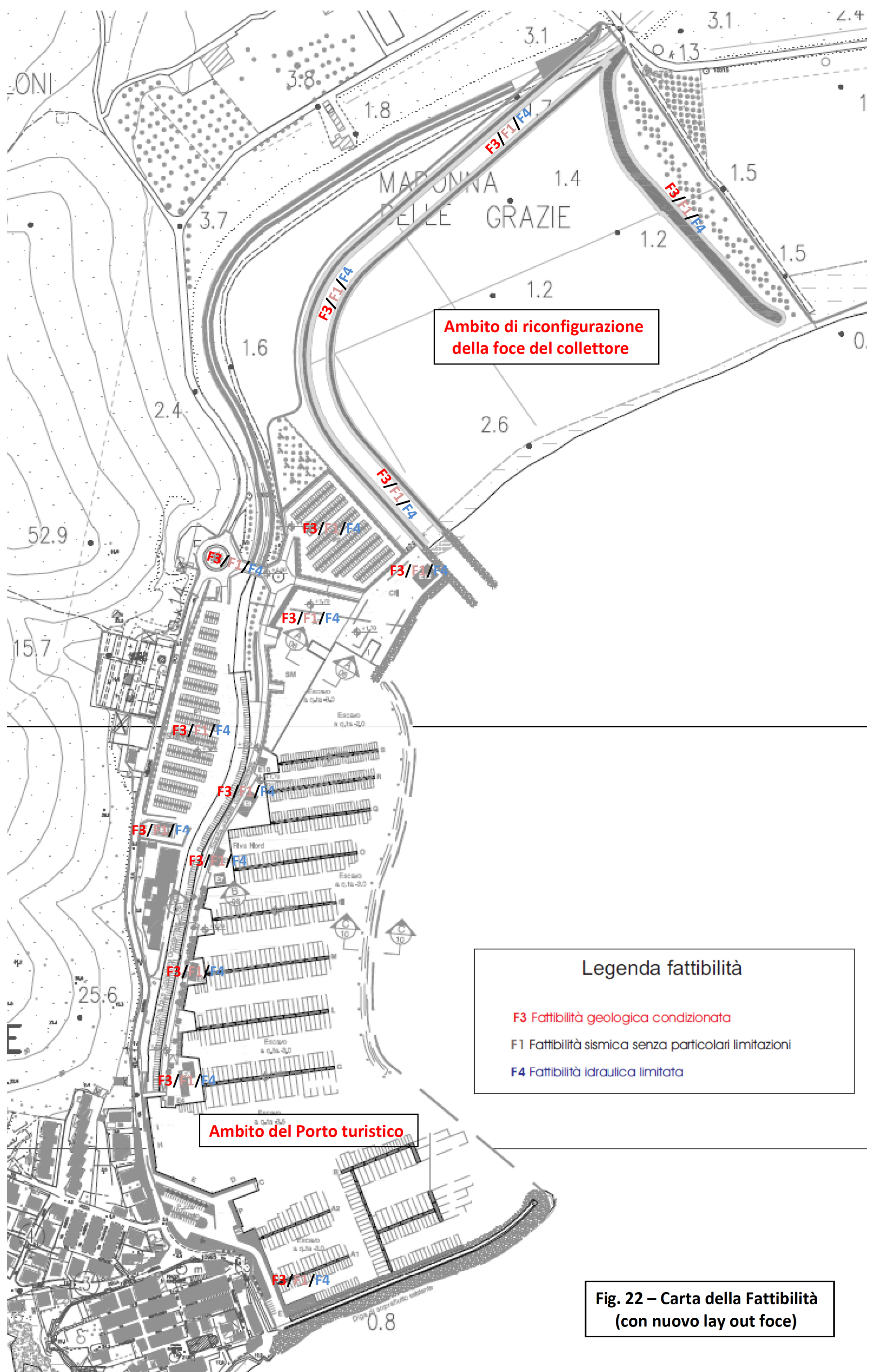
#### **Pericolosità Idraulica: I4** **Fattibilità Idraulica F4**

A seguito di osservazioni fatte da privati e su proposta degli stessi, come in precedenza già descritto, il comune ha accettato di spostare la foce del collettore, allontanandolo il tracciato di quest'ultimo dalla zona dell'attività di Camping posta a est della strada provinciale. Ciò ha richiesto un nuovo studio idrologico e idraulico con nuove modellazioni, eseguite da tecnici appositamente incaricati (Relazione Idrologica Idraulica Ing. Moretti COOPERATIVA CIVILE STP Soc. Coop.- 2019), cui si rimanda per i risultati e per ogni dettaglio riguardo a metodi, condizioni di calcolo e modelli. La nuova configurazione della foce proposta non cambia assolutamente il quadro di pericolosità competente i vari interventi alla luce del quadro di pericolosità idraulica derivante dal PGRA vigente. Ugualmente, il nuovo quadro di Pericolosità Idraulica post opere idrauliche di messa in sicurezza, tenendo conto degli scenari esondativi per tempi di ritorno  $Tr=30$  anni e  $Tr=200$  anni emersi dallo

studio citato, ha confermato nei criteri informativi generali quello precedentemente ricostruito con la Relazione Geologica del 2018, Fig.21.

Le modellazioni escludono esondazioni che oltrepassino l'argine di contenimento del nuovo collettore, anche nel caso di eventi con  $T_r=500$  anni. L'intervento di riconfigurazione della foce del collettore porta quindi a notevoli benefici in termini di sicurezza idraulica per tutta l'area portuale, e ugualmente ha funzione mitigatrice anche per parte del territorio urbanizzato di Talamone.

Per quanto riguarda le fattibilità attribuite ai vari interventi rispetto al quadro di pericolosità vigente rimangono le stesse già riportate nella Relazione del 2018. Ugualmente il superamento delle condizioni di rischio per le opere, previste dal PRP, come già descritto dell'elaborato citato rimane condizionato alla preventiva realizzazione e al collaudo degli interventi idraulici previsti dal PRP, in accordo a quanto previsto all'Art.8 della L.R. 41/2018 Art.8 comma 4.



**Fig. 22 – Carta della Fattibilità  
(con nuovo lay out foce)**



## RELAZIONE TECNICA

Committente: Acqua Tecno srl

Località: Talamone (GR)

Data Indagine: 25/07/2019

Codice lavoro: 190725a

# PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPT

Dott. Jacopo Martini

**GAIA Servizi S.n.c.**

Via Lenin, 132/Q

56017 San Giuliano Terme (PI)

Tel/Fax: 050 9910582

e-mail: [info@gaiaservizi.com](mailto:info@gaiaservizi.com)

P.IVA: 01667250508

Data elaborazione: 26/07/2019

**GAIA Servizi S.n.c.**  
di Massimiliano Vannozzi & C.  
Via Lenin 132 - 56017 S. Giuliano T. (PI)  
P. IVA 01667250508 N. REA PI - 145167



## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Figura 1: Prova penetrometrica CPT 1



Figura 2: Prova penetrometrica CPT 2





**Figura 3: Prova penetrometrica CPT 3**



**Figura 4: Prova penetrometrica CPT 4**



# LEGENDA VALORI DI RESISTENZA FATTORI DI CONVERSIONE

**Strumento utilizzato:**  
**TG63-200 - Pagani - Piacenza**

Caratteristiche:

- punta conica meccanica  $\varnothing$  35.7 mm, area punta  $A_p = 10 \text{ cm}^2$
- punta conica meccanica angolo di apertura:  $\alpha = 60^\circ$
- manicotto laterale di attrito tipo 'Begemann' ( $\varnothing = 35.7 \text{ mm} - h = 133 \text{ mm} - A_m = 150 \text{ cm}^2$ )
- velocità di avanzamento costante  $V = 2 \text{ cm/sec}$  ( $\pm 0,5 \text{ cm / sec}$ )
- spinta max nominale dello strumento  $S_{max}$  variabile a seconda del tipo
- costante di trasformazione  $CT = \text{SPINTA (Kg)} / \text{LETTURA DI CAMPAGNA}$   
(dato tecnico legato alle caratteristiche del penetrometro utilizzato, fornito dal costruttore)

fase 1 - resistenza alla punta:  $q_c \text{ ( kg/cm}^2 \text{ )} = ( L_1 ) \times CT / 10$

fase 2 - resistenza laterale locale:  $f_s \text{ ( kg/cm}^2 \text{ )} = [( L_2 ) - ( L_1 )] \times CT / 150$

fase 3 - resistenza totale :  $R_t \text{ ( kg/cm}^2 \text{ )} = ( L_t ) \times CT$

- Prima lettura = lettura di campagna durante l' infissione della sola punta ( fase 1 )
- Seconda lettura = lettura di campagna relativa all'infissione di punta e manicotto ( fase 2 )
- Terza lettura = lettura di campagna relativa all'infissione delle aste esterne ( fase 3 )

N.B. : la spinta  $S$  ( Kg ) , corrispondente a ciascuna fase , si ottiene moltiplicando la corrispondente lettura di campagna  $L$  per la costante di trasformazione  $CT$  .

N.B. : nonostante la distanza intercorrente ( 20 cm circa ) fra il centro del manicotto laterale e la punta conica del penetrometro , la resistenza laterale locale  $f_s$  viene computata alla stessa quota della punta .

## CONVERSIONI

1 kN (kiloNewton) = 1000 N  $\approx$  100 kg = 0,1 t

1 MN (megaNewton) = 1.000 kN = 1.000.000 N  $\approx$  100 t

1 kPa (kiloPascal) = 1 kN/m<sup>2</sup> = 0,001 MN/m<sup>2</sup> = 0,001 MPa  $\approx$  0,1 t/m<sup>2</sup> = 0,01 kg/cm<sup>2</sup>

1 MPa (megaPascal) = 1 MN/m<sup>2</sup> = 1.000 kN/m<sup>2</sup> = 1000 kPa  $\approx$  100 t/m<sup>2</sup> = 10 kg/cm<sup>2</sup>

1 kg/cm<sup>2</sup> = 10 t/m<sup>2</sup>  $\approx$  100 kN/m<sup>2</sup> = 100 kPa = 0,1 MN/m<sup>2</sup> = 0,1 MPa

1 t = 1000 kg  $\approx$  10 kN

## LEGENDA VALUTAZIONI LITOLOGICHE CORRELAZIONI GENERALI

**Valutazioni in base al rapporto:**  $F = (qc / fs)$

**Begemann 1965 - Raccomandazioni A.G.I. 1977**

Valide in via approssimata per terreni immersi in falda :

$F = qc / fs$	NATURA LITOLOGICA	PROPRIETA'
$F \leq 15 \text{ kg/cm}^2$	TORBE ED ARGILLE ORGANICHE	COESIVE
$15 \text{ kg/cm}^2 < F \leq 30 \text{ kg/cm}^2$	LIMI ED ARGILLE	COESIVE
$30 \text{ kg/cm}^2 < F \leq 60 \text{ kg/cm}^2$	LIMI SABBIOSI E SABBIE LIMOSE	GRANULARI
$F > 60 \text{ kg/cm}^2$	SABBIE E SABBIE CON GHIAIA	GRANULARI

**Vengono inoltre riportate le valutazioni stratigrafiche fornite da Schmertmann (1978),  
ricavabili in base ai valori di qc e di  $FR = (fs / qc) \%$  :**

