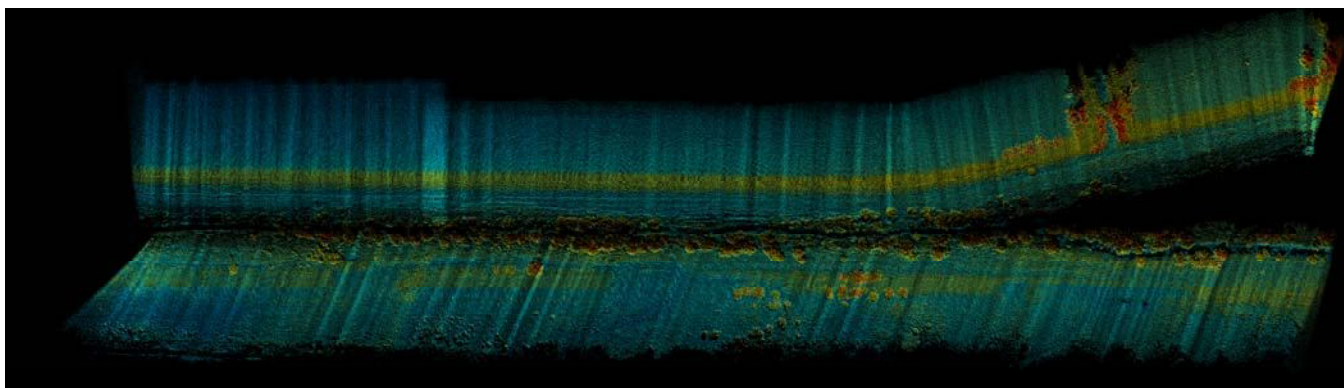




Comune di Castellaneta

Provincia di Taranto

PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEGLI INTERVENTI DI
RIPRISTINO DEGLI ARGINI DEL FIUME LATO.
CUP B84H15001940001 - CIG 6419179A14



IMPRESA ESECUTRICE



AEMME Srl
Via A. Ardito n. 3
70044 - Polignano a MARE (BA)
P.Iva: 07533380726
tel. 0823 459577
fax.0823 1870079

IL RUP

Arch. Pantaleo DE FINIS

PROGETTISTA INCARICATO

R.T.P.



ENGECO S.C.A.R.L.
tel +39 0637351275
fax +39 063725620
sede legale
via G. B. Martini, 2
00198 Roma
sede operativa
G. d'Arezzo, 16
00198 Roma

Consoziata esecutrice



CILENTO INGEGNERIA S.r.l.
via Barnaba Oriani n. 20, 00197 Roma
P.IVA 05785431007
Amministratore e Direttore Tecnico
Dott. Ing. Mario BEOMONTE



Direttore tecnico

Arch. Saverio CAMAITI

ENGECO S.c.a.r.l.
Direttore Tecnico

Dott. Geol. Marco SANDRUCCI



Arch. Daniela POLICRITI



PROGETTO ESECUTIVO

ELABORATO

SCALA /

RELAZIONE GEOLOGICA

CODICE ELABORATO

ENG.PE.GEN.04

REVISIONE	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
R.00	26/07/2017	PRIMA EMISSIONE	M. SANDRUCCI	S. VERMIGLIO	M. BEOMONTE

INDICE

1	PREMESSA.....	2
2	INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE	3
3	CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E LITOLOGICHE.....	5
3.1	Serie lito-stratigrafica locale.....	6
4	CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE.....	13
5	SISMICITÀ DELL'AREA.....	14
5.1	Risposta sismica locale e profili di suolo sismico	15
6	CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE	19
6.1	Le idrostrutture regionali.....	19
6.2	L'unità idrogeologica delle Murge.....	19
6.3	La falda di base	21
6.4	La falda superficiale.....	23
6.5	La permeabilità del substrato litologico	23
7	LE INDAGINI ESEGUITE.....	24
7.1	Indagini geognostiche.....	25
7.2	Indagini granulometriche del corpo del rilevato arginale.....	28
7.3	Indagini MASW	29
7.4	Prospezioni sismiche a rifrazione	29
7.5	Misure sismiche in foro (Down-hole).....	30



1 PREMESSA

La presente Relazione Geologica è redatta in conformità a quanto stabilito dal D.M. LL.PP. 11 marzo 1988: "Norme Tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione" ed alla Circ. LL.PP. 24 settembre 1988, n. 30483 "Istruzioni riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Per lo svolgimento del presente lavoro, inoltre, si è tenuto conto della L. 11/02/1994 n°109 (Legge quadro in materia di lavori pubblici) e del D.M. 14/01/2008 (Testo Unico- Norme tecniche per le costruzioni).

La presente Relazione Geologica ha per oggetto lo studio dei terreni interessati dall'intervento finalizzato alla riparazione gli argini del Fiume Lato danneggiatisi nel corso degli eventi alluvionali verificatisi tra il 19 novembre ed il 3 dicembre 2013.

In particolare il tratto di fiume oggetto del presente progetto è quello compreso tra la S.P.13 e la S.P.14. Il presente documento si propone di illustrare le principali caratteristiche di natura geologico-tecnica dell'area d'intervento, a corredo del Progetto Esecutivo, nel territorio del comune di Castellaneta, in provincia di Taranto.

Per tali aree, lo studio persegue il fine di fornire un panorama delle conoscenze del territorio ed effettuare una valutazione per caratterizzare i terreni interessati dagli interventi di riparazione arginale di cui sopra, unitamente ad una caratterizzazione sismica, geomorfologica ed idrogeologica delle aree di lavorazione.

2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE

Dal punto di vista geologico la Puglia fa di un sistema catena-avanfossa-avampaese articolato in tre diverse unità strutturali:

- l'avampaese apulo, a sua volta suddiviso tra Gargano, Murge e Salento
- l'avanfossa Adriatica, comprendente la piana del Tavoliere e i depositi calcarenitici ed argillosi del Pliocene superiore-Pleistocene inferiore
- la catena appenninica, con i suoi fronti più esterni rappresentati dai Monti della Daunia.

Limitatamente al settore centro-orientale della Regione, quindi alla zona delle Murge, qui affiora estesamente buona parte della potente successione del Mesozoico costituita quasi esclusivamente da calcari del Giura-Cretaceo, deposti in ambiente di mare poco profondo e in condizioni ambientali tropicali o sub-tropicali, che sono emersi a causa dei movimenti tettonici, venendo fortemente dislocati in blocchi ad opera di numerose faglie e fratture.

La successiva ingressione marina del Pleistocene ha portato alla deposizione al tetto di questi calcari, di altri termini calcarenitici che hanno una composizione detritica e risultano meno competenti.

Dal punto di vista strutturale, la successione carbonatica cretacea delle Murge forma un'estesa monoclinale, immergente verso S-SW, complicata da blande pieghe e da faglie dirette. L'area è stata interessata da varie fasi tettoniche :

- uno smembramento in megablocchi della Piattaforma Apula seguito da spinte plicative che hanno prodotto delle blande pieghe
- una fase compressiva nel Terziario superiore, legata alla tettogenesi appenninica
- due fasi tettoniche distensive tra il Cretaceo superiore e l'inizio del Terziario
- un regime compressivo che determina la formazione del sistema orogenetico appenninico a partire dall'Oligocene superiore – Miocene inferiore

Mediante un fascio di faglie antiappenniniche, l'horst si eleva rapidamente sul graben del Tavoliere a nord-ovest mentre a sud-est due ulteriori strutture antiappenniniche, la soglia messapica e la depressione di Gioia del Colle, consentono di distinguere rispettivamente l'altopiano murgiano dal bassopiano salentino e la Murgia nord-occidentale da quella sud-orientale.

In virtù di tale assetto strutturale è possibile suddividere le Murge in quattro grossi blocchi: Murgia alta, Murgia bassa, Murgia nord-occidentale e Murgia sud-orientale.

Sia i movimenti verticali di subsidenza, che hanno portato all'ingressione marina, sia i successivi movimenti di sollevamento regionale si sono prodotti in forma differenziale fra questi grossi blocchi.

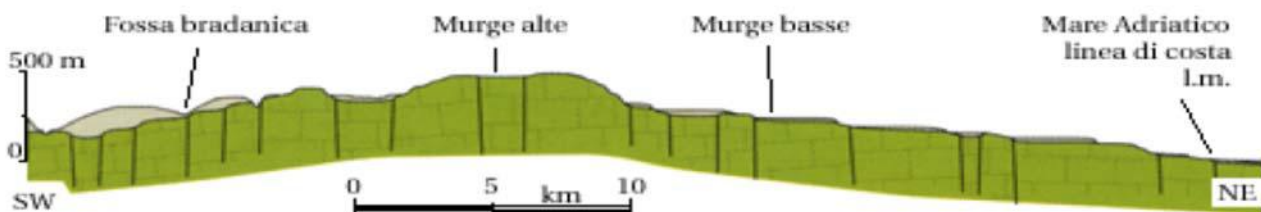


Figura 2.1 - Schema tettonico comprendente la zona di studio

Per quanto riguarda gli eventi neotettonici, questi sono riconducibili a due fasi principali:

- una fase, dal Pliocene al Pleistocene inf., durante la quale le Murge sono state interessate da sforzi compressivi attenuati, collegati alle fasi terminali della tettogenesi appenninica

- una seconda fase, che comprende l'ultimo milione di anni, durante la quale le Murge sono state soggette ad un generale sollevamento, disuniforme, connesso con il riaggiustamento isostatico regionale.

In questo quadro neotettonico, gli elementi principali sono riconducibili agli effetti di una tettonica disgiuntiva, con faglie dirette preferenzialmente NNW-SSE, che ha determinato nei calcari cretacei uno stile ad ampio horst, nel quale s'individuano piccoli e stretti graben.

I fenomeni plicativi segnalati nella regione sono piuttosto modesti: le anticlinali infatti appaiono di limitata estensione, con fianchi dolci, in genere vergenti verso nord-est. Le faglie sono sempre di tipo distensivo, con piano molto inclinato, talora prossimo alla verticale; esse hanno praticamente interessato nella regione, quasi tutta la serie sedimentaria marina con rigetti in genere difficilmente calcolabili.

Alcune di queste faglie limitano blocchi calcarei aventi giacitura monoclinale i quali pertanto assumono i caratteri di Horst.

Nella zona di più stretto interesse progettuale, il motivo tettonico dominante è costituito da una struttura sinclinalica con asse WNW-ESE, entro la quale si sono depositati nel tempo le calcareniti di Gravina, le argille ed infine i depositi marini terrazzati.

Più a sud, tale andamento presenta locali divergenze, con le bancate calcaree che presentano un'immersione opposta, a reggipoggio, con inclinazione degli strati variabili da 10° a 35°.

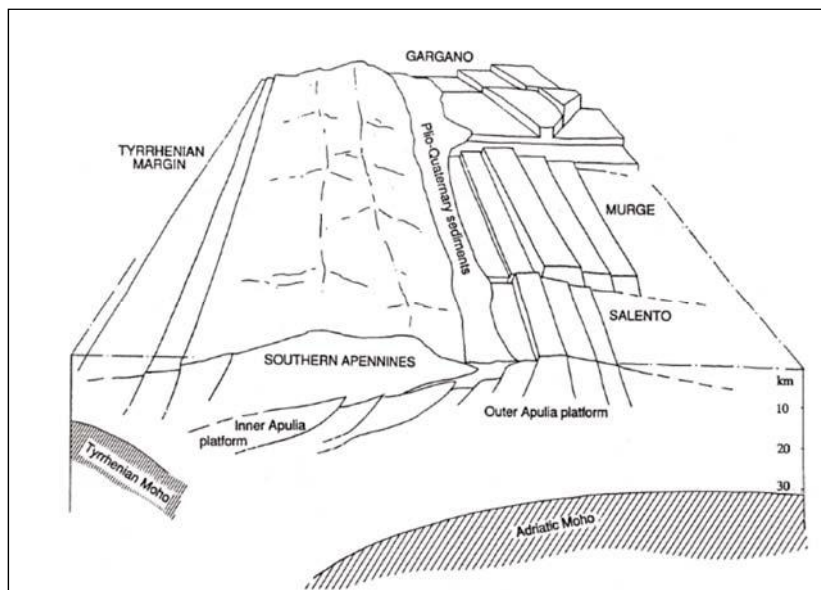


Figura 2.2 - Modello strutturale del sistema geodinamico appennino – avampese apulo

3 CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E LITOLOGICHE

Il territorio comprendente l'area di più stretto interesse progettuale è caratterizzato dalla presenza dei depositi di chiusura della serie sedimentaria del ciclo plio-pleistocenico della Fossa Bradanica, con la prevalente e diffusa presenza in affioramento (o sub-affioramento) dei depositi essenzialmente di natura alluvionale.

