CONVENZIONE DEL 14 SETTEMBRE 2009 TRA REGIONE LIGURIA E INFRASTRUTTURE LIGURIA S.R.L. PER LA REALIZZAZIONE DI ATTIVITA' PER L'ATTUAZIONE DEL PROGRAMMA DI STUDI E PROGETTAZIONI RELATIVO AD INFRASTRUTTURE STRATEGICHE



Rev.	Descrizione	Data	Redatto	Verificato	Approvato
D					
C					
B					
A	EMISSIONE	22 Aprile 2010	M.Scheggi	A.M.Baldi - M.Scheggi	A.M.Baldi

COMMITTENTE :

Archivio n° **3810**

Commessa n° **R200**

LOCALITA': **Noli - Provincia di Savona**

INDAGINE: **VARIANTE DI TRACCIATO ALLA S.P. 1 AURELIA - CAPO NOLI**
PROSPEZIONE SISMICA

OGGETTO:

RAPPORTO TECNICO

3 8 1 0 S G G 2 0 A — data 22 Aprr 2010

nome file :3810SGG20A.doc

N° Copie	N° Pagine	Formato
		A4 ■ A3 □

IL TECNICO: Dott. Geol. Antonio Maria Baldi

STUDIO DI GEOLOGIA E GEOFISICA S.r.l.
STRADA MASSETANA ROMANA , 56 – SIENA – ITALY –
Tel. +39 0577 49276 – Fax +39 0577 287254 – e.mail: info@sgg.it

CONTROLLO QUALITA'
data–sigla

Tutti i diritti sono riservati.
La riproduzione e la divulgazione a terzi e' vietata.

INDICE

1	**- INTRODUZIONE**	Pag.	4
2	**- FINALITÀ DELLA PROSPEZIONE**	Pag.	5
3	**- PROSPEZIONI ESEGUITE**		
3.1	- Tempistica	Pag.	6
3.2	- Indagini eseguite	Pag.	6
4	**- PERSONALE E STRUMENTAZIONI IMPIEGATE**		
4.1	- Strumentazioni ed attrezzature impiegate	Pag.	8
4.2	- Automezzi	Pag.	9
4.3	- Risorse coinvolte	Pag.	9
4.4	- Software utilizzati	Pag.	10
5	**- SICUREZZA E "QUALITÀ "**	Pag.	11
6	**- METODOLOGIE ESECUTIVE DEI RILIEVI**		
6.1	- Operazioni preliminari	Pag.	12
6.3	- Rilievo sismico a riflessione	Pag.	12
6.5	- Profili sismici a rifrazione con metodo tomografico	Pag.	13
7	**- METODOLOGIA INTERPRETATIVA**		
7.1	- Profili sismici a riflessione	Pag.	15
7.2	- Profili sismici a rifrazione con metodologia tomografica	Pag.	19
8	**- ANALISI DEI RISULTATI**		
8.1	- Sismica a riflessione	Pag.	21
8.2	- Sismica a rifrazione	Pag.	24
8.3	- Profili sismici di superficie interpretati con tecnica tomografica	Pag.	26

ELENCO ELABORATI :

N°Tavola	Contenuto	Scala
3810SGG01	Planimetria ubicativa delle indagini eseguite	1: 2.000
3810SGG02	Profili sismici rifrazione P1 – P2	1: 1.000
3810SGG03	Profili sismici rifrazione P3 – P4	1:1.000
3810SGG04	Profili sismici rifrazione P5 – P6 – P7 – P8 – P9	1: 500
3810SGG05	Profilo sismico a riflessione P1	1: 1.000
3810SGG06	Profilo sismico a riflessione P2	1: 1.000
3810SGG07	Profilo sismico a riflessione P3	1: 1.000
3810SGG08	Profilo sismico a riflessione P4	1: 1.000

1 - INTRODUZIONE

Nel presente rapporto vengono illustrati i risultati dell'indagine sismica eseguita per conto delle *INFRASTRUTTURE LIGURIA s.r.l*. nell'ambito del "Progetto di variante di tracciato alla S.P. 1 Aurelia in località Capo Noli (Provincia di Savona).

L'indagine sismica è stata eseguita allo scopo precipuo di ricostruire l'assetto geologico del sottosuolo nella zona sovrastante il futuro tracciato della costruenda galleria.

Il presente rapporto illustra le metodologie esecutive ed interpretative delle misure sismiche, ed i risultati della prospezione secondo un criterio essenzialmente geofisico.

