



COMUNE DI TURI

AMPLIAMENTO DELLA STRUTTURA TURISTICO RICETTIVA
"RELAIS VILLA MENELAO"
ART. 8 D.P.R. 160/2010 - D.G.R. 21 novembre 2022 n° 1631



PROPRIETA':



Villa Menelao S.r.l.
Società Uninomiale
Via Le Ginestre II, Tratto 1 - 70010 TURI (BA)
P. IVA e C.F.: 04795040726

VILLA MENELAO s.r.l.
Società Uninomiale
Via Le Ginestre II - 70010 TURI (Ba)
P. IVA 04795040726

PROGETTO:

ARCHITETTURA:



architetto
giuseppe romanazzi



STRUTTURE:

Ing. Vito Colaiani



URBANISTICA:

Ing. Antonio Colaiani



IMPIANTI:



GNT PROGETTI S.r.l.
Ing. Angelo Gentile



GEOLOGIA ED AMBIENTE:



Geologo Pasquale Pirulli



OGGETTO:

Relazione Studio Geologico

TAV.

F

SCALA

DATA

04.03.2023

03					
02					
01	AGGIORNAMENTO				04.03.2023
00	EMISSIONE				30.08.2021
REV.	DESCRIZIONE - Description	RED. - Prep.d	CONTR. - Chk'd	APPR. - Appr.d	DATA - Date

Sommario

1. PREMESSA	1
2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO	2
3. UNITA' DELLA PIATTAFORMA CARBONATICA APULA	7
4. UNITÀ DELLA FOSSA BRADANICA	8
5. DEPOSITI ALLUVIONALI	11
6. CARATTERI STRUTTURALI PRINCIPALI DELL'AREA DI STUDIO	12
7. GEOMORFOLOGIA	14
8. IDROGEOLOGIA DELL'AREA IN ESAME	17
9. INDAGINE SISMICA MASW	20
10. INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE	25
11. INDAGINI DIRETTE ESEGUITE IN PASSATO	30
12. VALUTAZIONE DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE	33
13. ANALISI GEOTECNICA DEI LITOTIPI E CONCLUSIONI	38

1. PREMESSA

La società Villa Menelao S.r.l. ha affidato allo scrivente, Geol. Pasquale PIRULLI, l'incarico professionale di redigere una relazione geologica del territorio, ubicato in agro di Turi (BA) in contrada "Maggipinto" (fig. 1), interessato dalla realizzazione di una struttura turistico-ricettiva.

Al fine di definire le caratteristiche geologiche, geomeccaniche, geomorfologiche dell'area d'interesse e i caratteri della circolazione idrica sotterranea sono state effettuate apposite indagini anche in quelle zone ad essa limitrofe.

Lo studio è consistito di:

1. rilevamento geologico di superficie, integrato dall'analisi delle foto aeree dell'area oggetto di studio;
2. censimento di pozzi per acqua esistenti in zona per l'acquisizione dei dati stratigrafici ed idraulici;
3. raccolta ed analisi dei dati geologici, geomorfologici, geofisici, geotecnici ed idrogeologici derivanti da studi precedentemente svolti e da quelli emersi in situ;
4. nell'acquisizione d'informazioni di carattere stratigrafico e tettonico attraverso gli scavi e le incisioni esistenti nell'area adiacente a quella oggetto d'intervento;
5. esecuzioni di indagini geofisiche (tomografie sismiche e masw).

La relazione è stata redatta secondo quanto disposto dal D.M. 11/03/1988 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni...", nonché nel rispetto dei punti 6.2.1. e 6.2.2. del vigente D.M. Infrastrutture del 17.01.2018 e relativa Circolare 21 gennaio 2019, n. 7, C.S.LL.PP.

In particolare nel presente lavoro si è cercato di individuare la successione stratigrafica, la potenza dei litotipi, le variazioni laterali, la presenza e distribuzione d'eventuali vuoti e/o cavità di varia genesi, nonché le caratteristiche meccaniche dei terreni presenti.

Le considerazioni che si riportano, quindi, derivano dalle risultanze degli accertamenti geologici eseguiti in zona, da studi di fotointerpretazione, dall'esito dei lavori effettuati in situ e dalle Note Illustrative della Carta Geologica 190 "Monopoli" in scala 1: 100.000 e da quelle della carta al 50.000 del progetto CARG.

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area oggetto di studio, dal punto di vista geodinamico fa parte dell'Avampaese apulo (Auctt.), ricade a cavallo di due fogli geologici della IIa edizione della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000 (F° 190 "Monopoli" e F° 178 "Mola di Bari").

Il quadro geologico locale è relativamente semplice; infatti, sui calcari cretacei blandamente tettonizzati di una piattaforma carbonatica mesozoica (Piattaforma apula), che costituiscono il substrato dell'intera regione murgiana, poggiano in discordanza unità pleistoceniche di avanfossa (Calcarenite di Gravina ed Argille Subappennine), che rappresentano la porzione trasgressiva del ciclo della Fossa bradanica sui margini dell'Avampaese apulo.

In discordanza su tutte le unità più antiche si rinvengono infine unità marine e continentali terrazzate del Pleistocene medio e superiore, oltre a depositi alluvionali olocenici. Inoltre, anche se l'area presenta un grado di deformazione tettonica piuttosto basso, sono state riconosciute blande pieghe ad ampio raggio di curvatura e faglie ad alto angolo. Gli eventi che hanno caratterizzato l'evoluzione geologica del territorio pugliese possono essere messi in relazione con la geodinamica di un esteso tratto crostale corrispondente con la parte settentrionale della Placca africana (Piastra apula sensu LORT, 1971 o Promontorio africano sensu CHANNEL et alii, 1979) a partire dal Paleozoico superiore. L'area pugliese presenta una struttura crostale uniforme con un basamento cristallino varisco ed una copertura sedimentaria spessa oltre 7 chilometri (RICCHETTI et alii, 1988). Tale successione è stratigraficamente contrassegnata da facies terrigene fluvio-deltizie (red beds) permo-triassiche (Verrucano), da evaporiti triassiche (Anidriti di Burano) e da una potente impalcatura carbonatica di piattaforma di età giurassico-cretacea.

La successione carbonatica cretacea affiorante in corrispondenza del settore delle Murge faceva parte di un dominio di piattaforma carbonatica (Piattaforma apula sensu D'ARGENIO, 1974), soggetto a tassi di subsidenza sostanzialmente costanti in un contesto geodinamico di margine passivo. Durante la tettonogenesi appenninico-dinarica gran parte dell'attuale territorio pugliese (Gargano, Murge e Salento) ha svolto il ruolo di avampaese (Avampaese apulo) per le catene con opposta vergenza degli Appennini e delle Dinaridi-Albanidi-Ellenidi (e.g. RICCHETTI et alii, 1988; ARGNANI et alii, 1993; DE ALTERIIS & AIELLO, 1993). In particolare, l'Avampaese apulo è costituito in prevalenza da una regione carbonatica autoctona poco deformata, che si riconosce sia in aree emerse (unità stratigrafico-strutturali Murge-Gargano di D'ARGENIO et alii, 1973) che sommerse (Apulian swell di ROSSI & BORSETTI, 1974 e AUROUX et alii, 1985 verso SE e Rospo Mare di DOULCET et alii, 1990 verso NO). Fra il Miocene ed il Pleistocene inferiore la migrazione verso est del sistema subappenninico produsse il progressivo inarcamento della placca adriatica che subì dei cedimenti sui margini appenninico e dinarico in relazione alla formazione di opposte gradinate di faglia (RICCHETTI & MONGELLI, 1980; RICCHETTI et alii, 1988). La migrazione verso est della catena coinvolse nella migrazione anche l'avanfossa appenninica plio-pleistocenica (CASNEDI et alii, 1982; CASNEDI, 1988) che, nel tratto pugliese, si differenzia rispetto alle restanti parti del bacino per essere delimitata ad ovest dai rilievi appenninici, e ad est da quelli dell'Avampaese apulo emerso (MIGLIORI-NI, 1937; SELLI, 1962b).



Fig. 1 – Stralcio Tav. IV N.E. "Rutigliano" del F° I.G.M. 190 in scala 1:25.000.

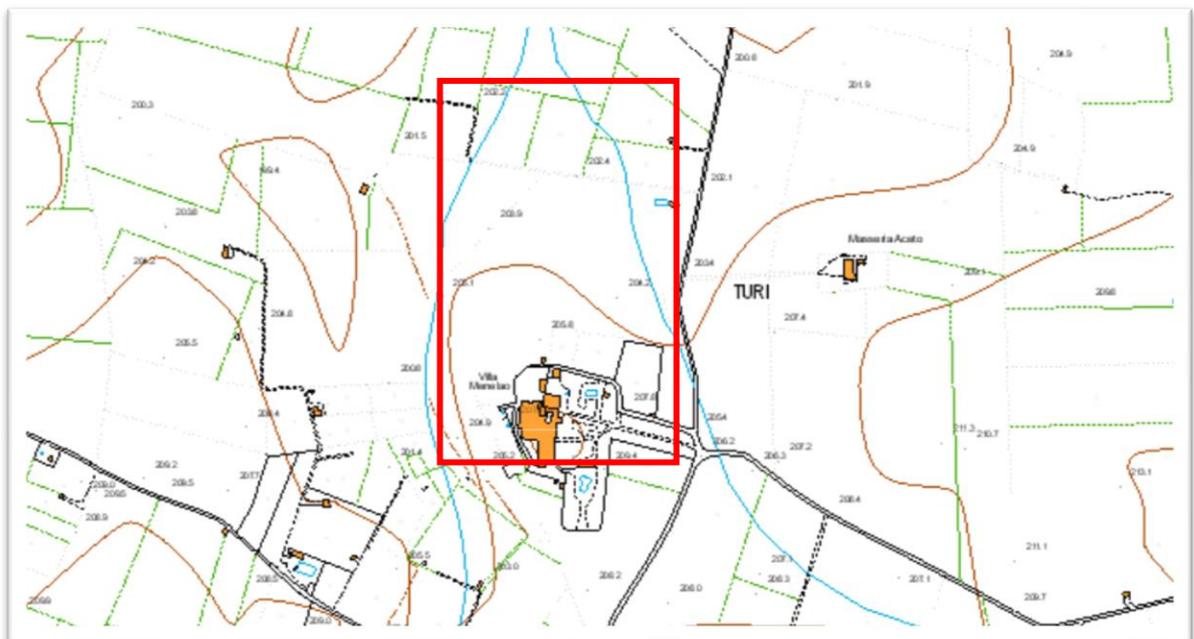


Fig. 2 – Stralcio CTR in scala 1: 8.000.

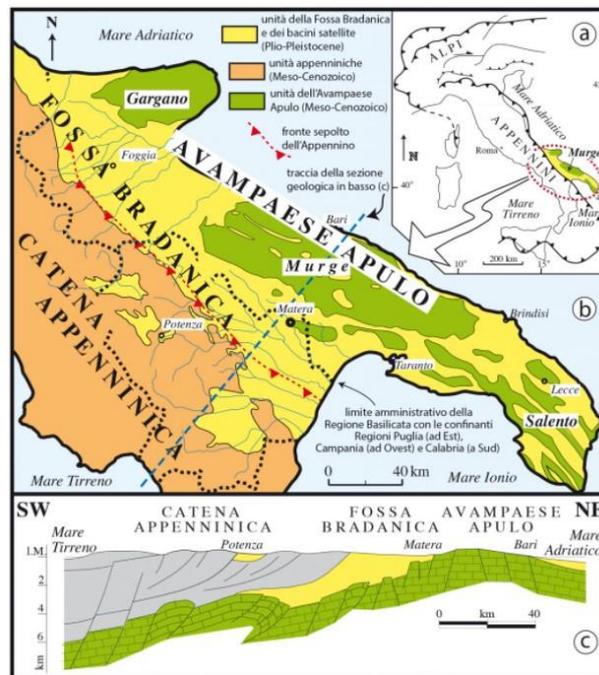


FIGURA 3 - SCHEMA GEOLOGICO DELLA PUGLIA (MOD., DA PIERI ET ALII, 1997).

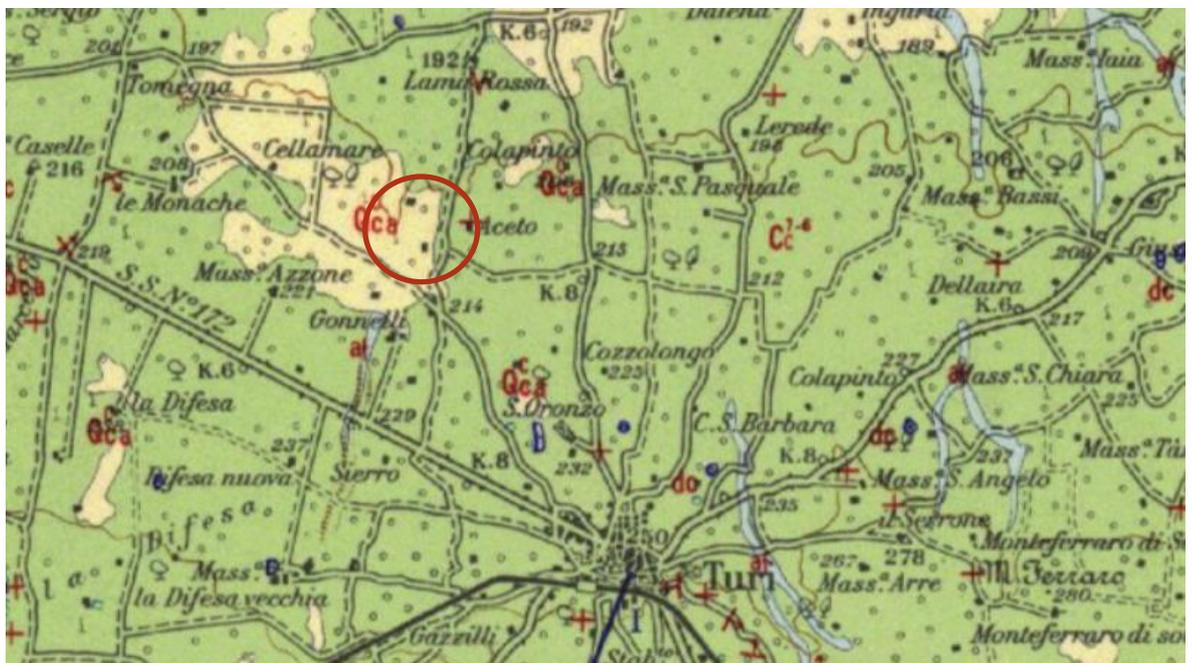


Fig. 4 – Carta Geologica in scala 1: 100.000.

sedimentazione si è necessariamente differenziata per ambienti, facies e spessori. Relativamente alle aree marginali prospicienti le porzioni più sollevate ed emerse dell'Avampaese apulo (rilievi del Gargano, delle Murge alte e delle Serre Salentine), la sedimentazione si è propagata su un substrato carbonatico subsidente, su cui si sono depositati sedimenti carbonatici costieri sia intrabacinali che terrigeni, questi ultimi rappresentati dal materiale clastico proveniente dall'erosione dei rilievi carbonatici mesozoici. In tali condizioni si è avuta la sedimentazione delle calcareniti e calciruditi di ambiente costiero (Calcarenite di Gravina), che rappresentano i depositi trasgressivi che marcano l'inizio del ciclo della Fossa bradana in aree di avampaese; successivamente, con l'approfondimento del bacino, la sedimentazione carbonatica è stata sostituita da quella terrigena, per l'arrivo di abbondanti apporti silicoclastici di provenienza appenninica (argille subappennine) che coprono stratigraficamente in continuità di sedimentazione i carbonati della Calcarenite di Gravina (IANNO-NE & PIERI, 1979; Tropeano & Sabato, 2000; TROPEANO et alii, 2002a).

