

COMUNE DI CAROVIGNO

Provincia di Brindisi

PROGETTO AI SENSI DEL ART. 8
DEL D.P.R. n.160/2010 E D.G.R. n.2581/2011 PER LA REALIZZAZIONE
DI UN VILLAGGIO ALBERGO AI SENSI
L.R. N.11/1999, ART. 4 COMMA 3, DA REALIZZARSI IN AGRO DI CAROVIGNO

IL PROGETTISTA

Arch. Francesco BORROMEO
Arch. Maria Cagnoli
Geom. Giuseppe LOTTI
Geom. Giacomo SCALERA
Arch. Tommaso FANTINI
Arch. Alberto ROSSI
Arch. Emilio Antonio TREVISIOL

IL COMMITENTE

Ditta HUS srl
Legale Rappresentante
dott. CAGNIOLI Giovanni

IL GEOLOGO

Dott. Massimilian BRANDI

Data

22 febbraio 2020

Tavola

studio
GEOLOGICO E TECNICO

D.M. 11 marzo 1988 "norme tecniche riguardanti...." e Testo unico sulle costruzioni D.M. 17/01/2018

Massimilian BRANDI



1 . OGGETTO

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DELL'AREA

4. CENNI GEOLOGICI

5. ASPETTI MORFOLOGICI

6. STRATIGRAFIA DELL'AREA IN ESAME

7. CARATTERI IDROGEOLOGICI DELLE LITOLOGIE PRESENTI

7.1. Terreni a permeabilità media per porosità

7.1.1. Terreni ad elevata permeabilità

7.1.2. Terreni impermeabili

8. ASPETTI IDROGRAFICI

9. ASPETTI IDROGEOLOGICI

10. METODI E MEZZI DI CONOSCENZA DEL SOTTOSUOLO

10.1. Generalità

10.2. Rilevamento Geologico

10.3. Prospezioni Sismiche

10.3.1 Indagine sismica a rifrazione

11. INDAGINE SISMICA CON METODOLOGIA REMI (REFRACTION MICROTREMOR)

12. MODELLO SISMICO DEL SITO

13. CARATTERISTICHE MECCANICHE DELLE ROCCE RILEVATE

14. TIPOLOGIA FONDAZIONALE

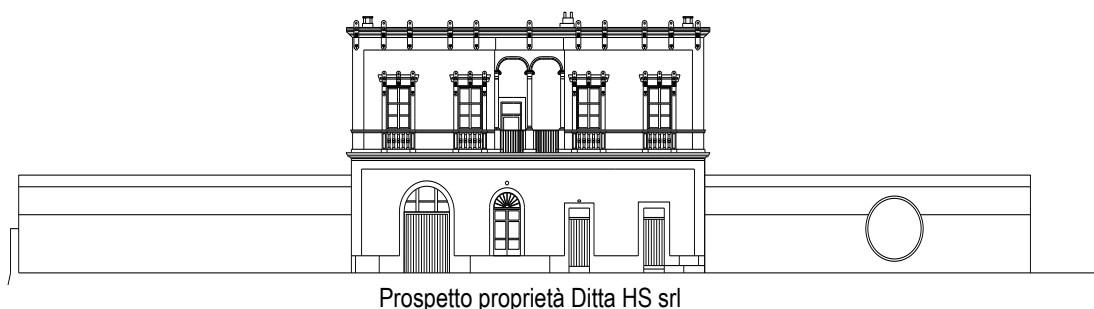
15. LIQUEFAZIONE DEI TERRENI

16. CONCLUSIONI

ALLEGATI

1. OGGETTO

Nella campagne del Comune di Carovigno (BR), su di un lotto ubicato in località Carmine, sarà eseguito un intervento edilizio consistente nella realizzazione di un villaggio albergo costituito da una struttura centrale antica, oggetto di ristrutturazione, alla quale andrà affiancata una Spa di nuova edificazione, più 16 ville sparse sulla totalità dei circa 247.000mq di superficie. L'intervento, come progettato dal tecnico incaricato, è distinto nel N.C.E.U. del Comune di Carovigno al foglio 20, particella n. 66, sub. 1, 2, 3 e 4, e nel Catasto Terreni al foglio n. 20 particelle n. 64, 55, 16 e 17.



A supporto di tale progetto è stata richiesta allo scrivente dott. Geologo Massimilian BRANDI l'indagine geologica e geotecnica sui terreni di sedime. Tale scienza prevede le applicazioni delle Scienze geologiche nei riguardi dei problemi propri dell'Ingegneria Civile e cioè relativi e/o connessi alla progettazione e costruzione di opere edili di qualsiasi tipo. Ricordiamo come in fase di realizzazione di un'opera le indagini geotecniche conferiscono dati atti a valutare il comportamento meccanico dei terreni sottoposti al carico dalle strutture sovrastanti.

Inoltre l'indagine geologica con i metodi di seguito riportati riesce a definire la situazione litostratigrafica e strutturale esistente in profondità, conferendo indicazioni sulla eventuale presenza di cavità, che potrebbero danneggiare le strutture superficiali o comprometterne la stabilità, nonché sulla presenza di acque di falda, che modificherebbero le caratteristiche meccaniche delle rocce di sedime.

Per il presente lavoro sono state condotte indagini geognostiche di tipo indiretto, che hanno consentito la determinazione delle caratteristiche meccaniche e sismiche dell'ammasso roccioso ivi presente. Di seguito si riporteranno i dati ottenuti dall'indagine eseguita. Eventuali anomalie riscontrate durante la fase di sbancamento per il ridimensionamento fondale potranno suggerire l'esecuzione di ulteriori indagini geognostiche.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Il presente elaborato, ed i dati in esso riportati, rispettano i dettami del D.M. 17/01/2018 – Norme Tecniche per le Costruzioni MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI DECRETO 17 gennaio 2018 Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni».

3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DELL'AREA

L'area di nostro interesse è riportata dalla cartografia ufficiale nella tavoletta I.G.M. del foglio 191 OSTUNI III S.E in scala 1:25.000 della quale se ne allega uno stralcio (fig.1). Amministrativamente essa ricade in agro di Carovigno, contrada Carmine, distinto nel N.C.E.U. del Comune di Carovigno al foglio 20, particella n. 66, sub. 1, 2, 3 e 4, e nel Catasto Terreni al foglio n. 20 particelle n. 64, 55, 16 e 17.

Le sue Coordinate geografiche sono:

Latitudine: 40° 43' 58.09" N
Longitudine: 17° 41' 43.83" E

4. CENNI GEOLOGICI

La Puglia, di cui le Murge e il Salento sono due parti molto rappresentative, costituisce la più estesa area di avampaese non deformato dell'area mediterranea; fa parte della micropiastria apula e presenta una struttura uniforme basata su crosta continentale con una spessa copertura paleozoica-mesozoica alla quale si sovrappongono depositi cenozoici di limitato spessore. Sotto l'aspetto morfostrutturale l'avampaese affiorante corrisponde alla parte più sollevata di un'ampia struttura uniforme, allungata in direzione NO-ESE interessata da più sistemi di faglie con diversa orientazione (solitamente parallele alla costa le principali e perpendicolari a queste sistemi minori).

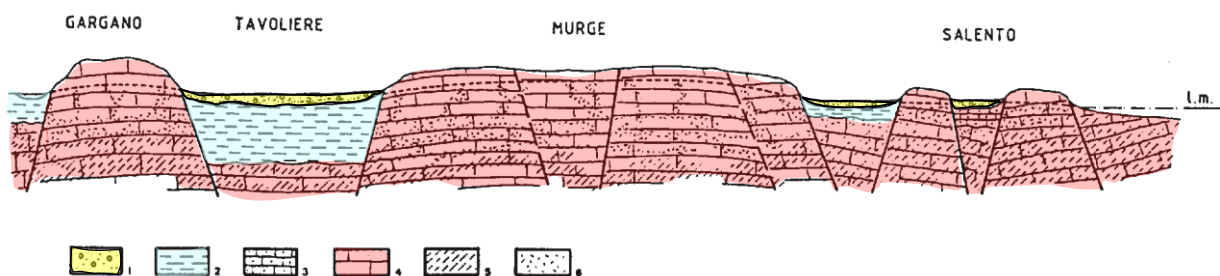


Fig. 1 : Sezione idrogeologica schematica della Puglia in direzione NO-SE. 1. Depositi alluvionali (Olocene-Pleistocene sup.); 2. Argille grigio azzurre (Pleistocene inf.-Pliocene); 3. Calcareni mioceniche; 4. Calcarei di piattaforma apula (Cretaceo); 5. Sup.piezometrica H₂O salata; 6. Sup.piezometrica H₂O dolce.

Questo sistema di faglie ha separato nei tempi geologici l'avampaese in enormi blocchi (Gargano, Murge, Salento) sollevati in modo differenziato, costituendo aree con caratteri tettonici peculiari.

Provincia di Brindisi

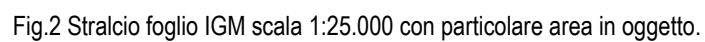


Fig.2 Stralcio foglio IGM scala 1:25.000 con particolare area in oggetto.

5. ASPETTI MORFOLOGICI

L'area in esame fa parte delle propaggini più estreme dell'altopiano murgiano che progradà, più o meno bruscamente, verso mare lasciandosi sommergere dallo stesso e dai depositi da esso accumulati nei tempi geologici recenti. I rilievi che orlano la costa in esame s'innalzano con quote massime comprese tra i 220 m di Ostuni e i 170 m di Carovigno. Tali quote diminuiscono rapidamente attraverso una serie di cadute di pendio originarie di terrazzi marini di diverso ordine. La pendenza media del territorio di San Michele è di circa un 3% con punte massime, in corrispondenza dei gradini dei terrazzi, del 6-7 %.

Tali terrazzi sono la testimonianza di cicli di trasgressione e regressione marina i quali hanno avuto origine sia dalle glaciazioni che da sollevamenti tettonici.

I terrazzi sono stati datati di età medio e supra-pleistocenica.

Ovunque gli affioramenti presentano incisioni o morfologie di origine carsica che rendono il territorio assai caratteristico. Un intreccio di canali e depressioni che raccoglievano e raccolgono tuttora i residui di acque meteoriche sfuggite, in casi eccezionali, all'elevata permeabilità del terreno.

Verso la costa le incisioni diventano imponenti trasformandosi in veri e propri paleoalvei, noti in letteratura con il nome di lame, delimitati da argini naturali profondi alcuni metri. Tali incisioni sono delle vere e proprie sezioni naturali che consentono l'identificazione delle dimensioni degli strati più superficiali e della loro struttura.

Nella parte terminale delle lame è, per alcune di esse, sempre presente un tratto colmo di acqua di origine continentale. Infatti, in questi punti, la falda di acqua dolce, ostacolata nel deflusso naturale verso il mare da terreni poco permeabili, emerge creando il classico ambiente di retrospiaggia ricco di fauna e flora propria degli stagni ad acque salmastre.

Tale ambiente ormai è continuamente invaso dal mare a causa dell'abbassamento della quota del bagnoasciuga dovuto ad uno sfruttamento sconsiderato della costa.

La costa in questa zona è del tipo bassa e frastagliata caratterizzata da baie colme di sabbia. Sono presenti le dune fossili che nei pressi di Santa Sabina raggiungono quote di 3-4 m sul livello del mare.