2 - FINALITÀ DELLA PROSPEZIONE

Le finalità della prospezione sismica così possono essere sinteticamente riassunte:

RILIEVO SISMICO A RIFLESSIONE

- *Ricostruzione dell'assetto geologico e tettonico del sottosuolo;*

PROFILI SISMICI A RIFRAZIONE

- *Ricostruzione dell'assetto geologico e stratigrafico della porzione più superficiale del sottosuolo;*

- *Definire la velocità sismica (onde P) dei vari terreni e rocce presenti nel sottosuolo.*

3 – PROSPEZIONI ESEGUITE

3.1 - Tempistica

In relazione al programma d'indagine, le operazioni di campagna si sono svolte sostanzialmente secondo la seguente cronologia:

dal	*al*	**Profili sismici a riflessione**
22-03-2010	*24-03-2010*	Posizionamento profili, disboscamento e decespugliamento delle basi
29-03-1010	*07-04-2010*	Acquisizione dei dati sperimentali

3.2 - Indagini eseguite

L'indagine eseguita ha avuto la seguente consistenza:

Profili sismici a rifrazione	Lunghezza totale ml	Interdistanza geofonica ml	N°scoppi
P5	115	5	9
P6	115	5	9
P7	115	5	9
P8	115	5	9
P9	141	3	17

Complessivamente sono stati eseguiti 600 ml di profili sismici a rifrazione

Successivamente sono stati eseguiti n° 4 profili a riflessione ibridi (acquisizione anche a rifrazione) con le seguenti consistenze:

Profili sismici ibridi	Lunghezza totale ml	Profilo composto da n°geofoni attivi	n°scoppi
P1	475	96	37
P2	355	72	33
P3	235	48	25
P4	355	72	34

Complessivamente sono stati eseguiti 1.420 ml di profili sismici ibridi



- Intersezione P4-P3



- Punto di scoppio 37 Profilo P1



- Punto di scoppio 4 Profilo P2



- Punto di scoppio 29 Profilo P4

4 - PERSONALE E STRUMENTAZIONI IMPIEGATE

4.1 - Strumentazioni ed attrezzature impiegate

Per l'esecuzione delle misure sperimentali sono state utilizzate le seguenti strumentazione ed attrezzature:

n°	**Strumentazione per i rilievi topografici**
1	Sistema GPS a doppia antenna – ASHTECH
	Materiale d'uso vario

n°	**Strumentazione per la sismica a riflessione e rifrazione**	COD. IDENT.
4	Sismografi GEOMETRICS "GEODE" 24 ch - 24 bit EG&G GEOMETRICS - USA	SGG-SI-52 SGG-SI-53 SGG-SI-47 SGG-SI-56
1	Computer portatile Toshiba per registrazione dei dati di campagna;	
96	Stringhe di geofoni con 4 geofoni cadauna e frequenza pari a 28 Hz	SGG-SI-03
96	Geofoni con frequenza pari a 14 Hz	SGG-SI-02
4	Cavi di collegamento per geofoni con 24 prese intervallate ogni 5 metri	SGG-SI-39h SGG-SI-39i SGG-SI-39l SGG-SI-39m
3	Prolunghe per collegamento geode	SGG-SI-39g
1	Massa battente leggera (6 Kg)	
1	Massa battente pesante (30 Kg)	
1	Fucile sismico	
	Linea per trasmissione "trigger"	
	Cavi multipolari di raccordo	
4	Ricetrasmittenti VHF	

Tutti gli strumenti di misura impiegati, in accordo con il calendario di taratura afferente al “sistema di qualità” in uso presso questo studio, sono tarati presso il LABORATORIO CETACE di Calenzano, afferente alla CESVIT S.p.A. ed accreditato SIT (Servizio di Taratura in Italia).

4.2 - Automezzi

- Fuoristrada Nissan pick-up;

4.3 - Risorse coinvolte

Per l’esecuzione dell’incarico, sono state coinvolte le seguenti risorse:

COORDINAMENTO GENERALE E PROBLEMATICHE COMUNI :

• Responsabile dell’incarico	ANTONIO MARIA BALDI
• Responsabile sicurezza	MASSIMO SCHEGGI
• Responsabile Assicurazione Qualità per la prospezione	ANTONIO MARIA BALDI

ACQUISIZIONE DATI SISMICI

• Responsabile della prospezione sismica	MASSIMO SCHEGGI
• Progettazione rilievo a riflessione	FRANCESCO BIANCHI
• Progettazione rilievo a rifrazione	ANTONIO MARIA BALDI

INTERPRETAZIONE SISMICA A RIFLESSIONE

• Interpretazione rilievo sismico a riflessione	FRANCESCO BIANCHI
• Editing	ANANDA NELLI MASSIMO SCHEGGI

INTERPRETAZIONE SISMICA A RIFRAZIONE

• Interpretazione rilievo sismico a rifrazione	MASSIMO SCHEGGI
• Editing	ANANDA NELLI MASSIMO SCHEGGI

ELABORAZIONE COMPLESSIVA

- Responsabile dell'interpretazione e verifica dei dati — ANTONIO MARIA BALDI
- Gruppo di elaborazione — MASSIMO SCHEGGI, FRANCESCO BIANCHI, ANANDA NELLI
- Editing — ANANDA NELLI, MASSIMO SCHEGGI

4.4 - Software utilizzati

Software per interpretazione dati sismici		
Multiple Geode Software	GEOMETRICS – USA	Sistema di gestione del sismografo GEODE, acquisizione e registrazione dei dati sismici
Vista 1.1	GEDCO - USA	Sismica a riflessione
SeisOptPro v 5.0	Optim Software – USA	Sismica a rifrazione tomografica
SeisOptPicker	Optim Software – USA	Lettura tempi rifrazione
Software per editing		
Word 2003	Microsoft	Editor di testi
Excel 2003	Microsoft	Foglio di calcolo
Surfer 8	Golden Software	Campiture, curve di livello,
Grapher	Golden Software	Costruzione grafici
Autocad 2010	Autodesk	Editing disegni
Corel Draw 9	Corel	Editing disegni

5 - SICUREZZA E “QUALITÀ”

I lavori sono stati eseguiti in conformità al contratto e nello specifico, sono stati prodotti i relativi documenti.