Durante il tardo Pleistocene inferiore, l'avampaese, unitamente all'avanfossa, da area subsidente ha incominciato un lento e continuo sollevamento (CIARANFI et alii, 1983; DOGLIONI et alii, 1994; 1996). Tale sollevamento regionale ha causato il graduale ritiro del mare in seguito al quale le aree a sedimentazione marina sono state sostituite da terre emerse. In tale contesto, l'interferenza tra il sollevamento regionale e le oscillazioni glacio-eustatiche avrebbe determinato la successione di numerose fasi sedimentarie, distinte nel tempo e nello spazio, ciascuna delle quali testimoniata da un deposito di ambiente costiero con trend regressivo (depositi marini terrazzati sensu CIARANFI et alii, 1988). Inoltre, tali depositi regressivi sono disposti in terrazzi a quote progressivamente più basse procedendo verso mare, in modo tale che i depositi posti a quote più elevate corrispondono a quelli più antichi, mentre quelli posti a quote più basse a quelli più recenti.

3.UNITA' DELLA PIATTAFORMA CARBONATICA APULA

3.1. CALCARE DI BARI

La successione del Calcarea di Bari affiora estesamente in gran parte dell'abitato di Turi e rappresenta il substrato sedimentario su cui poggiano tutte le unità più recenti.

Le migliori esposizioni sono state osservate in corrispondenza di trincee stradali, scavi per fondazioni, e di alcuni scavi effettuati recentemente in zona.

In generale il Calcarea di Bari è costituito da calcari microfossiliferi bianchi e grigio chiari in strati di spessore decimetrico e metrico costituiti da litofacies a tessitura prevalentemente fango-sostenuta (mudstone/wackestone biopeloidali e bindstone stromatolitici) e subordinatamente granulato-sostenuta (packstone/grainstone bioclastici e biopeloidali) a luoghi interessati da diagenesi meteorica e/o da pedogenesi (floatstone/rudstone intraclastici in matrice argillosa residuale) con frequenti intercalazioni di calcari dolomitici e di dolomie grigie. Nella parte inferiore ed intermedia della successione si intercalano bancate massive di calcari dolomitici grigi e di dolomie grigio scuro con tessitura dolomicritica e dolosparitica.

La successione studiata mostra associazioni di facies piuttosto omogenee ad eccezione del contenuto macro e microfossilifero e della peculiare ricorrenza all'interno della successione di calcari dolomitici e di dolomie.

Tali rocce affiorano nell'area interessata e gli affioramenti sono isolati e mal definiti; di norma gli strati sono poco esposti per la configurazione quasi pianeggiante e per le estese coperture di terreno agrario.

Gli spessori degli strati sono variabili, e generalmente compresi tra i 20 e i 40 cm, con inclinazioni che non superano i 30°. Il colore della roccia varia dal biancastro al nocciola, al grigio chiaro.

Gli studi, da me effettuati soprattutto in zona Pozzovivo (P. PIRULLI, 1989), hanno permesso, da un punto di vista litologico, di definire tali rocce delle calcareniti, calcilutiti e dolomie calcaree ben diagenizzate.

Tali litofacies sono costituite, in genere, da micriti con plaghe di calcite spatica; sono presenti peloidi e cristalli romboedrici dolomitici. I bioclasti, presenti in quantità variabile, sono rappresentati soprattutto da Miliolidi, Ostracodi ed Alghe.

Nel loro complesso gli strati del Calcarea di Bari, localmente esposti, presentano facies di piattaforma carbonatica interna con episodi di tipo lagunare.

L'età è riferibile al passaggio Cenomaniano sup. - Turoniano inf. per la presenza, soprattutto in zona Pozzovivo, tra i Miliolidi di *Cisalveolina fallax*.

4. UNITÀ DELLA FOSSA BRADANICA

4.1. CALCARENITE DI GRAVINA

La Calcarenite di Gravina affiora in lembi più o meno estesi nella zona a nord di Turi. Lo spessore massimo affiorante è molto variabile, da pochi decimetri fino ad un massimo di circa 4 m. Questo dato è confermato anche dai numerosi sondaggi geognostici.

Il termine Calcarenite di Gravina, formalizzato da AZZAROLI (1968) per i depositi calcarenitici di età calabrianica affioranti lungo il bordo bradanico delle Murge, è stato successivamente esteso da IANNONE & PIERI (1979) ai depositi calcarenitici del tutto simili per posizione stratigrafica, età e significato paleoambientali, presenti sul versante adriatico delle Murge. A tale proposito si ricorda che nelle carte geologiche della precedente edizione della Carta Geologica d'Italia (F°177 "Bari", F°178 "Mola di Bari", F°189 "Altamura" e F°190 "Monopoli") relative all'area compresa nel F° 438 "Bari", questa formazione è riportata con i termini "Tufi delle Murge" (p.p.) o "tufo" (p.p.).

Le facies tipiche della Calcarenite di Gravina sono costituite da calcareniti e calciruditi lito-bioclastiche che, tranne eccezioni rappresentate da sedimenti siltoso-sabbiosi a luoghi presenti alla base, poggiano direttamente sui calcari cretaci. In questo caso il contatto è rappresentato da una superficie di abrasione marina, frequentemente marcata da discordanza angolare, interpretata come una superficie di ravinement di lungo periodo (TROPEANO & SABATO, 2000) e più genericamente come una superficie di trasgressione diacrona a livello regionale (PIERI, 1980).

Tale superficie di abrasione è caratterizzata dalla presenza di abbondanti tracce di bioerosione che rappresentano la testimonianza di colonizzazione da parte di una fauna endolitica poco differenziata (*Trypanites* ichnofacies) (D'ALESSANDRO & IANNONE, 1983).

Il contatto trasgressivo è ovunque ben evidente per il contrasto litologico fra i sottostanti calcari micritici del Cretacico e la soprastante unità calcarenitica, dovuto ai diversi caratteri tessiturali e al diverso grado di cementazione. Più comunemente e per spessori più significativi, fino ad un massimo di circa 20 m, la Calcarenite di Gravina è costituita da strati e banchi sub orizzontali di calcareniti e calciruditi bio-clastiche e di calcari organogeni ad alghe calcaree, scarsamente cementati e porosi.

La stratificazione, generalmente mal distinta, è messa in risalto da rare superfici di erosione e più frequentemente da orizzonti costituiti da concentrazioni di macro fossili, in genere lamellibranchi e/o alghe calcaree.

Le strutture sedimentarie di origine idrodinamica sono scarse; ciò sembra essere legato alla grande diffusione di tracce fossili e bioturbazioni, così abbondanti da caratterizzare alcune litofacies.

Dal punto di vista tessiturale si tratta in prevalenza di packstone, e/o di packstone-grainstone, costituiti quasi esclusivamente da bioclasti, con più o meno abbondante matrice bioclastica fine, rari litoclasti cretaci e scarso cemento intergranulare.

I caratteri osservati permettono di attribuire queste successioni ad un sistema carbonatico di mare sottile; poiché i sedimenti, già di ambiente marino, risultano preservati al di sopra di una superficie di abrasione bioerosa in ambiente marino, TROPEANO & SABATO (2000) hanno suggerito a livello regionale che la trasgressione possa aver cancellato, tranne che nelle paleo depressioni morfologiche, tutte le testimonianze del lungo periodo di emersione dal tetto del substrato cretaceo.

La presenza di ciottoli calcarei nella parte bassa di queste successioni testimonia che, durante la trasgressione, si potevano costituire piccole ed effimere spiagge ghiaiose.

La gran parte delle successioni si depositava in ambiente di offshore dove anche la porzione bioclastica era soggetta al moto ondoso solo durante eventi eccezionali. Questo spiega l'intensa bioturbazione presente nell'intera serie e la sporadica presenza di superfici di strato e/o di orizzonti a macro fossili.

Per quanto riguarda l'età della Calcarenite di Gravina numerosi studi (AZZAROLI et alii, 1968a; AZZAROLI & VALDUGA, 1967; MERLA & ERCOLI, 1971; IANNONE & PIERI, 1979; D'ALESSANDRO & IANNONE, 1983) riferiscono un'età Pleistocene inferiore (Gelasiano-Calabriano Gelasiano? - Calabriano).

In particolare, all'interno del deposito calcarenitico, presente nell'area oggetto d'intervento, sono osservabili orizzonti dell'ordine del decimetro più cementati.

Si osserva la presenza, altresì, di noduli calcitici di colore bianco con diametro anche dell'ordine del centimetro; sono costituiti da areniti a matrice carbonatica poco classata, in cui sono presenti sferule di calcite d'origine pedogenetica.

L'intero deposito calcarenitico osservabile presenta un colore variabile dal giallastro al biancastro; non si osservano strutture plicative, ma semplicemente un assetto massivo e tabulare, infatti, sono spesso assenti lineazioni, lamine o superfici di stratificazione.

Per quanto concerne l'area che costituirà l'ampliamento dell'opificio, essa è caratterizzata dalla presenza di depositi biocalcarenitici e sabbiosi che passano verso l'alto a limi sabbioso-argillosi.

Tale deposito biocalcarenitico risulta formato da grani costituiti da bioclasti (Ostrea, frammenti di Alghe calcaree, Foraminiferi bentonici e Briozoi) ed in parte da frammenti cretacei provenienti dal disfacimento del substrato carbonatico. Per quanto concerne la tessitura essa è grano-sostenuta (packstone e grainstone).

Tali rocce risultano ben diagenizzate e non si osservano laminazioni.

I caratteri granulometrici, tessiturali e sedimentologici indicano, per alcuni tratti della successione, condizioni ambientali di alta e media energia.

Nel territorio in esame tali depositi affioranti del Pleistocene medio-superiore si ritrovano in lembi piuttosto estesi e sono attribuiti all'unità formazionale "Calcarenite di Gravina".

Si tratta di sedimenti biocalcarenitici e biocalciruditici in grossi banchi con intercalazioni calcilutitiche alla cui base possono essere presenti, lungo zone depresse, argille e limi calcarei continentali.

I sedimenti affiorano estesamente in località "Mass. Le Monache" con spessore variabile dai pochi metri ai 30 m.

Da una attenta ricostruzione litostratigrafia condotta dalla collega Francesca Lasalandra in località "Le Monache" emerge alla base del deposito la presenza per circa 60 cm terra rossa argillosa rossastra e costituente un paleosuolo completamente privo di contenuto faunistico.

Segue verso l'alto un livello di 20-30 cm di calcare micritico più o meno compatto per cementazione spiritica di colore biancastro con all'interno una discreta presenza di gusci di ostracodi.

Una netta superficie di separazione ad andamento irregolare segna il passaggio verso l'alto ad uno strato dello spessore di 30-80 cm costituito da calcare micritico ad aspetto vacuolare e con presenza di gasteropodi.

Segue una successione di sottili strati di calcari micritici dello spessore di 20-30 cm con all'interno piccoli gasteropodi e lamellibranchi.

Segue uno strato di pelite grigia con spessore di 30 cm ricoperto da calcare micritico dello spessore di 40 cm.

La successione termina con sabbie giallastre dello spessore dell'ordine del metro a grana fine e ricco di macro fossili.

Questa successione è molto rappresentativa a scala territoriale comunale perché mostra i caratteri di una trasgressione marina (accumuli di ostree) preceduta da un progressivo impaludamento (sedimenti pelitici e sedimenti carbonatici di precipitazione chimica).

Sotto l'aspetto stratigrafico l'area in esame appartiene molto probabilmente ai Depositi Marini terrazzati del versante adriatico e precisamente a quelli del pianoro compreso tra le scarpate di quota 200 e di quota 180 m s.l.m.



Foto 1 – Scavo in roccia calcarenitica nel sito d'interesse.

5. DEPOSITI ALLUVIONALI

A luoghi si rinvengono infine, sabbie, limi argillosi e ghiaie, eluviali e alluvionali olocenici, occupanti il fondo di aree depresse o il fondovalle di modesti corsi d'acqua.

Sono coperture di origine eluviale e/o colluviale comunemente indicate con il termine di "terra rossa".

Si tratta di terreni di origine residuale, prodotti dagli effetti dell'alterazione e della dissoluzione carsica sulle rocce calcaree e calcarenitiche affioranti e dal progressivo accumulo dei prodotti residuali insolubili di composizione non carbonatica.

La composizione chimico-mineralogica delle terre rosse ricalca molto da vicino quella del residuo insolubile delle rocce da cui si sono originate, essendo caratterizzate da una notevole abbondanza di idrossidi di ferro ed alluminio, di minerali argillosi (soprattutto illite e caolinite) e da componenti minori quali quarzo, feldspati, pirosseni, ecc.

La granulometria delle terre rosse presenta di norma un ampio intervallo di variazione, poiché dipende spesso dalle caratteristiche genetiche ed evolutive dei singoli depositi. In linea di massima si tratta, nella maggior parte dei casi, di terreni composti da particelle delle dimensioni del limo e/o delle sabbie fini, con una discreta presenza di frazione argillosa: si va pertanto - dal punto di vista granulometrico - dalle sabbie limose ai limi sabbioso-argillosi, con variazioni sensibili ed imprevedibili anche nell'ambito di uno stesso deposito.

Le terre rosse possono presentarsi con caratteristiche sia di depositi eluviali che colluviali, vale a dire sia come prodotto di alterazione e disfacimento della roccia in posto che come accumulo di materiali rimossi (ad esempio, ad opera delle acque dilavanti o di ruscellamento) dalla loro posizione originaria e ridepositati in corrispondenza di aree morfologicamente più depresse.

Le coperture eluviali presentano di norma spessori modesti (poche decine di centimetri).

I depositi colluviali, dal conto loro, sono concentrati quasi esclusivamente in corrispondenza di avvallamenti, cavità e depressioni di origine carsica: ciò conferisce loro caratteristiche geometriche e di spessore - sino a parecchi metri - estremamente mutevoli ed imprevedibili, connesse all'andamento morfologico del substrato.

6. CARATTERI STRUTTURALI PRINCIPALI DELL'AREA DI STUDIO

Il motivo strutturale che caratterizza l'intera area è rappresentato da un assetto a monoclinale dei calcari del Cretaceo, sui quali poggiano in netta discordanza ed in assetto orizzontale i sottili depositi quaternari.

Si tratta di una estesa struttura monoclinale, comune a tutta l'area delle Murge, immergente verso i quadranti meridionali. A causa di quest'assetto, la parte più antica della successione cretacea affiora lungo il litorale adriatico.

