

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE



DIREZIONE TECNICA

U.O. GEOLOGIA, GESTIONE TERRE E BONIFICHE

PROGETTO DEFINITIVO

ITINERARIO NAPOLI – BARI
RADDOPPIO TRATTA BOVINO - ORSARA

INDAGINI GEOFISICHE

Indagini geofisiche eseguite per la caratterizzazione della Formazione di Monte Sidone

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

IF1W 00 D 69 IG GE0005 005 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	PROGEO	Novembre 2018	S. Giugliano <i>[Signature]</i>	Novembre 2018	D. Aprea <i>[Signature]</i>	Novembre 2018	F. Marchese Novembre 2018

ITALFERR S.p.A.
Dott. Geologo Francesco MARCHESI
Resp. UO GEOLOGIA, GESTIONE TERRE E BONIFICHE
Ordine Geologi Lazio n. 179 ES
[Signature]

INDICE

1.	INDICAZIONI GENERALI	3
2.	ATTREZZATURE TECNICHE	5
3.	SISMICA TOMOGRAFICA.....	6
3.1	MODALITÀ OPERATIVE.....	6
3.2	ELABORAZIONE DATI	7
3.2.1	<i>Elaborazione sismogrammi (preprocessing)</i>	7
3.2.2	<i>Processing tomografico in velocità</i>	7
3.2.3	<i>Analisi del gradiente geotomografico</i>	8
4.	PROSPEZIONE SISMICA IN FORO CON TECNICA DOWN HOLE	9
4.1	MODALITÀ OPERATIVE.....	9
4.1.1	<i>Sorgente di energia</i>	9
4.1.2	<i>Apparato di ricezione</i>	10
4.1.3	<i>Operazioni di campagna</i>	10
4.2	ELABORAZIONE DATI	15
5.	INDICAZIONI GENERALI SULLA ELASTICITA' DEI MATERIALI	18
5.1	GENERALITÀ.....	18
5.2	PRINCIPI SULLA ELASTICITÀ.....	18
5.3	PARAMETRI ELASTICI	19
6.	PROSPEZIONE SISMICA A RIFLESSIONE.....	21
6.1	ELABORAZIONE DATI	22
7.	MODALITÀ DI LETTURA ED INTERPRETAZIONE DEI DATI SISMICI	25
7.1	TOMOGRAFIA SISMICA A RIFRAZIONE	25
7.2	SISMICA A RIFLESSIONE	26
8.	RISULTANZE	28

	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA BOVINO - ORSARA PROGETTO DEFINITIVO					
INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE PER LA CARATTERIZZAZIONE DELLA FORMAZIONE DI MONTE SIDONE	COMMESSA IF1W	LOTTO 00 D 69	CODIFICA IG	DOCUMENTO GE0005 005	REV. A	FOGLIO 3 di 32

1. INDICAZIONI GENERALI

E' stata eseguita una indagine sismica finalizzata alla caratterizzazione elastica e geometrica del sottosuolo per la caratterizzazione della formazione di "Monte Sidone" nella tratta Bovino Orsara sulla linea Bari Napoli.

Per questa attività è stata eseguita una sezione sismica coincidente con l'asse del tracciato (in questo caso in galleria) in corrispondenza della progressiva di progetto (32+600; 33+900), ed un'indagine sismica con tecnica down hole in un sondaggio geognostico (BO-PD-S6) opportunamente realizzato.

L'indagine sismica ha utilizzato la tecnica definita "sismica ibrida" cioè sismica tomografica e sismica a riflessione acquisite in contemporanea ma elaborate disgiuntamente.

Nel caso specifico è stata acquisita una sezione da 563 canali geofonici spazati 2.5 m per una lunghezza complessiva di 1405 m: la traccia della sezione è riportata sulla figura 1 in coda alla relazione.

Questa sezione è stata acquisita con 563 stazioni e su ognuna di queste è stata effettuata una energizzazione mediante "Thumper" per le onde di compressione e "Thor" per le onde di taglio.

Le elaborazioni dei dati sono state effettuate sia con procedure a riflessione per risolvere la problematiche geometriche dei contatti geologici sia con procedure a rifrazione tomografiche per definire i campi delle velocità delle onde di compressione e taglio.

In coda alla relazione sono presenti i seguenti elaborati grafici:

Misura Down Hole

- Fig. 1. Sismogrammi;
- Fig. 2. Valori Parametrici;
- Fig. 3. Log dei Parametri Elastici (V_p , V_s e Pocket Penetrometer);
- Fig. 4. Log dei Parametri Elastici (Coefficiente di Poisson, Modulo di Elasticità E° e Taglio G°).

Negli allegati a grande formato sono presenti, in scala 1:2000, le seguenti sezioni:

- Progr. 006 Planimetria indagini sismiche;
- Progr. 007 Sezione sismica tomografica ad onde di compressione e gradiente delle velocità;
- Progr. 008 Sezione sismica tomografica ad onde di taglio e coefficiente di Poisson;
- Progr. 009 Sezione sismica tomografica in moduli di Elasticità e Rigidità;
- Progr. 010 Sezione sismica ibrida e interpretazione;
- Progr. 011 Sezione Parametrica della galleria.



Fig. 1-2 – Immagini del sito e delle attività di indagine

2. ATTREZZATURE TECNICHE

Tutte le prospezioni sismiche si sono realizzate posizionando sempre l'intera sezione sul terreno, acquisendo dati adeguati al processing della sismica a riflessione; a seguito di scampionamento di questi file si è operato nel processing tomografico.

Ogni sezione era collegata tramite rete locale e cavi ad una serie di sismografi Geometrics Geode.

Sono state utilizzate le seguenti strumentazioni e software:

Acquisizione dati

Sismografi n° 10 Geometrics Geode collegati in rete locale (240 canali);
Geofoni 563 geofoni verticali da 40 Hz;
Geofoni 563 geofoni orizzontali da 14 Hz;
Energizzatore "Thumper" da 250 kg e "Thor" provvisto di 2 magli da 100 kg;
GPS Trimble.

Elaborazione dati

Software SEISVIEW ([Progeo srl](#)) per analisi dei sismogrammi;
SRA ([Progeo srl](#)) per analisi tomografica;
GLOBE CLARITAS ver 6.8 (2018) per analisi sismica a riflessione.

3. SISMICA TOMOGRAFICA

3.1 Modalità operative

La tecnica di prospezione sismica a rifrazione prevede la misura dei tempi di propagazione delle onde di compressione (P) e/o di taglio (S) tra il punto di energizzazione in superficie (shot) e vari punti di ricezione (geofoni) disposti sulla superficie topografica. L'analisi della velocità di propagazione delle onde elastiche nel sottosuolo, longitudinali (V_p) e/o trasversali (V_s), ottenuta conoscendo la distanza shot-ricevitore ed il relativo tempo di arrivo dell'impulso sismico ($\text{velocità} = \text{spazio} / \text{tempo}$), consente di rilevare in sintesi le proprietà fisiche e meccaniche dei terreni, poiché i valori di V_p e/o V_s sono proporzionali al grado di compattezza dei mezzi percorsi. L'elaborazione dei dati e le relative rappresentazioni cartografiche sono state effettuate secondo le disposizioni della Committenza, tramite tecnica analitica tomografica. Sono stati utilizzati geofoni da 40 Hz con asse strumentale verticale per ricezione onde P di compressione ed orizzontali da 14 Hz posizionati sul terreno ad intervalli regolari; tutte le stazioni riceventi erano collegate tra loro da cavo elettrico e ai sismografi utilizzati mediante cavi di rete. Inoltre è stato usato un geofono (geofono del time break o hammer switch) applicato nelle estreme vicinanze dell'energizzazione, il quale ha costituito il dispositivo di trigger per l'inizio della registrazione; tale segnale viene trasmesso tramite impulsi radio o altro cavo elettrico (cavetto del time break) al sismografo. Eseguito il posizionamento delle stazioni riceventi in superficie, collegati i geofoni sul terreno tramite morsetti bipolari al cavo elettrico e quest'ultimo al sismografo, verificati i segnali (via radio o cavetto) tra apparato di energizzazione e di ricezione, sono stati realizzati alcuni shot di prova allo scopo di tarare i parametri di acquisizione dello strumento di registrazione dati.



Effettuata la taratura della strumentazione si è proceduto alla prospezione sismica in modo tale che dopo ogni energizzazione (o somma di energizzazioni) su ciascun punto prestabilito, venisse acquisito e registrato il segnale per la successiva elaborazione. Gli impulsi sismici ricevuti dai sensori posizionati sulla superficie topografica sono stati acquisiti utilizzando apparecchiature elettroniche EG&G Geometrics Geode da 24 canali collegate in serie in modo che, avendo a disposizione un numero sufficiente di canali attivi per tutti i geofoni collegati, si può procedere con gli impatti lungo l'allineamento sismico senza dover effettuare altri collegamenti e registrazioni parziali durante la fase di acquisizione dati e quindi con notevole guadagno in tempi esecutivi di campagna.



 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA BOVINO - ORSARA PROGETTO DEFINITIVO</p>					
<p>INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE PER LA CARATTERIZZAZIONE DELLA FORMAZIONE DI MONTE SIDONE</p>	<p>COMMESSA IF1W</p>	<p>LOTTO 00 D 69</p>	<p>CODIFICA IG</p>	<p>DOCUMENTO GE0005 005</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 7 di 32</p>

3.2 Elaborazione dati

3.2.1 Elaborazione sismogrammi (preprocessing)

La prima operazione che è stata eseguita in sede, una volta terminata la fase di acquisizione dati in campagna, è stata quella di tradurre i file di dati.

Questa fase di preprocessing permette di convertire il formato con cui i dati sismici sono registrati dal sismografo EG&G GEOMETRICS GEODE in quello del programma elaborativo ([SeisView®](#)).

Di seguito viene eseguito il primo screening col programma Seisview per la ricerca su ciascuna traccia di ogni sismogramma del primo arrivo (F.B.P. - first break peak) dell'onda di compressione (P) e di taglio (S).

Di ogni file di dati acquisito in campagna viene creato un nuovo file ottimizzato con i tempi di arrivo (in millisec) degli F.B.P. Tali dati vengono graficizzati per ottenere la rappresentazione delle Diagrafie Tempi-Distanze (Dromocrone) della sezione sismica sui quali effettuare alcune analisi preliminari ma poi passati nel programma [S.R.A.®](#) (Seismic Refraction Analysis sviluppato dalla Progeo) per l'elaborazione tomografica.

3.2.2 Processing tomografico in velocità

L'elaborazione delle sezioni mediante analisi tomografica viene effettuata sia per avere un maggior dettaglio in termini di definizione della consistenza dell'ammasso sia per raggiungere maggiori profondità d'investigazione sopperendo quindi alla comune mancanza di rifrattori significativi procedendo in profondità specialmente in seguito alla presenza di materiale non sufficientemente differenziato nei termini dei parametri elastici.

Definizione della geometria della ricerca

La prima procedura di elaborazione tomografica consiste nella ricerca della geometria di percorso dei raggi sismici da ogni punto di energizzazione a ciascun geofono collegato che ha registrato l'impulso proveniente da quello stesso punto.

Tale operazione preliminare viene effettuata mediante tecniche di Ray Tracing Curvilineo.

Ray tracing e definizione dei parametri di calcolo

Il file di dati in Excel di ciascuna sezione sismica precedentemente ottenuto, è stato per questo inserito nel programma di calcolo [S.R.A.®](#) (Seismic Refraction Analysis, programma originale sviluppato dalla Progeo che utilizza la piattaforma di Windows) il quale traccia, sulla base di una prima modellazione in velocità del sottosuolo, i vari raggi sismici che coprono da un estremo all'altro dello stendimento sismico l'intera area investigata al di sotto della superficie topografica.

L'elaborazione tomografica è ottenuta utilizzando celle di analisi di larghezza coerente con la geometria d'indagine ed approssimativamente con larghezza pari alla metà della spaziatura dei sensori ed altezza pari ad un quarto di quest'ultima.

Analisi delle risultanze delle velocità

Il passo successivo è stato l'applicazione sempre con lo stesso programma **S.R.A.**[®] di procedure tipo **S.I.R.T.** (Simultaneous Iterative Reconstruction Technique) le quali forniscono valori di velocità sismica per partizioni unitarie (celle di analisi di dimensione metrica), col quale l'operatore ha cercato, con successive iterazioni dalla prima modellazione del sottosuolo, di far convergere (dal punto di vista statistico fino a quando gli scarti quadratici e le varianze dei tempi calcolati sono minimi rispetto a quelli definiti in input) i dati modellati con quelli reali e corrispondenti ai tempi ottenuti dalle dromocrone originali. In pratica le successive approssimazioni calcolate dall'elaboratore coi dati sempre più affinati e inseriti dall'operatore terminano quando le dromocrone, relative a quella data distribuzione di velocità particellari, sono coincidenti e con scarto minimo (mediamente inferiore a 0.5%) con quelle reali ottenute dalle letture degli F.B.P. sui sismogrammi.

Inoltre con tale tecnologia elaborativa si sopperisce alla mancanza di rifrattori significativi e alla presenza, assai comune col procedere in profondità, di materiale non sufficientemente differenziato nei termini fisici dei parametri elastici, per cui le tecniche tradizionali di sismica a rifrazione non riescono a discriminare il grado di consistenza, alterazione o disomogeneità dell'ammasso.

L'elaborazione sismica tomografica è stata ottenuta utilizzando celle di analisi di larghezza coerente con la geometria d'indagine ed approssimativamente con larghezza pari alla metà della spaziatura ed altezza pari ad un quarto di questa.

La grande quantità di dati così ottenuti dall'elaborazione permette di valutare, con elevato dettaglio, quali sono le caratteristiche dei materiali dell'ammasso, di localizzare eventuali anomalie ed avere una immagine coerente alla realtà (ricordiamo che la sezione ottenuta è pur sempre un modello matematico magari anche molto realistico ma pur sempre un modello).

