

INTRODUZIONE

La prospezione geofisica è consistita nell'esecuzione di profili sismici a rifrazione (12 canali) e Sondaggi Elettrici Verticali (S.E.V.) ed ha interessato la zona di Pietime, Monte di Mola, S.Maria della Noce e Monte S.Maria nel Comune Formia (LT), ubicato nel settore meridionale degli Aurunci occidentali.

Scopo dello studio è stato quello di definire l'assetto litostratigrafico, idrogeologico e strutturale dal punto di vista geoelettrico e sismico, integrando i dati provenienti dal rilevamento geologico e dai sondaggi eseguiti, dell'area in oggetto per la progettazione ed esecuzione della galleria naturale di Monte di Mola, connessa con la variante alla s.s. n. 7 Appia, al di sotto dei rilievi di Monte di Mola, Monte S. Maria e Costamezza.

La lunghezza totale della galleria naturale è pari a circa 5200m, dall'imbocco Est ubicato in località Balzorile-Pietime (quota opera ca. 76m s.l.m.) all'imbocco Ovest in località Venticinque ponti (quota opera ca. 31m s.l.m.). La quota più elevata della galleria viene raggiunta all'incirca sotto Monte di Mola a ca. 101m s.l.m.

Come base topografica si è utilizzata la carta CTR 1:10.000 n. 415120 (Formia) e n. 415110 (Itri).

La prospezione elettrica e sismica è stata eseguita in più fasi da aprile a luglio dell'anno 1999 per un totale di n.18 sondaggi elettrici verticali (11.180ml) e n. 23 profili sismici (1727 ml).

METODOLOGIA DI PROSPEZIONE GEOELETTICA

La metodologia applicata in questo caso (metodo dei SEV) risulta essere la più idonea a valutare variazioni verticali nel comportamento elettrico dei terreni.

Il Sondaggio Elettrico Verticale, infatti, consiste nell'eseguire successive misure di resistività del terreno allargando progressivamente gli elettrodi di corrente, mantenendo fisso il centro del dispositivo di misura. Si è constatato infatti che la frazione della corrente che fluisce in profondità dipende dalla distanza tra gli elettrodi di corrente.

Supponendo che il terreno sia costituito da due strati orizzontali di resistività ρ_1 e ρ_2 , ipotizzando inoltre il primo strato abbastanza potente, per piccole distanze inter-elettrodiche saranno solo piccole porzioni del primo strato ad essere interessate, per cui si determina la resistività ρ_1 . A mano a mano che si allargano gli elettrodi, volumi di terreno, progressivamente maggiori saranno interessati dalla corrente sino a comprendere porzioni del secondo strato.

La resistività che così si determina non è né quella del primo strato né quella del secondo, ma una resistività apparente. Lo stesso discorso vale per il caso di più strati o, in generale, in presenza di terreno non omogeneo e isotropo. I valori di resistività apparente, ottenuti nelle successive misure, vengono riportati in un diagramma bilogarithmico in funzione di $AB/2$ espresso in metri.

L'interpretazione dei dati sperimentali è stata processata tramite il software interattivo RESIXPlus.

In allegato vengono riportati i risultati delle interpretazioni ed i relativi fogli riassuntivi per ogni SEV con le dizioni in lingua Inglese.

La traduzione dei termini è la seguente:

- Elevation = altitudine in metri s.l.m.;
- Fitting error = errore di allineamento percentuale;
- Thickness = spessore;
- Long. Cond. = conduttanza longitudinale ($S = \rho / h$);

- Trans. Res. = resistenza trasversale ($T = \rho * h$);
- Spacing = lungh. stendimento AB/2;
- Client = cliente;
- Location = località;
- County = unità territoriale;
- Project = progetto;
- Sounding = numero sondaggio elettrico;
- Equipment = attrezzatura impiegata;
- Data = valore di resistività apparente misurato in campagna (curva sperimentale);
- Synthetic = valore di resistività apparente individuato dalle curve (curva teorica);
- Difference = differenza percentuale fra il valore di resistività apparente misurato in campagna ed il valore di resistività apparente individuato dalla curva teorica.

