

Comune di GROTTAGLIE

“Adeguamento strutturale e antisismico e messa in
sicurezza della Scuola Primaria Don Bosco”

Progetto esecutivo

Relazione geologica



Prof. Geol. Alessandro Reina

A handwritten signature in blue ink that reads "Alessandro Reina".

Bari, 23 maggio 2019

INDICE

Premessa

- 1. Caratteri geologici generali del territorio comunale di Taranto**
 - 1.1 La successione stratigrafica**
 - 1.2 Tettonica e Geomorfologia**
 - 1.3 Idrografia superficiale**
 - 1.4 Idrogeologia**

- 2. Sismicità dell’area**
- 3. Indagini geognostiche**
- 4. Caratteristiche geotecniche dei litotipi**
- 5. Modello geologico e geotecnico**

Premessa

Il Comune di Grottaglie con Determina 466 del 13 maggio 2019 del Settore Ufficio Lavori Pubblici ha affidato al sottoscritto la redazione della relazione geologica e indagini geognostiche relativa al progetto definitivo ed esecutivo per l'Adeguamento strutturale e antisismico e messa in sicurezza della Scuola Primaria Don Bosco. L'area di interesse è ubicata nella porzione posta a est dell'abitato, in via XXIV Maggio..



Figura – Foto da satellite con indicazione dell'area di interesse

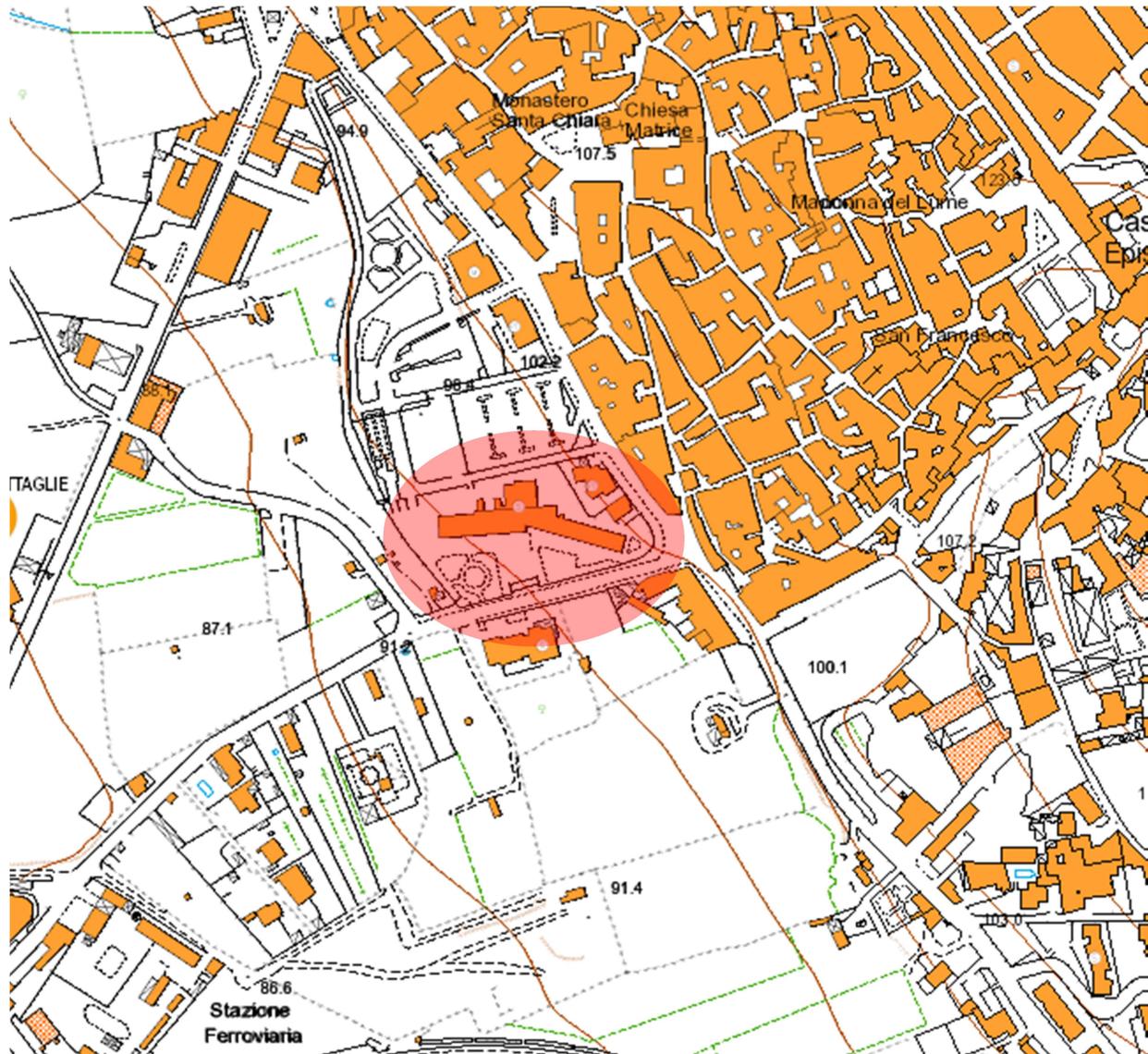


Figura – Ubicazione dell'area di interesse su CTR Regione Puglia

La presente relazione geologica illustra, quindi, i risultati ottenuti dai rilievi geologici, geomorfologici e idrogeologici e delle indagini geognostiche effettuati nella zona oggetto di studio, in considerazione anche di quanto previsto dal D.M. dell'11/3/88, dal DPR328/2001 e dal 380/2001 e successive circolari e disposizioni, oltre che dalle NTC 2018. In particolare, sono state eseguite le seguenti attività:

- rilievi geologici in sito, lungo l'area del tracciato e in quelle adiacenti;
- studio geomorfologico dell'area attraverso l'esame di aerofotogrammetrie;
- analisi delle stratigrafie ricavate attraverso sondaggi meccanici a carotaggio continuo eseguiti nelle aree oggetto di studio e in zone adiacenti a esse, nell'ambito di altri lavori
- analisi delle indagini dirette e indirette e delle prove di laboratorio
- La circolazione idrica sotterranea

- classificazione sismica dei terreni, secondo quanto stabilito dalle NTC del 2018.

Nel presente elaborato vengono, quindi, discussi i principali elementi relativi all'assetto geologico dell'area interessata dal progetto in studio, ritenuti propedeutici alla realizzazione delle opere.

Lo studio generale proposto di seguito, evidenzia le principali fonti di rischio, sia dal punto di vista della stabilità geomorfologica e geologica delle aree interessate dagli interventi previsti, sia dal punto di vista della sicurezza idrologica-idraulica delle stesse aree geografiche.

In considerazione di ciò, ai fini di un corretto inserimento delle informazioni appena menzionate all'interno di un contesto geologico più generale, si è giunti alla definizione di un modello MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO (MGR).

Tale modello altro non rappresenta che la ricostruzione concettuale e spaziale di tutta l'evoluzione geologica della macrozona di riferimento, in relazione ai processi evolutivi, all'assetto generale geologico e geomorfologico, e ai possibili cambiamenti in atto o potenziali, che riguardano le aree di interesse.

La ricostruzione, quindi, di tale modello generale, è stata condotta attraverso le seguenti attività:

- analisi delle cartografie esistenti;
- sopralluoghi puntuali nelle aree ritenute maggiormente significative per la progettazione e la messa in opera delle strutture ingegneristiche di cui sopra;
- reperimento della documentazione scientifica e tecnica di riferimento;
- raccolta e analisi dei dati geologici prodotti in precedenti campagne esplorative;
- elaborazione dei dati stratigrafici, geomeccanici e geofisici ottenuti con le indagini geognostiche;

A seguito di quanto appena esposto è stato quindi possibile, per quanto riguarda le aree oggetto di studio, definire quanto segue:

- stratigrafia del sottosuolo sino alla profondità di interesse;
- assetto geomorfologico dei terreni;
- assetto idrogeologico e proprietà idrogeologiche del sito;
- proprietà geotecniche dei diversi litotipi
- classificazione sismica delle aree di interesse

Il riferimento rispetto alla cartografia ufficiale è il Foglio 202 "TARANTO" della Carta Geologica d'Italia, alla scala 1:100.000.

1. Caratteri geologici generali del territorio comunale di Grottaglie

Dal punto di vista geologico la Puglia ha un ruolo di Avampaese nel sistema orogenetico che ha portato alla formazione della Catena Appenninica. Il territorio comunale di Grottaglie si trova al limite tra il dominio dell'Avampaese Apulo e quello dell'Avanfossa Appenninica (Fossa Bradanica) (Fig. 1).

L'Avampaese Apulo è caratterizzato da una spessa successione di roccia calcarea, e in subordine dolomitica, di età mesozoica, la cui parte affiorante è nota in bibliografia con il nome di "Gruppi dei Calcari delle Murge", costituiti da due unità litostratigrafiche principali: "Calcari di Bari" (Cretaceo inf. medio) e "Calcarea di Altamura" (Cretaceo sup.); quest'ultima affiora proprio nel territorio di Taranto. I calcari, verso il lato bradanico delle Murge, sono ribassati a gradinata fino al fronte della Catena Appenninica dove si rinvengono al di sotto di una spessa copertura di depositi appartenenti al ciclo sedimentario plio- pleistocenico della "Fossa Bradanica".

I termini basali di questo ciclo sedimentario sono rappresentati dalle formazioni geologiche delle "Calcarenite di Gravina", "Argille subappennine", "Calcarenite di M. Castiglione", che affiorano estesamente nel territorio comunale di Taranto. Su queste unità litostratigrafiche durante il ritiro del mare presso le attuali coste, si sono accumulati depositi terrazzati, marini e continentali (Fig.2).

1.1 La successione stratigrafica

Nell'area del territorio di Grottaglie, facendo riferimento alla Carta Geologica d'Italia F.202 "Taranto" e a successivi studi specialistici (tra cui: "Carta geologica delle Murge e del Salento", CIARANFI ET AL., 1988; RICCHETTI, 1967,1970,1972; CIARANFI ET AL. 1971) si distinguono le seguenti formazioni geologiche, dal basso verso l'alto, dalla più antica alla più recente (Figg. 2-3):

- Calcarea di Altamura (Cretaceo sup.);
- Calcareniti di Gravina (Pliocene sup. - Pleistocene inf.);
- Argille sub-appennine (Pleist. Inf. - Emiliano);
- Depositi Marini Terrazzati (Pleist. medio - sup.);
- Depositi alluvionali e di spiaggia attuali e recenti (limi lagunari e palustr, i sabbie, dune costiere)

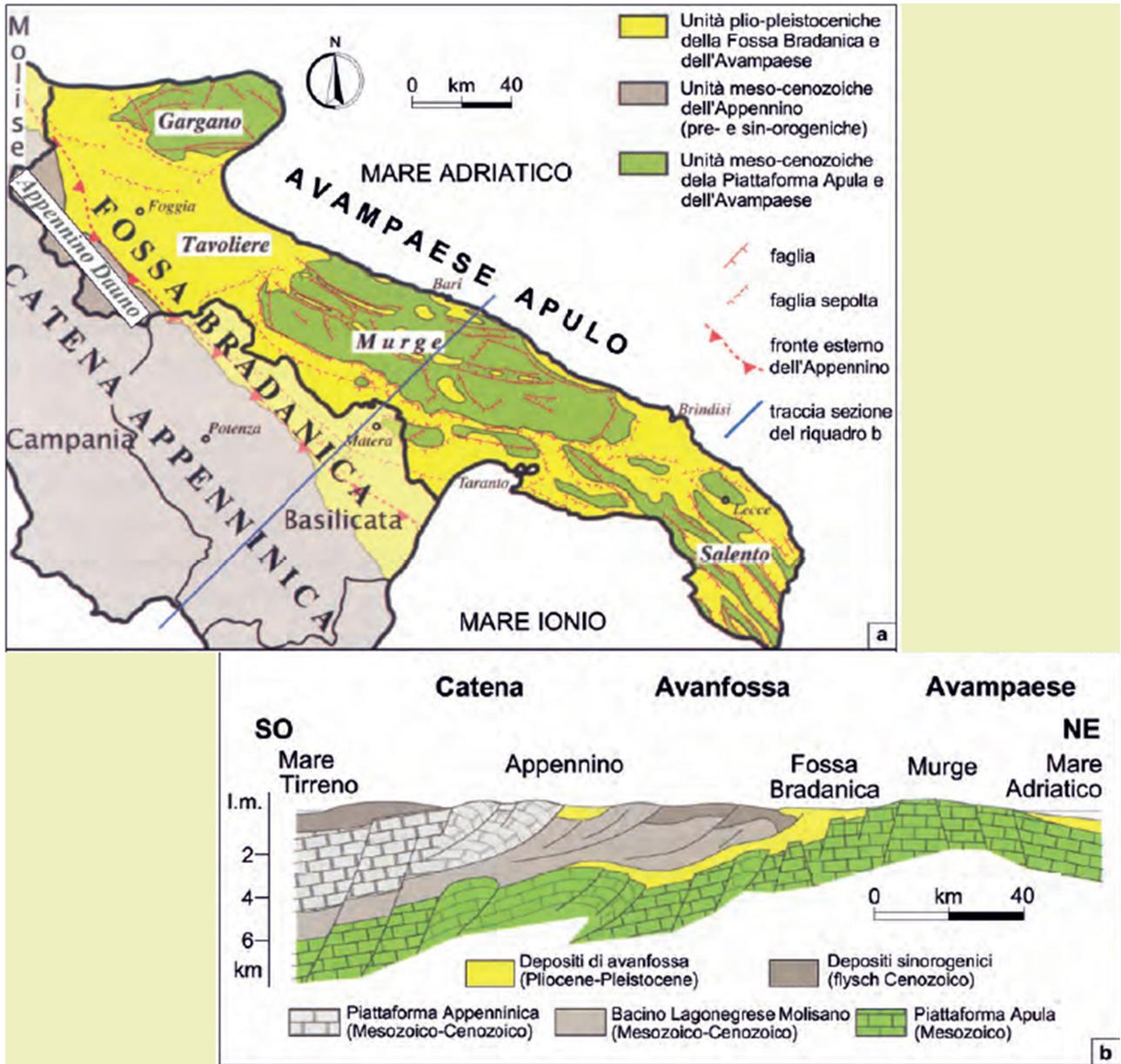


Fig. 1 - a) Carta geologica schematica dell'Italia meridionale; b) sezione geologica dell'Italia meridionale.

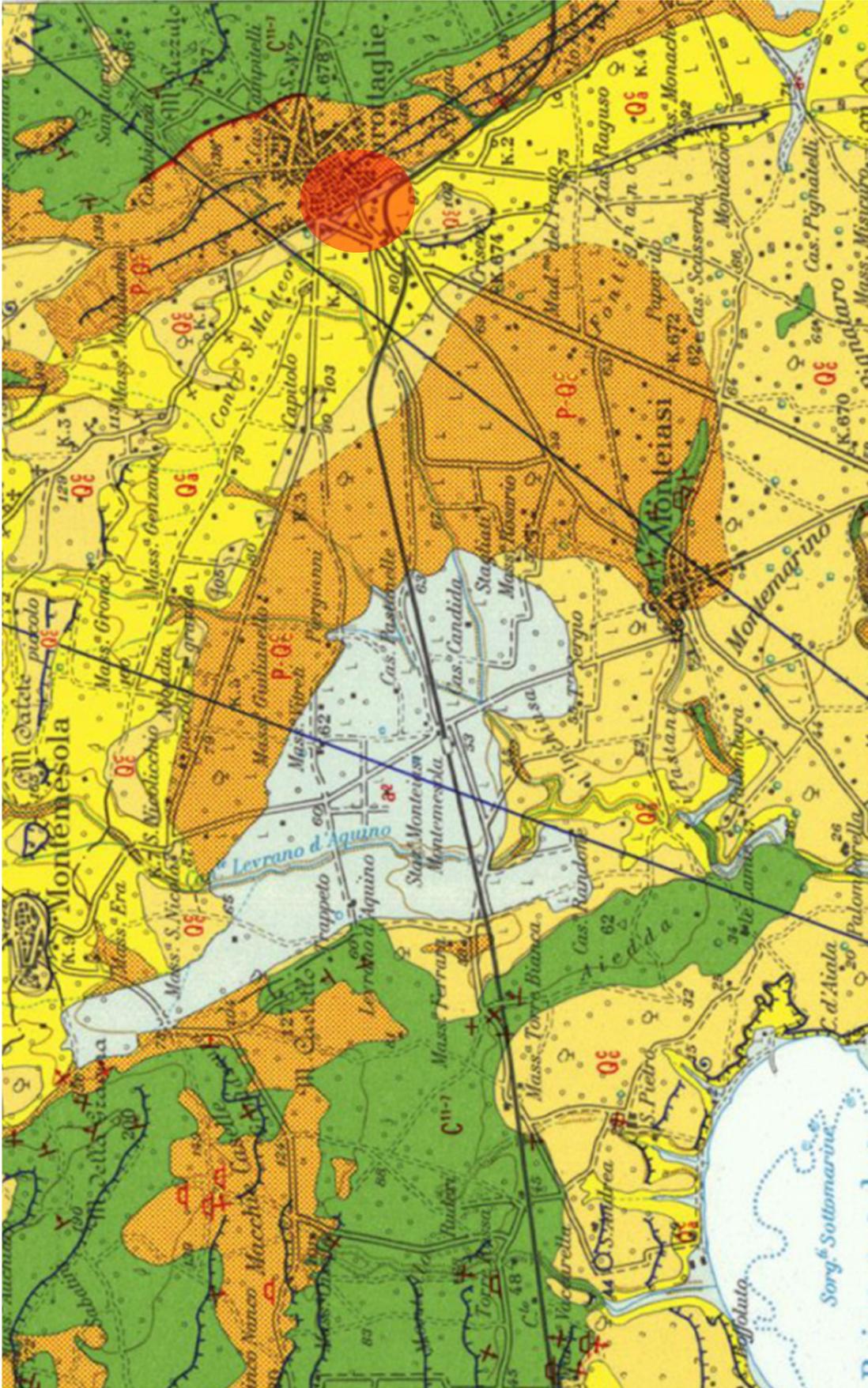


Figura 2 – Stralcio del F° 202 della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000 con indicazione dell'area in esame

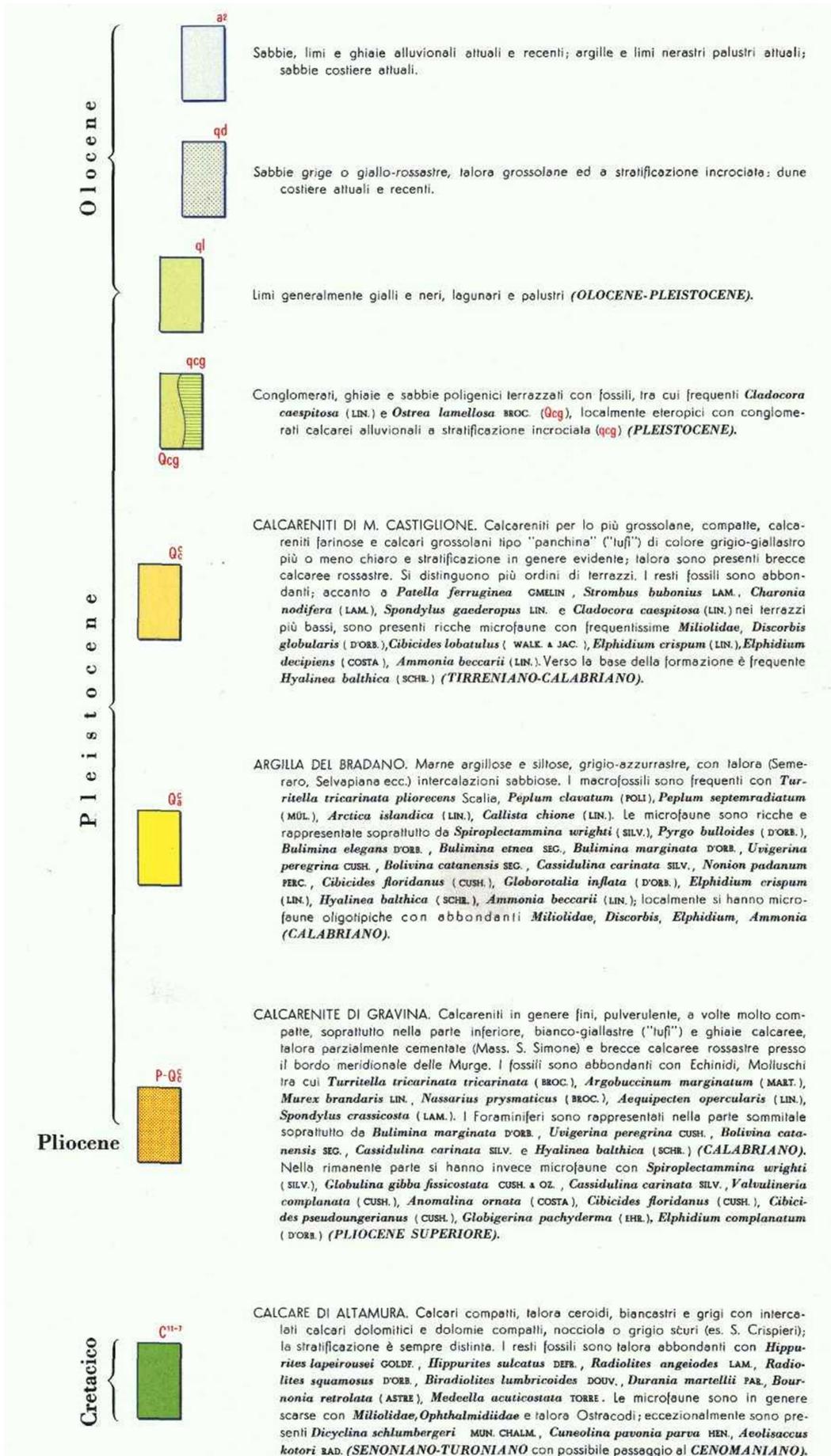




Fig. 3

- Calcarea di Altamura (Cretaceo superiore): questa unità litostratigrafica costituisce la litologia più antica presente nell'area; si tratta di calcari micritici, compatti, di colore bianco a luoghi fossiliferi. Si presentano stratificati, con giacitura sub-orizzontale o al più, gli strati risultano inclinati di alcuni gradi con una leggera immersione verso sud sud-est. La stratificazione viene, spesso, obliterata da un'intensa rete di fratture irregolari riempite in alcuni casi di terra rossa. I calcari affiorano in una serie di rilievi allineati NNO-SSE tra Crispiano e Lizzano. Nel territorio del Comune di Grottaglie affiora in superficie nell'area a nord est della città nella zona di Monte Pizzuto. Nella zona di Grottaglie città i calcari sono presenti a profondità variabili dai 15 ai 50 m (Fig.4). Verso la zona sud, il tetto della formazione va approfondendosi raggiungendo anche i 200 m ed oltre, ed è coperto dai depositi plio-pleistocenici.