6. STRATIGRAFIA DELL'AREA IN ESAME

Il quadro stratigrafico, ricostruito recentemente da un complesso lavoro eseguito dall'Università di Bari, mostra che le diverse unità affioranti possono essere distinte in 4 gruppi in base ai caratteri di facies in relazione all'evoluzione geodinamica dell'area pugliese dal Cretaceo ai giorni nostri.

Il primo gruppo è formato dalle formazioni cretacee costituite da depositi di piattaforma carbonatica interna.

Il secondo gruppo è composto da formazioni del terziario, anche esse carbonatiche, ma con caratteri paleoambientali indicanti ambienti aperti meno profondi dei precedenti.

Il terzo gruppo è costituito da unità che formano un ciclo sedimentario completo supra-infraPliocenico di mare poco profondo.

Il quarto gruppo medio-supraPleistocenico, comprende un insieme di unità litostratigrafiche disposte in terrazzi, riferibili ad ambienti costieri.

Nella nostra area affiorano unità appartenenti al:

PRIMO GRUPPO	Calcare di Altamura (Cretaceo)
TERZO GRUPPO	Calcarenite di Gravina (Pliocene med.-Pleistocene inf.) Argille subappennine (Pleistocene inf.)
QUARTO GRUPPO	Depositi marini terrazzati (Pleistocene med.-inf.)

- Calcare di Altamura. E' estesamente presente nell'area salentina. Lo spessore affiorante si aggira intorno ai 1000 metri. E' costituito da calcare micritico microfossilifero e da calcare a Rudiste in sequenza di norma cicliche, regolarmente stratificate. Di colore grigio chiaro si presenta talune volte fratturato e altre volte in banchi potenti circa un metro.

- Calcarenite di Gravina. Affiora su aree estese o in lembi residui. Nel Salento sono prevalentemente presenti in aree depresse con notevoli spessori. La stratificazione non evidente è marcata da superfici irregolari e da pacchi di lamine clinostatificate. Si tratta di un deposito carbonatico costituito da banchi di calcareniti e calciruditi biancastre non molto fini, con liti via via più cementati all'aumentare della profondità.

Tale unità non interessa l'area in esame ma si sviluppa a nord ed ad est della stessa.

- Argille subappennine Si tratta di argille siltose-marnose miste nella nostra zona ai depositi marini terrazzati.

Troviamo tale unità lungo la costa nel tratto.

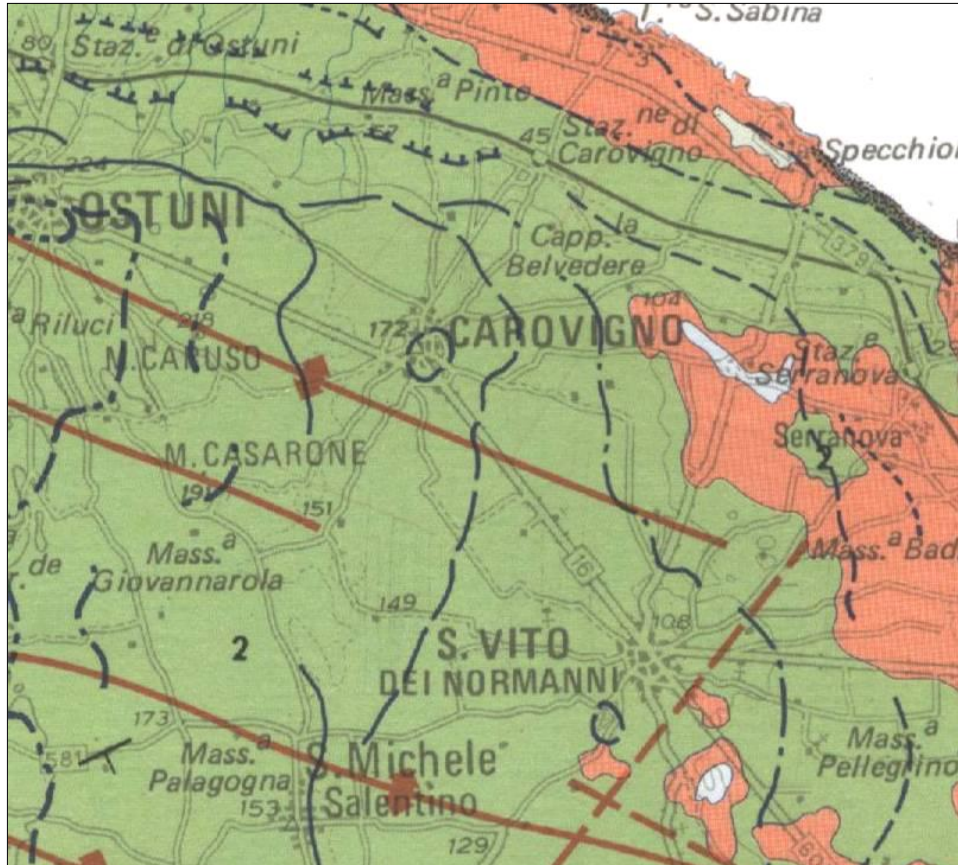
- Depositi marini terrazzati E' l'unità affiorante più estesa nella zona a sud-est di Santa Sabina. E' costituita prevalentemente da areniti miste a sabbie argillose giallastre con superficie regolare modellata dai diversi agenti esogeni. Gli spessori sono alquanto variabili da zona a zona. Tale unità affiora a nord e ad est dell'area in oggetto, al disopra delle Calcareniti.

Tengo a precisare che di tutte le unità citate l'unica che si rinviene al disotto dell'area da edificare è quella del Calcare di Altamura. Al disopra di tale unità, all'interno delle incisioni vallive e lungo il litorale, sono presenti limitati spessori di depositi alluvionali costituiti da materiale argilloso rossastro e clasti derivanti dall'alterazione dei calcari Cretacici e delle calcareniti Pleistoceniche. Si tratta essenzialmente di idrosilicati ed idrossidi di alluminio residuo insolubile delle rocce precedentemente citate. Lo schema litostratigrafico riportato di seguito indica la situazione locale ed è valido per un'area di circa 4km di raggio da essa (figura 3).



COMUNE DI CAROVIGNO

Carta Geologica Generale



LEGENDA

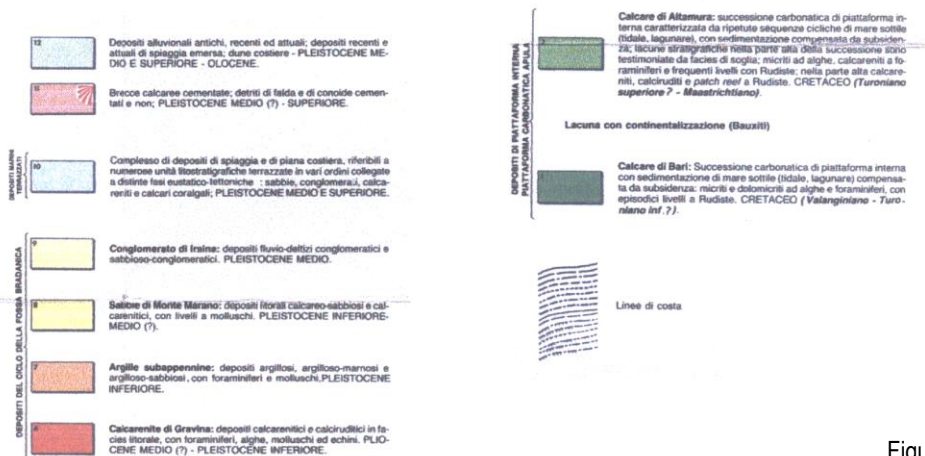


Figura 3

7. CARATTERI IDROGEOLOGICI DELLE LITOLOGIE PRESENTI

In base ai caratteri litologici descritti e alle osservazioni di campagna, i terreni affioranti possono essere così classificati in base al tipo di permeabilità:

- Terreni a permeabilità media per porosità;
- Terreni ad elevata permeabilità per fratturazione;
- Terreni impermeabili.

7.1. Terreni a permeabilità media per porosità

A questa categoria sono correlabili i termini calcarenitici e sabbiosi debolmente cementati della formazione di Gravina.

Solo in corrispondenza dei livelli macrofossiliferi la permeabilità diventa medio-alta a causa delle numerose vie preferenziali che l'acqua incontra tra i macrofossili. Nei livelli più fini e cementati il valore della permeabilità diminuisce per poi riaumentare in corrispondenza del contatto trasgressivo con i calcari Cretacici sottostanti.

Qualora al contatto tra le calcareniti e i sottostanti calcari vi siano accumuli di terra rossa o limi, d'origine diversa, allora si possono creare situazioni di microfalde sospese.

7.1.2. Terreni ad elevata permeabilità per fratturazione

Sono rappresentati dai calcari del Cretaceo. La presenza di fratture, piani di stratificazione, e condotti carsici dovuti all'allargamento di fratture e giunti di strato, costituiscono una rete fessurativa che conferisce all'ammasso roccioso una elevata permeabilità che varia sia verticalmente che lateralmente al variare del grado di fratturazione e della natura litologica della roccia (calcari e/o dolomie).

7.1.3 Terreni impermeabili.

A questa classe appartengono le argille ed i limi presenti in maniera quasi omogenea lungo il litorale compreso tra Torre Guaceto e Brindisi a profondità modeste variabili tra il metro e i 3 metri.

Nella zona dove sarà realizzato l'intervento edilizio i terreni presenti li possiamo ascrivere a quelli con permeabilità per porosità, nello strato più superficiale dove sono presenti i depositi dei prodotti di alterazione del calcare (Terra Rossa), e a terreni con permeabilità per fratturazione e carsismo, nella parte sub superficiale e profonda.

Riportiamo uno schema riassuntivo dei caratteri idrogeologici delle unità descritte:

FORMAZIONE	PERMEABILITA'	LITOLOGIA	FALDA
Depositi Marini Terrazzati (a Nord-Est dell'area in oggetto)	media	sabbie e conglomerati	Superficiale e profonda
Argille subappennine (lungo la costa Torre Guaceto Brindisi)	impermeabile	argille e limi sabbiosi	Profonda
Calcareni calabrianne (a Nord dell'area in esame)	per porosità	lapidea	Profonda
Calcere di Altamura (area in esame)	permeabile per fratturazione e fessurazioni	Lapidea	falda profonda

8. ASPETTI IDROGRAFICI

Caratteristica comune al territorio salentino o se vogliamo sud pugliese è l'assenza d'idrografia superficiale. Le cause sono molteplici:

dalla elevata permeabilità delle rocce affioranti alla mancanza di monti, sorgenti, ghiacciai e quant'altro garantisca un rifornimento continuo a possibili alvei fluviali. Così tutta l'acqua meteorica, ad esclusione della parte evapotraspirata, si infiltra nel terreno alimentando la falda profonda. Però, anche se raramente, le abbondanti precipitazioni specie quelle degli ultimi anni rianimano l'idrografia superficiale determinando in molti casi problemi alle cose e persone. Questo è dovuto soprattutto alle azioni antropiche che hanno modificato e ostruito quelle che erano le vie preferenziali di deflusso superficiale delle acque.

9. ASPETTI IDROGEOLOGICI

Come è noto le caratteristiche idrogeologiche degli acquiferi condizionano la circolazione idrica nel suolo e sottosuolo. L'acquifero in oggetto è del tipo "Acquifero fessurato" costituito da calcari (con $\text{CaCO}_3 \geq 95\%$) e/o dolomie (con $\text{MgCO}_3 \geq 40\%$) al letto e calcareniti a granulometria variabile (composizione carbonatica) al tetto. Esso presenta sia microfratture (0.1-1.0)mm che veri e propri canali sotterranei dove l'acqua si muove di moto turbolento determinando un ampliamento delle cavità per azione meccanica.

