

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:

MANDANTI:



PROGETTO ESECUTIVO

VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO – SASSARI – OLBIA

VARIANTE DI BAULADU

GEOLOGIA

Indagini Geognostiche pregresse

Indagini Geofisiche

DIRETTORE TECNICO	DIRETTORE della PROGETTAZIONE	PROGETTISTA
Ing. Massimo Galea	Il Responsabile integrazione fra le varie prestazioni specialistiche Ing. Andrea Polli	Ing. A. Polli

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	SCALA
RR15	00	E	ZZ	IG	GE0005	001	A	-

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione	Documento PD	13.10.2023	Documento PD	13.10.2023	Documento PD	13.10.2023	Documento PD
								13.10.2023

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE:



DIREZIONE TECNICA

U.O. GEOLOGIA, GESTIONE TERRE E BONIFICHE

PROGETTO DEFINITIVO

VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA SAN GAVINO – SASSARI – OLBIA

VARIANTE DI BAULADU

INDAGINI GEOFISICHE

SCALA:

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

RR0H 01 D 69 IG GE0005 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMMISSIONE	P. Chiara	Dicembre 2017	F.M. Carli	Dicembre 2017	T. Paoletti	Dicembre 2017	F. Marchese Dicembre 2017

ITALFERR S.p.A.
Dot. Geologo Francesco Marchese
Rap. UO GEOLOGIA, GESTIONE TERRE E BONIFICHE
Ordine Geologi Lazio n. 179 ES

File: RR0H01D69IGGE0005001A .doc

n. Elab.

Appaltatore:  COSTRUZIONI GENERALI Progettazione:  	VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO – SASSARI – OLBIA VARIANTE DI BAULADU PROGETTO ESECUTIVO						
Indagine Geofisiche	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA RR15</td> <td style="text-align: center;">LOTTO 00</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA EZZ</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO IG GE 00 05 001</td> <td style="text-align: center;">REV. A</td> <td style="text-align: center;">PAG. 2/25</td> </tr> </table>	COMMESSA RR15	LOTTO 00	CODIFICA EZZ	DOCUMENTO IG GE 00 05 001	REV. A	PAG. 2/25
COMMESSA RR15	LOTTO 00	CODIFICA EZZ	DOCUMENTO IG GE 00 05 001	REV. A	PAG. 2/25		

INDICE

1.	INTRODUZIONE	4
1.1	PREMESSA E SCOPI DELL'INDAGINE GEOFISICA.....	4
2.	DATI GEOGNOSTICI DI RIFERIMENTO	5
3.	METODOLOGIE IMPIEGATE.....	6
3.1	INDAGINE ELETTROMAGNETICA IN DOMINIO DI FREQUENZA (FDEM) A BASSO NUMERO DI INDUZIONE	6
3.1.1	Principi di funzionamento e cenni sul metodo.....	6
3.1.2	Strumentazione utilizzata, rete di misura, acquisizione ed elaborazione dei dati.....	6
3.2	INDAGINE SISMICA TOMOGRAFICA	8
3.2.1	Strumentazione.....	8
3.2.2	Principi base della tecnica sismica a rifrazione.....	8
3.2.3	Configurazione delle misure ed elaborazione dati	9
3.3	DOWN HOLE TEST (DHT).....	11
3.3.1	Principi di funzionamento e cenni sul metodo.....	11
3.3.2	Metodologia di misura e strumentazione utilizzata	13
3.3.3	Principi teorici	14
4.	RISULTATI	16
4.1	RISULTATI INDAGINE FDEM – BAULADU (OR)	16
4.1.1	Area S10.....	16
4.1.2	Area S9.....	16
4.1.3	Area S7.....	16
4.1.4	Area S5.....	16
4.1.5	Area S4bis	17
4.1.6	Area S1.....	17
4.1.7	Area S2.....	17
4.2	RISULTATI DELLE LINEE TOMOGRAFICHE SISMICHE BAULADU (OR) –	

Appaltatore:  COSTRUZIONI GENERALI Progettazione:  	VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO – SASSARI – OLBIA VARIANTE DI BAULADU PROGETTO ESECUTIVO						
Indagine Geofisiche	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA RR15</td> <td style="text-align: center;">LOTTO 00</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA E ZZ</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO IG GE 00 05 001</td> <td style="text-align: center;">REV. A</td> <td style="text-align: center;">PAG. 3/25</td> </tr> </table>	COMMESSA RR15	LOTTO 00	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO IG GE 00 05 001	REV. A	PAG. 3/25
COMMESSA RR15	LOTTO 00	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO IG GE 00 05 001	REV. A	PAG. 3/25		

	ALLEGATO 2, TAVOLE 1-17	17
4.2.1	Linea Sismica 1 Bauladu	18
4.2.2	Linee Sismiche 2a e 2b Bauladu	18
4.2.3	Linee Sismiche 3a e 3b Bauladu	19
4.2.4	Linee Sismiche 4a e 4b Bauladu	21
4.2.5	Linee Sismiche 5a e 5b Bauladu	22
4.2.6	Linea Sismica 6 Bauladu	22
4.3	ANALISI DEI RISULTATI DELLA PROVA DOWN HOLE – ALLEGATO 3, TAVOLE 1-3	23
4.3.1	Down Hole S2_DH.....	23
5.	BIBLIOGRAFIA.....	25
6.	ALLEGATO GRAFICO N.1 – INDAGINI FDEM	25
7.	ALLEGATO GRAFICO N. 2 – INDAGINI SISMICHE RIFRAZIONE	25
8.	ALLEGATO GRAFICO N.3 – INDAGINI SISMICHE DOWN HOLE. ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.	

Appaltatore: manelli COSTRUZIONI GENERALI Progettazione: OPINI SMART ENGINEERING STRATER	VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO – SASSARI – OLBIA VARIANTE DI BAULADU PROGETTO ESECUTIVO						
Indagine Geofisiche	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA RR15</td> <td style="text-align: center;">LOTTO 00</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA E ZZ</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO IG GE 00 05 001</td> <td style="text-align: center;">REV. A</td> <td style="text-align: center;">PAG. 4/25</td> </tr> </table>	COMMESSA RR15	LOTTO 00	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO IG GE 00 05 001	REV. A	PAG. 4/25
COMMESSA RR15	LOTTO 00	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO IG GE 00 05 001	REV. A	PAG. 4/25		

1. INTRODUZIONE

1.1 Premessa e scopi dell'indagine geofisica

La presente relazione illustra i risultati della campagna di prospezioni geofisiche non invasive, condotte secondo le modalità previste nelle specifiche tecniche Italferr, eseguite per la Variante di Bauladu (OR), nell'ambito del Progetto Definitivo di Velocizzazione della Linea San Gavino – Sassari – Olbia.