Gli stendimenti (interdistanza elettrodica dei picchetti di corrente A e B allineati lungo una linea retta) dei Sondaggi Elettrici Verticali sono stati effettuati in direzione variabile intorno a N-S, cioè in direzione tendenzialmente ortogonale al tracciato previsto della galleria e nei limiti del possibile parallelamente alle isoipse.

SONDAGGI ELETTRICI VERTICALI

Il sondaggio elettrico verticale, indicato sinteticamente con SEV, consiste nell'eseguire misure di resistività del terreno allargando progressivamente gli elettrodi di corrente e mantenendo fisso il centro del dispositivo di misura.

Considerando che la distanza tra gli elettrodi di corrente influenza la profondità di indagine, allargando tale distanza si determineranno valori di ρ corrispondenti a volumi progressivamente maggiori di terreno.

Supponendo inoltre un terreno costituito da due strati con valori di ρ differenti, la resistività misurata sarà una resistività apparente. I valori ottenuti si riportano su un diagramma bilogarithmico in funzione di "a", se si è utilizzato il quadripolo di Wenner e di $AB/2$ se si è impiegato il quadripolo di Schlumberger, dove "a" rappresenta la distanza sul terreno tra i elettrodi e $AB/2$ la semidistanza tra gli elettrodi di corrente.

Nella presente indagine si è utilizzato il metodo Schlumberger mantenendo cioè fisso il centro di misura ed allargando progressivamente gli elettrodi di corrente secondo una progressione predefinita che ottimizza le disposizioni del quadripolo per le misure di resistività.

Nell'interpretazione delle curve così ottenute è possibile operare una prima distinzione in base alla forma complessiva della curva; in particolare si possono distinguere il numero dei terreni, la resistività del terreno più superficiale e, in generale, anche di quello più profondo.

Successivamente si procede all'analisi quantitativa confrontando le curve sperimentali con appositi abachi che riportano classi di curve con caratteristiche principali omogenee e contrassegnate ciascuna da un preciso rapporto tra le resistività dei vari strati, oppure utilizzando un computer con software dedicato.

L'interpretazione consiste nell'individuare la curva teorica che meglio si sovrappone a quella

sperimentale; in tal modo, in corrispondenza della "croce dell'abaco" (cioè il punto sull'abaco con coordinate 1,1), si leggeranno sulla curva sperimentale i valori di ρ_1 e h_1 , rispettivamente resistività e spessore dello strato superficiale. Successivamente dal rapporto ρ_2/ρ_1 si ricava ρ_2 .

Nel caso di più strati, esistono abachi più complessi, suddivisi, nel caso di tre strati orizzontali omogenei ed isotropi, in quattro tipi fondamentali, precisamente **H**, **K**, **A** e **Q** a seconda che, rispettivamente $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3$, $\rho_1 < \rho_2 > \rho_3$, $\rho_1 < \rho_2 < \rho_3$ e $\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$.

Per i casi più complessi, sebbene sia possibile ricorrere ad abachi appositi questi non esauriscono tutte le situazioni possibili.

Inoltre, anche una sovrapposizione perfetta delle curve sperimentale e teorica non elimina il problema principale che si incontra nell'interpretazione ed imputabile ai due principi seguenti:

- il principio di soppressione, per il quale maggiore è la profondità di uno strato e più grande deve essere il suo spessore perchè il suo effetto sia visibile sulla curva sperimentale;

- il principio di equivalenza enuncia che:

Uno strato resistente posto tra due strati conduttori può essere definito solo dal prodotto della resistività per lo spessore ($\rho \cdot h = T$, detta resistenza trasversale).

Inoltre, uno strato conduttore situato tra due strati resistenti può essere definito solo dal rapporto tra lo spessore e la resistività ($h/\rho = S$, detta conduttanza longitudinale).

Ad esempio, uno strato conduttore avente uno spessore di 500 m ed una resistività di 1 ohm x m è equivalente (produce cioè lo stesso effetto sulla curva sperimentale) di un altro con spessore di 1000 m e resistività di 2 ohm x m.