- AO	= argilla organica e terreni misti
- Att	= argilla (inorganica) molto tenera
- At	= argilla (inorganica) tenera
- Am	= argilla (inorganica) di media consistenza
- Ac	= argilla (inorganica) consistente
- Acc	= argilla (inorganica) molto consistente
- ASL	= argilla sabbiosa e limosa
- SAL	= sabbia e limo / sabbia e limo argilloso
- Ss	= sabbia sciolta
- Sm	= sabbia mediamente addensata
- Sd	= sabbia densa o cementata
- SC	= sabbia con molti fossili, calcareniti

Secondo Schmertmann il valore della resistenza laterale da usarsi, dovrebbe essere pari a:

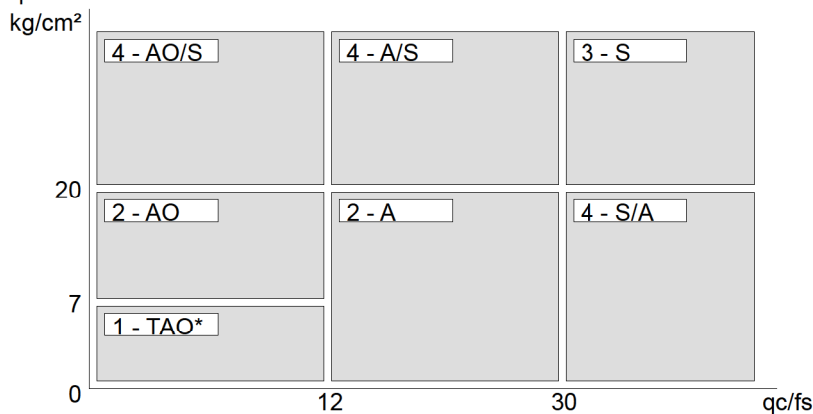
- $1/3 \pm 1/2$  di quello misurato , per depositi sabbiosi
- quello misurato ( inalterato ) , per depositi coesivi.

# LEGENDA PARAMETRI GEOTECNICI SPECIFICHE TECNICHE

Le scelte litologiche vengono effettuate in base al rapporto  $qc / fs$  (Begemann 1965 - A.G.I. 1977) prevedendo altresì la possibilità di casi dubbi :

$qc \leq 20 \text{ kg/cm}^2$  : possibili terreni COESIVI  
 $qc \geq 20 \text{ kg/cm}^2$  : possibili terreni GRANULARI

anche se (  $qc / fs$  ) > 30  
 anche se (  $qc / fs$  ) < 30



**NATURA LITOLOGICA**  
 1 - COESIVA (TORBOSA) ALTA COMPRIM.  
 2 - COESIVA IN GENERE  
 3 - GRANULARE  
 4 - COESIVA / GRANULARE

PARAMETRI GEOTECNICI ( validità orientativa ) - simboli - correlazioni - bibliografia

- $\gamma'$  = peso dell' unità di volume (efficace) del terreno [ correlazioni :  $\gamma'$  -  $qc$  - natura ]  
( Terzaghi & Peck 1967 - Bowles 1982 )
- $\sigma'_{vo}$  = tensione verticale geostatica (efficace) del terreno ( valutata in base ai valori di  $\gamma'$  )
- $C_u$  = coesione non drenata (terreni coesivi ) [ correlazioni :  $C_u$  -  $qc$  ]
- OCR = grado di sovra consolidazione (terreni coesivi ) [ correlazioni : OCR -  $C_u$  -  $\sigma'_{vo}$  ]  
( Ladd et al. 1972 / 1974 / 1977 - Lancellotta 1983 )
- Eu = modulo di deformazione non drenato (terreni coesivi ) [ correl. : Eu -  $C_u$  - OCR -  $I_p$  ]  
 $I_p = \text{ind.plast.}$   
Eu50 - Eu25 corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (Duncan & Buchigani 1976 )
- E' = modulo di deformazione drenato (terreni granulari ) [ correlazioni : E' -  $qc$  ]  
E'50 - E'25 corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (coeff. di sicurezza F = 2 - 4 rispettivamente )  
Schmertmann 1970 / 1978 - Jamiolkowski ed altri 1983 )
- Mo = modulo di deformazione edometrico (terreni coesivi e granulari ) [ correl. : Mo -  $qc$  - natura ]  
Sanglerat 1972 - Mitchell & Gardner 1975 - Ricceri et al. 1974 - Holden 1973 )
- Dr = densità relativa (terreni granulari N. C. - normalmente consolidati)  
[ correlazioni : Dr -  $R_p$  -  $\sigma'_{vo}$  (Schmertmann 1976 ) ]
- $\emptyset'$  = angolo di attrito interno efficace (terreni granulari N.C. ) [ correl. :  $\emptyset'$  - Dr -  $qc$  -  $\sigma'_{vo}$  ]  

$\emptyset'_{Ca}$ - Caquot (1948)	$\emptyset'_{Ko}$ - Koppejan (1948)
$\emptyset'_{DB}$ - De Beer (1965)	$\emptyset'_{Sc}$ - Schmertmann (1978)
$\emptyset'_{DM}$ - Durgunoglu & Mitchell (1975) (sabbie N.C.)	$\emptyset'_{Me}$ - Meyerhof (1956 / 1976) (sabbie limose)
- F.L. = accelerazione al suolo che può causare liquefazione ( terreni granulari )  
( g = accelerazione gravità )(Seed & Idriss 1971 - Sirio 1976 ) [ correlazioni : (Amax/g) - Dr ]
- Vs = velocità di propagazione delle onde sismiche ( Yoshida Motonori 1988 )



# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

**CPT**
**1**

riferimento

**190725a**

certificato n°

363/19

 Committente: **Acqua Tecno srl**

 Cantiere: **190725a**

 Località: **Talamone (GR)**

 U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**

 Data esec.: **25/07/2019**

 Pagina: **1**

 Data certificato: **26/07/2019**

Elaborato:

 Falda: **-0,70 m da p.c.**

H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf	H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf
m	-	-	-	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	-	%	m	-	-	-	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	-	%
0,20	0,0	0	-	0,00	0,00	-	-								
0,40	25,0	36	-	25,00	0,73	34	2,9								
0,60	14,0	30	-	14,00	1,07	13	7,6								
0,80	5,0	14	-	5,00	0,60	8	12,0								
1,00	17,0	24	-	17,00	0,47	36	2,8								
1,20	8,0	14	-	8,00	0,40	20	5,0								
1,40	2,0	4	-	2,00	0,13	15	6,5								
1,60	3,0	5	-	3,00	0,13	23	4,3								
1,80	2,0	4	-	2,00	0,13	15	6,5								
2,00	2,0	4	-	2,00	0,13	15	6,5								
2,20	2,0	4	-	2,00	0,13	15	6,5								
2,40	2,0	4	-	2,00	0,13	15	6,5								
2,60	3,0	6	-	3,00	0,20	15	6,7								
2,80	4,0	8	-	4,00	0,27	15	6,8								
3,00	5,0	7	-	5,00	0,13	38	2,6								
3,20	5,0	7	-	5,00	0,13	38	2,6								
3,40	5,0	7	-	5,00	0,13	38	2,6								
3,60	5,0	7	-	5,00	0,13	38	2,6								
3,80	6,0	9	-	6,00	0,20	30	3,3								
4,00	5,0	7	-	5,00	0,13	38	2,6								
4,20	5,0	8	-	5,00	0,20	25	4,0								
4,40	5,0	7	-	5,00	0,13	38	2,6								
4,60	10,0	17	-	10,00	0,47	21	4,7								
4,80	12,0	18	-	12,00	0,40	30	3,3								
5,00	5,0	20	-	5,00	1,00	5	20,0								
5,20	45,0	60	-	45,00	1,00	45	2,2								
5,40	9,0	16	-	9,00	0,47	19	5,2								
5,60	36,0	48	-	36,00	0,80	45	2,2								
5,80	11,0	30	-	11,00	1,27	9	11,5								
6,00	7,0	9	-	7,00	0,13	54	1,9								
6,20	11,0	14	-	11,00	0,20	55	1,8								
6,40	25,0	41	-	25,00	1,07	23	4,3								
6,60	20,0	36	-	20,00	1,07	19	5,4								
6,80	14,0	20	-	14,00	0,40	35	2,9								
7,00	43,0	55	-	43,00	0,80	54	1,9								
7,20	36,0	61	-	36,00	1,67	22	4,6								
7,40	220,0	240	-	220,00	1,33	165	0,6								
7,60	250,0	270	-	250,00	1,33	188	0,5								
7,80	180,0	220	-	180,00	2,67	67	1,5								
8,00	90,0	112	-	90,00	1,47	61	1,6								
8,20	17,0	23	-	17,00	0,40	43	2,4								
8,40	12,0	29	-	12,00	1,13	11	9,4								
8,60	10,0	20	-	10,00	0,67	15	6,7								
8,80	260,0	310	-	260,00	3,33	78	1,3								
9,00	350,0	400	-	350,00	3,33	105	1,0								

H = profondità

L1 = prima lettura (punta)

L2 = seconda lettura (punta + laterale)

Lt = terza lettura (totale)

CT = 10,00 costante di trasformazione

qc = resistenza di punta

 fs = resistenza laterale calcolata  
alla stessa quota di qc

F = rapporto Begemann (qc / fs)

Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)\*100

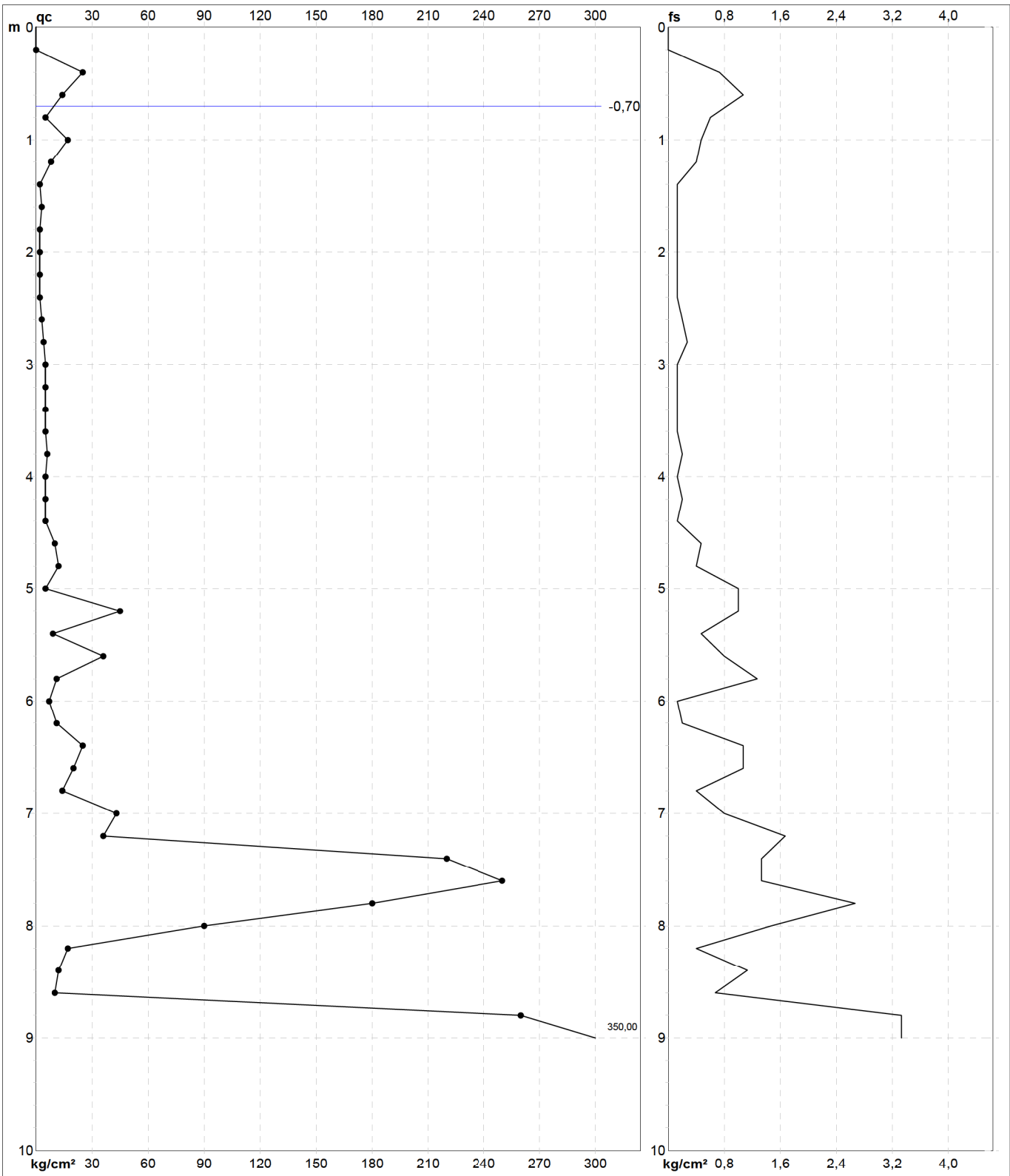
# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## DIAGRAMMI DI RESISTENZA

<b>CPT</b>	<b>1</b>
riferimento	<b>190725a</b>
certificato n°	363/19

Committente: **Acqua Tecno srl**  
 Cantiere: **190725a**  
 Località: **Talamone (GR)**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**    Data eseg.: **25/07/2019**  
 Scala: **1:50**        Data certificato: **26/07/2019**  
 Pagina: **1**            Quota inizio:  
 Elaborato:                Falda: **-0,70 m** da p.c.



	Penetrometro: <b>TG63-200</b> Responsabile: <b>Geol. Jacopo Martini</b> Assistente:	Preforo: <b>m</b> Corr.astine: <b>kg/ml</b> Cod. punta:
--	---	---

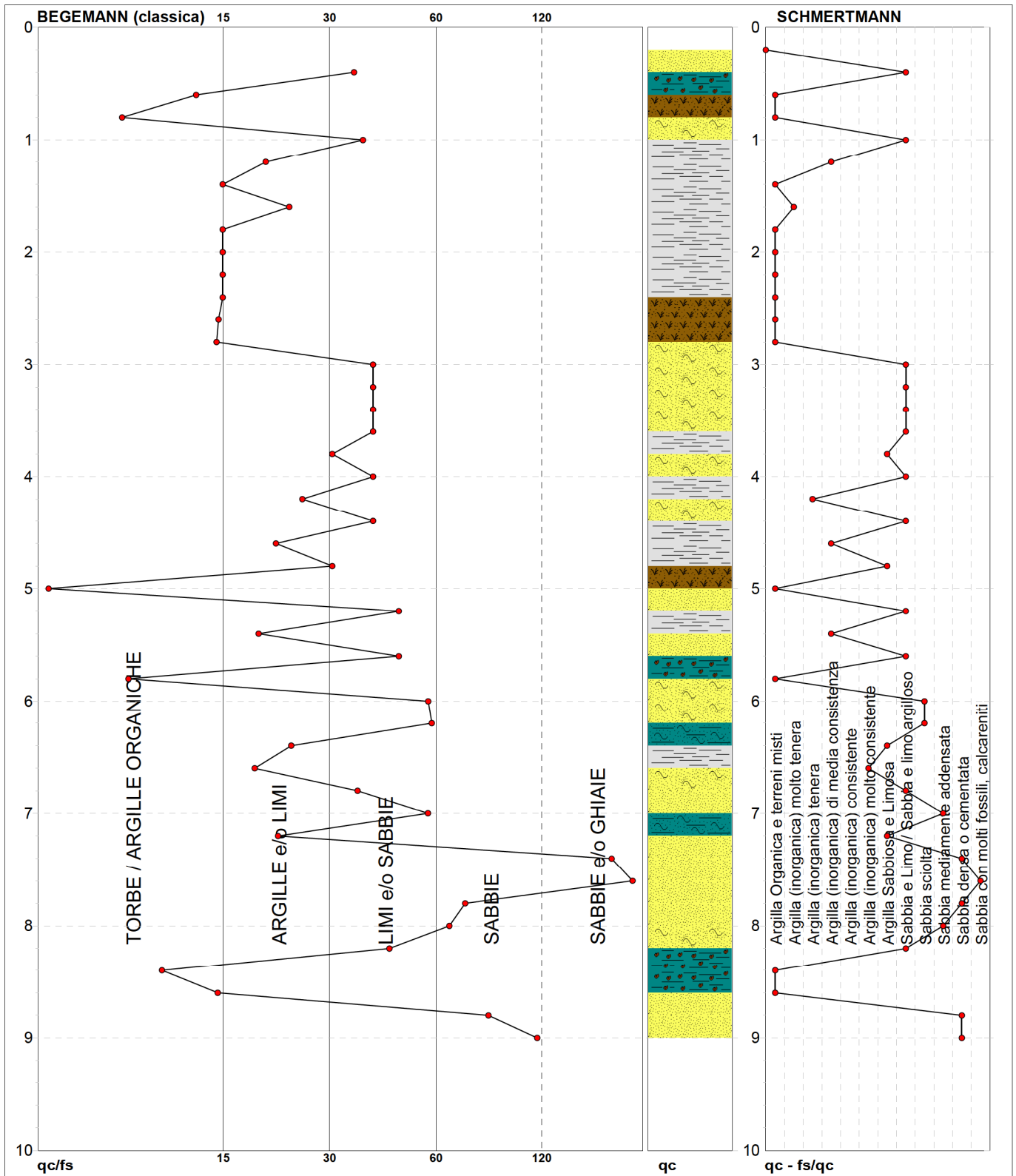
# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## DIAGRAMMI LITOLOGIA

<b>CPT</b>	<b>1</b>
riferimento	<b>190725a</b>
certificato n°	363/19

Committente: **Acqua Tecno srl**  
 Cantiere: **190725a**  
 Località: **Talamone (GR)**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**    Data eseg.: **25/07/2019**  
 Scala: **1:50**    Data certificato: **26/07/2019**  
 Pagina: **1**  
 Elaborato:    Falda: **-0,70 m da p.c.**



Torbe / Argille org. :	14 punti, 28,57%	Argilla Organica e terreni misti:	13 punti, 26,53%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	4 punti, 8,16%
Argille e/o Limi :	15 punti, 30,61%	Argilla (inorganica) molto tenera:	1 punti, 2,04%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	12 punti, 24,49%
Limi e/o Sabbie :	15 punti, 30,61%	Argilla (inorganica) tenera:	1 punti, 2,04%	Sabbia sciolta:	2 punti, 4,08%
Sabbie:	4 punti, 8,16%	Argilla (inorganica) media consist.:	3 punti, 6,12%	Sabbia mediamente addensata:	2 punti, 4,08%
Sabbie c/o Ghiaie :	2 punti, 4,08%	Argilla (inorganica) molto consist.:	1 punti, 2,04%	Sabbia densa o cementata:	4 punti, 8,16%
				Sabbia con molti fossili, calcareniti:	1 punti, 2,04%

Software by dott. Geol. Diego Merlin 0425-840820

FON059





# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

**CPT**

**2**

riferimento

**190725a**

certificato n°

364/19

Committente: **Acqua Tecno srl**

Cantiere: **190725a**

Località: **Talamone (GR)**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**

Data esec.: **25/07/2019**

Pagina: **1**

Data certificato: **26/07/2019**

Elaborato:

Falda: **-1,50 m** da p.c.

H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf	H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf
m	-	-	-	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	-	%	m	-	-	-	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	-	%
0,20	0,0	0	-	0,00	0,00	-	-								
0,40	48,0	62	-	48,00	0,93	52	1,9								
0,60	46,0	58	-	46,00	0,80	58	1,7								
0,80	20,0	40	-	20,00	1,33	15	6,7								
1,00	12,0	32	-	12,00	1,33	9	11,1								
1,20	46,0	54	-	46,00	0,53	87	1,2								
1,40	40,0	63	-	40,00	1,53	26	3,8								
1,60	5,0	26	-	5,00	1,40	4	28,0								
1,80	3,0	4	-	3,00	0,07	43	2,3								
2,00	4,0	9	-	4,00	0,33	12	8,3								
2,20	3,0	6	-	3,00	0,20	15	6,7								
2,40	4,0	8	-	4,00	0,27	15	6,8								
2,60	5,0	10	-	5,00	0,33	15	6,6								
2,80	11,0	17	-	11,00	0,40	28	3,6								
3,00	3,0	10	-	3,00	0,47	6	15,7								
3,20	2,0	4	-	2,00	0,13	15	6,5								
3,40	2,0	4	-	2,00	0,13	15	6,5								
3,60	2,0	3	-	2,00	0,07	29	3,5								
3,80	2,0	4	-	2,00	0,13	15	6,5								
4,00	2,0	4	-	2,00	0,13	15	6,5								
4,20	1,0	3	-	1,00	0,13	8	13,0								
4,40	2,0	3	-	2,00	0,07	29	3,5								
4,60	2,0	3	-	2,00	0,07	29	3,5								
4,80	2,0	4	-	2,00	0,13	15	6,5								
5,00	2,0	3	-	2,00	0,07	29	3,5								
5,20	2,0	3	-	2,00	0,07	29	3,5								
5,40	2,0	3	-	2,00	0,07	29	3,5								
5,60	2,0	3	-	2,00	0,07	29	3,5								
5,80	2,0	4	-	2,00	0,13	15	6,5								
6,00	2,0	4	-	2,00	0,13	15	6,5								
6,20	2,0	4	-	2,00	0,13	15	6,5								
6,40	52,0	68	-	52,00	1,07	49	2,1								
6,60	300,0	350	-	300,00	3,33	90	1,1								

H = profondità

L1 = prima lettura (punta)

L2 = seconda lettura (punta + laterale)

Lt = terza lettura (totale)

CT = 10,00 costante di trasformazione

qc = resistenza di punta

fs = resistenza laterale calcolata  
alla stessa quota di qc

F = rapporto Begemann (qc / fs)

Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)\*100

# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## DIAGRAMMI DI RESISTENZA

**CPT**

**2**

riferimento

**190725a**

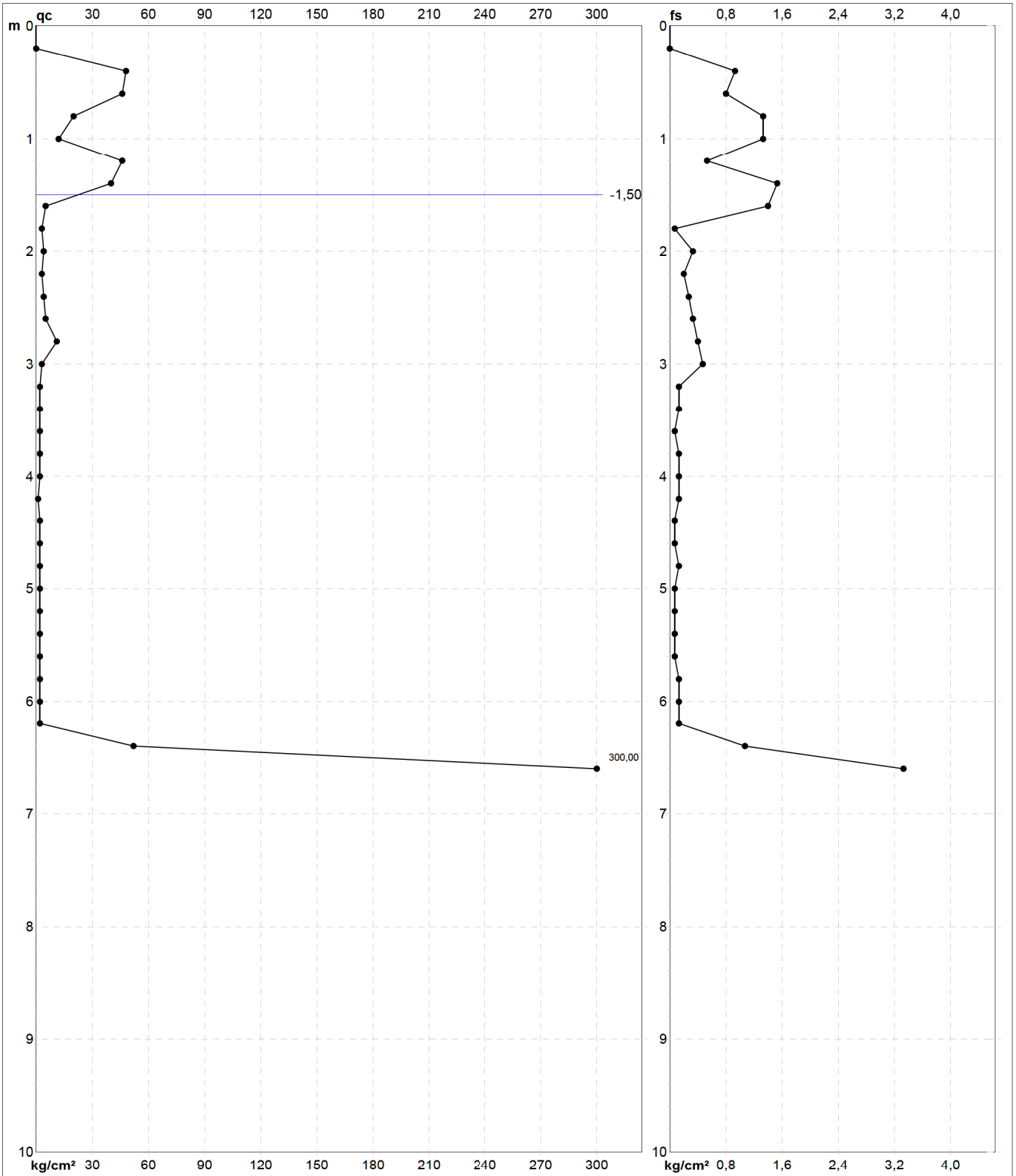
certificato n°

364/19

Committente: **Acqua Tecno srl**  
 Cantiere: **190725a**  
 Località: **Talamone (GR)**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**  
 Scala: **1:50**  
 Pagina: **1**  
 Elaborato:

Data esec.: **25/07/2019**  
 Data certificato: **26/07/2019**  
 Quota inizio:  
 Falda: **-1,50 m** da p.c.



Penetrometro: **TG63-200**  
 Responsabile: **Geol. Jacopo Martini**  
 Assistente:

Preforo: **m**  
 Corr.astine: **kg/ml**  
 Cod. punta:



# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## DIAGRAMMI LITOLOGIA

**CPT**

**2**

riferimento

**190725a**

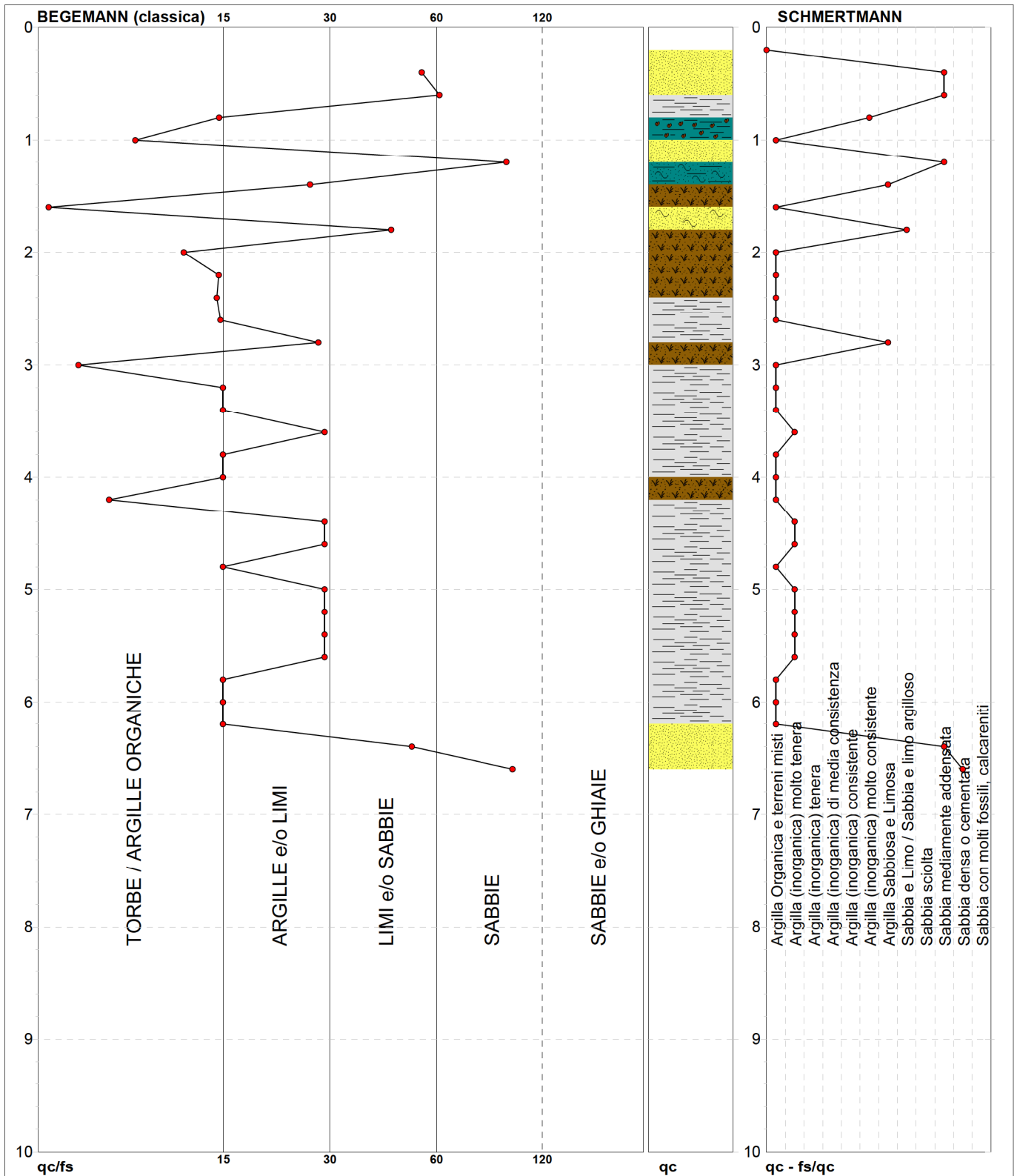
certificato n°

364/19

Committente: **Acqua Tecno srl**  
 Cantiere: **190725a**  
 Località: **Talamone (GR)**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**  
 Scala: **1:50**  
 Pagina: **1**  
 Elaborato:

Data eseg.: **25/07/2019**  
 Data certificato: **26/07/2019**  
 Falda: **-1,50 m da p.c.**



Torbe / Argille org. :	25 punti, 51,02%	Argilla Organica e terreni misti:	16 punti, 32,65%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	2 punti, 4,08%
Argille e/o Limi :	19 punti, 38,78%	Argilla (inorganica) molto tenera:	7 punti, 14,29%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	1 punto, 2,04%
Limi e/o Sabbie :	4 punti, 8,16%	Argilla (inorganica) molto consist.:	1 punto, 2,04%	Sabbia mediamente addensata:	4 punti, 8,16%
Sabbie:	2 punti, 4,08%			Sabbia densa o cementata:	1 punto, 2,04%



# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

**CPT**

**3**

riferimento

**190725a**

certificato n°

365/19

Committente: **Acqua Tecno srl**  
 Cantiere: **190725a**  
 Località: **Talamone (GR)**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**  
 Pagina: **1**  
 Elaborato:

Data esec.: **25/07/2019**  
 Data certificato: **26/07/2019**  
 Falda: **-0,10 m da p.c.**

H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf	H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf
m	-	-	-	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	-	%	m	-	-	-	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	-	%
0,20	0,0	0	0	0,00	0,00										
0,40	28,0	32	0	28,00	0,27	104	1,0								
0,60	22,0	30	0	22,00	0,53	42	2,4								
0,80	15,0	23	0	15,00	0,53	28	3,5								
1,00	5,0	17	0	5,00	0,80	6	16,0								
1,20	10,0	15	0	10,00	0,33	30	3,3								
1,40	8,0	15	0	8,00	0,47	17	5,9								
1,60	8,0	13	0	8,00	0,33	24	4,1								
1,80	2,0	6	0	2,00	0,27	7	13,5								
2,00	2,0	4	0	2,00	0,13	15	6,5								
2,20	4,0	6	0	4,00	0,13	31	3,3								
2,40	4,0	5	0	4,00	0,07	57	1,8								
2,60	3,0	6	0	3,00	0,20	15	6,7								
2,80	2,0	4	0	2,00	0,13	15	6,5								
3,00	3,0	5	0	3,00	0,13	23	4,3								
3,20	3,0	4	0	3,00	0,07	43	2,3								
3,40	3,0	4	0	3,00	0,07	43	2,3								
3,60	4,0	5	0	4,00	0,07	57	1,8								
3,80	3,0	4	0	3,00	0,07	43	2,3								
4,00	3,0	4	0	3,00	0,07	43	2,3								
4,20	3,0	5	0	3,00	0,13	23	4,3								
4,40	3,0	4	0	3,00	0,07	43	2,3								
4,60	3,0	5	0	3,00	0,13	23	4,3								
4,80	4,0	6	0	4,00	0,13	31	3,3								
5,00	5,0	8	0	5,00	0,20	25	4,0								
5,20	4,0	6	0	4,00	0,13	31	3,3								
5,40	3,0	5	0	3,00	0,13	23	4,3								
5,60	2,0	3	0	2,00	0,07	29	3,5								
5,80	3,0	4	0	3,00	0,07	43	2,3								
6,00	3,0	6	0	3,00	0,20	15	6,7								
6,20	3,0	5	0	3,00	0,13	23	4,3								
6,40	5,0	7	0	5,00	0,13	38	2,6								
6,60	37,0	42	0	37,00	0,33	112	0,9								
6,80	50,0	70	0	50,00	1,33	38	2,7								
7,00	14,0	27	0	14,00	0,87	16	6,2								
7,20	190,0	220	0	190,00	2,00	95	1,1								
7,40	47,0	54	0	47,00	0,43	109	0,9								
7,60	85,0	110	0	85,00	1,67	51	2,0								
7,80	53,0	62	0	53,00	0,60	88	1,1								
8,00	26,0	33	0	26,00	0,47	55	1,8								
8,20	17,0	26	0	17,00	0,60	28	3,5								
8,40	34,0	41	0	34,00	0,47	72	1,4								
8,60	52,0	66	0	52,00	0,93	56	1,8								
8,80	37,0	51	0	37,00	0,93	40	2,5								
9,00	280,0	304	0	280,00	1,62	173	0,6								
9,20	300,0	350	0	300,00	3,33	90	1,1								