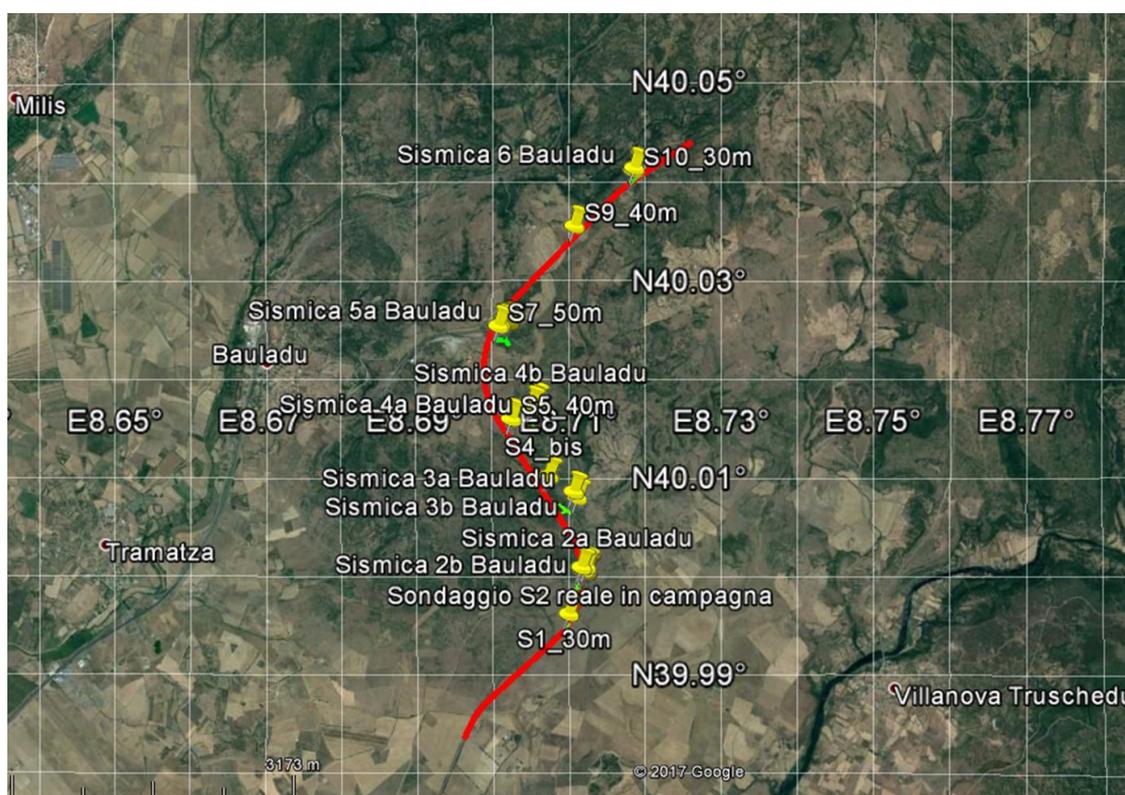


Figura 1: Posizioni delle indagini FDEM, Rifrazione Tomografica e Down Hole nella zona di Bauladu

Le prospezioni geofisiche nella citata zona di Bauladu (OR) sono state condotte utilizzando le seguenti metodologie:

- indagini elettromagnetiche in dominio di frequenza (per comodità indicate FDEM, Frequency Domain Electromagnetic), indagini sismiche Tomografiche a Rifrazione e Down Hole, per onde di Compressione e di Taglio.

Le indagini elettromagnetiche sono state eseguite nel dominio della frequenza, con lo scopo di accertare la presenza di possibili disturbi nel sottosuolo dovute a masse metalliche interrato ed individuare i punti privi di tali interferenze sui quali posizionare le verticali di perforazione

Le indagini sono state eseguite per le verticali S10, S9, S7, S5, S4bis, S1e S2 ed i risultati di tali prospezioni sono presentati nell'Allegato 1.

Appaltatore:  COSTRUZIONI GENERALI Progettazione:  	VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO – SASSARI – OLBIA VARIANTE DI BAULADU PROGETTO ESECUTIVO												
Indagine Geofisiche	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA</td> <td style="text-align: center;">LOTTO</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO</td> <td style="text-align: center;">REV.</td> <td style="text-align: center;">PAG.</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">RR15</td> <td style="text-align: center;">00</td> <td style="text-align: center;">E ZZ</td> <td style="text-align: center;">IG GE 00 05 001</td> <td style="text-align: center;">A</td> <td style="text-align: center;">5/25</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.	RR15	00	E ZZ	IG GE 00 05 001	A	5/25
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.								
RR15	00	E ZZ	IG GE 00 05 001	A	5/25								

L'indagine sismica a rifrazione con interpretazione tomografica è stata impiegata al fine di definire, nei limiti delle metodologie impiegate, gli spessori dei terreni di copertura e ricostruire l'andamento del substrato. In particolare, per quest'ultimo, attraverso le variazioni complesse di velocità di propagazione delle onde P ed SH, si è cercato di individuare le porzioni fratturate da quelle con buona probabilità integre e compatte. I risultati delle tomografie sismiche sono raccolti nell'Allegato 2.

Nella medesima zona di Bauladu, sulla verticale di sondaggio S2, opportunamente attrezzato, è stata eseguita anche una indagine sismica di tipo Down Hole; tale metodologia d'indagine consente la caratterizzazione sismica di dettaglio dei terreni attraversati e l'approfondimento ai fini geotecnici, laddove sia necessario valutare il comportamento dei terreni di fondazione, caratterizzandone i parametri dinamici relativi.

La ricostruzione sismostratigrafica per onde di taglio inoltre consente il calcolo del parametro V_{s30} per mezzo del quale è possibile l'attribuzione ai terreni della categoria di sottosuolo secondo quanto previsto dalla NTC.

Il risultati di tali indagini sono riportati nell'Allegato 3.

Il presente documento, oltre a riportare le evidenze dei risultati emersi dalle campagne di acquisizione dati condotte in sito, contiene una breve descrizione della metodologie geofisiche utilizzate.

2. DATI GEOGNOSTICI DI RIFERIMENTO

L'assetto geologico locale nella tratta indagata, oltre ad essere valutato sulla base della cartografia di merito e degli affioramenti terrigeni e lapidei rintracciati nei vari siti di indagine, è noto principalmente sulla base delle stratigrafie derivate dai sondaggi a carotaggio continuo realizzati in prossimità o in corrispondenza dell'aree di prospezione geofisica.

Le ricostruzioni stratigrafiche derivate dai sondaggi S1, S2, S3, S4, S5 ed S7, hanno consentito una buona taratura dei risultati geofisici nell'area di Bauladu (OR).

Appaltatore:  COSTRUZIONI GENERALI Progettazione:  	VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO – SASSARI – OLBIA VARIANTE DI BAULADU PROGETTO ESECUTIVO						
Indagine Geofisiche	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA RR15</td> <td style="text-align: center;">LOTTO 00</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA E ZZ</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO IG GE 00 05 001</td> <td style="text-align: center;">REV. A</td> <td style="text-align: center;">PAG. 6/25</td> </tr> </table>	COMMESSA RR15	LOTTO 00	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO IG GE 00 05 001	REV. A	PAG. 6/25
COMMESSA RR15	LOTTO 00	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO IG GE 00 05 001	REV. A	PAG. 6/25		

3. METODOLOGIE IMPIEGATE

3.1 INDAGINE ELETTROMAGNETICA IN DOMINIO DI FREQUENZA (FDEM) A BASSO NUMERO DI INDUZIONE

3.1.1 Principi di funzionamento e cenni sul metodo

La metodologia elettromagnetica per induzione in dominio di frequenza consente di eseguire indagini non invasive di estremo dettaglio del sottosuolo. Tale tecnica permette di ottenere ottimi risultati in termini di potere risolvante spaziale e di velocità di esecuzione delle misure.