RISULTATI DELLA PROSPEZIONE GEOELETTICA

L'indagine geoelettrica per la variante alla S.S. n.7 nel comune di Formia (LT) è stata effettuata in località Pietime, versanti est ed ovest di Monte la Mola, Santa Maria della Noce e versante est di Monte Santa Maria dove è prevista la realizzazione della galleria naturale di Monte la Mola; le ubicazioni dei diciotto sondaggi elettrici verticali eseguiti sono riportate in planimetria.

L'analisi delle interpretazioni dei n. 18 S.E.V. eseguiti ha permesso la definizione di tre “campi” di variabilità dei valori di resistività elettrica ad ognuno dei quali è stata attribuita una associazione di terreni o un litotipo singolo:

- a) resistività variabile da 100 a 700 Ohmxm riferibile a terreno di copertura o rocce carbonatiche in falda;**
- b) resistività inferiore o pari a 50 Ohmxm riferibile a terreni argillosi;**
- c) resistività maggiore di 1000 Ohmxm riferibile a rocce carbonatiche asciutte.**

La fase operativa di acquisizione dei dati nella presente campagna geoelettrica è stata caratterizzata in genere da una buona stabilità dei potenziali spontanei indicanti la presenza di moderati potenziali elettrocinetici naturali ad esclusione dei SEV n.2 e n.10 dove la notevole entità e rapidità di variazione dei valori dei p.s. ha reso necessaria la sospensione delle misure anticipata rispetto agli stendimenti previsti. Presumibilmente tali potenziali elevati sono imputabili alla presenza nelle vicinanze del “centro” di misura di paline di dispersione (messe a terra) del metanodotto Snam.

Le elettrostratigrafie prodotte dall'interpretazione dei SEV, confrontate con i dati del rilevamento geolitologico e con le litostratigrafie dei sondaggi meccanici eseguiti, evidenziano una buona sovrapposizione dei dati elettrostratigrafici con i dati litostratigrafici.

Inoltre, si sottolinea che i valori delle resistività vere riportate nei tabulati allegati rappresentano principalmente la resistività propria del liquido interstiziale eventualmente presente nel livello considerato e subordinatamente la resistività propria del litotipo asciutto.

I sondaggi elettrici verticali che risultano interessare il tracciato della galleria naturale sono, da ovest verso est : **n.16 - n. 11 - n. 9 - n. 12 - n. 17 - n. 18 - n. 13 - n.8 – n.7 - n.3 – n.15 – n.14.**

Il Sev **n.16** rileva circa 20 m di terreno di copertura a resistività variabile intorno ai 620 ohm/m seguito da ca. 300 m a resistività molto elevata (14.000 Ohm/m) fino a ca. 14.5m s.l.m., chiude la serie individuata un termine a 300 Ohm/m.

Il **n. 11** evidenzia circa 4 m di terreno di copertura a resistività variabile, seguito da ca. 134 m a resistività di 2.400 Ohm/m e ca. 33 m a 260 Ohm/m, chiude la serie individuata un termine molto resistivo a 9.600 Ohm/m.

Il **n. 9** rileva circa 3 m di terreno di copertura a resistività variabile, seguito da ca. 81 m a resistività di 1.000 Ohm/m, chiude la serie individuata un termine molto resistivo a 12.000 Ohm/m.

Il **n. 12** evidenzia circa 3 m di terreno di copertura a resistività variabile, seguito da ca. 81 m a resistività di 1.000 Ohm/m, chiude la serie individuata un termine molto resistivo a 12.000 Ohm/m.

Il **n. 17** rileva circa 3 m di terreno di copertura a resistività variabile, seguito da ca. 47 m a resistività di 2.000 Ohm/m, chiude la serie individuata un termine molto resistivo a 12.000 Ohm/m.

Il **n. 18** evidenzia circa 19 m di terreno di copertura a resistività variabile, seguito da ca. 115 m a resistività di 1.300 Ohm/m e ca. 154 m a 6.300 Ohm/m, chiude la serie individuata un termine a 580 Ohm/m.