La successione plio-pleistocenica è sovrapposta a una spessa successione di strati rocciosi, di natura carbonatica di età cretacea, il cui tetto dei calcari risulta strutturato a gradinata, da un sistema di faglie secondo le direzioni E-O e NO-SE. Tali faglie, attive fin dall'inizio del Pliocene, hanno dato origine a depressioni tettoniche, successivamente invase e colmate di sedimenti poi emersi, a seguito del generale sollevamento, tuttora in atto, dell'arco ionico-tarantino.

In questo contesto, i più superficiali depositi di riempimento hanno conservato pressoché inalterato il loro assetto originario, come testimoniato dall'andamento sub-orizzontale degli strati.

Dall'esame della cartografia geologica allegata al presente documento si evince una certa omogeneità litologica lungo questo tratto finale della valle del F.Lato oggetto del presente progetto definitivo.

Litologia	Formazioni corrispondenti	Età	Spessori max
Alluvioni recenti e attuali	Depositi alluvionali attuali	Olocene	5 m
	Depositi alluvionali recenti	Olocene	
Depositi alluvionali terrazzati	Depositi alluvionali terrazzati	Pleistocene	5 m
Argille	Argille subappenniniche o Argilla del Bradano	Calabriano	100 m

Tabella 3.1 - Serie lito-stratigrafica tipo

Alluvioni recenti e attuali

La granulometria e la morfometria degli elementi costituenti queste alluvioni è legata alla natura litologica dei versanti ed dei fondovalle delle "lame" e delle "gravine", assumendo prevalenza argillosa, sabbiosa o ciottolosa a seconda che vengano attraversati affioramenti di litologie argillose, calcarenitiche o calcarei. In questo ultimo caso le dimensioni degli elementi possono essere molto variabili e così pure il loro grado di arrotondamento.

In via generale e caratterizzante, prevalgono i depositi costituiti da limi sabbiosi e sabbie, di colore giallastro, contenenti diffusi ciottoli prevalentemente calcarei a contorno piuttosto irregolare e di dimensioni variabili fino a qualche cm. La stratificazione è presente in forma di banchi, strati e straterelli.

Questi terreni a luoghi appaiono coerenti, a luoghi sono ben sciolti e poco costipati e poggiano sulle sottostanti argille, dalle quali si differenziano per il loro prevalente colore bruno rossastro.

Lo spessore è ridotto raggiungendo al massimo 4-5 m in corrispondenza dei solchi erosivi di maggiori dimensioni.

Depositi alluvionali terrazzati

Si tratta di depositi grossolani disposti su tre diversi ordini di terrazzamenti, che in questa parte terminale della valle si presentano essenzialmente costituiti da terreni limosi-sabbiosi, mentre più a monte prevalgono le ghiaie con lenti sabbioso-siltose, localmente a stratificazione incrociata.

Gli spessori sono limitati.

Argille calabriane

Le argille calabriane sono sempre riconducibili ad una medesima Formazione, che a seconda degli autori assume il nome di "Argille subappenniniche" o "Argilla del Bradano".

Questa Formazione è costituita da argille marnose e siltose, marne argillose, talora decisamente sabbiose. Il colore prevalente è grigio-azzurro o grigio-verdino, ma in superficie la colorazione assume sfumature bianco-giallastre, che connota i campi coltivati in questi areali d'affioramento.

Tale Formazione non è sempre presente come continuità stratigrafica, essendo eteropica con la Calcarenite di Gravina. Dove le argille calabriane risultano assenti, si ha la sovrapposizione diretta delle Calcareniti di M. Castiglione sulla Calcarenite di Gravina, dando quindi luogo ad affioramenti calcarenitici particolarmente vasti.

Solitamente, nella parte bassa della Formazione prevalgono i litotipi più argillosi e plastici, mentre verso l'alto prevalgono quelli marnosi, spesso contenenti concrezioni calcaree biancastre, responsabili di quel "marker cromatico" di cui si è accennato in precedenza. Infine, verso la sommità è spesso presente un sottile livello di alternanze argilloso-marnose e sabbioso-calcaree.

I tipi litologici dominanti contengono una percentuale di CaCO_3 variante tra il 21% ed il 27%, percentuali che ne determinano la collocazione al passaggio tra le marne argillose e le argille marnose.

Nelle argille calabriane la stratificazione è spesso assente o dà luogo a banchi di notevole spessore; solo quando compaiono le intercalazioni sabbiose o marnose, è possibile individuare strati di spessore vario. Questa Formazione costituisce in genere un livello ininterrotto con spessore che tendenzialmente aumenta dagli affioramenti settentrionali verso quelli meridionali, passando da circa 40 a 100 m.

3.1 Serie lito-stratigrafica locale

L'interpretazione sinergica delle diverse tipologie di analisi eseguite all'interno dell'area di interesse progettuale ha evidenziato la presenza di un substrato costituito da un'alternanza ripetuta ed eteropica di principalmente da litotipi argilloso-limosi e limoso-sabbiosi imbibiti d'acqua e con caratteristiche fisico-meccaniche scadenti.

I sondaggi meccanici e le prove penetrometriche hanno rilevato una stratigrafia costituita prevalentemente da argille-limose e limi-argillosi, con subordinata presenza di sabbie limose. La serie in posto, ripetutamente interessata dalla presenza di materiale organico a diverse altezze stratigrafiche, è interessata in copertura da spessori di terreno vegetale e/o di riporto di natura sabbioso-limosa.

Due situazioni leggermente differenti sono state riscontrate per quanto riguarda la zona più a monte rispetto a quella più a valle all'interno dell'area di intervento.

A monte dell'area d'interesse progettuale si riscontra come la copertura sia costituita da circa 1,5 m di terreno humico, al cui letto sono presenti circa 3,5 m di limi argillosi a loro volta seguiti da un'alternanza tra argille sabbiose e sabbie limose potente oltre 5 m.

Nel settore più vallivo, dopo la confluenza con il canale in sinistra idrografica del F.Lato, le granulometrie sono più fini e il terreno di ricopertura è costituito da materiale di riporto potenze da circa 1 m. Al letto del riporto comincia direttamente l'alternanza di argille limose e limi argillosi, con numerosi orizzonti organici, che senza apprezzabili soluzioni di continuità arriva fino ai 10 m di fondo foro per tutte le verticali di indagine eseguite.