SICUREZZA DEL CANTIERE GEOFISICO

Preliminarmente all’inizio dei lavori per la prospezione geofisica gli operatori sono stati formati ed informati sui rischi della commessa in base a quanto previsto dal D.L. 9 Aprile 2008 n°81 e s.m.

SISTEMA QUALITÀ

In relazione alle “procedure di qualità” la prospezione geofisica è stata eseguita in riferimento alle specifiche SP0302 – SP0901 e all’istruzione IS09001

Per la registrazione delle varie attività sono stati utilizzati i moduli del sistema qualità in uso presso questo studio.

6 - METODOLOGIA ESECUTIVA DEI RILIEVI

6.1 – Operazioni preliminari

La prima fase, preliminarmente all'esecuzione dei profili sismici ha previsto il tracciamento delle linee con sistemi di posizionamento a terra (Sistema a doppia antenna – ASHTECH), con restituzione delle coordinate dei profili nel sistema geografico di riferimento UTM.

Successivamente si è provveduto al disboscamento e al decespugliamento lungo le direttici individuate e sono stati identificati sul terreno sia i punti di energizzazione che le posizioni geofoniche di ogni singolo profilo.

6.2 - Rilievo sismico a riflessione

Il rilievo sismico a riflessione è consistito nell'acquisizione di n°4 profili la cui disposizione è riportata in tavola 3810SGG01. Nello specifico le principali caratteristiche del rilievo sono state le seguenti:

- *Gruppi di geofoni attivi simultaneamente: n°48-72 -96*
- *Gruppi composti da 4 geofoni in serie;*
- *N°max di geofoni utilizzati 384;*
- *Spaziatura tra i gruppi di geofoni: 5 metri;*
- *Spaziatura dei tiri : 15 metri;*
- *Sorgente sismica:massa battente pesante, fucile sismico;*
- *Campionamento: 0.25 ms;*
- *Finestra registrazione: 1 sec .*

6.3 - *Profili sismici a rifrazione con metodo tomografico*

Come definito dalla Committenza, oltre all'esecuzione dei profili P5-P6-P7-P8 e P9 con metodologia a rifrazione, i profili a riflessione precedentemente descritti, sono stati acquisiti anche a riflessione e successivamente elaborati con tecnica tomografica. Su questi profili il rilievo a rifrazione ha utilizzato le stesse basi disposte per il rilievo a riflessione disponendo solo la sostituzione dei geofoni sullo stesso allineamento dei cavi e procedendo successivamente all'acquisizione del segnale. Nello specifico le caratteristiche del rilievo a rifrazione sono state le seguenti:

Profili solo a rifrazione

- *Profili sismici acquisiti con 24-48 geofoni attivi;*
- *Spaziatura dei geofoni: 5 metri;*
- *Spaziatura dei tiri: 15 metri ;*
- *Minimo ricoprimento 24 tracce;*
- *Sorgente sismica : massa battente leggera, fucile sismico.*

Profili ibridi

- *Profili sismici acquisiti con 48-72-96 geofoni attivi;*
- *Spaziatura dei geofoni: 5 metri;*
- *Spaziatura dei tiri: 15 metri ;*
- *Minimo ricoprimento 48 tracce*
- *Sorgente sismica : massa battente pesante, fucile sismico.*

Dalla superficie sono state generate delle onde sismiche compressionali, in maniera tale da misurare il tempo occorrente all'onda sismica per raggiungere il geofono.

I tempi di transito sono legate alle caratteristiche meccaniche dalle rocce tanto più una roccia è tenace e maggiore risulterà la velocità sismica del litotipo interessato dal passaggio dell'onda sismica.

La propagazione delle onde sismiche attraverso i diversi strati del terreno è basata sulla teoria dell'elasticità; le rocce attraverso cui si propaga l'energia sono considerate come mezzi perfettamente elastici. Quindi da un punto di vista teorico la propagazione delle onde sismiche può essere associato alla propagazione delle onde attraverso un mezzo secondo le leggi dell'ottica. Il principio fondamentale è quello di Huygens, secondo il quale la propagazione avviene per fronti d'onda. Quando un fronte d'onda, in questo caso sismica, incontra una variazione delle proprietà elastiche del mezzo (diverso strato del sottosuolo) e siamo quindi in corrispondenza di una superficie di discontinuità, parte dell'onda viene riflessa e parte viene rifratta nello strato sottostante. Tali raggi vengono rifratti e riflessi con angoli che sono legati all'angolo di incidenza e alla diversa tenacia dei due mezzi tali valori e geometrie sono regolati dalla legge di Snell.