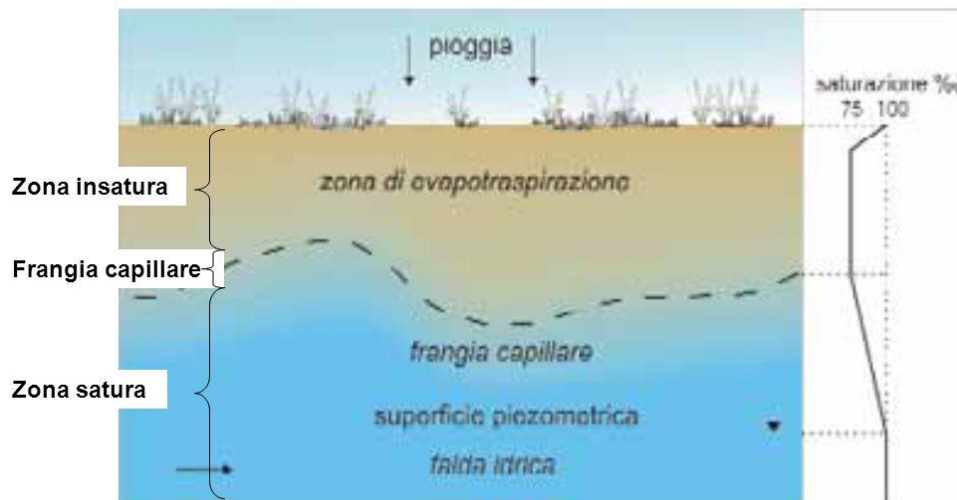
La porosità primaria (dovuta ai meati nati con la roccia) è scarsa mentre quella secondaria (dovuta alle fratture d'origine carsica e tettonica) è assai elevata. Queste caratteristiche determinano per la falda profonda un'elevata trasmissività. Le vie preferenziali di deflusso delle acque sono i giunti di strato o i contatti fra rocce a differente porosità.

L'acqua d'infiltrazione determina nel sottosuolo la presenza delle seguenti zone:

- Zona di Areazione
- Zona di infiltrazione

Nel nostro caso la prima zona, zona di aerazione, è praticamente inesistente sia per la notevole distanza tra lo strato superficiale e la zona di fluttuazione e sia per l'elevata permeabilità delle rocce. Solo in concomitanza di eventi meteorici il terreno superficiale a causa della elevata capacità idrica di campo riesce a rimanere umido per alcuni giorni.

Caratterizzazione verticale



La seconda zona, zona di saturazione, va esaminata con più dettaglio. Essa, come è possibile notare dalla schematizzazione riportata sopra, presenta partendo dal basso la superficie di fondo e la zona di fluttuazione.

La superficie di fondo coincide o con una superficie a permeabilità minore di quella dello strato sovrastante o con la superficie del mare.

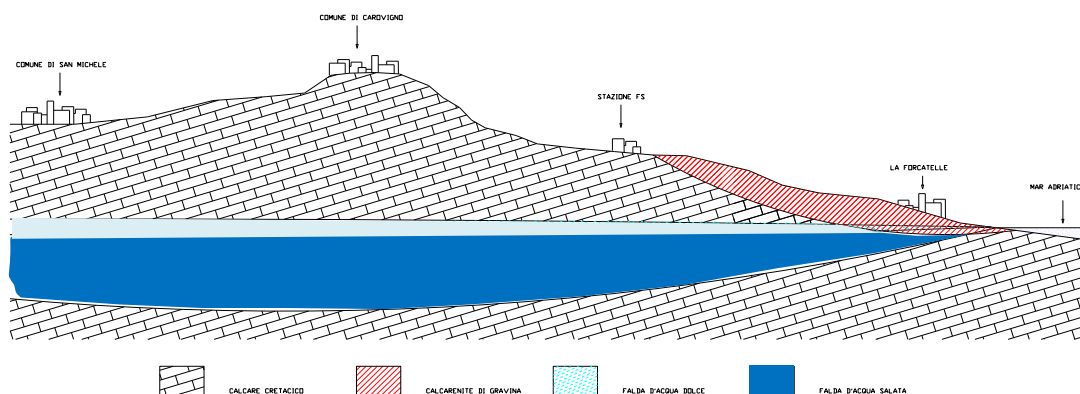


Fig.4

Si ha quindi la nascita di una lente biconvessa di acqua dolce che galleggia su quella salata (vedi fig.4 schema idrogeologico).

La zona di separazione tra i due fluidi è detta superficie di transizione. Ricordiamo come il passaggio da acqua dolce a acqua salata avviene in maniera graduale con aumento di salinità costante verso il basso.

Nel nostro caso le fondazioni del nuovo intervento non interagiscono con la falda profonda. Esse non saranno nemmeno da ostacolo all'eventuale ruscellamento superficiale in quanto è stata scelta, come ubicazione dell'intervento, un'area a quota topografica più alta rispetto all'orografia circostante. In occasione del presente studio si è potuto osservare come sul posto sono ben presenti solchi di erosione determinati da linee preferenziali di deflusso delle acque superficiali, aventi generalmente una direzione di sviluppo ovest-est.

10. METODI E MEZZI DI CONOSCENZA DEL SOTTOSUOLO

10.1 Generalità

I metodi che sono a disposizione del geologo per ottenere la conoscenza del sottosuolo sono:

- le ricerche geologiche di superficie (Rilevamento Geologico),
- le prospezioni geofisiche,
- gli scavi e le prospezioni meccaniche (Perforazioni di sondaggio).

Il rilevamento geologico rappresenta il metodo più rapido. I suoi limiti sono dovuti al fatto che non sempre esso consente di ricostruire le condizioni geologiche del sottosuolo con dettaglio.

Il metodo più efficace e sicuro è quello degli scavi e delle prospezioni meccaniche, in quanto è l'unico che permette l'esame diretto dei terreni del sottosuolo. Il metodo delle prospezioni geofisiche è il metodo d'investigazione più utilizzato. Esso consente di investigare elevati volumi di terreno in breve tempo. Le prospezioni geofisiche consentono solo la conoscenza indiretta del sottosuolo, potendo giungere alla natura dello stesso unicamente tramite la determinazione e l'interpretazione di talune sue caratteristiche fisiche. Per il presente lavoro sono eseguite indagini geognostiche di tipo indiretto. Si riportano di seguito i risultati da utilizzare per il dimensionamento fondale. La direzione lavori, a seguito di sbancamento dello strato sup. della roccia, in occasione della realizzazione del piano di posa fondale, dovrà verificare la coerenza di quanto riportato nel presente studio con le risultanze dello scavo. Eventuali incongruenze dovranno essere comunicate al fine di decidere la esecuzione di indagini suppletive.

10.2 Rilevamento geologico

Il rilevamento geologico (prospezione geologica di superficie) è stato compiuto alla luce delle conoscenze acquisite attraverso una documentazione bibliografica. Lo scopo principale dell'applicazione di tale metodo è stato, nel nostro caso, quello di rilevare dei dati da confrontare e correlare con quelli ottenuti dall'indagine sismica. Il grado utilizzato nell'espletare tale indagine fa ricadere la stessa nel genere "rilevamento di ricognizione". Infatti esso è stato compiuto su un'area più estesa di quella interessata dall'opera con lo scopo di individuare, in grandi linee, le condizioni stratigrafiche e strutturali dell'area in esame. Dall'esame visivo delle litologie affioranti attorno la zona d'intervento appare evidente come la roccia presenti alterazioni di origine carsica.

Lungo alcune sezioni stradali, o in scavi per realizzazione di fabbricati rurali, si individuano, lungo le pareti, calcarei in banchi aventi uno spessore medio di 30cm, con superfici a volte lisce a volte scabrose, intervallate da livelletti di depositi di terra rossa.



Esempio di affioramento locale

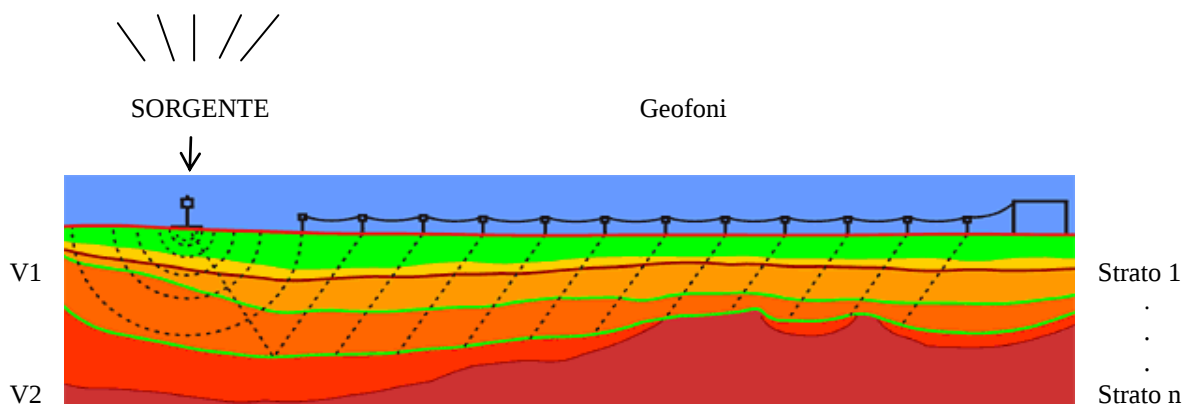
Tali depositi riempiono anche le discontinuità interstiziali e le numerose fratture caratterizzanti l'ammasso roccioso.

10.3 Prospezioni sismiche

Se in un punto del suolo si provoca un urto, le onde elastiche che si generano si propagano attraverso il sottosuolo via via smorzandosi. Il tempo necessario perché tali onde vengano registrate da ricevitori (geofoni) opportunamente collocati in superficie, dipende dalla natura e dalla disposizione delle formazioni geologiche. Le prospezioni sismiche hanno per base lo studio di questi tempi di propagazione ed in ciò utilizzando i metodi sismici i cui principi teorici sono quelli della propagazione delle onde elastiche.

Nella prospezione sismica si prendono in considerazione generalmente onde longitudinali P (di compressione), in quanto essendo più veloci vengono ricevute per prime dagli strumenti e quindi meglio identificate. La velocità di propagazione delle onde elastiche longitudinali nel sottosuolo è compresa, per ogni litologia, in certi limiti. Proprio questa caratteristica ci consente di individuare lo stato della roccia o la presenza di cavità. Infatti per ogni litologia la velocità diminuisce con l'aumentare del grado di fratturazione, fessurazione, ecc. Esistono due tecniche di prospezione sismica: quella a rifrazione e quella a riflessione. Il metodo utilizzato nel nostro caso è quello a rifrazione. Per il presente lavoro, come già detto nel paragrafo introduttivo, sono state condotte quattro indagini geognostiche di tipo indiretto ascrivibili alla sismica a rifrazione. La direzione

lavori dovrà decidere la necessità di effettuare indagini suppletive volte alla definizione puntuale dello stato dei luoghi.