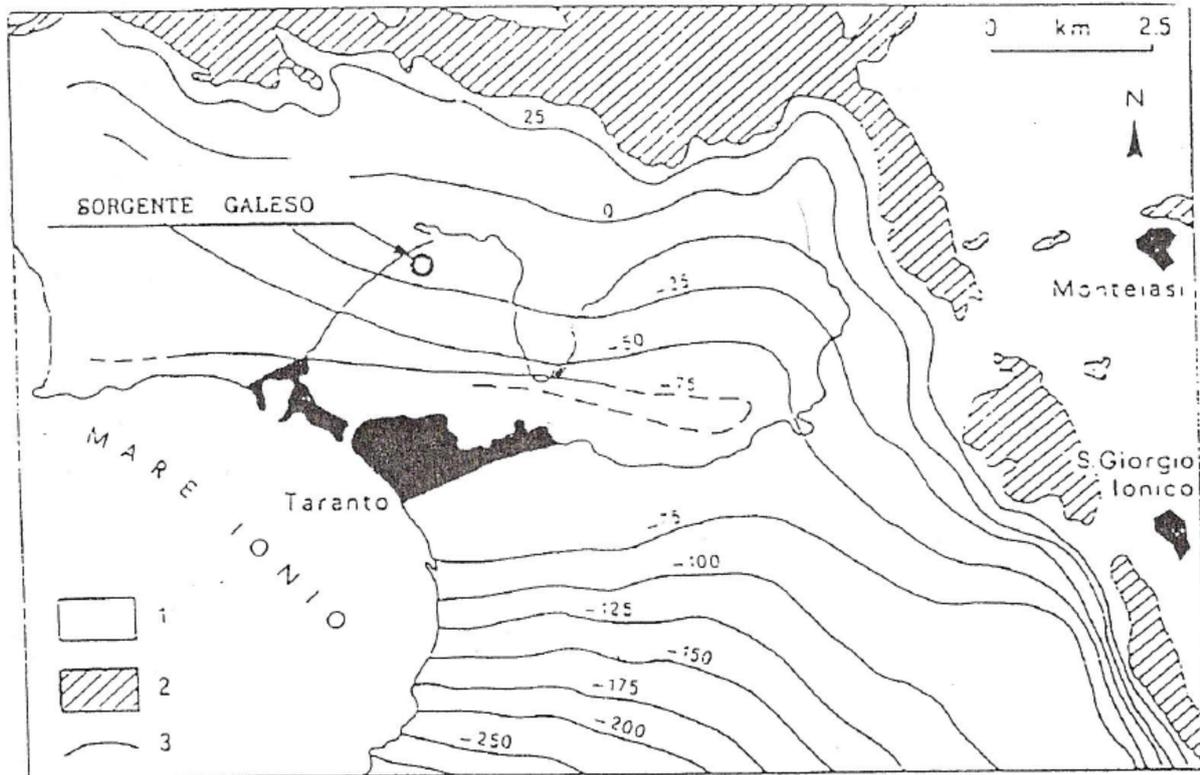


Fig. 4 – Andamento del tetto del substrato mesozoico. 1-sedimenti post-mesozoici; 2- affioramenti carbonatici mesozoici;3- isobate del substrato (riferite al l.m.m.)

- Calcareniti di Gravina (Pliocene sup. - Pleistocene inf.): tale formazione poggia in trasgressione sul Calcarea di Altamura. Lo spessore è variabile e segue l'andamento irregolare del basamento calcareo. Si tratta di biocalcareni porose, variamente cementate, biancastre o giallognole, fossilifere; sono massive, a luoghi stratificate in banchi con giacitura sub-orizzontale. Localmente, in corrispondenza della superficie di trasgressione, si rinviene un orizzonte discontinuo di breccia calcarea rossastra ad elementi carbonatici poco elaborati. Nel territorio comunale di Grottaglie le calcareniti si osservano in affioramento solo in corrispondenza dell'abitato e lungo una fascia posta in direzione NW.SE che va da Casabianca a nord a S.Biaggio a sud della città.
- Argille sub-appennine (Pliocene sup. - Pleistocene inf.): questa formazione risulta in continuità stratigrafica con le Calcareniti di Gravina. Si tratta di argille marnoso-siltose con intercalazione sabbiose, di colore grigio-azzurro che sfuma al giallastro, se alterate; l'ambiente di sedimentazione è di mare profondo. Tale formazione affiora in superficie in aree poste ad ovest della città soprattutto nell'area di Contrada S.Matteo. Gli spessori che raggiungono valori di 25-30m si rastremano verso la città di Grottaglie

- Depositi Marini Terrazzati (Pleistocene medio superiore): questi depositi poggiano con contatto trasgressivo su superfici di abrasione incise, a vari livelli, nei termini della serie plio-pleistocenica della Fossa Bradanica (Argille subappennine, Calcarenite di Gravina) e in qualche caso direttamente sui calcari cretacei.
- depositi alluvionali : sono costituiti da sabbie, limi e ghiaie alluvionali attuali e recenti la cui natura è legata ai litotipi attraversati dai corsi d’acqua e alla morfologia dei versanti. Questi depositi si accumulano in zone morfologicamente depresse e lungo i corsi d’acqua e hanno modesti spessori.

1.2 Tettonica e Geomorfologia

Per quanto riguarda l'assetto tettonico dell'area tarantina, esso riflette la storia geologica del territorio pugliese. Si osserva, infatti, una concordanza tra morfologia e tettonica: i rilievi corrispondono ad alti strutturali (horst) costituiti litologicamente dalla formazione più antica costituita dal Calcare di Altamura, mentre le aree più pianeggianti corrispondono a zone strutturalmente depresse (graben), riempite dalle più recenti coperture sedimentarie.

I calcari cretacei, ribassati a gradinata, formano un'estesa monoclinale con immersione a S-SO, complicata da blande pieghe e interrotta da sistemi di faglie normali di direzione ONO-ESE.

Nei dintorni del Mar Piccolo, i calcari mesozoici affiorano in una serie di rilievi allineati NNO-SSE tra Crispiano e Lizzano in cui si delinea una anticlinale, detta di Statte, separata dalle Murge dalla sinclinale di Mottola-Lizzano.

La copertura sedimentaria deposta in seguito alla trasgressione plio-pleistocenica in tutto il territorio di Grottaglie (ossia i termini basali della sequenza della Fossa Bradanica: Calcarenite di Gravina e Argille subappennine) mostrano di non aver subito la fase tettonica disgiuntiva che ha interessato i calcari cretacei ma, insieme a questi ultimi, ha però subito lenti sollevamenti differenziati nel tempo, che hanno portato alla deposizione in terrazzi dei sedimenti dei cicli marini post-calabrianici (nell'area sono stati riconosciuti fino a 11 ordini di terrazzi).

Gli effetti del sollevamento tettonico post-calabriano, insieme con le oscillazioni glacioeustatiche, si osservano nella configurazione del paesaggio con tipiche forme di coste in sollevamento, rappresentate da una successione di ripiani digradanti verso il mare.

Questi ripiani corrispondono rispettivamente a superfici di spianamento marino, sia di accumulo che di abrasione, e a paleolinee di costa. La morfologia è resa più viva dalla presenza di profondi canali, le cosiddette “gravine” che incidono la piana anche per qualche decina di metri mettendo a giorno terreni più antichi della successione stratigrafica, come nella parte nord-ovest e a sud dell’abitato. In particolare la gravina posta a nord-ovest del paese procedendo verso il Mar piccolo diventa affluente del Canale d’Aiedda. La gravina posta a sud dell’abitato prende il nome di Vallone Paradiso.

L’andamento delle antiche linee di riva sembra indicare che l’attuale bacino del Mar Piccolo ha cominciato a delinarsi in un’epoca immediatamente successiva al deposito dei sedimenti del III ciclo marino post-calabriano. Infatti, mentre le linee di riva e i depositi dei cicli più antichi (I-II ciclo) si estendono ad est, verso Francavilla Fontana e Latiano, indicando una comunicazione tra il Mar Jonio ed il Mar Adriatico, le linee di riva e di depositi dei cicli più recenti (III-IV) formano, nella zona tra Montemesola, Grottaglie, Monteparano e San Giorgio Jonico, archi di cerchi grosso modo concentrici e sempre più vicini all’attuale linea di costa del Mar Piccolo di Taranto (Fig. 5-6).

L’abitato di Grottaglie è impostato su un vecchio terrazzo marino (postcalabriano e pretirreniano), del Tirreniano, delimitato dalla ripa costiera post-tirreniana osservabile intorno al margine ovest della città in parte obliterata però dall’antropizzazione.

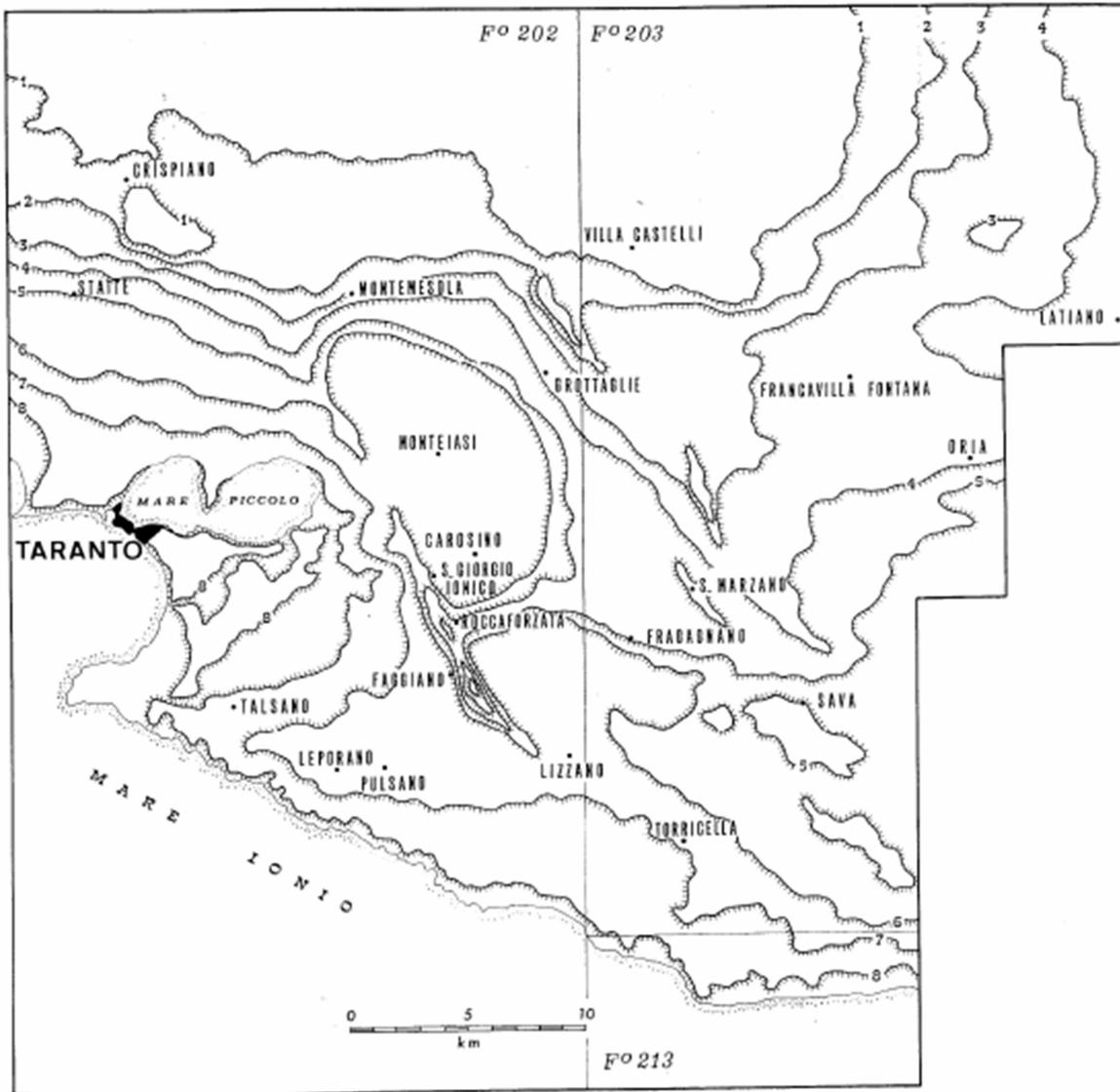


Fig. 5- Ricostruzione schematica dell'andamento delle ripe costiere pleistoceniche nei dintorni di Grottaglie

Legenda: 1-ripa calabriana (in fase di regressione); 2,3,4,5,-ripe postcalabriane e pretirreniane; 7-ripa tirreniana; 8-ripa post-tirreniana (G.Ricchetti, 1967)

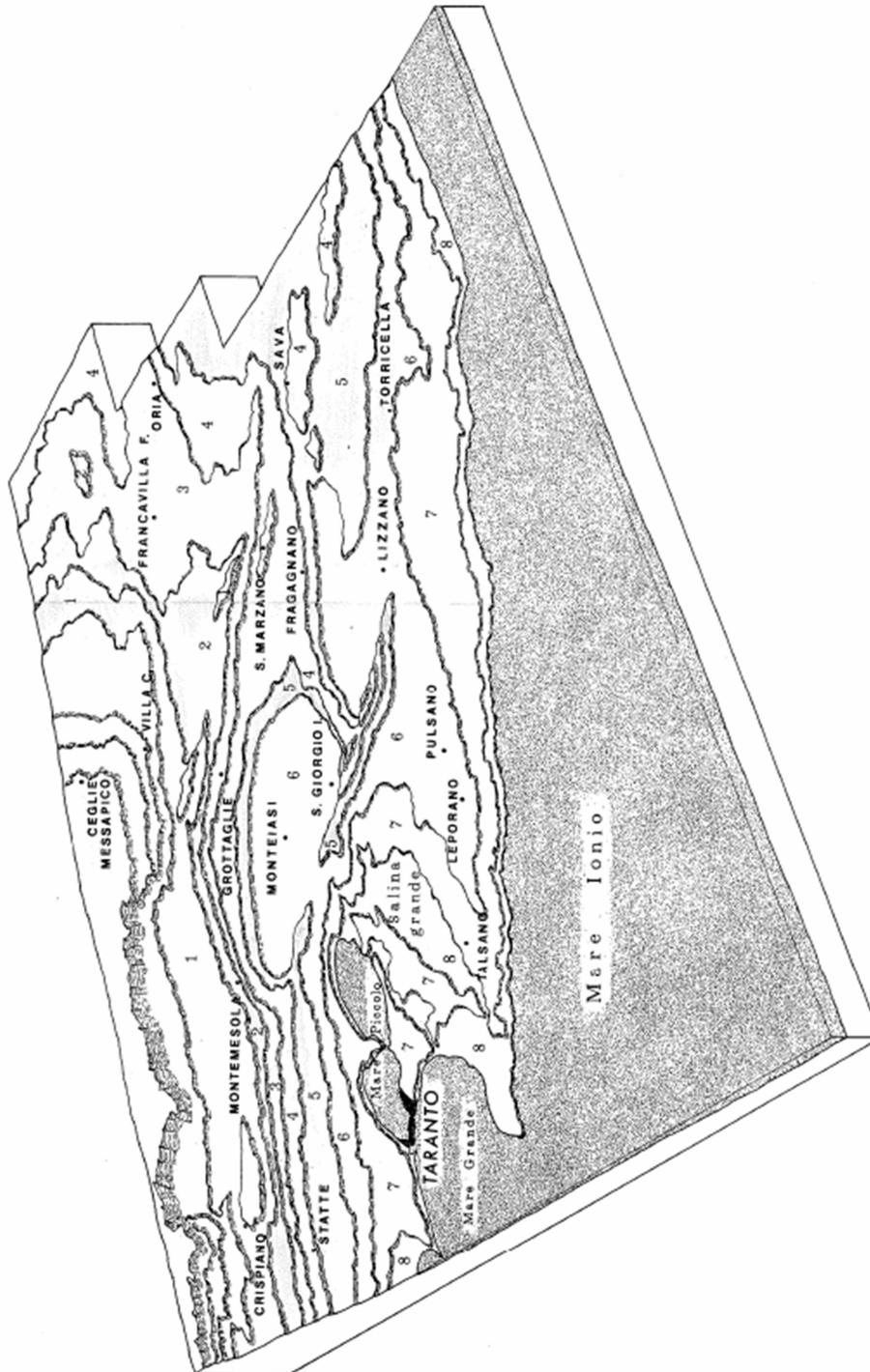


Fig. 6: Stereogramma dell'area circostante il Mar Piccolo di Taranto. Legenda: 1 –spianata calabriana; 2, 3, 4, 5, 6 – spianate postcalabriane e pretirreniane; 7 – spianata tirreniana; 8 – spianata post-tirreniana. (G. Ricchetti, 1972)

1.3 Idrografia superficiale

L'idrografia superficiale ha un modesto sviluppo in questo territorio a causa dell'effetto carsico e dell'infiltrazione delle acque nei terreni permeabili.

La rete idrografica, infatti, è pressochè assente nelle rocce carbonatiche; solo con forti precipitazioni, quando le rocce non riescono ad assorbire tutta l'acqua caduta, si hanno temporanei deflussi superficiali attraverso le “gravine” e le “lame”.

Un corso d'acqua vero e proprio che si delinea ad andamento dendritico è il Torrente d'Aiedda, per buona parte sistemato artificialmente prendendo il nome di “Canale d'Aiedda”, che convoglia nel seno del Mar Piccolo sia le acque del torrente Levrano D'aquino (nome del canale d'Aiedda nella parte montana) sia le acque dell'affluente che ha origine nei dintorni degli abitati di Villa Castelli e Grottaglie.

1.4 Idrogeologia

Nell'ambito dell'area ricadente nel territorio comunale di Grottaglie, sebbene l'idrografia superficiale ha un modesto sviluppo a causa dell'elevata permeabilità dei terreni affioranti, è invece presente la circolazione idrica sotterranea.

Sono ben distinte due falde idriche: la falda profonda detta “falda carsica ” e diverse falde superficiali.

Le risorse idriche sotterranee più cospicue si rinvencono nei calcarei cretacei (permeabili per fessurazione e carsismo) che sono sede della falda idrica di base; mentre falde superficiali poco produttive impregnano i depositi calcarenitici sabbiosi e sabbioso limosi (permeabili per porosità di interstizi) lì dove poggiano sulle argille sottostanti.

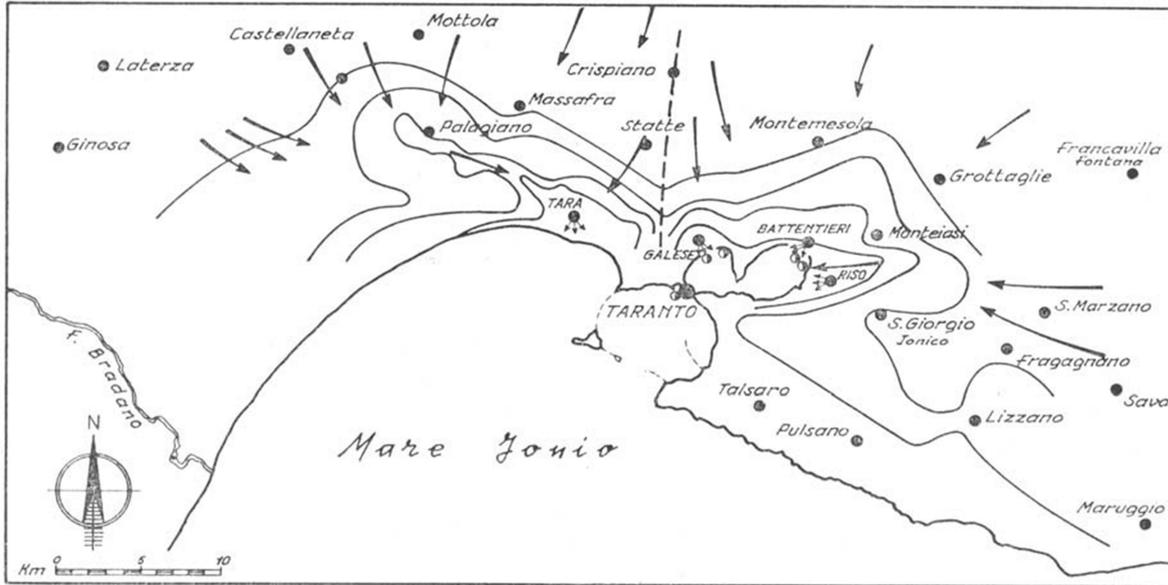
I caratteri essenziali della circolazione idrica sotterranea del territorio Tarantino, sia delle falde superficiali che della falda carsica di base, sono forniti da ZORZI & REINA (1962) che hanno desunto le loro considerazioni sulla base dei risultati delle indagini condotte dall'ENTE Irrigazione durante l'esecuzione di pozzi per acqua nei dintorni di Taranto.

Per quanto riguarda la falda di base, detta anche “falda carsica”, essa circola attraverso la rete di discontinuità strutturali del calcare, a luoghi ampliate dalla dissoluzione carsica, che ha generato autentici condotti. Essa galleggia sull’acqua marina di invasione continentale più densa dell’acqua dolce di falda. Al contatto acqua dolce - acqua salata si individua una zona detta di transizione o zona di diffusione in cui si verificano fenomeni di miscelamento salino. La falda carsica ha come livello di riferimento a potenziale zero il livello medio del mare.

L’andamento della superficie piezometrica evidenzia le direzioni principali dei deflussi sotterranei e l’effetto drenante che le sorgenti costiere del tarantino operano sulla falda. Infatti, in corrispondenza delle più cospicue sorgenti si accentua considerevolmente la curvatura delle isopieze. I deflussi avvengono principalmente da Crispiano (dove affiora l’unità calcarea) verso sud, da Grottaglie verso sud-ovest e da S. Giorgio J. verso ovest. (fig. 8).

Nell’area del centro abitato è presente una falda profonda il cui livello piezometrico è confermato essere a circa 10,00 m s.l.m. così come riportato nella carta dell’andamento della superficie piezometrica degli acquiferi carsici della Murgia tratta dal PTA della Regione Puglia (Fig. 10).

Le falde superficiali hanno, invece, sede nei depositi sabbioso calcarenitici dei depositi marini terrazzati (DMT) che poggiano sulle Argille subappennine impermeabili, come si verifica in quasi tutto il settore più a valle occidentale del territorio comunale. Esse ricevono apporti legati direttamente alle precipitazioni meteoriche ricadenti in loco, per cui sono poco produttive ed in genere il loro livello si abbassa durante la stagione estiva. Nelle zone altimetricamente più alte, dove sono presenti i depositi Marini terrazzati, è possibile riscontrare la presenza di piccole faldine superficiali a pochi metri dal p.c.