Secondo questi concetti e facendo dei semplici calcoli si deduce che con la sismica a rifrazione non vengono evidenziati strati di terreno meno tenaci quindi con velocità sismica più bassa che si trovano compresi tra strati di terreno più tenaci e quindi con velocità sismica maggiore.

7 – METODOLOGIA INTERPRETATIVA

7.1 - Profili sismici a riflessione

La sequenza di elaborazione utilizza le operazioni previste dalle specifiche tecniche concordate con la Committenza. In particolare sono state eseguite le correzioni statiche legate alle caratteristiche di spessore e velocità dello strato aerato ("piccole statiche"), ma si è anche proceduto a riportare i dati ad un livello ("riduzione al *datum*") di riferimento. Inoltre il filtro FK è stato utilizzato con molta parsimonia, dal momento che disturbi coerenti, come le onde superficiali ("*ground-roll*"), erano già stati attenuati dal tipo di energizzazione e di stendimento utilizzati.

E' normale procedura comunque scegliere la sequenza di processing in funzione delle caratteristiche dei dati acquisiti ed in funzione degli elementi che si intende evidenziare.

La normale sequenza di elaborazione dati si divide in tre fasi:

1) *Pre-processing*, per la preparazione dei dati;
2) *Processing nel dominio dei tiri*, per la riduzione dei disturbi;
3) *Processing nel dominio delle C.D.P.* , per arrivare ad una sola traccia per famiglia.

Nella prima fase (*pre-processing)* i dati vengono trasformati dal formato SEG2 in formato standard PC-SEGY, usato normalmente in sismica a riflessione, nello specifico si è operato nel modo seguente :

- trasferimento dati su PC;
- trasformazione di formato da SEG2 a standard PC-SEGY;
- creazione *header* con informazioni sulla geometria di acquisizione;
- *muting* dei primi arrivi;

La seconda fase (*processing nel dominio dei tiri*) è un'elaborazione che mira ad elevare la qualità delle singole tracce. nello specifico si è operato nel modo seguente:

- Analisi spettrale
- Filtraggio passabanda 0/5 – 450/255 Hz
- Ricampionamento da 0.25 a 0.5 msec
- Filtraggio dominio F-K
- Deconvoluzione "*spiking*"
- *Muting* nel dominio degli offset
- Trasformazione dati da dominio dei tiri a dominio delle C.D.P. (*sorting*)

Mediante l'analisi dello spettro di frequenza dei dati si rileva che il segnale è prevalentemente concentrato nella banda di frequenza compresa tra 20 e 100 Hz. L'applicazione di questo filtro passabanda consente, una buona attenuazione dei disturbi coerenti a bassa velocità apparente (*ground-roll*) concentrati su frequenze intorno ai 12 Hz.

Nei dati filtrati si presentava una frequenza massima del segnale inferiore ai 120 Hz, di conseguenza è stato deciso di procedere con un ricampionamento dei dati a 0.5 msec (prefiltrando le frequenze superiori a 500 Hz). Tale operazione comporta una notevole riduzione del numero di campioni per traccia, e quindi una maggiore rapidità in sede di elaborazione.

La presenza di disturbi organizzati legati a multiple negli strati superficiali richiedeva un'applicazione, peraltro selettiva e limitata ad alcuni tiri, del filtraggio FK.

Successivamente si è applicato ad ogni singola traccia un operatore di deconvoluzione del segnale opportunamente costruito in modo da attenuare la ripetitività della traccia, e di riportare il segnale riflesso il più possibile ad un'onda semplice priva di oscillazioni successive. All'individuazione

dell’operatore da utilizzare si perviene dopo alcuni *tests* che consentono di verificare l'efficacia dell'operazione tramite autocorrelazione della traccia pre- e post-deconvoluzione. Nello specifico è stata utilizzata una deconvoluzione di tipo “*spiking*”, con operatore di 30 msec.

Infine si è proceduto alla conversione dei dati da un'organizzazione nel dominio dei tiri ad un raggruppamento nel dominio delle famiglie C.D.P. (*Common Depth Point sorting*).

Successivamente si procede con la terza fase di elaborazione, ed operando secondo il seguente schema :

a) Fase *pre-stack*
   - correzioni statiche;
   - analisi di velocità ogni 10 C.D.P. ;
   - correzione *Normal Move-Out* ;
   - muting.

b) *Stack*
   - sommatoria C.D.P. (*Stack*).

c) *Fase post-stack*
   - correzione statiche residuali;
   - migrazione.

Le analisi delle velocità sono state eseguite ad intervalli di 10 C.D.P. con tecnica “*semblance*” e ”CVS (*Constant Velocity Stack*)”; il calcolo è stato effettuato per gruppi di C.D.P., nell'intervallo di velocità da 1.000 a 4.000 m/s.