Esempio di terreno ad "n" strati con $V1 < V2$ e interfaccia parallela alla sup. topografica

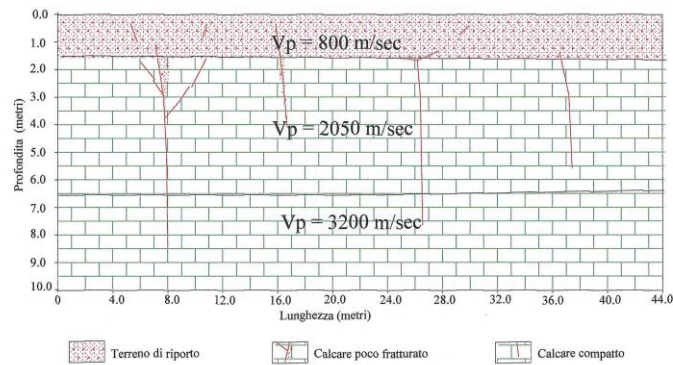
10.3.1 INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE (n°1 sondaggio)

L'indagine è stata finalizzata alla ricostruzione dei rapporti geometrici dei sismostrati rilevabili lungo una direttrice, consentendo di determinare con buona approssimazione la stratigrafia e l'eventuale andamento in profondità di strutture geologiche di rilievo. Gli stendimenti sismici di lunghezza pari a 22m sono stati ubicati come da planimetria allegata. La prospezione è stata eseguita mediante l'utilizzo di n° 11 geofoni con frequenza di oscillazione di 14Hz. L'interpretazione è stata effettuata utilizzando il metodo Palmer (GRM) che consente di tener conto delle variazioni laterali di velocità nella costruzione del modello interpretativo. Per ogni stendimento sono stati effettuati tre scoppi: due esterni e uno interno ad una distanza di 11m dalle estremità.

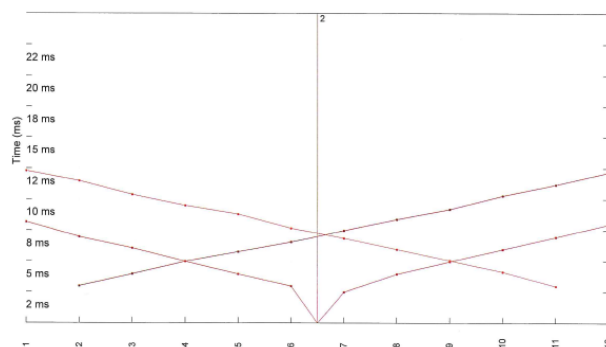
Le registrazioni sono avvenute convogliando i dati dalle singole stazioni alla centrale di raccolta dati PS 32 a 16 canali della MAE avente le seguenti caratteristiche tecniche: gestione a microprocessore; memoria di accumulo dati digitali con capacità di 64 Kbytes; 1024 campioni per traccia; frequenza di campionatura 250-1000-2000-4000 c/s; lunghezza del record $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, 1, 4 secondi in relazione alla frequenza di campionatura; controllo guadagni da 0 a 90 dB; risoluzione a 12 bit; sommatoria automatica; elaborazione software Gremix v2.0 della Interpretex; geofoni con frequenza di 10 Hz; energizzazione con sorgente ad impatto. I dati raccolti unitamente alle distanze dei geofoni sono stati successivamente elaborati con apposito programma, il quale ha consentito il calcolo delle velocità delle onde di volume (V_p V_s) e della profondità degli orizzonti rifrangenti con le relative inclinazioni.

Si ritiene di dover sottolineare come il modello geosismico ottenuto lungo **lo stendimento 1** sia molto chiaro e leggibile a testimonianza della qualità del lavoro svolto. Esso presenta, nell'area investigata, tre sismostrati ben definiti costituiti da:

- area superficiale costituita da una zona superficiale, con spessore variabile sino ad un massimo di 1m, costituita da terreno vegetale frammisto a pietrame. La velocità di propagazione delle onde sismiche in questo strato è pari a 800m/s;



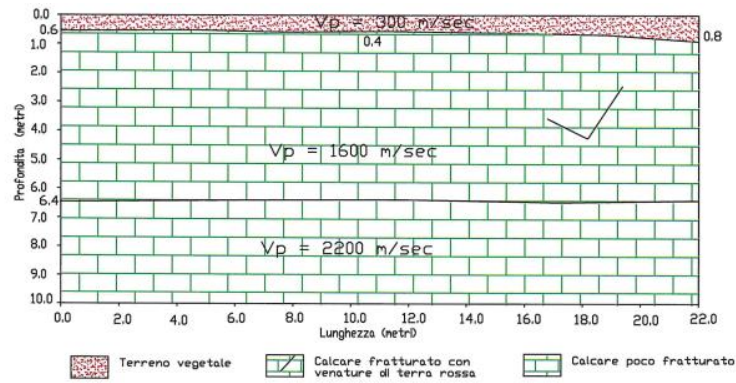
- area sub superficiale da fratturata e carsificata, con presenza di fratturazioni modeste in alcuni casi riempite da terreno vegetale, a compatta. Lo spessore è superiore ai 6m. La velocità media di propagazione delle onde sismiche aumenta sino ai 2050m/s.



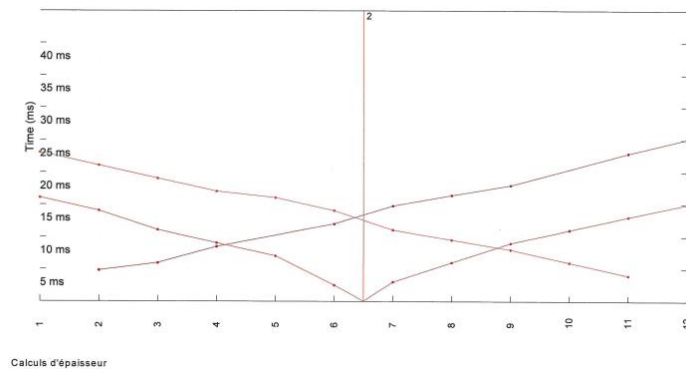
- Al disotto di tale area, da una profondità di circa 6,5m l'ammasso roccioso si compatta assumendo valori di velocità elevati pari a 3200ms

Il modello geosismico ottenuto lungo lo **stendimento 2** presenta, nell'area investigata, tre sismostrati ben definiti costituiti da:

- area superficiale costituita da una zona superficiale, con spessore variabile sino ad un massimo di 0,6m, costituita da terreno vegetale frammisto a pietrame. La velocità di propagazione delle onde sismiche in questo strato è pari a 300m/s;



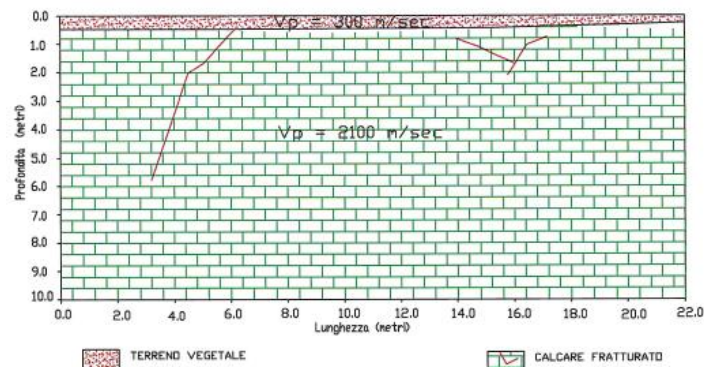
- area sub superficiale da fratturata e carsificata, con presenza di fratturazioni modeste in alcuni casi riempite da terreno vegetale, a compatta. Lo spessore è superiore ai 6,4m. La velocità media di propagazione delle onde sismiche aumenta sino ai 1600m/s.



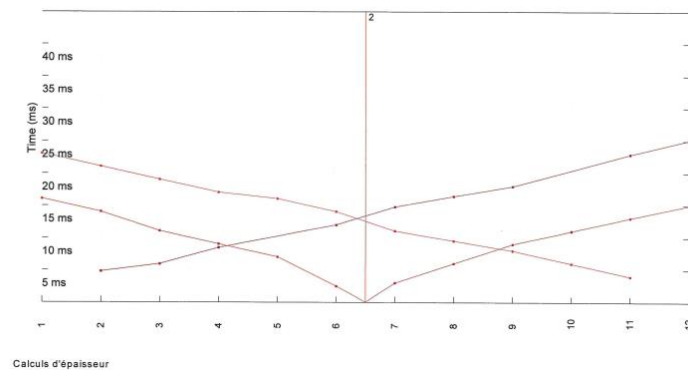
- Al disotto di tale area, da una profondità di circa 6,5m l'ammasso roccioso si compatta assumendo valori di velocità elevati pari a 2200ms

Il modello geosismico ottenuto lungo lo **stendimento 3** presenta, nell'area investigata, due sismostrati ben definiti costituiti da:

- area superficiale costituita da una zona superficiale, con spessore variabile sino ad un massimo di 0,5m, costituita da terreno vegetale frammisto a pietrame. La velocità di propagazione delle onde sismiche in questo strato è pari a 300m/s;



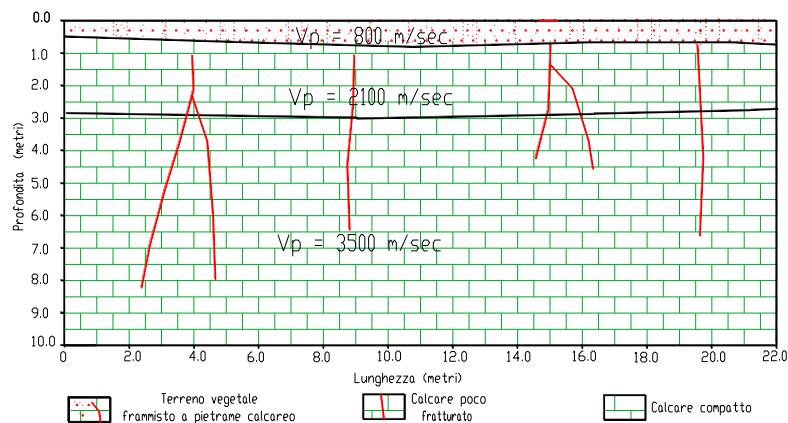
- area sub superficiale da fratturata e carsificata, con presenza di fratturazioni modeste in alcuni casi riempite da terreno vegetale, a compatta. Lo spessore è superiore ai 9m. La velocità media di propagazione delle onde sismiche aumenta sino ai 2100m/s.



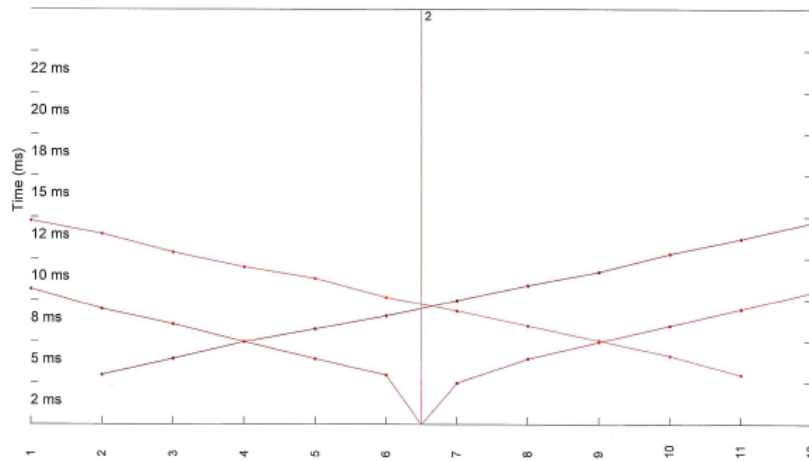
- Al disotto di tale area, da una profondità di circa 6,5m l'ammasso roccioso si compatta assumendo valori di velocità elevati pari a 2200ms

Il modello geosismico ottenuto lungo lo **stendimento 4** presenta, nell'area investigata, tre sismostrati ben definiti costituiti da:

- area superficiale costituita da una zona superficiale, con spessore variabile sino ad un massimo di 0,6m, costituita da terreno vegetale frammisto a pietrame. La velocità di propagazione delle onde sismiche in questo strato è pari a 300m/s;



- area sub superficiale da fratturata e carsificata, con presenza di fratturazioni modeste in alcuni casi riempite da terreno vegetale, a compatta. Lo spessore è superiore ai 3m. La velocità media di propagazione delle onde sismiche aumenta sino ai 2100m/s.