La tecnica geofisica utilizzata consiste nel generare, in ogni stazione di misura, un campo elettromagnetico (campo primario), per mezzo di una delle due bobine componenti la strumentazione, e nel registrare (con la seconda bobina posta in ricezione) la risposta del campo magnetico secondario indotto nel terreno nelle due sue componenti in fase e in quadratura:

- la componente in quadratura, presa in esame nella suddetta indagine, è proporzionale allo sfasamento tra il campo primario e quello secondario indotto. Trattandosi di strumentazione che opera in regime di “basso numero d’induzione”, la medesima componente in quadratura è proporzionale alla conducibilità/resistività elettrica del volume di suolo sottostante le due bobine per la parte soggetta ad induzione;
- la componente orizzontale in fase (rispetto all’onda EM trasmessa) è maggiormente legata alla suscettività magnetica nel sottosuolo, quindi sensibile alle presenze metalliche (materiali metallici, tubazioni, fusti, serbatoi, ecc.) e ad anomalie che amplificano notevolmente la risposta del sottosuolo anche i termini dielettrici, ovvero indice di materiali quasi-isolanti (che attenuano in modo anomalo il campo elettromagnetico).

Le misure sono state rappresentate, per la componente in quadratura proporzionale alla conducibilità elettrica del terreno, in mS/m e, per la componente in fase, in ppm (parti per migliaia) dell’intensità del campo secondario indotto rispetto al campo primario.

3.1.2 Strumentazione utilizzata, rete di misura, acquisizione ed elaborazione dei dati

La strumentazione FDEM impiegata è costituita da un elettromagnetometro a basso numero d’induzione CMD-4 prodotto da GF Instruments (Repubblica Ceca, UE).

Le aree di indagini sono costituite mediamente da quadrati/rettangoli di dimensioni comprese tra 50 e 100mq.

Nei casi in cui lo spazio a disposizione non consentisse di acquisire un area dimensioni regolari, si è proceduto in campo ad adattarla per coprire, in ogni caso, approssimativamente la superficie necessaria.

Appaltatore: manelli <small>COSTRUZIONI GENERALI</small> Progettazione: OPINI <small>SMART ENGINEERING</small> STRATER	VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO – SASSARI – OLBIA VARIANTE DI BAULADU PROGETTO ESECUTIVO					
Indagine Geofisiche	COMMESSA RR15	LOTTO 00	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO IG GE 00 05 001	REV. A	PAG. 7/25



Figura 2: Elettromagnetometro CMD.

In questo lavoro le linee sono state acquisite con un passo di 50 cm nelle due direzioni tra loro ortogonali; per ciascuna area indagata è stato predisposto un sistema di riferimento relativo del tipo indicato nella figura seguente.

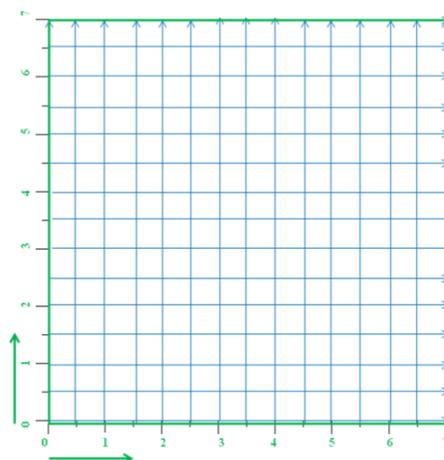


Figura 3: maglia di acquisizione tipo

In campo, i vertici della maglia sono stati materializzati da picchetti di legno lasciati in sito. Per ciascuna area di indagine, negli allegati grafici, è presente anche una documentazione fotografica, con indicazioni utili per collocare in modo univo con le eventuali zone di anomalia individuate. Tali zone di anomalia sono state segnalate con rettangoli/quadrati di colore rosso, sia sulle mappe di conducibilità che di componente in fase.

Appaltatore: manelli  COSTRUZIONI GENERALI Progettazione: OPINI  SMART ENGINEERING STRATER 	VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO – SASSARI – OLBIA VARIANTE DI BAULADU PROGETTO ESECUTIVO						
Indagine Geofisiche	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA RR15</td> <td style="text-align: center;">LOTTO 00</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA E ZZ</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO IG GE 00 05 001</td> <td style="text-align: center;">REV. A</td> <td style="text-align: center;">PAG. 8/25</td> </tr> </table>	COMMESSA RR15	LOTTO 00	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO IG GE 00 05 001	REV. A	PAG. 8/25
COMMESSA RR15	LOTTO 00	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO IG GE 00 05 001	REV. A	PAG. 8/25		

3.2 INDAGINE SISMICA TOMOGRAFICA

3.2.1 Strumentazione

Per il presente lavoro è stato utilizzato un sismografo ECHO 48/2014. Lo strumento, prodotto dalla Ambrogeo (Piacenza, Italia), è un sistema a 48 canali espandibile a 96, il quale possiede le seguenti caratteristiche tecniche principali:

- Convertitore analogico digitale A/D a 24-bits
- intervalli di campionamento: 1/32, 1/16, 1/8, 1/4, 1/2, 1, 1 ½, 2 ms.



Figura 4: Sismografo digitale a 24 bit.

3.2.2 Principi base della tecnica sismica a rifrazione

Per sismica a rifrazione si indicano una serie di tecniche basate sul principio fisico del fenomeno della rifrazione di un'onda sismica che incide su una discontinuità individuata fra due corpi aventi proprietà meccaniche diverse (orizzonte rifrattorio). Sulla superficie da investigare si posizionano i trasduttori del moto del suolo (geofoni) ad una certa distanza dalla sorgente sismica che può essere una massa battente (diversamente applicata e guidata) o una carica esplosiva a seconda della lunghezza dello stendimento e della profondità di indagine richiesta. Nel nostro caso è stata impiegata una massa battente.

Nell'indagine sismica a rifrazione i trasduttori situati più vicino alla sorgente rilevano prima l'onda diretta che arriva con velocità legata alle caratteristiche meccaniche dello strato di terreno più superficiale, mentre quelli più lontani rilevano le onde rifratte che viaggiano a velocità più elevata. Conoscendo i tempi di primo arrivo e la distanza geofono-sorgente, tramite l'analisi delle curve dei primi arrivi ad ogni trasduttore (dromocrone) con i metodi descritti al successivo paragrafo, si possono determinare i campi di velocità delle onde di compressione P e delle onde di taglio

Appaltatore: manelli  COSTRUZIONI GENERALI Progettazione: OPINI  SMART ENGINEERING STRATER 	VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO – SASSARI – OLBIA VARIANTE DI BAULADU PROGETTO ESECUTIVO						
Indagine Geofisiche	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA RR15</td> <td style="text-align: center;">LOTTO 00</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA E ZZ</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO IG GE 00 05 001</td> <td style="text-align: center;">REV. A</td> <td style="text-align: center;">PAG. 9/25</td> </tr> </table>	COMMESSA RR15	LOTTO 00	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO IG GE 00 05 001	REV. A	PAG. 9/25
COMMESSA RR15	LOTTO 00	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO IG GE 00 05 001	REV. A	PAG. 9/25		

SH che caratterizzano i vari strati interessati dall'indagine; da qui produrre una stratigrafia sismica da correlare alle formazioni geologiche o discontinuità presenti nella serie investigata nel sottosuolo.

3.2.3 Configurazione delle misure ed elaborazione dati

Per l'esecuzione dei profili sismici sono stati utilizzati fino a quattro cavi sismici multiconduttori a 24 "takeouts" ciascuno, impiegati simultaneamente per ottenere basi da 48 fino a 96 stazioni (geofoni) simultaneamente.



Figura 5 a e b: Particolari illustranti le pendenze in gioco e l'allestimento di linee sismiche per onde di compressione e di taglio

Per le linee meno estese, sono state utilizzate singole basi a 48 stazioni con 10 postazioni di energizzazione mentre per quelle più lunghe sono state impiegate configurazioni finali a 96 stazioni e si è ricorsi a tecniche di tipo roll-along: sono state impiegando 13 postazioni di scoppio (punti di energizzazione) di cui 10 interni allo stendimento ed 3 esterni di raccordo fra le basi.