3.2.3 Analisi del gradiente geotomografico

Per localizzare i principali livelli di consistenza viene realizzata l'analisi del gradiente geosismico (vedasi clip nell'immagine sottostante) il quale consiste in un'analisi matematica (*processing di gradiente*) allo scopo di rintracciare i luoghi ove il parametro elastico tomografico subisce significative variazioni.

E' in questi luoghi, i quali non necessariamente coincidono per un'area ad un unico valore, ove la probabilità di individuare una interfaccia significativa è maggiormente elevata.

Per la determinazione ed individuazione quindi di tali orizzonti è stato applicato sui dati tomografici un algoritmo statistico il quale valuta la variazione del parametro tomografico (ad es. Velocità, Attenuazione) in termini di gradiente verticolaterale.

E' evidente che se i parametri geofisici non variano arealmente oppure variano di poco il gradiente è pressoché nullo o molto basso, laddove invece si presentano variazioni verticolaterali importanti il gradiente si presenta con i massimi valori.

E' in tali tratti quindi che è possibile localizzare passaggi significativi e suddividere il sottosuolo in "unità" o "strati" a consistenza elastica differenziata ed inoltre, nel caso in cui sia possibile una taratura mediante sondaggi geomeccanici, effettuare anche una correlazione litologica.

4. PROSPEZIONE SISMICA IN FORO CON TECNICA DOWN HOLE

4.1 Modalità operative

La tecnica down-hole prevede la misura dei tempi di propagazione delle onde di compressione (P) e di taglio (S) tra il punto di energizzazione in superficie (shot) ed il punto di ricezione mobile in profondità entro il foro di sondaggio

4.1.1 Sorgente di energia

Per effettuare tali operazioni è necessario utilizzare una sorgente di energia a polarizzazione verticale ed orizzontale: con la prima si generano onde di compressione P mentre con la seconda onde di taglio polarizzate Sh.

Nel caso in esame si è scelta una sorgente di energia che potesse garantire una buona risposta sismica in alta frequenza oltre a caratteristiche dinamiche ripetitive similari; il generatore usato e denominato “Hammer Blow” è rappresentato da un maglio di 8 Kg usato da un operatore lasciato cadere con forza da circa 2 m su una piastra di acciaio per la generazione delle onde di compressione ed orizzontalmente, colpendo un supporto solidale, per attrito radente al terreno, (trave in legno con sopra un autocarro) per quelle di taglio.



(immagine di repertorio)

4.1.2 Apparato di ricezione

L'apparato di ricezione è provvisto di un apposito meccanismo di ancoraggio alle pareti del foro durante la registrazione dell'impulso e di disancoraggio per essere mobilizzato lungo la verticale del sondaggio stesso (vedasi foto allegata a fianco). Tale apparato (sonda 3D) è formato da un gruppo di sensori composto da tre geofoni da 14 Hz smorzati del 70%, dei quali uno con l'asse funzionale verticale (V) e due orizzontali (H1 e H2) fra loro ortogonali. Oltre alla sonda calata entro il foro si utilizza in superficie un interruttore piezoelettrico applicato all'apparato energizzatore, il quale costituisce il dispositivo di trigger per l'inizio della registrazione ed alcuni geofoni di riferimento (tre nel nostro caso) posizionati nelle vicinanze della bocca del foro che rimangono fissi per tutte le misure effettuate nel sondaggio e che costituiscono il dispositivo di controllo del trigger affinché tutti gli impulsi sismici possano essere corretti con uno shift del tempo nella fase di preprocessing nel caso in cui si opti per una elaborazione di tipo tomografico.



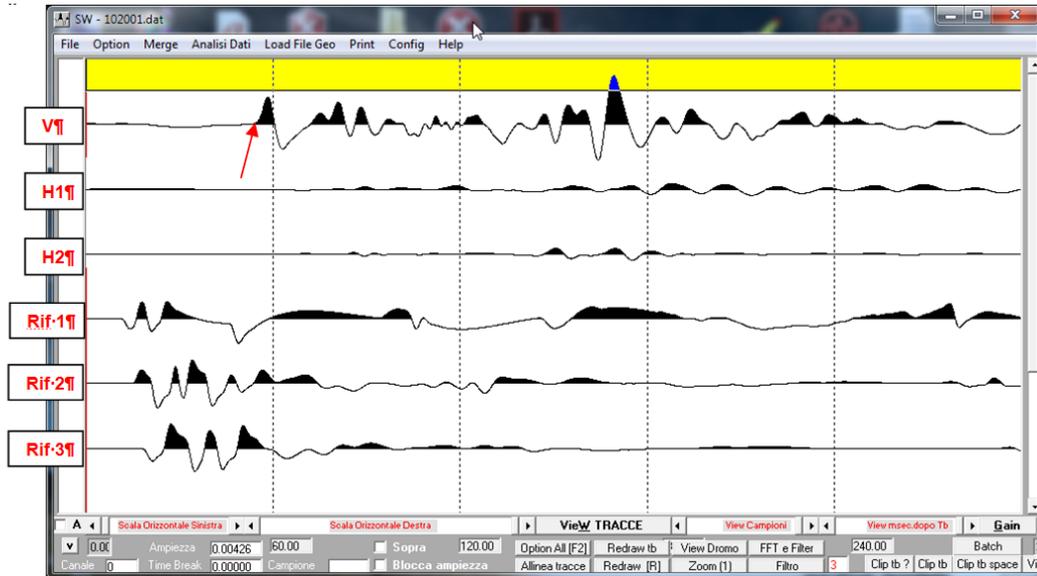
4.1.3 Operazioni di campagna

Dopo aver eseguito il collegamento al sismografo del cavo elettrico per i 3 canali della sonda 3D, dell'interruttore piezoelettrico solidale all'apparato di energizzazione e dei tre geofoni di riferimento si è effettuato il posizionamento della sonda 3D a fondo foro e si sono realizzati alcuni shot di prova allo scopo di tarare i parametri di acquisizione dello strumento di registrazione dati. Effettuata la taratura della strumentazione si è proceduto alla prospezione down-hole a partire da fondo foro. Gli impulsi sismici ricevuti dalla sonda in foro sono stati acquisiti utilizzando l'apparecchiatura EG&G Geometrics Geode con un passo di campionamento di 0.02 millisecc, tramite la quale, dopo amplificazione, conversione analogico/digitale e filtraggio, sono trasferiti e registrati su P.C.

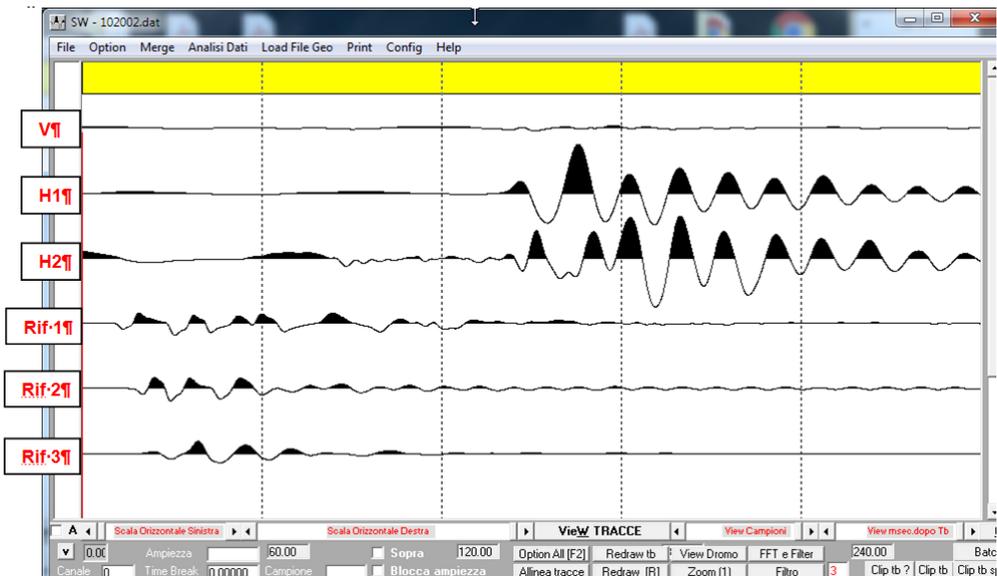
Sui sismogrammi le tracce sono distinte secondo lo schema sottostante:

canale 1-segnale del geofono verticale	(V)
canale 2-segnale del geofono orizzontale	(H1)
canale 3-segnale del geofono orizzontale	(H2)
canale 4-segnale del geofono di riferimento posizionato sul punto di battuta	(Rif 1)
canale 5-segnale del geofono di riferimento posizionato a 1 metro dal punto di battuta	(Rif 2)
canale 6-segnale del geofono di riferimento posizionato in prossimità della bocca pozzo	(Rif 3)

La fase di taratura della strumentazione consiste nella seguente procedura; si posiziona la sonda 3D a fondo foro e viene dato un impulso per le onde di compressione (direzione alto-basso): un esempio del sito è la registrazione seguente dove con la freccia rossa si indica il tempo di arrivo delle onde di compressione:

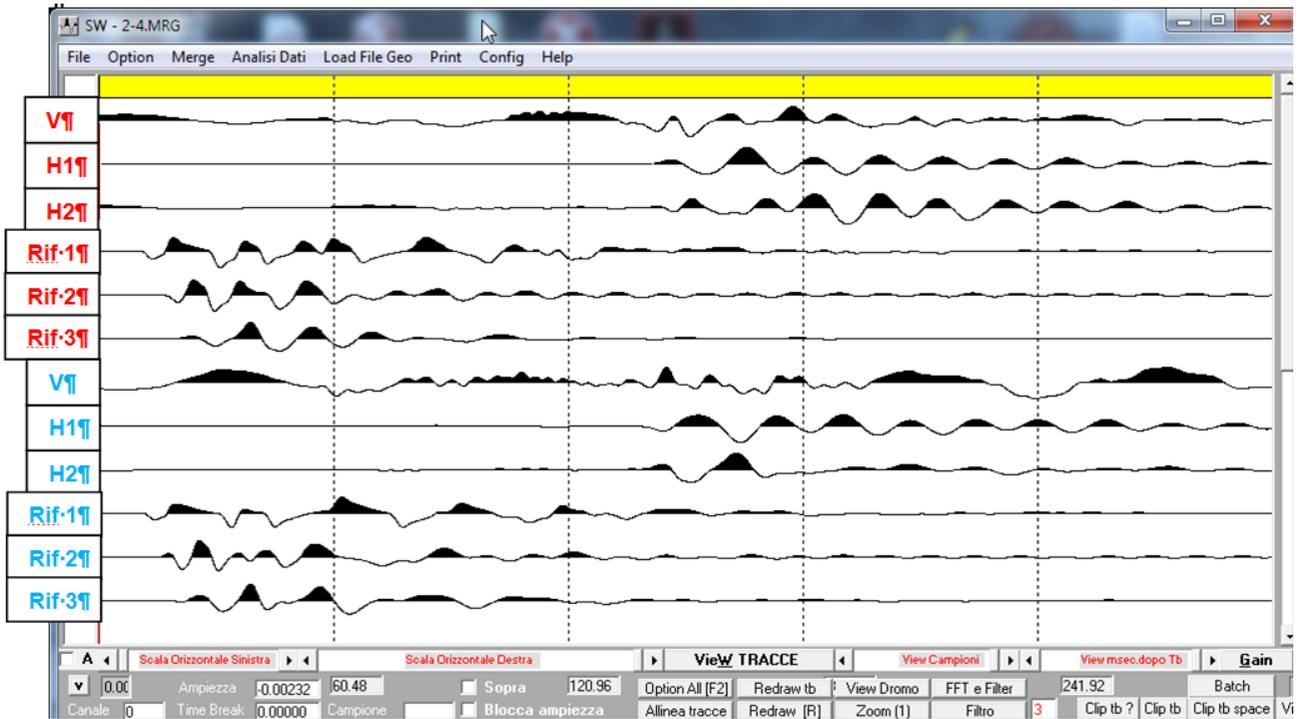


In tale registrazione risultano perfettamente definite le tracce V, Rif 1, Rif 2 e Rif 3 che sono realmente le tracce che risultano necessarie all'elaborazione per questo tipo di impulso. Al fine della determinazione del tempo di arrivo dell'onda di taglio alle varie profondità si è provveduto alla registrazione di un impulso polarizzato sul piano orizzontale con la sonda posizionata a fondo foro, la registrazione relativa a tale impulso è riportata qui di seguito.

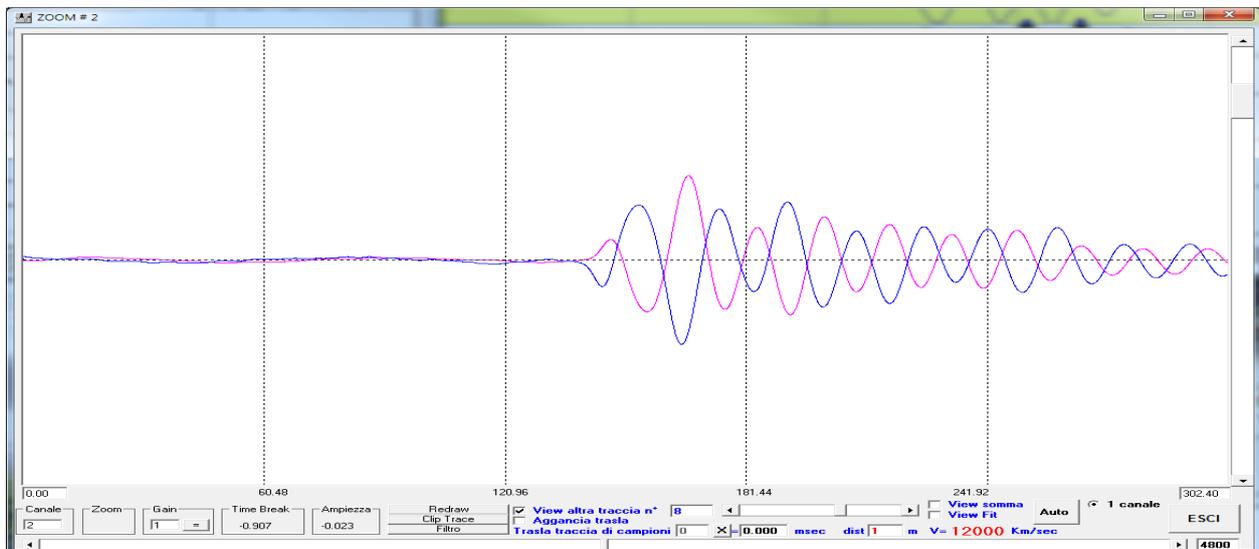


In tale registrazione risultano perfettamente definite le tracce H1, H2 dei geofoni orizzontali e Rif 1, Rif 2 e Rif 3 dei geofoni di riferimento in superficie. Per avere la certezza del tempo di arrivo dell'onda di taglio si è provveduto ad una energizzazione polarizzata sul piano orizzontale invertendo dal sismografo la polarità dei sensori H1 e H2 e questo permette di non spostare il punto dello shot che porterebbe

anomalie negli impulsi. Il sismogramma cumulato dei due record (in rosso ed in blu) a polarizzazione invertita che ne consegue è quello qui di seguito presentato.