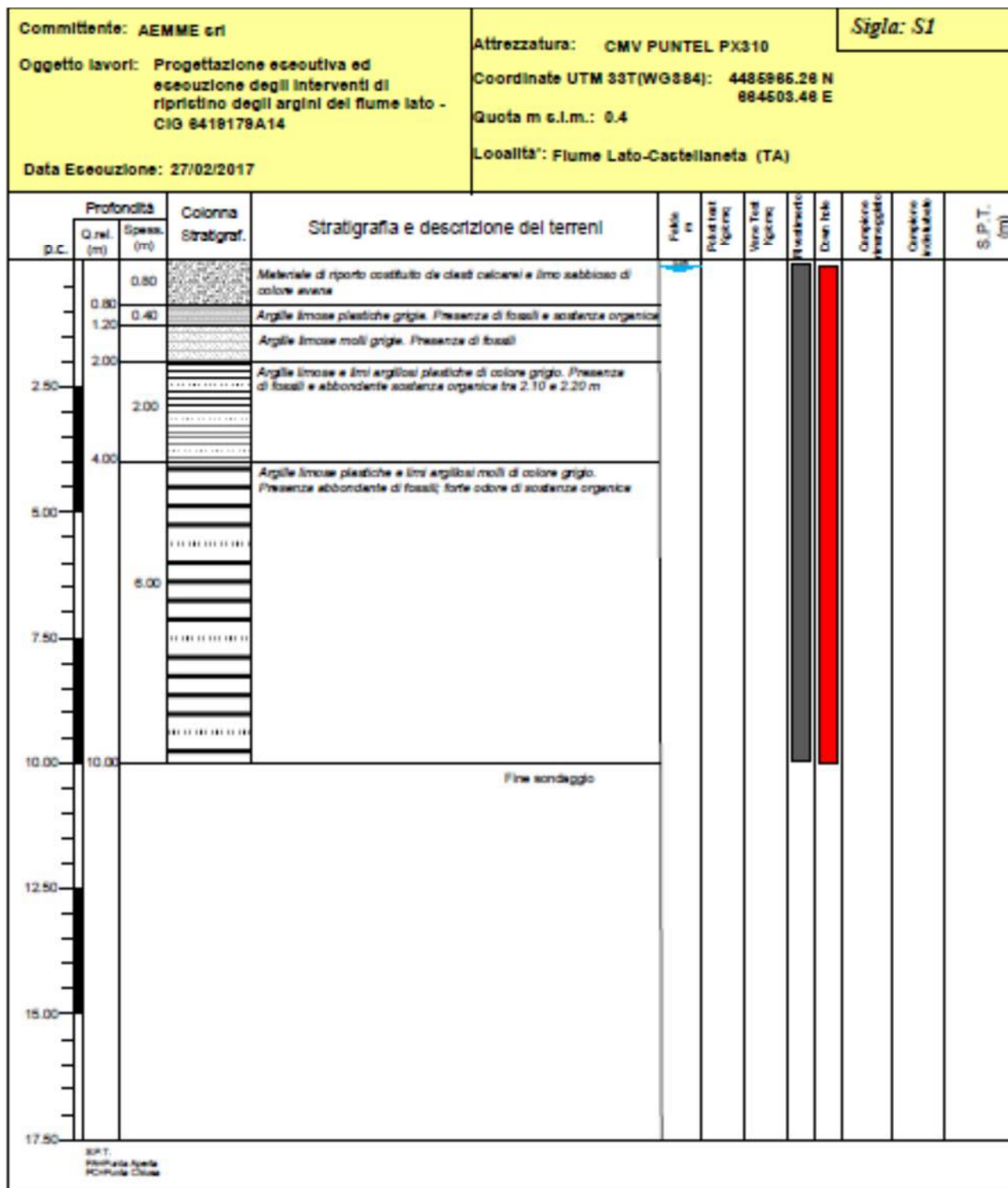


Figura 3.1 – Stratigrafia del sondaggio S1

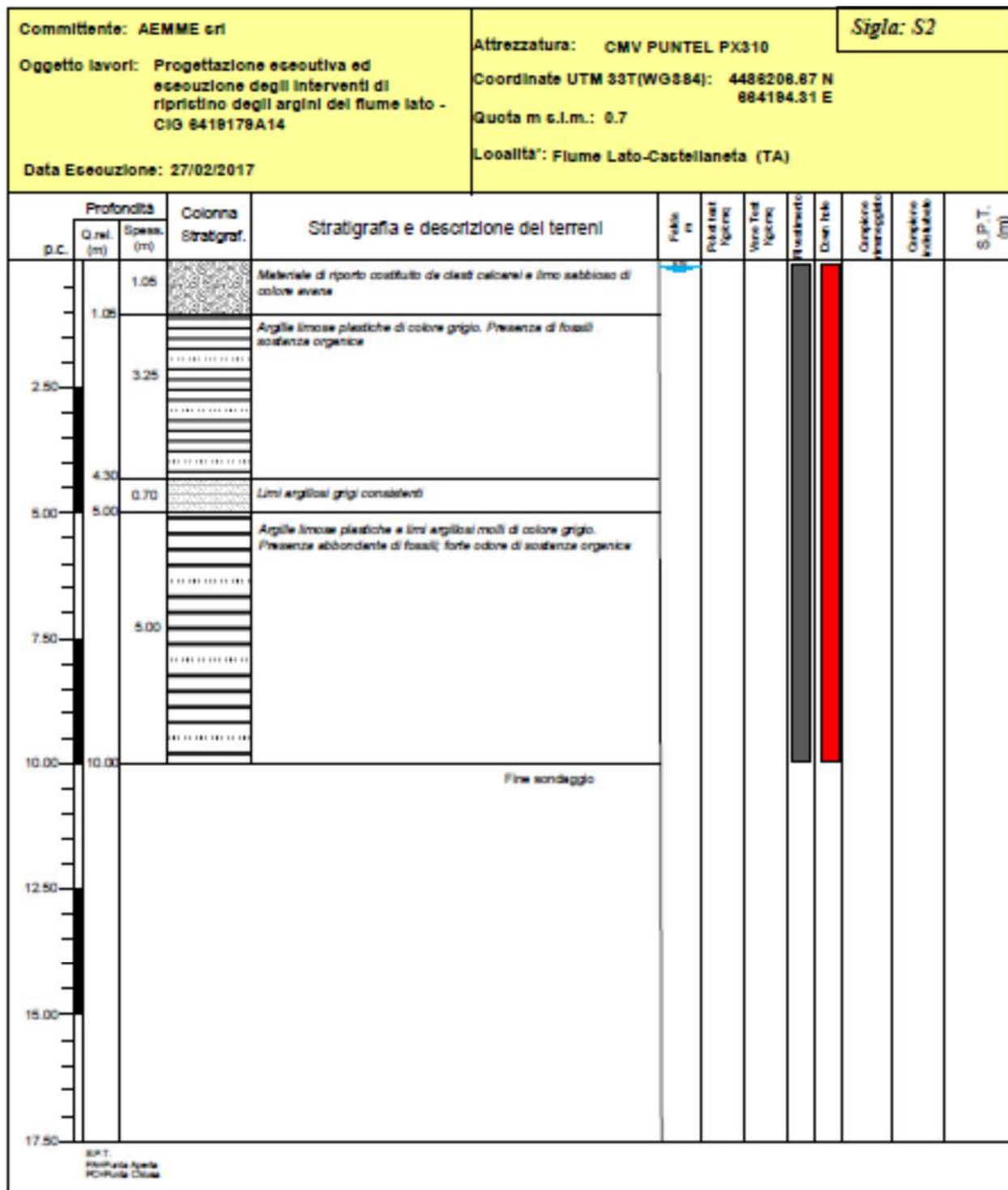


Figura 3.2 – Stratigrafia del sondaggio S2

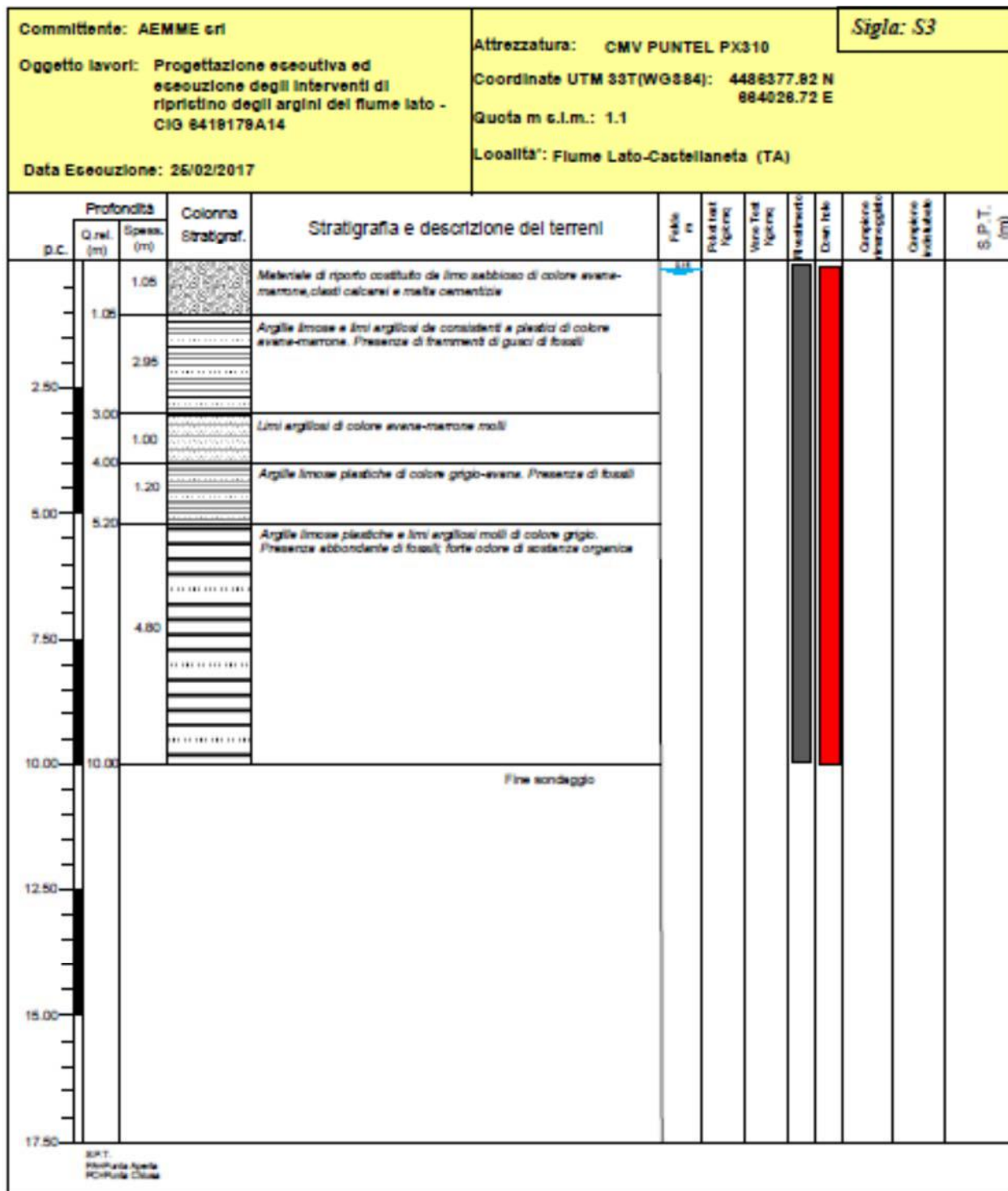


Figura 3.3 – Stratigrafia del sondaggio S3

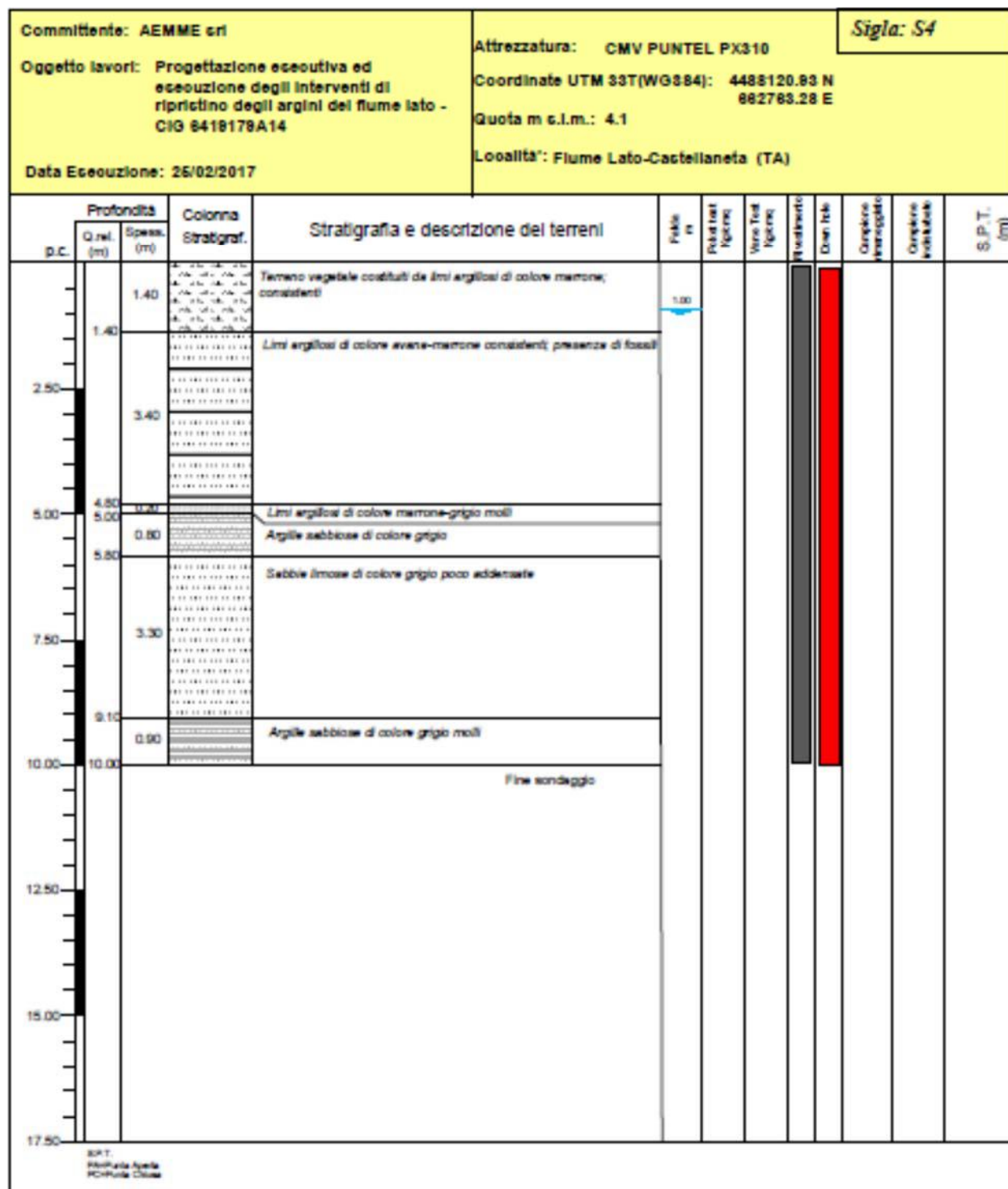


Figura 3.4 – Stratigrafia del sondaggio S4

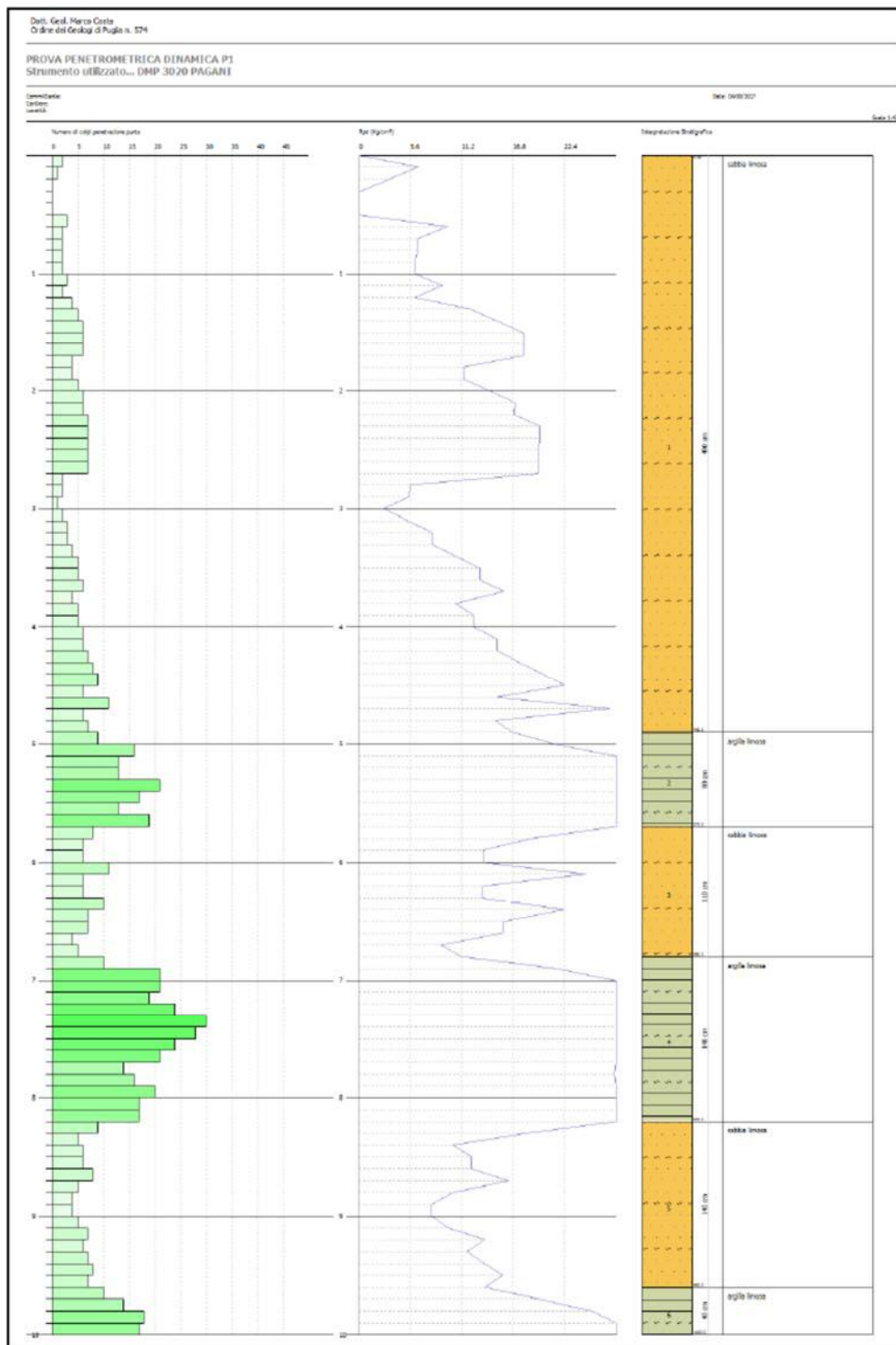


Figura 3.5 – Stratigrafia della DHP 1

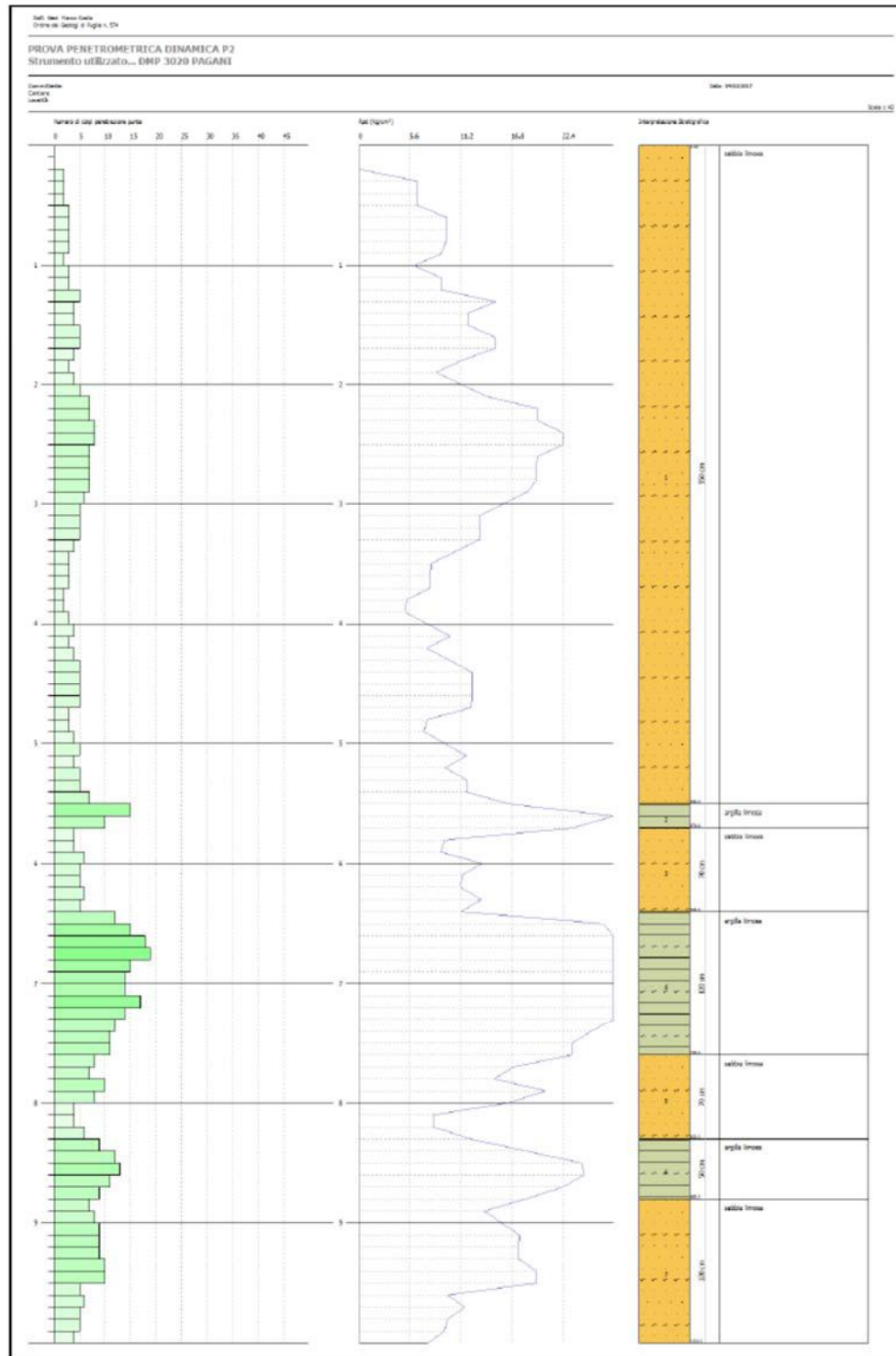


Figura 3.6 – Stratigrafia della DHP 2

Le differenze in termini granulometriche che distinguono il substrato tra le due aree investigate si riscontrano, per certi versi, anche nella composizione granulometrica di insieme del corpo arginale, con i campioni prelevati nel settore più a monte che sono risultati essere tendenzialmente più grossolani (prevalentemente limi sabbiosi) rispetto al materiale dell'argine più a valle (prevalentemente limi con argilla). Questo potrebbe confermare come il materiale utilizzato a suo tempo per l'effettuazione degli argini sia stato prelevato in loco, senza ammendamenti e apporti da siti di prestito appositamente selezionati.

4 CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE

Da un punto di vista altimetrico, il territorio delle Murge può essere suddiviso in 8 fasce, procedendo da Nord a Sud:

1. fascia dei pianori alti, a quote sopra i 400 metri sul livello del mare
2. fascia delle Gravine "alte"
3. fascia dei pianori "intermedi", a quote comprese tra 400 e 250 m s.l.m.
4. fascia delle Gravine "intermedie"
5. fascia dei piani bassi a quote comprese tra 250 e 100 m s.l.m.
6. fascia delle Gravine "basse"
7. fascia della piana agricola a quote inferiori a 50 m s.l.m.,
8. fascia costiera, che comprende le pinete costiere, le dune e il litorale sabbioso.

Si può quindi schematizzare tutto il territorio con quattro "gradoni" collegati ognuno con il successivo da Gravine, distinte in tre ordini.

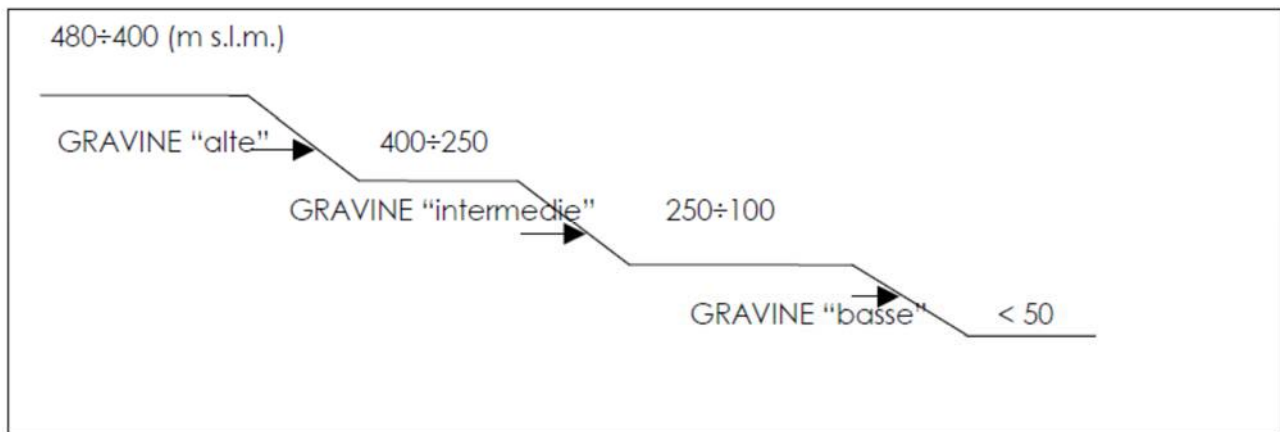


Figura 4.1 – Suddivisione delle Murge in "zone altimetriche"