Per ogni postazione di energizzazione sono state acquisite molteplici registrazioni al fine di ottimizzare il segnale in risposta.

Per il processing dei dati è stato utilizzato il Software RAYFRACT (nella versione più aggiornata 3.35) della Intelligent Resources Inc. (Canada), creato per l'elaborazione di dati tomografici sismici a rifrazione, realizzabili sia con acquisizioni per onde di

Appaltatore:  COSTRUZIONI GENERALI Progettazione:  	VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO – SASSARI – OLBIA VARIANTE DI BAULADU PROGETTO ESECUTIVO						
Indagine Geofisiche	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA RR15</td> <td style="text-align: center;">LOTTO 00</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA E ZZ</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO IG GE 00 05 001</td> <td style="text-align: center;">REV. A</td> <td style="text-align: center;">PAG. 10/25</td> </tr> </table>	COMMESSA RR15	LOTTO 00	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO IG GE 00 05 001	REV. A	PAG. 10/25
COMMESSA RR15	LOTTO 00	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO IG GE 00 05 001	REV. A	PAG. 10/25		

compressione P che di taglio SH, per scopi geologici, geotecnico-ingegneristici, ambientali, nonché per l'esplorazione nel campo delle georisorse.

Il software citato consente la realizzazione di dettagliati modelli di velocità del sottosuolo con le più evolute tecniche tomografiche, al fine di caratterizzarne gli orizzonti presenti in termini sismo-stratigrafici.

Lo schema di interpretazione utilizzato nel presente lavoro è basato sulla creazione di un modello iniziale ottenuto mediante interpretazione con una tecnica sofisticata di processo dei tempi di primo arrivo basata sui metodi dei "Volumi di Fresnel" (Watanabe 1999) al fine di elaborare un primo modello di partenza con una tecnica del Gradiente "smooth" 1D, a partire dal modello sopraccitato; il codice di calcolo per la modellazione tomografica utilizza, nell'algoritmo d'inversione, un "raytracing" con raggi curvilinei e metodi di calcolo ai minimi quadrati attraverso il metodo Delta t-v (Gebrande and Miller 1985), al fine di migliorare il riconoscimento e la localizzazione di strutture di forma anomala, stabilizzando la soluzione dell'algoritmo d'iterazione.

In generale, il tempo di percorrenza di un'onda sismica lungo un percorso S attraverso un mezzo bidimensionale (2D) può essere scritto come

$$t = \int_S u[\mathbf{r}(x, y)] \quad (2)$$

dove $u(\mathbf{r})$ è il campo delle lentezze (l'inverso delle velocità) e \mathbf{r} è il vettore posizione. Discretizzando il campo di lentezze $u(\mathbf{r})$ con m celle equidimensionali ognuna caratterizzata da una lentezza costante u_k ($k=1, 2, \dots, m$) la dromocrona i -esima delle n disponibili può essere scritta come

$$t_i = \sum_{k=1}^m l_{ik} \cdot u_k \quad (3)$$

dove l_{ik} rappresenta la porzione dell' i -esima dromocrona nella cella k -esima.

Considerando tutte le dromocrone disponibili si ottiene il seguente sistema

$$\mathbf{t} = \mathbf{M} \cdot \mathbf{u} \quad (4)$$

dove \mathbf{t} è il vettore dei dati sperimentali (tempi di primo arrivo letti sui sismogrammi), \mathbf{M} è la matrice rettangolare contenente le porzioni dei percorsi nelle varie celle, \mathbf{u} è il vettore delle lentezze (incognite del problema). Il problema inverso da risolvere è pertanto

$$\mathbf{u} = \tilde{\mathbf{M}}^{-1} \cdot \mathbf{t} \quad (5)$$

dove $\tilde{\mathbf{M}}^{-1}$ è la matrice inversa generalizzata. Poiché i percorsi sismici dipendono dalle lentezze, la matrice \mathbf{M} dipende anche dalle lentezze e quindi il problema inverso (5) è un problema non-lineare che deve essere risolto iterativamente partendo da una soluzione iniziale (modello di partenza). L'equazione da considerare è pertanto la seguente

$$\mathbf{J} \cdot \Delta \mathbf{u} = \Delta \mathbf{t} \quad (5)$$

dove $\Delta \mathbf{t} = \mathbf{t} - \mathbf{t}(\mathbf{u}_0)$ è la differenza tra i tempi sperimentali e i tempi calcolati per il

Appaltatore:  COSTRUZIONI GENERALI Progettazione:  	VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO – SASSARI – OLBIA VARIANTE DI BAULADU PROGETTO ESECUTIVO						
Indagine Geofisiche	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA RR15</td> <td style="text-align: center;">LOTTO 00</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA E ZZ</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO IG GE 00 05 001</td> <td style="text-align: center;">REV. A</td> <td style="text-align: center;">PAG. 11/25</td> </tr> </table>	COMMESSA RR15	LOTTO 00	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO IG GE 00 05 001	REV. A	PAG. 11/25
COMMESSA RR15	LOTTO 00	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO IG GE 00 05 001	REV. A	PAG. 11/25		

modello di lentezze iniziale u_0 ; Δu è la perturbazione del modello iniziale; e J è la matrice jacobiana contenente le derivate parziali delle dromocrone rispetto alle lentezze nelle celle $\frac{\partial t_i}{\partial u_k}$.

Poiché il problema è parzialmente sovradeterminato (per alcune celle si hanno molti percorsi) e parzialmente sottodeterminato (per alcune celle non è disponibile nessun percorso) esso è stato risolto con la tecnica dei minimi quadrati smorzati, cioè è stata minimizzata con la seguente funzione errore

$$\varphi = \|J \cdot \Delta u - \Delta t\|^2 + \lambda \|L_2 u\|^2 \quad (6)$$

dove λ è il fattore di smorzamento e la matrice L_2 è una matrice derivata seconda (operatore laplaciano) che forza la soluzione verso la soluzione più regolare possibile (smoothest solution).

L'affinamento della soluzione è stato ottenuto attraverso un processo tomografico di inversione basato sul metodo WET (Wavepath Eikonal Traveltime inversion: Theory, 1993, Geophysics, Volume 58, Issue 9, pp. 1314-1323), spinto fino a 100 iterazioni per ottimizzarne il risultato finale e risolvere al meglio le zone con inversioni di velocità.

I risultati grafici che rappresentano la distribuzione delle velocità delle onde di compressione (V_p) e di taglio (V_s) nei terreni indagati, sono visualizzati nell'Allegato con campiture a colori caratterizzate da una scala cromatica rappresentativa della dinamica dei valori di velocità incontrati (espressi in m/s, metri al secondo). Tale rappresentazione consente di identificare aree omogenee (medesimo comportamento cromatico) in termini sismo-stratigrafici. Queste zone di isovalori, di V_p per le onde di compressione, e di V_s , per quelle di taglio, sono correlabili ad ammassi di materiale con caratteristiche affini.

3.3 Down Hole Test (DHT)

3.3.1 Principi di funzionamento e cenni sul metodo

La prova sismica DHT è un metodo di indagine sismica finalizzato alla determinazione dei profili di velocità delle onde di taglio SH e di compressione P di depositi di terreno.

I profili di velocità ottenuti dalle misure DHT rappresentano valori di velocità medi sullo spessore degli strati poiché sono calcolati lungo percorsi dei raggi sismici inclinati. Tali percorsi sono poi stati corretti per essere riportati ad un percorso rettilineo lungo la verticale.