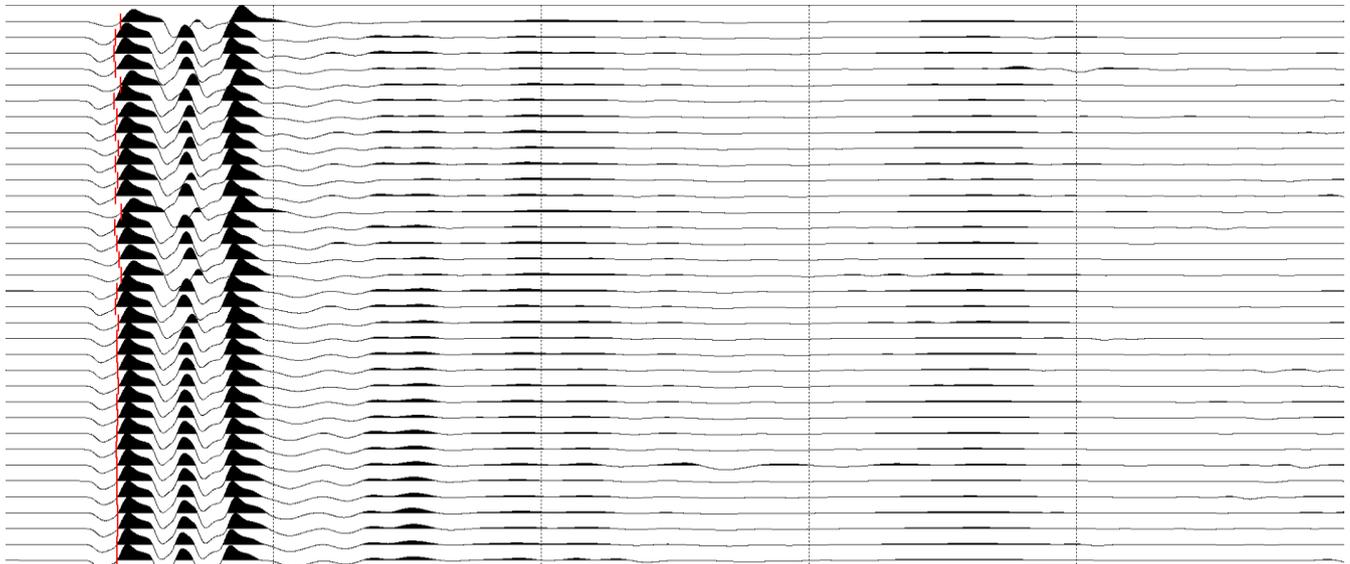
In tale sismogramma risulta evidente che la traccia H1 rossa è invertita di fase rispetto a quella H1 blu come si rileva anche dal diagramma a farfalla di seguito dove le due tracce vengono visualizzate sovrapposte. E' presente un minimo shift in quanto su queste tracce originali non è stata ancora effettuata la correzione del trigger.



Verificata la validità dei segnali, procedura ripetuta a varie ordinate sul foro, si è iniziata la prospezione da fondo foro fino alla superficie topografica realizzando due energizzazioni, una per le onde di compressione e una per le onde di taglio, per ogni step di misura metrico avendo l'accortezza di non ruotare la sonda ricevente durante la risalita.

Al fine della fase di acquisizione si sono assemblati tutti i sismogrammi relativi ad ogni singolo canale e procedere alle analisi primarie di correzione del trigger utilizzando i gather dei vari geofoni di riferimento posizionati in superficie.

Viene riportata l'immagine relativa al canale di riferimento Rif 3 ovvero relativo a quello del geofono di riferimento posizionato a bocca pozzo



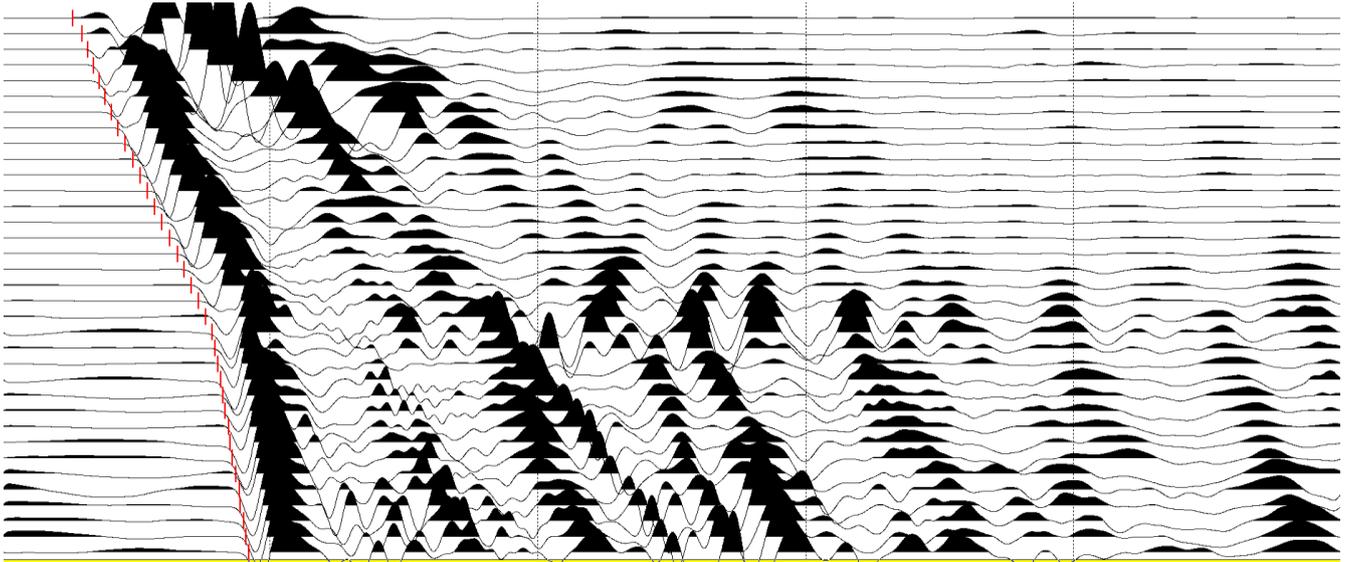
Bisogna notare che gli arrivi a questo canale fisso sul terreno (segnati in rosso) devono essere identici per tutte le energizzazioni.

Piccole differenze di tempo sono da imputare a differenze di partenza del segnale per cui si deve poi procedere alle "correzioni del trigger" ovviamente utilizzando tutti i tre riferimenti.

Analogha procedura si è attuata per le correzioni del tempo "0" relativo alle onde di taglio.

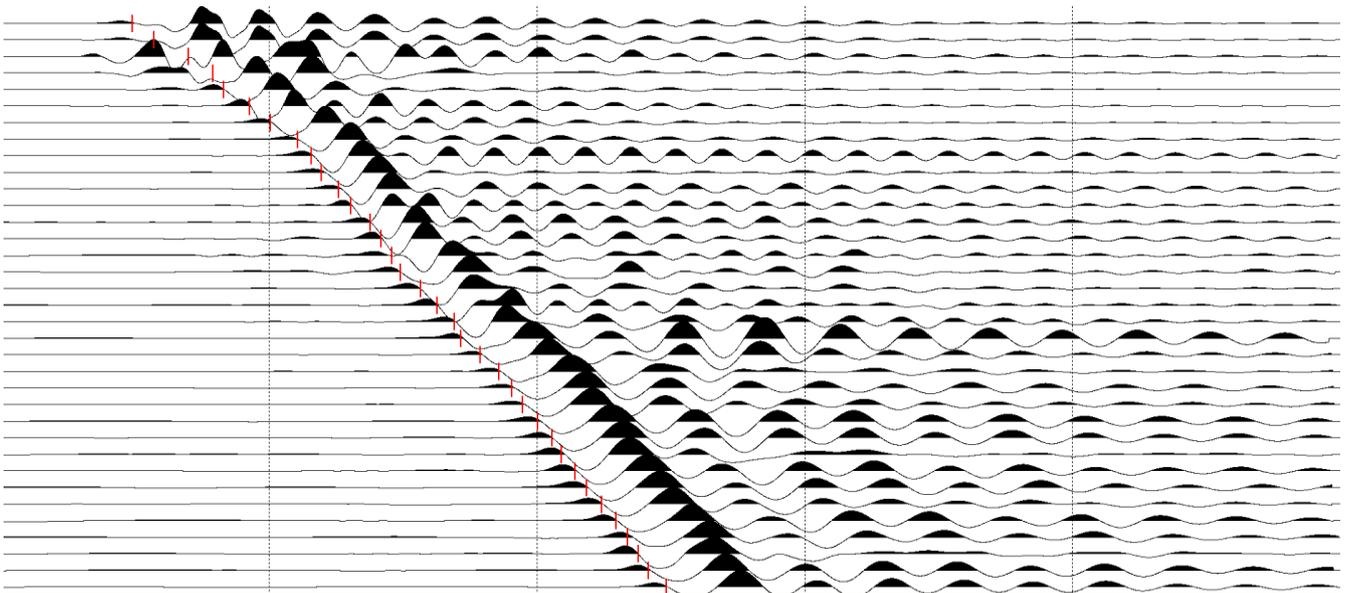
Applicate le correzioni di tempo "0" al sismogramma relativo a tutte le energizzazioni effettuate sul canale V (relativo al geofono verticale) e si è ottenuto il sismogramma sottostante su cui si sono effettuate le letture del primo arrivo.

Visualizzazione parziale delle prime 30 tracce la visualizzazione completa si può vedere nell'elaborato specifico



Stessa procedura si è applicata al sismogramma relativo al canale H1 e H2 e su tali sismogrammi si sono realizzate le letture dei primi arrivi, l'immagine seguente fa riferimento al canale H1.

Visualizzazione parziale delle prime 30 tracce la visualizzazione completa si può vedere nell'elaborato specifico



4.2 Elaborazione dati

Il procedimento elaborativo dei dati down hole si è realizzato secondo la modalità tomografica

Questo consiste nell'interpretazione dei tempi di arrivo delle onde di compressione P e di taglio S. Per l'analisi di questi dati vengono utilizzati programmi al calcolatore di utilità, originali della Progeo.

Il procedimento di calcolo si sviluppa secondo i seguenti ulteriori step.

a) Definizione della geometria della ricerca

- coordinate del sensore in pozzo (3D),
- posizionamento punto di shot.

b) Input tempi di arrivo onde P e onde S

Realizzazione dei file dei dati relativi ai tempi di arrivo delle onde P ed S associate alle coordinate spaziali delle stazioni di misura.

c) Input modello di velocità

In base alle conoscenze stratigrafiche e sismiche vengono definiti degli intervalli a velocità costante lungo l'asse del foro in funzione dei quali viene realizzato il ray tracing (step n).

d) Ray tracing

Vengono create le traiettorie dei raggi sismici in base ai modelli di velocità definiti allo step m).

Per il calcolo si sono utilizzati i seguenti parametri:

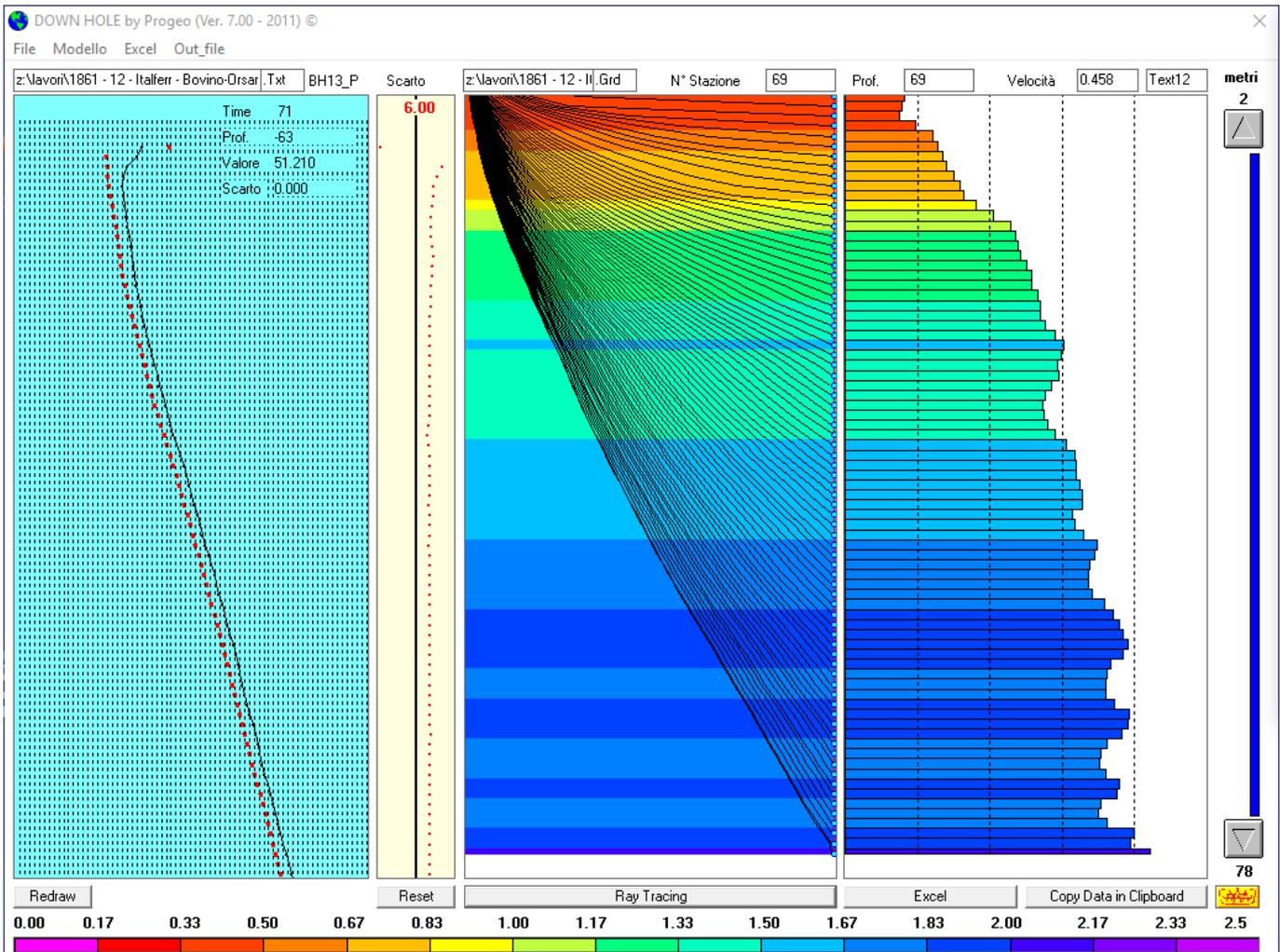
- anisotropia ellittica (massima velocità in senso verticale)
- tolleranza lineare (.05%)
- tolleranza angolare (1")
- numero di iterazioni (500)
- multi pathing (on)
- plane layer (on)