L'area d'intervento si pone in corrispondenza della "fascia delle Gravine basse", con quote inferiori ai 50 m s.l.m., che nella zona di stretto interesse progettuale risultano di poco superiori al livello medio marino.

L'area d'intervento si presenta tabulare con una leggera vergenza da nord-est verso sud-ovest.

5 SISMICITÀ DELL'AREA

Nell'insieme l'area in oggetto non è interessata da fenomeni tettonici a carattere disgiuntivo di una certa rilevanza e non è classificata come zona sismogenetica.

Infatti, storicamente gli epicentri dei terremoti che interessano il tarantino sono concentrati quasi esclusivamente nella zona Appenninica, che è un'area altamente sismica. Di questi solo alcuni, che hanno presentato magnitudo elevate, sono stati avvertiti nei territori comunali direttamente interessati dalle opere di progetto, tra i quali il terremoto dell'Irpinia del 23 novembre 1980, e quello del Potentino del 5 Maggio del 1990, rispettivamente con magnitudo di 6.8 e 5.2 che corrispondono all'incirca al X-XI e VII grado della scala MCS (Mercalli, Cancani, Sieberg).

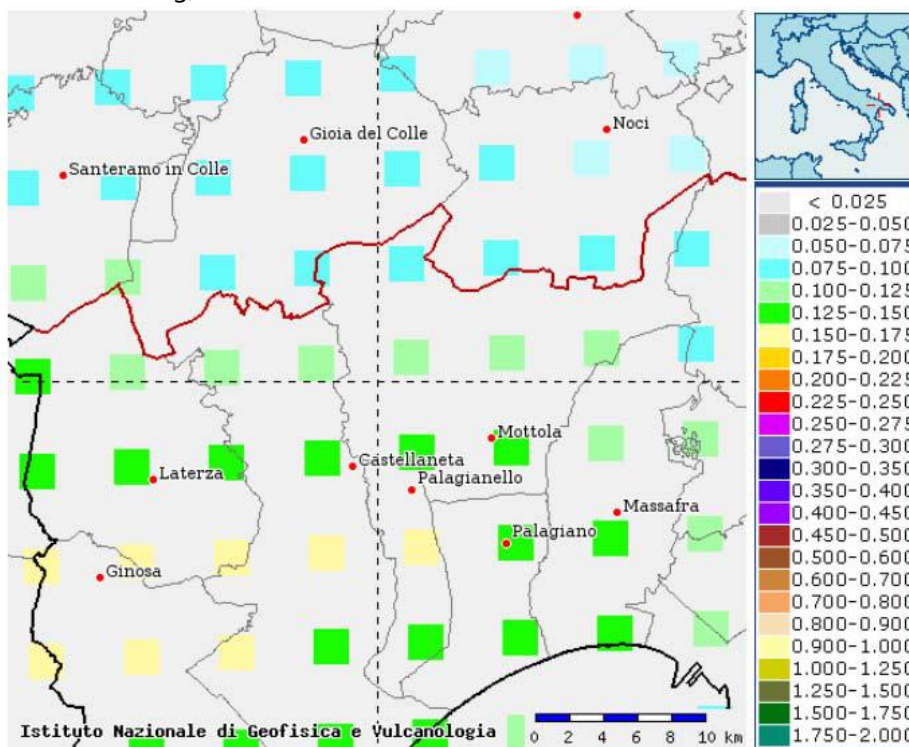


Figura 5.1 - Pericolosità sismica dell'area d'intervento (Fonte : INGV)

Di seguito si riportano le classi sismiche del comune di Castellaneta direttamente interessato dal progetto, così come dalla vigente normativa regionale di classificazione sismica, D.G.R. 153, del 2 marzo 2004.

codice istat	comune	Categoria di classificazione precedente (Decreti fino al 1984)	Categoria secondo la proposta del GdL del 1988	Zona prevista dall'O.P.C.M. n.3274/03	Classificazione Regionale
16073003	Castellaneta	N.C.	III	3	3

Tabella 5.1 - Classificazione sismica dei comuni di Castellaneta

Come si evince da tale tabella, il territorio sotteso dalle opere in progetto, ricade in classe 3, a basso rischio sismico. A tale categoria sismica corrisponde un'accelerazione orizzontale con probabilità di superamento del 10% in 50 anni compresa tra 0,05 g e 0,15 g che si traduce in un'accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico pari a 0.15 (ag/g).