- Al disotto di tale area, da una profondità di circa 3m sino a 10m l'ammasso roccioso si compatta assumendo valori di velocità elevati pari a 3500ms



Particolare stazione registrazione dati e geofoni

11. INDAGINE SISMICA CON METODOLOGIA REMI (REFRACTION MICROTREMOR)

L'analisi dei microtremori viene effettuata utilizzando la strumentazione classica per la prospezione sismica a rifrazione (a geofono singolo) disposta sul terreno con array lineare, da 12 a 48 geofoni; per ottenere una buona risoluzione in termine di frequenza, oltre ad utilizzare geofoni con bassa frequenza di risonanza (4-14 Hz raccomandati), è indispensabile allungare il tempo di registrazione (15-30s) rispetto alla sismica a rifrazione tradizionale. Si possono così registrare onde di superficie il cui contenuto in frequenza copre un range da 25-30Hz fino a 2 Hz che, in condizioni ottimali, offre una dettagliata ricostruzione dell'andamento delle V_s relativamente ai primi cento metri di profondità. Si tratta di una modellazione del sottosuolo mediante l'analisi delle onde di Rayleigh. Per rilevare onde sismiche trasversali, anche la sorgente energizzante deve generare onde a prevalente componente di taglio. Per tale motivo è stato utilizzato un sismografo della Geometrics "modello GEODE" con geofoni da 4.5 Hz.

Recenti studi hanno consentito di creare un modello matematico anche per trattare le onde S, cercando di godere del vantaggio della elevata energia associata a questo tipo di propagazione. L'analisi delle onde S mediante tecnica ReMi viene eseguita mediante la trattazione spettrale del sismogramma, cioè a seguito di una trasformata di Fourier, che restituisce lo spettro del segnale. In questo dominio, detto dominio trasformato, è semplice andare a separare il segnale relativo alle onde S da altri tipi di segnale, come onde P, propagazione in aria, ecc.

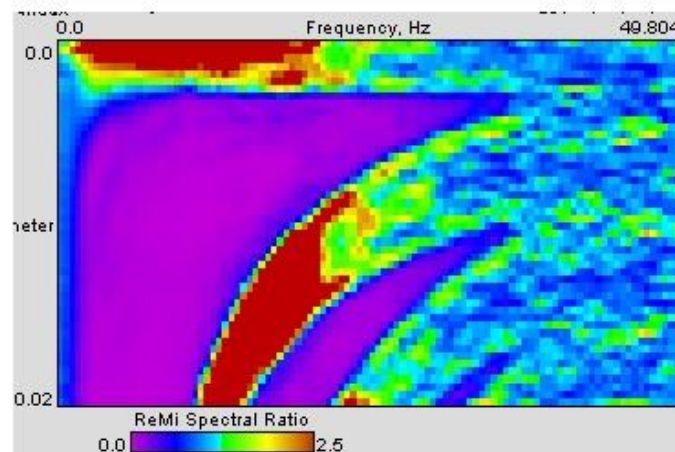


Fig. 5 Esempio di spettro di potenza p-f.

L'osservazione dello spettro consente di notare che l'onda S si propaga a velocità variabile a seconda della frequenza dell'onda stessa, questo fenomeno è detto dispersione, ed è caratteristico di questo tipo di onde. La teoria sviluppata suggerisce di caratterizzare tale fenomeno mediante una funzione detta curva di dispersione, che associa ad ogni frequenza la velocità di propagazione dell'onda. Tale curva è facilmente estraibile dallo spettro del segnale poiché essa approssimativamente posa sui massimi del valore assoluto dello spettro.

L'elaborazione del segnale consiste nell'operare una trasformata bidimensionale "slowness-frequency" (p-f) che analizza l'energia di propagazione del rumore in entrambe le direzioni della linea sismica e nel rappresentarne lo spettro di potenza su un grafico p-f (fig.1). Nell'immagine di figura 1 è possibile un riconoscimento visivo delle onde di Rayleigh, che hanno carattere dispersivo.

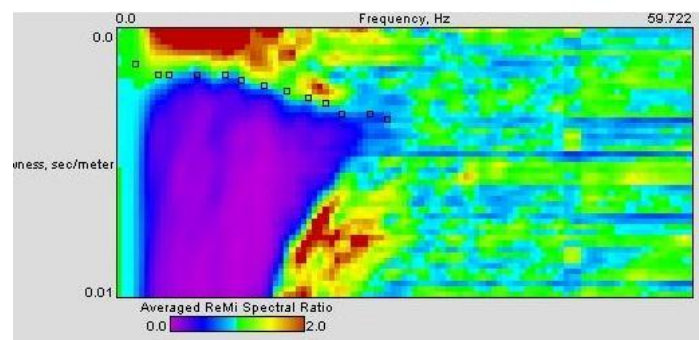


Fig. 6 Esempio di picking

A questo punto l'operatore, in maniera arbitraria ed in base all'esperienza, esegue un "picking" (fig.2) attribuendo ad un certo numero di punti una o più slowness (p o $1/\text{velocità di fase}$) per alcune frequenze. Tali valori vengono in seguito plottati su un diagramma periodo-velocità di fase per l'analisi della curva di dispersione e l'ottimizzazione di un modello diretto. La curva di dispersione in realtà può non essere così facile da estrarre, questo perché dipende molto dalla pulizia dei dati e da quanto disturbano gli altri segnali presenti nel sismogramma.

Ecco perché questa fase in realtà deve essere considerata una interpretazione, e per questo i migliori software di analisi di dati ReMi consentono di modificare anche manualmente la curva di dispersione per soddisfare le esigenze dell'utente più esperto.

I dati selezionati dall'immagine p - f vengono plottati su un diagramma nel quale compare anche una curva di dispersione calcolata a partire da un modello di V_s che è modificabile dall'interprete.

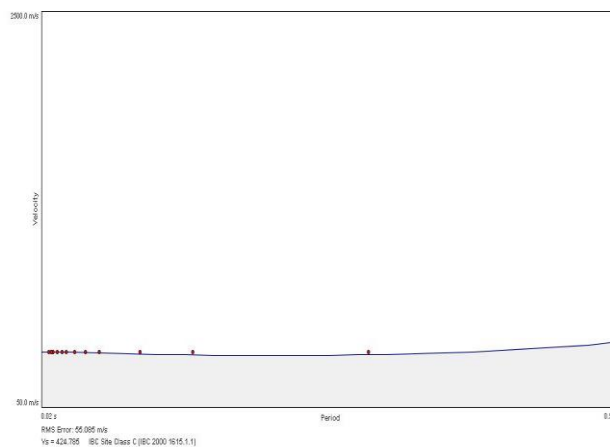


Fig.7: Modellizzazione diretta interattiva: curva di dispersione calcolata (grigio) e curva sperimentale con picking (puntinato rosso).

Variando il numero di strati, la loro velocità e la densità nel modello, la curva di dispersione calcolata viene adattata fino a farla aderire il più possibile a quella sperimentale ottenuta con il picking (fig.7).

La curva di dispersione calcolata, approssimativamente coincidente con la curva sperimentale, viene associata ad un modello sintetico. Questa delicata seconda fase di interpretazione è comunemente detta fase di inversione, e dipendentemente dal software usato può anch'essa avvenire in maniera automatica e/o manuale. Entrambe le due fasi di interpretazione, per quanto debbano seguire le linee guida dettate dalla teoria, devono rigorosamente essere controllate accuratamente dall'utente poiché non è possibile affidarsi completamente ad un sistema automatico che lavora alla ricerca della soluzione matematicamente migliore. La V_{seq} è stata calcolata con la seguente espressione:

$$V_{seq} = \frac{H}{\sum h_i/V_i}$$

Da tale relazione è emerso un valore di V_{seq} di 836 m/sec.

Le categorie di suolo individuate dal Decreto Ministeriale 17 Gennaio 2018, recante aggiornamento delle "Norme Tecniche per le costruzioni" sono le seguenti:

- a) 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;
- b) Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalenti compresi tra 360 m/s e 800 m/s;
- c) Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalenti compresi tra 180 m/s e 360 m/s;
- d) Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s;
- e) Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalenti riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Il suolo di fondazione rientra pertanto nella categoria A.

12. MODELLO SISMICO DEL SITO.

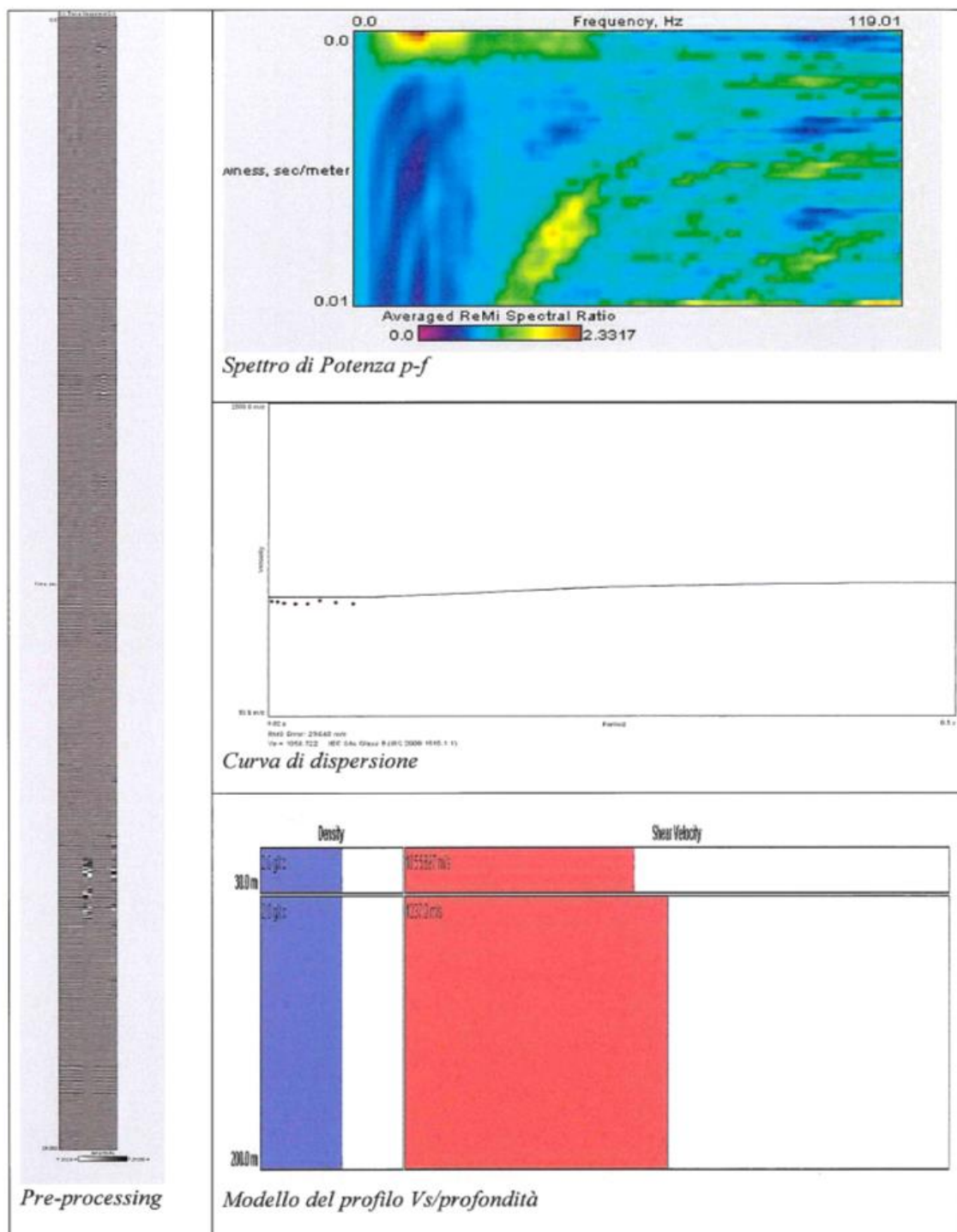
Il territorio del Comune di Carovigno (BR) non era classificato sismico ai sensi del D.M. 19.03.1982. L'ordinanza P.C.M. n.3274 del 23.03.2003 riclassifica l'intero territorio nazionale. In tale quadro il Comune di Carovigno ricade in zona sismica 4. Si riporta la tabella ove ciascuna zona è individuata secondo valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo a_g con probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