e) Definizione dei parametri di calcolo

Il programma utilizzato necessita, per il calcolo della sezione in profondità lungo la verticale del foro e in funzione dei valori di velocità, dei seguenti parametri di calcolo:

- definizione tipo di griglia (1 cella ogni m)
- tipo di anisotropia del mezzo investigato (verticale)
- numero di iterazioni (500)
- algoritmo di calcolo (S.I.R.T.)

L'algoritmo S.I.R.T. (Simultaneous Iterative Reconstruction Technique) crea un'immagine di velocità apprezzabile, sufficientemente stabile e che converge velocemente verso i valori sperimentali.



Fase di processing tomografica del Down Hole

f) Analisi delle risultanze

Queste vengono inizialmente valutate dal punto di vista statistico attraverso gli scarti quadratici e le varianze dei tempi calcolati rispetto a quelli definiti in input. In base a tali valori possono essere modificati i parametri di calcolo per una migliore ottimizzazione. Si passa in seguito all'analisi delle velocità intergeofoniche relative alle onde P ed S dalla quale si ricava un modello di velocità più adeguato (a tale modello si farà riferimento in seguito come velocità

intervallari). Il calcolo riprende perciò dallo step c) con l'input del nuovo modello di velocità e si procede fino a quando gli scarti e le varianze divengono minimi.

g) Predisposizione tabelle e grafici dei dati

I dati calcolati al punto e) vengono riportati in un foglio elettronico appositamente predisposto allo scopo di calcolare i moduli elastici relativi e graficizzare le risultanze.

r) Conversione in immagini computerizzate

La prospezione down hole con elaborazione tomografica si concretizza nella definizione di celle analitiche elementari; per ogni cella il valore della velocità tomografica rappresenta il valore medio risultante dei valori differenziali relativi a tutti i tragitti elementari dei raggi di investigazione che attraversano la cella considerata. La determinazione delle celle elementari che definiscono la rappresentazione tomografica deriva dalle variazioni dei parametri cinematici V_p e V_s in funzione del grado di consistenza differenziata del materiale.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA BOVINO - ORSARA PROGETTO DEFINITIVO</p>					
<p>INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE PER LA CARATTERIZZAZIONE DELLA FORMAZIONE DI MONTE SIDONE</p>	<p>COMMESSA IF1W</p>	<p>LOTTO 00 D 69</p>	<p>CODIFICA IG</p>	<p>DOCUMENTO GE0005 005</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 18 di 32</p>

5. INDICAZIONI GENERALI SULLA ELASTICITA' DEI MATERIALI

5.1 Generalità

L'elasticità di un corpo dipende soprattutto da tre fattori: isotropia, omogeneità e continuità.

Per isotropia si intende uguaglianza delle proprietà vettoriali di un corpo in tutte le direzioni; per omogeneità si intende la distribuzione spaziale uniforme dei vari costituenti del materiale nella sua struttura interna; per continuità si intende l'assenza di interruzioni nei legami che uniscono tra loro i vari costituenti del materiale.

Da ciò si deduce che l'elasticità non può essere che una schematizzazione teorica perché nessun corpo reale può rispondere ai requisiti richiesti di isotropia, omogeneità e continuità.

Nei corpi reali ogni deformazione provoca nell'interno un assestamento strutturale che è irreversibile, per cui non ci può essere un recupero istantaneo e totale della deformazione al cessare della sollecitazione.

Tuttavia questa schematizzazione teorica può avere una sua validità reale se considerata entro certi limiti di intensità e durata dell'applicazione della sollecitazione.

Nel campo delle indagini sismiche con generazione di onde p ed s tutti i materiali rientrano nel campo delle deformazioni elastiche essendo sia l'intensità della forza applicata ed il tempo in cui questa agisce ridotta ad alcuni millisecondi.

Le onde sismiche si propagano nell'interno della terra con velocità, frequenza e ampiezza che dipendono dalle proprietà elastiche delle rocce.

5.2 Principi sulla elasticità

Vengono qui di seguito richiamati alcuni principi sulla elasticità per comprendere le relazioni che legano le velocità delle onde sismiche alle caratteristiche elastiche dei materiali.

Si definisce come *sforzo* S il rapporto tra la forza applicata ad una piccola superficie e l'area di tale superficie.

Se la forza viene applicata normalmente all'area lo sforzo è di *trazione* o di *compressione* se in direzione opposta.

Quando invece la forza è parallela all'area lo sforzo è *tangenziale* o di *taglio*.

Lo sforzo di compressione provoca un accorciamento del corpo, quello di trazione un allungamento e quello di taglio una deformazione angolare.

La *deformazione longitudinale* (ϵ_i) è il rapporto tra l'allungamento (o l'accorciamento) e la lunghezza originale del corpo.

L'angolo di cui ruota il corpo in seguito ad uno sforzo di taglio è la *deformazione tangenziale* (ϵ_0).

Per piccole deformazioni, lo sforzo longitudinale è proporzionale alla deformazione ϵ_i , e la costante di proporzionalità è il *Modulo di Young* o di *Elasticità normale*.

Lo stesso dicasi per lo sforzo di taglio la cui deformazione tangenziale è proporzionale al *Modulo di Taglio* o di *Rigidità*.

Se lo sforzo viene applicato tridimensionalmente (lungo tutti tre gli assi cartesiani) applicando una pressione idrostatica uniforme si avranno componenti dello sforzo uguali e la deformazione sarà rappresentata da una variazione di volume indicata numericamente dal coefficiente di compressibilità o, inversamente, dal *Modulo di Compressibilità* o *Modulo di Volume*.

Da un punto di vista bidimensionale, uno sforzo di trazione o compressione, causa sia un allungamento o raccorciamento e contemporaneamente una contrazione o dilatazione; la costante che lega tali variazioni è il *coefficiente di Poisson*

5.3 Parametri elastici

Per la caratterizzazione del sito e del terreno in esame, specialmente in termini di deformabilità dei materiali in associazione ai dati geotecnici ricavati dalle prove geomeccaniche, può essere opportuno fornire al Progettista altri parametri (oltre ai singoli valori di velocità sismica) contemporaneamente alla rilevazione delle velocità di propagazione delle onde sismiche (V_p e V_s) nel sottosuolo.

Si tratta dei Moduli elastici dinamici del terreno i quali possono contribuire ad una migliore definizione dei carichi e delle spinte da parte del manufatto sul terreno di fondazione.

Attraverso la determinazione sia delle velocità delle onde di compressione sia delle velocità delle onde di taglio è possibile ricavare vari parametri (per ulteriori dettagli si veda, tra i più recenti, "The rock physics handbook – tools for seismic analysis in porous media" di G. Mavko, T. Mukerji e J. Dvorkin, Cambridge University Press, UK, pp. 1-329, 1998);

- Coefficiente di Poisson (ν)
- Peso di volume (γ_{din})
- Modulo di Elasticità dinamico (E_{din})
- Modulo di Taglio dinamico (G_{din})
- Modulo di Compressibilità dinamico (K_{din})

Le formule utilizzate per il calcolo dei parametri elastici, in funzione di V_p , V_s sono le seguenti:

1. Peso di volume (Progeo 1986) $\gamma_{din} = 0.51 \cdot V_p^{0.19} \quad (\gamma_{din} \text{ in T/m}^3)$

2. Peso di volume (Keçeli 2009-2012)¹ $\gamma_{din} = 0.44 \cdot V_s^{0.25}$ (m/sec) $(\gamma_{din} \text{ in T/m}^3)$
3. Densità geofisica $\delta_{din} = \frac{\gamma}{g}$ ($g = 9.8$ – accelerazione di gravità m/sec)
4. Coefficiente di Poisson $\nu = \frac{V_p^2 - 2 \cdot V_s^2}{2 \cdot (V_p^2 - V_s^2)}$
5. Modulo di Elasticità $E_{din} = V_p^2 \cdot \delta_{din} \cdot \frac{(1-\nu) \cdot (1-2\nu)}{(1-\nu)}$ (E_{din} in Kg/cm²)
6. Modulo di Taglio $G_{din} = \delta_{din} \cdot V_s^2$ (G_{din} in Kg/cm²)
7. Modulo di Compressibilità $K_{din} = \frac{E_{din}}{3 \cdot (1-2 \cdot \nu)}$ (K_{din} in Kg/cm²)

Per gli scopi dell'indagine uno dei parametri più significativi per identificare le possibili deformazioni dell'ammasso può essere rappresentato dal Modulo di Taglio dinamico; il *Modulo di Taglio* o di *Rigidità* G_{din} definisce la *deformazione tangenziale* di un corpo, intesa come l'angolo di cui ruota il corpo stesso in seguito ad uno sforzo di taglio.

Anche il *coefficiente di Poisson* può ben identificare lo stato di consistenza e deformabilità del materiale d'ammasso; tale parametro può presentare un range di variazione compreso tra un massimo di 0.5 ed un minimo di 0.

Le indicazioni seguenti fanno riferimento a valori caratteristici del parametro sempre consci che il sistema geologico non è mai né isotropo né perfettamente elastico oltre ad essere multifase (solido, acqua e gas).

Valori di Poisson di 0.5 sono caratteristici di materiali che si deformano senza cambiamenti di volume (es. acqua), valori leggermente inferiori (0.47 - 0.498) sono tipici di argille o materiali molto saturi; valori inferiori sono indicativi di materiali da poco consolidati a sovraconsolidati; per le rocce si presentano range di variazioni molto ampi collegati in particolare sia al grado di fratturazione sia alla presenza di cavità, stratificazioni e litologie e comunque tra (0.46 e 0.20).

E' importante sottolineare che i moduli dinamici risultano comunque sempre più elevati di quelli statici forniti da prove di carico in situ in quanto gli impulsi sismici sono di breve durata e le sollecitazioni ad essi associate sono relativamente modeste e rientrano nel campo delle deformazioni istantanee.

¹ Ali Keçeli, Soil parameters which can be determined with seismic velocities. Jeofisik, 2012, 16, 17-29

6. PROSPEZIONE SISMICA A RIFLESSIONE

La tecnica sismica di riflessione è il metodo geofisico più largamente impiegato soprattutto nella ricerca di strutture geologiche e tettoniche, in particolare profonde. La tecnica di prospezione più comune presuppone il cosiddetto rilievo continuo: gli orizzonti riflettenti vengono seguiti cioè in modo continuo lungo il profilo mediante stendimenti simmetrici (split spread) o asimmetrici (end on) rispetto al punto di energizzazione. Il risultato di un profilo sismico dipende in gran parte dai parametri utilizzati nel corso dell'acquisizione dati, parametri che vengono scelti dopo aver realizzato un profilo walkaway. Si tratta di un test in campagna per saggiare le caratteristiche dell'obiettivo scopo della ricerca e dei terreni da cui scegliere la migliore configurazione dei parametri di acquisizione.

I parametri da definire in questa procedura sono i seguenti:

- 1) lunghezza della registrazione (record length) e intervallo di campionamento (sample rate);
- 2) massima distanza tra sorgente e geofono (maximum offset);
- 3) minima distanza tra sorgente e geofono (minimum offset);
- 4) distanza tra le stazioni geofoniche;
- 5) tipo di stendimento ("END-ON", ovvero asimmetrico con shot da un estremo sezione);
- 6) controllo automatico di guadagno (AGC OFF);
- 7) filtri digitali (Notch ON).

Per i punti 2) e 3), la distanza tra sorgente e geofono viene normalmente scelta in funzione degli obiettivi ed eventualmente modificabile in sito se i test iniziali indicassero dati non adeguati.

In via del tutto teorica, si può considerare il maximum offset all'incirca uguale alla profondità del riflettore che si vuole evidenziare; il minimum offset dovrebbe essere il più piccolo possibile (al fine di registrare anche i primi arrivi delle onde rifratte, indispensabili per le correzioni statiche), compatibilmente con l'esigenza di evitare sia la saturazione del segnale ai geofoni, sia la registrazione di disturbi che, in prossimità della sorgente, hanno un'ampiezza tale da obliterare completamente la riflessione.