5.1 Risposta sismica locale e profili di suolo sismico

L'indagine sismica ha rilevato la presenza 3 sismostrati caratterizzati da velocità delle P crescenti con la profondità mentre le Vs risultano quasi costanti fino alle profondità investigate.

L'elaborazione dei dati di rifrazione sismica ha infatti permesso di ricostruire il sottosuolo secondo i seguenti 3 "sismostrati", così caratterizzati:

- Il primo sismostrato (con una profondità massima compresa tra 0.8-2 metri dal p.c.) ha velocità Vp compresa tra 400-530 m/s e Vs compresa tra 95-130;
- Il secondo sismostrato (con una profondità compresa tra 3-6 metri dal p.c.) ha velocità Vp compresa tra 640-860 m/s e Vs compresa tra 90-130;
- Il substrato rifrattore ha velocità Vp compresa tra 1320-1560 m/s e Vs compresa tra 90-130.

Per ciò che concerne la correlazione delle caratteristiche fisico-dinamiche con quelle geologico-tecniche del sottosuolo esplorato, si può ritenere che:

- Il primo sismostrato è associabile a terreno di riporto di natura limoso-sabbioso- argillosa;
- Il secondo sismostrato è associabile ad argille-limose poco consistenti;
- Il substrato rifrattore è associabile ad argille-limose poco più addensate.

Per quanto riguarda invece l'indagine Down-Hole, questa ha registrato delle velocità delle onde P crescenti con la profondità mentre le Sh risultano molto basse (intorno ai valori di 100 m/s) indicando dei terreni con caratteristiche fisico-dinamiche scadenti.

Inoltre le onde Sh hanno messo in evidenza delle inversioni di velocità, a profondità intermedie, correlabili ad argille-limose con caratteristiche leggermente migliori rispetto ai terreni circostanti o ad una variazione del contenuto limoso-sabbioso dei terreni.

Infine, i modelli di Vs-profondità, ottenuti mediante l'analisi MASW, sono schematizzati nelle seguenti tabelle:

Analisi Re.Mi.1	
V _s (m/s)	Profondità (mt)
110	1.3
90	22.9
250	>22.9

Analisi Re.Mi.2	
V _s (m/s)	Profondità (mt)
100	13.6
300	>13.6

Analisi Re.Mi.3	
V _s (m/s)	Profondità (mt)
95	18.6
180	>18.6

Analisi Re.Mi.4	
V _s (m/s)	Profondità (mt)
130	21.6
300	>21.6

Analisi Re.Mi.5	
V _s (m/s)	Profondità (mt)
120	19.8
260	>19.8

Le caratteristiche e gli effetti di un evento sismico sono fortemente dipendenti, oltre che dalle caratteristiche della sorgente, dalle modalità di emissione dell'energia e dalla distanza ipocentrale, anche da fattori di risposta locale che risultano in grado di influenzare in maniera significativa la composizione spettrale del sisma. Tale influenza sullo spettro sismico si manifesta come fattore di smorzamento o al contrario di amplificazione e si configura come l'insieme delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico, relativo a una formazione rocciosa di base (substrato o bedrock), subisce attraversando gli strati di terreno sovrastanti (deposito di copertura) fino alla superficie.

I due principali fattori locali che possono condizionare la risposta sismica locale sono:

- i fattori morfologici del sito (valle stretta, cresta, pendio etc.)
- la natura dei depositi sollecitati dalla vibrazione sismica (possono amplificare l'accelerazione massima in superficie rispetto a quella che ricevono alla base, agendo al contempo da filtro del moto sismico, diminuendone l'energia complessiva ma modificandone la composizione con accentuazione di alcune frequenze e smorzamento di altre)

Dal punto di vista dei condizionamenti morfologici, l'andamento prevalentemente tabulare dell'area

d'interesse progettuale consente sostanzialmente di escludere l'esistenza di una tale forma di condizionamento; per quanto riguarda invece gli aspetti connessi alla natura e alla tipologia del substrato litologico (riferendosi alla definizione del profilo di suolo sismico introdotto dall'Ordinanza del Presidente del Consiglio n. 3274 del 20.03.2003), ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto si definiscono le seguenti categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione (le profondità si riferiscono al piano di posa delle trincee del cavidotto):

- A - Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 m
- B - Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica $N_{SPT} > 50$, o coesione non drenata $c_u > 250$ kPa)
- C - Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di V_{s30} compresi tra 180 e 360 m/s ($15 < N_{SPT} < 50$, $70 < c_u < 250$ kPa).
- D - Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti, caratterizzati da valori di $V_{s30} < 180$ m/s ($N_{SPT} < 15$, $c_u < 70$ kPa).
- E - Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali, con valori di V_{s30} simili a quelli dei tipi C o D e spessore compreso tra 5 e 20 m, giacenti su di un substrato di materiale più rigido con $V_{s30} > 800$ m/s.

In aggiunta a queste categorie, per le quali vengono definite le azioni sismiche da considerare nella progettazione, se ne definiscono altre due, per le quali sono richiesti studi speciali per la definizione dell'azione sismica da considerare:

- S1 - Depositi costituiti da, o che includono, uno strato spesso almeno 10 m di argille/limi di bassa consistenza, con elevato indice di plasticità ($PI > 40$) e contenuto di acqua, caratterizzati da valori di $V_{s30} < 100$ m/s ($10 < c_u < 20$ kPa)
- S2 - Depositi di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti

Nelle definizioni precedenti V_{s30} è la velocità media di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio e viene calcolata con la seguente espressione:

$$V_{s30} = \frac{H}{\sum_{i=1, N} \frac{h_i}{V_i}}$$

Le più recenti Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. del 14/01/2008), hanno superato il concetto della classificazione del territorio nelle quattro zone sismiche e propongono una nuova zonazione fondata su un reticolo di punti di riferimento con intervalli di a_g pari a 0.025 g, costruito per l'intero territorio nazionale. Ai punti del reticolo sono attribuiti, per nove differenti periodi di ritorno del terremoto atteso, i valori di a_g e dei principali "parametri spettrali" riferiti all'accelerazione orizzontale e verticale su suoli rigidi e pianeggianti, da utilizzare per il calcolo dell'azione sismica (fattore di amplificazione massima F_0 e periodo d'inizio del tratto dello spettro a velocità costante T^*C). Il reticolo di riferimento ed i dati di pericolosità sismica vengono forniti dall'INGV e pubblicati nel sito <http://esse1.mi.ingv.it/>. attraverso le coordinate geografiche del sito.

Sulla base dei valori di V_{s30} ricavati, è possibile classificare il sottosuolo di fondazione, secondo le NTC (D.M. 14/01/2008), in **Categoria D**:

- Profilo sismico 1 – Vs30=107 m/s
- Profilo sismico 2 – Vs30=153 m/s
- Profilo sismico 3 – Vs30=116 m/s
- Profilo sismico 4 – Vs30=158 m/s
- Profilo sismico 5 – Vs30=148 m/s

Infine, stante l'assetto sub-orizzontale o quanto meno a bassa acclività delle aree direttamente interessate dall'intervento progettuale in esame la categoria topografica è assunta pari a T1, valida per superfici pianeggianti, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$.



6 CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE

6.1 Le idrostrutture regionali

I più estesi e cospicui serbatoi di acque sotterranee della Puglia sono costituiti dalle potenti successioni carbonatiche mesozoiche di avampaese del Gargano, delle Murge e del Salento. Si tratta di porzioni di piattaforma apula tra loro separate da strutture tettoniche trasversali, riconducibili allo sviluppo dell'avanfossa appenninica, in epoca successiva alla colmata da depositi di età plio-quadernaria.

Risorse idriche sotterranee meno cospicue, ma comunque rilevanti nel bilancio idrogeologico regionale, sono localizzate anche in corrispondenza dei sedimenti ghiaioso-sabbiosi di chiusura dell'avanfossa appenninica che affiorano nel Tavoliere di Puglia e nella "piana messapica", situata tra le Murge e il Salento.

Infine, ulteriori apporti idrici provengono anche dal F. Bradano in corrispondenza proprio della stretta del bacino artificiale di San Giuliano e delle gravine di Ginosa, Laterza, Castellaneta e Massafra. E' proprio la presenza di numerose soluzioni di continuità carsiche presenti al contatto tra la Calcarenite di Gravina e i calcari mesozoici a rappresentare una via di drenaggio preferenziale per le acque sotterranee.

Consistente è anche l'apporto dato all'afflusso sorgivo della parte medio-alta del Vallone della Silica, le cui acque di scorrimento superficiale confluiscono in un inghiottitoio carsico presente in località "le grave", sul fondo del vallone stesso.

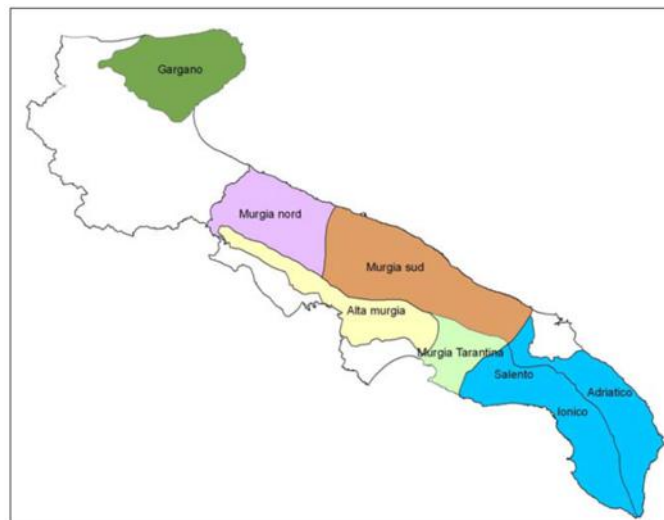


Figura 6.1 – Acquiferi principali di natura calcarea in Puglia

6.2 L'unità idrogeologica delle Murge

L'unità carbonatica delle Murge, quella di diretto interesse ai fini del presente lavoro, è permeabile per fratturazione e carsismo e rappresenta un dominio idrogeologico a sé stante, ma comunque in connessione idraulica con le unità adiacenti a livello di circolazione di fondo, con possibili travasi di portate da una idrostruttura all'altra.