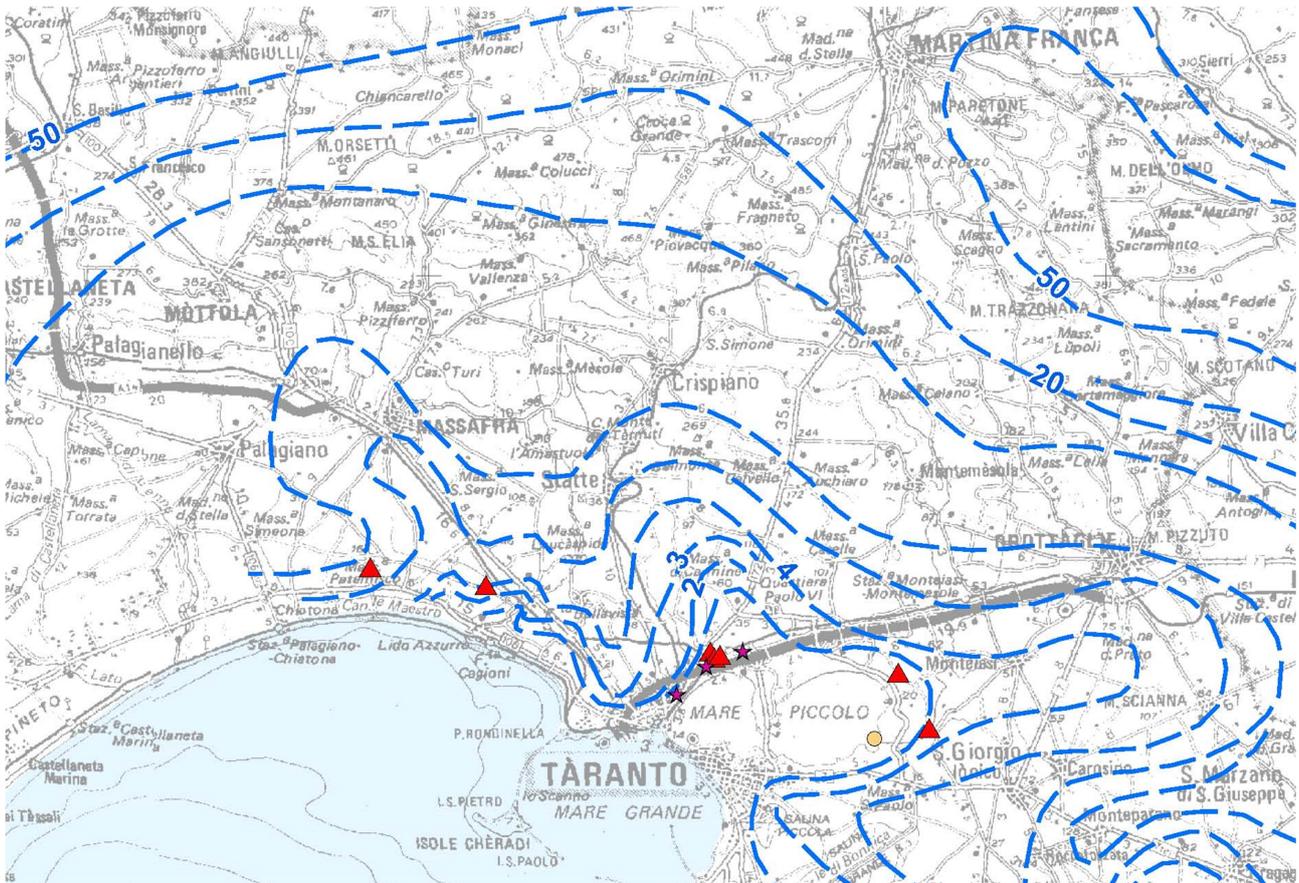


CARTINA IDROLOGICA DELLA "FALDA DI BASE,,

LEGGENDA

- Curve piezometriche della "falda di base,,
(riferite al livello mare)
- ➔ Direzione dei deflussi
- ⊕ Sorgenti ⊙ Sorgenti sottomarine
- - - Linea di spartiacque sotterraneo

Fig. 8: Andamento delle curve piezometriche della falda di base [Idrogeologia della provincia di Taranto Leopoldo Zorzi – Camillo Reina estratto dal giornale del genio civile fascicolo 2° - febbraio 1962]



Legenda

— isopiezica (m s.l.m.)

EMERGENZE CENSITE DA S.I.M. DI BARI

▲ Portata <math>< 10 \text{ l/s}</math>

▲ Portata >math>> 10 \text{ l/s}</math>

EMERGENZE CENSITE DA INFRAROSSO TERMICO

★ Gruppo di efflussi a mare probabilmente coincidenti con sorgenti

★ Concentrazione di più efflussi di limitato contrasto termico

● Singolo efflusso a mare probabilmente coincidente con una sorgente

● Singolo efflusso a mare di limitate dimensioni e modesta anomalia termica

● Singolo efflusso a mare di rilevanti dimensioni ed elevata anomalia termica

Fig.10- Distribuzione media dei carichi piezometrici degli acquiferi carsici della Murgia e del Salento (tratto dal P.T.A. della Regione Puglia)

Nelle zone del territorio Tarantino in cui sono presenti depositi detritici limoso sabbiosi superficiali di riporto poggianti su argille impermeabili possono essere presenti impregnazioni di acqua (più che una falda freatica vera e propria); tale falda sospesa si rinviene solo nei periodi invernali ed è assente nei periodi di siccità.

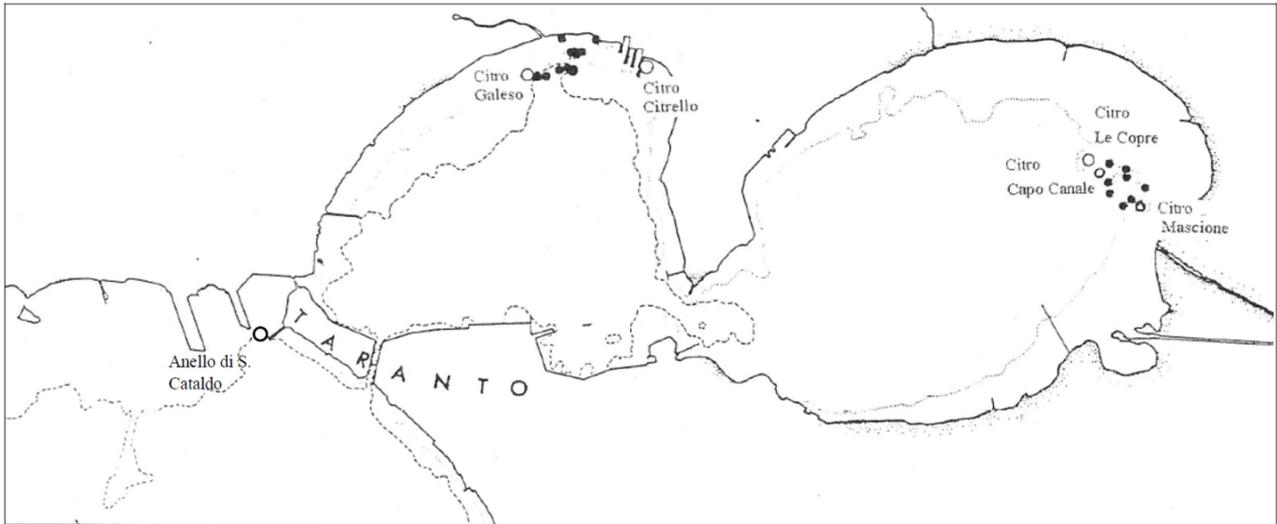


Fig. 12-Ubicazione dei principali Citri di Taranto (Stefanon, 1973, modificato)

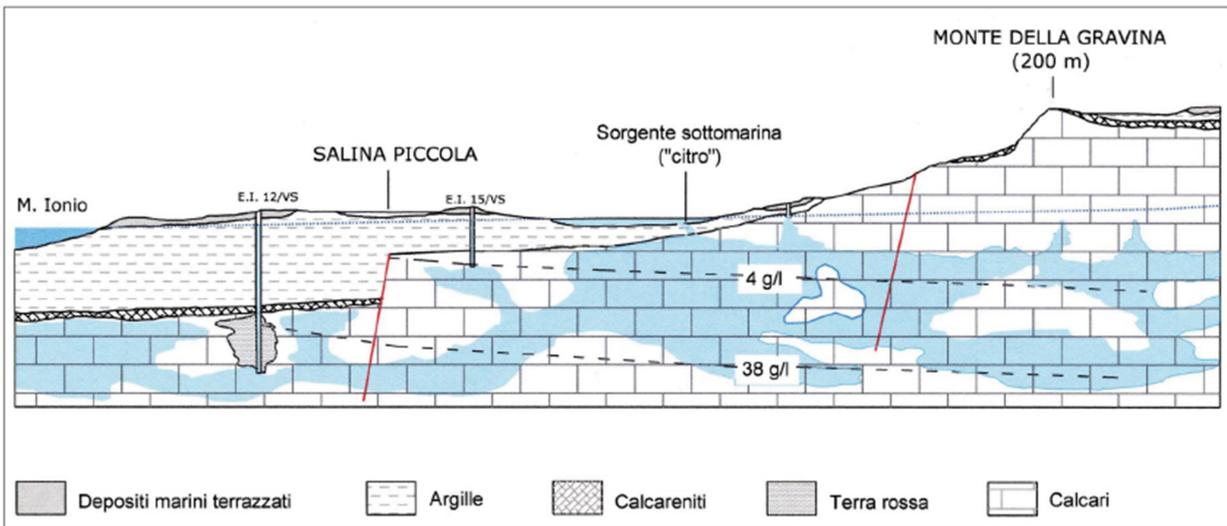


Fig. 13- Modalità di scaturigine dei Citri del Mar Piccolo (sezione orientata N-S, lungo il II Seno del Mar Piccolo, Maggiore M, Pagliarulo P., 2002)

L'emergenza delle acque di falda, sia in condizioni subaeree che in condizioni subacquee, è dovuta al fatto che in quei punti, grazie alla maggiore vicinanza del sistema acquifero alla superficie e agli elevati carichi piezometrici, la pressione idrostatica supera la pressione litostatica e l'acqua scaturisce sifonando le Argille sovrastanti dando origine a sorgenti ascensionali.

Sismicità dell'area

Dal punto di vista sismologico risulta fondamentale stabilire, preliminarmente, l'idoneità tecnica di un sito all'edificazione di un'opera ingegneristica.

A tal fine possono essere utilizzate due distinte procedure:

- la prima, di tipo deterministico, definisce a priori un "terremoto di scenario" (che in prima ipotesi può essere il più forte verificatosi in aree adiacenti a quelle di studio) ipotizzando la risposta sismica dei siti limitrofi con valori più modesti di accelerazione al suolo.
- la seconda, di tipo probabilistico, utilizza un calcolo di probabilità per stabilire la possibilità che una determinata area possa essere interessata da uno scuotimento sismico di prefissata entità, in un intervallo di tempo compatibile con la vita media della struttura progettata.

Le due procedure dovrebbero, in teoria, essere utilizzate contemporaneamente, ai fini di una più corretta valutazione del rischio sismico di una determinata area. Nella pratica, tuttavia, risulta particolarmente adeguato alla caratterizzazione regionale della pericolosità sismica, l'approccio probabilistico, utilizzato infatti, come supporto alla definizione degli strumenti normativi associati al rischio sismico.

Specifiche implementazioni di questo metodo, infatti, permettono di determinare la pericolosità sismica in termini di Magnitudo e distanza epicentrale, che, associata alle conoscenze geologiche-sismotettoniche di un determinato sito, determina una condizione verosimile di probabilità e rischio sismico.

Tutte le metodologie così sviluppate, richiedono, quindi, come input alla procedura di calcolo, informazioni o ipotesi sui seguenti tematismi:

- Sorgenti sismiche ("aree" o faglie) e loro caratterizzazione in termini di ricorrenza dei terremoti, magnitudo massima, tasso di deformazione, meccanismi di fratturazione....
- Caratteristiche dell'attenuazione del moto sismico
- Stazionarietà o meno del processo sismico

Ciò detto, risulta quindi indispensabile conoscere, con buon grado di dettaglio, tutte le caratteristiche delle aree sismogenetiche nonché di tutte quelle zone posizionate a differente distanza dai possibili epicentri.

A tal fine è opportuno stabilire quanto segue:

- definizione dell'"area vasta", cioè dell'area racchiudente tutte le zone sismogenetiche di rilevanza.

- catalogazione e zonazione sismogenetica
- leggi di attenuazione
- definizione delle procedure statistiche
- calcolo del rischio e della pericolosità per le aree oggetto di studio e per le zone adiacenti (tale concetto è valido poiché la pericolosità sismica non dipende solo dalla sismicità del territorio ma anche dalla distanza delle aree sorgenti (epicentri) rispetto ad un determinato sito)

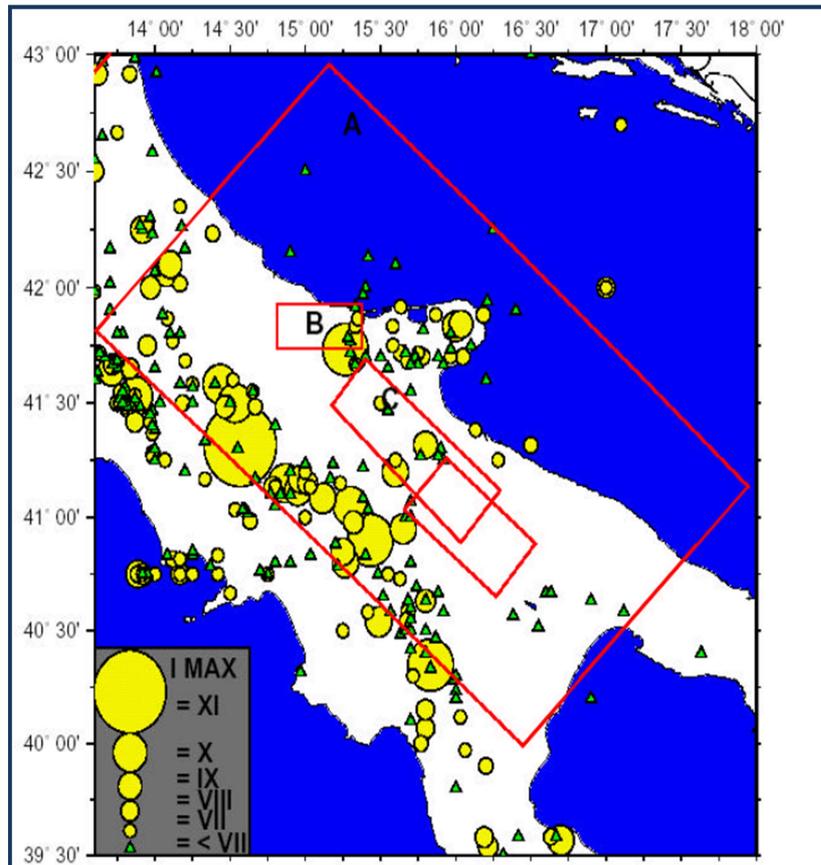
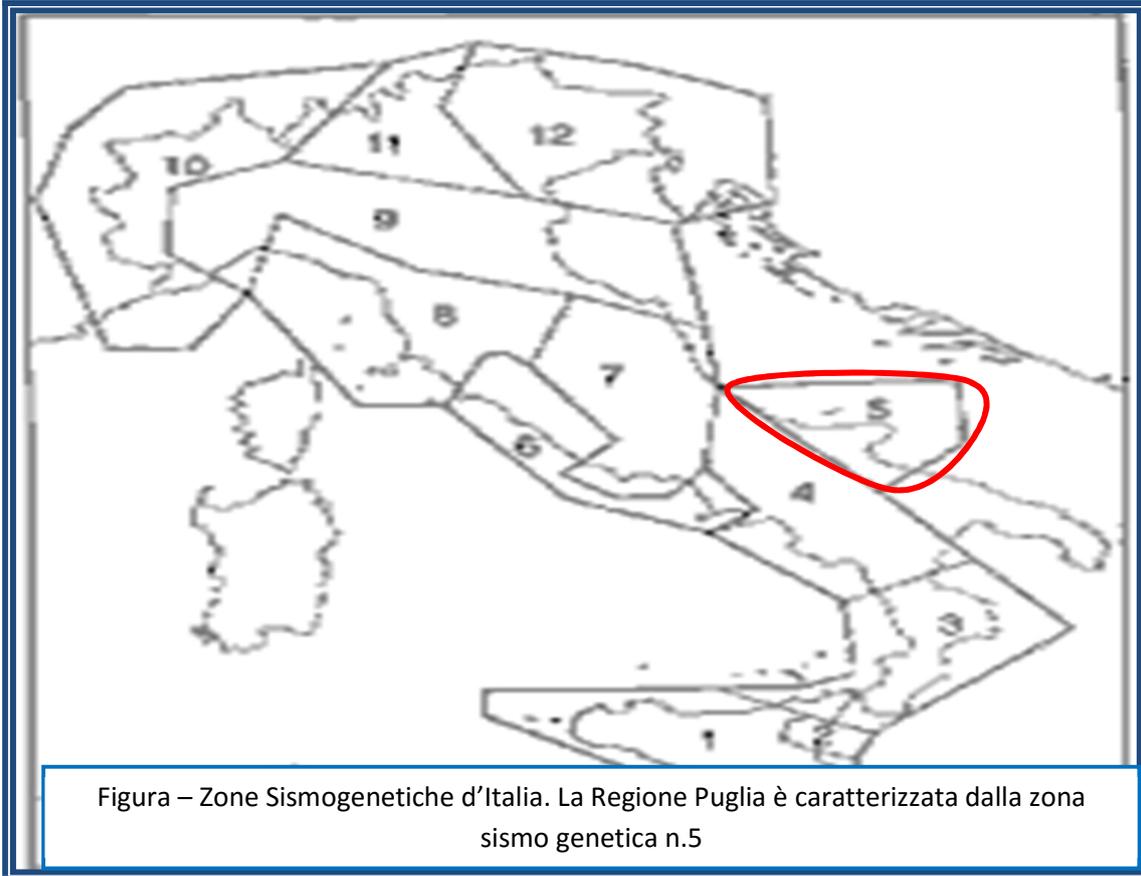
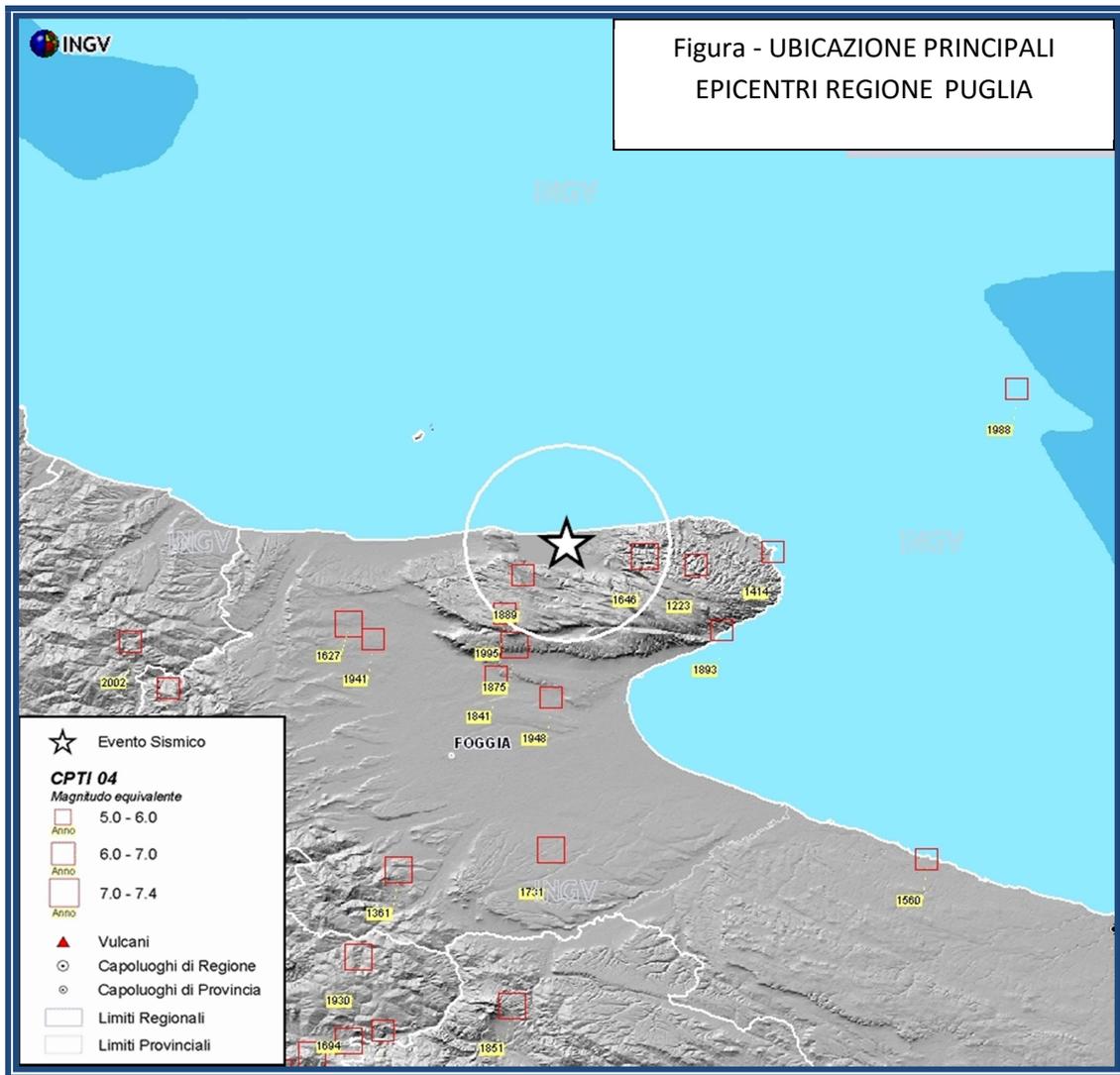


Figura – Posizionamento delle aree vaste e ubicazione degli epicentri

Detto ciò, applicando tali concetti al territorio pugliese e nella fatti specie quindi anche all'area oggetto di studio, si riconoscono tre aree vaste comprendenti la fascia Molisano-Garganica, parte del Tavoliere e la parte settentrionale della Fossa Bradanica. Osservando le caratteristiche dei principali terremoti, sia dal punto di vista della magnitudo che delle ubicazioni epicentrali (catalogati in Tab.1), ci si rende conto di come essi si siano sviluppati principalmente in aree adiacenti il promontorio del Gargano o in aree limitrofe l'Appennino meridionale.