La struttura regionale è localmente complicata dalla presenza di numerose strutture disgiuntive e, in minor misura, plicative. Le giaciture prevalenti hanno direzioni N40/60 nel settore nord-occidentale del foglio con immersioni degli strati verso SE e direzioni N100/120 nel settore orientale e meridionale del foglio con immersioni degli strati verso S-SO. In entrambi i casi le inclinazioni degli strati variano mediamente da pochi gradi fino a circa 10°-15°. Valori delle giaciture anomali rispetto al contesto generale, con inclinazioni degli strati superiori a quelli medi riscontrati, sono localmente presenti in prossimità delle principali strutture disgiuntive, dove gli strati risultano sensibilmente ruotati e basculati con inclinazioni variabili da 20° a 40° fino ad assumere direzioni contrastanti con i trend principali.

Il quadro tettonico generale è completato dall'assetto tabulare dei terreni più recenti (Calcarenite di Gravina e argille subappennine), che spesso sigillano le strutture nei calcari. Solo in pochi casi è stato osservato che la formazione calcarenitica è stata interessata da locali riattivazioni di faglie distensive determinando piccolissimi rigetti (uno o due metri).

L'altro aspetto tettonico che interessa l'intera area è dato dal sollevamento regionale che coinvolge l'intera area murgiana e che, si ritiene, abbia agito continuamente nell'ultimo milione di anni. Il sollevamento è comprovato nell'area qui considerata dalla presenza a diverse altezze (da 140 a 95 m s.l.m.) dei depositi del supersistema delle Murge, che si sono formati a quote via via decrescenti, dal più antico al più recente, nel Pleistocene medio-superiore. Un'altra prova è rappresentata dall'approfondimento, in alcuni casi molto evidente, di alcuni corsi d'acqua (lame) che hanno inciso valli strette e profonde anche nei calcari. In quest'ultimo caso, il sollevamento è comprovato dalla presenza di due ordini di depositi alluvionali terrazzati, raggruppati nel supersistema delle Lame delle Murge.

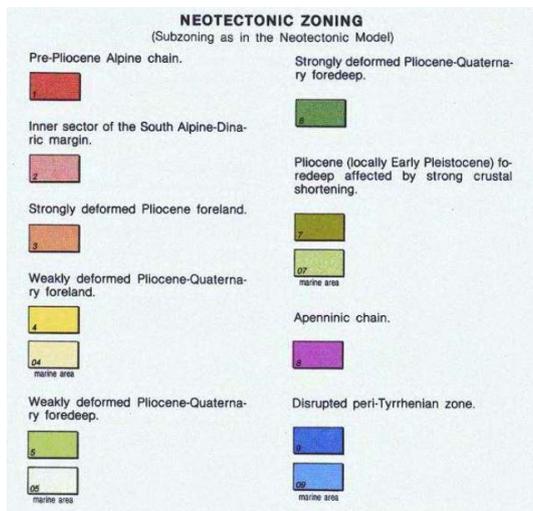
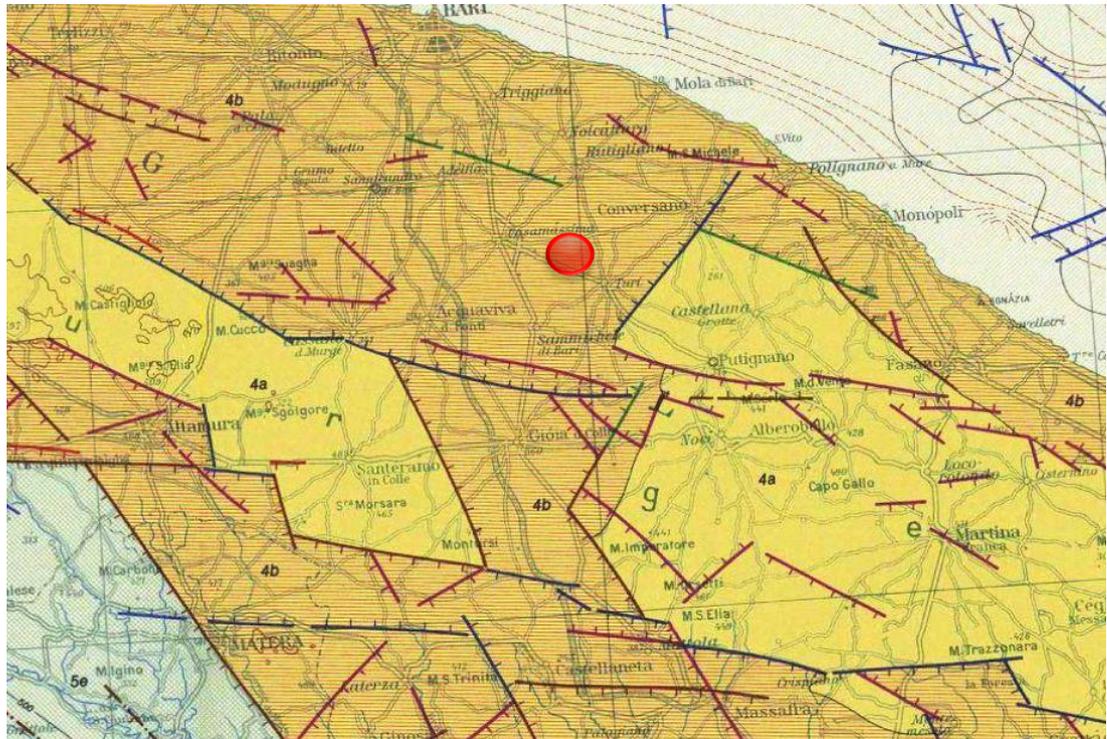


Fig. 5 - Carta Neotettonica (P. Ambrosetti et alii, 1986).

7. GEOMORFOLOGIA

La terra emersa ricadente nel F° 190 "Monopoli" fa parte integrante del rilievo murgiano; più in particolare rappresenta un settore delle Murge basse. Si estende dalla linea di costa, per il tratto compreso da Mola di Bari a Monopoli fino ai primi rilievi delle Murge, con quote massime di circa 250 m, ed è delimitata verso mare da coste prevalentemente rocciose. L'area nel suo complesso presenta un aspetto collinare con vaste aree pianeggianti dalle quali si elevano modesti rilievi via via più evidenti procedendo verso quote più elevate.

Da uno studio più sistematico sviluppatosi sia tramite la fotogeologia, sia con riscontri sul terreno, anche in quest'area è stato confermato il motivo morfologico più importante che caratterizza l'area murgiana, cioè la presenza di una serie di ripiani allungati grossomodo parallelamente alla costa e posti a quote via via più basse procedendo dall'interno verso mare (CIARANFI et alii, 1988), delimitati da altrettante modeste scarpate, riconoscibili solo per tratti. I ripiani e le scarpate, rivolte verso l'Adriatico, nel complesso rappresentano una serie di terrazzamenti marini, ognuno dei quali è definito da una superficie pianeggiante (di accumulo e/o di erosione), e da un gradino inciso nei depositi quaternari o nel substrato carbonatico. I gradini che individuano i singoli terrazzi sono stati interpretati come antiche linee di costa formatesi durante il sollevamento dell'intera area murgiana durante il Pleistocene medio-superiore.

Nell'area qui considerata sono stati riconosciuti orli di terrazzi marini alle quote 250/240, 200/180, 135/140, 95/100 e 80 m s.l.m.

In particolare, i caratteri morfologici delle aree dove affiorano i calcari cretacici sono, sia pure di poco, più aspri di quelli delle aree coperte dai sedimenti quaternari.

Le aree calcaree sono incise da numerosi corsi d'acqua, localmente detti "lame", delimitati da pareti subverticali e da corsi caratterizzati anche da brusche deviazioni e tratti a sviluppo rettilineo. In alcuni casi l'erosione lineare ha prodotto vere e proprie forre, benché poco profonde (15 m), che conferiscono localmente alla regione un aspetto molto aspro.

Benché l'area qui considerata, unitamente al resto dell'area murgiana, sia stata sottoposta ad un lungo periodo di carsificazione, i corsi d'acqua sono ben sviluppati ed il reticolo idrografico è molto articolato. Tali corsi d'acqua hanno origine sulle Murge alte e arrivano fino al mare.

Le lame sono corsi d'acqua non perenni, a fondo piatto e pareti verticali, che molto verosimilmente si sono incassati fino nel substrato calcareo per processi di sovrimposizione. Si sarebbero sviluppati, talora anche con andamenti meandrici, su aree subpianeggianti coperte da depositi quaternari facilmente erodibili, e in seguito approfonditi nei sottostanti calcari. Hanno un regime decisamente torrentizio, attivandosi solo in occasione di periodi di piogge particolarmente abbondanti. Il corso delle lame è stato condizionato anche dalla tettonica, come è dimostrato dai tratti ad andamento rettilineo in corrispondenza di zone di faglia o di intensa fatturazione.

I calcari sono stati inoltre oggetto di prolungate fasi di alterazione chimico-fisica, e anche in quest'area, benché le forme del terreno siano state attenuate o cancellate dai successivi effetti erosivo-sedimentari, su sezioni naturali o artificiali (trincee stradali, ferroviarie e pareti di scavi) è frequente osservare gli effetti del processo carsico, con cavità, condotti, e zone di collasso profonde fino a 10 m; gli effetti carsici, che si propagano fino ad una profondità osservabile di 30/40 m, sono messi in evidenza dai tipici prodotti residuali, che spesso riempiono fessure e cavità, che si sviluppano sia in senso verticale che suborizzontale (secondo i giunti di stratificazione).

Le aree occupate dai terreni quaternari mostrano un paesaggio più morbido dato da basse colline con versanti a bassissimo gradiente, che si elevano di pochi metri rispetto alle aree circostanti; ciò dipende principalmente dall'alto grado di erodibilità di questi terreni sabbioso-limosi poco cementati.

I corsi d'acqua che li percorrono incidono valli relativamente più ampie rispetto a quelle che incidono nei calcari.

Dalla distribuzione delle aree in cui affiorano i calcari e di quelle coperte dai terreni quaternari si conferma la presenza di una complessa configurazione morfostrutturale, con alti e bassi tettonici, già presente al momento dell'ingressione marina del Pliocene superiore-Pleistocene inferiore.

L'evoluzione morfogenetica dell'area è caratterizzata dalle stesse fondamentali tappe che hanno prodotto le attuali forme dell'area murgiana; infatti le Murge costituiscono un complesso morfologico, pur con alcune differenze, piuttosto uniforme.

Il principale elemento unificante è rappresentato dall'esteso corpo carbonatico cretacico, di grande spessore, che costituisce l'ossatura dell'intera regione; questo presenta caratteri litologici uniformi per essersi originariamente formato nelle stesse condizioni paleoambientali (piattaforma carbonatica interna). Unitamente agli eventi tettonici, anch'essi verificatisi sull'intero complesso carbonatico, questo elemento ancestrale (si ricorda che i calcari si sono formati dai 130 agli 80 milioni di anni fa) ha condizionato le successive tappe morfogenetiche.

I primi effetti della morfogenesi si manifestano verosimilmente all'inizio del Terziario allorché l'area delle proto-Murge emerge estesamente innescando il processo carsogenetico sia in superficie che in profondità. Inizia così la lunga fase di continentalità durante la quale il fenomeno carsico ha tempo per propagarsi a grandi profondità, in conseguenza del progressivo abbassamento del livello di base anche di diverse centinaia di metri. A determinare la lunga fase di continentalità, protrattasi per quasi tutto il Terziario, sono stati sia eventi tettonici (orogenesi appenninica), sia climatici (crisi di salinità durante il Messiniano).

Nel primo caso la regione murgiana, che nel contesto geodinamico meridionale rappresenta l'avampese, viene sollecitata da tensioni che determinano la rottura del corpo carbonatico secondo più sistemi di faglie e fratture; si identifica in tal modo l'area delle proto-Murge con un blocco più sollevato (attuali Murge alte) rispetto alle aree circostanti sia verso l'Adriatico (comprendente anche l'area qui considerata), sia verso l'Appennino. Lungo il versante adriatico a fianco del blocco più sollevato si formano altre strutture minori ad horst e graben con sviluppo parallelo all'horst principale. Il Graben delle Murge basse, che nei pressi di Palo del Colle e di Adelfia interessa marginalmente anche l'area del F° Bari, è una di tali strutture. Tuttora nell'area di Palo del Colle sotto il profilo morfologico sono evidenti un alto strutturale in corrispondenza dell'abitato, affiancato verso sud dalla relativa depressione morfostrutturale.

Al modellamento delle Murge hanno contribuito anche le acque superficiali, sia pure in modo relativo visto il diffuso carsismo, incidendo i rilievi e accumulando detriti nelle depressioni. È infatti dovuta all'azione delle acque di superficie la formazione di significativi spessori di terre rosse e ciottoli calcarei sul fondo delle depressioni morfostrutturali (depositi continentali alla base della Calcarenite di Gravina).

Dopo questo lungo periodo di morfogenesi in condizioni continentali l'area delle Murge, dal Pliocene medio al Pleistocene inferiore, viene soggetta a subsidenza tettonica per effetto della tectogenesi appenninica; per questo motivo l'area viene in gran parte sommersa (compresa l'area del Foglio Bari). Il ritorno del mare porta alla formazione di estese coperture sedimentarie (Calcarenite di Gravina, argille subappennine), più spesse in corrispondenza dei bassi morfostrutturali presedimentari.

L'ultimo atto della morfogenesi dell'area del Foglio 190 "Monopoli" si verifica nell'ultimo milione di anni in conseguenza dell'inversione di tendenza geodinamica che provoca il definitivo sollevamento regionale e la relativa emersione dell'area murgiana. Il processo emersivo, che procede per successive fasi, è condizionato anche dalle variazioni del livello marino; la combinazione fra tettonica ed eustatismo produce una successione di eventi erosivi e sedimentari che portano alla formazione

dei depositi del Pleistocene medio-superiore disposti in terrazzi (supersintema delle Murge). Il sollevamento determina anche il processo di incisione del reticolo idrografico, così come oggi lo possiamo osservare.

In particolare, l'area qui studiata inizia ad emergere presumibilmente a partire dalla seconda metà del Pleistocene medio, e per effetto dell'ultima glaciazione emerge anche un'ampia fascia prospiciente l'attuale linea di costa; il contestuale abbassamento del livello di base (più di 100 m rispetto al livello marino attuale) facilita l'erosione anche dei depositi più recenti oltre che un approfondimento dei solchi erosivi.

La storia morfogenetica si chiude nell'Olocene a seguito del recupero del mare fino allo zero attuale; l'ultimo evento eustatico determina modifiche morfologiche lungo la fascia costiera creando spiagge e lagune/stagni costieri e colmando la parte terminale dei principali corsi d'acqua.