L'importante particolarità di tale metodo è quella di studiare i parametri di stato e di comportamento riferendoli a volumi di terreno rappresentativi dei caratteri megastrutturali dei depositi attraverso misure capaci di dare valori medi e non solo puntuali dei parametri geotecnici dei geomateriali.

Appaltatore:  COSTRUZIONI GENERALI Progettazione:  	VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO – SASSARI – OLBIA VARIANTE DI BAULADU PROGETTO ESECUTIVO						
Indagine Geofisiche	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA RR15</td> <td style="text-align: center;">LOTTO 00</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA EZZ</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO IG GE 00 05 001</td> <td style="text-align: center;">REV. A</td> <td style="text-align: center;">PAG. 12/25</td> </tr> </table>	COMMESSA RR15	LOTTO 00	CODIFICA EZZ	DOCUMENTO IG GE 00 05 001	REV. A	PAG. 12/25
COMMESSA RR15	LOTTO 00	CODIFICA EZZ	DOCUMENTO IG GE 00 05 001	REV. A	PAG. 12/25		

Caratteristica essenziale del metodo sismico utilizzato è quella di consentire la determinazione dei parametri di deformabilità riferendoli a valori molto bassi dei livelli di deformazione ($<10^{-5}$ m), al di sotto della soglia di deformazione lineare ciclica.

Per l'interpretazione dei dati è stata usata la tecnica diretta, che rappresenta un metodo nel quale la velocità delle onde P e SH è calcolata dalle pendenze dei tratti di dromocrone generate in dipendenza delle posizioni consecutive dei sensori alle diverse quote di spostamento lungo il foro. Nel nostro caso le misurazioni sono state eseguite ogni metro.

I parametri calcolabili con l'ausilio del metodo DHT sono:

- il Coefficiente di Poisson dinamico,
- il modulo di elasticità dinamico (o di Young),
- il modulo di taglio dinamico (o modulo di rigidità),
- il Bulk modulus (modulo di incompressibilità) e pertanto
- il modulo di compressibilità dinamico.

I valori dinamici calcolati con tali tecniche possono risultare differenti dai valori provenienti da prove di tipo statico puntuali (normalmente anche di un ordine di grandezza), specie in tipologie di materiali quali quelli in oggetto.

Il metodo Down Hole è impiegato ai fini della ricostruzione sismo-stratigrafica ed è efficace per il calcolo del parametro V_{s30} .

Il parametro V_{s30} è calcolato come sommatoria (nei 30 metri di spessore del sottosuolo, nel nostro caso a partire dalla quota del piano campagna) dei valori delle velocità di intervallo, pesati rispetto agli spessori associati alla stratificazione dei materiali.

$$V_{s30} = 30 \frac{1}{\sum_1^N \frac{h_i}{V_i}}$$

Dal valore del parametro V_{s30} è possibile risalire alla categoria di suolo secondo il D.M. 14 Gennaio 2008 dal quale sono tratte le successive tabelle.

Appaltatore:  COSTRUZIONI GENERALI Progettazione:  	VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO – SASSARI – OLBIA VARIANTE DI BAULADU PROGETTO ESECUTIVO
Indagine Geofisiche	COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. PAG. RR15 00 E ZZ IG GE 00 05 001 A 13/25

Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Tabella 3.2.III – Categorie aggiuntive di sottosuolo.

Categoria	Descrizione
S1	Depositati di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositati di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

3.3.2 Metodologia di misura e strumentazione utilizzata

La sorgente del segnale sismico per onde SH è costituita da barre in teflon, di circa 2 m di lunghezza complessiva, assicurate al terreno applicando un carico verticale adeguato. Lo sforzo di taglio è trasmesso colpendo orizzontalmente con una massa battente la barra, in successione sui due lati opposti (con lo scopo di trasmettere impulsi a polarità invertite). Alternativamente, attraverso la realizzazione di un scasso nel terreno ove alloggiare verticalmente una piastra in alluminio per generare gli sforzi di taglio sulle due direzioni opposte (sempre con lo scopo di trasmettere impulsi a polarità invertite e successivamente sommarli per l'eliminazione del contributo delle onde P dai sismogrammi da avviare ad elaborazione).

Lo sforzo di compressione è invece trasmesso attraverso una massa battente verticale su di una piastra in alluminio; i sistemi di energizzazione sono posizionati, in prossimità del boccaforo.

I ricevitori, all'interno del foro di sondaggio, sono stati posti in modo tale che la velocità di propagazione delle onde di volume, caratteristica dei vari strati di terreno, potesse essere misurata ogni metro.

Appaltatore: manelli  COSTRUZIONI GENERALI Progettazione: OPINI  SMART ENGINEERING STRATER 	VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO – SASSARI – OLBIA VARIANTE DI BAULADU PROGETTO ESECUTIVO						
Indagine Geofisiche	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA RR15</td> <td style="text-align: center;">LOTTO 00</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA E ZZ</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO IG GE 00 05 001</td> <td style="text-align: center;">REV. A</td> <td style="text-align: center;">PAG. 14/25</td> </tr> </table>	COMMESSA RR15	LOTTO 00	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO IG GE 00 05 001	REV. A	PAG. 14/25
COMMESSA RR15	LOTTO 00	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO IG GE 00 05 001	REV. A	PAG. 14/25		

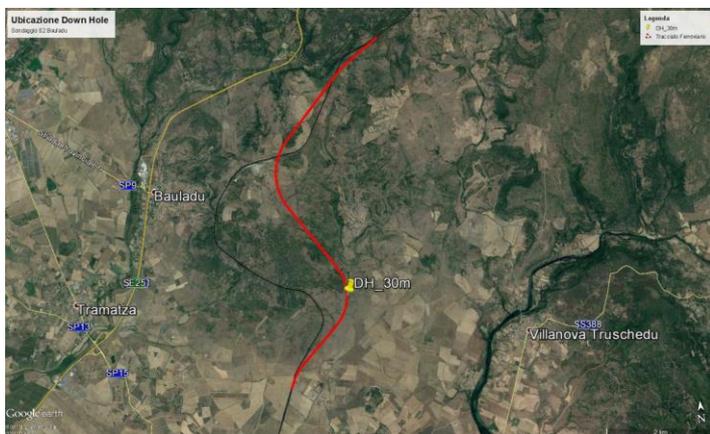


Figura 6 a e b : Ubicazione Down Hole e configurazione standard per le indagini DHT

Spostando i ricevitori (geofoni triassiali solidali da foro) a diverse profondità, è possibile ottenere un dettagliato profilo di velocità delle onde SH e P.

L'accoppiamento meccanico tra le pareti del “casing” del foro e i ricevitori all'interno del foro stesso, nell'indagine in oggetto, è stato reso possibile con appositi sistemi di ancoraggio pneumatico.

I ricevitori utilizzati sono costituiti da un sistema tridimensionale composto da tre geofoni, a frequenza propria di 10 Hz, della Geospace (USA), orientati nelle tre dimensioni dello spazio.

Il sismografo utilizzato per le misure sismiche (si veda la Fig. 4 alle pagine precedenti), è uno strumento con possibilità di acquisizione su 48 canali (espandibile a 96) contemporanei e dotato di convertitore analogico digitale a 24 bit.

3.3.3 Principi teorici

Per la determinazione dei moduli dinamici a partire dalla distribuzione di velocità delle onde di compressione P e di taglio SH, occorre assumere che il geomateriale indagato sia un mezzo omogeneo, elastico ed isotropo.