Zona sismica	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [a_g/g]	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico [a_g/g]
1	>0.25	0.35
2	0.15 - 0.25	0.25
3	0.05 - 0.15	0.15
4	<0.05	0.05

** in rosso valori del sito studiato*

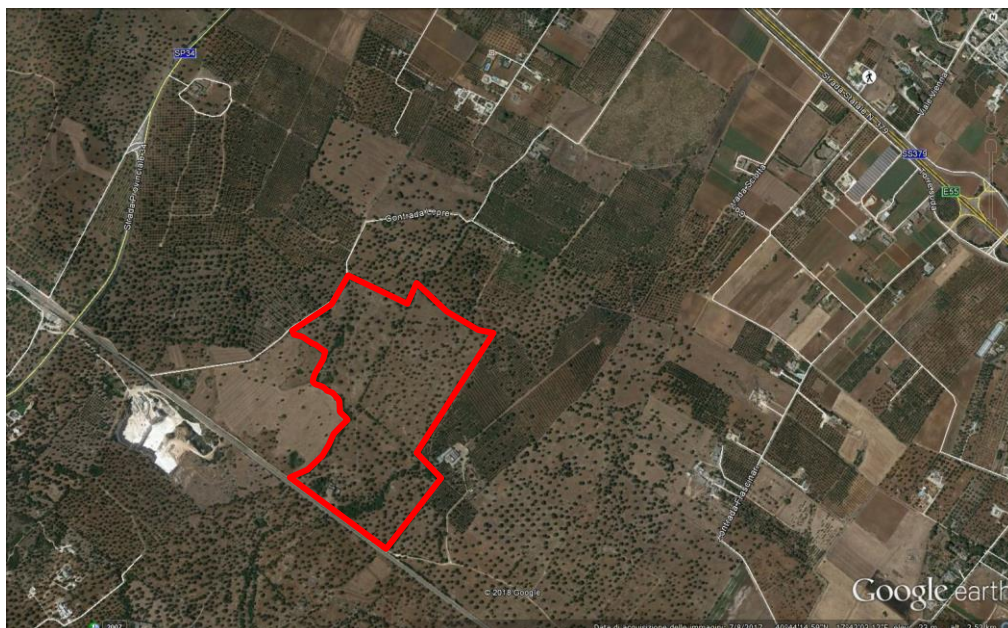
COMUNE DI CAROVIGNO
Provincia di Brindisi

INDAGINE SISMICA CON
METODOLOGIA REMI



Spettro di potenza e profilo Vs

La determinazione esatta dell'accelerazione orizzontale massima attesa sul sito di riferimento rigido sono state determinate le coordinate geografiche mediante GPS portatile



Latitudine: 40° 43' 58" N Longitudine: 17° 41' 43"E

Inoltre con l'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008 la stima della pericolosità sismica viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente". Pertanto l'azione sismica di progetto in base alla quale valutare il rispetto dei diversi stati limite presi in considerazione viene definita partendo dalla pericolosità di base del sito di costruzione, che è l'elemento essenziale di conoscenza per la determinazione dell'azione sismica. Come descritto nel paragrafo precedente le misure sismiche del sito sono state eseguite mediante l'esecuzione di un'indagine sismica effettuata con la metodologia REMI attraverso la quale si sono ottenuti i seguenti valori:

Sondaggio S1 Vseq di 836 m/sec.

Tale valore è congruente con la descrizione stratigrafica secondo la tab. 3.2. II delle NTC 2008 che fa rientrare il sito in esame nella categoria di sottosuolo A.

Tabella 3.2.V – Espressioni di S_s e di C_c

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1.00	1.00
B	$1.00 \leq 1.40 - 0.40 \cdot F_o \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1.20$	$1.10 \cdot (T_c^*)^{-0.20}$
C	$1.00 \leq 1.70 - 0.60 \cdot F_o \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1.50$	$1.05 \cdot (T_c^*)^{-0.33}$
D	$0.90 \leq 2.40 - 1.50 \cdot F_o \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1.80$	$1.25 \cdot (T_c^*)^{-0.50}$
E	$1.00 \leq 2.00 - 1.10 \cdot F_o \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1.60$	$1.15 \cdot (T_c^*)^{-0.40}$

La categoria topografica risulta la T1, si tratta di area sub-pianeggiante con pendenza minore del 10%. I caratteri del moto sismico del territorio comunale di Carovigno nel punto di coordinate

Latitudine: 40° 43' 58.09" N
Longitudine: 17° 41' 43.83" E

sono:

Stato Limite	Tr (anni)	Ag (g)	F ₀	T _c (s)
Operatività (SLD)	30	0.228	2.39	0.23
Danno (SLD)	50	0.301	2.40	0.28
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.631	2.73	0.40
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.752	2.88	0.42
Periodo di riferimento per l'azione sismica	50			

Ag= accelerazione massima al sito; F₀= 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.

13. CARATTERISTICHE GEOMECCANICHE DELLE ROCCE RILEVATE

La successione litostratigrafica riconosciuta con la prospezione sismica e con la tomografia elettrica è quella descritta nel paragrafo precedente con gli spessori riportati nelle sezioni presenti in allegato.

Il calcare cretacico, di solito, quando è integro ha delle proprietà meccaniche con resistenza alla compressione che varia da 400 kg/cmq a 900 kg/cmq. Questa grandezza però non sempre si correla alla reale situazione in situ in quanto i valori di capacità portante e resistenza, dipendono anche da:

- Indice RQD (Rock Quality Designation);
- Spaziatura dei giunti;
- Peculiarità delle superfici di fratturazione.

Spesso accade che l'esistenza e l'ubicazione di difetti specifici rimangono sconosciuti fino al momento in cui la roccia è interessata da scavi o finché si manifestano comportamenti inaspettati delle fondazioni.

Nella Figura affianco si riportano dei casi in cui la roccia base dovrà essere esaminata attentamente se sarà interessata da fondazioni. Il caso b) è quello riscontrato dal lavoro investigativo condotto dallo studio in oggetto. Siamo di fronte ad un banco costituito da strati sub-orizzontali di natura calcarea fratturati in superficie e più massicci in profondità.

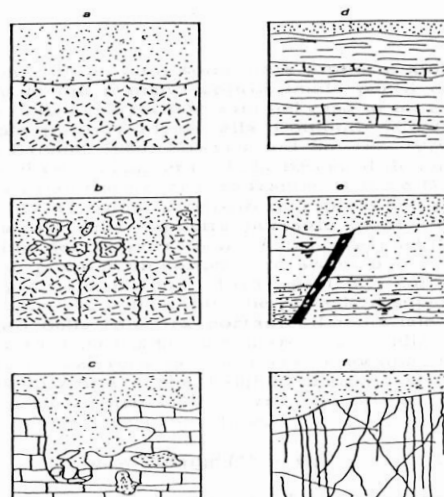


Fig. 1. - Tipologia del substrato roccioso [GOODMAN, 1980]:
a) Terreno su roccia integra; b) Granito decomposto; c) Calcari carsificati; d) Ammasso costituito da strati litoidi intercalati da terreno residuale; e) Terreno su faglia in roccia; f) Roccia altamente fratturata.

Qui e là fratture, anche importanti .riempite da terreno vegetale trasportato nel sottosuolo dalle acque di infiltrazione. All'aumentare della profondità le velocità delle onde sismiche aumentano, sinonimo di una maggiore compattezza della roccia. Attraverso le prove di indagine indirette eseguite (Sismica a Rifrazione – Tomografia Elettrica) possiamo valutare il Modulo di Elasticità Dinamica mediante la valutazione delle velocità di propagazione delle onde sismiche. La formula empirica di Poisson che utilizzeremo è:

$$E_d = V L^2 \times \rho \times \frac{(1+\mu) \times (1-2\mu)}{(1-\mu)}$$

dove:

v = velocità onde sismiche

ρ = densità della roccia

μ = coefficiente di Poisson

Come descritto in precedenza le diverse indagini sismiche hanno messo in evidenza, a profondità più o meno simili, sismostrati a velocità differenti, non in maniera sensibile, con parametri geotecnici ovviamente diversi. Come riportato nella tabella sotto delle velocità Vp e Vs, si è risaliti ai seguenti parametri.

Strato	Vp (m/sec)	Vs (m/sec)	ϕ (°)	c (kg/cm ²)	γ (gr/cm ³)	E (Kg/cm ²)	η	R.Q.D
1	600	—	—	—	—	—	—	
2	1600	859	33	0.5	2.3	11000	0.41	57%
3	2100	1700	36	1.0	2.5	20000	0.21	63%

Vp = vel. longit.; Vs = vel trasv.; ϕ = angolo di attrito; C = coesione efficace; γ = peso per unità di volume; E = modulo elastico statico; η = coefficiente di poisson

Tali parametri geomeccanici sono stati ricavati facendo ricorso a modelli che correlano, tramite opportuni coefficienti, le sollecitazioni dinamiche a quelle statiche che si sviluppano dopo la realizzazione del manufatto. A seguito di valutazione si è deciso di considerare come strato di posa fondale quello con velocità di 2100m/s. tale ammasso è stato classificato secondo il Biemiawski ed i parametri che sono stati presi in considerazione sono:

- resistenza a compressione uniassiale della roccia intatta;
- Indice RQD;
- Condizione dei giunti di strato;
- Spaziatura dei giunti di strato;
- Condizioni idrauliche (afflusso di acqua, pressione interstiziale);

Ad ogni parametro è stato assoggettato un indice parziale ricavabile da una tabella di Biemiawski. L'analisi è stata effettuata per il litotipo profondo, che sarà interessato dalle strutture

fondali e dai carichi, individuato nella tabella precedente con la dicitura 3, e caratterizzato da una $V_p=2100\text{m/sec}$.