H = profondità  
 L1 = prima lettura (punta)  
 L2 = seconda lettura (punta + laterale)  
 Lt = terza lettura (totale)  
 CT = 10,00 costante di trasformazione

qc = resistenza di punta  
 fs = resistenza laterale calcolata  
 alla stessa quota di qc  
 F = rapporto Begemann (qc / fs)  
 Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)\*100



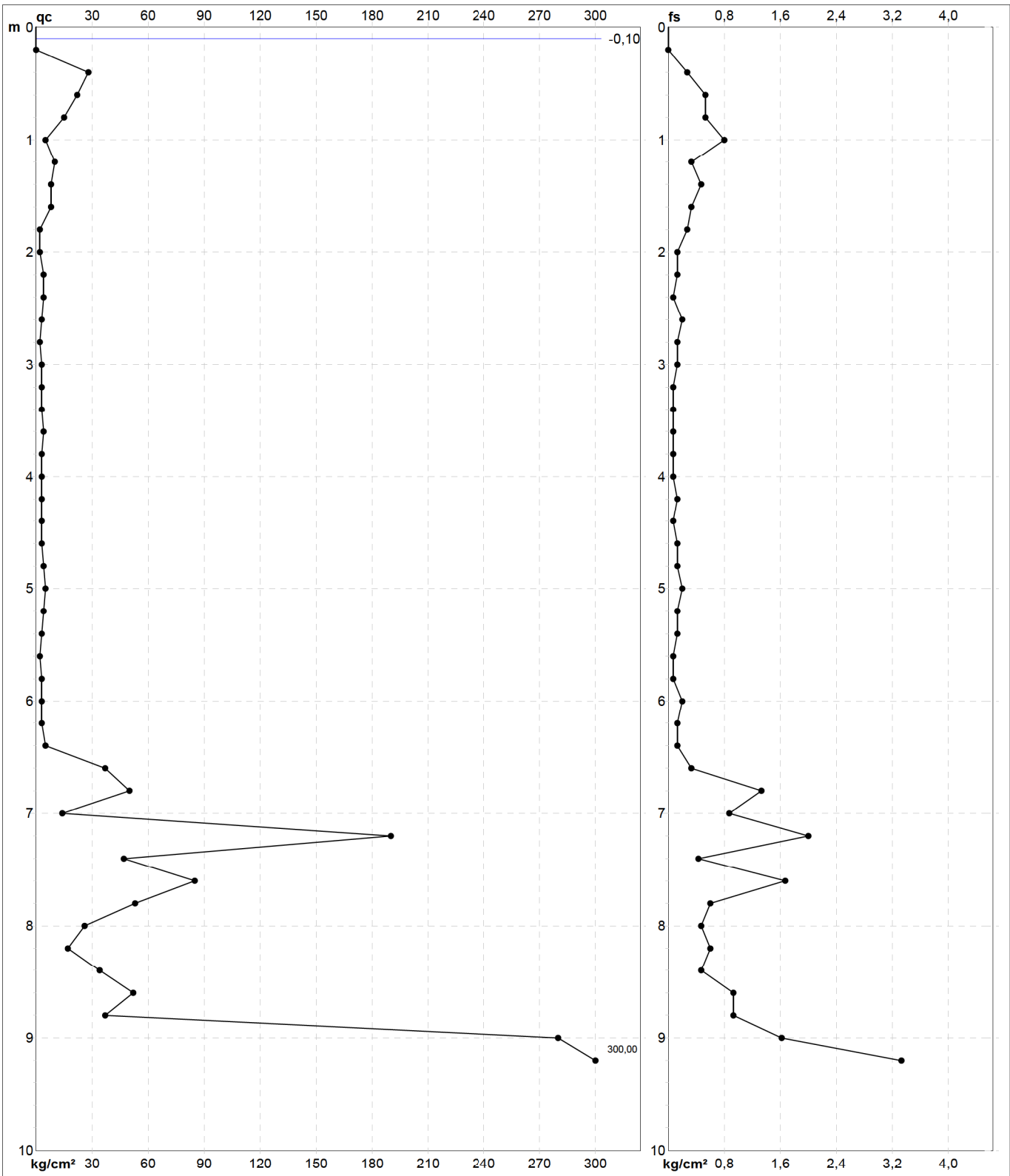
# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## DIAGRAMMI DI RESISTENZA

<b>CPT</b>	<b>3</b>
riferimento	<b>190725a</b>
certificato n°	365/19

Committente: **Acqua Tecno srl**  
 Cantiere: **190725a**  
 Località: **Talamone (GR)**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**    Data esec.: **25/07/2019**  
 Scala: **1:50**        Data certificato: **26/07/2019**  
 Pagina: **1**            Quota inizio:  
 Elaborato:              Falda: **-0,10 m** da p.c.



Penetrometro: <b>TG63-200</b>	Preforo: <b>m</b>
Responsabile: <b>Geol. Jacopo Martini</b>	Corr.astine: <b>kg/ml</b>
Assistente:	Cod. punta:

Software by dott. Geol. Diego Merlin 0425-840820

FON059

# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## DIAGRAMMI LITOLOGIA

**CPT**

**3**

riferimento

**190725a**

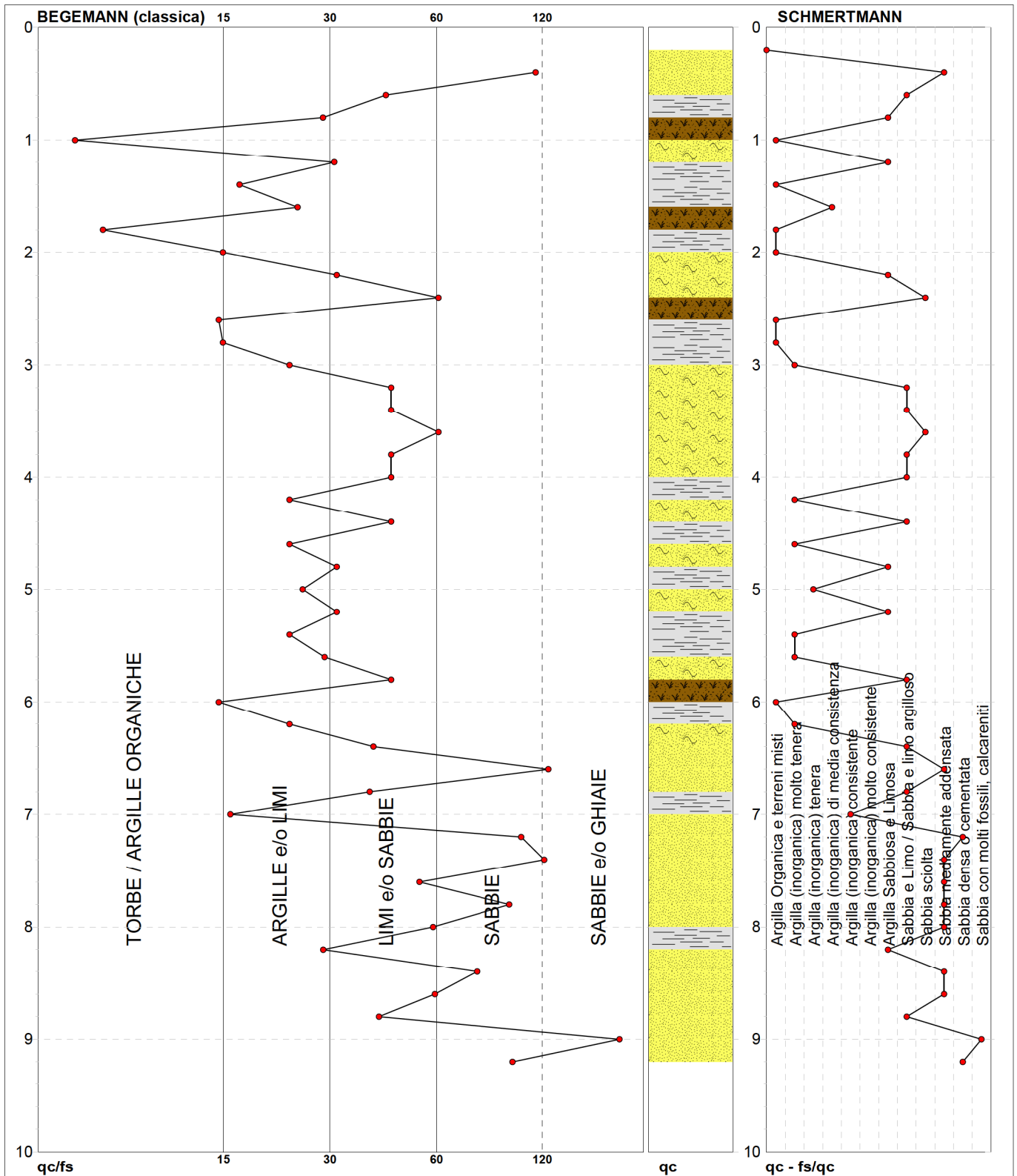
certificato n°

365/19

Committente: **Acqua Tecno srl**  
 Cantiere: **190725a**  
 Località: **Talamone (GR)**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**  
 Scala: **1:50**  
 Pagina: **1**  
 Elaborato:

Data exec.: **25/07/2019**  
 Data certificato: **26/07/2019**  
 Falda: **-0,10 m da p.c.**



Torbe / Argille org. :	9 punti, 18,37%	Argilla Organica e terreni misti:	7 punti, 14,29%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	10 punti, 20,41%
Argille e/o Limi :	14 punti, 28,57%	Argilla (inorganica) molto tenera:	6 punti, 12,24%	Sabbia sciolta:	2 punti, 4,08%
Limi e/o Sabbie :	19 punti, 38,78%	Argilla (inorganica) tenera:	1 punto, 2,04%	Sabbia mediamente addensata:	8 punti, 16,33%
Sabbie:	7 punti, 14,29%	Argilla (inorganica) media consist.:	1 punto, 2,04%	Sabbia densa o cementata:	2 punti, 4,08%
Sabbie c/o Ghiaie :	1 punto, 2,04%	Argilla (inorganica) consistente:	1 punto, 2,04%	Sabbia con molti fossili, calcareniti:	1 punto, 2,04%





# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

**CPT**
**4**

riferimento

**190725a**

certificato n°

366/19

 Committente: **Acqua Tecno srl**  
 Cantiere: **190725a**  
 Località: **Talamone (GR)**

 U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**  
 Pagina: **1**  
 Elaborato:

 Data esec.: **25/07/2019**  
 Data certificato: **26/07/2019**  
 Falda: **-0,10 m** da p.c.