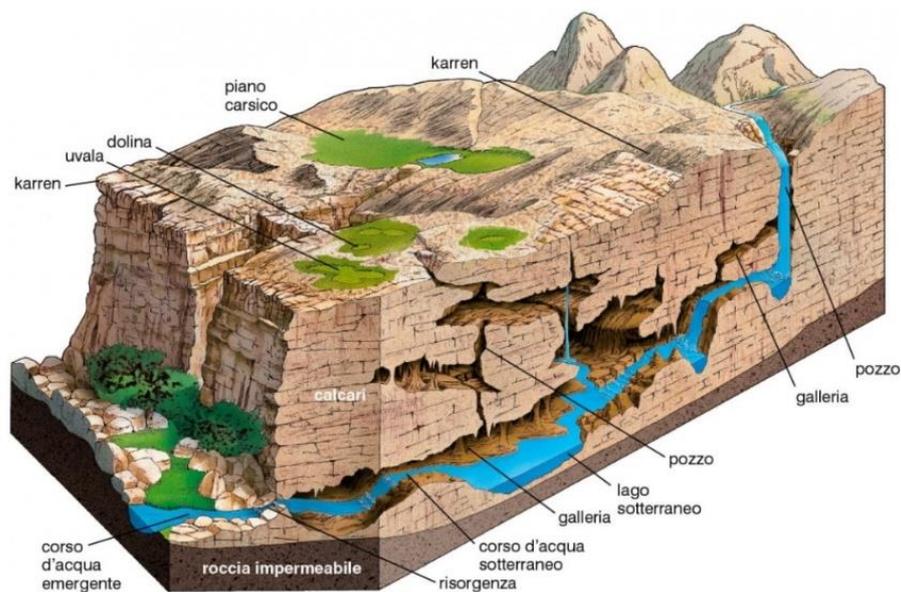


Fig. 6 – Carsismo in ammassi carbonatici pugliesi.

8. IDROGEOLOGIA DELL'AREA IN ESAME

L'area, oggetto di studio, è ubicata in un territorio che, sotto l'aspetto idrogeologico, appartiene alla cosiddetta "Idrostruttura delle Murge" (fig. 7).

In tale zona le rocce carbonatiche mesozoiche, permeabili per fratturazione e carsismo e sottostanti ai depositi plio-pleistocenici, continuano nel sottosuolo per alcune migliaia di metri, divenendo sede di una estesa e potente falda idrica sotterranea cui si attinge acqua, attraverso i numerosi pozzi, soprattutto per uso irriguo.

La falda circola generalmente in pressione e fluisce verso mare in direzione perpendicolare alla linea di costa, con gradienti piezometrici compresi tra 0,1% e 0,5% (GRASSI & MICHELETTI, 1972; COTECCHIA et alii, 1983; 2001).

Per i marcati caratteri di disomogeneità e anisotropia dell'acquifero nei confronti della permeabilità, la falda è frazionata in più livelli. Tale caratteristica è ascrivibile all'esistenza di intervalli di roccia non carsificata e poco fratturata o alla presenza, all'interno della successione carbonatica mesozoica, di strati fittamente laminati, a luoghi bituminosi (MAGGIORE & PAGLIARULO, 2004). In particolare, si registrano abbassamenti del livello idrico anche di 50 m per portate di prelievo non superiori ai 10 l/s.

L'acquifero murgiano costituisce un serbatoio d'acqua suscettibile di un massiccio impiego in agricoltura, pur se con limitazioni per la fascia costiera a seguito del fenomeno della contaminazione marina (P.T.A., 2009); in alcune zone, soprattutto quelle più interne, la qualità dell'acqua è tale da consentirne anche l'uso potabile. Allo stesso tempo, la natura carsica del sottosuolo rende tale preziosa risorsa quanto mai vulnerabile a tutte quelle forme di inquinamento antropico derivanti da rilasci sul suolo o nel sottosuolo di sostanze inquinanti.

Data la natura carsica del territorio, l'idrografia superficiale è costituita da una serie di solchi erosivi ("lame"), generalmente asciutti, che solo in occasione di copiose precipitazioni convogliano a mare notevoli quantità d'acqua ("mene").

La falda è in contatto con l'acqua marina di intrusione continentale su cui poggia per la minore densità. All'interfaccia acqua dolce-acqua salata, si realizzano fenomeni di miscelamento che generano una zona di diffusione di spessore e di salinità progressivamente crescente sia dall'alto verso il basso che verso l'entroterra.

L'area ricade, dal punto di vista idrogeologico, in un settore dell'acquifero murgiano di deflusso a quota 200 m circa s.l.m.; il livello statico della falda si rinviene ad una profondità dal piano campagna di circa 160 m.

Il deflusso, dedotto dall'andamento delle isopieze (fig. 7, 8 e 9), si esplica in pressione in prevalenza verso NE e la scarica a mare delle acque di falda avviene in forma sia diffusa che concentrata attraverso le numerose scaturigini sottomarine con un gradiente idraulico piuttosto elevato (0,3-0,4%); la zona di emergenza è ubicata tra Polignano a Mare e Mola di Bari.

Tale superficie piezometrica è localmente posizionata a circa 40 m s.l.m. ed è inclinata verso la linea di costa, dove il suo carico idraulico si annulla. La falda risulta frazionata in più livelli in connessione tra loro con il corpo idrico principale rinvenibile a profondità comprese tra i 250 e i 550 m rispetto al piano campagna.

Nel territorio di Turi i pozzi perforati dai privati e dalle cooperative agricole hanno evidenziato una bassa permeabilità della roccia in corrispondenza del livello del mare ed un più fitto sistema di fratturazioni della massa rocciosa calcarea in profondità con conseguenti valori più elevati del carico idraulico.

L'acqua pur circolando in pressione attraverso una fitta rete di fratture potrebbe essere messa, comunque, in comunicazione diretta con l'idrografia superficiale attraverso la eventuale presenza di discontinuità strutturali e di condotti carsici.

La conducibilità idraulica è molto variabile sia in senso verticale che orizzontale; i valori più frequenti sono compresi tra 10-2 e 10-5 cm/s denotando una permeabilità medio-bassa.

Sui calcari del Cretaceo, come innanzi detto, poggiano in trasgressione i depositi calcarenitici e sabbioso-limosi-argillosi del Pleistocene, ridotti dall'erosione in lembi residui, di limitato spessore ed estensione e ben osservabili nel più vasto areale.

Questi depositi della copertura quaternaria rivestono un ruolo idrogeologico di secondaria importanza, soprattutto nei riguardi della falda idrica sotterranea che ha sede nei calcari cretacei; possono tuttavia dar luogo a falde freatiche superficiali, di modesta potenzialità idrica, e sottrarre localmente acqua alla ricarica dell'acquifero carsico più profondo.

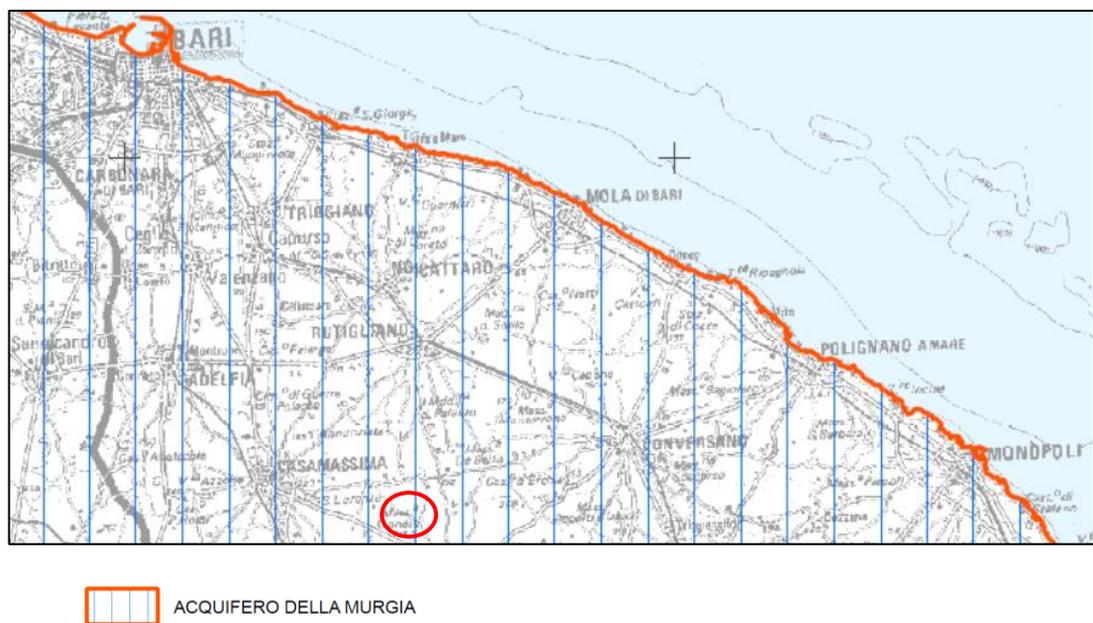
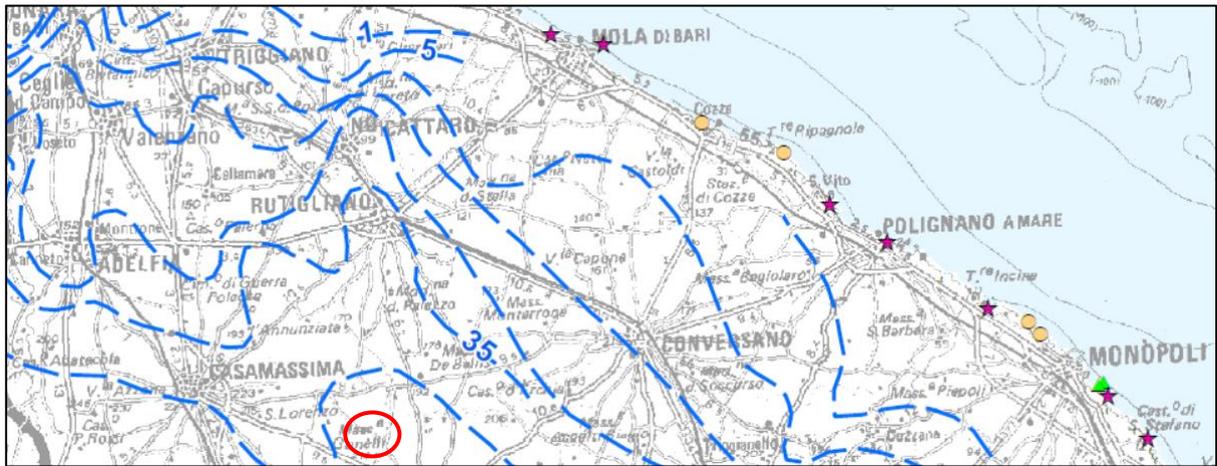
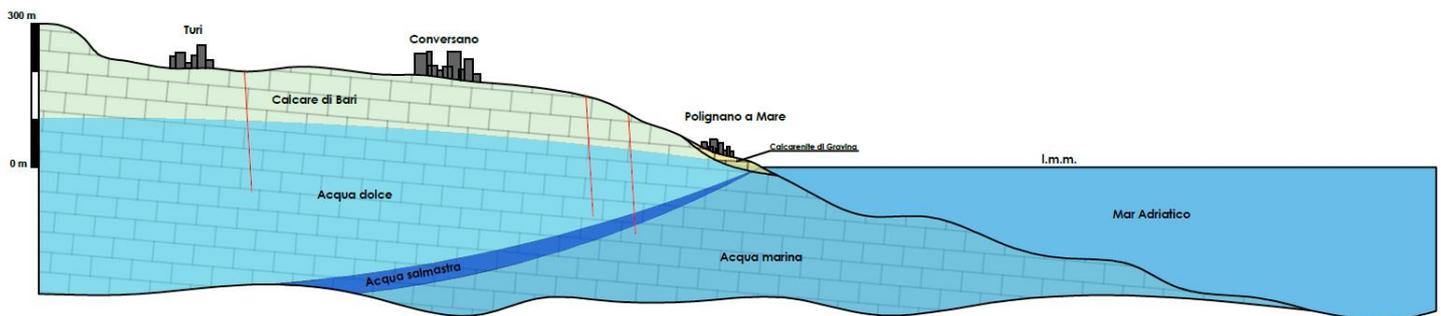


Fig. 7 - campi di esistenza dei corpi idrici sotterranei dalla Tav. 6.1.A del PTA Puglia.



— isopiezica (m s.l.m.)

Fig. 8 – Distribuzione media dei carichi piezometrici degli acquiferi carsici della Murgia dalla Tav. 6.2 del PTA Puglia.



(da P. Pirulli, 2001)

Fig. 9 – Sezione idrogeologica schematica.

9. INDAGINE SISMICA MASW

L'Ordinanza 3274 del Presidente del Consiglio dei Ministri (abrogata dal D.M. del 14.01.2008 "Norme tecniche sulle costruzioni" e a sua volta dal D.M. del 17.01.2018 "Aggiornamento delle Norme tecniche sulle costruzioni") ha introdotto la nuova normativa tecnica in materia di progettazione antisismica classificando i suoli, per la definizione dell'azione sismica di progetto, in cinque categorie principali (dalla A alla E) sulla base del parametro V_{seq} . In conformità al D.M. 17/01/2018 "Norme tecniche per le costruzioni" la classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche e dai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, V_{seq} (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

dove:

- h_i spessore dell' i -esimo strato;
- $V_{S,i}$ velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato; N numero di strati;
- H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_S non inferiore a 800 m/s.

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) (ParK et al., 1999) 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 (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 rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde con il vantaggio di offrire una dettagliatissima ricostruzione della distribuzione della velocità delle onde S ed è poco soggetta al rumore ambientale.

Esse provocano un moto ellittico delle particelle delle rocce, in un piano verticale alla direzione di propagazione delle onde.

Le onde superficiali possono compiere lunghe distanze prima di estinguersi, viaggiando più lentamente delle onde P e S : la velocità di propagazione delle onde R è di circa 2,7 km/s.

Il metodo che utilizzeremo nella indagine masw è quello attivo che ci consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5Hz e 70Hz, quindi dà informazioni sulla parte più superficiale del suolo, sui primi 30m, in funzione della rigidità del suolo.

Il metodo passivo in genere consente di tracciare una velocità di fase apparente sperimentale compresa tra 0 Hz e 10Hz, quindi dà informazioni sugli strati più profondi del suolo, generalmente al di sotto dei 50m, in funzione della rigidità del suolo e che nel nostro caso non servono.

Si fa presente che il mezzo (terreno superficiale e sottosuolo) è stratificato e le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè sono onde con diverse lunghezze d'onda che si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980).

Le componenti orizzontale e verticale delle onde di Rayleigh sono sfasate di 90° , quindi durante il moto le particelle descrivono un'ellisse. L'asse maggiore dell'ellisse è parallela alla superficie libera

orizzontale fino alla profondità di circa 0.2λ (λ è la lunghezza d'onda), dove lo spostamento orizzontale cambia segno e quindi gli assi e il senso di percorrenza dell'ellisse si invertono. L'ampiezza degli spostamenti decresce rapidamente con la profondità, così che l'onda di Rayleigh è confinata nella parte superficiale del semispazio, in una striscia di spessore pari a circa $1,5\lambda$.