Si individuano tre principali strutture sismo genetiche, racchiuse tutte nella zona simogenetica n.5 (AA.VV., 1981); la faglia di Mattinata (responsabile dei terremoti garganici), le strutture tettoniche di Apricena e la faglia “Foggia – Cerignola” (lavoro a cura dell’Università degli studi di Pisa), responsabili, queste ultime, dei rarissimi terremoti del Tavoliere.

Il calcolo della pericolosità sismica, ricavato per mezzo di due leggi di attenuazione differenti, legge di Ambraseyes e legge di Sabetta & Pugliese, mostra, per entrambi i casi, zone ben evidenti di elevato rischio, confinate nei pressi del Gargano e lungo la fascia settentrionale della Fossa Bradanica.

I risultati così ottenuti hanno ridefinito i criteri di classificazione sismica del territorio nazionale e dei principi normativi da rispettare per la redazione di un progetto ingegneristico. L’area oggetto di studio,

in virtù di quanto appena esposto, e utilizzando la classificazione sismica di tali decreti, ricade in zona sismica 3 (codice comune 16072006 - bassa pericolosità sismica – $a/g= 0.15$) (Tab. 2).

Anno	Mese	Giorno	Ora	Min.	Sec	Latitudine	Longitudine	I0	I _{max}	N	Me	Localizzazione
1517	03	17	--	--	--	41.15	15.08	8.0	8.0	1	5.4	Ariano Irpino
1560	05	11	04	40	--	41.25	16.48	8.0	8.0	7	5.9	Barletta-Bisceglie
1826	02	01	16	--	--	40.52	15.73	8.0	9.0	18	5.9	Basilicata
1881	09	10	07	--	--	42.23	14.28	8.0	8.5	29	5.7	Abruzzo meridionale
1893	08	10	20	52	--	41.72	16.08	8.0	8.5	69	5.4	Gargano
1910	06	07	02	04	--	40.90	15.42	8.0	9.0	376	5.8	Irpinia-Basilicata
1984	05	07	17	50	--	41.67	14.05	8.0	8.0	913	5.9	Appennino abruzzese
1125	10	11	--	--	--	41.60	15.00	8.1	9.1	4	6.9	Sannio-Molise
1223	--	--	--	--	--	41.87	15.98	8.5	9.0	5	5.7	Gargano
1273	--	--	--	--	--	40.63	15.80	8.5	8.5	1	5.7	Potenza
1293	09	04	--	--	--	41.30	14.55	8.5	9.0	6	6.8	Sannio
1414	--	--	--	--	--	41.88	16.18	8.5	8.5	1	5.7	Vieste
1627	07	30	11	05	--	41.68	15.38	8.5	8.5	1	5.7	San Severo
1627	09	06	15	50	--	41.60	15.35	8.5	8.5	2	5.7	Gargano
0346	--	--	--	--	--	41.38	14.43	9.0	9.0	5	6.0	Sannio
0375	--	--	--	--	--	41.13	14.78	9.0	9.0	1	6.0	Benevento
0848	06	--	--	--	--	41.48	14.28	9.0	9.5	6	6.0	Sannio
0989	10	25	--	--	--	41.02	15.17	9.0	9.5	7	6.0	Irpinia
1361	07	17	17	15	--	41.23	15.45	9.0	10.0	5	6.3	Ascoli Satriano
1627	08	07	16	40	--	41.75	15.33	9.0	9.0	5	6.0	Gargano
1731	03	20	03	--	--	41.27	15.75	9.0	9.0	50	6.6	Foggiano
1853	04	09	12	45	--	40.82	15.22	9.0	9.0	47	5.9	Irpinia
1933	09	26	03	33	29	42.05	14.18	9.0	9.0	326	6.1	Maiella
1962	08	21	18	19	30	41.23	14.95	9.0	9.0	262	6.2	Irpinia
1349	09	09	--	--	--	41.93	13.82	9.1	10.0	9	6.1	Abruzzo meridionale
1646	05	31	04	30	--	41.87	15.93	9.5	9.5	18	6.2	Gargano
1349	09	09	08	15	--	41.48	14.07	10.0	10.0	22	6.7	Lazio meridionale-Molise
1627	07	30	10	50	--	41.73	15.35	10.0	10.0	65	6.8	Gargano
1694	09	08	11	40	--	40.87	15.40	10.0	10.0	251	6.8	Irpinia-Basilicata
1702	03	14	05	--	--	41.12	14.98	10.0	10.0	37	6.3	Beneventano-Irpinia
1805	07	26	21	--	--	41.50	14.47	10.0	10.0	223	6.6	Molise
1851	08	14	13	20	--	40.95	15.67	10.0	10.0	102	6.3	Basilicata
1930	07	23	--	08	--	41.05	15.37	10.0	10.0	511	6.7	Irpinia
1980	11	23	18	34	52	40.85	15.28	10.0	10.0	1395	6.7	Irpinia-Basilicata
1706	11	03	13	--	--	42.08	14.08	10.5	10.5	99	6.7	Maiella
1732	11	29	07	40	--	41.08	15.05	10.5	10.5	168	6.6	Irpinia
1456	12	05	03	--	--	41.30	14.72	11.0	11.0	218	7.1	Italia centro-meridionale
1688	06	05	15	30	--	41.28	14.57	11.0	11.0	216	6.6	Sannio
1857	12	16	21	15	--	40.35	15.85	11.0	11.0	337	7.0	Basilicata

Tab – Classificazione dei principali terremoti



Classificazione sismica 2004

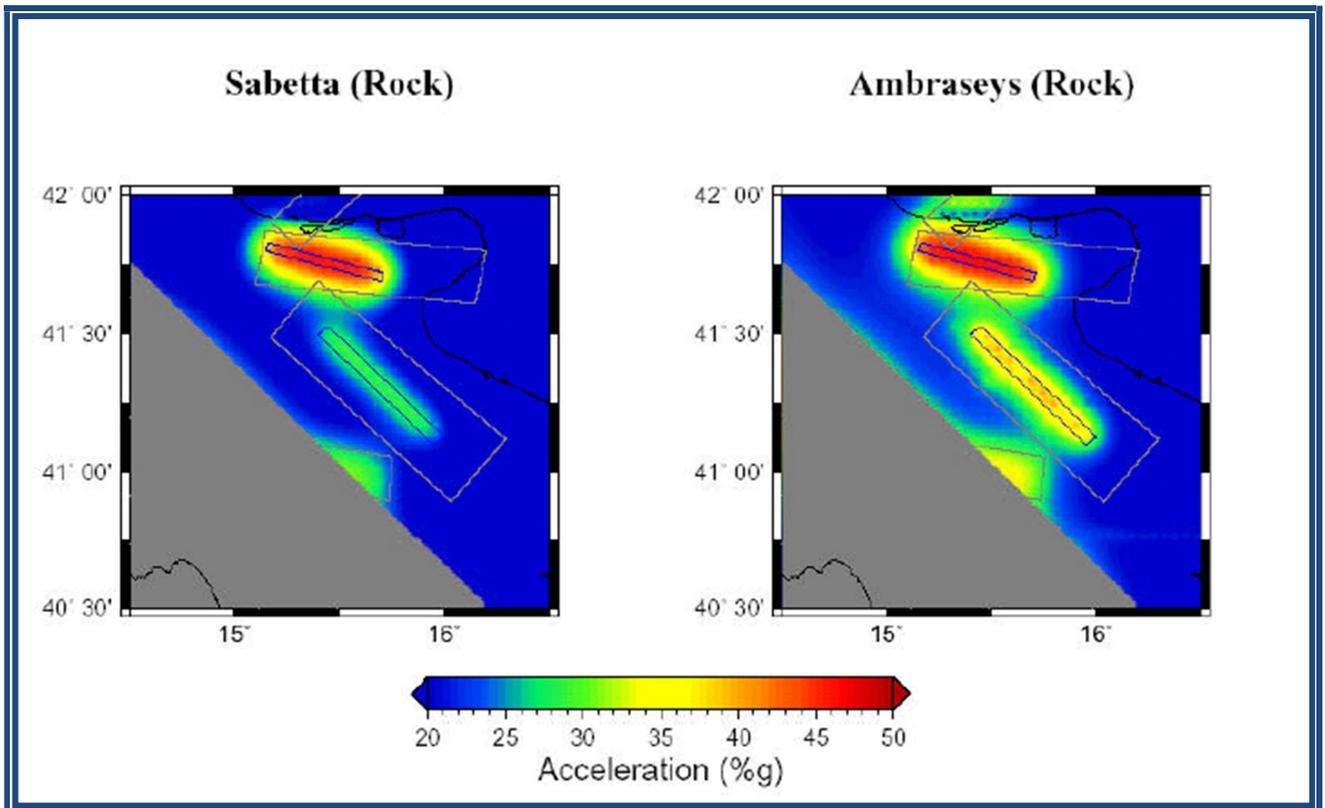
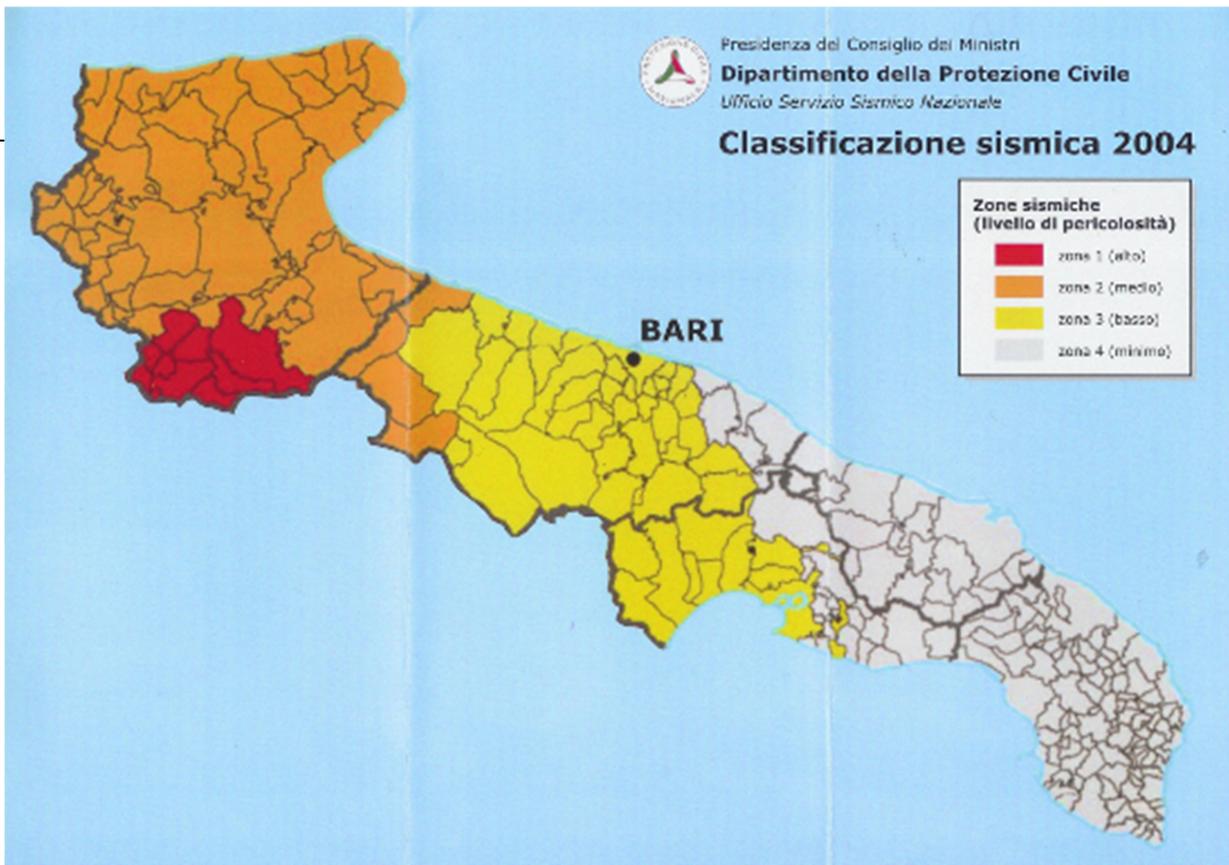


Figura – Massima pericolosità sismica del territorio pugliese

Classificazione sismica

La **classificazione sismica** del territorio nazionale ha introdotto **normative tecniche** specifiche per le costruzioni di edifici, ponti ed altre opere in aree geografiche caratterizzate dal medesimo rischio sismico.

In basso è riportata la **zona sismica** per il territorio di Grottaglie, indicata nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, aggiornata con la Delibera della Giunta Regionale della Puglia n. 153 del 2.03.2004.

Zona sismica 4	Zona con pericolosità sismica molto bassa. E' la zona meno pericolosa dove le possibilità di danni sismici sono basse.
--------------------------	---

I criteri per l'aggiornamento della mappa di **pericolosità sismica** sono stati definiti nell'Ordinanza del PCM n. 3519/2006, che ha suddiviso l'intero territorio nazionale in quattro zone sismiche sulla base del valore dell'**accelerazione orizzontale massima** (**a_g**) su suolo rigido o pianeggiante, che ha una probabilità del 10% di essere superata in 50 anni.

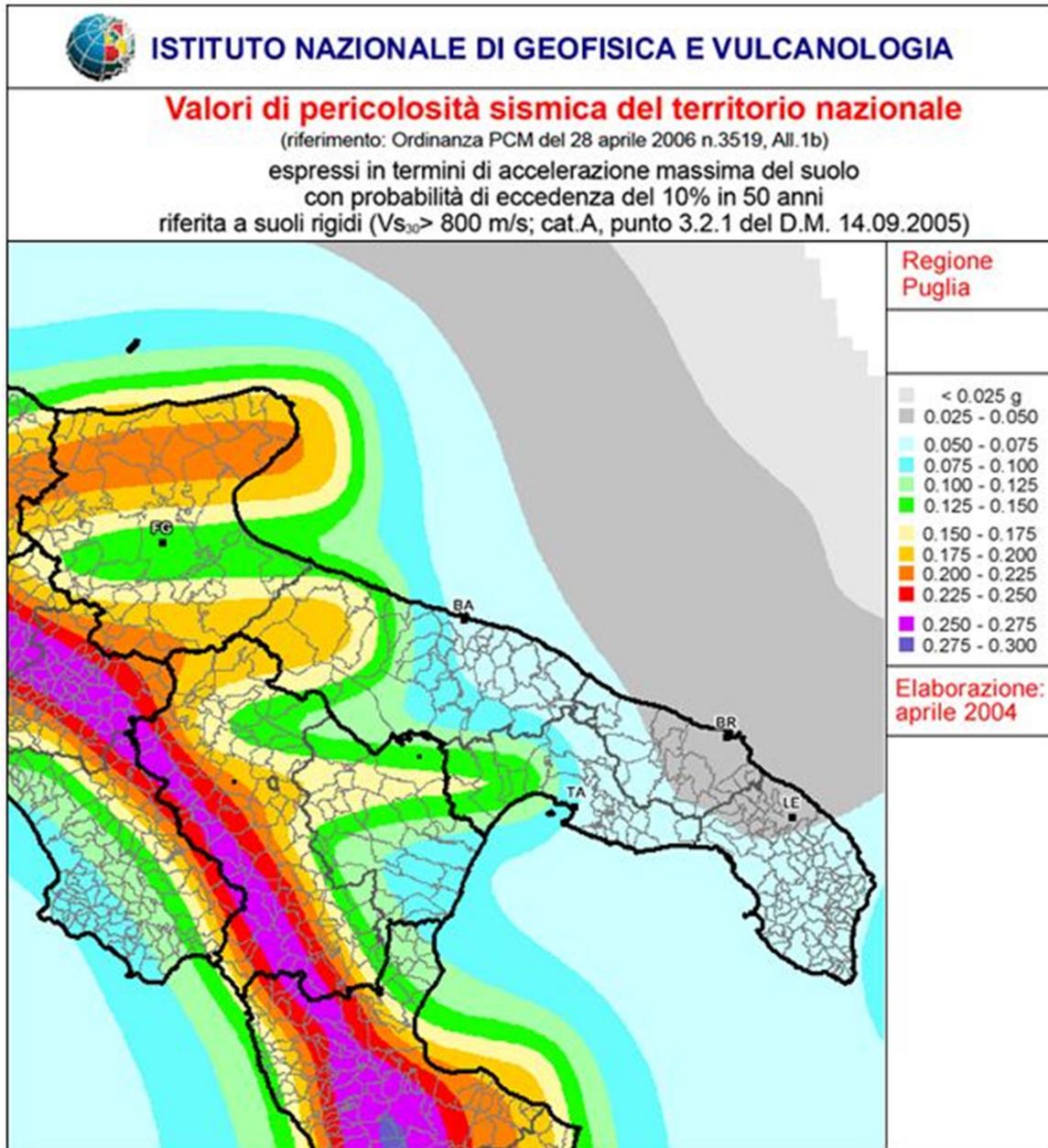


Figura – Carta delle accelerazioni al suolo

Indagini geognostiche

Le Norme Tecniche sulle Costruzioni del 14/01/2018 definiscono le azioni sismiche di progetto, in funzione dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione. Essa costituisce l’elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

Ai fini della definizione dell’azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l’effetto della risposta sismica locale mediante analisi in grado di individuare le diverse categorie di sottosuolo di riferimento e riconosciute dalle Norme tecniche sulle Costruzioni 2018.

Detto ciò, ai fini della definizione dell’azione sismica di progetto come specificato inoltre dalla nuova normativa sismica, viene valutato lo spessore di terreno, che interagisce in maniera significativa con la struttura e pertanto la classificazione del suolo di fondazione è stata identificata in base alla stima dei valori della velocità media delle onde sismiche di taglio, e valutando la profondità del bedrock.

Secondo il Disciplinare sono state previste indagini geognostiche di tipo diretto e indiretto e prove di laboratorio secondo il seguente programma:

- n. 2 sondaggi a carotaggio continuo a 10 mt ciascuno per un totale di 20 mt;
- n. 2 profili MASW della lunghezza di 36 mt per un totale di 72 mt;
- n. 2 profili sismici con onde Palelo lunghezza di 36 mt per un totale di 72 mt;
- n. 6 campioni di roccia da sottoporre a prove di laboratorio per la determinazione delle principali proprietà meccaniche

INDAGINI DIRETTE

Sondaggi a carotaggio continuo

La realizzazione di due sondaggi meccanici ha consentito di accertare in modo diretto, seppure puntuale, le caratteristiche litologiche e la qualità dei terreni e delle rocce interessati dalle opere di fondazione previste.

I sondaggi sono stati ubicati così come indicato in figura. Il Sondaggio 1 è posizionato in corrispondenza del cortile asfaltato posto a ovest dell'edificio e a quota più bassa dell'area ed è stato perforato sino ad una profondità di 10m.



Figura – Ubicazione delle indagini dirette: con i punti in blu sono indicate le posizioni delle perforazioni a carotaggio continuo

Il sondaggio S2 è stato ubicato in corrispondenza dell'ingresso all'edificio da via XXIV maggio, ed è stato perforato sino alla profondità di 10m.

Le perforazioni di sondaggio sono state realizzate con il metodo della rotazione a carotaggio continuo. Per un migliore recupero delle carote via via estratte è stato utilizzato, dove necessario, il carotiere doppio.

Le perforazioni del diametro 110 mm hanno raggiunto tutte la profondità di 10.0 m. dal piano campagna.

L'attrezzatura utilizzata nelle operazioni di perforazione è costituita da una macchina perforatrice MASSENZA mod. MI4, costituita da un veicolo cingolato in grado di eseguire

perforazioni con il sistema della rotazione a carotaggio continuo per diametri compresi tra 101 e 220 mm.

Le carote estratte, raccolte in apposite cassette sono state catalogate e fotografate, così come riportato in allegato.

Le stratigrafie di dettaglio rilevate durante le perforazioni sono riportate nelle figure dedicate.

Le perforazioni hanno attraversato al di sotto di uno spessore di terreno vegetale e materiale di riporto, uno strato di sabbie debolmente limose alle quali seguono verso il basso argille gialle e grigiastre, infine si osserva la presenza di calcarenite variamente cementate.

Di seguito vengono descritte le stratigrafie riscontrate.

sondaggio 1

0.0 - 0.3 m stabilizzato e materiale della pavimentazione asfaltata

0.3 – 4.2 m sabbie debolmente limose a luoghi rossastre con noduli

4.2 – 6.0 m argilla giallastra debolmente limosa

6.0 – 10.0 m argilla grigio azzurra



Figura – Casette catalogatrici del Sondaggio 1

sondaggio 2

- 0.0 - 0.3 m stabilizzato e materiale della pavimentazione asfaltata
- 0.3 – 3.8 m sabbie debolmente limose a luoghi rossastre con noduli
- 3.8 – 6.6 m argilla giallastra debolmente limosa
- 6.6 – 10.0 m calcarenite variamente cementata



Figura – Casette catalogatrici del Sondaggio 2

Rispetto al programma indicato nel Disciplinare ipotizzato in conseguenza ai risultati ottenuti con i sondaggi a carotaggio continuo che non hanno riscontrato presenza di rocce, al fine di meglio caratterizzare le litologie presenti, si è ritenuto opportuno effettuare un profilo MASW e un Profilo con onde P in più al posto delle preventivate prove di laboratorio su sei campioni di roccia.

INDAGINI INDIRECTE

Le condizioni del sito di riferimento rigido non corrispondono, in generale, alle condizioni reali. È necessario, pertanto, tenere conto delle condizioni stratigrafiche del volume di terreno interessato dall'opera ed anche delle condizioni topografiche, poiché entrambi questi fattori concorrono a modificare

l'azione sismica in superficie rispetto a quella attesa su un sito rigido con superficie orizzontale. Tali modifiche, in ampiezza, durata e contenuto in frequenza, sono il risultato della risposta sismica locale.

Si denomina “risposta sismica locale” l'azione sismica che emerge in “superficie” a seguito delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza subite trasmettendosi dal substrato rigido. Per individuare in modo univoco la risposta sismica si assume come “superficie” il “piano di riferimento” così come definito, per le diverse tipologie strutturali, al par. 3.2.2 delle NTC. Le modifiche sopra citate corrispondono a: effetti stratigrafici, legati alla successione stratigrafica, alle proprietà meccaniche dei terreni, alla geometria del contatto tra il substrato rigido e i terreni sovrastanti ed alla geometria dei contatti tra gli strati di terreno; effetti topografici, legati alla configurazione topografica del piano campagna. La modifica delle caratteristiche del moto sismico per effetto della geometria superficiale del terreno è dovuta alla focalizzazione delle onde sismiche in prossimità della cresta dei rilievi a seguito dei fenomeni di riflessione delle onde sismiche e all'interazione tra il campo d'onda incidente e quello diffratto. I fenomeni di amplificazione cresta/base aumentano in proporzione al rapporto tra l'altezza del rilievo e la sua larghezza.