Nel nostro caso, come per la maggior parte, tale assunzione risulta un'approssimazione.

In ogni caso, facendo riferimento alle supposizioni introdotte, è possibile risalire al coefficiente di Poisson (in tale contesto denominato con σ in altri comunemente definito con ν), tramite la seguente relazione \diamond

Appaltatore:  COSTRUZIONI GENERALI Progettazione:  	VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO – SASSARI – OLBIA VARIANTE DI BAULADU PROGETTO ESECUTIVO						
Indagine Geofisiche	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA RR15</td> <td style="text-align: center;">LOTTO 00</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA EZZ</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO IG GE 00 05 001</td> <td style="text-align: center;">REV. A</td> <td style="text-align: center;">PAG. 15/25</td> </tr> </table>	COMMESSA RR15	LOTTO 00	CODIFICA EZZ	DOCUMENTO IG GE 00 05 001	REV. A	PAG. 15/25
COMMESSA RR15	LOTTO 00	CODIFICA EZZ	DOCUMENTO IG GE 00 05 001	REV. A	PAG. 15/25		

$$\sigma = \frac{\left(\frac{V_P}{V_S}\right)^2 - 2}{2\left[\left(\frac{V_P}{V_S}\right)^2 - 1\right]} \quad \diamond$$

e al modulo di Young tramite la \diamond

$$E = \frac{(1 - 2\sigma)(1 + \sigma)}{(1 - \sigma)} \rho V_P^2 \quad \diamond$$

I valori dinamici calcolati con tali tecniche possono risultare differenti dai valori provenienti da prove di tipo statico puntuali (normalmente anche di un ordine di grandezza), specie in tipologie di materiali quali quelli in oggetto.

Sono inoltre esprimibili come funzioni dalle costanti elastiche dinamiche E e σ , la compressibilità β e di conseguenza il *Bulk modulus* ($k = 1/\beta$) (Milton B. et alii, 1988), cioè come relazione tra le costanti di dilatazione cubica, risultanti dalla combinazione degli sforzi lineari di compressione e di taglio in dipendenza delle relative costanti:

$$k = \frac{E}{3(1 - 2\sigma)}$$

e il modulo di rigidità o di taglio μ (altrimenti indicato con la lettera G) :

$$\mu = \frac{E}{2(1 + \sigma)}$$

\diamond Milton B. Dobrin, Carl H. Savit, 1988, Introduction to Geophysical Prospecting, fourth Edition, McGraw-Hill International Editions e R.E. Goodman, 1989, Introduction to Rock Mechanics, second Edition, John Wiley & Sons

Appaltatore:  COSTRUZIONI GENERALI Progettazione:  	VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO – SASSARI – OLBIA VARIANTE DI BAULADU PROGETTO ESECUTIVO						
Indagine Geofisiche	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA RR15</td> <td style="text-align: center;">LOTTO 00</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA E ZZ</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO IG GE 00 05 001</td> <td style="text-align: center;">REV. A</td> <td style="text-align: center;">PAG. 16/25</td> </tr> </table>	COMMESSA RR15	LOTTO 00	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO IG GE 00 05 001	REV. A	PAG. 16/25
COMMESSA RR15	LOTTO 00	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO IG GE 00 05 001	REV. A	PAG. 16/25		

4. RISULTATI

4.1 Risultati Indagine FDEM – Bauladu (OR)

4.1.1 Area S10

Nell'Allegato grafico 1 – tavola 1 sono riportate le mappe delle componenti in quadratura ed in fase elaborate per il sito d'indagine al di sopra della verticale prevista per il Foro S10.

L'indagine non ha evidenziato anomalie associabili alla possibile presenza di masse metalliche interrato nei primi 4-5 m di terreno. L'anomalia visibile nelle mappe è da ricondurre al materiale metallico visibile in superficie.

4.1.2 Area S9

Nell'Allegato grafico 1 – tavola 2 sono riportate le mappe delle componenti in quadratura ed in fase elaborate per il sito d'indagine al di sopra della verticale del Foro S9.

L'indagine ha evidenziato anomalie associabili alla possibile presenza di masse metalliche interrato nei primi 4-5 m di terreno.

L'esecuzione del sondaggio è possibile evitando le aree evidenziate con rettangoli di colore giallo.

4.1.3 Area S7

Nell'Allegato grafico 1 – tavola 3 sono riportate le mappe delle componenti in quadratura ed in fase elaborate per il sito d'indagine al di sopra della verticale del Foro S7.

L'indagine non ha evidenziato anomalie associabili alla possibile presenza di masse metalliche interrato nei primi 4-5 m di terreno. Il rango di valori delle due componenti evidenzia valori relativamente molto bassi, ponendo in evidenza la presenza di canali di scolo al lato della strada.

4.1.4 Area S5

Nell'Allegato grafico 1 – tavola 4 sono riportate le mappe delle componenti in quadratura ed in fase elaborate per il sito d'indagine al di sopra della verticale del Foro S5.

L'indagine ha evidenziato una zona anomala associabile alla possibile presenza di masse metalliche interrato nei primi 4-5 m di terreno. Nella componente in fase si nota sul lato sinistro l'influenza della rete metallica situata sul muretto a secco.

Appaltatore:  COSTRUZIONI GENERALI Progettazione:  	VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO – SASSARI – OLBIA VARIANTE DI BAULADU PROGETTO ESECUTIVO						
Indagine Geofisiche	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA RR15</td> <td style="text-align: center;">LOTTO 00</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA E ZZ</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO IG GE 00 05 001</td> <td style="text-align: center;">REV. A</td> <td style="text-align: center;">PAG. 17/25</td> </tr> </table>	COMMESSA RR15	LOTTO 00	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO IG GE 00 05 001	REV. A	PAG. 17/25
COMMESSA RR15	LOTTO 00	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO IG GE 00 05 001	REV. A	PAG. 17/25		

4.1.5 Area S4bis

L'area di indagine si estende lungo un tracciato interpodereale.

Nell'Allegato grafico 1 – tavola 5 sono riportate le mappe delle componenti in quadratura ed in fase elaborate per il sito d'indagine al di sopra della verticale del Foro S4bis.

L'indagine non ha evidenziato anomalie associabili alla possibile presenza di masse metalliche interrato nei primi 4-5 m di terreno.

4.1.6 Area S1

Nell'Allegato grafico 1 – tavola 6 sono riportate le mappe delle componenti in quadratura ed in fase elaborate per il sito d'indagine al di sopra della verticale del Foro S1.

L'indagine non ha evidenziato anomalie associabili alla possibile presenza di masse metalliche interrato nei primi 4-5 m di terreno. È stato consigliato prudenzialmente di evitare l'allineamento conduttivo indicato in mappa in quadratura, in coincidenza con una zona di minimo della componente in fase, probabilmente dovuto a condizioni di umidità del terreno.

4.1.7 Area S2

Nell'Allegato grafico 1 – tavola 7 sono riportate le mappe delle componenti in quadratura ed in fase elaborate per il sito d'indagine al di sopra della verticale del Foro S2.

Anche in questo caso, l'indagine non ha evidenziato anomalie associabili alla presenza di masse metalliche interrato entro i primi 4-5 metri di terreno dal piano campagna.

4.2 Risultati delle Linee tomografiche sismiche Bauladu (OR) – Allegato 2, Tavole 1-17

L'ubicazione delle sezioni sismiche tomografiche a rifrazione è ben visibile nelle varie Tavole dell'Allegato grafico 2.