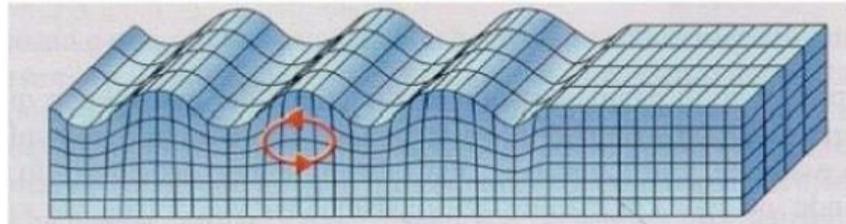


Fig. 10 - Onda di Rayleigh sulla superficie libera di un semispazio omogeneo (Bolt, B.A., 1976).

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.

Nell'area oggetto d'intervento edilizio si è proceduto, ad infiggere i 24 geofoni a passo di due metri con il primo nello zero e ad energizzare con mazza battente di 8 Kg come in fig. 9.2.

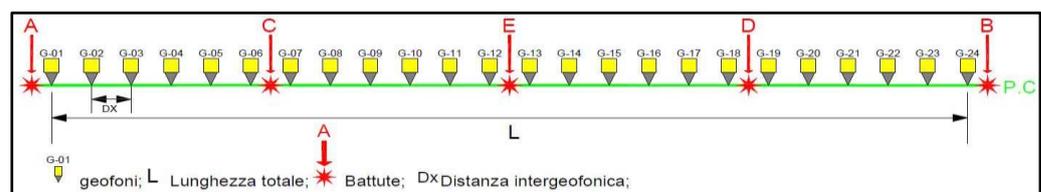


Fig. 11 – Schema geometrico di acquisizione

La strumentazione utilizzata è a 24 canali, modello Echo12-24 della AMBROGEO interfacciato con un computer portatile, con acquisizione digitale, funzione di incremento multiplo del segnale, tempi di acquisizione compresi tra 25 e 1000 msec, filtri in ingresso compresi tra 0 e 950 Hz (per eliminare le frequenze indesiderate) e monitoraggio del noise ambientale in continuo. I geofoni per i rilievi sismici di superficie (Basi), sono a 4.5 Hz.

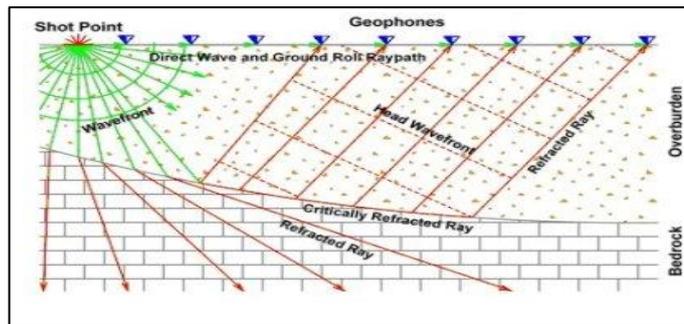
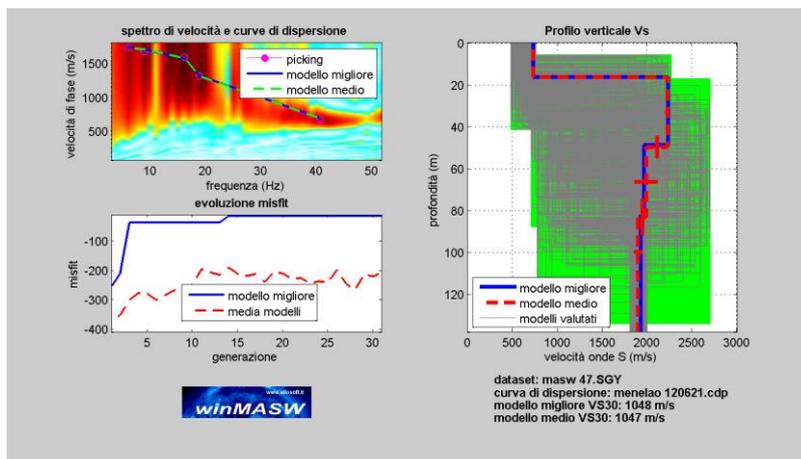


Fig. 12 - Schema di acquisizione di onde rifratte.

Nell'area oggetto d'intervento edilizio si è proceduto ad infiggere i 24 geofoni a passo di due metri con il primo nello zero.

Con la stesa di 24 geofoni si è provveduto ad energizzare con mazza battente di 8 Kg a -1 m.

La strumentazione utilizzata è 24 canali, modello Echo12-24 della AMBROGEO interfacciato con un computer portatile, con acquisizione digitale, funzione di incremento multiplo del segnale, tempi di acquisizione compresi tra 25 e 1000 msec, filtri in ingresso compresi tra 0 e 950 Hz (per eliminare le frequenze indesiderate) e monitoraggio del noise ambientale in continuo. I geofoni per i rilievi sismici di superficie (Basi), sono a 4.5 Hz.



Modello medio

VS (m/s): 733, 2223, 1988, 1897
 Deviazioni Standard (m/s): 0, 20, 130, 46
 Spessori (m): 16.6, 33.2, 33.5
 Deviazioni Standard (m): 0.0, 5.2, 8.5

Tipo di analisi: onde di Rayleigh

Stima approssimativa di V_p , densità e moduli elastici
 Stima V_p (m/s): 1529, 4693, 4149, 3618
 Stima densità (gr/cm³): 2.16, 2.43, 2.40, 2.37
 Stima modulo di Poisson: 0.35, 0.36, 0.35, 0.31
 Stima modulo di taglio (MPa): 1159, 12013, 9488, 8519

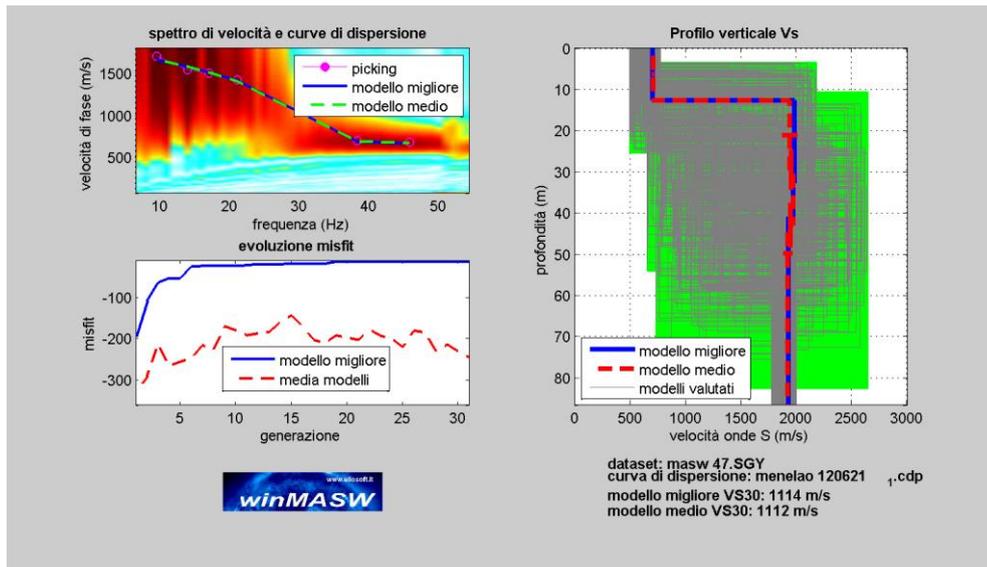
Stima modulo di compressione (MPa): 3498, 37522, 28676, 19628
 Stima modulo di Young (MPa): 3131, 32564, 25637, 22326
 Stima modulo di Lamé (MPa): 2725, 29513, 22351, 13949

Vseq (m/s): 733

VS30 (m/s): 1048

Possibile Tipo di Suolo: B

MASW 1



Modello medio

VS (m/s): 706, 1937, 1968, 1922
 Deviazioni Standard (m/s): 9, 66, 12, 40
 Spessori (m): 12.8, 16.8, 13.4
 Deviazioni Standard (m): 0.1, 4.8, 5.4

Tipo di analisi: onde di Rayleigh

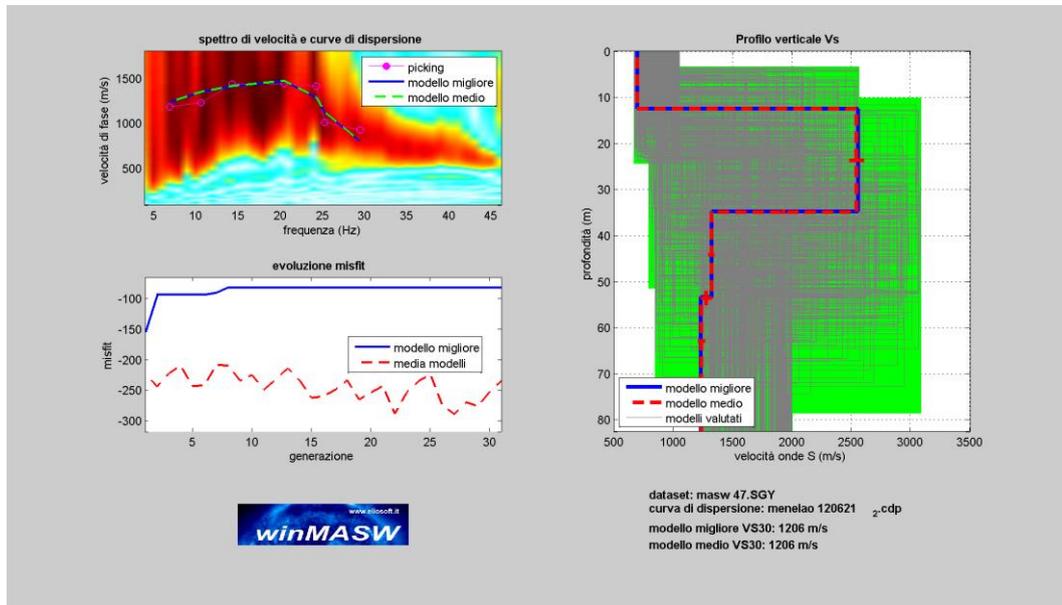
Stima approssimativa di Vp, densità e moduli elastici
 Stima VP (m/s): 1427, 4013, 4190, 3623
 Stima densità (gr/cm³): 2.14, 2.39, 2.40, 2.37
 Stima modulo di Poisson: 0.34, 0.35, 0.36, 0.30
 Stima modulo di taglio (MPa): 1067, 8977, 9307, 8746
 Stima modulo di compressione (MPa): 2936, 26561, 29780, 19416
 Stima modulo di Young (MPa): 2855, 24204, 25288, 22813
 Stima modulo di Lamé (MPa): 2225, 20577, 23575, 13585

Vseq (m/s): 706

VS30 (m/s): 1112

Possibile Tipo di Suolo: B

MASW 2



Modello medio
 VS (m/s): 698, 2542, 1321, 1238
 Deviazioni Standard (m/s): 6, 61, 26, 29
 Spessori (m): 12.6, 22.3, 18.7
 Deviazioni Standard (m): 0.0, 0.4, 1.5

Tipo di analisi: onde di Rayleigh

Stima approssimativa di V_p , densità e moduli elastici
 Stima V_p (m/s): 1505, 5153, 2748, 2326
 Stima densità (gr/cm³): 2.15, 2.45, 2.30, 2.26
 Stima modulo di Poisson: 0.36, 0.34, 0.35, 0.30
 Stima modulo di taglio (MPa): 1049, 15856, 4014, 3463
 Stima modulo di compressione (MPa): 3478, 44016, 12017, 7606
 Stima modulo di Young (MPa): 2860, 42469, 10835, 9019
 Stima modulo di Lamé (MPa): 2779, 33445, 9341, 5298

V_{seq} (m/s): 698

VS30 (m/s): 1206

Possibile Tipo di Suolo: B

MASW 3

10. INDAGINE SIMICA A RIFRAZIONE

La tecnica della sismica a rifrazione permette la determinazione della velocità di propagazione delle onde elastiche di tipo longitudinale (P) all'interno del sottosuolo (Fig. A). Tali onde sono generate e si propagano nel terreno tutte le volte che quest'ultimo è sottoposto a sollecitazioni sia di tipo naturale, sia artificiale (terremoti, esplosioni, masse battenti, ecc.). Il metodo si basa sulla misura dei tempi di arrivo delle onde sismiche rifratte all'interfaccia tra corpi del sottosuolo caratterizzati da differenti proprietà elastiche. L'energia elastica viene generata tramite una sorgente posta in superficie da cui le onde sismiche si irradiano in tutte le direzioni.

L'istante di arrivo dei segnali sismici, a varie distanze dalla sorgente, viene rilevato disponendo lungo allineamenti prefissati una serie di sensori (geofoni) ad intervalli regolari (distanza intergeofonica). Entro una certa distanza (distanza di cross-over) i primi arrivi registrati corrispondono alle onde che si sono propagate direttamente dalla sorgente ai geofoni. Per distanze maggiori, le onde rifratte lungo discontinuità tra strati a velocità crescente con la profondità, precedono quelle dirette. Misurando i tempi di arrivo ai geofoni delle onde dirette e rifratte, si ottengono informazioni sulla profondità, sugli spessori, sulla geometria e i parametri elastici dei diversi strati. La sismica a rifrazione risulta particolarmente efficace per definire la stratigrafia del sottosuolo, la profondità e la morfologia del substrato litoide, la rippabilità (o scavabilità) dei terreni. Nella Tabella 1 sono indicate le velocità sismiche ed i moduli elastici dei principali terreni e rocce.

È stata effettuata, dunque, una campagna geognostica a carattere geofisico, consistente in due Basi Sismiche a Rifrazione di Superficie. L'ubicazione del sondaggio geofisico è mostrata in fig. 9.

La finalità delle indagini sismiche è in primo luogo di rilevare l'andamento della sismostratigrafia del sottosuolo, ricercando le superfici di discontinuità fisica, rifrattori, ed in particolare quelle superfici che separano porzioni di ammasso roccioso o terroso con differente grado di densità e compattezza.

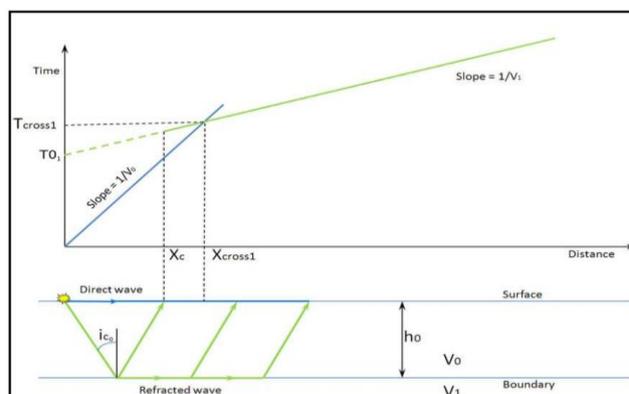


Fig. 13 – Dromocrona (in alto) e schematizzazione del percorso di un'onda sismica diretta e rifratta (in basso).