Nel caso altresì di un profilo come quello registrato con tutte le tracce attive definito "full fold" si è vincolati allo shot entro lo stendimento ed i parametri al punto 2 e 3 non possono essere gestiti ma fornire informazioni alla fase di processing sul kill da eseguire per eliminare le tracce troppo prossime allo shot e pertanto potenzialmente inadeguate per un impulso troppo elevato che porta a saturazione il segnale e di conseguenza non più elaborabile.

Una riflessione o eco si verifica sempre in presenza di altri segnali sismici o "rumori" che possono interferire con essa o addirittura oscurarla; da qui la necessità di migliorare il più possibile il rapporto Signal/Noise (S/N) con vari espedienti.

Una delle tecniche più diffuse è quella di operare con la cosiddetta "copertura CDP" (Common Depth Point), ovvero riunire i dati provenienti dallo stesso punto sulla superficie riflettente, apportare le dovute correzioni in tempi legate alla determinazione della velocità media al di sopra del riflettore (percorsi diversi dell'onda riflessa legati a differenti distanze sorgente-geofono) e quindi sommare le tracce in questione (stacking) rafforzando il segnale riflesso.

Con tale metodo, registrando cioè più segnali riflessi da uno stesso punto riflettente (copertura multipla) che abbiano seguito percorsi diversi, è evidente che gli impulsi che giungono in fase (segnali) si sommano, e quelli non in fase (disturbi vari) si attenuano.

Le coperture multiple più usate vanno dal 3600% al 4800% ordine in funzione del dettaglio e del miglioramento del segnale che si vuole ottenere.

Negli stendimenti effettuati con tutte le tracce attive (full fold), si è giunti ad una copertura massima nominale (subsurface coverage) del **120** o 12000 % ottenuta sommando fino a un massimo di 120 tracce/n° shot nei "CDP gather" centrali alla sezione, questo in previsione di segnale a bassa impedenza per la presenza di materiali a contrasto di velocità e densità (impedenza) molto basso e quindi con indici di riflessione estremamente ridotti².

Le energizzazioni mediante mazza strumentata sono state effettuate immediatamente a lato dei sensori ogni geofono lungo sezione per un totale di 116 shot in modo da avere a disposizione una quantità di dati tale da coprire con la giusta geometria dei raggi e in maniera omogenea l'intera sezione sismica in tutti i settori e fino alle profondità adeguate senza lasciare tratti scoperti o disomogenei.

Gli impulsi sismici ricevuti dai geofoni posizionati sulla superficie topografica sono stati acquisiti utilizzando sismografi elettronici EG&G Geometrics Geode a 24 canali collegate in serie.

Il sismografo utilizzato è dotato di un convertitore A/D a 14+1 bit, preceduto da un amplificatore a virgola mobile istantanea (IFP) che permette di ottenere un range dinamico di 18+1 bit (114 dB).

D'altra parte, per la riflessione è essenziale considerare il "range dinamico istantaneo" (ovvero il rapporto in Db tra il segnale più grande e quello più piccolo che possono essere registrati contemporaneamente), proprio perché spesso si cerca di estrarre un segnale molto piccolo e ad alta frequenza (riflessione) da un segnale molto grande dominato generalmente dal ground roll (onde superficiali di disturbo).

6.1 Elaborazione dati

L'elaborazione computerizzata è avvenuta impiegando il software **Globe Claritas** (www.globeclaritas.com) di cui si è licenziatari e si è articolata fondamentalmente nei quattro punti successivi:

- 1) "editing" e "sorting" e "muting";
- 2) correzioni statiche;

² Impedenza

Coefficiente di Riflessione

$$Z = \rho \cdot V_p$$

$$R = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2}$$

(con Z_1 e Z_2 si intendono i valori di impedenza relativi a strati sovrapposti)

3) operatori di filtraggio (filtri Bandpass e FK);

4) analisi di velocità – correzioni statiche residue – stack e depth conversion

1) I file salvati dal sismografo sono in formato demultiplexato (SEG 2), ovvero presentano, una dopo l'altra, le tracce relative ai successivi canali e devono essere trasformate in un unico file in formato standard (seg y) nel quale sono presenti ed organizzati tutti i record.

Su questo file si prosegue con analisi di editing, muting e killing che consistono in una fase di "pulizia" per eliminare fisicamente da record le tracce troppo rumorose o errate, per ridurre il "rumore di fondo" o per eliminare parti di record che presentano segnali non utili come ad esempio l'air wave, il "ground roll" ecc. cioè segnali non corrispondenti a riflessioni che se utilizzati riducono il rapporto segnale/rumore non permettendo di avere dati adeguati.

2) Si procede quindi con le correzioni statiche, ovvero quelle correzioni che implicano uno slittamento lungo la scala dei tempi dell'intera traccia sismica.

Un tipo di correzione statica è la cosiddetta "datum static", usata per compensare il fatto che i geofoni si possono trovare a quote diverse l'uno dall'altro rispetto al "datum" il quale viene fatto corrispondere normalmente alla quota più alta del profilo della sezione; un'altra correzione statica è la "weathering correction" usata per compensare le differenze di velocità di propagazione delle onde sismiche negli strati più superficiali.

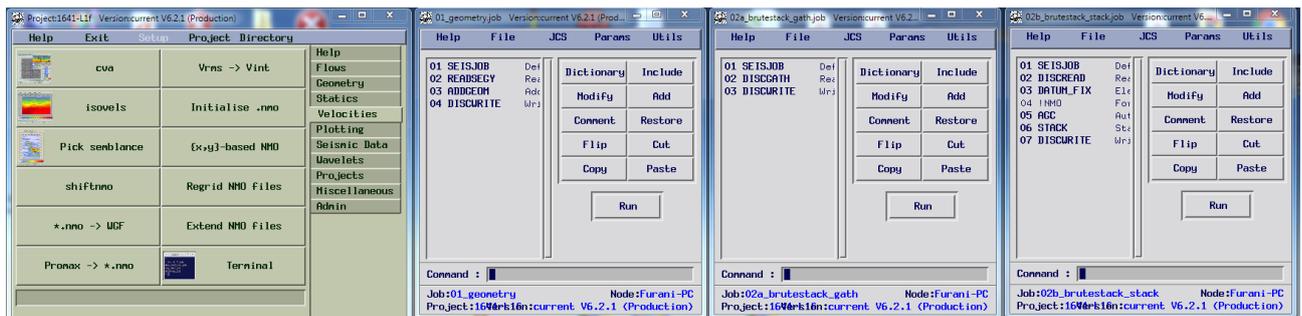
3) La correzione più laboriosa è invece la correzione dinamica o NMO (Normal Move Out correction), usata per compensare la diversa lunghezza dei percorsi delle onde riflesse dovuta semplicemente ad una diversa distanza tra punto di scoppio e geofoni.

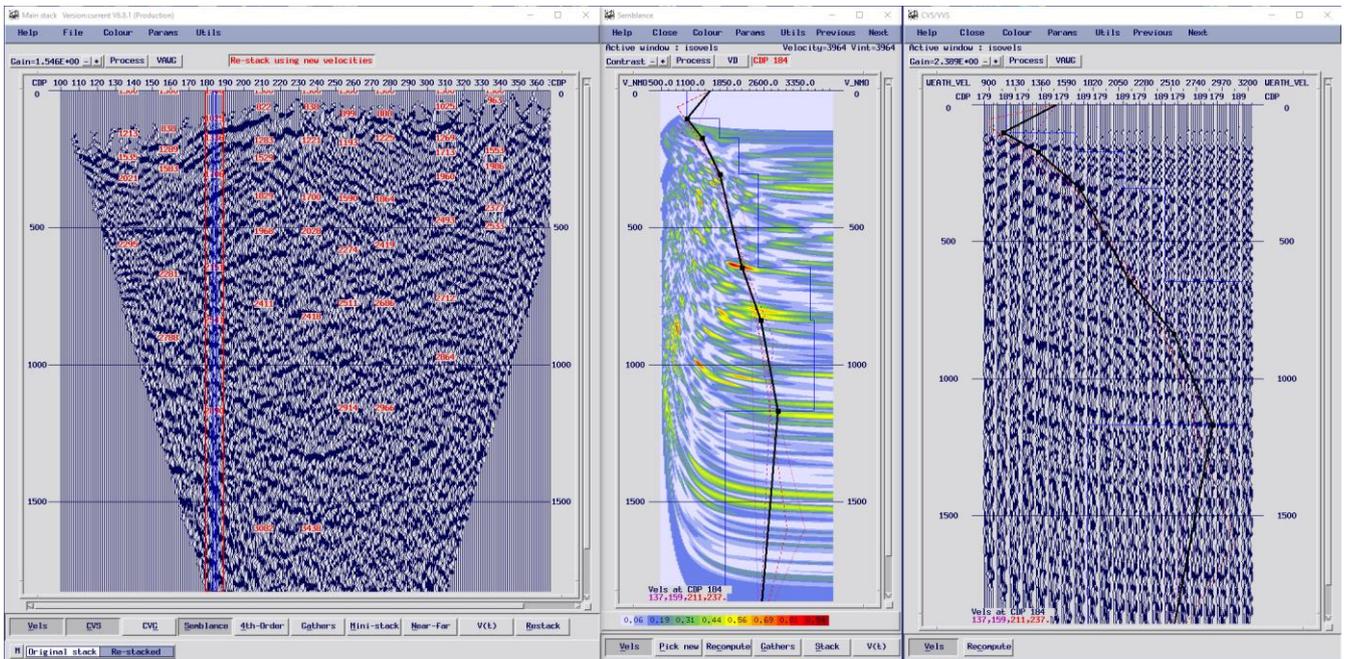
In questo modo la riflessione osservata nella scala dei tempi viene correlata ad un orizzonte particolare e resa indipendente dall'offset dei geofoni.

Solo dopo questa correzione le tracce CDP possono essere sommate tra loro per enfatizzare le riflessioni.

4) Infine, con il termine di filtraggio si definiscono tutte quelle operazioni che possono influenzare la frequenza, la fase e l'ampiezza della traccia sismica, prima o dopo lo stacking CMP o CDP (filtraggio in frequenza, compensazione di fase, deconvoluzione).

Nell'immagine sottostante vengono presentate alcune immagini del flow del processing utilizzato con Globe Claritas.





Sezione L1 - Clip del processing a riflessione mediante software Globe Claritas (Flow chart)

Sulla sismosezione sismica sono indicati alcuni dei principali orizzonti riflettenti definiti sulla base di un significativo fattore di coerenza laterale il quale è ricavato comparando sequenze laterali di picchi presenti nelle tracce sismiche (CMP – Common Mid Point) ed accoppiati da valori simili sia in ampiezza sia in frequenza.

Combinando i valori ottenuti attraverso l'analisi di coppie progressive di CMP o CDP viene ottenuta la coerenza laterale degli eventi riflessi che si differenziano nella qualità del segnale (fattore di coerenza laterale).

Tale distinzione risulta importante, soprattutto a livello interpretativo, in quanto tanto più elevato risulta il fattore di coerenza tanto più certo e definito si presenta il riflettore.

La non continuità laterale di questi eventi riflettenti, ed in particolare la traslazione lungo l'asse dei tempi, viene generalmente interpretata come attenuazione del segnale riflesso sull'orizzonte oppure presenza di pinch out o faglia se netta e ben definita (lineazioni tettoniche riportate in tratteggio rosso o magenta di sintesi interpretativa).

L'aspetto interpretativo consiste nella attribuzione dei pattern di riflessione a specifiche individualità geologico-strutturali dell'ammasso.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA BOVINO - ORSARA PROGETTO DEFINITIVO</p>					
<p>INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE PER LA CARATTERIZZAZIONE DELLA FORMAZIONE DI MONTE SIDONE</p>	<p>COMMESSA IF1W</p>	<p>LOTTO 00 D 69</p>	<p>CODIFICA IG</p>	<p>DOCUMENTO GE0005 005</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 25 di 32</p>

7. MODALITA' DI LETTURA ED INTERPRETAZIONE DEI DATI SISMICI

In sintesi vengono fornite le chiavi di lettura per l'interpretazione dei dati raccolti.

Per le specificità tecniche di ogni tipologia di prospezione si rimanda ai § 3.0 - Sismica tomografica, § 6.0 Sismica a riflessione.

7.1 Tomografia sismica a rifrazione

La tecnica sismica a rifrazione, in questo caso con processing tomografico, opera in conformità con la legge di Snell applicata all'ottica cioè i fronti d'onda o in maniera semplificata le traiettorie dell'irradiamento sismico sono soggette a percorrenze le cui geometrie sono funzione delle caratteristiche elastiche dei materiali.

Operando in un sistema ad elementi discreti, nel quale si particellizza il sottosuolo in un insieme di celle singole di analisi ed imponendo che in ognuna di queste avvenga il fenomeno della rifrazione parziale si ottiene un set di dati il cui andamento è funzione delle caratteristiche elastiche di ogni singola cella.

Il processing tomografico permette di risalire, dato il valore sperimentale totale, a quello relativo ad ogni cella il quale non sarà funzione di una singola traiettoria ma condizionato dall'intero set di traiettorie.

Sistemi sofisticati di analisi permettono inoltre di valutare i gradienti cioè rilevare i tratti dove i passaggi verticolaterali dei parametri assumono una maggiore "rapidità" tramite i quali è possibile condizionare l'inversione tomografica non verso una ineccepibile soluzione matematica con il minimo scarto ma verso una soluzione geologicamente attendibile determinata da una discretizzazione dell'ammasso per strati ed elementi omogenei dal punto di vista deformativo.

Ne consegue che una sezione sismica tomografica è sintetizzabile e semplificabile per elementi i quali presentano una discreta omogeneità nei parametri caratteristici (V_p , V_s , M_a ecc. ma nel caso in esame solo in V_p – Velocità delle onde di compressione).

Questa sintesi normalmente viene esplicitata tramite una omogeneità nel pattern di colori utilizzati permettendo una lettura ed interpretazione facilitata.

Oltre ai falsi colori con i quali sono rappresentate le sezioni è importante "leggere" anche i valori delle isolinee del parametro rappresentato in quanto questi forniscono il "metro" di lettura permettendo di qualificare i materiali definendone le caratteristiche di consistenza ed eventualmente la deformabilità.