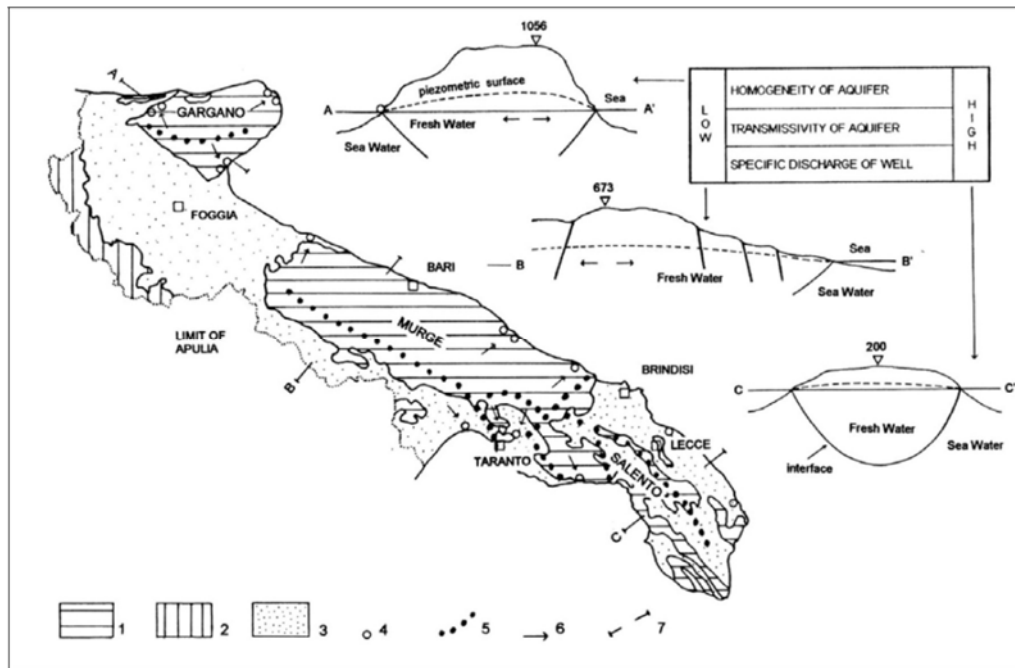


Figura 6.2 – Schema idrogeologico della Puglia

Legenda : (1) Rocce calcareo-dolomitiche mesozoiche; (2) Unità alloctone della catena appenninica; (3) Sedimenti plio-pleistocenici dell'avanfossa; (4) principali sorgenti costiere; (5) spartiacque idrogeologico; (6) direzione del flusso idrico sotterraneo; (7) traccia della sezione

Inoltre, l'idrostruttura delle Murge, per condizione geografica, rappresenta un acquifero costiero, essendo delimitato dalla linea di costa, all'interno del quale le acque circolano, nella zona della fascia costiera adriatica e ionica, al di sopra di quelle salate di intrusione marina ed il cui livello di base per la circolazione idrica sotterranea è rappresentato dal livello mare. Il deflusso delle acque a mare avviene sia attraverso sorgenti concentrate, che tramite fronti sorgentizi di tipo subaereo e subacqueo.

Una sezione generale attraverso le Murge mostra proprio come la falda sia in contatto, sul lato adriatico, con l'acqua marina d'intrusione continentale, mentre sul lato opposto l'acquifero delle Murge risulti delimitato dal sistema di faglie che lo pone in contatto con le argille plio-pleistoceniche dell'avanfossa bradanica.

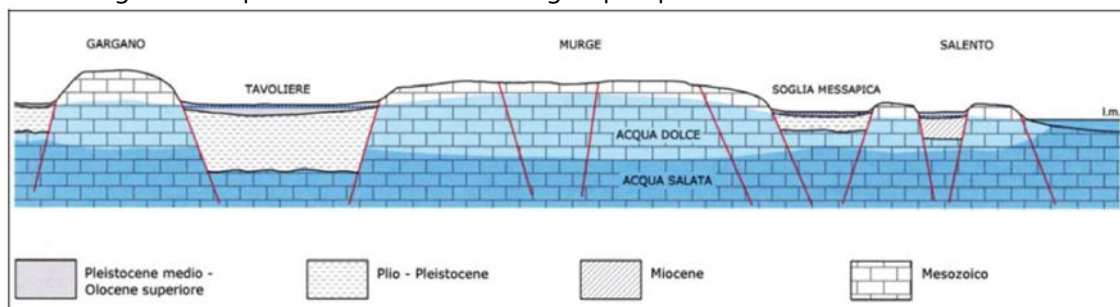


Figura 6.3 – Sezione idrogeologica attraverso la parte affiorante della piattaforma apula

La parte più interna del territorio delle Murge costituisce la zona di prevalente ricarica dell'acquifero; essa si articola in una serie di bacini imbriferi di tipo endoreico, di diversa estensione, che raccolgono le acque degli eventi meteorici convogliandole, mediante inghiottitoi, verso il sistema dei reticoli carsici sotterranei.

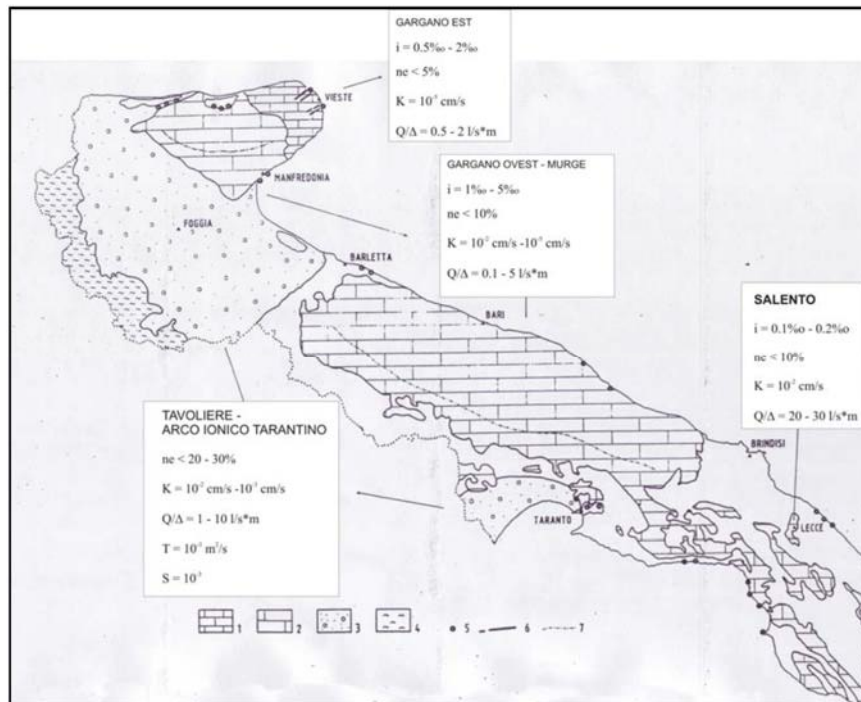


Figura 6.4 – Caratteristiche idrogeologiche essenziali e parametri idraulici principali delle idrostrutture pugliesi

6.3 La falda di base

Una delle caratteristiche idrogeologiche più salienti e peculiari dell'acquifero calcareo-dolomitico delle Murge è rappresentata dalla permeabilità di insieme di per sé bassa e discontinuamente distribuita, soprattutto se paragonata a quella degli acquiferi adiacenti ed in particolare al Salento.

Tale caratteristica è fortemente influenzata dall'assetto morfo-strutturale delle Murge, a sua volta espressione degli eventi tettonici che si sono succeduti dal Pliocene ad oggi.

La notevole complessità strutturale dell'horst delle Murge e la sua scomposizione in blocchi condiziona la circolazione idrica sotterranea all'interno di questo acquifero determinandone una notevole differenziazione delle caratteristiche, che sono variabili da zona a zona, ma che complessivamente possono essere ricondotte a quelle di una falda generalmente in pressione (ad esclusione delle aree rivierasche e talora nell'alta Murgia), frazionata su distinti livelli, di norma al di sotto del livello del mare, separati da intervalli, dello spessore di diverse centinaia di metri, di roccia "anidra".

Il confinamento della falda, e il suo frazionamento su più livelli, è dovuto non solo alla presenza di intervalli di roccia poco fratturata o massiva, ma anche di livelli di calcari bituminosi che, a diverse altezze stratigrafiche, sono presenti all'interno della successione carbonatica mesozoica murgiana.

I carichi piezometrici più elevati (dell'ordine di 150÷200 m s.l.m.) si registrano in corrispondenza dello spartiacque idrogeologico coincidente grosso modo con quello superficiale, situato nella zona più interna e topograficamente più elevata delle Murge, identificabile con la congiungente Altamura-Gioia del Colle-Noci. La posizione dello spartiacque determina una maggiore estensione del settore adriatico e la conseguente maggiore potenzialità idrica rispetto a quello bradanico-ionico.

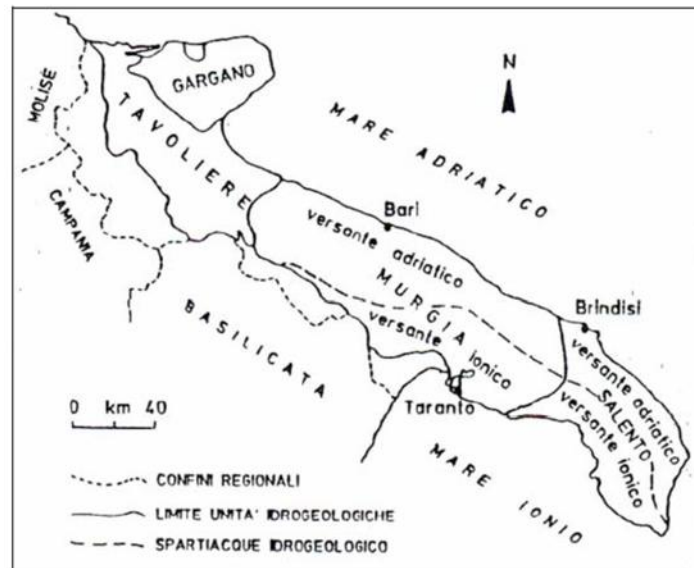


Figura 6.5 – Principali idrostrutture pugliesi con indicazione dello spartiacque idrogeologico

Altra caratteristica singolare dell'idrogeologia murgiana è rappresentata dal fatto che, pur rappresentando il Mare Adriatico il livello di base della circolazione idrica ipogea, esso non costituisce né l'unico né il principale punto di riferimento del drenaggio ipogeo. Infatti, dall'andamento della piezometria si evince come la circolazione carsica murgiana si configuri alla stregua di una sorta di isola allungata in senso appenninico le cui acque sono drenate da ogni lato: verso il Mare Adriatico, verso il Salento, verso la fossa Bradanica e verso il Tavoliere.

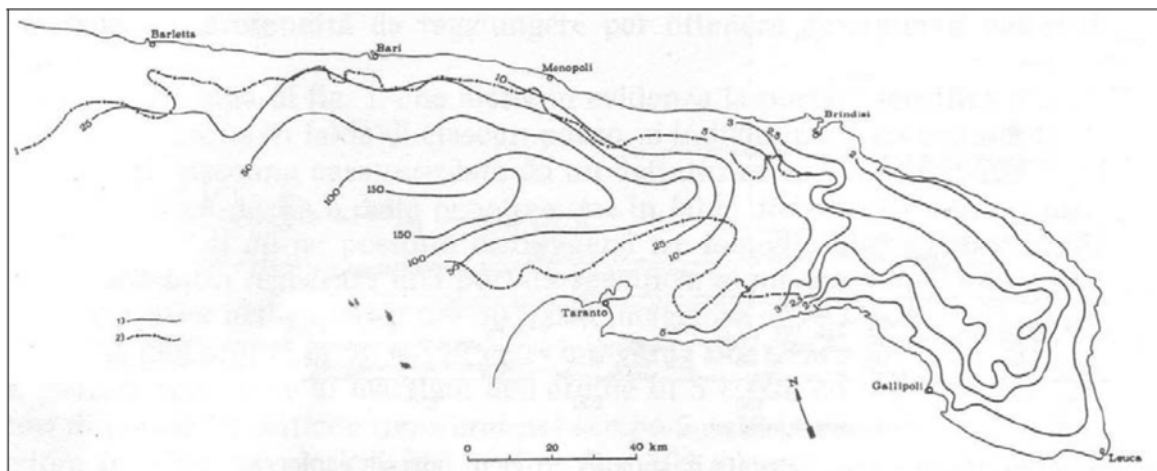


Figura 6.6 – Andamento della superficie piezometrica a carattere regionale



Figura 6.7 – Isopieze e direzioni di flusso delle acque sotterranee nel settore bradanico delle Murge

Per quanto riguarda l'andamento piezometrico della falda di base nella zona di più stretto interesse progettuale, questo evidenzia soggiacenze sempre molto limitate, dell'ordine di pochi metri dal p.c.

L'inflessione delle curve piezometriche denota una direzione principale di deflusso orientata da NW verso SE, con recapito finale nel Mar Piccolo.

6.4 La falda superficiale

Come lecito attendersi dalla limitrofa presenza del talweg fluviale, il substrato alluvionale eteropico determina una diffusa continuità idraulica tra idrografia superficiale e primo livello di falda, con quest'ultimo che nel corso delle indagini geognostiche eseguite è stato confermato subito al di sotto del piano campagna, con soggiacenze quindi minime, anche se certamente caratterizzato da un minimo di variabilità stagionale, per quanto limitata, proprio a seguito dell'esistente continuità idraulica con il Fiume Lato.