Gli effetti della risposta sismica locale possono essere valutati con metodi semplificati oppure eseguendo specifiche analisi. I metodi semplificati possono essere adoperati solo se l'azione sismica in superficie è descritta dall'accelerazione massima o dallo spettro elastico di risposta; non possono cioè essere adoperati se l'azione sismica in superficie è descritta mediante storie temporali del moto del terreno. Nei metodi semplificati è possibile valutare gli effetti stratigrafici e topografici. In tali metodi si attribuisce il sito ad una delle categorie di sottosuolo definite nella Tabella 3.2.II delle NTC (A, B, C, D, E) e ad una delle categorie topografiche definite nella Tabella 3.2.IV delle NTC (T1, T2, T3, T4). In questo caso, la valutazione della risposta sismica locale consiste nella modifica dello spettro di risposta in accelerazione del moto sismico di riferimento, relativo all'affioramento della formazione rocciosa (categoria di sottosuolo A) su superficie orizzontale (categoria topografica T1).

L'identificazione della categoria del sottosuolo è basata sulla descrizione stratigrafica e sui valori della velocità di propagazione delle onde di taglio V_s . Ai fini della valutazione semplificata della risposta sismica locale, nell'attuale versione delle NTC, non è più consentita la classificazione del sottosuolo sulla base del parametro NSPT30 per i terreni a grana grossa e Cu30 per i terreni a grana fine. Le attuali norme

tecniche richiedono, quindi, che la categoria di sottosuolo sia stabilita sulla base del profilo Vs. La misura diretta di Vs attraverso specifiche indagini geofisiche è in ogni caso preferibile, essendo consentita, in alternativa, la definizione del profilo Vs attraverso il ricorso a correlazioni empiriche “di comprovata affidabilità” solo per il metodo semplificato ed in ipotesi residuali, stante la maggiore incertezza che caratterizza la determinazione di Vs con le citate correlazioni empiriche. In caso di utilizzo di correlazioni empiriche è comunque raccomandabile non limitarsi all’ uso di un singolo modello empirico, al fine di consentire una stima dell’incertezza legata al carattere regionale di tali correlazioni e alla conseguente elevata dispersione dei relativi dati sperimentali. Fatta salva la necessità di estendere le indagini geotecniche nel volume significativo di terreno interagente con l’ opera, la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente $V_{s,eq}$ definita mediante la media armonica [3.2.1] delle NTC. La velocità equivalente è ottenuta imponendo l’ equivalenza tra i tempi di arrivo delle onde di taglio in un terreno omogeneo equivalente, di spessore pari ad H dove H è la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido caratterizzato da valori di Vs non inferiori ad 800 m/s. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$ ottenuto ponendo $H = 30$ m nell’equazione [3. .1] e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità. Derivando da una media armonica, la velocità equivalente assume valori differenti da quelli ottenuti dalla media aritmetica delle velocità dei singoli strati pesata sui relativi spessori, soprattutto in presenza di strati molto deformabili di limitato spessore. Lo scopo della definizione adottata è quello di privilegiare il contributo degli strati più deformabili. Per terreni nei quali la profondità del substrato è maggiore di 30 m ($H \geq 30$ m), la $V_{s,eq}$ così come definita dall’equazione [3. .1] coincide di fatto con la $V_{s,30}$ della precedente versione delle NTC. L’introduzione della $V_{s,eq}$ unita alla modifica nella definizione delle categorie di sottosuolo si è resa necessaria al fine di includere nell’attuale testo normativo le configurazioni stratigrafiche che rimanevano escluse nelle NTC08 (ad esempio profili di tipo B con profondità del substrato inferiore a 30 m). Infine nelle attuali NTC sono state eliminate le categorie speciali di sottosuolo (Classi S1 ed S2 presenti nelle NTC08). Per tutte quelle configurazioni litostratigrafiche non riconducibili alla classificazione riportata in Tab. 3.2.II (ad esempio terreni instabili o suscettibili di liquefazione, per determinati sistemi geotecnici o se si intende aumentare il grado di accuratezza nella previsione dei fenomeni di amplificazione), le azioni sismiche da

considerare nella progettazione possono essere determinate mediante specifiche analisi di risposta sismica locale, meglio descritte nel C.7.11.3.1 della Circolare esplicativa del CSLLPP.

Queste analisi presuppongono un’adeguata conoscenza delle proprietà meccaniche dei terreni in condizioni cicliche e dinamiche, determinate mediante specifiche indagini e prove geotecniche.

Detto ciò, ai fini della definizione dell’azione sismica di progetto come specificato inoltre dalla nuova normativa sismica, viene valutata la profondità del badrock e successivamente è stato eseguito l’adeguamento alle NTC 2018 andando a calcolare il valore delle VSeq.

Profili MASW

Al fine di precisare le caratteristiche sismostratigrafiche dei litotipi e classificare sismicamente il suolo secondo la normativa vigente (D.M. 17 gennaio 2018), è stata effettuata una prospezione sismica M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves ovvero Analisi Multicanale delle onde Superficiali di Rayleigh). Al fine di caratterizzare sismicamente il suolo in area progettuale, sono state eseguite tre prospezioni sismiche MASW con stendimento geofonico di 36.00 m.

L’ubicazione dei profili MASW e dei profili sismici con onde P è riportata in figura. Si fa presente che gli stendimenti eseguiti sono disposti a due a due (MASW e Onde p) in modo parallelo.

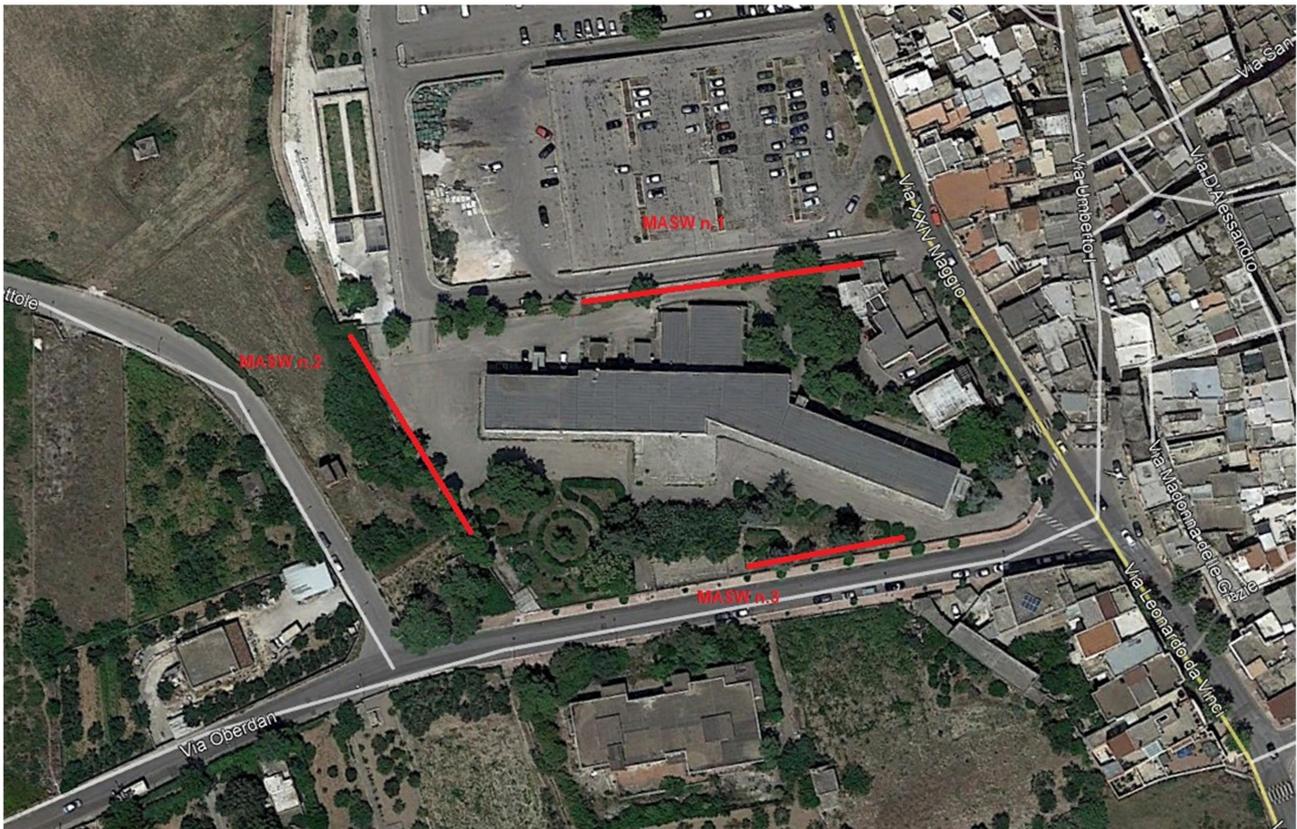


Figura – Le linee rosse indicano la posizione dei profili MASW e dei profili sismici con onde P

Profilo MASW 1

Dall’insieme delle risultanze della prospezione sismica MASW effettuata nell’area oggetto di indagine si evidenzia che:

- dalla sezione sismostratigrafica ottenuta è possibile individuare n. 3 sismostrati caratterizzati da valori di VS differenti;
- il primo sismostrato si individua a partire dal piano campagna e fino alla profondità di circa 1.0 m dal p.c. con valori di VS pari a 158 m/s;
- il secondo sismostrato si individua in successione al primo con uno spessore più consistente di circa 6.5 m con valori di Vs pari a 598 m/s;

- al letto del suddetto sismostrato si osserva un aumento costante delle VS con la profondità caratterizzato da velocità delle onde di taglio più elevate; per uno spessore restante della profondità investigata di circa 16 m si riscontra un valore delle Vs pari a 1177 m/s.

Di seguito la tabella di sintesi dei dati ottenuti e l'interpretazione della Categoria di suolo secondo le NTC/2018.

Microzonazione Sismica						
Ubicazione Prova MASW 1: Scuola Primaria Don Bosco - Comune di Grottaglie (TA)				Committente: Comune di Grottaglie		
$V_{Seq} = \frac{H}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$		<i>H = profondità del substrato, Vs > 800 m/s</i> <i>hi = spessore in metri dello strato i-esimo</i> <i>Vi = velocità dell'onda di taglio i-esima</i> <i>N = numero di strati</i>				
Strati	Litotipo	Spessore sismostrato Vs (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Rapporto Spessori Velocità	Tempi parziali (s)
h ₁	-	1.0	238.38	158.12	h ₁ /V ₁	0.006
h ₂	-	6.5	1268.42	598.59	h ₂ /V ₂	0.011
h ₃	-	16.5	2271.01	1176.90	h ₃ /V ₃	0.014
H		7.5			$\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}$	0.017
			$V_{Seq} =$		436.47	m/s

Categoria Suolo		B		
Categoria suolo	Descrizione	N _{v,33}	C _{v,33}	V _{v,33}
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi - spessore massimo fino a 3 m			> 800 m/s
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti - spessori superiori a 30 m	> 50	> 250 Kpa	360 • 800 m/s
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti - spessori superiori a 30 m	15 • 50	70 • 250 Kpa	180 • 360 m/s
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti - spessori superiori a 30 m	< 15	< 70 Kpa	< 180 m/s
E	Terreni dai sottosuoli di tipo C o D per spessori non superiore a 20 m			> 800 m/s

Tabella estrapolata dal DM 17 gennaio 2018

Profilo MASW 2

Dall'insieme delle risultanze della prospezione sismica MASW effettuata nell'area oggetto di indagine si evidenzia che:

- dalla sezione sismostratigrafica ottenuta è possibile individuare n. 3 sismostrati caratterizzati da valori di VS differenti;
- il primo sismostrato si individua a partire dal piano campagna e fino alla profondità di circa 1.0 m dal p.c. con valori di VS pari a 161 m/s;

- il secondo sismostrato si individua in successione al primo con uno spessore più consistente sino a circa 6.0 m con valori di Vs pari a 565 m/s;
- al letto del suddetto sismostrato si osserva un aumento costante delle VS con la profondità caratterizzato da velocità delle onde di taglio più elevate; per uno spessore restante della profondità investigata di circa 17 m si riscontra un valore delle Vs pari a 1.084 m/s.

Microzonazione Sismica						
Ubicazione Prova MASW 2: Scuola Primaria Don Bosco - Comune di Grottaglie (TA)				Committente: Comune di Grottaglie		
$V_{Seq} = \frac{H}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$		<i>H = profondità del substrato, Vs > 800 m/s</i> <i>hi = spessore in metri dello strato i-esimo</i> <i>Vi = velocità dell'onda di taglio i-esima</i> <i>N = numero di strati</i>				
Strati	Litotipo	Spessore sismostrato Vs (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Rapporto Spessori Velocità	Tempi parziali (s)
h ₁	-	1.0	221.05	161.82	h ₁ /V ₁	0.006
h ₂	-	6.0	1095.89	565.67	h ₂ /V ₂	0.011
h ₃	-	17.0	2305.54	1084.93	h ₃ /V ₃	0.016
H		7.0			$\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}$	0.017
			V_{Seq} =		417.00	m/s

Categoria Suolo		B		
Categoria suolo	Descrizione	N _{u,15}	C _{v,15}	V _{s,15}
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi - spessore massimo fino a 3 m			> 800 m/s
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti - spessori superiori a 30 m	> 50	> 250 Kpa	360 • 800 m/s
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti - spessori superiori a 30 m	15 • 50	70 • 250 Kpa	180 • 360 m/s
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti - spessori superiori a 30 m	< 15	< 70 Kpa	< 180 m/s
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m			> 800 m/s

Tabelle estrapolate dal DM 17 gennaio 2018

Di seguito la tabella di sintesi dei dati ottenuti e l'interpretazione della Categoria di suolo secondo le NTC/2018.

Profilo MASW 3

Dall'insieme delle risultanze della prospezione sismica MASW effettuata nell'area oggetto di indagine si evidenzia che:

- dalla sezione sismostratigrafica ottenuta è possibile individuare n. 3 sismostrati caratterizzati da valori di VS differenti;

- il primo sismostrato si individua a partire dal piano campagna e fino alla profondità di circa 2.0 m dal p.c. con valori di VS pari a 278 m/s;
- il secondo sismostrato si individua in successione al primo con uno spessore più consistente sino a circa 3.0 m con valori di Vs pari a 505 m/s;
- al letto del suddetto sismostrato si osserva un aumento costante delle VS con la profondità caratterizzato da velocità delle onde di taglio più elevate; per uno spessore restante della profondità investigata di circa 13 m si riscontra un valore delle Vs pari a 1.091 m/s.

Microzonazione Sismica						
Ubicazione Prova MASW 3: Scuola Primaria Don Bosco - Comune di Grottaglie (TA)			Committente: Comune di Grottaglie			
$V_{Seq} = \frac{H}{\sum_{i=1, N} \frac{h_i}{V_i}}$		<i>H = profondità del substrato, Vs > 800 m/s</i> <i>hi = spessore in metri dello strato i-esimo</i> <i>Vi = velocità dell'onda di taglio i-esima</i> <i>N = numero di strati</i>				
Strati	Litotipo	Spessore sismostrato Vs (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Rapporto Spessori Velocità	Tempi parziali (s)
h ₁	-	2.0	305.01	278.34	h ₁ /V ₁	0.007
h ₂	-	3.0	1229.51	505.67	h ₂ /V ₂	0.006
h ₃	-	13.0	2505.08	1091.28	h ₃ /V ₃	0.012
H		5.0			$\sum_{i=1, N} \frac{h_i}{V_i}$	0.013
			$V_{Seq} =$		381.15	m/s

Categoria Suolo		B		
Categoria suolo	Descrizione	N _{v,15}	C _{v,15}	V _{v,15}
A	Ammassi rocciosi sfiorati o terreni molto rigidi - spessore massimo fino a 3 m			> 800 m/s
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti - spessori superiori a 30 m	> 50	> 250 Kpa	360 + 800 m/s
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti - spessori superiori a 30 m	15 + 50	70 + 250 Kpa	180 + 360 m/s
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti - spessori superiori a 30 m	< 15	< 70 Kpa	< 180 m/s
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m			> 800 m/s

Tabelle estrapolate dal DM 17 gennaio 2018

Profili con onde P

E' stata effettuata, un' indagine geofisica consistente nella realizzazione di 3 profili sismici a rifrazione con onde longitudinali "P". Sono stati effettuati stendimenti di 48 m per i Profili sismici 1 e 2 mentre il Profilo sismico 3 è di 30m .

La finalità delle indagini è stata quella di contribuire alla ricostruzione stratigrafica dell'area investigata individuando le caratteristiche sismiche e geotecniche dei terreni.

La prospezione sismica è un'indagine indiretta, che si occupa dell'esplorazione del sottosuolo attraverso lo studio della propagazione di onde elastiche generate in superficie. Tali perturbazioni sono generalmente provocate da vibrazioni impresse al terreno con mezzi meccanici o da esplosioni.

Le discontinuità ricercate mediante la prospezione sono di natura fisico elastica e pertanto la ricostruzione della geometria e natura del sottosuolo possono essere legate sia a reali variazioni litologiche sia a variazioni rinvenibili nell'ambito di uno stesso litotipo.

Da quanto detto emerge che la prospezione sismica è una tecnica di esplorazione del sottosuolo che ben si adatta alle finalità applicative del presente lavoro.

Il metodo d'indagine adoperato nel caso specifico è stato quello della sismica a rifrazione, che utilizza i fronti d'onda conici generati da superfici di discontinuità e rilevati da sensori, chiamati geofoni, opportunamente disposti lungo un allineamento prestabilito.

Per ciascun profilo vengono riportati i sismogrammi di acquisizione le dromocrone e l'interpretazione sismo-stratigrafica. Inoltre vengono forniti gli intervalli dei valori dei principali parametri fisici e meccanici.

**Profilo Sismico n. 1 - Onde P
Scuola Primaria Don Bosco
Comune di Grottaglie (TA)**

POSIZIONE DEGLI SPARI

Ascissa [m]	Quota [m]
0.00	0.00
24.00	0.00
48.00	0.00

POSIZIONE DEI GEOFONI E PRIMI ARRIVI

N.	Ascissa [m]	Quota [m]	FBP da 0 [ms]	FBP da 24 [ms]	FBP da 48 [ms]
1	2.00	0.00	2.40	22.27	49.33
2	4.00	0.00	8.40	20.67	48.53
3	6.00	0.00	11.73	19.60	47.60
4	8.00	0.00	14.13	18.00	46.80
5	10.00	0.00	17.73	16.53	45.87
6	12.00	0.00	19.60	14.27	44.00
7	14.00	0.00	21.47	12.93	42.53
8	16.00	0.00	22.93	10.80	41.20
9	18.00	0.00	24.53	9.20	39.47
10	20.00	0.00	27.07	7.33	37.07
11	22.00	0.00	29.20	5.47	34.93
12	24.00	0.00	32.00	2.40	32.40
13	26.00	0.00	34.27	2.00	30.13
14	28.00	0.00	36.80	4.13	28.00
15	30.00	0.00	39.47	6.00	26.13
16	32.00	0.00	42.13	6.93	23.47
17	34.00	0.00	43.73	8.67	20.27
18	36.00	0.00	46.13	9.60	17.60
19	38.00	0.00	47.33	11.47	15.47
20	40.00	0.00	48.67	12.40	14.00
21	42.00	0.00	50.27	13.87	12.13
22	44.00	0.00	51.73	15.07	10.13
23	46.00	0.00	53.07	16.04	7.07
24	48.00	0.00	53.87	17.20	3.60

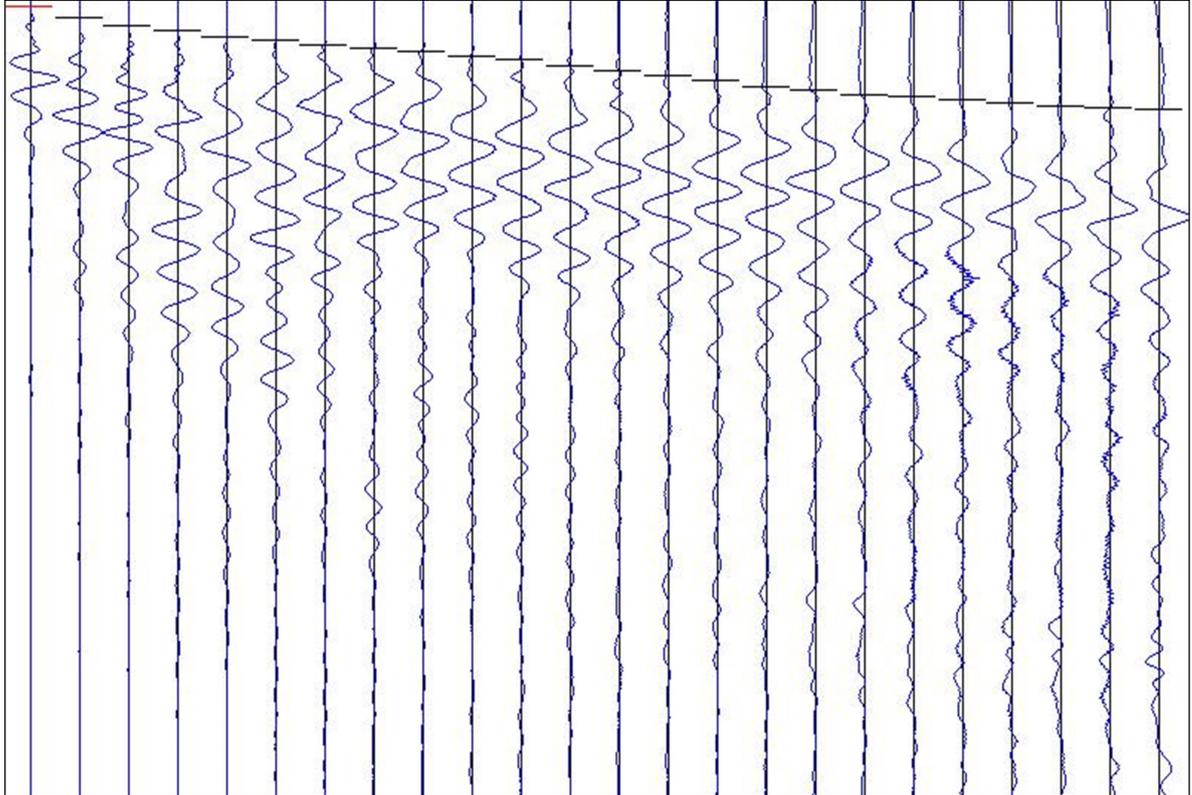
VELOCITA' DEGLI STRATI

N. Strato	Spessore medio [m]	Velocità [m/s]	Peso di volume [t/mc]	Modulo elastico E_{din} [Kg/cmq]
1	1.0	238.38	1.7 – 1.8	3000 – 4000