E' importante "valutare" le interdistanze tra le varie isolinee e laddove queste sono molto ravvicinate (in valore) normalmente si è in presenza di una interfaccia di rigidità significativa

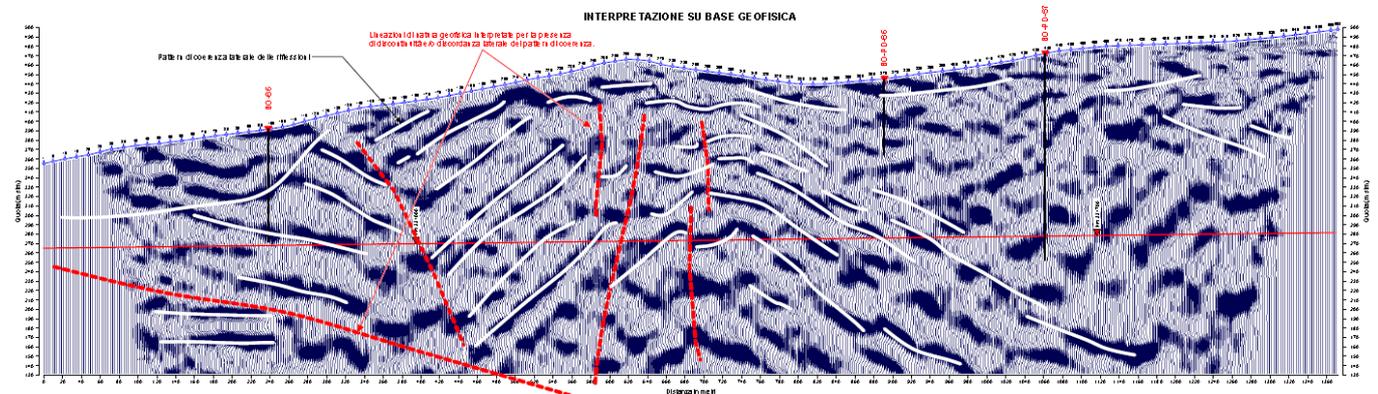
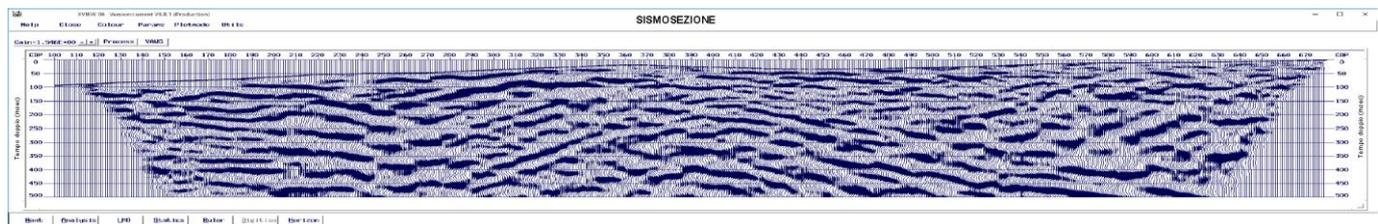
Per le finalità dell'indagine la presenza di una notevole omogeneità dei parametri di velocità indica una quasi isotropia dei materiali per cui in questi settori è molto probabile trovare litologie simili come granulometria.

E' da considerare anche l'errore della misura tomografica: il valore della velocità è derivato da un calcolo iterativo che tiene in considerazione tutto il dataset quindi tutte le traiettorie dei raggi e le "coperture", cioè la quantità di raggi per ogni singola cella di analisi ad elementi finiti. Il sistema di calcolo ottimizza lo scarto distribuendolo su tutte le celle e tendendo a ridurlo al minimo ma i "filtri" che vengono utilizzati per non rendere troppo "matematica" la soluzione ma anche "geologica" impongono che una parte di "errore" o deviazione rimanga proprio per rendere valida ed "interpretabile geologicamente" la rappresentazione con "contour line" e falsi colori. Come si può rilevare quindi nella fase interpretativa occorre aver ben presente che esiste una corretta modalità di lettura dei dati, chiaramente dettata dall'esperienza, ma anche da conoscenze della geologia locale.

7.2 Sismica a riflessione

Qui siamo in un campo diverso di analisi nel quale si valutano le coerenze laterali degli echi prodotti dalle riflessioni dei fronti d'onda sismici. Dal processing l'immagine finale primaria che si ricava è la sismosezione nella quale in ascissa sono le distanze ed in ordinata i tempi a due vie (andata e ritorno degli echi). E' questa la sezione primaria sulla quale valutare le coerenze laterali, le intensità dei riflettori ed altri elementi geometrici da cui ottenere informazioni per l'interpretazione.

Questa sezione però presenta la scala delle ordinate in tempi doppi (andata e ritorno) e pertanto deve essere trasformata in metri: questa conversione (Depth conversion) si ottiene utilizzando le velocità delle analisi dinamiche NMO (Normal Move Out) oppure parzialmente quelle della tomografia sismica. Una conversione corretta permette di posizionare nello spazio gli elementi significativi da cui estrapolare informazioni, ovviamente gli elementi con questa trasformazione tendono ad essere deformati e stirati per cui possono nascere alcune geometrie anomale ma per verificare la loro correttezza si torna sempre alla sismosezione.



Sezione 1 – sopra la sismosezione in tempi e sotto la sezione convertita in profondità con interpretazione dei pattern principali di riflessione.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA BOVINO - ORSARA PROGETTO DEFINITIVO</p>					
<p>INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE PER LA CARATTERIZZAZIONE DELLA FORMAZIONE DI MONTE SIDONE</p>	<p>COMMESSA IF1W</p>	<p>LOTTO 00 D 69</p>	<p>CODIFICA IG</p>	<p>DOCUMENTO GE0005 005</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 27 di 32</p>

Nell'immagine precedente è riportata sopra la sismosezione L1 e sotto la relativa Depth Conversion.

Nella sezione ibrida sono segnalati, a titolo esemplificativo, gli orizzonti che derivano dal processing sismico a riflessione: nell'immagine superiore l'immagine e con una scala delle ordinate in tempi mentre in quella sottostante, dopo la conversione in profondità, presenta una scala delle ordinate in metri.

Questi orizzonti sono i luoghi ove il coefficiente di riflessione, cioè il rapporto delle velocità e densità (formula al § 6.2) del mezzo superiore e inferiore, risulta significativamente elevato ($>>1$) permettendo che parte dell'energia sismica venga riflessa anziché trasmessa.

Tanto più questo coefficiente si discosta da 1, o in aumento o in riduzione, tanto maggiore sarà l'energia riflessa e più visibile risulterà sulla sezione sismica l'interfaccia.

Laddove sulle sezioni non si presentano riflessioni si è in presenza di una situazione sterile, di ammasso omogeneo, senza significativi passaggi il che non significa compatto ma tendenzialmente isotropo.

Ma se i segnali che derivano da questi settori sono di bassa intensità è immediato pensare di essere in presenza ad elevato assorbimento quindi fratturazione ed eventualmente carsismo diffuso (anche se non è questa la situazione locale).

Questo porta ad una riduzione dell'energia trasmessa per assorbimento e come conseguenza limite si ha una minore profondità d'indagine.

Analogamente se si è in presenza di riflettori ad elevato coefficiente di riflessione sui quali la maggior parte dell'energia viene riflessa, si riduce la profondità massima d'indagine.

In entrambi i casi si tende ad intervenire, dopo i primi test, incrementando se possibile, la quantità di energia immessa per lo shot.

Dall'analisi delle riflessioni si ricavano dei "pattern" cioè elementi rappresentati da linee che uniscono i vari eventi riflessi omologhi: la valutazione della coerenza laterale (continuità) di questi eventi fornisce un indice sul grado di omogeneità strutturale.

Ridotta coerenza laterale, elevata entropia e "nervosismo" degli echi, settori a ridotta intensità come anche la variazione delle frequenze del segnale riflesso sono indici qualitativi della fratturazione.

Una volta raccolti tutti questi elementi, evitando di fermarsi al particolare, si tende a sintetizzarli e correlarli alla geologia ed alla tettonica locale in quanto sono queste le informazioni primarie più significative ottenibili da una sezione sismica a riflessione.

8. RISULTANZE

Il programma di indagine geofisica è stato finalizzato alla caratterizzazione geofisica dei terreni interessati dall'opera di realizzazione in galleria del tratto Bovino Orsara sulla linea Bari Napoli dalla progressiva 32+600 alla progressiva 33+900.

A questo scopo è stata eseguita una indagine geofisica con sismica ibrida in quanto permette, nello stesso momento, di ottenere dati per una elaborazione di sismica a riflessione e per una elaborazione tomografica.

Con la prima si hanno principalmente per questo caso, informazioni di tipo geometrico come l'andamento dei contatti litostratigrafici e delle eventuali strutture tettoniche con la tomografia si ottengono parametri sismici, Vs e G° in particolare, necessari in qualsiasi modellazione numerica per l'analisi della risposta sismica.

Osservando le risultanze dell'indagine geofisica, in particolare la sezione tomografica ad onde di compressione, si può notare che è presente, tralasciando la fascia corticale con velocità delle onde di compressione inferiore a 1.5 Km/sec presente su tutta la sezione con spessori più o meno uniformi (generalmente inferiori a 20 metri), una differenziazione in termini di velocità delle onde di compressione ben visibili con due cromatismi differenziati uno sui toni giallo verdi (per velocità comprese fra 1.5 e 2.0 km/sec) e uno su toni cromatici da azzurro a blu intenso (velocità delle onde di compressione comprese fra 2.0 e 3.0 Km/sec).

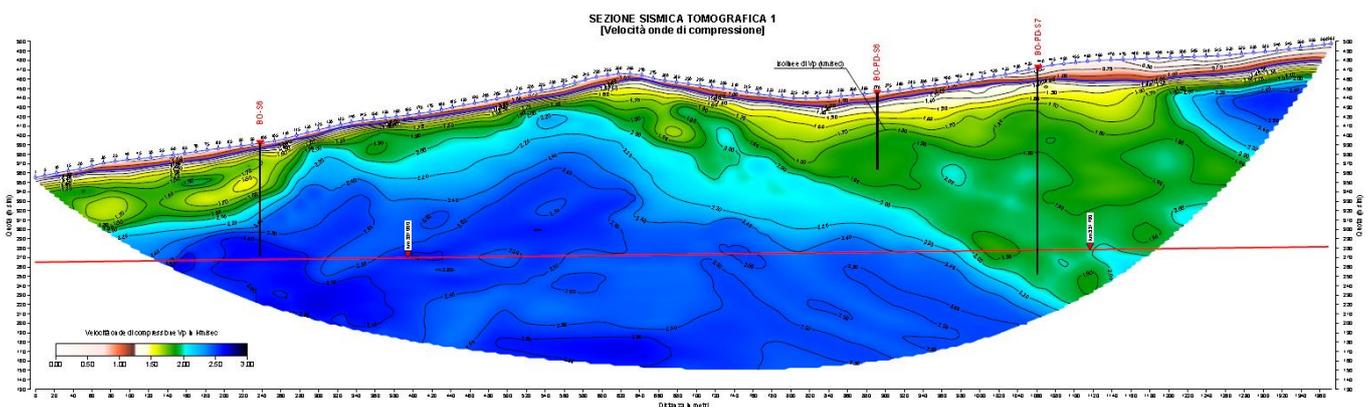


Figura 1 - Sezione in velocità delle onde di compressione

Questa constatazione è estremamente importante per procedere ad una corretta interpretazione dei dati in correlazione con i rilievi ed i modelli geologici.

Infatti è importante considerare che i parametri mediamente inferiori, cioè quelli inferiori a $V_p < 2.20$ km/sec, localizzati fondamentalmente nella zona est (inizio sezione) e nella fascia "omogenea" immergente verso ovest (destra sezione), mostrano una notevole omogeneità e minime oscillazioni e possono configurarsi con litotipi specifici differenti da quelli, visualizzati principalmente per $V_p > 2.2$ km/sec, in azzurro-blu, i quali si presentano geometricamente con una forma anticlinale.

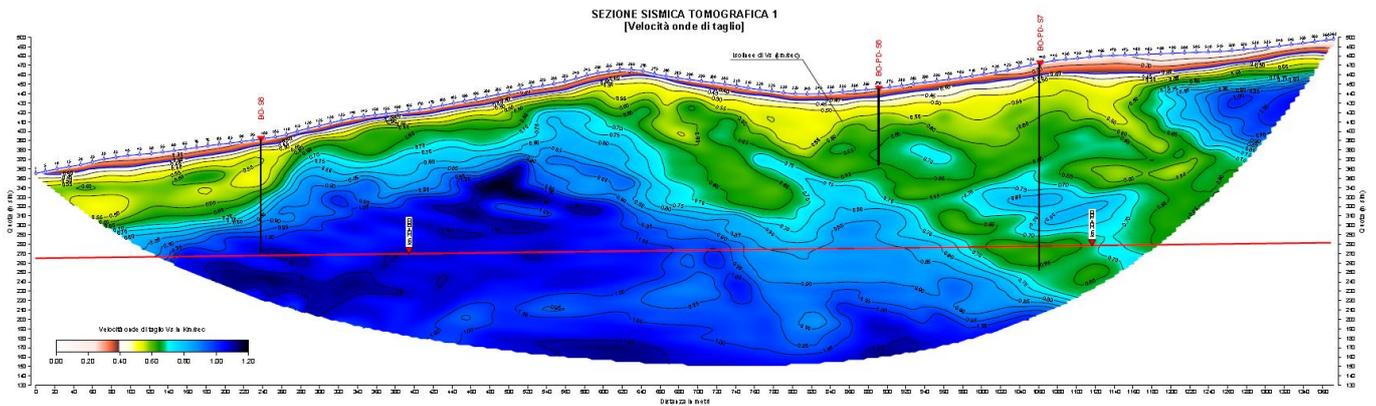


Figura 2 - Sezione in velocità delle onde di taglio

Lo stesso andamento strutturale e geometrie si ritrovano nella sezione tomografica ad onde di taglio come anche, ovviamente, nelle sezioni dove sono riportati i parametri elastici E° e G° .