Per il litotipo caratterizzato da $V_p=2100\text{m/sec}$ si ha:

- la resistenza a compressione uniassiale della roccia intatta risulta pari a 950 kg/cmq a cui corrisponde un indice di 7;
- L'indice RQD risulta pari a 57% a cui corrisponde un indice di 13;
- La condizione dei Giunti di strato fa corrispondere un indice di 12;
- Alla spaziatura dei Giunti di strato corrisponde un indice di 10;
- Alle condizioni idrauliche (afflusso di acqua, pressione interstiziale) corrisponde un indice di 10;

Riepilogando i valori dei parametri relativi alla classificazione di Biemiaski:

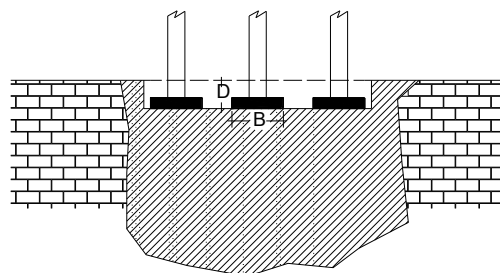
<i>Resistenza a compressione uniassiale (cu) della roccia intatta</i>	7
<i>Indice RQD</i>	13
<i>Spaziatura dei giunti</i>	12
<i>Condizione dei giunti</i>	10
<i>Condizioni idrauliche</i>	10
<i>Totale</i>	52

In base al valore dell'indice RMR, l'ammasso roccioso viene suddiviso in 5 classi. Per ciascuna classe viene indicata una stima di larga massima dei parametri di resistenza globale. Nel nostro caso, con $\text{RMR}=52$, l'ammasso roccioso rientra nella classe III ed è classificato come "Discreto". A questa classe corrispondono valori di coesione maggiori di $1,5\text{ kg/cmq}$ e angolo di attrito di 31 gradi. L'ammasso può essere cavato solo mediante l'utilizzo di mezzi meccanici dotati di "martellone" con l'ottenimento di una elevata frammentazione dei liti e formazione di ghiaino e breccia durante lo scavo.

14. TIPOLOGIA FONDAZIONALE

Il calcolo della capacità portante del terreno fondale è stato eseguito adottando la metodologia di Terzaghi-Peck ipotizzando una fondazione di tipo a BASE QUADRATA. Il calcolatore/strutturista, a seguito di valutazioni ed elaborazioni matematiche proprie, valuterà in seno alla relazione geotecnica la struttura fondale migliore per l'intervento edilizio a farsi.

Esempio grafico



Il terreno di posa delle fondazioni è quello caratterizzato dalle velocità medie V_p 2100m/s con profondità di 1.2m dal p.c.

$$Q''_{ult} = [(\gamma_1 \times N_q \times D) + (c \times N_c \times S_c) + (\gamma_2 \times N_\gamma \times S_\gamma)]$$

Dove:

$$N_q = \frac{e^{2\left(0.75\pi - \frac{\phi}{2}\right) \cdot \tan(\phi)}}{2 \cdot \cos^2\left(\frac{90^\circ + \phi}{2}\right)} \quad N_\gamma = \frac{\tan(\phi)}{2} \left(\frac{K_{p\gamma}}{\cos^2(\phi)} - 1 \right) \quad N_c = (N_q - 1) \cdot \tan(\phi) \quad \phi = 0 \Rightarrow N_c = 1.5 \cdot \pi + 1$$

ϕ	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
$K_{p\gamma}$	10.8	12.2	14.7	18.6	25.0	35.0	52.0	82.0	141.0	298.0	800.0

Assumendo:

$B = 1,2\text{m};$

$D = 0,7 \text{ metri};$

$\gamma = 2,3 \text{ gr/cm}^3;$

$\phi = 33^\circ;$

$C = 0.5 \text{ kg/cm}^2;$

$RQD = 55\%$

dove:

$B =$ base della fondazione;

$D =$ profondità di sedime;

N_q , N_c e N_γ sono fattori di capacità portante che risultano uguali rispettivamente a 39,0 – 57,5 – 40,0.

Fattori di forma:

$S_c = 1,3$

$S_\gamma = 0,8$

CAPACITA' PORTANTE DELLE ROCCE

per fondazioni nastriformi

Criterio di calcolo: Terzaghi

Tabella 4.1 di J.E. Bowles (1991) "Fondazioni" ed. McGraw-Hill

PARAMETRI DELL'AMMASSO ROCCIOSO

angolo d'attrito dell'ammasso= 33 gradi
coesione dell'ammasso= 49 kPa
Peso di volume roccia = 22,55 kN/mc
R.Q.D.= 55 %

COEFFICIENTI DI FONDAZIONE

fattore N_c = 57,5
fattore N_q = 39,0
fattore N_γ = 40,0

FATTORI DI FORMA

fattore di forma Sc = 1,3
fattore di forma S_γ = 0,8

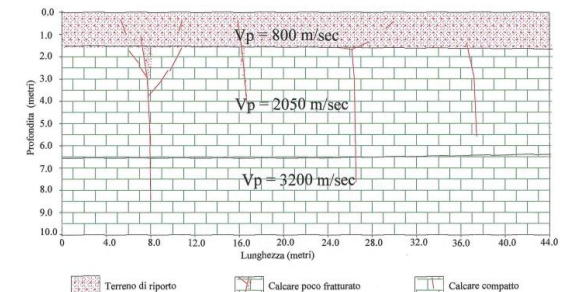
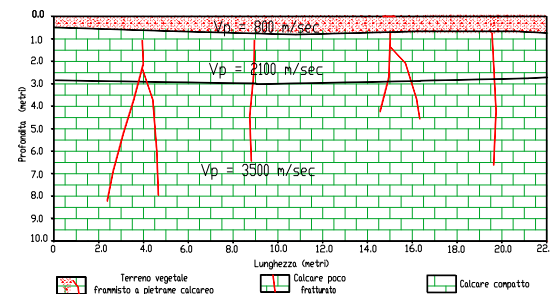
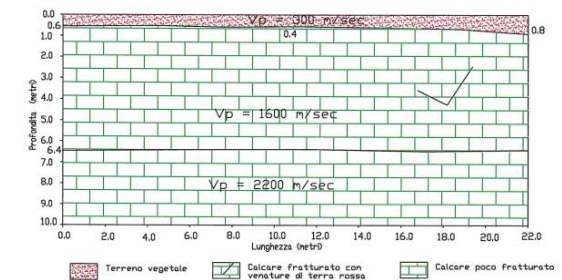
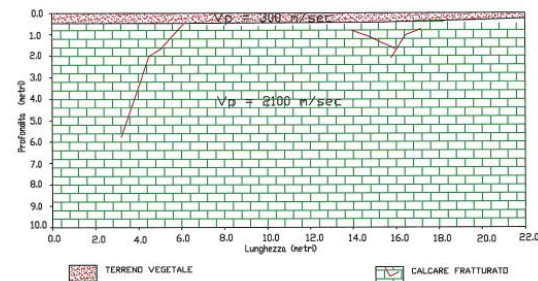
COEFFICIENTE DI SICUREZZA

coefficiente di sicurezza= 3

Larghezza B (m)	Profondità D (m)	Sigma n kPa	Qr kPa	Q'r kPa	qa kPa	qa kg/cmq
2,10	1,5	33,825	5.743	1.737	602	5,90
2,30	1,5	33,825	5.816	1.759	609	5,97
2,50	1,5	33,825	5.888	1.781	616	6,04
2,00	0,5	11,275	4.827	1.460	494	4,85
1,00	1,0	22,55	4.906	1.484	510	5,00
2,00	1,0	22,55	5.267	1.593	546	5,36
1,00	1,5	33,825	5.346	1.617	562	5,51
2,00	1,5	33,825	5.707	1.726	598	5,86
1,00	2,0	45,1	5.786	1.750	614	6,02
2,00	2,0	45,1	6.147	1.860	650	6,37

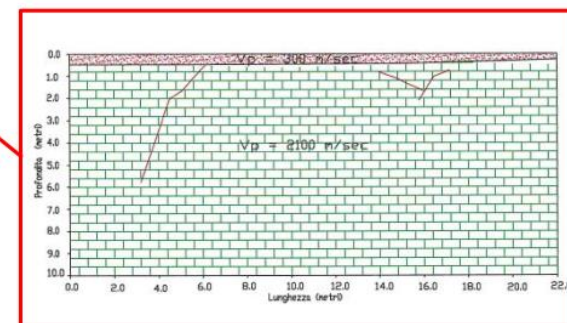
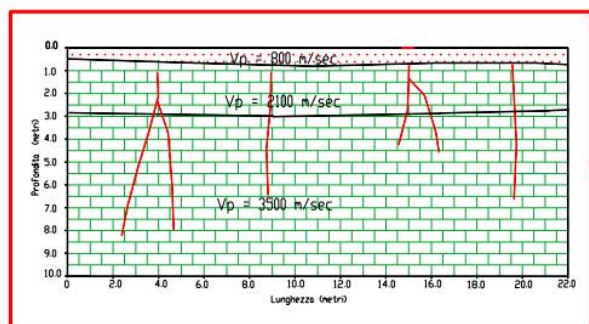
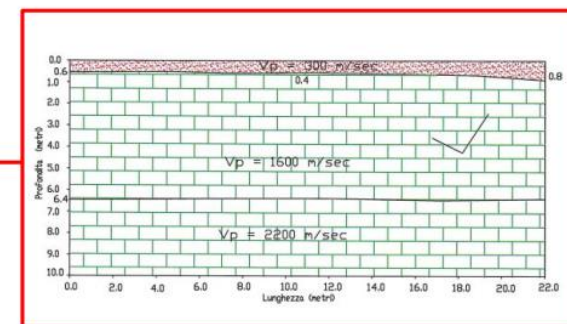
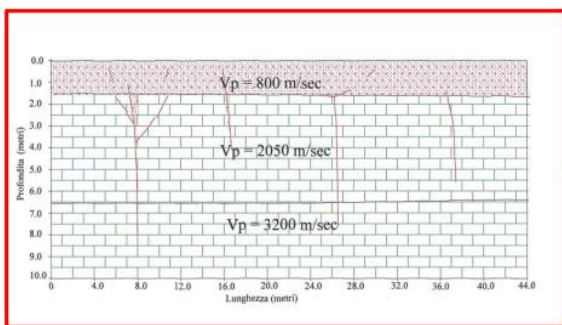
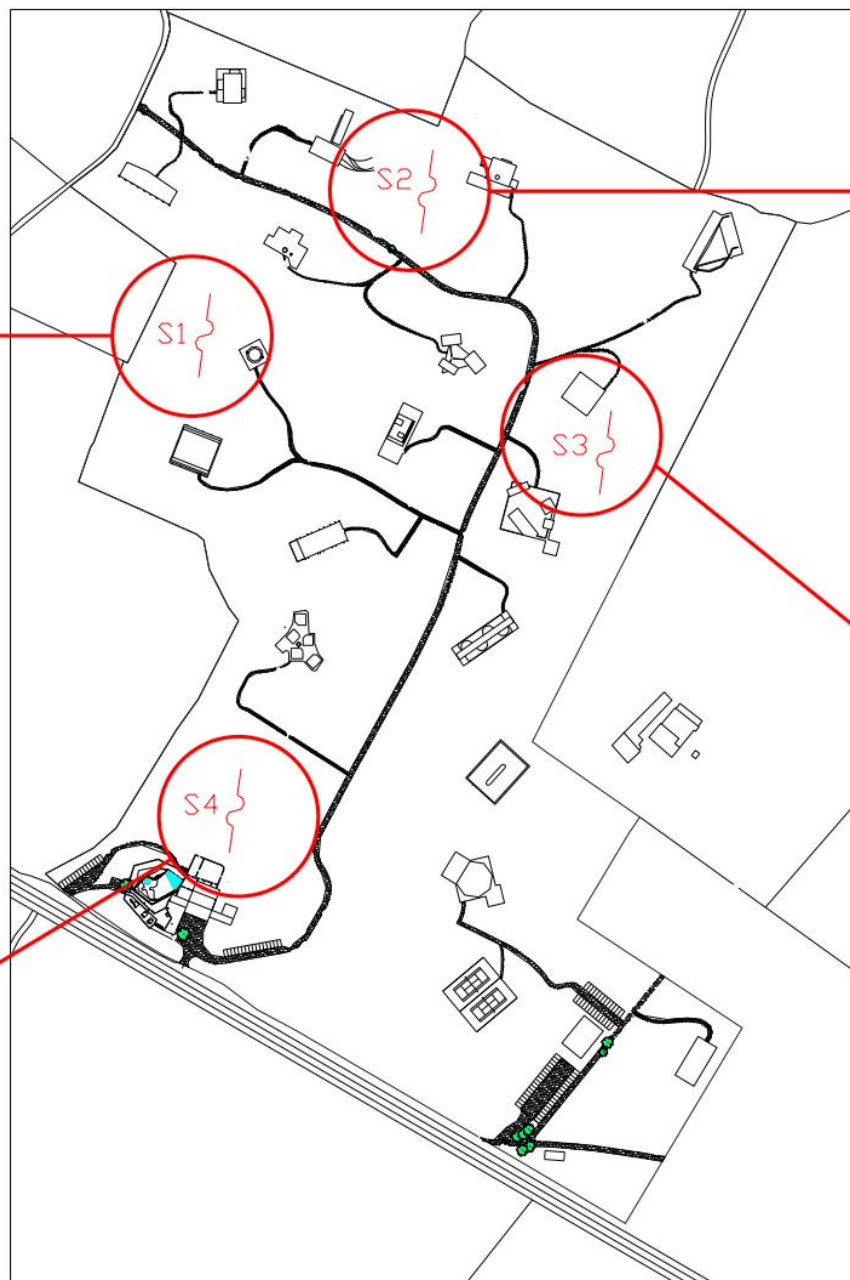
QUADRO SINTETICO