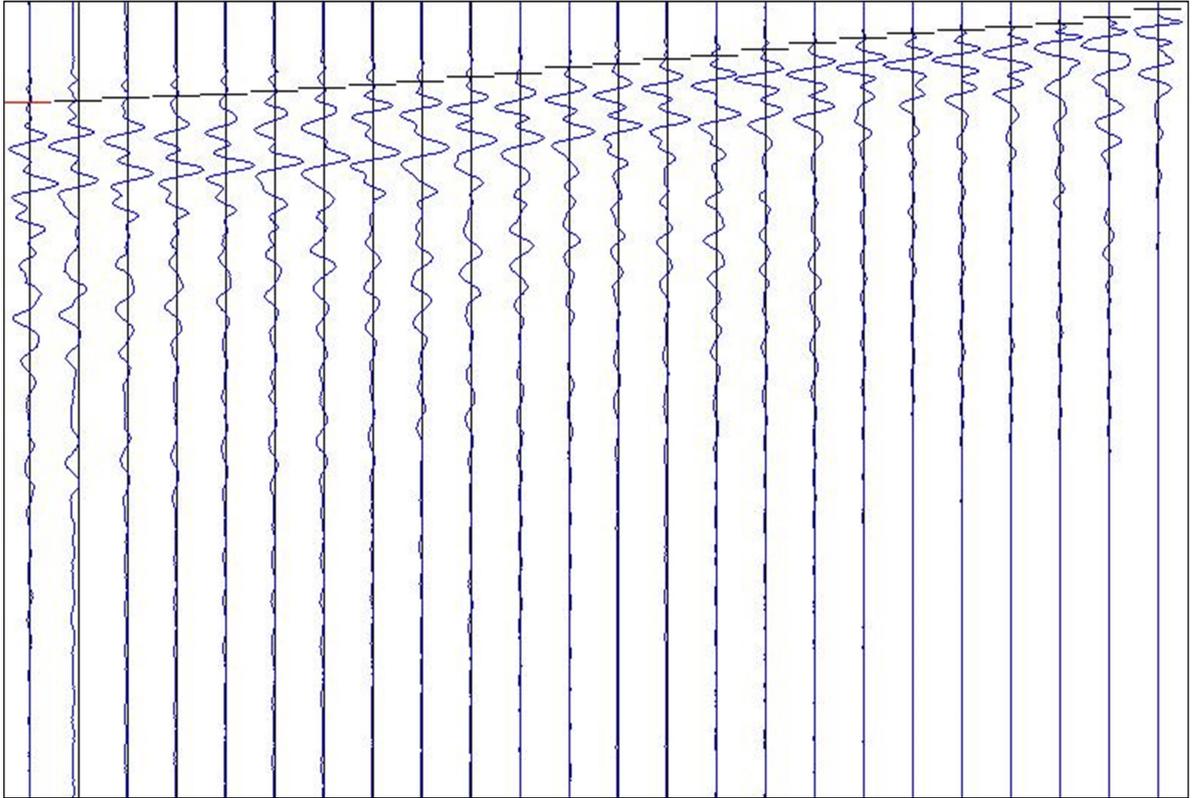
2	7.0	1268.42	1.9 – 2.1	10000 – 16000
3	-	2271.01	2.1 – 2.2	42000 – 54000

PRIMI ARRIVI SISMOGRAMMI

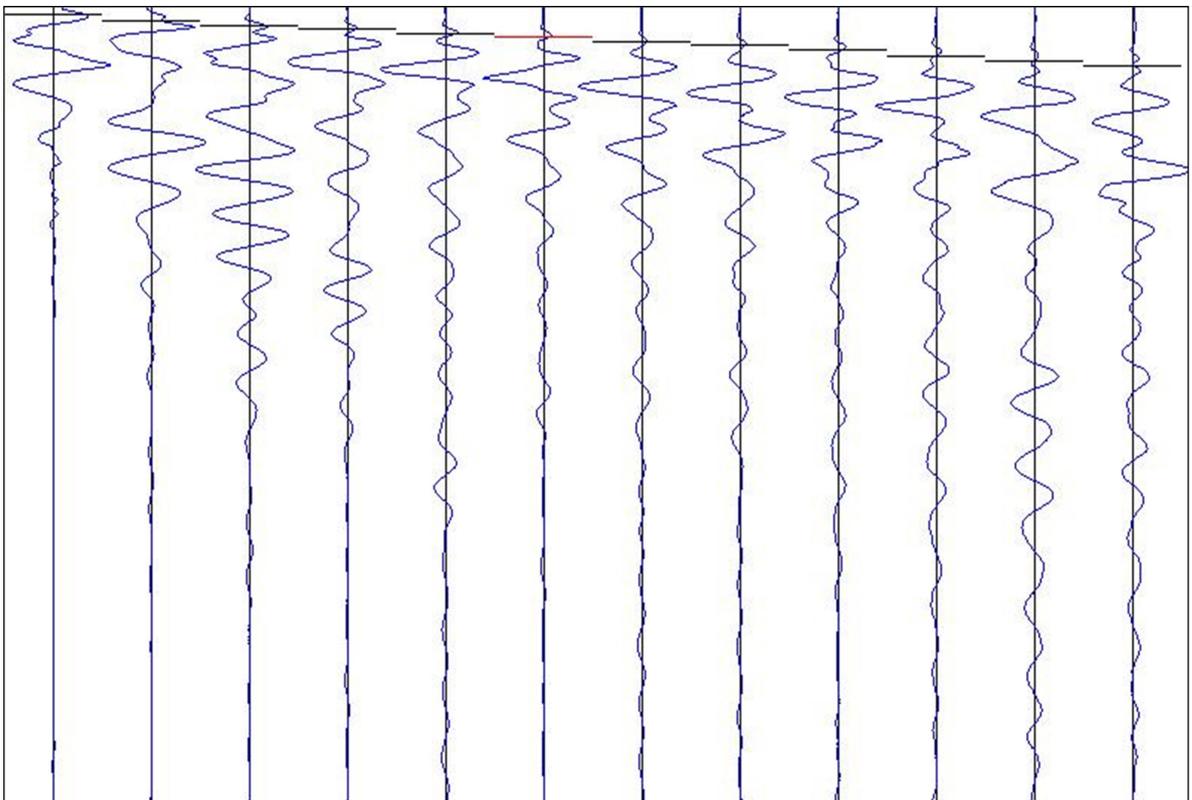
Sismogramma di andata



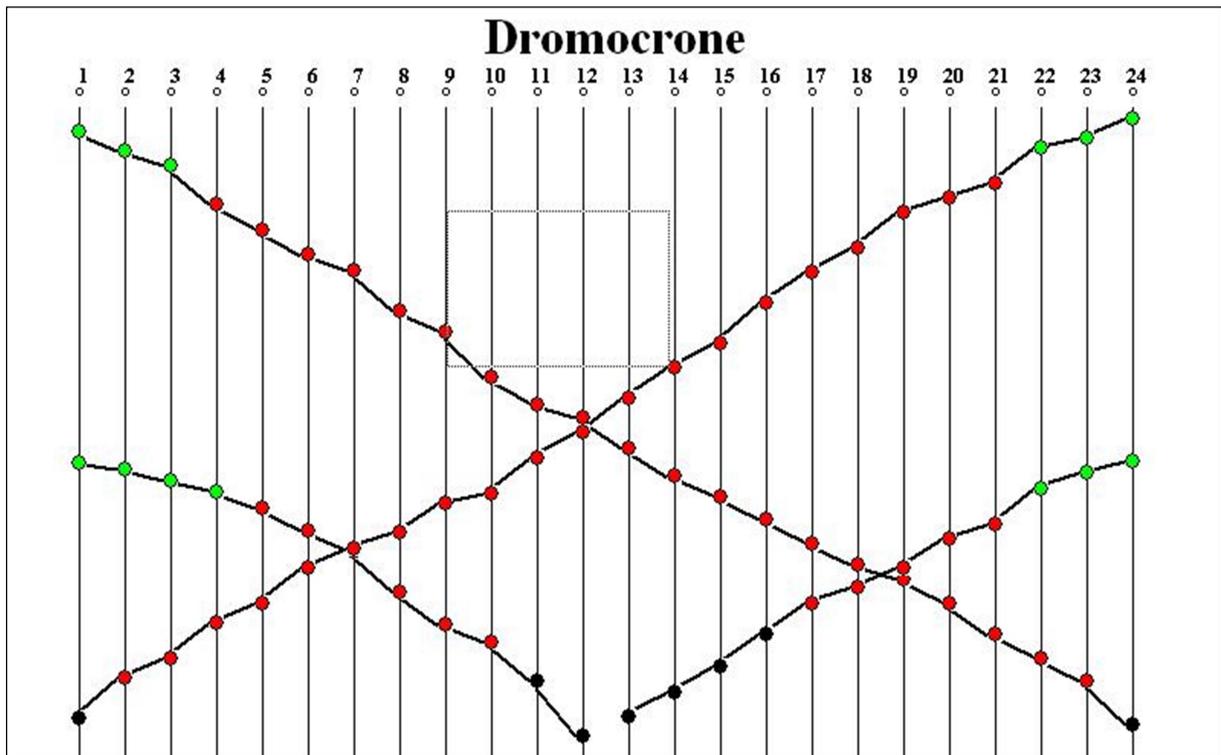
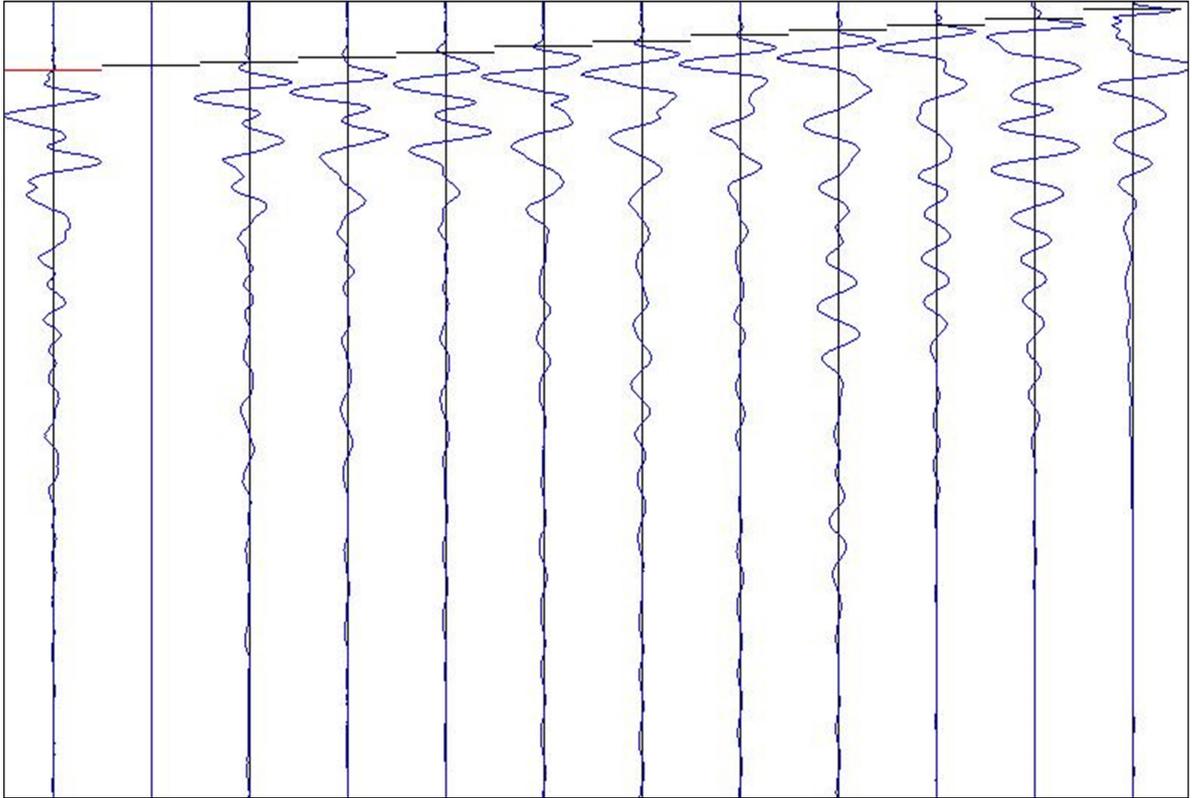
Sismogramma di ritorno

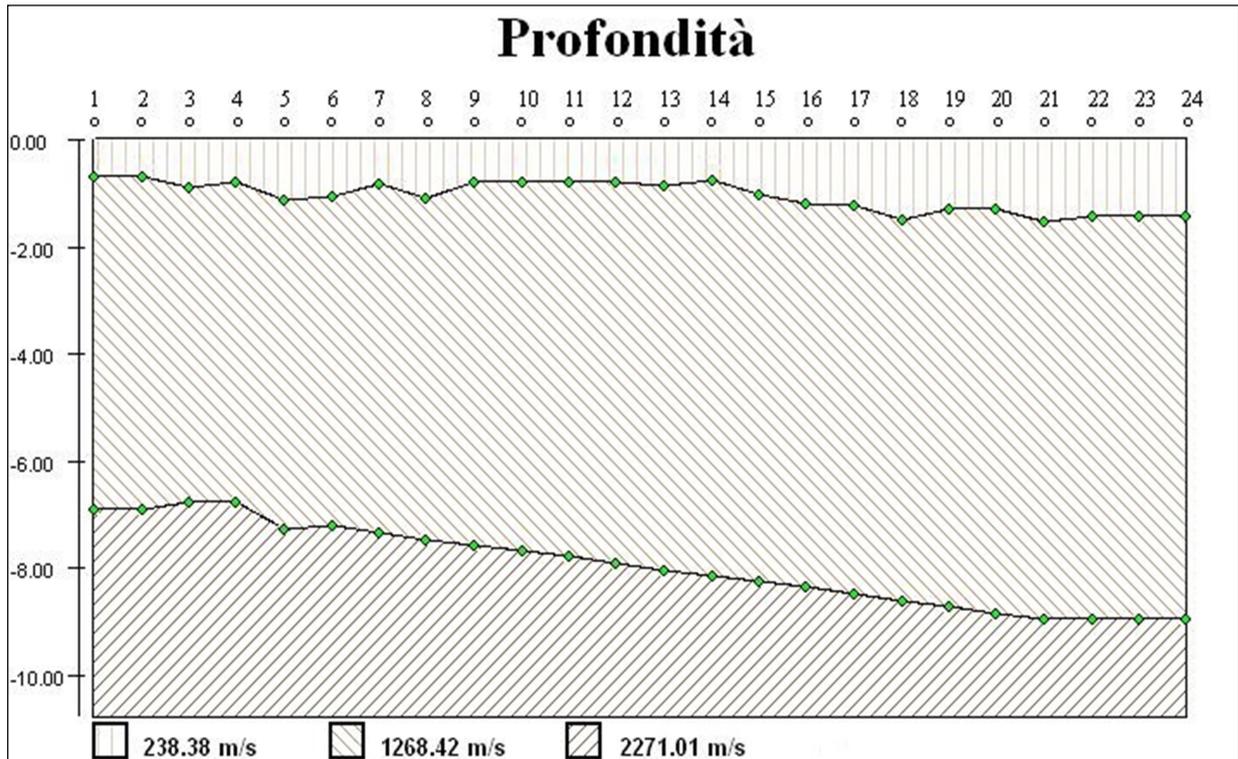


Sismogramma centrale destro



Sismogramma centrale sinistro





**Profilo Sismico n. 2 - Onde P
Scuola Primaria Don Bosco
Comune di Grottaglie (TA)**

POSIZIONE DEGLI SPARI

Ascissa [m]	Quota [m]
0.00	0.00
24.00	0.00
48.00	0.00

POSIZIONE DEI GEOFONI E PRIMI ARRIVI

N.	Ascissa [m]	Quota [m]	FBP da 0 [ms]	FBP da 24.0 [ms]	FBP da 48.0 [ms]
1	2.00	0.00	8,00	29,60	50,93
2	4.00	0.00	11,87	28,80	50,00
3	6.00	0.00	14,13	26,93	48,93
4	8.00	0.00	16,53	25,60	47,33
5	10.00	0.00	19,87	24,00	46,00
6	12.00	0.00	22,53	22,27	44,27
7	14.00	0.00	24,27	20,40	42,80
8	16.00	0.00	26,00	18,27	41,47
9	18.00	0.00	28,00	16,27	39,33

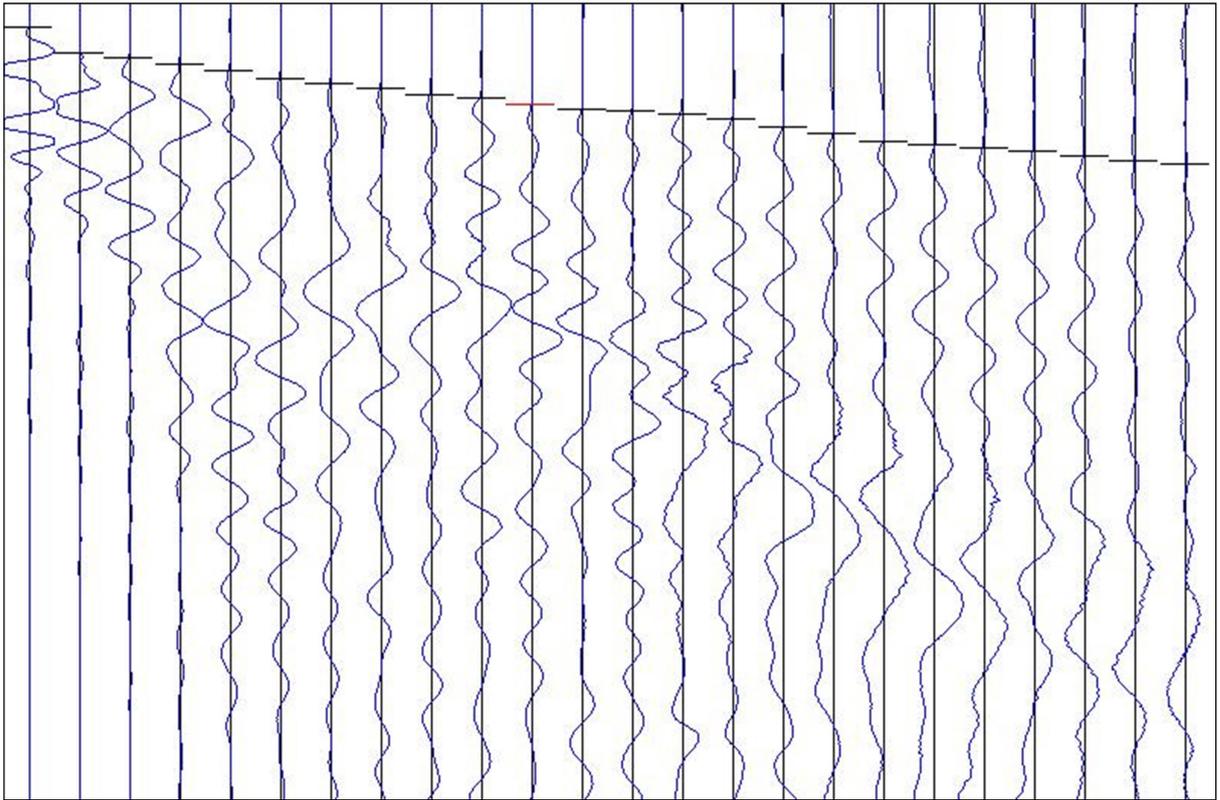
10	20.00	0.00	29,87	13,73	36,80
11	22.00	0.00	32,00	11,60	35,20
12	24.00	0.00	33,33	6,93	33,33
13	26.00	0.00	35,60	6,93	31,60
14	28.00	0.00	37,33	11,60	30,40
15	30.00	0.00	38,80	13,87	28,93
16	32.00	0.00	40,13	17,73	27,60
17	34.00	0.00	41,73	20,40	25,87
18	36.00	0.00	43,20	22,93	23,73
19	38.00	0.00	44,93	25,20	22,53
20	40.00	0.00	47,07	27,33	21,07
21	42.00	0.00	48,67	29,33	19,47
22	44.00	0.00	50,00	30,93	17,07
23	46.00	0.00	50,67	33,33	12,80
24	48.00	0.00	51,47	34,93	7,87

VELOCITA' DEGLI STRATI

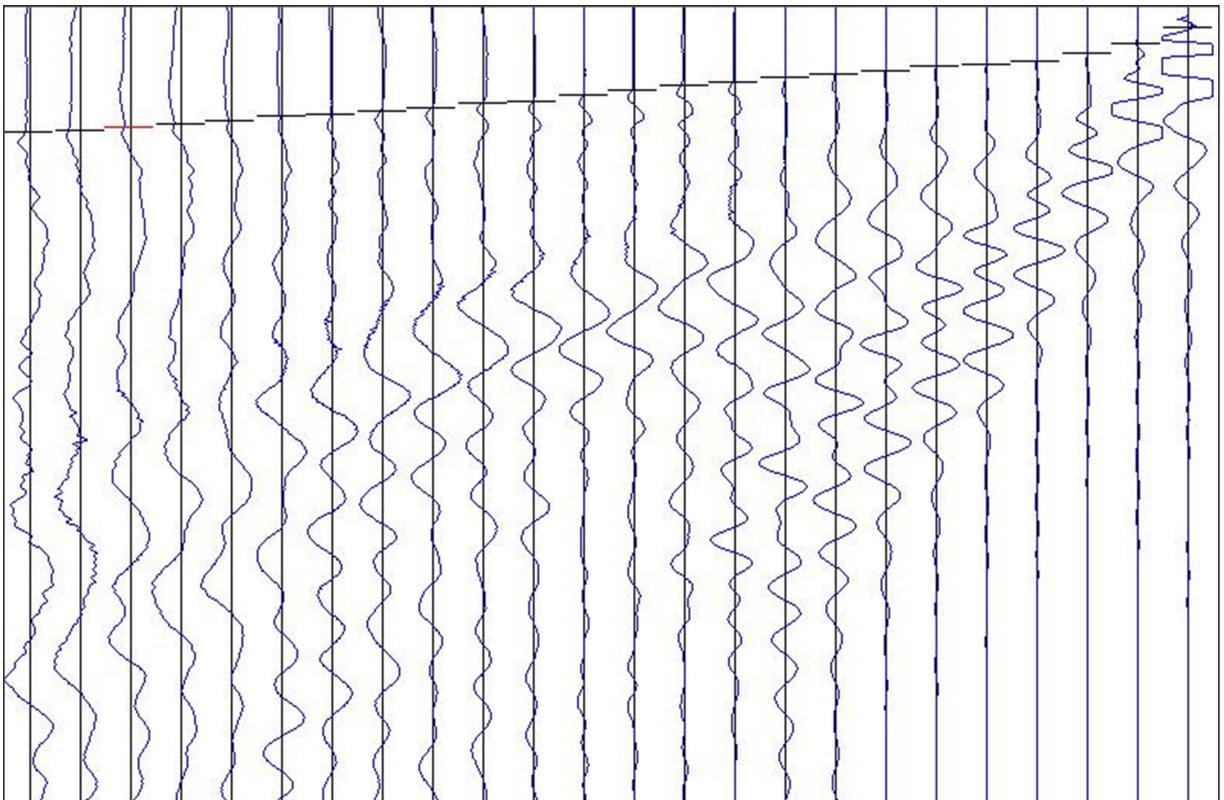
N. Strato	Spessore medio [m]	Velocità [m/s]	Peso di volume [t/mc]	Modulo elastico E_{din} [Kg/cmq]
1	1.5	221.05	1.7 – 1.8	3000 – 4000
2	5.5	1095.89	1.9 – 2.1	8000 – 14000
3	-	2305.54	2.1 – 2.2	48000 - 56000