Le linee sismiche tomografiche sono state realizzate con passo intergeofonico variabile compreso tra 2m e 3m; esse hanno raggiunto un alto grado di dettaglio e con risoluzioni verticali e orizzontali opportune rispetto alle profondità raggiunte.

L'assetto sismostratigrafico delle porzioni di sottosuolo indagato è stato interpretato, dove possibile, sulla base delle informazioni stratigrafiche dirette provenienti da sondaggi a carotaggio eseguiti lungo il nuovo tracciato ferroviario o di affioramenti, in relazione alla distanza relativa dei profili medesimi dai punti di osservazione citati.

Le superfici di separazione tra i vari sismostrati sono state rappresentate lungo le

Appaltatore:  COSTRUZIONI GENERALI Progettazione:  	VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO – SASSARI – OLBIA VARIANTE DI BAULADU PROGETTO ESECUTIVO						
Indagine Geofisiche	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA RR15</td> <td style="text-align: center;">LOTTO 00</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA E ZZ</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO IG GE 00 05 001</td> <td style="text-align: center;">REV. A</td> <td style="text-align: center;">PAG. 18/25</td> </tr> </table>	COMMESSA RR15	LOTTO 00	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO IG GE 00 05 001	REV. A	PAG. 18/25
COMMESSA RR15	LOTTO 00	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO IG GE 00 05 001	REV. A	PAG. 18/25		

sezioni a mezzo di linee tratteggiate di color magenta.

Dato che nelle zone investigate gli spessori attribuibili ai terreni di copertura sono generalmente esigui, al fine di una più facile lettura delle singole sezioni è stata utilizzata una scala di velocità unificata, valevole sia per le onde compressionali che per le onde di taglio.

4.2.1 Linea Sismica 1 Bauladu

La linea Sismica 1 è stata eseguita a 48 canali con passo intergeofonico di 2 m lungo il tracciato, spostata leggermente a Nord Est rispetto al foro di sondaggio S1 (v. Tavola 2), ed ha investigato i terreni fino ad una profondità massima di circa 30 m.

Lungo la sezione 1 (v. Tavola 3), sono ben individuati n. 3 sismostrati.

Il primo, superficiale, ha uno spessore di circa 3-4 m tra le progressive 0-40 m e tende ad ispessirsi gradualmente verso la fine della sezione. Lo strato è caratterizzato da velocità delle onde P comprese tra 450 m/s e 1.400 m/s mentre le onde di taglio si propagano con velocità comprese tra 300 m/s e 800 m/s.

Segue un secondo sismostrato, spesso circa 20-22 m tra le progressive 0-40 m e circa 12-15 m, tra la progressiva 40 m e la fine della sezione; esso è caratterizzato da profonde variazioni laterali nei gradienti di velocità di entrambi i tipi di onda.

Le onde compressionali hanno velocità nell'intervallo compreso tra 1.400 - 2.350 m/s mentre le onde di taglio si propagano con velocità che variano da 800 m/s a 1.800 m/s. Al suo interno sono individuabili numerose zone con inversioni di velocità.

Nella parte più profonda della sezione il terzo sismostrato presenta velocità delle onde compressionali maggiori di 2.350 m/s e delle onde di taglio maggiori di 1.800 m/s a testimoniare il passaggio progressivo ad un lapideo con caratteristiche fisico-meccaniche progressivamente migliori.

4.2.2 Linee Sismiche 2a e 2b Bauladu

La linea Sismica 2a è stata eseguita a 48 canali con passo intergeofonico di 2 m e con sviluppo da Est Sud-Est a Ovest Nord-Ovest (v. Tavola 4).

La configurazione impiegata ha consentito di investigare i terreni fino ad una profondità massima di circa 30 m.

Lungo la sezione 2a (v. Tavola 5), sono individuati n. 3 sismostrati. Il primo, dal piano campagna, ha uno sviluppo verticale di circa 3-4 m tra le progressive 0-12 m, si assottiglia tra le progressive 20 m e 40 m e tende ad ispessirsi gradualmente verso la fine della sezione dove raggiunge i 5 m di potenza.

Lo strato è caratterizzato da velocità delle onde compressionali comprese tra 500 m/s e 1.300-1.500 m/s e delle onde di taglio tra 300 m/s e 800 m/s.

Segue un secondo sismostrato, spesso circa 15-18 m tra le progressive 0-44 m e

Appaltatore:  COSTRUZIONI GENERALI Progettazione:  	VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO – SASSARI – OLBIA VARIANTE DI BAULADU PROGETTO ESECUTIVO						
Indagine Geofisiche	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA RR15</td> <td style="text-align: center;">LOTTO 00</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA E ZZ</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO IG GE 00 05 001</td> <td style="text-align: center;">REV. A</td> <td style="text-align: center;">PAG. 19/25</td> </tr> </table>	COMMESSA RR15	LOTTO 00	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO IG GE 00 05 001	REV. A	PAG. 19/25
COMMESSA RR15	LOTTO 00	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO IG GE 00 05 001	REV. A	PAG. 19/25		

circa 10-15 m tra la progressiva 44 m e la fine della sezione; esso è caratterizzato anche in questo caso da profonde variazioni laterali e verticali nei gradienti di velocità di entrambi i tipi di onda.

Le onde compressionali hanno velocità comprese tra 1.300-1.500 m/s e 2.850 m/s mentre le onde di taglio si propagano con velocità nell'intervallo 800-1.600 m/s. All'interno del sismostrato sono individuabili numerose zone con inversioni di velocità.

In profondità il terzo sismostrato presenta velocità delle onde compressionali maggiori di 2.850 m/s e delle onde di taglio maggiori di 1.600 m/s, ad indicare il passaggio progressivo ad un lapideo con caratteristiche fisico-meccaniche progressivamente migliori.

La linea Sismica 2b è stata eseguita a 48 canali con passo intergeofonico di 2,5 m con sviluppo da Sud Sud-Ovest a Nord Nord-Est (v. Tavola 6).

La configurazione impiegata ha consentito di investigare i terreni fino ad una profondità massima di circa 35 m.

Esaminando le sezioni ottenute per le onde P e per le onde SH si denota una coerente continuità laterale di ogni singolo sismostrato. Lungo la sezione S2b (v. Tavola 6), sono individuati n. 3 sismostrati. Il primo, superficiale e di spessore più o meno costante, presenta velocità delle onde compressionali comprese tra 500 m/s e 1.300-1.500 m/s e delle onde di taglio tra 300 m/s e 800-900 m/s.

Il secondo sismostrato è spesso circa 18-20 m ad inizio sezione e circa 15 m alla fine della medesima ed è caratterizzato anche in questo caso da profonde variazioni laterali e verticali nei gradienti di velocità di entrambi i tipi di onda e dalla presenza di inversioni di velocità.

Le onde compressionali si propagano con velocità comprese tra 1.300-1.500 m/s e 2.850 m/s mentre le onde di taglio con velocità nell'intervallo 800/900-1.600 m/s.

In profondità il terzo sismostrato presenta velocità delle onde compressionali maggiori di 2.850 m/s e delle onde di taglio maggiori di 1.600 m/s.

Le linee sismiche 2a e 2b si intersecano in posizione limitrofa alla zona di esecuzione della verticale di sondaggio S2 all'interno della quale è stata eseguita una indagine sismica in foro di tipo Down Hole.

I risultati conseguiti da quest'ultima tipologia di indagine sono riportati nell'allegato 3 e sono discussi nel successivo capitolo 4.3.