I picchi di massima coerenza indicano la velocità di *stack* ottimale al tempo relativo. Collegando i picchi di coerenza si ottiene una funzione di velocità da applicare ai dati per eliminare l'effetto freccia: questo effetto,

denominato *Normal Move Out*, consiste nel riportare ad un allineamento orizzontale gli eventi riflessi altrimenti disposti su rami d'iperbole.

Le velocità di *stack* calcolate sono mediamente comprese tra 2.000 e 3.000 m/s.

Il risultato finale è costituito dalle seguenti elaborazioni sezioni sismiche migrate tempi doppi-distanze, riportate per ciascun profilo nella parte superiore delle tavole 3810SGG05-06-07-08, il dato sismico è rappresentato con ampiezza in colore con sovrapposizione delle tracce (*wiggle*). Viene anche riportata una sezione delle velocità medie, con sovrapposta sezione sismica migrata tempi rappresenta con ampiezze positive in nero e traccia (*wiggle*), utile per valutare variazioni di assetto generale delle sequenze geologiche, a seguito ad esempio di dislocazioni per faglia. Segue una sezione delle velocità intervallo, con sovrapposta sezione sismica migrata tempi rappresenta con ampiezze positive in nero e traccia (*wiggle*), molto utile invece per evidenziare brusche e/o localizzate variazioni di velocità legate a zone di frattura/faglia. Le velocità medie sono le velocità di Stack o V_{RMS}, ottenute dall'interpretazione delle analisi di velocità, viceversa le velocità intervallo sono ricavate tramite la formula di Dix mediante confronto tra coppie contigue di velocità di stack lungo la medesima verticale.

Il significato fisico delle velocità di stack, e quindi delle velocità intervallo, è comunque di tipo sismico, guidato cioè soprattutto da parametri di coerenza del segnale; ne consegue che l'interpretazione geologica delle velocità sismiche deve necessariamente limitarsi ad una valutazione in termini relativi (aree di diminuzione o di incremento). Inoltre si tratta di velocità medie dalla superficie (velocità di stack) o per ampi spezzoni di sezione verticale (velocità intervallo), quindi non direttamente confrontabili con le velocità derivate dalla sismica a rifrazione e/o con le velocità reali.

Infine, nella parte inferiore delle tavole è mostrata una sezione in profondità ottenuta per conversione sulla verticale con una funzione di velocità media costante.

7.2 - Profili sismici a rifrazione con metodologia tomografica

Inizialmente l'elaborazione delle tracce sismiche è consistita in un' analisi spettrale dell'intero set di dati raccolti in modo da verificare la distribuzione in frequenza del segnale sismico. Tale procedura ha permesso quindi di definire i suddetti valori per i filtri passa banda utili al conseguimento di una migliore qualità e leggibilità dei dati sismici, soprattutto in riferimento a quelli derivati dalle energizzazioni lontane.

I tempi di primo arrivo delle onde P poi sono stati individuati attraverso uno specifico programma di picking che consente di apprezzare variazioni di tempo nell'ordine di $0,1 \times 10^{-3}$ sec. Successivamente i tempi letti sono stati tabellati in modo da poterli riportare su di un grafico spazio-tempo, denominato dromocrona, dove sull'asse delle ascisse è ricostruita la geometria dei geofoni e dei punti di scoppio secondo le reciproche distanze, e sull'asse delle ordinate sono riportati i tempi di transito dai vari punti di scoppio ai singoli geofoni.

L'interpretazione tomografica dei profili sismici è stata eseguita tramite lo specifico programma SEISOPT@PRO5 che prevede la suddivisione dello spazio bidimensionale in celle, di forma quadrata o rettangolare secondo una maglia prefissata, con l'attribuzione ad ognuna di un determinato valore di velocità sismica. Successivamente, il programma torna a calcolare il tempo di transito dell'onda sismica attraverso le maglie del modello e confronta tale valore con quello sperimentale, impiegando iterativamente algoritmi di calcolo adeguati ed effettuando un controllo sul tragitto dei raggi sismici. Per successive iterazioni si perviene a dei valori di velocità sismica da associare alle diverse celle che soddisfino contemporaneamente più raggi sismici.

L'interpretazione dei dati, che viene sviluppata effettuando un'analisi di modellazione del sottosuolo su base anisotropia attraverso la suddivisione dello spazio in celle regolari, fornisce, previa elaborazione con metodologie iterative R.T.C. e algoritmi di ricostruzione tomografica, il campo delle velocità sismiche del sottosuolo. Nel caso specifico per i modelli tomografici finali è stata sempre

utilizzata una maglia quadrata di lato 2,0 m e nella restituzione i valori di velocità sismica attribuiti alle singole celle sono stati rappresentati mediante una scala colorimetrica da 0 a 4000 m/sec.

Per la determinazione del modello di interpretazione il programma SEISOPTPRO V5.0 utilizza il metodo di inversione controllato "*Monte Carlo*" basato su una modellizzazione avanzata, ove i modelli derivati dagli algoritmi propri del programma vengono accettati o rifiutati basandosi su un criterio statistico.