PRIMI ARRIVI SISMOGRAMMI

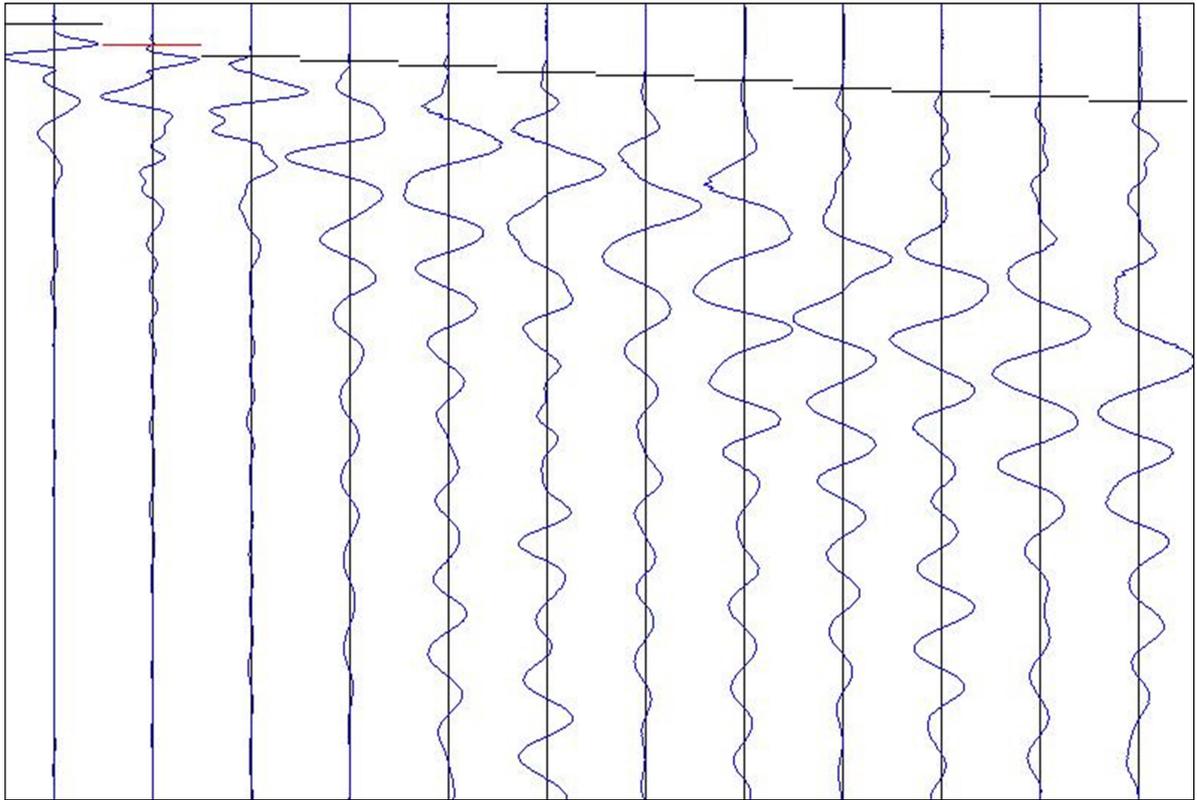
Sismogramma di andata



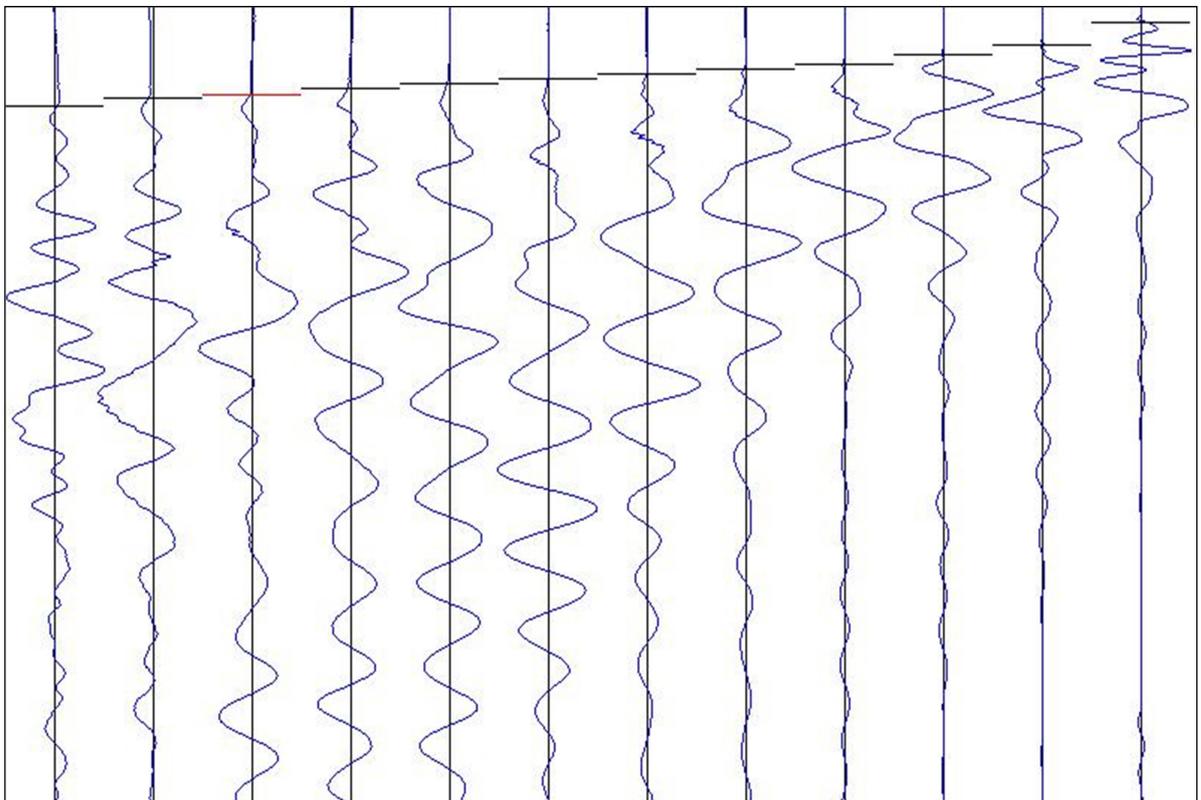
Sismogramma di ritorno

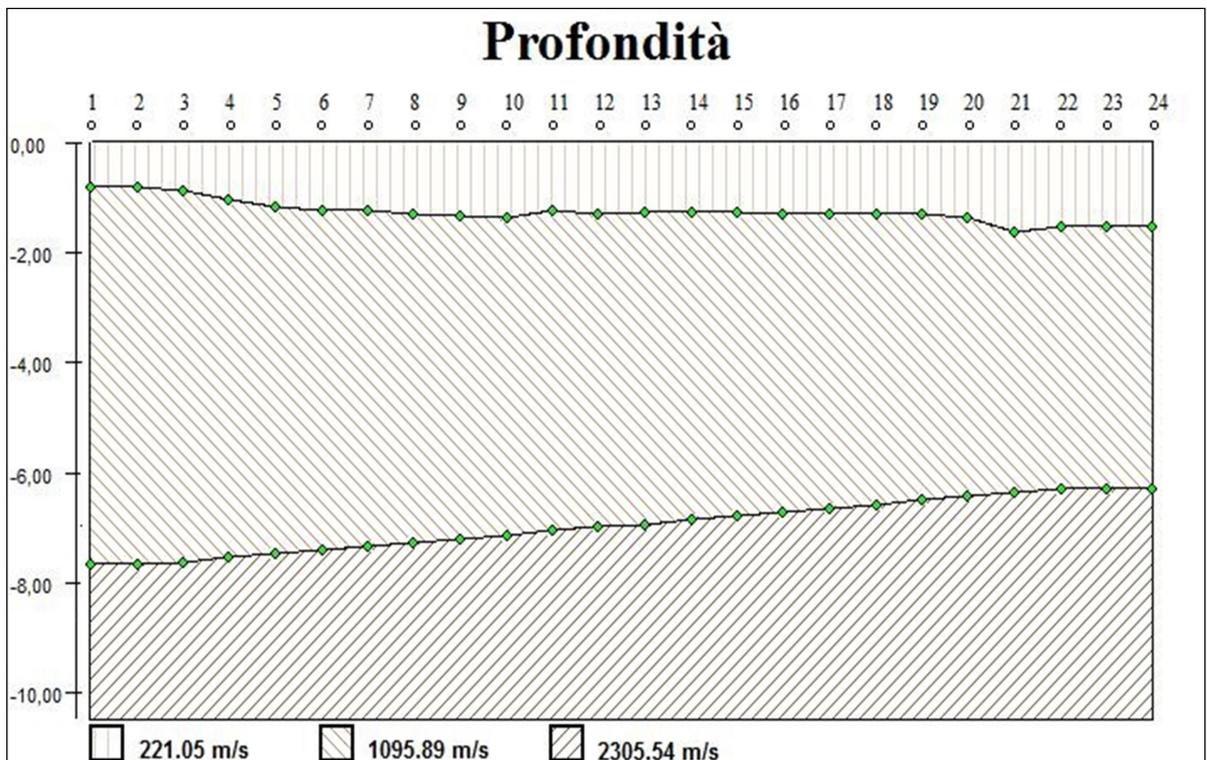
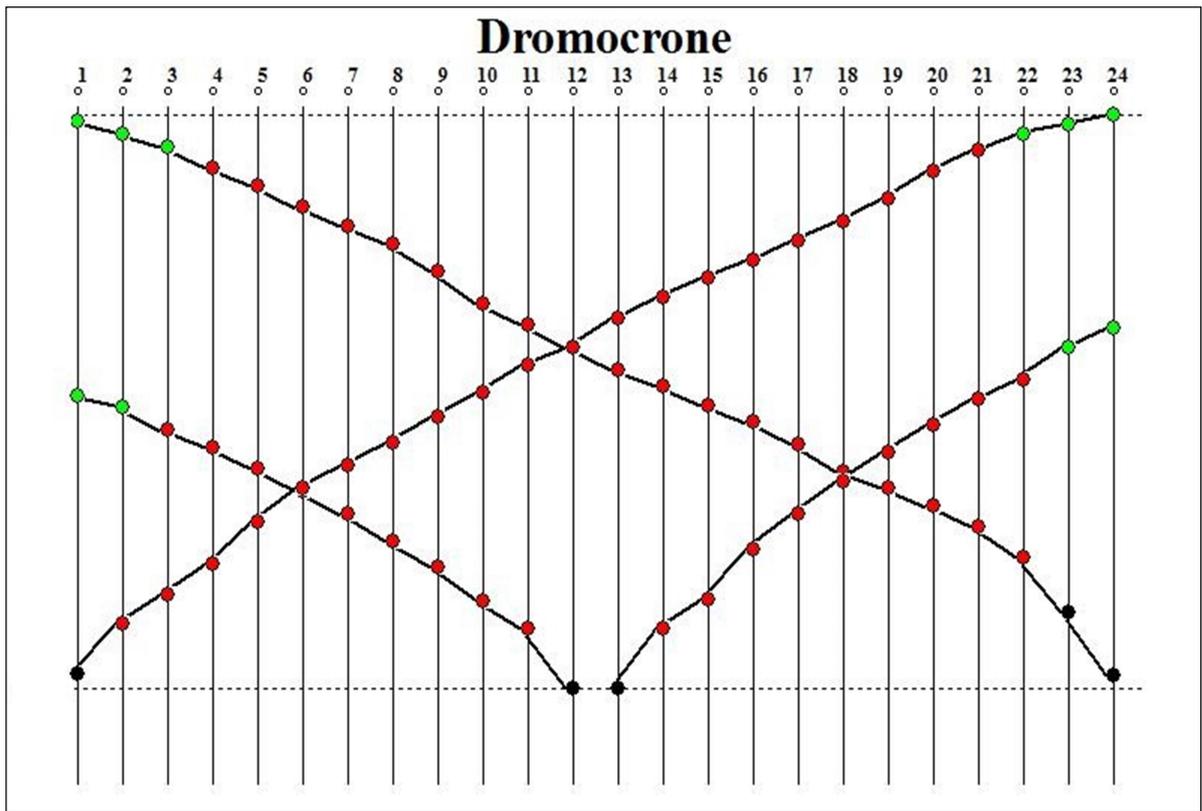


Sismogramma centrale destro



Sismogramma centrale sinistro





Profilo Sismico n.3 - Onde P

**Scuola Primaria Don Bosco
 Comune di Grottaglie (TA)**

POSIZIONE DEGLI SPARI

Ascissa [m]	Quota [m]
0.00	0.00
15.00	0.00
30.00	0.00

POSIZIONE DEI GEOFONI E PRIMI ARRIVI

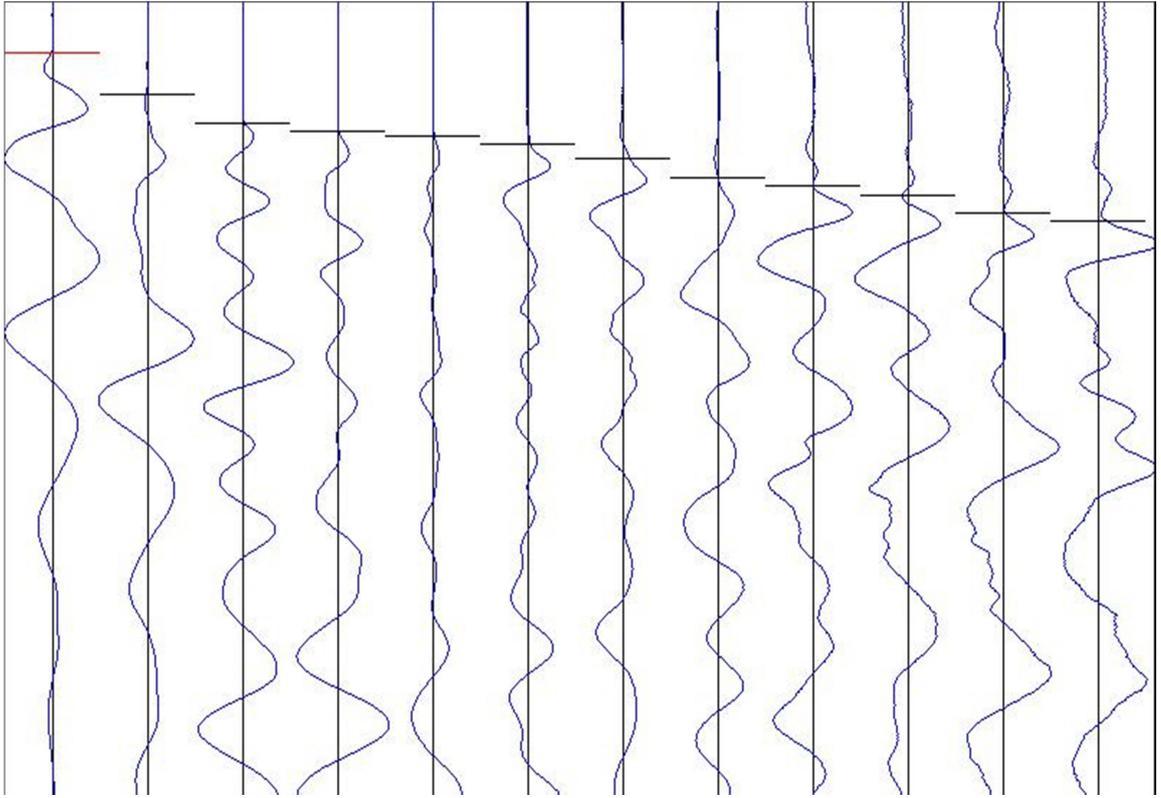
N.	Ascissa [m]	Quota [m]	FBP da 0 [ms]	FBP da 15 [ms]	FBP da 30 [ms]
1	2.50	0.00	4.13	13.20	19.07
2	5.00	0.00	7.60	12.40	18.53
3	7.50	0.00	10.00	10.93	17.33
4	10.00	0.00	10.67	8.93	16.53
5	12.50	0.00	11.07	7.60	15.07
6	15.00	0.00	11.73	5.07	13.60
7	17.50	0.00	12.93	3.87	12.67
8	20.00	0.00	14.53	7.87	12.27
9	22.50	0.00	15.20	9.20	11.07
10	25.00	0.00	16.00	9.73	10.13
11	27.50	0.00	17.47	10.27	8.67
12	30.00	0.00	18.13	11.07	5.47

VELOCITA' DEGLI STRATI

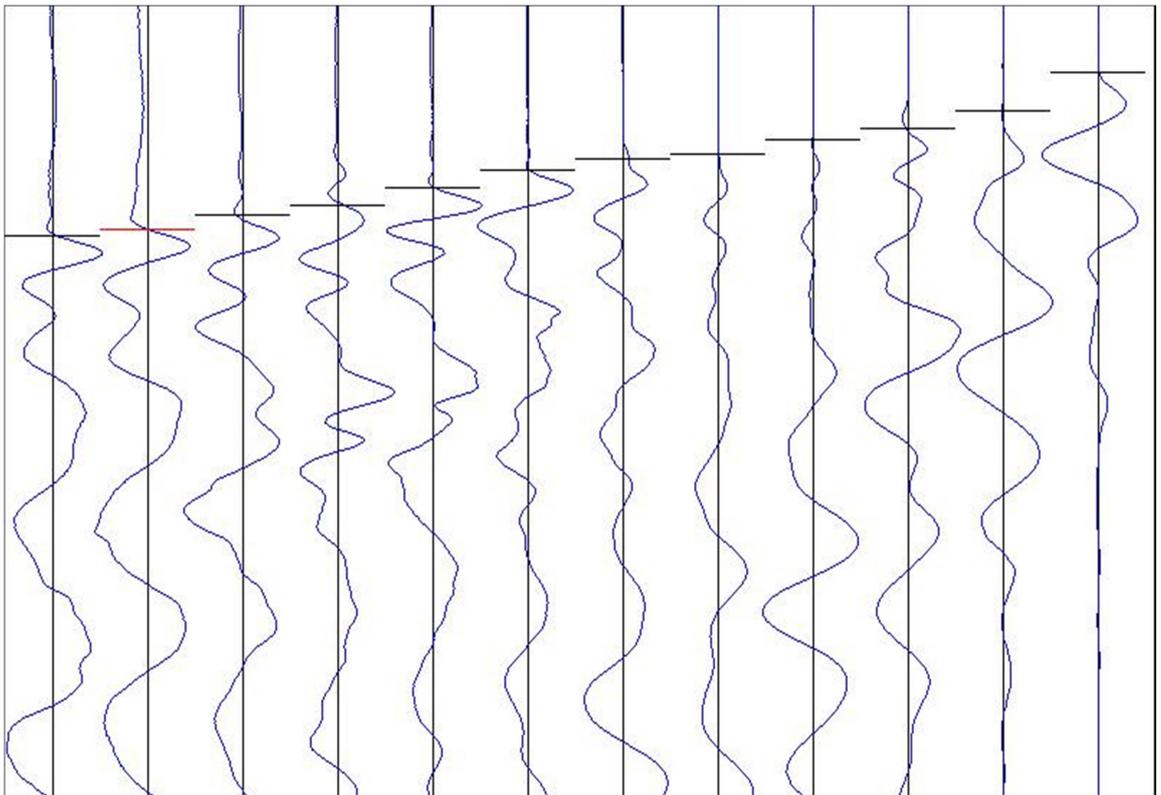
N. Strato	Spessore medio [m]	Velocità [m/s]	Peso di volume [t/mc]	Modulo elastico E_{din} [Kg/cmq]
1	1.5	305.01	1.8 – 1.9	4000 – 5000
2	3.5	1229.51	2.0 – 2.2	10000 – 16000
3	-	2505.08	2.2 – 2.3	58000 – 70000