Materiale		Velocità sismiche in sito (a piccole deformazioni) (m/s)		Coefficiente di Poisson ν	Densità (g/cm ³) ρ	Modulo di elasticità tangenziale (MN/m ²) G
		V_p	V_s			
Sabbia (in prossimità della superf.)	Sciolta	1450-1550 (180-450)	100-250	0.48-0.50 (0.30-0.35)	1.5-1.8 _s	15-110
	Media	1500-1750 (320-650)	200-350	0.47-0.49 (0.20-0.30)	1.7-2.1	70-250
	Addensata	1700-2000 (550-1300)	350-700	0.45-0.48 (0.15-0.30)	1.9-2.2	230-1000
Argilla	Moder. consistente	1450-1550	80-180	0.47-0.50	1.6-2.0	10-65
	Consistente	1500-1700	180-300	0.47-0.50	1.7-2.1	55-190
	Molto consistente	1600-1900	300-500	0.47-0.50	1.8-2.3	160-450
Arenaria e scisti non alterati		1500-4000	800-2000	0.25-0.35	2.0-2.4	1300-9500
Calccare		2000-6000	1200-3000	0.25-0.35	1.8-2.5	2600-20000
Roccia cristallina o metamorfica non alterata		3500-7000	2000-3500	0.25-0.30	2.2-2.6	8500-32000

Tabella 1 – Velocità sismiche e moduli elastici in terreni e rocce. I valori tra parentesi si riferiscono al materiale non saturo (Head e Jardine, 1992).

Dalla sismostratigrafia ottenuta, e con l'ausilio di programmi (winsism) è stato possibile ricavare lo spessore e le caratteristiche geomeccaniche degli strati così riconosciuti, calcolare i valori di Rigidità Sismica dei singoli orizzonti al fine di valutare ad esempio l'amplificazione sismica locale o la suscettibilità alla liquefazione di terreni saturi non coesivi.

La strumentazione utilizzata è del tipo a 12-24 canali, modello Echo12-24 della AMBROGEO interfacciato con un computer portatile, con acquisizione digitale, funzione di incremento multiplo del segnale, tempi di acquisizione compresi tra 25 e 1000 msec, filtri in ingresso compresi tra 0 e 950 Hz (per eliminare le frequenze indesiderate) e monitoraggio del noise ambientale in continuo.

I geofoni per i rilievi sismici di superficie (Basi), sono a 4.5 Hz. Per questa campagna sono stati utilizzati cavi geofonici, di lunghezza pari a 46 m con una spaziatura fra gli attacchi di 2 m. I punti di scoppio A e B sono a -2 e +48 m rispettivamente dal geofono G1 e dal G24, in posizione esterna allo stendimento geofonico, lo scoppio E è posto al centro dello stendimento stesso (fra i geofoni G12 e G13).

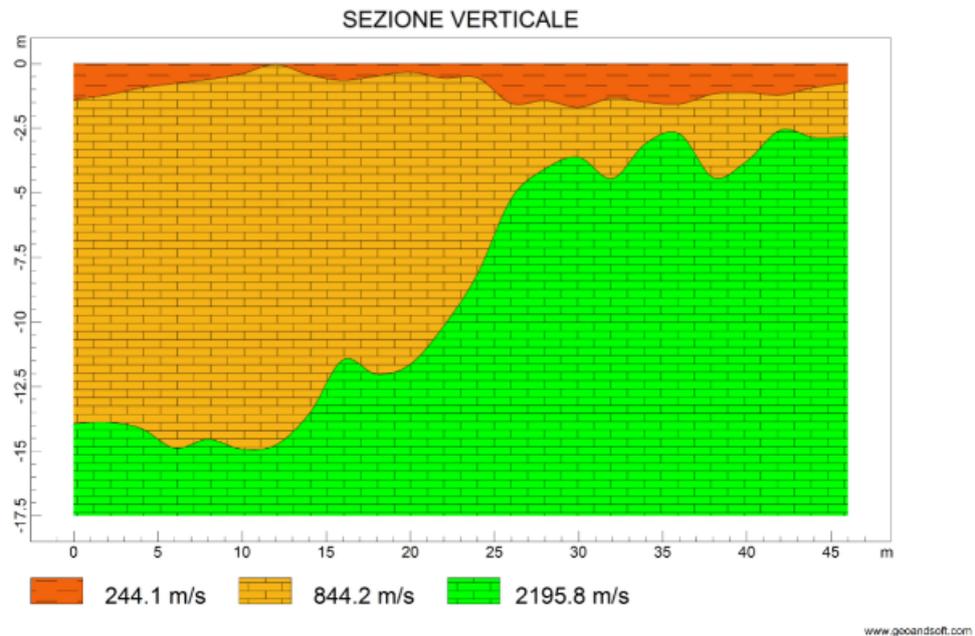
La profondità di investigazione massima raggiunta è valutabile in circa 10 m dal piano campagna.

I sismogrammi sperimentali, registrati sul disco fisso del computer portatile in campagna, sono stati letti, elaborati ed interpretati utilizzando un procedimento informatico basato sull'utilizzo di programmi (Intersism della PASI S.r.l.). L'interpretazione congiunta delle dromocrone, effettuata anch'essa con l'ausilio dell'elaboratore ha fornito i valori delle velocità (in m/sec) delle onde i valori delle profondità (in m) dei rifrattori (discontinuità fisiche) nei sismostrati lungo il profilo in esame; questi dati hanno consentito l'elaborazione della relativa Sezione Sismostratigrafica (vedi Sismostratigrafia 1) che presenta un modello a 3 strati.

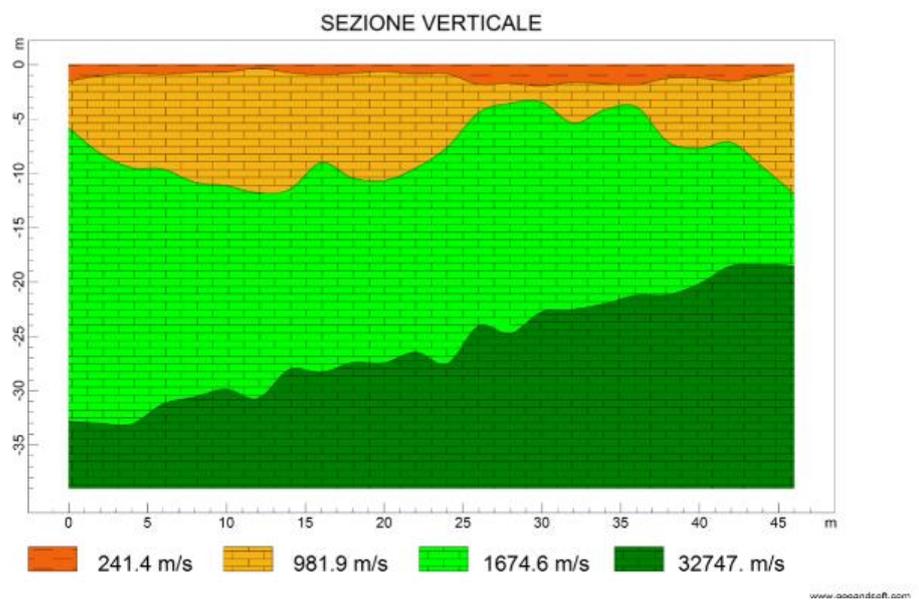
Sulla scorta di osservazioni superficiali, il modello ottenuto nella Base eseguita può essere riferito alla seguente successione costituita (dall'alto) da:

- ammasso superficiale ($V < 300$ m/sec), rappresentato da un ammasso "prevalentemente argilloso-sabbioso" correlabile ad argille limose da mediamente a molto addensate;
- ammasso intermedio ($V < 850$ m/sec), rappresentato da un ammasso "prevalentemente calcarenifico da mediamente a molto addensate;

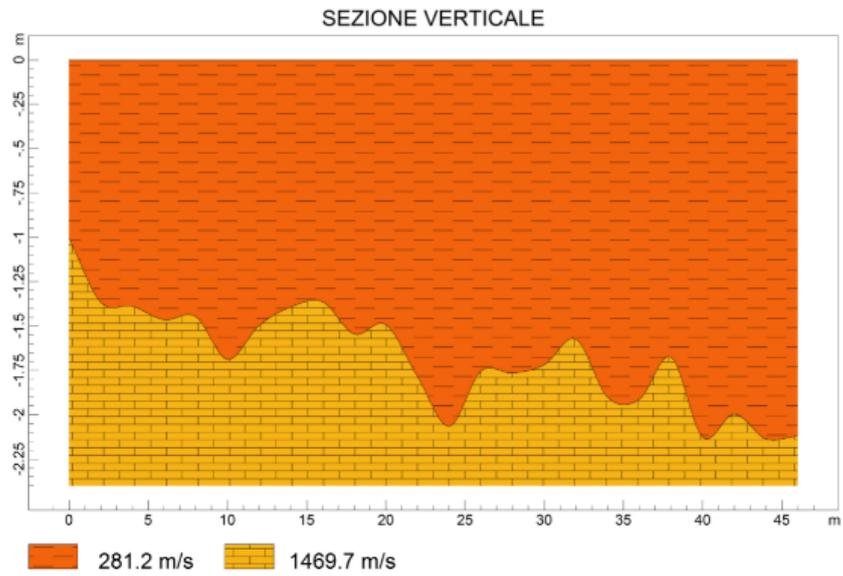
- ammasso di base ($V > 1600$ m/sec), rappresentato da un ammasso "prevalentemente calcareo" correlabile a depositi ben stratificati/cementati.



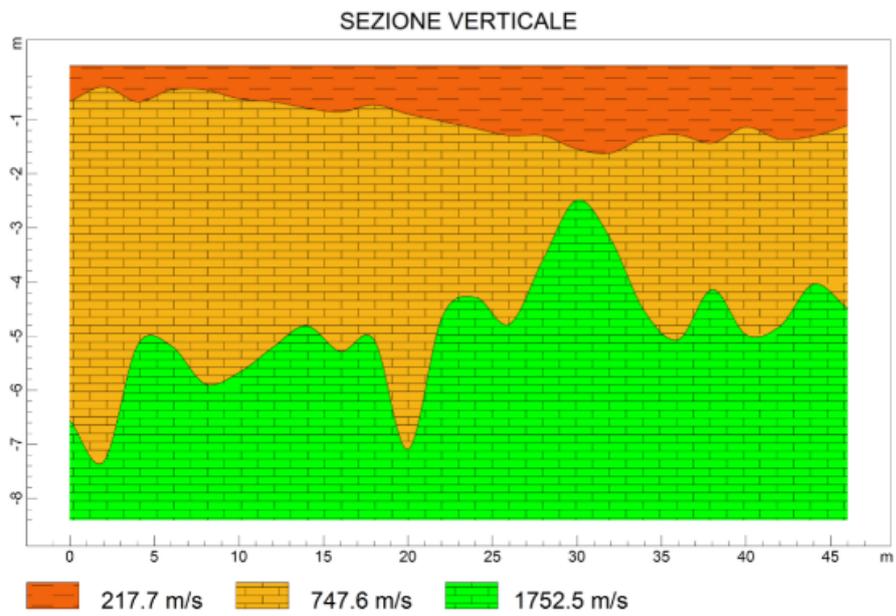
Sismostratigrafia 1



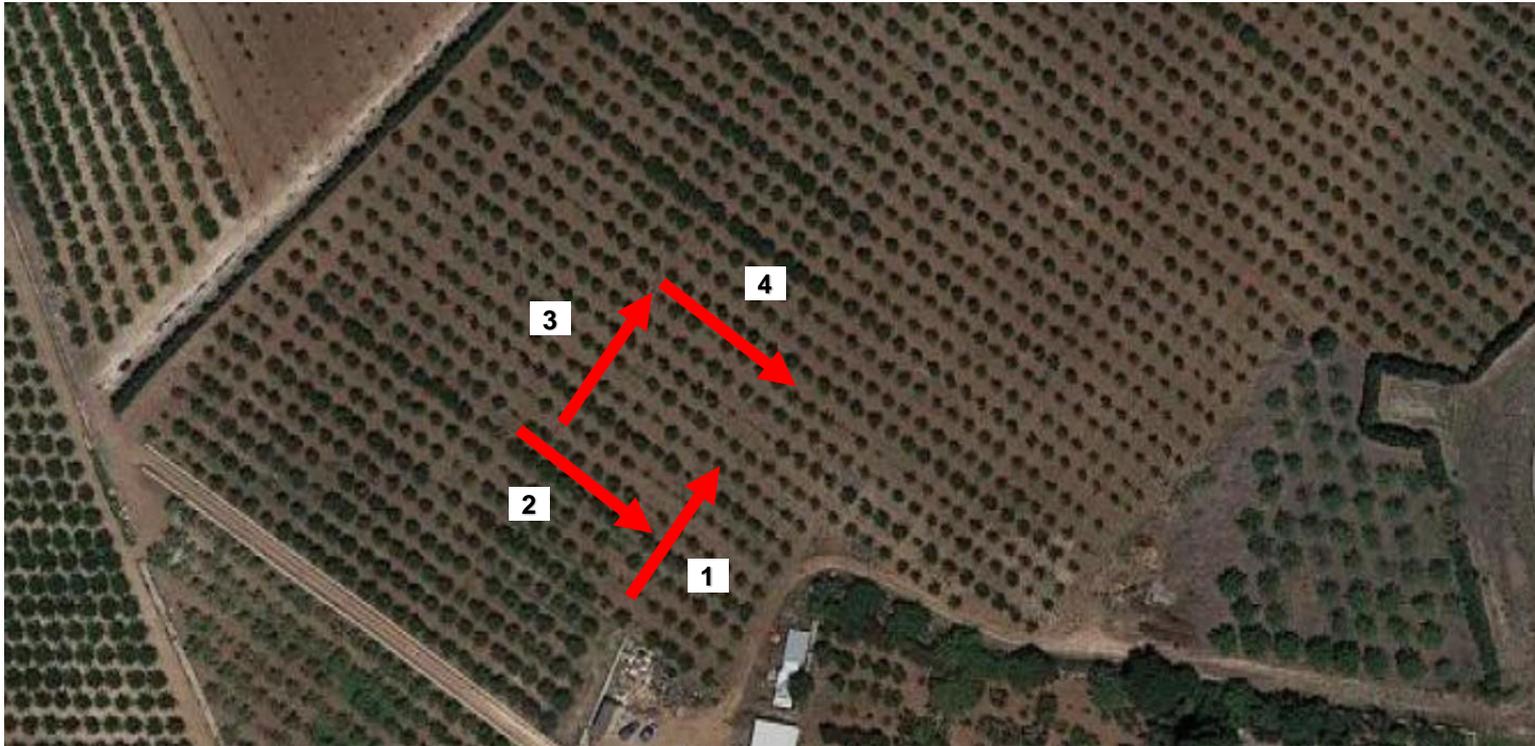
Sismostratigrafia 2: Risultati della Tomografia sismica eseguita in zona.



Sismostratigrafia 3



Sismostratigrafia 4



Ubicazione indagini geofisiche (Rifrazione + MASW)



11. INDAGINI DIRETTE ESEGUITE IN PASSATO

L'indagine geognostica, condotta in situ per la realizzazione delle "Cummerse" è consistita di uno scavo spinto sino alla profondità di 2,5 m.