Osservando la Sezione Sismica Ibrida sulla quale sono stati riportati anche i cromatismi derivanti dalla sezione sismica tomografica ad onde di compressione, è possibile notare l'ottima corrispondenza tra i pattern di coerenza dei riflettori della sezione a riflessione ed i passaggi cromatici della sezione tomografica.

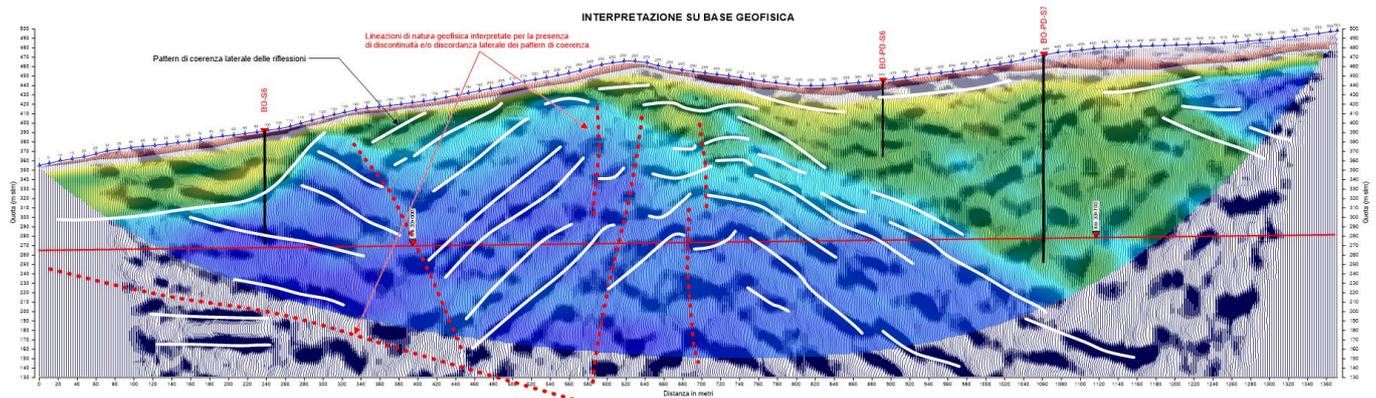


Figura 3 - Sezione sismica ibrida

Nell'elaborato con progressiva 011 è riportata la sezione parametrica del tratto investigato della galleria Orsara: è ripresa la sezione in V_s con sovrapposto il gradiente delle velocità che permette di individuare meglio (fasce arancio) i luoghi dove è più elevato il gradiente della velocità e cioè quelli dove il passaggio dei parametri di elasticità sono più significativi.

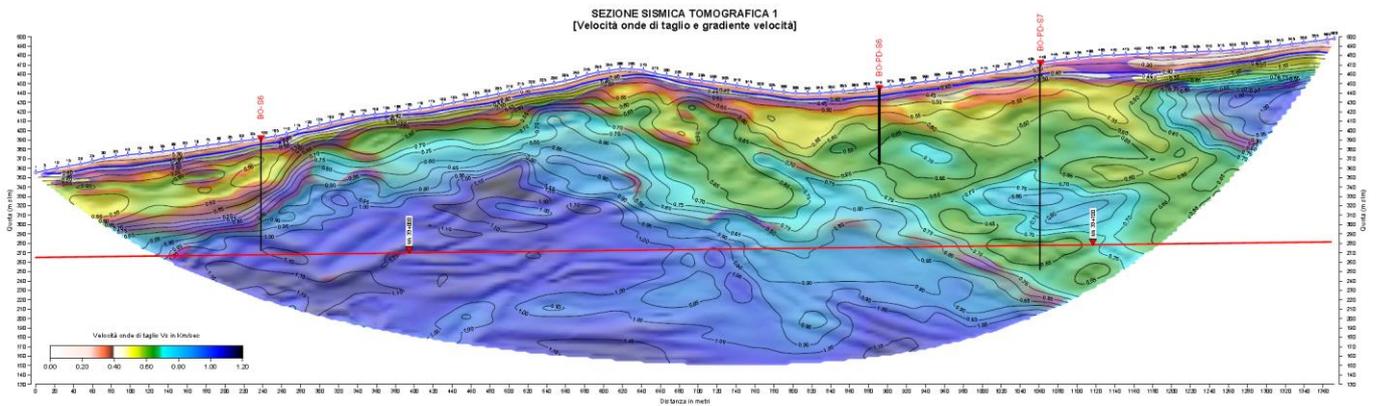
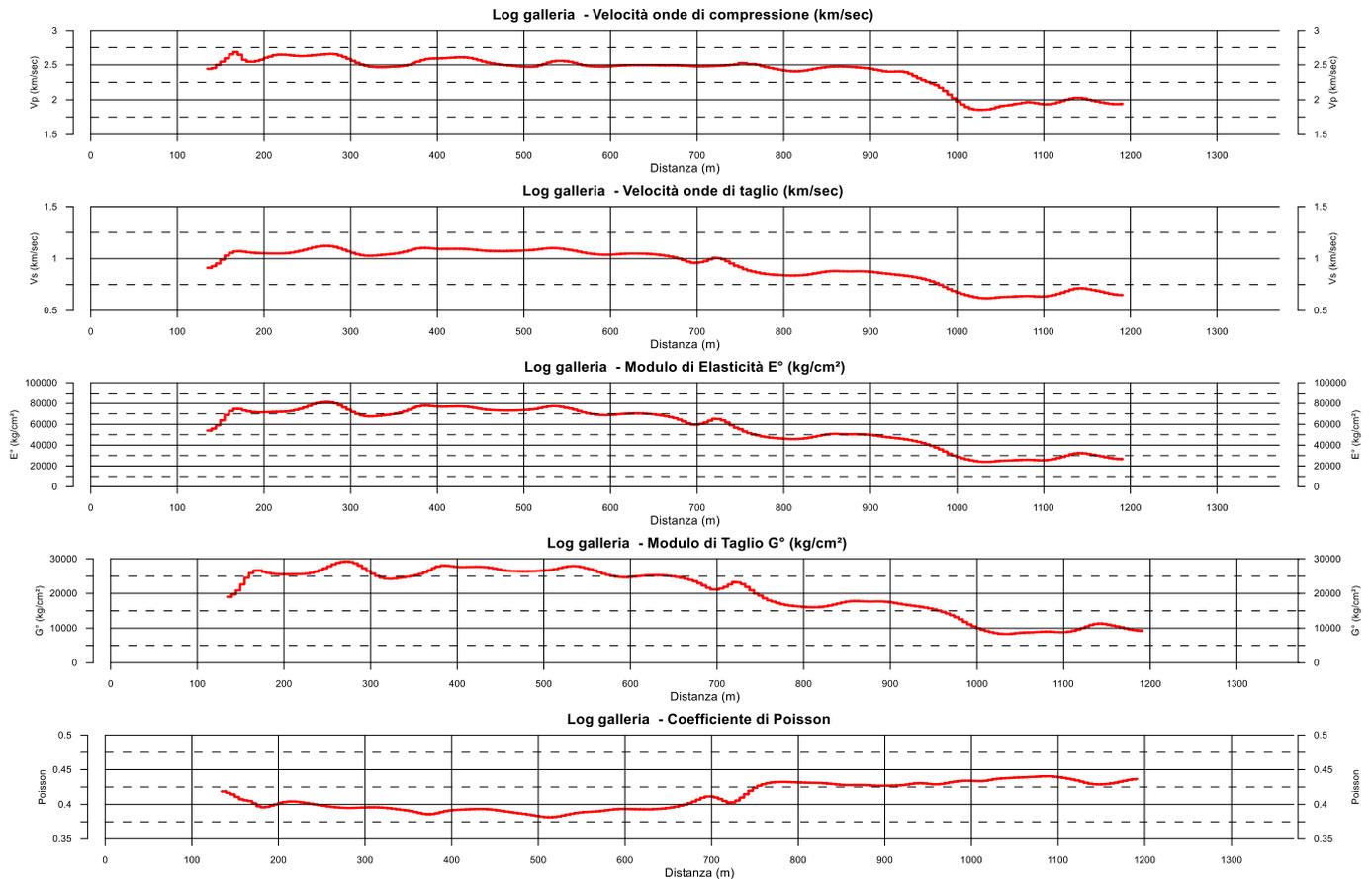


Figura 4 - Sezione sismica in Vs con sovrapposto il gradiente della velocità

Sottostante alla sezione sono riportati i log dei valori a livello della quota di progetto di V_p , V_s , E^o , G^o e coefficiente di Poisson sia come grafico per istogrammi che in tabella numerica.



Da un punto di vista geofisico l'ammasso può essere analizzato sulla base dei valori di velocità. In particolare dalle analisi di velocità e dei gradienti geofisici si rileva che valori in Vp inferiori a 1.20 km/sec e Vs inferiori a 0.40 km/sec possono far riferimento ai materiali della copertura detritica ed ai suoli mentre per valori superiori si passa entro la formazione lapidea locale. L'analisi dei dati permette inoltre di rilevare una possibile primaria differenziazione di rigidità per valori di Vp di ~ 2.00 km/sec. Questo limite differenzia la rigidità della fascia immergente verso ovest (in verde) e ad est del sondaggio BO-S6 dal nucleo più rigido dell'ammasso, in blu, dove i valori in Vp possono giungere fino ad oltre 2.60 km/sec.

Nel sito sono presenti pertanto 3 unità di rigidità i cui limiti, seppur incerti e con variabilità locale, vengono così definiti:

Unità 1	Vp < 1.2 km/sec	Vs < 0.40 km/sec
Unità 2	Vp tra 1.20 e 2.0 km/sec	Vs tra 0.40 e 0.70 km/sec
Unità 3	Vp > 2.00 km/sec	Vs > 0.70 km/sec

E' interessante inoltre segnalare che nell'unità geofisica 2, tralasciando l'unità 1 che fa riferimento ad una coltre superficiale, i valori del coefficiente di Poisson risultano mediamente maggiori di 0.44 indicando una maggiore deformabilità dei materiali di quelli dell'unità 3 nella quale il coefficiente di poisson appare mediamente inferiore a 0.43.

Sulla base di questa distinzione in unità geofisiche sono state effettuate analisi statistiche delle unità 2 e 3:

Unità 2	Vp	Vs	v	γ	Edin	Gdin	Kdin
	km/sec	km/sec		t/m ³	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²
Minimo	1.20	0.36	0.381	1.921	7481	2580	23618
Media	1.79	0.61	0.434	2.183	24358	8508	61019
Mediana	1.86	0.62	0.437	2.198	25039	8697	65270
Massimo	2.00	0.83	0.455	2.360	45570	16450	77915
Deviazione	0.19	0.08	0.011	0.076	7051	2523	13022

Unità 3	Vp	Vs	v	γ	Edin	Gdin	Kdin
	km/sec	km/sec		t/m ³	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²
Minimo	2.00	0.61	0.341	2.184	23802	8203	74942
Media	2.42	0.94	0.411	2.430	63182	22477	116128
Mediana	2.48	0.97	0.410	2.453	65834	23334	121374
Massimo	2.70	1.19	0.452	2.583	100221	37164	146623
Deviazione	0.17	0.14	0.019	0.092	18405	6783	16429

In rosso sono evidenziati i parametri mediani che possono considerarsi quelli caratteristici delle unità rilevate.

Nelle fig. 1, 2, 3 e 4 sono riportati i certificati della prova Down Hole effettuata sul sondaggio BO-PD-6 i cui dati sono di buona qualità fino alla massima profondità acquisita di 76 m come si può rilevare dalla fig 1 dove è riportato il gather dei sismogrammi acquisiti puntualmente metro per metro.

In questa figura vengono presentate associate, corrette ed elaborate sia quelle relative agli impulsi di compressione (primo a sinistra) che quelle di taglio (centrale per il canale orizzontale H1) ed associate (a destra nei canali orizzontali H1 e H2).

Dall'analisi di questi sismogrammi si è poi proceduto alla determinazione delle velocità (vedasi § 4) i cui dati sono riportati nella tabella di fig. 2 e nei logs delle figure 3 e 4.

Nella figura 3 è stato aggiunto, per utilità del progettista, la colonna dei valori di pocket penetrometer effettuati sui testimoni di perforazione del sondaggio.

Questo sondaggio è localizzato entro l'unità geofisica 2, immergente verso ovest (destra sezione), la quale si presenta discretamente omogenea nei parametri elastici come anche si rileva dalle misure Down Hole, con parametri leggermente crescenti che incrementano con la profondità e che sono del medesimo ordine di grandezza di quelli determinati dalla sismica tomografica effettuata dalla superficie.

COMMITTENTE
DOWN HOLE
 Località - Progetto
 Data acquisizione

ITALFERR S.p.A.
BO-PD-6
Linea Fs Napoli-Bari - Ponte Bovino - galleria Orsara
27 novembre 2018

SISMOGRAMMI
 Misura eseguita con sonda 3d costituita da due gruppi di sensori, con orientamento tridirezionale, a distanza di 1 m
Distanza bocca foro_shot = 13.00 m -Delta H = 2.7 m

Sulla medesima immagine sono riportati i sismogrammi relativi ai sensori verticali per le onde di compressione e orizzontali per le onde di taglio, posti ad una interdistanza di 1 m.