PRIMI ARRIVI SISMOGRAMMI

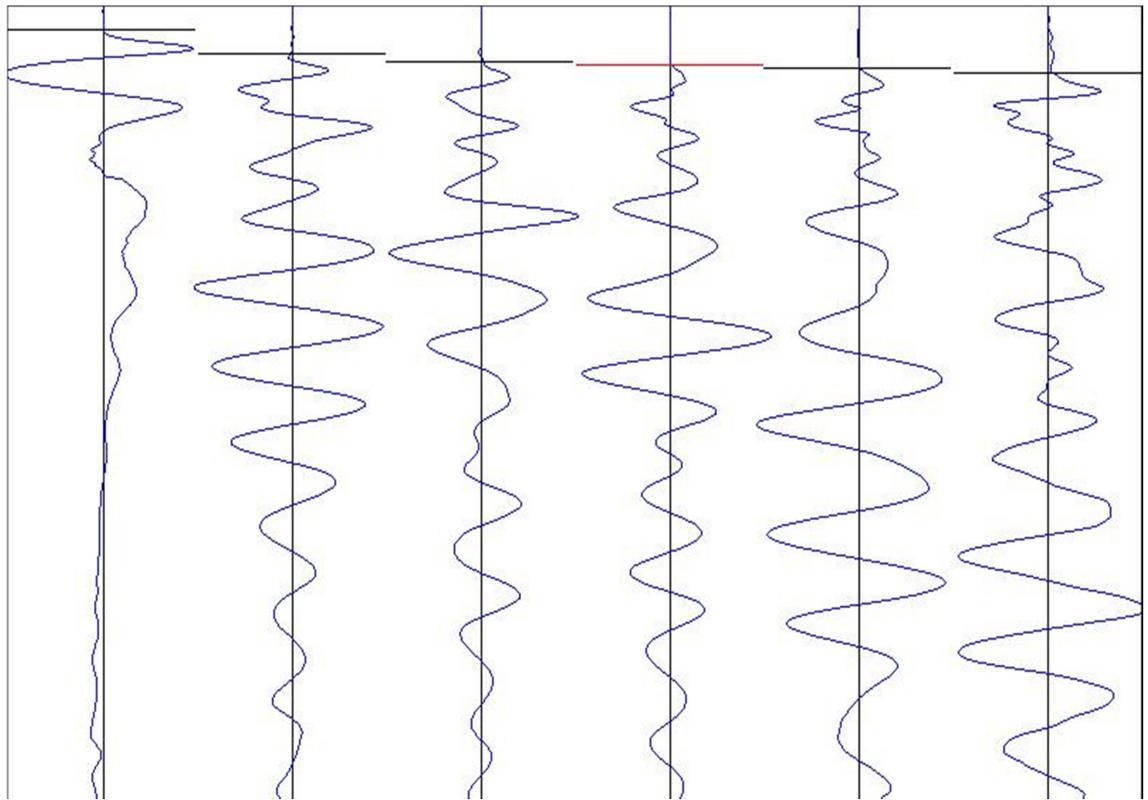
Sismogramma di andata



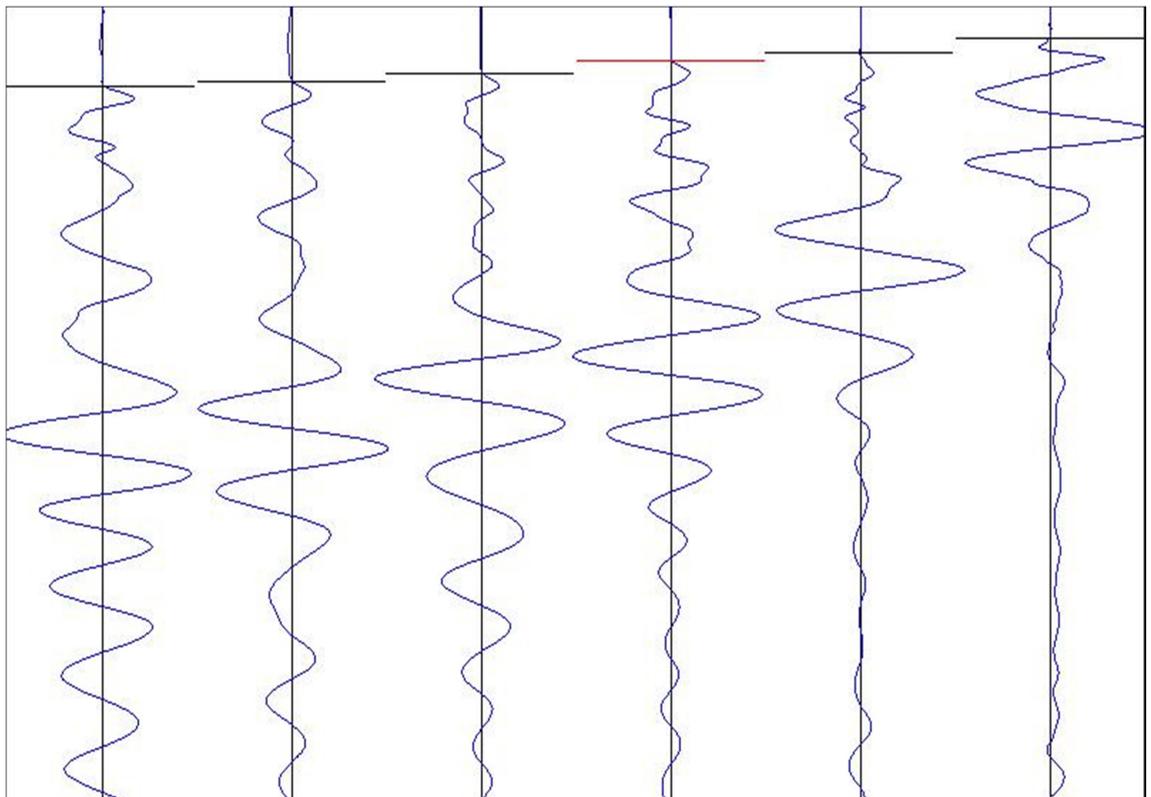
Sismogramma di ritorno

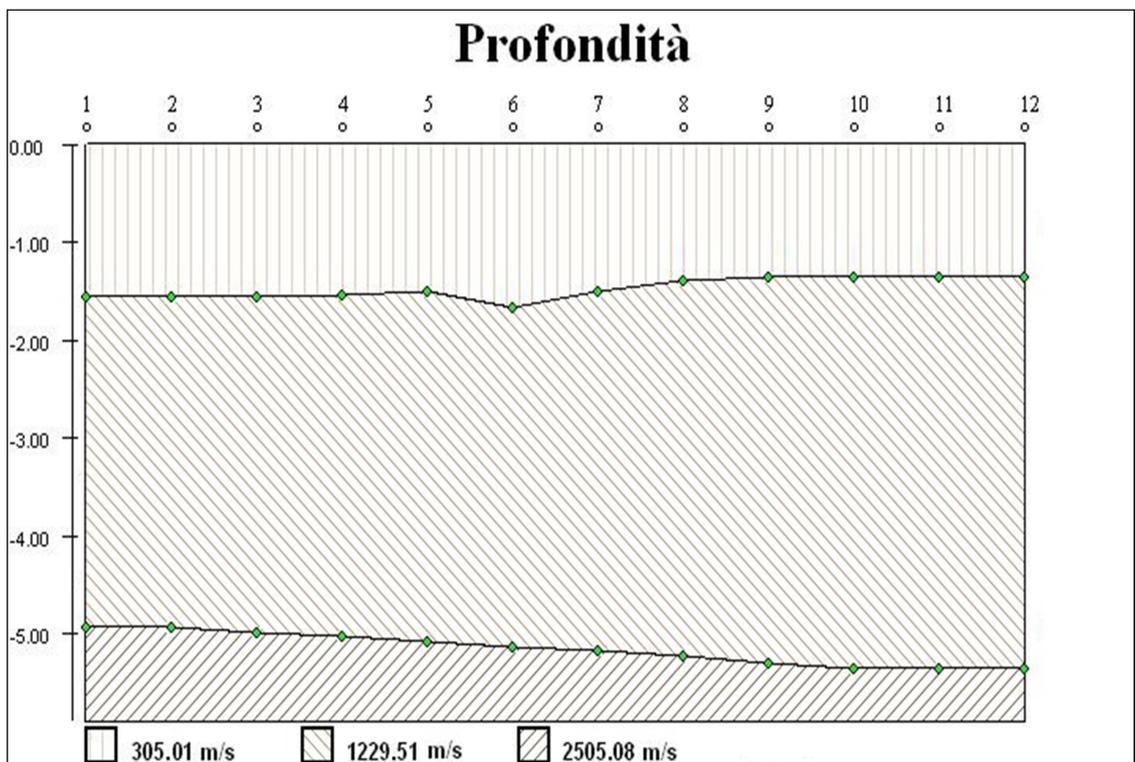
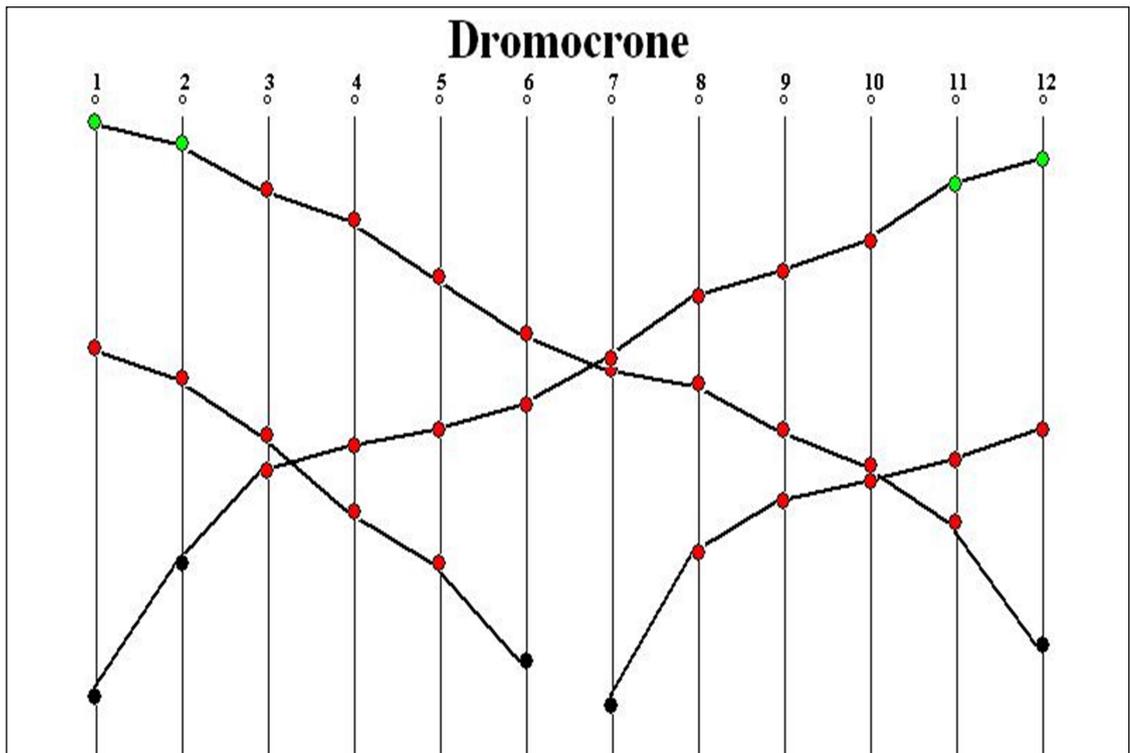


Sismogramma centrale destro



Sismogramma centrale sinistro





Caratterizzazione geotecnica dei litotipi

Dall'insieme delle indagini geognostiche è possibile sinteticamente riconoscere 5 unità litologiche che possono essere contraddistinte dai seguenti parametri geomeccanici.

<p>Unità litotecnica A</p>	<p><i>Limi sabbiosi e argillosi alluvionali e/o palustri</i></p> <p>Peso dell'unità di volume $\gamma = 1.67 \text{ g/cm}^3$ angolo di attrito interno $\phi' = 29^\circ$ coesione efficace $c' = 0.01 \text{ Kg/cm}^2$ coeff. di Poisson $\nu = 0,34$</p>
--------------------------------	---

<p>Unità litotecnica B</p>	<p><i>Depositi Marini Terrazzati</i></p> <p>Peso dell'unità di volume secco $\gamma_d = 1,85 \text{ g/cm}^3$ $\gamma = 1,85 \text{ g/cm}^3$ peso di volume allo stato saturo $\gamma_{\text{sat}} = 1,9 \text{ g/cm}^3$ angolo di attrito $\phi' = 29^\circ$ coesione efficace $c' = 0,08 \text{ Kg/cm}^2$ Porosità = 35%-45% Indice dei Vuoti $e = 0,6 \div 0,9$ coeff. di Poisson $\nu = 0,46$ tensioni di rottura per compressione monoassiale: tra $s_r = 4 \text{ kg/cm}^2$ e $s_r = 100 \text{ kg/cm}^2$ ($\sigma_{\text{Med}} = 20 \text{ kg/cm}^2$)</p>
--------------------------------	--

<p>Unità litotecnica C</p>	<p><i>Argille limose grigiastre e giallastre alterate ascrivibili alla parte superiore della formazione geologica delle "Argille subappennine".(pleistocene inf.)</i></p> <p>Peso dell'unità di volume (tot.) $\gamma: 2,02 \text{ g/cm}^3$ Contenuto naturale d'acqua (w) 25,73 % Coesione (c'): = $1,04 \text{ Kg/cm}^2$ Angolo d'attrito (ϕ'): 18° Coesione non drenata (C_u): $1,76 \text{ Kg/cm}^2$</p>
--------------------------------	---

<p>Unità litotecnica D</p>	<p><i>Argille limose consistenti di colore grigio azzurrognolo con buone caratteristiche di plasticità (Argille sub-appennine – Pleistocene inferiore)</i> Peso dell'unità di volume γ: 2,0 g/cm³ Contenuto naturale d'acqua (w) 26,93 % Coesione (c'): = 1,32 Kg/cm² Angolo d'attrito (ϕ'): 17° Coesione non drenata (Cu): = 2,47 Kg/cm²</p>
<p>Unità litotecnica E</p>	<p><i>Calcareniti di Gravina</i> Peso dell'unità di volume γ = 1,90 g/cm³ Coesione (c'): = 2,50 Kg/cm² Angolo d'attrito (ϕ'): 30° Modulo di Poisson ν = 0,33 Resistenza a compressione: σ_c = 16 – 37 Kg/ cm²</p>

Modello Geologico e geotecnico

L'area interessata dalla presenza dell'edificio scolastico risulta essere posta lungo un versante esposto ad occidente con inclinazione pressoché pari al 2%. L'edificio di pianta rettangolare segue la pendenza del versante. Non si osservano dissesti geomorfologici in atto o pregressi. Non sono state rilevate falde acquifere superficiali.

Le strutture di fondazione poggiano sui termini delle unità litologiche C e D (litotipi prevalentemente argillosi). Sulla base delle informazioni di letteratura scientifica nonché sui dati ottenuti dalle indagini geognostiche eseguite, questi litotipi possono essere considerati come litotipi argilloso limoso marnosi, fortemente sovraconsolidati, specialmente nella parte del litotipo C dove si risente degli effetti dei fenomeni di essiccamento superficiale. Questi litotipi in presenza d'acqua tendono a rigonfiare. Le azioni di idratazione ed essiccamento portano ad una rottura dei legami di cementazione di natura carbonatica e ad una liscivazione dei sali. Persa l'azione legante dei carbonati e delle forze di natura elettrochimica le particelle argillose sono libere di idratarsi dando luogo a rigonfiamenti anche notevoli.



Figura – Posizione dell'edificio rispetto al versante

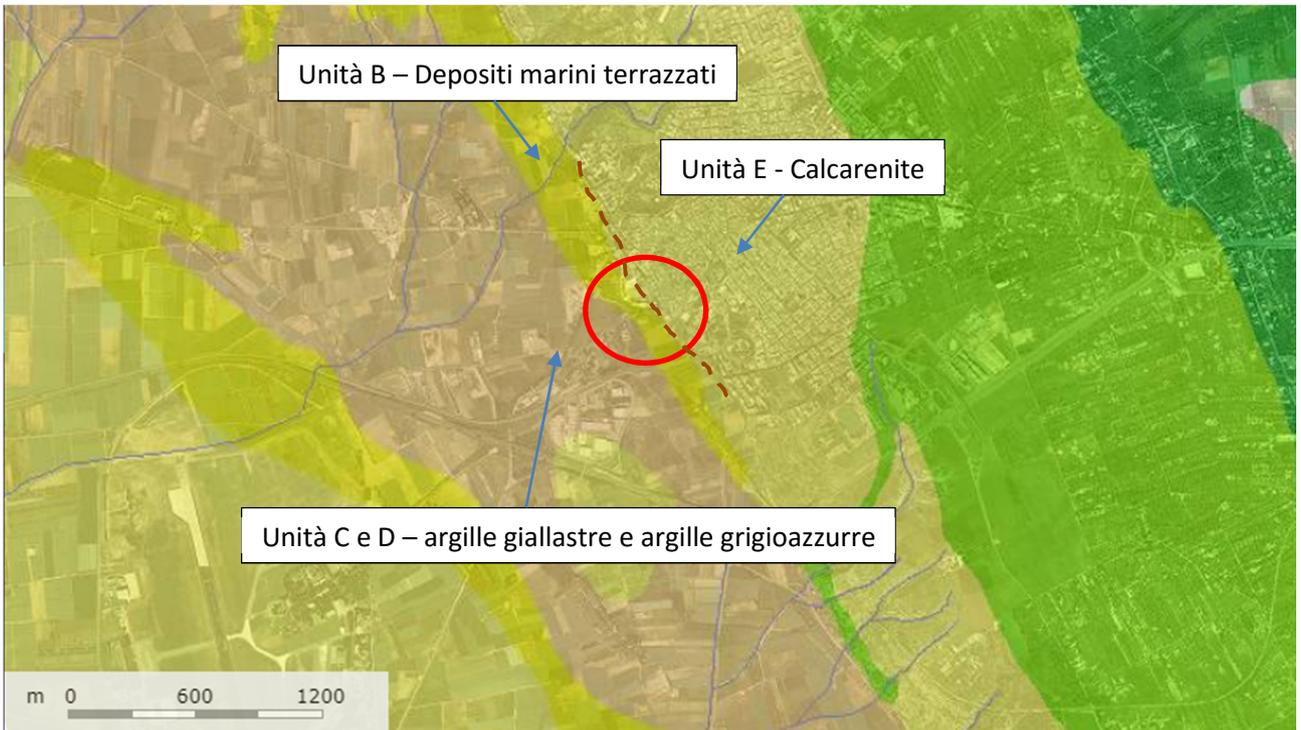


Figura - Carta geomorfologica dell'area dell'edificio scolastico; in tratteggio il ciglio superiore del versante

Ai fini dell'azione sismica di progetto, nell'area di indagine, la categoria di suolo di fondazione rientra nella **classe B** (tab.3.2.II, NTC 2018). Non si riscontrano condizioni di amplificazione topografica.

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

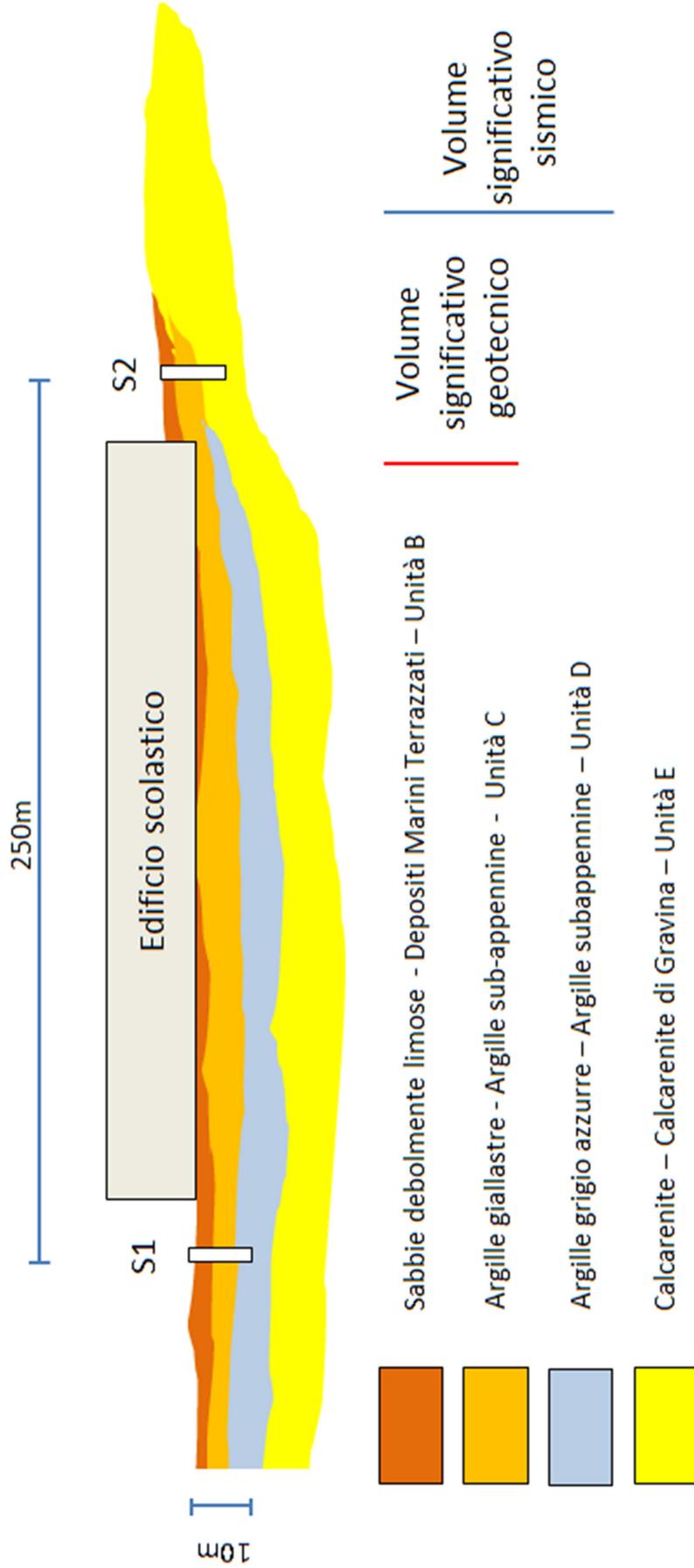
Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

NTC 2018

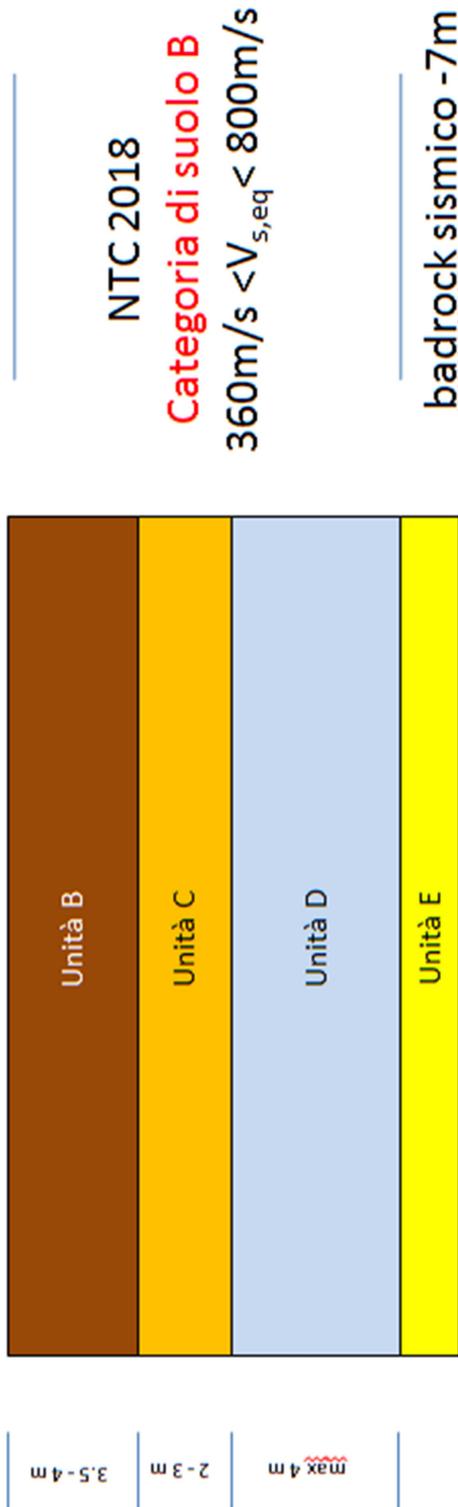


Prof. Geol. Alessandro Reina

Modello geologico



MODELLO GEOTECNICO



litologia	Coefficiente di Poisson (μ)	γ Peso di volume g/cm^3	Modulo Elastico dinamico (Kg/cm^2)	Coesione C' kg/cm^2	Angolo di attrito (ψ) ($^\circ$)
B	0,40 – 0,45	1,9	5000-8000	0,08	28°
C	0,20 - 0,35	2,0	28000 - 30000	1,2	18°
D	0,25 – 0,30	2,0	22000 - 28000	1	17°
E	0,30 - 0,40	2,1	48000 - 70000	2,5	30°