6.5 La permeabilità del substrato litologico

Sulla base delle caratteristiche di permeabilità, le rocce localmente affioranti si è provveduto a suddividere letali litologie nelle seguenti classi:

- terreni permeabili per porosità interstiziali
- terreni permeabili per porosità interstiziale e fessurazione
- terreni porosi ma impermeabili
- terreni permeabili per fessurazione e carsismo

Nell'area di intervento sono esclusivamente presenti, in affioramento, terreni permeabili per porosità e terreni impermeabili.

Terreni permeabili per porosità interstiziale

La permeabilità per porosità di interstizi, è propria di rocce granulari e si riscontra nei depositi di chiusura del ciclo bradanico (Sabbie e Depositi alluvionali). Tali formazioni presentano un grado di permeabilità medio, a luoghi basso per la presenza di una cospicua frazione limosa. Riguardo il ruolo idrostrutturale, queste unità sono al limite tra "acquifero e "acquitardo", in quanto poggiando sulle Argille, impermeabili sono sede di una falda idrica superficiale.

Terreni porosi ma impermeabili

Le rocce porose che presentano pori di dimensioni talmente ridotte che l'acqua viene fissata come acqua di ritenzione e non permettono movimenti percettibili hanno il ruolo idrogeologico di acquicludo. A questa categoria appartengono le Argille Subappennine il valore del coefficiente di permeabilità varia tra $6,6 \cdot 10^{-5}$ - $1,6 \cdot 10^{-6}$ cm/sec, per la parte alta della formazione essenzialmente sabbioso limosa; i valori del coefficiente di permeabilità variano tra $1,3 \cdot 10^{-5}$ - $9,5 \cdot 10^{-5}$ cm/sec per la parte sottostante.

7 LE INDAGINI ESEGUITE

Per l'aggiornamento dello studio geologico redatto in fase di gara e quindi a corredo del Progetto Esecutivo si è provveduto a progettare ed eseguire una campagna di indagine articolata su diverse tipologie di misure e prove, concentrando le stesse in corrispondenza dei due settori progettualmente più significativi:

- la fascia arginale in sinistra idrografica posta nel settore più a monte dell'area di interesse progettuale
- la fascia arginale destra posta nel settore più vallivo dell'area di interesse progettuale



Figura 7.1 – Ubicazione degli areali di indagine

In ognuno di questi due areali di indagine si è provveduto ad eseguire prove diverse e tra loro integrative e complementari costituite da:

- sondaggi/penetrometriche
- MASW
- Prospezioni sismiche a rifrazione e in foro Down-hole
- Analisi granulometriche del corpo del rilevato arginale

Complessivamente la campagna di indagine è stata mirata alla definizione delle caratteristiche fisico-dinamiche, alla ricostruzione stratigrafica e alla valutazione del parametro Vs30 per la classificazione del sottosuolo di fondazione (D.M. 14/01/2008) e si è tradotta nell'effettuazione delle seguenti indagini geognostiche:

- n.4 Sondaggi meccanici;
- n.2 Prove penetrometriche dinamiche (DPM);
- n.10 Analisi granulometriche su campioni;
- n.5 Profili sismici mediante indagine MASW passiva (Metodo Re.Mi.);

- n.5 Profili sismici a rifrazione con acquisizione di onde P;
- n.4 Misure sismiche in foro del tipo Down-Hole.

7.1 Indagini geognostiche

La campagna geognostica, costituita da indagini dirette, è stata così articolata:

- n°4 sondaggi meccanici verticale (S1, S2, S3 e S4), a rotazione e a carotaggio continuo spinti alla profondità di 10 m dal p.c., attrezzati per le misure sismiche in foro (down-hole)
- n°2 prove penetrometriche dinamiche medie (P1 e P2)



Figura 7.2 – Esecuzione di sondaggi e penetrometriche

I sondaggi sono stati eseguiti con sonda a rotazione tradizionale con testa idraulica in grado di agire sia in rotazione che con percussione in modo da poter inserire anche l'eventuale tubazione di rivestimento senza o con poca circolazione di fluido.

Le operazioni di carotaggio sono avvenute con l'utilizzo del carotiere semplice e manovre di lunghezza tale da garantire il massimo recupero di materiale ed il minimo disturbo.

Le manovre sono state eseguite in modo tale da permettere la valutazione del reale recupero del materiale attraverso la registrazione su apposito taccuino di campagna.

Le "carote" estratte con le manovre di carotiere, sono state ordinatamente sistemate in apposite cassette catalogatrici munite di scomparti divisori e coperchio.

Sui bordi delle cassette sono stati indicati le quote rispetto al piano campagna. Le cassette sono state fotografate con macchina digitale a colori, una per volta e depositate l'una sull'altra, per ogni sondaggio.

Nel corso delle operazioni di sondaggio è stata compilata, la scheda della stratigrafia riscontrata completa della descrizione della natura e delle caratteristiche del terreno, data, attrezzatura impiegata, metri rivestimento utilizzato, nominativo del compilatore, quota falda. Non sono emerse problematiche particolari durante le fasi lavorative.

Sondaggio	Coordinate UTM 33T (WGS84)	Profondità raggiunta (m)
S1	4485965.26 N 664503.46 E	10
S2	4486206.67 N 664194.31E	10
S3	4486377.92 N 664026.72 E	10
S4	4488120.93 N 662763.28 E	10

Figura 7.3 – Localizzazione dei sondaggi realizzati

In corrispondenza dell'introno del previsto punto di indagine 5, all'atto dell'esecuzione della campagna geognostica sono state riscontrate condizioni di accessibilità particolarmente complesse che hanno portato a sostituire il previsto sondaggio meccanico con l'esecuzione di una coppia di indagini penetrometriche, mediante di un penetrometro dinamico TG30-20 prodotto e commercializzato dalla Pagani Geotechnical Equipment di Calendasco (PC), le cui caratteristiche tecniche salienti sono riportate in Tabella.

Pagani TG 30-20			
Passo	10 cm	Lunghezza aste	1 m
Peso maglio	30 Kg	Peso aste	2,4 Kg
Volata	20 cm	Massa passiva	15,25 Kg
Area punta	10 cm ²	Coeff. di correlaz. con Nspt	0,766
Angolo apertura punta conica	60°	Energia specifica per colpo	6 Kg/cm ²

Figura 7.4 – Dati tecnici del penetrometro Pagani TG30-20

L'esecuzione di ciascuna prova prevede l'infissione, con un sistema di battuta automatico che assicura circa 20-30 colpi/minuto, di una punta conica, in questo caso a recupero; ogni 10 cm di avanzamento della punta viene misurato il numero di colpi: tale valore, opportunamente elaborato, viene utilizzato per determinare il valore di numerosi parametri geotecnici per mezzo di abachi.

L'indagine è consistita nella realizzazione di due prove in corrispondenza dell'area d'interesse progettuale, La disamina dei dati ottenuti ha messo in evidenza la presenza di uno spessore di materiale più o meno sciolto il cui spessore risulta essere di almeno 10 m per entrambe le indagini, interpretato dal basso verso l'alto, sulla scorta dei dati di letteratura e della disamina dei luoghi come sabbie sature alternate a argille limose; raggiunta la profondità menzionata le prove sono state interrotte.

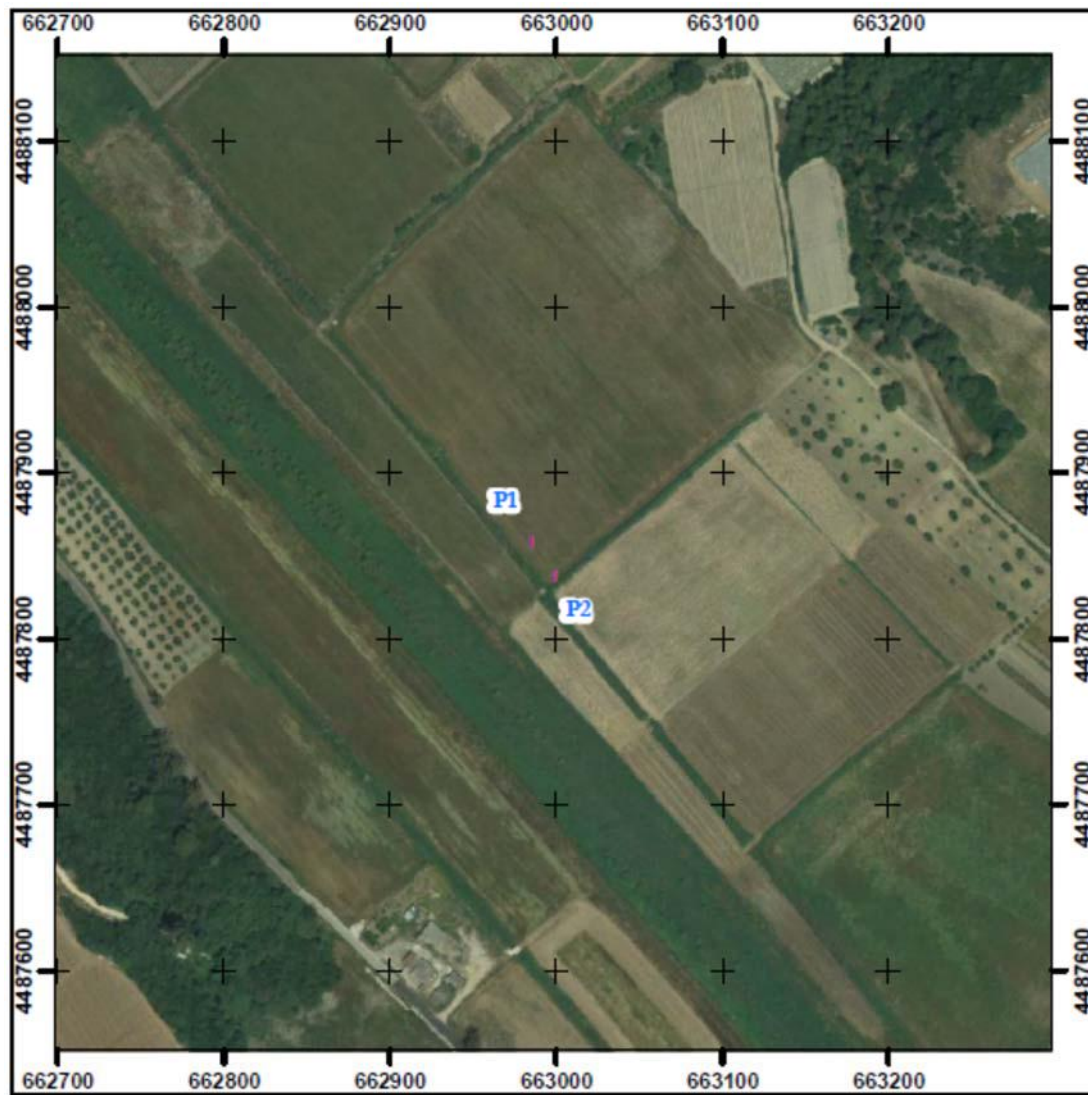


Figura 7.5 – Ubicazione delle due prove penetrometriche

L'interpretazione delle prove penetrometriche a fini stratigrafici è stata effettuata sulla scorta della letteratura geologica ufficiale a disposizione, delle evidenze di superficie e su dati indiretti rivenienti dalle prove eseguite; in relazione a quest'ultimo caso, durante l'estrazione delle aste è stata notato quanto segue:

- le aste erano bagnate per la presenza di acqua (perlomeno negli strati identificati come generalmente sabbiosi) a più livelli;
- le stesse aste erano "sporche" di materiale talora sabbioso, talora argilloso;
- immediatamente al di sopra della punta di infissione (recuperata) era presente materiale argilloso grigio-azzurro a consistenza molto fluida;
- durante le fasi finali della estrazione delle aste della indagine P1 l'argilla presente al di sopra della punta di infissione ha agito da "tappo" permettendo la risalita, l'estrazione e lo scorrimento di acqua in superficie.

Tutte le evidenze indirette acquisite permettono di ipotizzare, con notevole grado di certezza, una abbondante presenza di acqua nel sottosuolo (sotto forma di un sistema di falde probabilmente interconnesse presenti in seno agli strati a granulometria più grossolana) in conseguenza degli eventi meteorici verificatisi nei giorni immediatamente precedenti a quello di indagine che hanno anche cagionato

la saturazione delle litologie più fini.