Dai 0,5 m circa di profondità e sino ai 2,5 m investigati si passa a biocalcareniti massive a grana grossolana ben cementate di colore giallastro-marroncino.

Inoltre sono state effettuate numerose prove penetrometriche e scissometriche sui campioni scelti dallo scrivente sul fronte dello scavo.

Per l'esecuzione delle prove penetrometriche è stato utilizzato un penetrometro tascabile, modello ST 308 (Figura 14) con lo scopo di determinare la resistenza a compressione di limo e argilla; sono state effettuate con discontinuità a causa dello stato dei fronti di scavo.



FIGURA 14 - PENETROMETRO TASCABILE, MODELLO ST 308 (FONTE IN SITOGRAFIA).

Lo strumento è dotato di due scale poste in due quadranti, il quadrante esterno riporta il valore del carico applicato espresso in Kg, quello interno riporta il valore della resistenza alla compressione espressa in Kg/cm², che con una prima approssimazione corrisponde al carico ammissibile nel terreno di fondazione.

Tra i cinque puntali disponibili, dalle dimensioni di 6,4 mm, 10 mm, 15 mm, 20 mm, 25 mm, quello utilizzato per eseguire le prove sulle carote è quello dal diametro di 6,4 mm (montato sullo strumento in foto).

Il puntale è stato poggiato sulla carota e, dopo averlo infisso fino alla tacca, è stato letto il valore della resistenza sul quadrante interno. È stata

effettuata una media di circa 10 valori ottenuti dalle prove; una volta mediati, i valori ottenuti sono stati riportati in apposita tabella.

Per ogni dato ottenuto dall'esecuzione della prova scissometrica, si riporta in ascisse il valore determinato sul campo risalendo fino ad intercettare la retta, spostandosi poi verso sinistra fino ad intercettare l'asse delle ordinate, leggendo quindi il valore di coesione non drenata corrispondente. Esempi di correlazione sono riportati nella pagina seguente (Fig. 11.1).

La prova scissometrica è stata eseguita con uno scissometro tascabile, modello CL-100, come quello mostrato in figura 15. Lo strumento è dotato di un cilindro dentato alla base e di un quadrante sul quale si legge il valore della resistenza alla rotazione opposta dal terreno. Il cilindro dentato viene poggiato verticalmente sul campione, che deve essere stato preliminarmente ripulito e non deve presentare asperità, fino a ricoprire interamente le alette. A questo punto si impone manualmente una rotazione in senso orario, alla quale il terreno si oppone; la resistenza opposta dal terreno viene misurata e indicata dalla lancetta sul quadrante. Al termine di ogni misura lo strumento è stato tarato riportando manualmente la lancetta in corrispondenza del valore 0, ed il cilindro basale è stato ripulito, per poi eseguire la successiva misura ad intervalli più o meno regolari per tutto lo spessore di limo e sabbia.

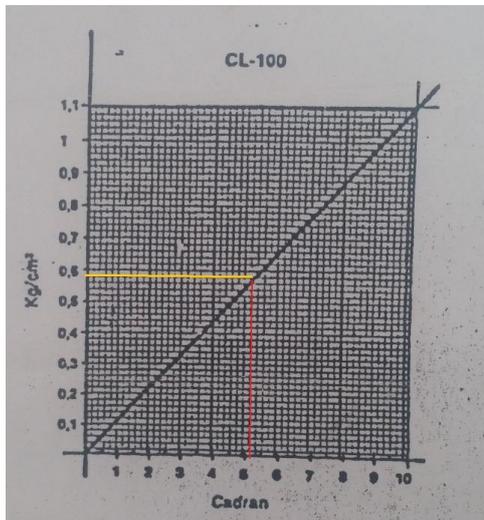


FIGURA 15 - SCISSOMETRO TASCABILE, MODELLO CL-100 (PER LA FONTE SI VEDA LA SITOGRAFIA).

FIGURA 16 - TAVOLA DI CORRELAZIONE PER L'INTERPRETAZIONE DEI DATI DI PROVE SCISSOMETRICHE

Sulle sabbie con limo e limi sabbioso-argillosi sono state condotte prove penetrometriche (S.P.T.) e dall'esame dei dati è emerso che i litotipi si presentano da mediamente densi a densi a cui è possibile correlare un $\gamma_d = 1.7-2.0 \text{ g/cm}^3$ ed un $\phi = 30^\circ-34^\circ$.

Essi presentano una coesione C' inferiore a 0.7 Kg/cm^2 ed un angolo d'attrito interno ϕ' compreso tra 29° e 36° . La porosità è piuttosto alta e superiore al 40%.

Le determinazioni scissometriche in situ condotte con il Vane Test portatile hanno evidenziato una resistenza al taglio compresa tra 0.48 e 0.85 Kg/cm^2 . I valori per ogni indagine hanno evidenziato un sensibile aumento con la profondità.

Le sabbie si rinvengono a partire dai 0.5 m circa di profondità sono caratterizzate da una coesione prossima a zero ed un angolo di attrito interno superiore ai 33° , da una porosità superiore al 40% ed un contenuto in acqua inferiore al 19%.

Circa la circolazione idrica sotterranea si fa presente che i depositi più sabbiosi presenti a quote comprese tra 1.5 e 2.5 m possono essere sede di falde idriche superficiali di modesta potenzialità idrica.

Tali falde non sono in pressione e solo laddove i terreni sono più argillosi possono creare situazioni localizzate di confinamento con modeste pressioni alla circolazione idrica sotterranea.

Le condizioni favorevoli all'esistenza di falde idriche superficiali all'interno di tali depositi è legata ad una permeabilità per porosità d'interstizi variabile da alta a media ($K = 10^{-2} \div 10^{-4} \text{ cm/s}$).

Per quanto riguarda la biocalcarenite, presente a profondità comprese tra 0.5 e 1 m e tra 1.5 e 2.5 , sempre direttamente osservabile nell'area, quest'ultima risulta formata da grani costituiti da bioclasti ed in parte da frammenti calcarei provenienti dal disfacimento del substrato carbonatico; presentava una tessitura grano-sostenuta (packstone e grainstone) ed appare diagenizzata, non si osservavano laminazioni ed è massiva.

Dall'esame dei dati si osserva che il litotipo indicativo è una sabbia a grana medio-fine con un contenuto naturale d'acqua (w_n) variabile tra il 16.6% ed il 24.8%, mentre il peso di volume secco risulta di 1.79 g/cm^3 , il peso specifico reale 2.73 g/cm^3 e la compattezza inferiore a 0,58; in situ,

mediante strumentazione da campo (Penetrometro PASI ST 308) è stata eseguita in condizioni consolidate e non drenate (C.U.), una serie di determinazioni su più punti dei vari campioni presi e rappresentativi della zona d'interesse che evidenziano una coesione di poco superiore all'unità ed angolo d'attrito interno (ϕ) superiore a 36° .

Il campione "compatto" (strato calcarenitico ben cementato) ha dato un valore di resistenza a compressione ad espansione laterale libera (σ_r) variabile da 19 daN/cm² a 76 daN/cm².

Gli altri parametri fisici sono stati i seguenti: peso di volume secco 1.88 g/cm³; peso specifico reale 2.71 g/cm³; compattezza 0,66 g/cm³; porosità 34%.

In generale tali rocce che, in Meccanica delle Rocce, sono classificate come "tenere" risultano affidabili come appoggio fondale di tipo diretto (fondazioni superficiali).

Per quanto riguarda il substrato roccioso carbonatico, in considerazione di quanto osservabile dai carotaggi eseguiti in situ, in affioramento in alcune aree distanti dal sito d'interesse e sulla scorta dei numerosi dati reperibili nell'ampia letteratura specifica, è possibile indicare un intervallo di valori del tutto affidabile per i più importanti parametri geomeccanici di tale roccia:

Peso volume naturale	23.0 ÷ 25.0 kN/m ³
Peso specifico dei solidi	27.0 ÷ 27.2 ""
Coeff. Imb. (riferito al peso)	0.15 ÷ 3.30
Porosità	1.0 ÷ 5.0 (%)
Tensione di rottura	350 ÷ 900 Kg/cm ²
Modulo di "elasticità"	$10^5 \div 2.5 \times 10^5$ Kg/cm ²
Velocità onde elast. long.	1.5 ÷ 3.8 Km/sec
R.Q.D.*	28 ÷ 55 %

Si precisa che il valore dell'indice di qualità della roccia, R.Q.D. (Deere, 1964), è stato calcolato direttamente sulla roccia affiorante ed è oscillato tra il 28% ed il 55%; pertanto la tensione (q_s espressa in Kg/cm²) è compresa tra 3 e 6.5 Kg/cm².

Vista la tenacità della roccia calcareo-dolomitica emersa dall'analisi della roccia studiata il carico di rottura per il campione compatto si può valutare oltre i 40 Kg/cm².

Tali parametri vanno comunque individuati caso per caso con particolare riferimento all'opera che si andrà a realizzare. Si consiglia un approccio che tenga conto della classifica di Bieniawski (RMR) al fine di individuare i più affidabili valori di coesione ed attrito che dovranno servire per la valutazione della capacità portante, nonché dei moduli di deformabilità dell'ammasso che potranno differire sensibilmente da quelli dei provini testati in laboratorio. Inoltre particolare attenzione dovrà essere posta nel controllo di eventuali indizi che possano far presupporre la presenza di cavità carsiche. Proprio in tali ammassi le indagini puntuali dovranno essere, caso per caso, molto accurate.

12. VALUTAZIONE DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE

Alla scala della singola opera o del singolo sistema geotecnico, la risposta sismica locale consente di definire le modifiche che un segnale sismico subisce, a causa dei fattori citati, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (sottosuolo di categoria A).

È possibile valutare gli effetti stratigrafici e topografici in grado di modificare la "risposta sismica locale" attraverso:

I. Amplificazione stratigrafica

L'influenza del profilo stratigrafico sulla risposta sismica locale può essere valutata in prima approssimazione con riferimento alle categorie di sottosuolo A nel nostro caso. Il moto sismico alla superficie di un sito, associato a ciascuna categoria di sottosuolo, è definito mediante l'accelerazione massima (a_{max}) attesa in superficie ed una forma spettrale ancorata ad essa. Il valore di a_{max} può essere ricavato dalla relazione $a_{max} = S_s \cdot a_g$, dove a_g è l'accelerazione massima su sito di riferimento rigido, ed S_s è il coefficiente di amplificazione stratigrafica.

I valori dei coefficienti di amplificazione stratigrafica per un sottosuolo di riferimento di Categoria A sono riportati nella Tabella seguente.

Categoria di sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00

Tabella dei Coefficienti di amplificazione stratigrafica per un sottosuolo di Categoria A.

Dove C_c rappresenta il coefficiente funzione della categoria del sottosuolo.

II. Amplificazione topografica

La modifica delle caratteristiche del moto sismico per effetto della geometria superficiale del terreno va attribuita alla focalizzazione delle onde sismiche in prossimità della cresta dei rilievi a seguito dei fenomeni di riflessione delle onde sismiche ed all'interazione tra il campo d'onda incidente e quello diffratto. I fenomeni di amplificazione cresta-base aumentano in proporzione al rapporto tra altezza del rilievo e la sua larghezza.

Il parametro ST (la valutazione dell'amplificazione topografica può essere effettuata mediante analisi di risposta sismica locale o utilizzando il coefficiente di amplificazione topografica ST) deve essere applicato nel caso di configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, di altezza superiore a 30 m. Il sito in esame rientra nella Categoria topografica T1 "Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ " per la quale il coefficiente di amplificazione topografica ST assume valore pari a 1.

Gli effetti topografici possono essere trascurati per pendii con inclinazione media inferiore a 15° come nel nostro caso.

III. Pericolosità sismica e parametri sismici di progetto

La pericolosità sismica di un sito è descritta dalla probabilità che, in un determinato intervallo di tempo, nel sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato. Nelle NTC, tale lasso di tempo, espresso in anni, è denominato "periodo di riferimento" VR e la probabilità è denominata "probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento" PVR.

IV. Vita nominale, classi d'uso e periodo di riferimento

Nelle NTC18 il periodo di riferimento, che non può essere inferiore a 35 anni, è dato dalla seguente relazione: $V_R = V_N \times C_U$;

dove: V_R = periodo di riferimento; V_N = vita nominale; C_U = coefficiente d'uso.

La vita nominale V_N di un'opera strutturale (Tabella B) è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. La vita nominale dei diversi tipi di opere è quella riportata nella Tabella B e deve essere precisata nei documenti di progetto.

TIPI DI COSTRUZIONE		Vita Nominale V_N (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva ¹	≤ 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

Tabella B -Vita Nominale (VN) per diversi tipi di opere (da NTC, D.M. 14.01.2008).

Per le opere in progetto è stata considerata una vita nominale VN di 50 anni. Il coefficiente d'uso (CU) (Tabella B1) è un parametro definito in base alla classe d'uso del fabbricato.

Classe d'uso	I	II	III	IV
Coefficiente d'uso	0,7	1,0	1,5	2,0

Tabella B1 – Valore del coefficiente d'uso (CU).

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in quattro classi d'uso differenti. Nel caso in esame, ai sensi del punto 2.4.2 del D.M. 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni", l'opera in progetto rientra nella Classe II "Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti".

Una volta ottenuti V_N e C_U , è possibile calcolare il periodo di riferimento V_R , che qui vale:

$$V_R = 50 * 1.0 = 50 \text{ anni.}$$

V. Pericolosità sismica di base

Com'è ormai noto, la pericolosità sismica del territorio nazionale è definita convenzionalmente in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero, cioè in assenza di manufatti, su sito di riferimento rigido di categoria A ($V_{seq} > 800$ m/s) con superficie topografica orizzontale (categoria T1), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR, nel periodo di riferimento V_R .

La Pericolosità Sismica in un generico sito viene descritta, compatibilmente con le NTC, con precisione sufficiente, sia in termini geografici che in termini temporali se i risultati dello studio vengono forniti:

in termini di accelerazione orizzontale massima a_g e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle NTC, nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale sopra definite;

in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) i cui nodi, individuati in termine di latitudine e longitudine, debbono distare di un passo $0,05^\circ$, (non distano più di 10 Km);

per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno TR ricadenti in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 30 e 2475 anni, estremi esclusi.

Allo stato attuale, la pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento è fornita dai dati pubblicati sul sito <http://esse1.mi.ingv.it/>, nella sezione "Mappe interattive della pericolosità sismica".

In particolare, i caratteri del moto sismico su sito di riferimento rigido orizzontale sono descritti dalla distribuzione sul territorio nazionale delle seguenti grandezze, sulla base delle quali sono compiutamente definite le forme spettrali di risposta elastica in accelerazione per la generica probabilità di eccedenza nel periodo di riferimento PVR:

- a_g = accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_o = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T^*C = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

È necessario, inoltre, 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.