H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf	H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf
m	-	-	-	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	-	%	m	-	-	-	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	-	%
0,20	0,0	0	0	0,00	0,00										
0,40	9,0	20	0	9,00	0,73	12	8,1								
0,60	8,0	15	0	8,00	0,47	17	5,9								
0,80	12,0	18	0	12,00	0,40	30	3,3								
1,00	15,0	21	0	15,00	0,40	38	2,7								
1,20	3,0	10	0	3,00	0,45	7	15,0								
1,40	2,0	5	0	2,00	0,20	10	10,0								
1,60	2,0	4	0	2,00	0,13	15	6,5								
1,80	3,0	4	0	3,00	0,07	43	2,3								
2,00	2,0	4	0	2,00	0,13	15	6,5								
2,20	1,0	2	0	1,00	0,07	14	7,0								
2,40	2,0	3	0	2,00	0,07	29	3,5								
2,60	1,0	2	0	1,00	0,07	14	7,0								
2,80	1,0	2	0	1,00	0,07	14	7,0								
3,00	1,0	2	0	1,00	0,07	14	7,0								
3,20	1,0	2	0	1,00	0,07	14	7,0								
3,40	1,0	2	0	1,00	0,07	14	7,0								
3,60	1,0	2	0	1,00	0,07	14	7,0								
3,80	1,0	2	0	1,00	0,07	14	7,0								
4,00	1,0	2	0	1,00	0,07	14	7,0								
4,20	1,0	2	0	1,00	0,07	14	7,0								
4,40	1,0	2	0	1,00	0,07	14	7,0								
4,60	1,0	2	0	1,00	0,07	14	7,0								
4,80	1,0	2	0	1,00	0,07	14	7,0								
5,00	1,0	2	0	1,00	0,07	14	7,0								
5,20	10,0	16	0	10,00	0,40	25	4,0								
5,40	12,0	18	0	12,00	0,40	30	3,3								
5,60	39,0	45	0	39,00	0,40	98	1,0								
5,80	26,0	41	0	26,00	1,00	26	3,8								
6,00	35,0	50	0	35,00	1,00	35	2,9								
6,20	14,0	33	0	14,00	1,27	11	9,1								
6,40	25,0	31	0	25,00	0,40	63	1,6								
6,60	19,0	31	0	19,00	0,80	24	4,2								
6,80	24,0	31	0	24,00	0,47	51	2,0								
7,00	21,0	28	0	21,00	0,47	45	2,2								
7,20	20,0	25	0	20,00	0,33	61	1,7								
7,40	21,0	27	0	21,00	0,40	53	1,9								
7,60	24,0	32	0	24,00	0,53	45	2,2								
7,80	53,0	68	0	53,00	1,00	53	1,9								
8,00	100,0	145	0	100,00	2,97	34	3,0								
8,20	250,0	271	0	250,00	1,39	180	0,6								
8,40	300,0	350	0	300,00	3,33	90	1,1								

 H = profondità  
 L1 = prima lettura (punta)  
 L2 = seconda lettura (punta + laterale)  
 Lt = terza lettura (totale)  
 CT = 10,00 costante di trasformazione

 qc = resistenza di punta  
 fs = resistenza laterale calcolata  
 alla stessa quota di qc  
 F = rapporto Begemann (qc / fs)  
 Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)\*100

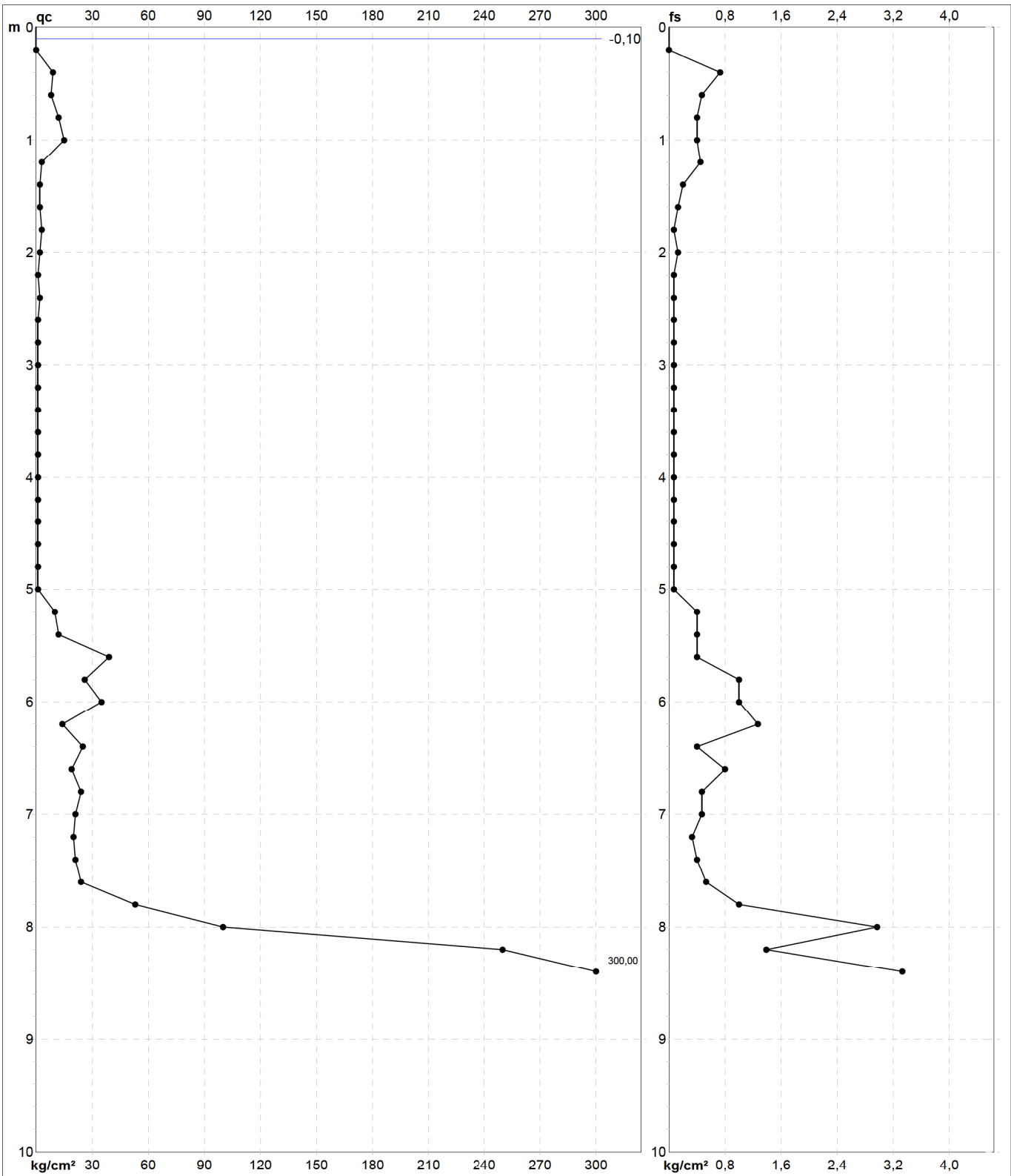
# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## DIAGRAMMI DI RESISTENZA

<b>CPT</b>	<b>4</b>
riferimento	<b>190725a</b>
certificato n°	366/19

Committente: **Acqua Tecno srl**  
 Cantiere: **190725a**  
 Località: **Talamone (GR)**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**    Data esec.: **25/07/2019**  
 Scala: **1:50**        Data certificato: **26/07/2019**  
 Pagina: **1**  
 Elaborato:            Falda: **-0,10 m** da p.c.



Penetrometro: <b>TG63-200</b>	Preforo: <b>m</b>
Responsabile: <b>Geol. Jacopo Martini</b>	Corr.astine: <b>kg/ml</b>
Assistente:	Cod. punta:

Software by dott. Geol. Diego Merlin 0425-840820

FON059

# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## DIAGRAMMI LITOLOGIA

### CPT

### 4

riferimento

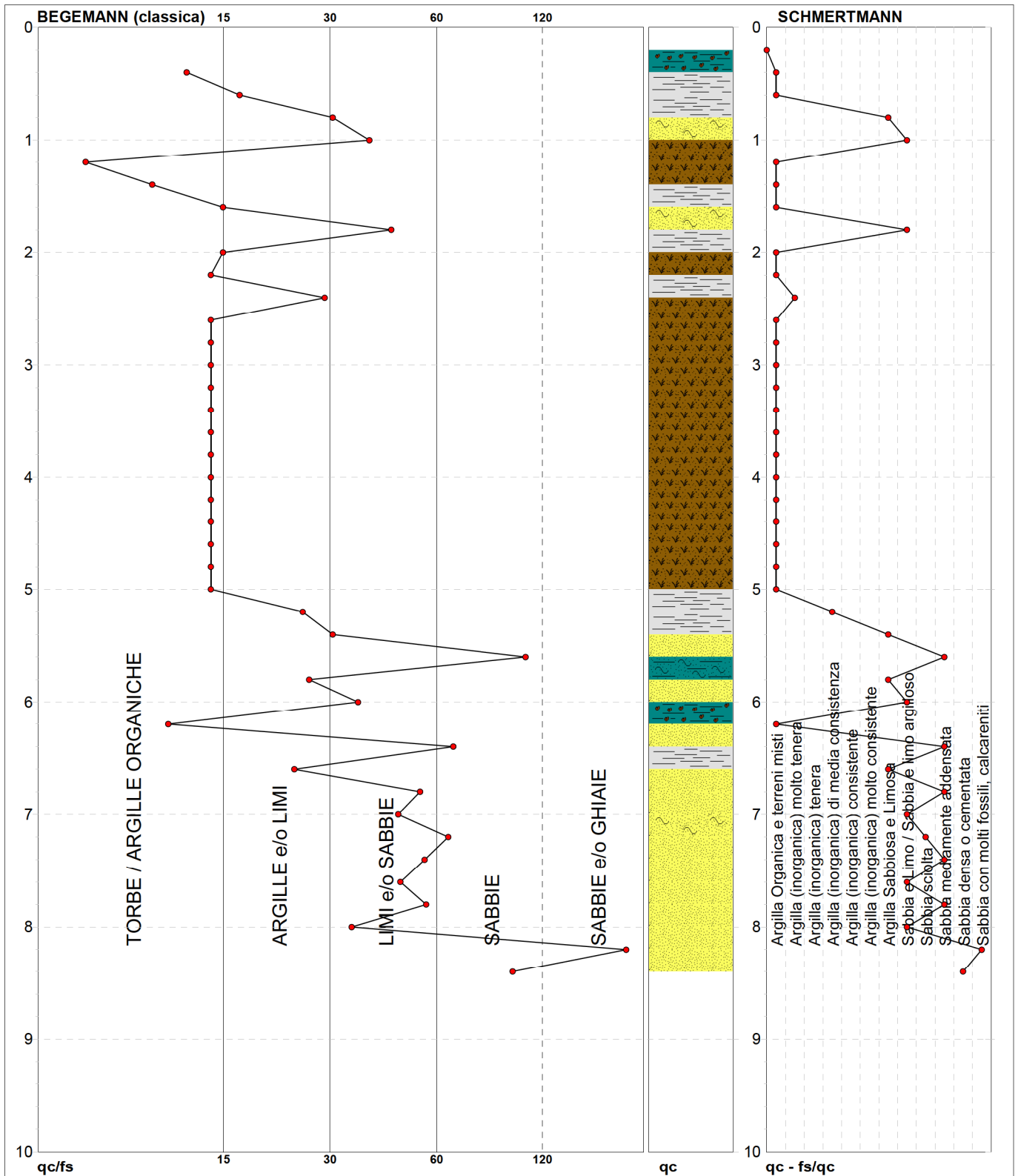
**190725a**

certificato n°

366/19

 Committente: **Acqua Tecno srl**  
 Cantiere: **190725a**  
 Località: **Talamone (GR)**