Caratterizzazione dell'ammasso roccioso



Profilo stratigrafico

PLANIMETRIA GENERALE CON UBICAZIONE INDAGINI SISMICHE



Sostituendo si ha:

$$Q_{amm} = 5,00 \text{ kg/cm}^2$$

con un coefficiente di sicurezza pari a 3.

Preso atto della situazione litostratigrafica locale, che vede come piano di posa fondale il calcare cretaceo e a seguito di calcolo della Q_{ult} possiamo ipotizzare il valore del coefficiente di reazione del terreno, detto anche costante di sottofondo o coefficiente di Winkler, normalmente indicato come K_1 [kgf/cmc]. Ricordiamo brevemente come la costante di sottofondo rappresenta una forza esercitata sul suolo elastico alla Winkler, su un'area di 1 cm^2 che provoca l'abbassamento di 1 cm . Per suolo alla Winkler si intende un suolo puramente ideale, paragonabile ad un letto di molle, un terreno perfettamente elastico, che ha la comodità di essere usato con facilità nei calcoli e presenta sufficienti attinenze alla maggioranza dei casi reali. Tale metodologia consente un primo approccio al problema o una soluzione rapida e sbrigativa a casi che con altri approcci si rivelerebbero molto complessi ed onerosi.

Dati di letteratura suggeriscono valori cautelativi di seguito riportati

- Terreno argilloso compatto :
 $K_1 = 1.8 - 3.6 \text{ [kgf/cmc]} = 18000 - 36000 \text{ (kN/m}^3\text{)}$
- Terreno argilloso molto compatto :
 $K_1 = 3.6 - 7.2 \text{ [kgf/cmc]} = 36000 - 72000 \text{ (kN/m}^3\text{)}$
- Terreno argilloso duro :
 $K_1 > 7.2 \text{ [kgf/cmc]} = 72000 \text{ (kN/m}^3\text{)}$
- Terreno con sabbia sciolta :
 $K_1 = 0.7 - 2.1 \text{ [kgf/cmc]} = 7000 - 21000 \text{ (kN/m}^3\text{)}$
- Terreno con sabbia media :
 $K_1 = 2.1 - 10.8 \text{ [kgf/cmc]} = 21000 - 108000 \text{ (kN/m}^3\text{)}$
- Terreno con sabbia densa :
 $K_1 = 10.8 - 36.0 \text{ [kgf/cmc]} = 108000 - 360000 \text{ (kN/m}^3\text{)}$
- Terreno con ghiaia mediamente addensata:
 $K_1 = 10.0 - 30.0 \text{ [kgf/cmc]} = 100000 - 300000 \text{ (kN/m}^3\text{)}$

Nel nostro caso la valutazione del coefficiente la effettuiamo sulla scorta dell'esperienza lavorativa conferendo al coefficiente **K_1** 4 volte il valore della Q_{amm} .

Nel caso di specie:

$$K_1 = 5 \times 4 = 20 \text{ kgf/cmc}$$

15. LIQUEFAZIONE DEI TERRENI

La liquefazione è un fenomeno che si manifesta in concomitanza di eventi sismici di una certa intensità (*magnitudo generalmente superiore a 5.5-6.0*) e che interessa terreni sabbiosi sciolti posti al di sotto del livello di falda.



Fig.8: Esempio di liquefazione dei terreni

A seguito del sisma si genera un incremento della pressione interstiziale (*acqua presente negli interstizi*); tale aumento di pressione causa l'annullamento della resistenza del terreno e la fuoriuscita di materiale sabbioso misto ad acqua.

$$\tau = (\sigma'n - \Delta u) \operatorname{tg} \varphi'$$

Con riferimento all'espressione sopra riportata, la resistenza (τ) del terreno si annulla allorquando l'incremento della pressione interstiziale (Δu) generata dal sisma eguaglia la tensione normale efficace agente ($\sigma'n$).

Numerosi sono i metodi di verifica alla "liquefazione" dei terreni. Il primo passo comune a tutti i metodi sta nella scelta dei parametri rappresentativi dell'azione sismica (*accelerazione massima e magnitudo di riferimento*).

Per la scelta dei valori dell'accelerazione si utilizzano gli approcci semplificati indicati nella normativa (Norme Tecniche per le Costruzioni NTC 2018) o in alternativa analisi specifiche di risposta sismica locale.

Per la scelta dei valori della magnitudo (*magnitudo momento M_w in particolare*), in assenza di precise indicazioni di normativa, si fa normalmente ricorso ai contenuti del testo "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica" a cura del Dipartimento della Protezione Civile (*e ciò per quanto concerne siti ricadenti sia all'interno che all'esterno delle diverse Zone Sismogenetiche*).

Una volta definita l'**azione ciclica** (CSR):

$$CSR = 0,65 \tau_{max} / \sigma'_{vo} = 0,65 (a_{max} / g) \sigma_{vo} / \sigma'_{vo}$$

si passa alla valutazione della **resistenza ciclica** (CRR):

$$CRR = (CRR)_{7.5 MSF}$$

utilizzando i risultati di prove

- penetrometriche statiche CPT,
- prove Standard Penetration Test SPT,
- prove Dilatometriche;

Di particolare interesse un recente metodo (*anno 2013*) di valutazione del rischio liquefazione in base al valore della velocità **Vs** delle onde di taglio (*da indagini geofisiche*), supportato da ben 422 casi reali ben documentati.

I risultati delle indagini forniscono i valori della resistenza ciclica **(CRR)_{7.5} relativi a un terremoto di riferimento di magnitudo momento Mw = 7.5**, mentre la magnitudo specifica del sito in esame entra in gioco attraverso il fattore (**MSF**) **Magnitude Scaling Factor**, quest'ultimo definito in maniera diversa secondo i vari Autori.

Nell'area oggetto di intervento non affiorano litologie assimilabili a sabbie, limi o argille né siamo di fronte a una falda superficiale o semi profonda confinata in tale litologie. Solo nei primi centimetri di suolo insistono dei terreni (terra rossa) sciolti, privi di falda, che saranno comunque rimossi negli scavi per l'alloggiamento delle strutture fondali.

Pertanto non esistono le condizioni ambientali che potrebbero determinare il fenomeno della liquefazione inducendo così instabilità ai manufatti ivi presenti o da realizzare.

16. CONCLUSIONI

La presente indagine geologico-geotecnica è consistita in un rilevamento geologico di ricognizione, mediante il quale sono state individuate la roccia imposta, e di uno studio idrogeologico di massima, per verificare l'eventuale interazione tra le acque superficiali e/o di falda con le strutture fondazionali dell'opera da realizzare. Successivamente, al fine di determinare le caratteristiche meccaniche delle rocce di sedime, si sono utilizzati dati provenienti da un lavoro condotto dallo scrivente a breve distanza dall'area oggetto d'intervento.

I risultati ci suggeriscono le seguenti considerazioni:

a) In base al valore dell'indice RMR, nel nostro caso pari a 52, l'ammasso roccioso rientra nella classe III ed è classificato come "Discreto". A questa classe corrispondono valori di coesione maggiori di 1,5 kg/cmq e angolo di attrito di 33 gradi. L'ammasso può essere cavato solo mediante l'utilizzo di mezzi meccanici dotati di "martellone" con l'ottenimento di una elevata frammentazione dei liti e formazione di ghiaio e breccia durante lo scavo.

b) Le indagini eseguite hanno evidenziato lungo gli stendimenti situazioni analoghe le cui caratteristiche sono di seguito riportate:

area superficiale costituita da una zona superficiale, con spessore variabile sino ad un massimo di 1.5m, costituita da terreno vegetale frammisto a pietrame. La velocità di propagazione delle onde sismiche in questo strato è pari a 400m/s;

area sub superficiale da fratturata e carnificata, con presenza di fratturazioni modeste in alcuni casi riempite da terreno vegetale, a compatta. Lo spessore è superiore ai 4m. La velocità media di propagazione delle onde sismiche aumenta sino ai 2100m/s.

- c) La roccia impostata assume valori di portanza via via più considerevoli all'aumentare della profondità. Il valore medio calcolato per lo strato fondale è pari a $Q_{amm} = 5,0 \text{ kg/cm}^2$. Il calcolo della capacità portante è stato effettuato per strutture fondali dotate di dimensioni e forma simili a quelle ipotizzate per i calcoli matematici.
- d) La falda di acqua sotterranea è riscontrabile ben al di sotto del piano campagna e quindi del piano di posa delle fondazioni, pertanto non interesserà in alcun modo le stesse. Le acque di ruscellamento superficiale seguono le vie preferenziali di deflusso ben individuate nell'area in oggetto;
- e) I cedimenti assoluti e differenziali, viste le caratteristiche meccaniche dei terreni di posa delle strutture portanti, saranno nei limiti previsti dalla norma.
- f) La V_{seq} , pari a 836 m/sec, è stata calcolata con la seguente espressione

$$V_{seq} = \frac{H}{\sum h_i/V_i}$$

Le categorie di suolo individuate dal Decreto Ministeriale 17 Gennaio 2018, recante aggiornamento delle "Norme Tecniche per le costruzioni" sono le seguenti:

- a) 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;
- b) Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalenti compresi tra 360 m/s e 800 m/s;
- c) Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalenti compresi tra 180 m/s e 360 m/s;
- d) Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s;
- e) Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalenti riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Il suolo di fondazione rientra pertanto nella categoria A.

Dott. Massimiliano BRANDI
geologo



Brandi