L'accuratezza del modello inverso è definita dallo scarto quadratico medio calcolato tra i tempi di primo arrivo sperimentali ed i calcolati.

Il software di interpretazione (SeisOpt Pro ver. 5.0) restituisce i risultati in termini di affidabilità statistica, ove per *precisione* si intende la sommatoria degli scarti al quadrato tra i valori sperimentali e quelli calcolati fratto il numero dei punti di misura; per *iterazioni* il numero di volte che il programma ha eseguito la verifica del modello totale.

In particolare, i risultati in termine d'affidabilità statistica dell'interpretazione operata, risultano essere i seguenti:

profilo sismico n°	**precisione media s^2**	**N° di iterazioni**
P1	4,362889 e^{-005}	143.162
P2	2,622229 e^{-005}	92.010
P3	6,447396 e^{-005}	53.031
P4	9,166168 e^{-005}	93.069
P5	6,179042 e^{-006}	51.257
P6	3,377664 e^{-006}	35.959
P7	4,689608 e^{-006}	40.899
P8	5,722356 e^{-006}	81.600
P9	2,318378 e^{-005}	37.682

8 - ANALISI DEI RISULTATI

8.1 - Sismica a riflessione

L'interpretazione dei dati sismici a riflessione si basa sull'individuazione di eventi riflettenti il più possibile continui, sull'analisi delle variazioni delle caratteristiche qualitative (frequenza, ampiezza, continuità), sul riconoscimento delle geometrie associate a particolari assetti strutturali e/o stratigrafici, e si conclude, normalmente, con una attribuzione stratigrafica a ciascun riflettore interpretato. Quest'ultima operazione necessita in generale di una taratura geologica, attraverso affioramenti con un chiaro assetto giaciturale o con le stratigrafie di sondaggi meccanici. La taratura con i sondaggi è importante anche per la conversione in profondità dell'interpretazione, perché permette di utilizzare velocità reali e non di derivazione dalle analisi di velocità sismiche.

Nell'area in esame non erano disponibili dati di geologia del sottosuolo, pertanto l'interpretazione sismica è sostanzialmente di tipo geometrico e geofisico. Quando saranno disponibili le stratigrafie di eventuali sondaggi meccanici si potrà procedere ad un aggiornamento ed una calibrazione dell'interpretazione sismica, in particolare per quanto attiene la conversione in profondità.

Profilo P1 (TAV 3810SGG05) - Questo profilo è caratterizzato da una risposta sismica piuttosto discontinua, probabilmente a seguito della sua orientazione obliqua rispetto ai trend tettonici principali.

Lo stile interpretativo, che poi si conferma negli altri profili eseguiti, evidenzia una gradinata di faglie normali, nord-vergenti, che dislocano una sequenza piano stratificata immergente verso S-SO.

Nella sequenza stratificata sono stati riconosciuti numerosi orizzonti riflettenti, al momento non riferibili ad alcun orizzonte geologico. Nel tratto tra le CDP 1 e 70 e tra le CDP 130 e 204, questi orizzonti sono caratterizzati da una maggiore continuità, che invece non si manifesta nel tratto centrale del profilo.

Il plot delle velocità medie evidenzia una forte variazione in corrispondenza della CDP 60, con una zona iniziale con velocità inferiori, ed un discreto incremento nel tratto successivo. Questo sembra indicare che la seconda faglia da sinistra è la prevalente. Significativa, anche se minore rispetto alla precedente, appare anche la terza faglia.

Il plot delle velocità intervallo, come di consueto maggiormente variabile, conferma quanto detto sopra, evidenziando il tratto iniziale fino alla CDP 55-60 come una zona con velocità minori (1500-2000 m/s). L'andamento delle velocità intervallo sembra conferma l'assetto pendente degli orizzonti sismici, con una fascia d'incremento localizzata nella zona centrale (CDP 60-130) in corrispondenza dell'orizzonte profondo. Da notare una zona minore i diminuzione della velocità nel tratto finale del profilo, tra le CDP 160 e 190, probabilmente legata ad una zona di maggiore alterazione. Degna di nota anche la zona di diminuzione della velocità intervallo nel tratto centrale profondo (in tempi doppi) del profilo, dove sembrano convergere numerose faglie con assetto listrico.

Profilo P2 (TAV 3810SGG06) - Questo profilo è caratterizzato da una risposta sismica più continua e con riflettori ben marcati, probabilmente a seguito della sua orientazione quasi normale rispetto ai trend tettonici principali.

Lo stile interpretativo del profilo P2 e P3 è quello che guida l'interprezione dell'intero set di sezioni, con l'assetto a gradinata di faglie normali, nord-vergenti, come già osservato per quanto concerne il profilo P1 precedentemente descritto.

Si nota molto chiaramente una sequenza piano stratificata immergente verso S-SO, con almeno 3-4 eventi riflettenti principali. Analizzando il plot della velocità media si nota che la faglia principale appare la terza da valle verso monte (in corrispondenza della CDP 90), in quanto essa rappresenta un brusco incremento della velocità.