 U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**  
 Scala: **1:50**  
 Pagina: **1**  
 Elaborato:

 Data exec.: **25/07/2019**  
 Data certificato: **26/07/2019**  
 Falda: **-0,10 m da p.c.**


Torbe / Argille org. :	27 punti, 55,10%	Argilla Organica e terreni misti:	21 punti, 42,86%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	6 punti, 12,24%
Argille e/o Limi :	9 punti, 18,37%	Argilla (inorganica) molto tenera:	1 punti, 2,04%	Sabbia sciolta:	1 punti, 2,04%
Limi e/o Sabbie :	9 punti, 18,37%	Argilla (inorganica) media consist.:	1 punti, 2,04%	Sabbia mediamente addensata:	5 punti, 10,20%
Sabbie:	4 punti, 8,16%			Sabbia densa o cementata:	1 punti, 2,04%
Sabbie c/o Ghiaie :	1 punti, 2,04%			Sabbia con molti fossili, calcareniti:	1 punti, 2,04%

Software by dott. Geol. Diego Merlin 0425-840820

FON059







## RELAZIONE TECNICA

Comittente: ACQUA TECNO  
S.R.L.

Località: Talamone

Data Indagine: 25/07/2019

Codice lavoro: 190725a

# INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE IN ONDE P

Dott. Jacopo Martini

**GAIA Servizi S.n.c.**

Via Lenin, 132 - 56017 San Giuliano

Terme (PI)

Tel./Fax: 050 9910582

e-mail: [info@gaiaservizi.com](mailto:info@gaiaservizi.com)

p. IVA 01667250508

Data elaborazione: 10/08/2019

**GAIA Servizi S.n.c.**  
di Massimiliano Varozzi & C.  
Via Lenin 132 - 56017 S. Giuliano T. (PI)  
P. IVA 01667250508 N. REA PI - 145167

## Sommario

PREMESSA.....	3
INDAGINI SISMICHE A RIFRAZIONE .....	5
SISMICA A RIFRAZIONE - GENERALITA' .....	5
SISTEMA DI ACQUISIZIONE .....	6
ELABORAZIONE DEI DATI .....	7
ANALISI DEI RISULTATI DELLA TOMOGRAFIA SISMICA.....	9

## Allegati

Sezioni Sismostratigrafiche



## PREMESSA

Per incarico di ACQUA TECNO S.R.L., sono state eseguite indagini geofisiche in Località Talamone.

Tali indagini sono finalizzate alla ricostruzione della distribuzione e dell'andamento delle velocità sismiche nel sottosuolo, per determinare le principali caratteristiche sismo-stratigrafiche ed elastiche dei terreni.

Sono state eseguite N°2 indagine sismica a rifrazione a mezzo di onde P con tecnica Tomografica.

Le presenti note illustrano la metodologia delle indagini ed i risultati conseguiti.



Figura 1: Ubicazione indagini



## INDAGINI SISMICHE A RIFRAZIONE



Figura 2: Stendimento sismico TOMO1



Figura 3: Stendimento sismico TOMO2

## INDAGINI SISMICHE A RIFRAZIONE

### SISMICA A RIFRAZIONE - GENERALITA'

Le onde elastiche provocate da una vibrazione si trasmettono nel suolo con velocità differenti per ogni litotipo. Nella prospezione sismica a rifrazione, si sfrutta la diversa velocità di propagazione delle onde longitudinali (onde P o "di compressione e dilatazione") o trasversali (onde SH o "di taglio") per determinare spessori e andamento dei livelli presenti.

La prospezione consiste nel generare un'onda sismica di compressione o di taglio nel terreno attraverso una determinata sorgente di energia (colpo di mazza o di maglio, esplosivo etc.) e nel misurare il tempo impiegato da questa a compiere il percorso nel sottosuolo dal punto di energizzazione fino agli apparecchi di ricezione (*geofoni*) seguendo le leggi di rifrazione dell'ottica (*Legge di Snell*), cioè rifrangendosi sulle superfici di separazione tra due strati sovrapposti di densità (o meglio di modulo elastico) crescente.

L'apparecchiatura necessaria per le prospezioni è costituita da una serie di ricevitori (*geofoni*) che vengono spazati lungo un determinato allineamento (base sismica) e da un cronografo che registra l'istante di inizio della perturbazione elastica ed i tempi di primo arrivo delle onde a ciascun geofono. Così, osservando i primi arrivi su punti posti a distanze diverse dalla sorgente energizzante, è possibile costruire una curva tempo-distanza (*dromocrona*) rappresentante la variazione del minimo percorso in funzione del tempo. Attraverso metodi analitici si ricavano quindi le velocità delle onde elastiche longitudinali ( $V_p$ ) o trasversali ( $V_s$ ) dei mezzi attraversati ed il loro spessore.

La velocità di propagazione delle onde elastiche nel suolo è compresa tra larghi limiti; per lo stesso tipo di roccia essa diminuisce col grado di alterazione, di fessurazione e/o di fratturazione; aumenta per contro con la profondità e l'età geologica. Sensibili differenze si possono avere, in rocce stratificate, tra le velocità rilevate lungo i piani di strato e quelle rilevate perpendicolarmente a questi. La velocità delle onde compressionali, diversamente da quelle trasversali che non si trasmettono nell'acqua, è fortemente influenzata dalla presenza della falda acquifera e dal grado di saturazione.

Questo comporta che anche litotipi differenti possano avere uguali velocità delle onde sismiche compressionali (ad esempio roccia fortemente fratturata e materiale detritico saturo con velocità  $V_p$  dell'ordine di 1400÷1700 m/sec), per cui non necessariamente l'interpretazione sismostratigrafica corrisponderà con la reale situazione geologico-stratigrafica.

Il metodo sismico a rifrazione è soggetto inoltre alle seguenti limitazioni:

- un livello potrà essere evidenziato soltanto se la velocità di trasmissione delle onde longitudinali in esso risulterà superiore a quella dei livelli soprastanti (effetto della inversione di velocità);
- un livello di spessore limitato rispetto al passo dei geofoni e alla sua profondità può non risultare rilevabile;
- un livello di velocità intermedia compreso tra uno strato sovrastante a velocità minore ed uno sottostante a velocità sensibilmente maggiore può non risultare rilevabile perché mascherato dagli "arrivi" dallo strato sottostante (effetto dello strato nascosto e "zona oscura");



## INDAGINI SISMICHE A RIFRAZIONE

- aumentando la spaziatura tra i geofoni aumenta la profondità di investigazione, ma può ovviamente ridursi la precisione nella determinazione della profondità dei limiti di passaggio tra i diversi livelli individuati. In presenza di successioni di livelli con velocità (crescenti) di poco differenti tra loro, orizzonti a velocità intermedia con potenza sino anche ad 1/3 del passo adottato possono non essere evidenziati. Il limite tra due orizzonti può quindi in realtà passare "attraverso" un terzo intermedio non evidenziabile;

- analogamente, incrementi graduali di velocità con la profondità danno origine a dromocrone che consentono più schemi interpretativi. Il possibile errore può essere più contenuto potendo disporre di sondaggi di taratura e "cercando" sulle dromocrone delle basi sismiche i livelli che abbiano velocità il più possibile simili a quelle ottenute con le tarature.

Il metodo della tomografia sismica è una tecnica di indagine che permette l'individuazione di anomalie nella velocità di propagazione delle onde sismiche con un alto potere risolutivo, offrendo la possibilità di ricostruire anomalie e discontinuità stratigrafiche anche particolarmente complesse.

Per il trattamento dei dati, per la ricostruzione tomografica dell'immagine si utilizza una suddivisione dell'area di studio in celle elementari, calcolando per ciascuna di queste un valore di velocità congruente con il tempo di tragitto medio relativo ai percorsi dei raggi sismici che le attraversano.

Con nuove tecniche di acquisizione e di inversione dati come il "*Delta-t-v-Method*" e soprattutto con l'applicazione dell'algoritmo *WET (Wavepath Eikonal Traveltime Tomography Processing)* è possibile indagare fenomeni come gradienti verticali di velocità all'interno degli strati e quindi valutare inversioni di velocità, sia forti variazioni locali di velocità che consentono di avere informazioni più precise sull'andamento delle velocità sismiche nel sottosuolo e di conseguenza sulla distribuzione degli orizzonti sismici che vengono delineati.

Questa tecnica fornisce l'immagine della distribuzione delle onde sismiche sotto la superficie, basate sui tempi di primo arrivo (come nella normale sismica a rifrazione) e sulla geometria di acquisizione. Si ricostruisce in tal modo un modello di velocità, che può essere migliorato attraverso successive iterazioni: la fase di calcolo si conclude quando si ha la migliore sovrapposizione fra i tempi di primo arrivo calcolati e quelli misurati.

### SISTEMA DI ACQUISIZIONE

Sono state effettuate n° 1 prospezioni sismiche a rifrazione a 24 geofoni.

TOMO 1: interasse  $i = 2$  m - lunghezza ml 46, in onde P

TOMO 2: interasse  $i = 1.5$  m - lunghezza ml 34.5, in onde P

L'acquisizione dei dati in campagna è stata eseguita utilizzando un sistema composto dalle seguenti parti:

- sismografo
- sorgente energizzante
- trigger

## INDAGINI SISMICHE A RIFRAZIONE

- apparecchiatura di ricezione

Lo strumento utilizzato per la presente indagine è un prospettore sismico *Ambrogeo Echo 24/2002* a 16 bit.

Come sorgente energizzante per le onde P è stato utilizzato un grave di circa 10 kg.

Il trigger utilizzato consiste in un circuito elettrico che viene chiuso mediante un apparecchio starter (geofono starter, starter a lamelle, piezoelettrico od altro) nell'istante in cui il sistema energizzante (maglio, mazza etc.) colpisce la base di battuta, consentendo ad un condensatore di scaricare la carica precedentemente immagazzinata e la produzione di un impulso della durata di qualche secondo che viene inviato al sensore collegato al sistema di acquisizione dati.

Per la ricezione delle onde P sono stati utilizzati geofoni verticali Geospace Oyo con frequenza propria di 10 Hz.