Il **n. 13** rileva circa 35 m di terreno di copertura a resistività variabile, seguito da ca. 183 m a resistività molto elevata pari a 15.000 Ohm/m, chiude la serie individuata un termine a 550 Ohm/m.

Il **n. 8** evidenzia circa 35 m di terreno di copertura a resistività variabile, seguito da materiali a 2.100 Ohm/m per uno spessore non determinato (AB 500 m).

Il **n. 7** rileva circa 4 m di terreno di copertura a resistività variabile, seguito da ca. 100 m a 1.600 Ohm/m, chiude la serie individuata un termine a 3.500 Ohm/m (AB 300 m).

Il **n. 3** evidenzia circa 11 m di terreno di copertura a resistività variabile, seguito da ca. 121 m a resistività molto elevata pari a 9.000 Ohm/m, chiude la serie individuata un termine a 245 Ohm/m.

Il **n. 15** rileva circa 2 m di terreno di copertura a resistività variabile, seguito da ca. 138 m a bassa resistività pari a 48 Ohm/m, chiude la serie individuata un termine a 492 Ohm/m.

Il **n. 14** mette in evidenza circa 2 m di terreno di copertura a resistività variabile, seguito da ca. 200 m a bassa resistività pari a 25 Ohm/m, chiude la serie individuata un termine a 277 Ohm/m.

In sintesi la presente prospezione ha individuato una serie di elettrostratigrafie verticali che sono state correlate ai dati del rilevamento geolitologico ed all'analisi delle stratigrafie dei sondaggi meccanici, che hanno permesso l'attribuzione, sempre interpretativa, di intervalli di resistività riferiti a litotipi o insiemi di litotipi.

La prospezione geoelettrica è stata finalizzata principalmente all'individuazione della quota della falda idrica nei carbonati ed i contatti strutturali sepolti tra litotipi a notevole contrasto elettrico come per esempio argille su calcari o conglomerati (vedere sezione geofisica interpretativa allegata).

In località Pietime (imbocco est) è stata individuata tramite l'interpretazione dei dati acquisiti una struttura sepolta a "gradinata" nella quale si riconoscono termini conduttivi sovrapposti a litotipi resistivi il cui limite si trova a profondità variabili dal p.c. tra i 130 e 240m.

Lungo il tracciato della galleria interessato in superficie dai termini carbonatici si sono rilevati, nella maggioranza dei SeV, valori elevati di resistività tendenzialmente in costante

aumento con la profondità ad esclusione di alcuni tra i quali i sev n. 13, 16 e 18 che hanno

rilevato una tendenza asintotica terminale riferibile ad un aumento della conducibilità a notevole profondità, corrispondente a ca. 20-40 metri s.l.m. Tale abbassamento della resistività è stato interpretato come riferibile alla presenza della superficie piezometrica relativa alla falda idrica di base contenuta nei litotipi carbonatici.

Si segnala, inoltre, che alcuni dei Sev eseguiti in quota (con energizzazione effettuata a mezzo gruppo elettrogeno abbinato ad apparecchio raddrizzatore-trasformatore) su litotipi carbonatici hanno evidenziato assorbimenti anomali di corrente in corrispondenza di alcune misure corrispondenti ad elongazioni intermedie degli stendimenti A-B. Tali assorbimenti anomali, dal punto di vista puramente qualitativo, conducono a formulare una ipotesi sulla probabile esistenza di condotti carsici a sviluppo prevalentemente verticale (inghiottitoi), sifonati con ristagno di acqua a quote intermedie (tra la quota di inizio sev ed il livello del mare). Queste misure con assorbimenti anomali di corrente elettrica erano precedute e seguite da misure con assorbimenti normali, come se il campo elettrico ad una determinata profondità intercettasse un “volume” particolarmente conduttivo (acqua) privo di continuità verticale.

In conclusione, in base ai risultati della presente indagine geoelettrica nelle aree investigate, che sono comprese circa tra sez.135 e sez. 224, è possibile asserire che alle quote dove è previsto il tracciato della galleria naturale (quota progetto variabile da 76 a 101 m s.l.m.) non risulta presente la falda idrica fino ad una quota corrispondente a circa 20-40 metri s.l.m

PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE

La prospezione geofisica è stata realizzata con il metodo sismico a rifrazione, con generazione di onde elastiche alle estremità della stesa di geofoni utilizzando un sismografo Geometrics o Pasi a dodici canali ed incremento di segnale e come fonte di energizzazione un cannoncino “Minibang” o una massa battente; per un totale di n° 23 profili sismici.