Alcune faglie sono state marcate a tratteggio ad indicare una più scarsa definizione e quindi un'importanza minore. Il plot della velocità intervallo evidenzia una maggiore variabilità delle velocità, in particolare si nota un

andamento delle anomalie con la stessa immersione degli eventi riflettenti interpretati. L'interpretazione geologico-stratigrafica dei profili dovrà quindi tenere in considerazione l'andamento delle velocità intervallo, in particolare per rafforzarne l'attribuzione litologica.

L'assetto delle velocità intervallo conferma l'importanza preminente della faglia ubicata in corrispondenza della CDP 90, ma evidenzia anche la non secondaria importanza della dislocazione ubicata presso la CDP 30.

Poco marcate le fasce di diminuzione della velocità, anche se una si può notare in corrispondenza della già menzionata faglia principale, vedi in particolare il tratto tra le CDP 100 e 110.

Profilo P3 (TAV 3810SGG07) - L'assetto geologico-strutturale evidenziato lungo questo profilo è analogo ai precedenti, anche si tratta di un profilo molto corto e quindi meno indicato per rappresentare al meglio la situazione.

In particolare il numero degli eventi riflettenti interpretati è inferiore, ma questi hanno maggiore continuità e coerenza di facies sismica. Da notare inoltre un orizzonte molto profondo (in tempi doppi), legato forse ad una sorta di basamento della serie affiorante.

Si nota nuovamente un assetto giaciturale con pendenza omogenea, frammentato da un fascio di faglie normali. Il plot della velocità media evidenzia la presenza di velocità mediamente leggermente inferiori rispetto ai profili precedenti; si evidenzia nuovamente l'importanza preminente di una faglia in particolare, ubicata sulla CDP 80.

Assetto analogo presenta il display delle velocità intervallo, con variazioni laterali significative di velocità. Da notare la fascia di diminuzione delle velocità intervallo nel tratto tra le CDP 1 e 30, fascia che interessa anche porzioni profonde della sezione.

Profilo P4 (TAV 3810SGG08) - In questa sezione si hanno eventi riflettenti sub-orizzontali, con un'inclinazione che si manifesta con l'aumento della profondità (tempi doppi). E' interessante osservare come si abbia una fascia molto superficiale con una maggiore riflettività, cui segue una fascia poco riflettiva.

Quindi si ha un nuovo cambio di facies sismica con ulteriori e ben marcati eventi riflettenti.

Le faglie interpretate, visto l'angolo con cui questa sezione interseca le precedenti, hanno un basso angolo, e sono meno facilmente individuabili. La faglia principale risulta quella ubicata in corrispondenza della CDP 80.

Il plot delle velocità medie mostra un'ampia fascia superficiale con velocità inferiori, evidente anche ai bordi della sezione. Più significativo appare il display delle velocità intervallo, che mostra come la zona superficiale con velocità più basse, legate alla presenza di coperture o zone di alterazione profonda, sia più ristretta, concentrata in particolare tra le CDP 25 e 110.

Le fasce di diminuzione della velocità che tagliano verticalmente la sezione sono numerose, le più significative si ritiene siano quelle legate alle faglie interpretate.

Da notare infine la fascia di diminuzione della velocità che si allinea a circa 300 msec di profondità in tempi doppi, comunque a profondità maggiore dell'orizzonte riflettente più basso tra quelli interpretati.

8.2 - Sismica a rifrazione (TAV 3810SGG04)

Come precedentemente affermato i profili P4-P5-P6-P7 e P8 hanno interessato gli imbocchi nord e sud della futura galleria e sono stati acquisiti ed interpretati solo a rifrazione.

L'interpretazione dei dati sismici a rifrazione si basa sull'individuazione di elettrostrati a velocità crescente procedendo verso il basso ed attribuendo ad ognuno una velocità caratteristica, in maniera tale da associare ad ognuno di essi un'attribuzione litologica.

L'esecuzione di tali profili è stata eseguita al fine di caratterizzare tramite la velocità sismica le zone di imbocco.

L'elaborazione di ogni singolo profili è qui di seguito descritta:

Profilo P5

Eseguito, immediatamente sopra l'imbocco nord della galleria, è caratterizzato da terreni con velocità sismica compresa tra 800 e 2.000 m/sec nei primi 5 metri di profondità. Inferiormente le velocità aumentano fino ad un massimo di circa 5.000 m/sec .

Profilo P6

Il modello interpretativo è sostanzialmente identico al precedente, con terreni nella parte più superficiale caratterizzati da una velocità sismica media leggermente più alta rispetto al precedente. Inferiormente le velocità aumentano in maniera costante sino a circa 5.000 m/sec .

Profilo P7

Anche su questo profilo il modello interpretativo è identico ai precedenti.

Le velocità medie dei terreni nei primi 5 metri di profondità, anche in questo profilo aumentano rispetto al precedente. Inferiormente le velocità si mantengono con valori di circa 5.000 m7sec .