### ELABORAZIONE DEI DATI

L'elaborazione dei dati si sviluppa attraverso le seguenti fasi:

- determinazione dei tempi di primo arrivo.
- Inversione Delta t-V che permette di ottenere profili monodimensionali (1D) di tipo profondità/velocità.
- Ottimizzazione del profilo, per iterazioni successive, mediante inversione tomografica WET (Wavepath Eikonal Travelttime).
- Controllo del "fitting" tra tempi misurati e tempi calcolati ed eventuale reiterazione del processo di inversione.
- Output grafico della sezione tomografica.

L'elaborazione tomografica, eseguita con il programma RAYFRACT, avviene quindi in almeno due fasi successive: una prima elaborazione porta alla ricostruzione delle stratigrafie di velocità sismica con la tecnica Delta-t-V, cioè si ricostruiscono con cadenza pari alla metà della cadenza dei geofoni (CMP = Common Mid Point) le successioni di velocità compatibili con l'andamento di tutte le possibili dromocrone nei punti intermedi tra punto di tiro e geofono. Dal modello ricostruito come successione di stratigrafie di resistività viene elaborato un modello ad elementi finiti di piccolissime dimensioni (ordine di grandezza di qualche decimetro di lato) che può già rappresentare un attendibile modello del sottosuolo.

Tuttavia questo rappresenta una prima approssimazione alla soluzione. Il passo successivo è quello di ottimizzare, in maniera iterativa, il suddetto modello di partenza mediante la tecnica WET (Wavepath Eikonal Travelttime).

In pratica si effettua il calcolo delle differenze dei tempi di arrivo dai vari punti di tiro ai vari geofoni, tra i valori sperimentali misurati nei sismogrammi ed i tempi calcolati sul modello di partenza. In base alle differenze riscontrate, per ciascun percorso delle onde sismiche, si apportano modifiche, in aumento o in diminuzione, delle velocità che caratterizzano i vari elementi che sono stati interessati dal passaggio del fronte d'onda considerato. Ad ogni iterazione, dopo avere apportato le modifiche

## INDAGINI SISMICHE A RIFRAZIONE

alle velocità dei vari elementi, il nuovo modello viene sottoposto ad una operazione di smoothing che porta ad una migliore omogeneità dei valori di velocità entro aree di dimensioni maggiori.

In genere sono sufficienti da 10 a 20 iterazioni per giungere ad un modello che porta a scarti medi tra i tempi (Traveltime) dei vari percorsi dell'ordine di qualche millisecondo (Schuster & Quintus-Bosz, 1999).

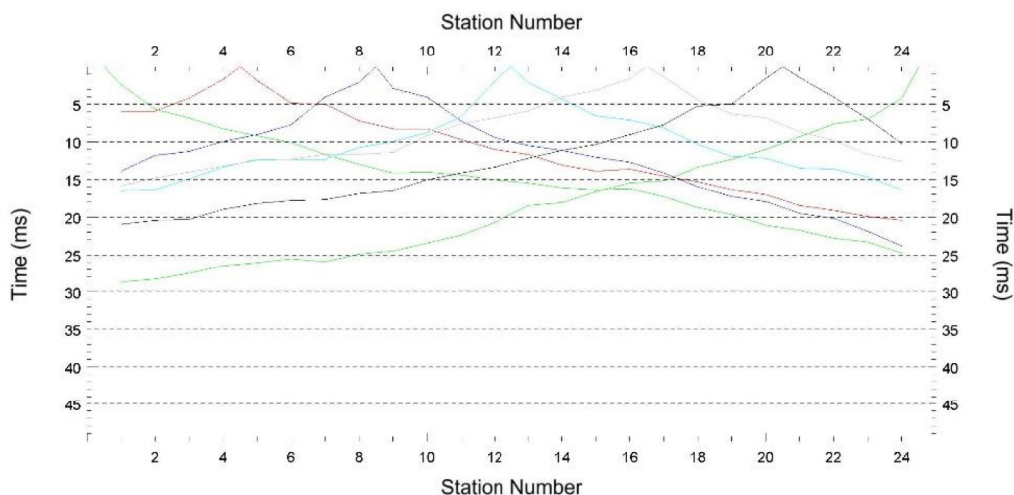


Figura 4: Dromocrone Line1\_P

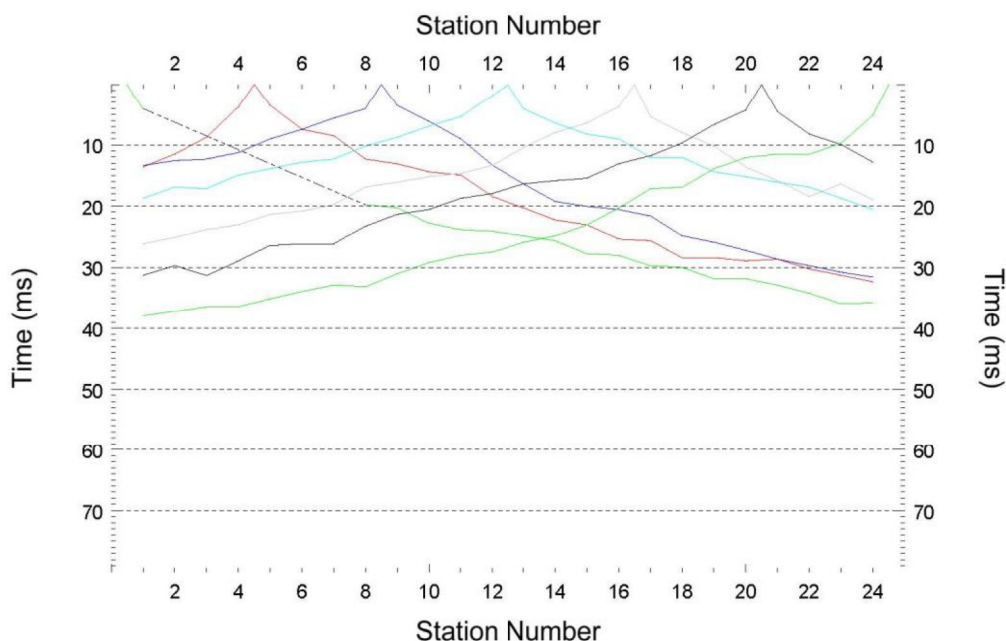


Figura 5: Dromocrone Line2\_P



## ANALISI DEI RISULTATI DELLA TOMOGRAFIA SISMICA

Con le modalità suddette sono state ottenute le tomografie relative alla velocità delle onde P che mostrano velocità che variano da 300 m/s a 3400 m/s.

Con riferimento alle sezioni sismo-tomografiche allegate, in dettaglio si ha:

- un primo strato con  $V_p = 300-500$  m/sec, correlabile con i depositi poco addensati/compatti;
- tra le isotachie di 500 e 800 m/sec, le velocità sono riferibili ai depositi mediamente addensati/compatti ;
- tra le isotachie di 800 e 1400 m/sec, le velocità sono riferibili ai depositi molto addensati/compatti;
- tra le isotachie di 1400 e 2000 m/sec, le velocità sono riferibili ai depositi molto addensati/compatti e/o cementati e/o al bedrock da molto a mediamente alterato e fratturato;
- al di sotto,  $V_p > 2000$  m/sec possono essere riferibili al bedrock da mediamente a poco alterato e fratturato.

\*\*\*\*\*

San Giuliano Terme (PI),

10 agosto 2019

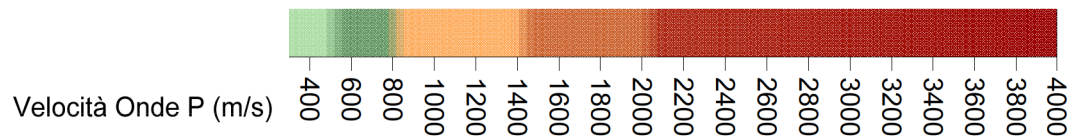
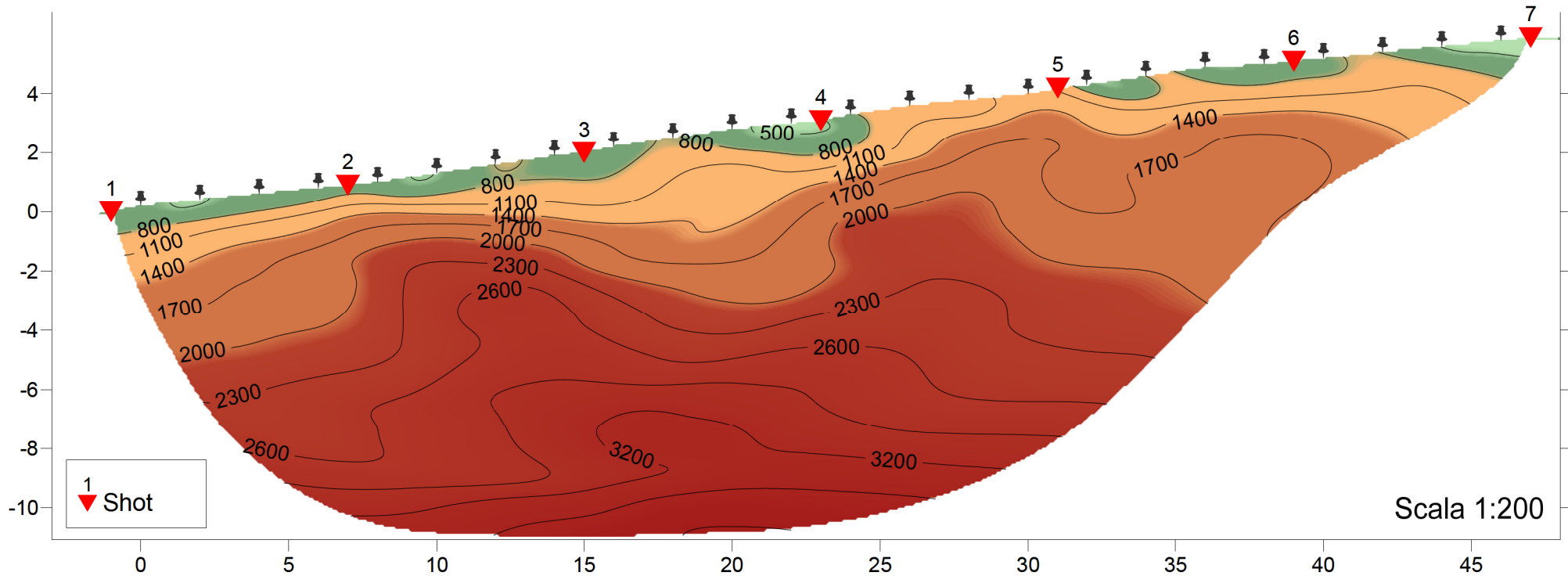
**GAIA Servizi S.n.c.**

**Dott. Jacopo Martini**

**GAIA Servizi S.n.c.**  
di Massimiliano Varnozzi & C.  
Via Lenin 132 - 56017 S. Giuliano T. (PI)  
P. IVA 01667250508 N. REA PI - 145167

### PROFILO SISMO-TOMOGRAFICO LINE 1\_P

Località: Talamone  
Data: Luglio 2019



### PROFILO SISMO-TOMOGRAFICO LINE 2\_P