La strumentazione è in grado di effettuare la registrazione simultanea dei vari segnali di arrivo e la visualizzazione su display CRT.

A causa di sorgenti di "rumore" esterne (frequenze anomale, vibrazioni indotte, vento etc.), si è proceduto alla determinazione della frequenza del rumore di fondo ed all'opportuno filtraggio digitale per migliorare il rapporto segnale/rumore; successivamente le tracce sono ulteriormente corrette al fine di ottimizzare i dati prima della registrazione.

Le interpretazioni ricavate dai profili sismici a rifrazione sono riportate in allegato, ove si possono osservare i diagrammi distanze/tempi di arrivo espressi in rispettivamente in metri e millisecondi, dirette e inverse, ed i risultati delle interpretazioni per ognuna di esse.

METODOLOGIA DI PROSPEZIONE SISMICA

Scopo delle indagini sismiche è quello di indagare i materiali ed i litotipi presenti nel sottosuolo differenziandoli in base alla velocità di propagazione delle onde elastiche.

In realtà esistono vari tipi di onde che possono propagarsi, con differenti velocità, nella stessa roccia ed in particolare le più importanti ai fini della prospezione sismica sono le onde longitudinali (onde L) e le onde trasversali (onde S).

Il valore della velocità delle onde longitudinali (V_p) in un litotipo, così come quello delle onde trasversali (V_s), dipende dalle sue caratteristiche meccaniche intrinseche, in particolare essenzialmente dai moduli elastici (Young, Poisson, rigidità etc.) e dalla densità (peso di volume). Il rapporto V_p/V_s (> 1) dipende infatti in primo luogo dal modulo di Poisson.

I metodi di prospezione sismica consistono essenzialmente nel generare onde elastiche in un punto del terreno, ad un istante noto e nel misurare il tempo impiegato dalle onde per raggiungere stazioni di misura (geofoni) poste a diversa distanza dalla sorgente.

L'obiettivo delle prospezioni sismiche è di determinare le caratteristiche elastiche dei vari strati percorsi dalle onde e la loro velocità di propagazione, al fine di ricostruire la disposizione geometrica delle varie unità presenti al di sotto della zona d'indagine.

A tale scopo, le informazioni ottenute (tempi di arrivo delle onde alle stazioni di misura) vengono interpretate applicando gli stessi principi adoperati in sismologia per determinare la velocità delle onde di volume a differenti profondità nell'interno della Terra in base allo studio delle onde emesse dai terremoti.

La propagazione delle onde elastiche nel sottosuolo, analogamente ai noti fenomeni dell'ottica geometrica, subisce sulle superfici di discontinuità sismiche (contatti tra litotipi caratterizzati da differenti valori di velocità delle onde) i fenomeni della riflessione, rifrazione e diffrazione.

A ciò si aggiunge, durante il percorso, l'attenuazione in ampiezza, parte della quale è anche selettiva in frequenza.

Nelle prospezioni sismiche, in genere, si distinguono tre tipi di onde:

- "Onde dirette" che si propagano nel primo strato del terreno e non subiscono riflessioni o rifrazioni (in sismologia la dizione ha un significato diverso).

- "Onde riflesse" che subiscono una riflessione ed un numero di 0,2,4,6,...rifrazioni

senza

- mai compiere tratti di percorso lungo una superficie di discontinuità.

- "Onde rifratte" che subiscono solo rifrazioni (in numero di 2,4,6,..) e compiono un tratto più o meno esteso lungo una superficie di discontinuità.