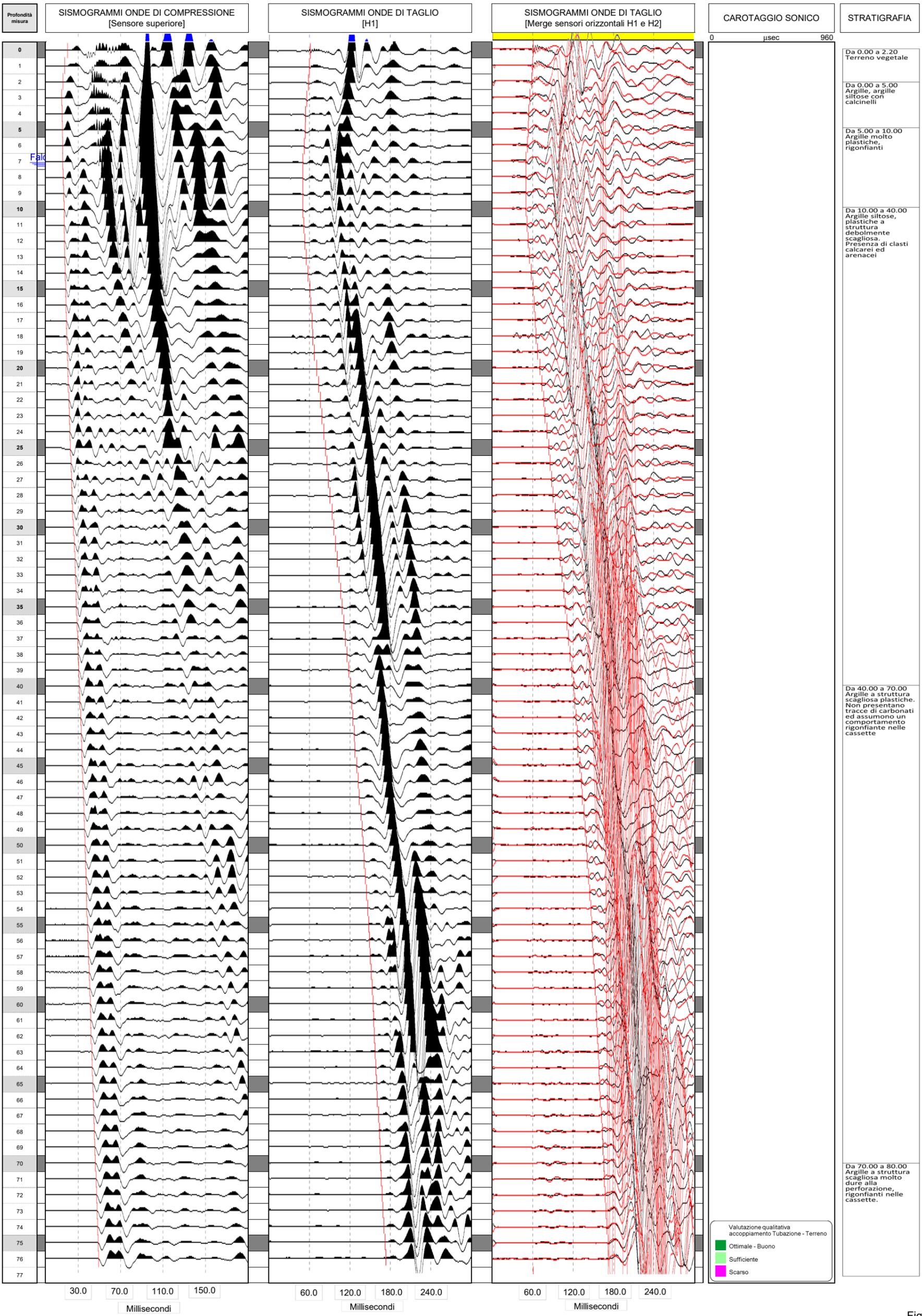


Fig. 1

COMMITTENTE
DOWN HOLE
Località
Data acquisizione

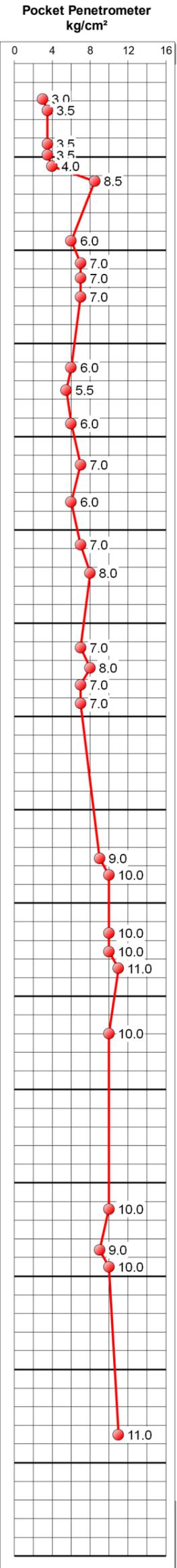
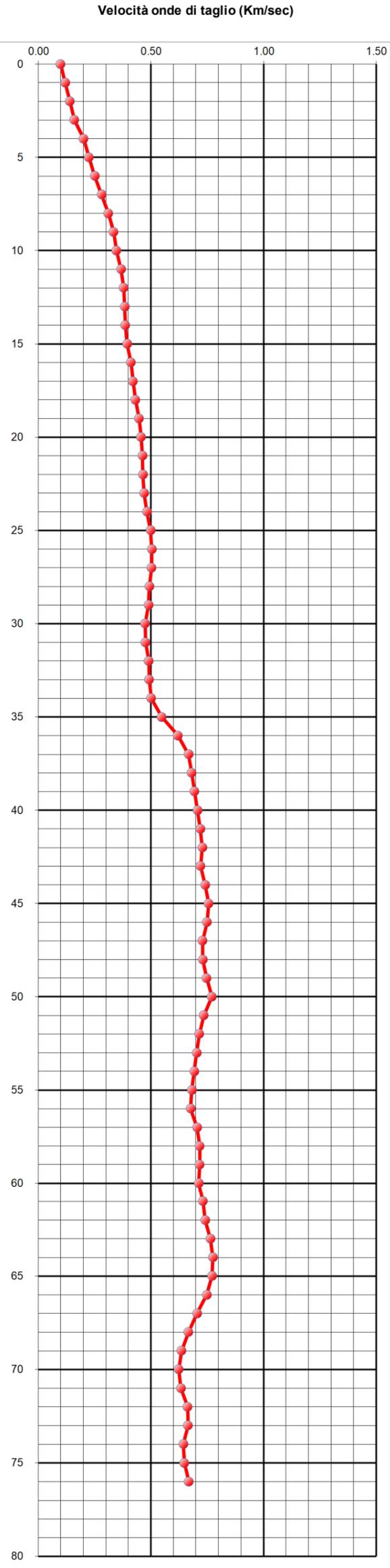
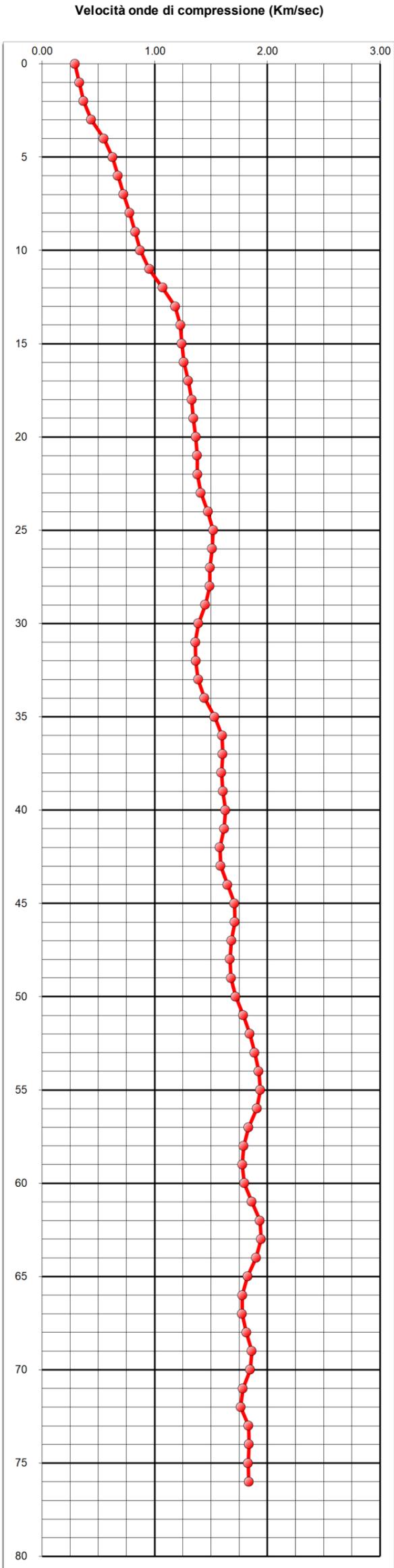
ITALFERR S.p.A.
BO-PD-6
Linea Fs Napoli-Bari - Ponte Bovino - galleria Orsara
27 novembre 2018

LOG DEI PARAMETRI ELASTICI
LOG Vp e Vs Modalità
di acquisizione Progressiva
stanza bocca foro_shot = 13.00 m -Delta H = 2.7



Stratigrafia sintetica

Profondità misura
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80



Da 0.00 a 2.20	Terreno vegetale
Da 0.00 a 5.00	Argille, argille siltose con calcinelli
Da 5.00 a 10.00	Argille molto plastiche, rigonfianti
Da 10.00 a 40.00	Argille siltose, plastiche a struttura debolmente scagliosa. Presenza di clasti calcarei ed arenacei
Da 40.00 a 70.00	Argille a struttura scagliosa plastiche. Non presentano tracce di carbonati ed assumono un comportamento rigonfiante nelle cassette
Da 70.00 a 80.00	Argille a struttura scagliosa molto dure alla perforazione, rigonfianti nelle cassette.

Fig. 3

COMMITTENTE
DOWN HOLE
Località
Data acquisizione

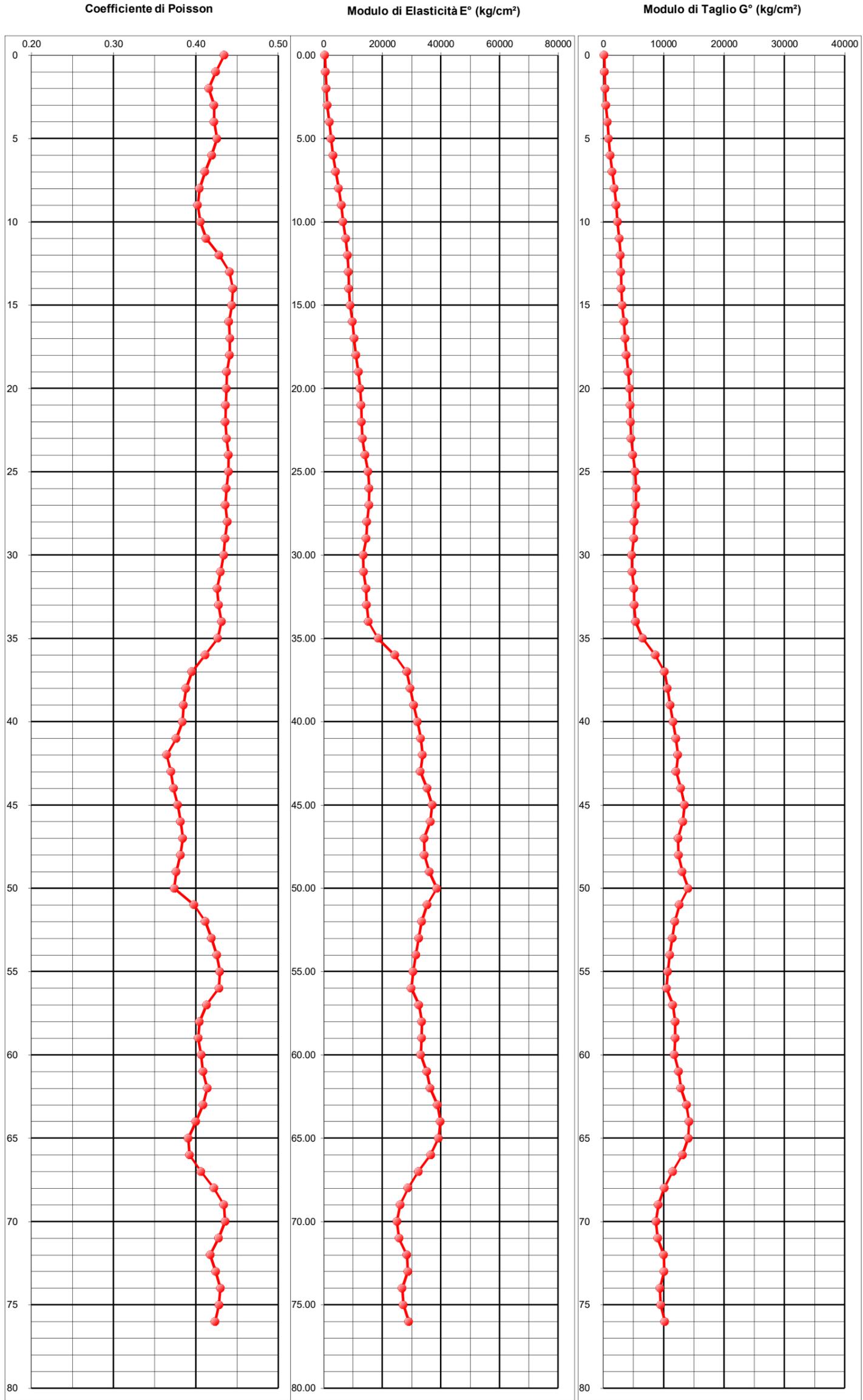
ITAFERR S.p.A.
BO-PD-6
Linea Fs Napoli-Bari - Ponte Bovino - galleria Orsara
27 novembre 2018

LOG DEI PARAMETRI ELASTICI
LOG Poisson, E°, G°
Modalità di acquisizione Progressiva
stanza bocca foro_shot = 13.00 m -Delta H = 2.7



Stratigrafia sintetica

Profondità misura
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80



Da 0.00 a 2.20 Terreno vegetale
Da 0.00 a 5.00 Argille, argille siltose con calcinelli
Da 5.00 a 10.00 Argille molto plastiche, rigonfianti
Da 10.00 a 40.00 Argille siltose, plastiche a struttura debolmente scagliosa. Presenza di clasti calcarei ed arenacei
Da 40.00 a 70.00 Argille a struttura scagliosa plastiche. Non presentano tracce di carbonati ed assumono un comportamento rigonfiante nelle cassette
Da 70.00 a 80.00 Argille a struttura scagliosa molto dure alla perforazione, rigonfianti nelle cassette.

Fig. 4