Il terremoto di San Giuliano di Puglia del 2002 riportò drammaticamente alla attenzione il fatto che la situazione delle norme e della classificazione sismica era ancora la stessa del 1984. Con un intervento di emergenza, l'Ordinanza PCM 3274/2003 aggiornò l'assegnazione dei comuni alle zone sismiche, combinando la classificazione allora vigente con la "Proposta 1998" e definendo per la prima volta la zona 4; da allora tutta Italia appartiene a una delle 4 zone sismiche.

Nell'aprile 2004 l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia ha presentato alla Commissione Grandi Rischi, Sezione Rischio Sismico, una nuova mappa di pericolosità sismica (MPS04) elaborata secondo i criteri proposti dall'Ordinanza PCM 3274 (<http://zonesismiche.mi.ingv.it>)

Nel corso del 2006 una nuova Ordinanza (OPCM 3519/2006) ha adottato la mappa di pericolosità sismica MPS04 quale riferimento ufficiale e ha definito i criteri che le Regioni devono seguire per aggiornare le afferenze dei Comuni alle 4 zone sismiche.

A partire dal 2007, una apposita Commissione del Ministero delle Infrastrutture ha avviato la revisione completa della materia, sfociata nelle nuove Norme Tecniche delle Costruzioni (Decreto 14/01/2008 del Ministero delle Infrastrutture).

Dalla pubblicazione del Decreto è iniziata una fase transitoria in cui è stato possibile usare la normativa precedente o quella nuova, a scelta del progettista. Tale fase è cessata fin dal 30 giugno 2009.

Nel frattempo, il progetto di ricerca "esse1", svolto da INGV insieme ad alcune Università italiane per conto del Dipartimento della Protezione Civile, ha rilasciato nel 2007 ulteriori e più dettagliate valutazioni di pericolosità sismica, pubblicate nel sito <http://esse1.mi.ingv.it>. Tali valutazioni sono state

utilizzate per definire, punto per punto, l'azione sismica di riferimento nelle nuove Norme Tecniche delle Costruzioni.

La caratterizzazione del comportamento meccanico dei terreni in campo sismico, sia essa finalizzata all'analisi del rischio a scala territoriale oppure alla progettazione di singole opere geotecniche, richiede sempre l'uso di procedure sperimentali; a questo fine talvolta è sufficiente rivolgersi a metodi di prova convenzionali, talaltra è necessario impiegare metodi propri dell'Ingegneria Geotecnica Sismica.

Nel loro insieme le procedure sperimentali in discorso possono essere raggruppate nelle seguenti categorie principali:

- prove penetrometriche in sito;
- prove sismiche in sito;
- prove di laboratorio.

In linea di principio, la tipologia, il grado di approfondimento, l'accuratezza e l'estensione delle indagini geotecniche da programmare e svolgere per ottenere la caratterizzazione geotecnica di un'area sono legate direttamente alla metodologia di analisi che si intende adottare.

In ogni caso, la caratterizzazione geotecnica deve essere estesa ad un volume significativo di sottosuolo legato alla natura delle sollecitazioni ed allo specifico problema in studio.

In particolare, in campo statico il volume significativo è quella porzione di sottosuolo nella quale si verifica un'apprezzabile variazione degli stati tensionali prodotti dalle costruzioni rispetto alle tensioni geostatiche.

Di converso, in campo sismico il volume significativo è quella porzione di sottosuolo compresa tra il piano campagna ed il basamento rigido da cui parte il moto sismico.

In una data area, la severità di un evento sismico dipende principalmente: dall'energia rilasciata in corrispondenza della sorgente sismica (funzione della dimensione della zona di enucleazione e del tipo di rottura), dalla direttività del moto sismico (funzione dell'orientamento della zona di rottura) e dalla distanza dalla sorgente.

Questi fattori determinano le caratteristiche del "moto sismico al bedrock", moto sismico di riferimento in un generico sito, intendendo con tale termine il moto in corrispondenza della cosiddetta formazione rigida di base o bedrock¹.

¹ Per bedrock o formazione rigida di base si intende una formazione lapidea continua e di spessore significativo (alcune decine di metri) rispetto al problema in esame. In assenza di una formazione lapidea, si usa considerare bedrock una formazione di rocce sciolte che abbia caratteristiche geometriche analoghe ed una velocità delle onde di taglio superiore a 700-800 m/s.

Ai fini degli studi per la mitigazione del rischio sismico, è di estrema importanza considerare che in prossimità del piano campagna, le caratteristiche del moto sismico (ampiezza, durata e contenuto in frequenza) possono variare notevolmente in relazione ai caratteri locali del sito (i.e. caratteristiche geotecniche oltre che caratteri morfologici del sito), dando luogo alla cosiddetta "risposta sismica locale", vale a dire il moto sismico, così come viene avvertito in superficie, una volta trasformato a causa dei caratteri locali del sito.

Infatti, sebbene la maggior parte del percorso delle onde sismiche si svolga all'interno della crosta terrestre, è proprio nel tratto finale, quello nella coltre di terreni sciolti di copertura, che si possono verificare significative modifiche dei caratteri del moto. In quest'ultimo tratto del loro percorso accade che il terreno agisce da filtro delle vibrazioni sismiche attenuando alcune frequenze ed esaltandone altre.

In conclusione, occorre tener conto di tutto quanto innanzi citato per una corretta valutazione della risposta sismica locale. Al momento per quanto di competenza e vista la natura litologica, le caratteristiche geomeccaniche dei terreni in situ e i risultati delle indagini sismiche si può affermare che la pericolosità sismica è molto bassa come si evince dalla tabella dei valori di pericolosità sismica dell'I.N.G.V. espressa in termini di accelerazione massima orizzontale del suolo che nella nostra situazione (ex Zona sismica 3), terreni sabbiosi compatti e $V_{seq} < 800$ m/s è pari a 0.050 g e che alla luce dei dati geologici e geofisici emersi, le caratteristiche geomeccaniche dei terreni fondazionali siti sino a -1-2 m dal piano campagna consentono di realizzare le opere come di progetto e non ci sono condizioni di pericolo per fluidificazione o liquefazione sismica.

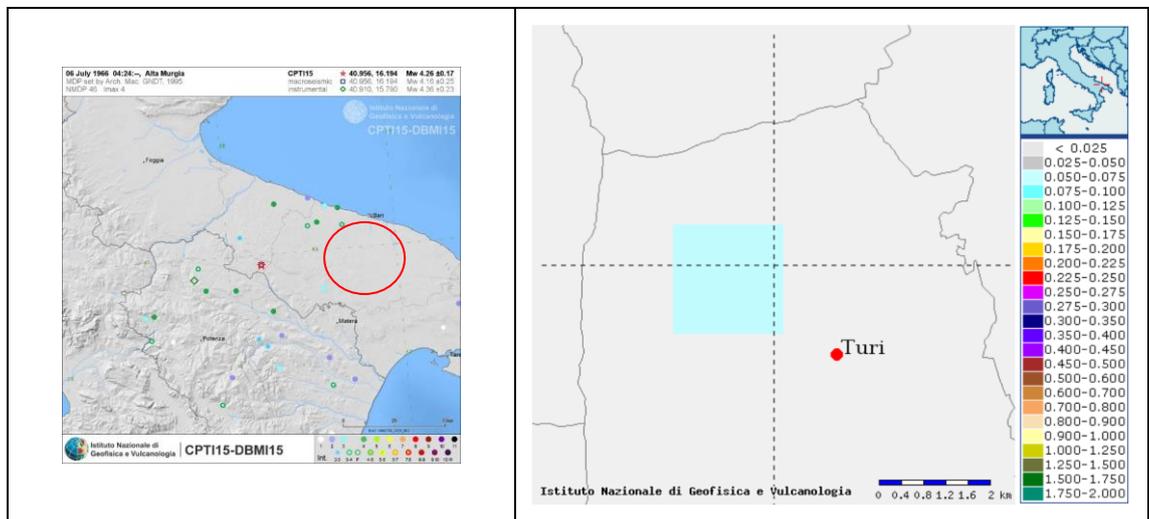


Fig. 10 - Zonizzazione sismica nazionale in termini di accelerazione sismica locale.

13. ANALISI GEOTECNICA DEI LITOTIPI E CONCLUSIONI

Il rilevamento geologico di campagna, l'analisi dei fronti degli scavi eseguiti in passato nell'area adiacente al sito oggetto d'intervento (zona "Cummerse"), le indagini in situ (scavi, spt, prove scissometriche e penetrometriche ecc.) e l'indagine sismica, effettuata in passato per la realizzazione delle zone adiacenti hanno permesso di rilevare la presenza di un substrato carbonatico e del sovrastante deposito marino biocalcarenitico formato da grani costituiti da bioclasti (Ostrea, frammenti di Alge calcaree, Foraminiferi bentonici e Briozoi) ed in parte da frammenti cretacei, provenienti dal disfacimento del substrato carbonatico, passante, verso l'alto, a depositi limoso-sabbiosi ed argillosi (vedi paragrafo precedente per i dati geotecnici emersi dalle indagini).

Sotto l'aspetto stratigrafico l'area in esame appartiene molto probabilmente ai Depositi Marini terrazzati del versante adriatico e precisamente a quelli del pianoro compreso tra le scarpate di quota 200 e di quota 180 m s.l.m.

Dall'esame dell'indagine geofisica, il modello a tre strati ottenuto nella base sismica innanzi citata può essere riferito alla seguente successione costituita (dall'alto) da:

- ammasso superficiale ($V < 300$ m/sec), rappresentato da un ammasso "prevalentemente argilloso-sabbioso" correlabile ad argille limose da mediamente a molto addensate;
- ammasso intermedio ($V < 500$ m/sec), rappresentato da un ammasso "prevalentemente calcarenitico da mediamente a molto addensate;
- ammasso di base ($V > 1600$ m/sec), rappresentato da un ammasso "prevalentemente calcareo" correlabile a depositi ben stratificati/cementati.

Per quanto riguarda la biocalcarenite, presente a profondità comprese tra 1 e 3 m circa, sempre direttamente osservabile negli scavi eseguiti in passato, quest'ultima risulta formata da grani costituiti da bioclasti ed in parte da frammenti calcarei provenienti dal disfacimento del substrato carbonatico; presentava una tessitura grano-sostenuta (packstone e grainstone) ed appare diagenizzata, non si osservavano laminazioni ed è massiva.

Dall'esame dei dati si osserva che il litotipo indicativo è una sabbia a grana medio-fine con un contenuto naturale d'acqua (wn) variabile tra il 16.6% ed il 24.8%, mentre il peso di volume secco risulta di 1.79 g/cmc, il peso specifico reale 2.73 g/cmc e la compattezza inferiore a 0,58; in situ, mediante strumentazione da campo (Penetrometro PASI ST 308) è stata eseguita in condizioni consolidate e non drenate (C.U.), una serie di determinazioni su più punti dei vari campioni presi e rappresentativi della zona d'interesse che evidenziano una coesione di poco superiore all'unità ed angolo d'attrito interno (φ) superiore a 36°.

Il campione "compatto" (strato calcarenitico ben cementato) ha dato un valore di resistenza a compressione ad espansione laterale libera (σ_r) variabile da 19 daN/cm² a 76 daN/cm².

Gli altri parametri fisici sono stati i seguenti: peso di volume secco 1.88 g/cmc; peso specifico reale 2.71 g/cmc; compattezza 0,66 g/cmc; porosità 34%. Il modulo di elasticità da considerare è di 200-500 Kg/cm².

L'indagine MASW, condotta nel sito d'interesse, ha evidenziato un valore del V_{seq} massima pari a 477 m/s, pertanto ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, il suolo di fondazione, visto il V_{seq} ottenuto, è classificato secondo il D.M. del 17.01.2018 nella categoria definita al punto 3.2. lettera B.

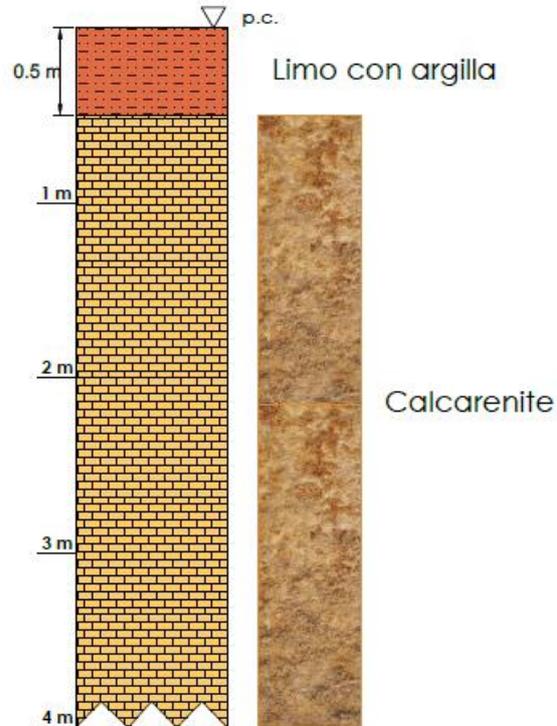
In generale tali rocce che, in Meccanica delle Rocce, sono classificate come "tenere" risultano affidabili come appoggio fondale di tipo diretto (fondazioni superficiali).

Circa la circolazione idrica sotterranea si invita a porre attenzione poiché i depositi più sabbiosi presenti a quote comprese tra 1 e 2.5 m possono essere sede di falde idriche superficiali, sia pure di modesta potenzialità idrica, viste le condizioni favorevoli legate ad una permeabilità per porosità d'interstizi variabile da alta a media ($K=10^{-2} \div 10^{-4}$ cm/s). Durante i carotaggi, tuttavia, non sono stati rinvenuti livelli idrici al loro interno.

Al fine di realizzare una qualsiasi fondazione superficiale, è bene che si tenga presente quanto segue almeno a partire da -1 m dal piano stradale:

1. nei terreni rinvenibili su detta zona, ove si ipotizza la successione originaria dei terreni senza significative asportazioni dei terreni in situ ed altro, la variazione dello stato tensionale nel tempo è il fattore determinante di cui occorre tener debitamente in conto;
2. vi può essere una significativa variazione composizionale e tensionale nel deposito calcarenitico con la profondità ed arealmente;
3. è opportuno realizzare un adeguato progetto di drenaggio delle acque meteoriche le quali possono creare gravi problemi alle fondazioni superficiali in dette zone modificando significativamente i valori dei parametri geotecnici (c , φ , σ ecc.) e delle proprietà intrinseche dei terreni.

Log stratigrafico



Legenda	
Unità formazionale	Litologia
 Terra rossa	Limo con argilla
 Calcarenite di Gravina	Calcarenite

Parametri geomeccanici della calcarenite

Peso volume naturale	15,3 ÷ 17,6 kN/mc
Peso specifico dei solidi	27,0 ÷ 27,2 " "
Contenuto nat. d'acqua	15 ÷ 25 %
Indice dei vuoti	0,88 ÷ 1
Tensione di rottura	6,50 ÷ 12,80 Kg/cm ²
Modulo di "elasticità"	2,5 x 10 ⁶ Kg/cm ²
Ks (coefficiente di sovrappeso)	20 Kg/cm ²
Coesione (c) drenata	0,7- 1,2 Kg/cm ²
Angolo di attrito interno (φ) drenato	30°-36°
Modulo edometrico	18 N/mm ²