Conseguentemente, in un grafico tempi di arrivo-distanze, le onde dirette e quelle rifratte definiscono delle rette denominate "dromocrone". La dromocrona delle onde dirette passa per l'origine ed ha coefficiente angolare uguale a $1/V$. La dromocrona delle onde rifratte ha coefficiente angolare uguale a $1/V$ ed il suo prolungamento incontrerà l'asse delle ordinate in corrispondenza del valore T_i che è chiamato "tempo intercetto". I tempi di arrivo delle onde riflesse descrivono invece un'iperbole equilatera con asse coincidente con l'asse dei tempi ed ordinata all'origine a $2h/V$.

La "risalita" delle onde rifratte dallo "strato rifratte" avviene per una ulteriore rifrazione che può essere facilmente vista, così come tutti i fenomeni di riflessione e rifrazione, come una conseguenza del principio di Huygens- Fresnel.

Se posizionando una linea di geofoni lungo una direttrice si registrano dopo l'istante di energizzazione soltanto i ritardi di tempo relativi all'arrivo della prima vibrazione a ciascun

geofono, si esegue la metodologia chiamata "sismica a rifrazione", attraverso la quale si rivelano essenzialmente onde dirette e rifratte.

Le interpretazioni delle indagini eseguite con la sismica a rifrazione consentono di ottenere i valori delle velocità sismiche del primo strato di terreno e dei "rifrattori" (cioè

strati con

velocità sismica superiore a quella dello strato soprastante) presenti nel sottosuolo fino ad una profondità dipendente dalla lunghezza dello stendimento adoperato, dalla posizione della sorgente e dalla quantità di energia impiegata, inoltre viene messa in luce la forma geometrica del "tetto" di questi rifrattori.

E' da notare che un singolo profilo (lineare) a riflessione o a rifrazione può ricevere le onde riflesse o rifratte da orizzonti comunque disposti nel sottosuolo e la verifica di un modello interpretativo tridimensionale più complesso di una semplice stratificazione pian-parallela richiede una serie di indagini in varie direzioni.

E' ovvio infine che le differenziazioni tra le due metodologie investono tutti gli aspetti delle ricerche: dalla strumentazione occorrente alla tecnica esecutiva, dal trattamento dei dati acquisiti sul terreno all'interpretazione ed ai risultati ottenibili.

L'interpretazione dei dati acquisiti in campagna è stata effettuata per mezzo del software interattivo Gremix prodotto dalla Soc. Interpex Ltd. (Usa) per mezzo dei metodi GRM di Palmer e Time Delay di Hawkins.

In seguito all'analisi di numerose sismostratigrafie ricavate da molteplici campagne di prospezioni sismiche a rifrazione emerge che il potere risolutivo di questo tipo di indagine deve essere considerato come relativo ad un significativo volume di terreno, in grado di evidenziare caratteristiche fisico-meccaniche mediate rispetto ai notevoli volumi di roccia investigata in sito, quindi non risultano paragonabili ai risultati di un'indagine puntuale quale, per esempio, un sondaggio meccanico.

RISULTATI DELLA PROSPEZIONE SISMICA

L'analisi e l'interpretazione dei dati sismici sperimentali acquisiti ha permesso di inquadrare e meglio definire la successione sismostratigrafica esistente in loc. Pietime (imbocco est della galleria).

Data la peculiare e complessa situazione geologica, caratterizzata dalla presenza di successioni sedimentarie detritiche, argillose caotiche, calcareo-dolomitiche e conglomeratiche, la prospezione sismica a rifrazione ha permesso di ricostruire ventitré sismostratigrafie attendibili, una per ogni stesa sismica effettuata.

La letteratura esistente riporta i seguenti intervalli di velocità riscontrate nell'ambito dei litotipi presenti nell'area d'indagine:

LITOTIPO	Vp (m/sec)
Terreno aerato superficiale	300 - 800
Terreni alluvionali sciolti, sabbie e ghiaie	400 - 2.000
Acqua	1.450 - 1.500
Argille	1.800 - 2.900
Calcari e Dolomie	3.500 - 5.000

In base ai risultati delle interpretazioni dei singoli profili sismici (i tabulati dei quali vengono allegati) sono stati definiti degli intervalli di velocità di propagazione delle onde sismiche longitudinali (Vp).