Profilo P8

Il modello interpretativo di questo profilo si differenzia sostanzialmente dai profili precedentemente descritti. I terreni con velocità sismiche comprese tra 1000 e 2000 m/sec appaiono di spessore maggiore rispetto ai precedenti.

Inoltre nella parte iniziale del profilo, tra il ps 1 ed il ps 4 , si evidenzia uno strato a velocità sismica media di circa 2300 m/sec fino ad una profondità di circa 17 m p.c. Inferiormente si evidenziano sempre i terreni con velocità sismica di circa 5.000 m/sec .

Profilo P9

Eseguito sull'imbocco sud della galleria è caratterizzato da terreni, nella parte superficiale con velocità sismiche medie di circa 1.800 m/sec . Il modello interpretativo evidenzia tra il ps 1 ed il ps 6, una zona con un calo nelle velocità associabile ad una probabile zona detrica.

8.3 - Profili sismici di superficie interpretati con tecnica tomografica

Come precedentemente affermato i profili sismici a riflessione, sono stati anche acquisiti a rifrazione e successivamente elaborati topograficamente.

In riferimento agli elaborati grafici conclusivi in generale per ogni tavola sono stati riportati i grafici spazio-tempo (dromocrone) riferiti ai dati sperimentali e calcolati, le sezioni tomografiche relative alle diverse elaborazioni dei profili e le immagini degli hit-files rappresentanti il grado di copertura dei raggi sismici per le varie celle della sezione bidimensionale.

Di seguito verrà effettuata una descrizione dei risultati ottenuti attraverso l'interpretazione tomografica al fine di fornire uno schema riassuntivo delle velocità sismiche che caratterizzano i terreni presenti nell'area di studio.

PROFILO SISMICO A RIFRAZIONE P1 (TAV. 3810SGG02)

Il profilo è caratterizzato da un primo rifrattore con velocità sismiche comprese tra 1.000 e 2.000 m/sec con spessore che varia da un minimo di circa 8 metri p.c. in corrispondenza del ps n°21 fino ad un massimo di circa 30 metri in corrispondenza della parte più sommitale del profilo. Inferiormente le velocità sismiche aumentano progressivamente, in maniera regolare fino a raggiungere valori medi di circa 4.600 m/sec. L'interpretazione ha inoltre evidenziato delle zone con probabili lineazioni tettoniche, confortate anche dall'interpretazione della riflessione. Una prima lineazione è stata individuata in corrispondenza del ps 10 con immersione verso nord, procedendo verso la parte centrale del profilo si evidenziano altre 3 lineazioni tettoniche parallele tra di loro. In corrispondenza del ps 32 l'interpretazione ha evidenziato una quinta lineazione con immersione verso sud.

PROFILO SISMICO A RIFRAZIONE P2 (TAV. 3810SGG02)

Il profilo è caratterizzato da un primo rifrattore con velocità sismiche comprese tra 1.200 e 2.000 m/sec. e con spessore compreso tra un minimo di circa 7 metri ad un massimo di circa 30 metri nella parte centrale del profilo.

Anche su questo profilo l'interpretazione ha evidenziato zone con

probabili lineazioni tettoniche. Si evidenziano una serie di quattro lineazioni tettoniche disposte parallelamente tra di loro e con immersione verso nord. Inferiormente i terreni presentano velocità medie superiori ai 4.000 m/sec .

PROFILO SISMICO A RIFRAZIONE P3 (TAV. 3810SGG03)

Eseguito su una base composta da 48 geofoni evidenzia terreni con velocità comprese tra 800 e 2.000 m/sec con spessori che variano da un minimo di 13 metri in corrispondenza del ps 16 ad un massimo di 35 in corrispondenza del ps 14. Anche su questo profilo l'interpretazione evidenzia una serie di 2 lineazioni tettoniche, parallele tra di loro, ubicate in corrispondenza del ps 14 e tra il ps 16 ed il ps 17. Tra il ps 9 ed il ps 10 è stata evidenziata con linea tratteggiata una terza lineazione, l'individuazione di tale lineazione, confortata anche dalla sismica a riflessione, non è molto evidente in quanto marginale al profilo.

PROFILO SISMICO A RIFRAZIONE P4 (TAV. 3810SGG03)

L'interpretazione evidenzia tra il ps 5 ed il ps 18 un'andamento in profondità pressocchè costante. La parte superficiale è caratterizzata da medi di circa 2.000 m/sec. Inferiormente le velocità crescono in maniera lineare senza variazioni al loro interno con valori medi di circa 4.800 m/sec. Tra il ps 18 ed il ps 23 l'interpretazione evidenzia un brusco abbassamento delle velocità, che si evidenzia nella sezione con una zona di forma allungata in profondità. Procedendo verso la fine del profilo, l'andamento delle velocità ritorna pressocchè simile a quello evidenziato nella parte iniziale del profilo. La zona con depressione nelle velocità è stata associata ad una fascia d'alterazione per la presenza di una linee tettonica.

Dr. Geol. Antonio Maria Baldi