7.2 Indagini granulometriche del corpo del rilevato arginale

Le indagini granulometriche si sono concretizzate nel prelievo di n°10 campioni lungo gli argini fluviali per sottoporre poi tale materiale ad analisi granulometriche di laboratorio.

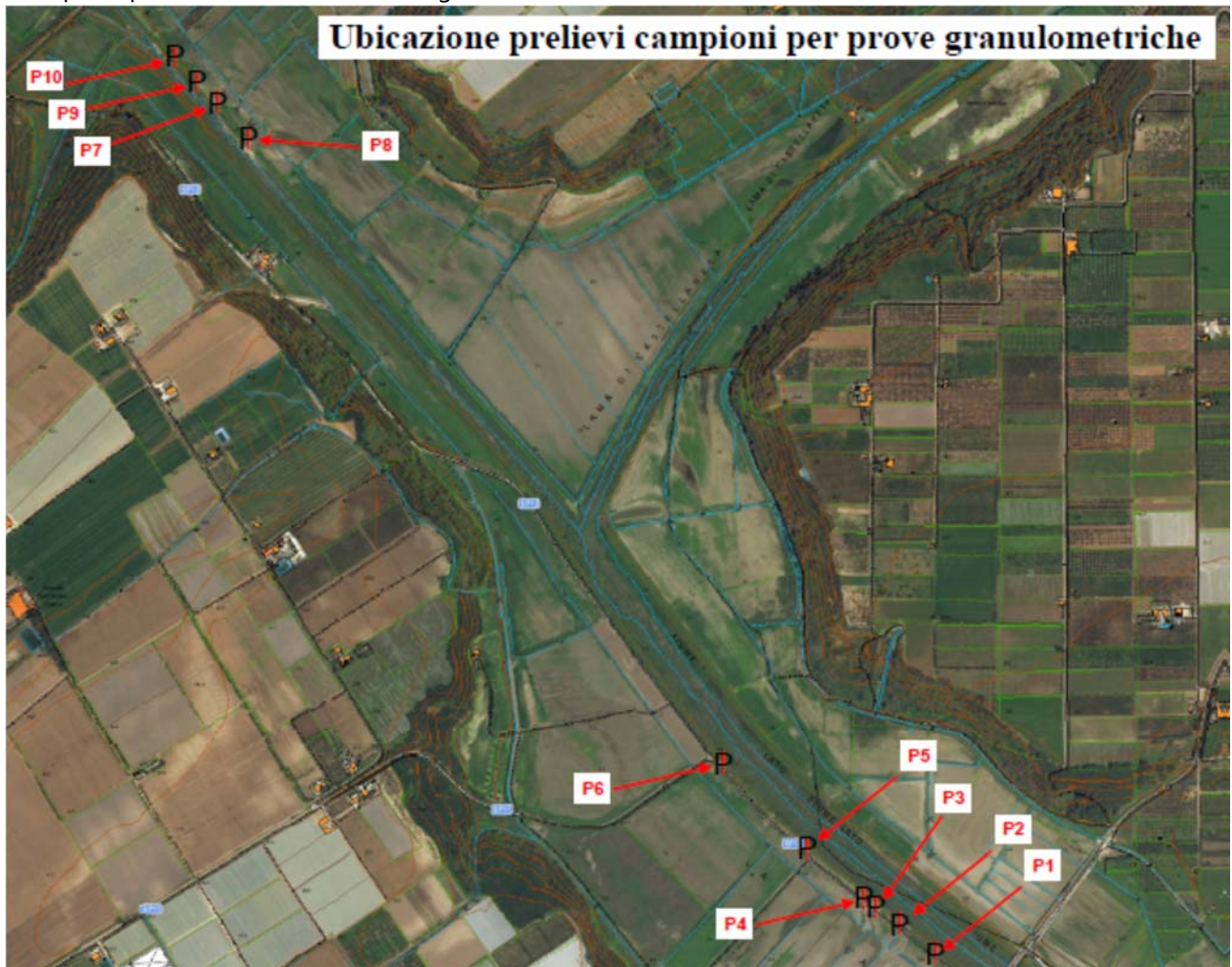


Figura 7.6 – Ubicazione punti di prelievo campioni per analisi granulometriche del corpo arginale

Il materiale è stato prelevato direttamente dall'argine, effettuando un prescavo e facendo attenzione a non prelevare materiale trasportato e/o mosso da agenti atmosferici e/o terzi.

La quantità di materiale si è aggirata attorno ai 10 Kg, sufficienti per eseguire le analisi granulometriche.



Figura 7.7 – Punti di prelievo dei campioni granulometrici del corpo arginale

7.3 Indagini MASW

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (nel nostro caso geofoni) posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidezza della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione.

La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.

I profili eseguiti hanno una lunghezza di 72 metri; sono stati eseguiti con 24 geofoni interdistanziati di 3 metri. Sono state acquisite sei registrazioni di 20 secondi con una frequenza di campionamento di 500 Hz.

I sismogrammi ottenuti sono stati elaborati con una trasformazione bidimensionale dal dominio tempo-distanza ($t-x$), al dominio velocità di fase/frequenza ($p-f$). E' stato così possibile analizzare l'energia di propagazione del "rumore ambientale" lungo tutte le direzioni della linea sismica e riconoscere le onde superficiali con carattere dispersivo.

I sei spettri di potenza $p-f$ ottenuti sono stati sommati e sullo spettro risultante sono stati individuati una serie di punti sul confine inferiore dell'area ad alta energia (piking).

Tali valori sono stati riportati su un grafico velocità di fase/periodo ed è stata analizzata la relativa curva di dispersione. E' stato poi calcolato un modello ottimale di velocità di onde trasversali mediante il "fitting" tra curva di dispersione e valori sperimentali.

7.4 Prospezioni sismiche a rifrazione

La tecnica di prospezione sismica a rifrazione consiste nella misura dei tempi di primo arrivo delle onde sismiche generate in un punto in superficie (punto sorgente), in corrispondenza di una molteplicità di punti disposti allineati sulla superficie topografica (geofoni). Lo studio della propagazione delle onde sismiche consente di valutare le proprietà geometriche e fisico-meccaniche dei terreni.

Mediante questo tipo di indagine si può risalire alla composizione litologica di massa dei terreni, al loro grado di fratturazione, alla geometria delle prime unità sottostanti la coltre superficiale, alla profondità in cui

si trova la roccia di fondo ("bedrock").

L'unica condizione per eseguire studi di sismica a rifrazione è che la successione rocciosa da investigare sia caratterizzata da velocità sismiche crescenti all'aumentare della profondità.

Sono stati eseguiti 5 profili sismici a rifrazione in onde P con una lunghezza di 72 metri e mediante 24 geofoni interdistanziati di 3 metri. Sono stati effettuati 5 punti di energizzazione. Le ubicazioni sono mostrate nei rispettivi allegati.

Il picking delle onde sismiche è stato effettuato sui sismogrammi sperimentali (vedi allegato) mediante il software TomTime della Geotom, LCC, dopo un opportuno filtraggio delle tracce.

7.5 Misure sismiche in foro (Down-hole)

Le prove sismiche in foro sono tra le più utili per la caratterizzazione geomeccanica delle terre e delle rocce. Esse vengono effettuate in fori appositamente predisposti e forniscono le velocità sismiche (P ed Sh) dei terreni.

Attraverso queste è possibile calcolare anche i moduli elastici dinamici. La possibilità di disporre delle stratigrafie dei fori permette una associazione certa delle velocità rilevate ai litotipi investigati.

Le prove Down-Hole vengono realizzate accoppiando alla parete di un foro un geofono tridimensionale a tutte le profondità desiderate, ed energizzando, ad una distanza prefissata dalla bocca del foro, il terreno in superficie.

Le misure sismiche down-hole sono state eseguite in 4 fori opportunamente attrezzati. Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un sismografo DAQ LINK – III a 24 bit della "Seismic Source Co".

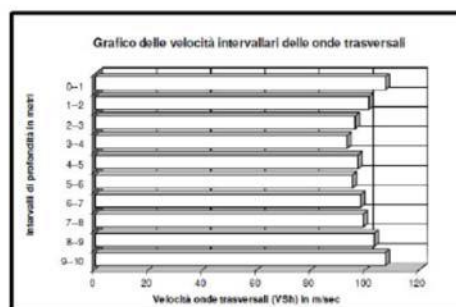
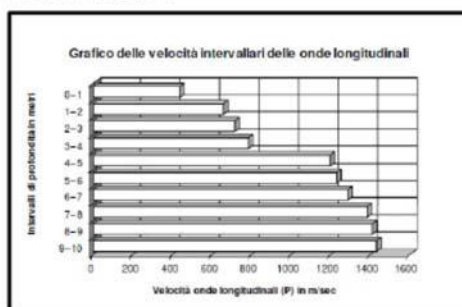
Sono state adoperate sorgenti meccaniche, sia per generare le onde P e sia per generare le onde Sh, posizionate in superficie ad una distanza di 2 metri circa dal boccaforo.

Come ricevitore è stato utilizzato un geofono tridimensionale da foro a cinque sensori (14 Hz) disposti lungo le tre componenti dello spazio. Le misure sono state effettuate per ogni metro di profondità fino a 10 mt dal p.c..

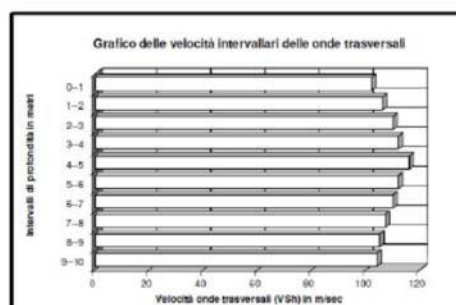
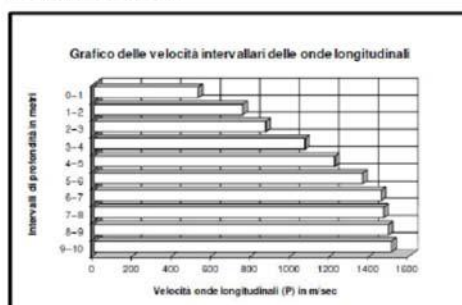
L'analisi dei sismogrammi ha permesso di determinare i tempi di arrivo sia delle onde P che Sh e di calcolarne le differenze di tempo tra misure successive. Ciò ha permesso di ricavare le velocità intervallari dalle quali è stato possibile ottenere una dettagliata ricostruzione dell'andamento della velocità e dei relativi moduli dinamici con la profondità.

Le velocità riscontrate sono tipiche di litotipi limoso-argillosi alternati a livelli con maggior contenuto sabbioso. Come si evince dai grafici mostrati di seguito le velocità delle onde P risultano crescenti con la profondità a causa del maggior contenuto d'acqua presente nei terreni. Le onde Sh risultano molto basse indicando dei terreni con caratteristiche fisico-dinamiche scadenti. Inoltre le onde Sh hanno messo in evidenza delle inversioni di velocità, a profondità intermedie, correlabili a limi-argillosi con caratteristiche leggermente migliori rispetto ai terreni circostanti.

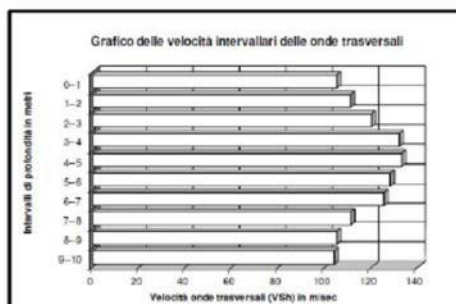
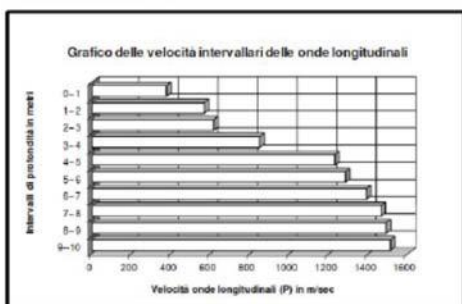
Down-Hole 1



Down-Hole 2



Down-Hole 3



Down-Hole 4