Lo scopo principale della prospezione effettuata mediante profili sismici risultava essere la determinazione della sismostratigrafia del sottosuolo finalizzata alla ricostruzione geostrutturale.

Operando in presenza di un sottosuolo a giaciture complesse composto da molteplici litotipi distinti sovente caoticizzati ad opera di eventi tettonici diversi e cronologicamente

succedutisi a cinematica sia compressiva e che distensiva, l'interpretazione dei dati acquisiti in campagna si è rilevata di non semplice compimento.

Per esempio, durante l'interpretazione del profilo n.14 si è visto che l'energizzazione centrale (non riportata nel tabulato in quanto non interpretabile quantitativamente), nella porzione di profilo verso ovest, ha evidenziato una riflessione ad andamento iperbolico, tipica di contatti tra termini "lenti" e litologie molto "veloci", che è qualitativamente interpretabile come la prosecuzione verso nord della parete di faglia (nei conglomerati a contatto con le argille) visibile al margine ovest in località Le Fosse.

Successivamente ad ogni sismostrato individuato (due o tre), corrispondente ad un "range" di velocità di propagazione delle onde sismiche, è stato attribuito un diverso litotipo come di seguito riportato:

- Velocità inferiori a 1200 m/sec:

terreno di copertura e/o aerato superficiale e/o detrito di falda.

- Velocità comprese tra 1800 m/sec e 2900 m/sec:

argille con gessi e argille varicolori.

- Velocità superiori a 3500 m/sec:

rocce carbonatiche litoidi.

I profili a rifrazione che risultano maggiormente in prossimità del tracciato della galleria naturale sono, da ovest verso est : **n.10 - n. 9 - n. 21 - n. 4 - n. 16 - n. 3 - n. 13 - n.8.**

Il P.S. **n.10** rileva circa 2 m di terreno di copertura a $V_p = 600$ m/sec seguito da ca. 6 m a velocità lateralmente variabile da 2.100 a 3.700 m/sec, chiude la serie individuata un termine con 7.500 m/sec.

Il **n. 9** rileva circa 1-2 m di terreno di copertura a $V_p = 550$ m/sec seguito da ca. 10-15 m a velocità di 2.100 m/sec, chiude la serie individuata un termine con 4.800 m/sec.

Il **n. 21** rileva circa 2 m di terreno di copertura a $V_p = 1.050$ m/sec seguito da ca. 10-13 m a velocità di 1.600 m/sec, chiude la serie individuata un termine con 3.750 m/sec.

Il **n. 4** rileva circa 5-6 m di terreno di copertura a $V_p = 650$ m/sec seguito da ca. 7-15 m a velocità di 2.200 m/sec, chiude la serie individuata un termine con 3.700 m/sec.

Il **n. 16** rileva circa 1-4 m di terreno di copertura a $V_p = 450$ m/sec, chiude la serie individuata un termine con 1.670 m/sec.

Il **n. 3** rileva circa 2-6 m di terreno di copertura a $V_p = 470$ m/sec, chiude la serie individuata un termine con 1.800 m/sec.

Il **n. 13** rileva circa 8 m di terreno di copertura a $V_p = 600$ m/sec, chiude la serie individuata un termine con 2.000 m/sec.

Il **n. 8** rileva circa 2.3 m di terreno di copertura a $V_p = 350$ m/sec seguito da ca. 10 m a velocità di 1.050 m/sec, chiude la serie individuata un termine con 2.600 m/sec.

In sintesi la prospezione sismica a rifrazione, interpretata con il metodo del reciproco generalizzato GRM e “Delay time”, ha evidenziato una sismostratigrafia articolata correlabile con i dati del rilevamento geolitologico di superficie e con le litostratigrafie dei sondaggi meccanici, in cui i limiti spaziali risultano determinati dalla variazione delle caratteristiche elastico dinamiche (direttamente connesse alla velocità di propagazione delle onde sismiche) che mutano in funzione del grado di cementazione e/o fratturazione per quanto concerne le unità litoidi calcareo-dolomitiche e conglomeratiche (con a tratti livelli calcarenitici) ed in funzione del grado di tettonizzazione (stress subiti) e di consolidazione per le due unità argillose.