4.2.3 Linee Sismiche 3a e 3b Bauladu

La linea Sismica 3a è stata eseguita a 48 canali con passo intergeofonico di 2 m con sviluppo da Nord-Est a Sud-Ovest (v. Tavola 7), in zona limitrofa al nuovo tracciato ferroviario e spostata a Sud Est rispetto alla verticale di sondaggio S4_bis.

I terreni sono stati investigati fino ad una profondità massima di circa 30 m.

Appaltatore:  COSTRUZIONI GENERALI Progettazione:  	VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO – SASSARI – OLBIA VARIANTE DI BAULADU PROGETTO ESECUTIVO						
Indagine Geofisiche	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA RR15</td> <td style="text-align: center;">LOTTO 00</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA E ZZ</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO IG GE 00 05 001</td> <td style="text-align: center;">REV. A</td> <td style="text-align: center;">PAG. 20/25</td> </tr> </table>	COMMESSA RR15	LOTTO 00	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO IG GE 00 05 001	REV. A	PAG. 20/25
COMMESSA RR15	LOTTO 00	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO IG GE 00 05 001	REV. A	PAG. 20/25		

Lungo la sezione S3a (v. Tavola 8), sono individuati n. 4 sismostrati.

Il primo sismostrato, superficiale, ha uno spessore di circa 3-4 m tra le progressive 0-26 m e di seguito si mantiene più o meno costante sui 5/6 m lungo l'intera sezione.

Lo strato è caratterizzato da velocità delle onde compressionali comprese tra 350 m/s e 1.200 m/s e delle onde di taglio tra 200 m/s e 800 m/s.

Segue un secondo sismostrato, spesso circa 10/-12 m tra le progressive 0-26 m; esso si assottiglia progressivamente fino alla progressiva 40 m, dove si imposta sui 5 m circa di potenza, e si mantiene fino al termine della sezione con spessore pressoché costante, con lievi variazioni verso la fine di essa.

Le velocità delle onde compressionali e delle onde di taglio sono rispettivamente comprese nell'intervallo 1.200-1.850 m/s e 800-1.300/1.350 m/s. Entrambe le sezioni per onde di compressione e di taglio evidenziano la presenza di inversioni di velocità, specie nella porzione iniziale, tra le progressive 0-26 m.

Seguono in profondità i sismostrati 3 e 4; ad eccezione del sismostrato 3 che presenta anch'esso zone con inversione di velocità, nel sismostrato 4, quello maggiormente profondo, le velocità aumentano regolarmente con la profondità.

All'interno del terzo sismostrato le onde P e le onde SH si propagano con intervalli di velocità rispettivamente compresi tra 1.850 e 2.500 m/s e 1.300-1.350 e 1.650 m/s. Nel sismostrato 4 la onde P e le onde SH assumono velocità maggiori di 2.500 m/s e maggiori di 1.650 m/s.

La linea Sismica 3b è stata eseguita in configurazione a 96 canali mantenendo un passo intergeofonico di 2 m e applicando tecniche roll-along con due basi a 48 canali, consentendo di mantenere una elevata risoluzione laterale nel suo sviluppo da Sud Est a Nord Ovest (v. Tavola 7).

La configurazione impiegata ha consentito anche in questo caso di investigare i terreni fino ad una profondità massima di circa 35-40 m.

Dal confronto delle sezioni 3a e 3b ottenute per le onde P e per le onde SH si denota una buona continuità laterale di ogni singolo sismostrato, sia in termini di spessori che negli intervalli di velocità.

Lungo la sezione S3b (v. Tavola 9), i n. 4 sismostrati hanno interfacce di separazione parallele ed con pendenza in direzione Sud Est.

Il primo sismostrato ed il secondo sono caratterizzati entrambi da un aumento progressivo delle velocità con l'approfondimento, mentre il sismostrato tre presenta inversioni di velocità sia nella sezione per onde P che nella sezione per onde SH, in particolare in corrispondenza delle progressive 30-50 m, 90-110 m e 120-170 m.

Il quarto sismostrato ha un gradiente di velocità delle onde compressionali pressoché costante lungo l'intera sezione, mentre le onde di taglio, tra le progressive 60-130 m, ricostruiscono una zona di attenuazione.

Appaltatore:  COSTRUZIONI GENERALI Progettazione:  	VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO – SASSARI – OLBIA VARIANTE DI BAULADU PROGETTO ESECUTIVO						
Indagine Geofisiche	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA RR15</td> <td style="text-align: center;">LOTTO 00</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA E ZZ</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO IG GE 00 05 001</td> <td style="text-align: center;">REV. A</td> <td style="text-align: center;">PAG. 21/25</td> </tr> </table>	COMMESSA RR15	LOTTO 00	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO IG GE 00 05 001	REV. A	PAG. 21/25
COMMESSA RR15	LOTTO 00	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO IG GE 00 05 001	REV. A	PAG. 21/25		

4.2.4 Linee Sismiche 4a e 4b Bauladu

Le linee Sismica 4a è stata eseguita a 48 canali con passo intergeofonico di 3 m con sviluppo da Ovest verso Est (v. Tavola 10).

La profondità massima raggiunta è di circa 35 m con entrambe le sezioni per onde di compressione e di taglio.

Lungo la linea Sismica 4a (v. Tavola 11), si individuano n. 3 sismostrati.

Il primo, superficiale, ha uno spessore pressoché costante lungo l'intera sezione, ad eccezione dell'ultimo tratto di circa 40 m della linea, dove si ispessisce fino ad un massimo di 7-8 m.

Lo strato è caratterizzato da velocità delle onde compressionali comprese tra 500 m/s e 1.300-1.400 m/s e delle onde di taglio tra 300 m/s e 800 m/s.

Segue un secondo sismostrato, spesso circa 15-18 m tra le progressive 0-60 m e circa 5-8 m tra la progressiva 60 m e la fine della sezione.

Nella parte compresa tra le progressive 0-60 m sono presenti sia inversioni di velocità che zone di attenuazione del gradiente per entrambi i tipi di onde. La seconda parte della sezione, dove lo strato presenta il minimo spessore, il gradiente permane alto e positivo sia per le onde compressionali che per le onde di taglio.

In generale, le onde P e le onde SH si propagano con velocità comprese rispettivamente negli intervalli 1.300/1.400 – 2.300 m/s e 800 – 1.650 m/s.

In profondità si presenta un terzo sismostrato. In esso, ad eccezione del tratto tra le progressive 90-110 m dove si registra la presenza di inversioni di velocità, i gradienti permangono positivi sia per le onde P che SH.

La linea Sismica 4b è stata eseguita a 48 canali con passo intergeofonico di 2 m con sviluppo da Nord-Ovest a Sud-Est (v. Tavola 10). La configurazione impiegata ha consentito di investigare i terreni fino ad una profondità massima di circa 28 m.

I risultati ottenuti per la linea sismica 4b (Tavola 12), in termini di distribuzione di velocità delle onde compressionali e di taglio lungo la sezione, mostrano una buona corrispondenza e continuità laterale rispetto ai sismostrati individuati lungo la linea sismica 4a precedente.

Il primo sismostrato ha uno spessore medio costante di circa 4 m e le velocità delle onde P ed SH sono comprese rispettivamente negli intervalli 500 - 1.400 m/s e 300 - 800 m/s.

Il secondo sismostrato presenta uno spessore di circa 8-10 m tra le progressive 0-36 m mentre mantiene una potenza di circa 4/5 m lungo la parte rimanente della sezione. Le onde P e le onde SH si propagano all'interno del sismostrato con velocità comprese negli intervalli 1.400 – 2.300 m/s e 800 – 1.350 m/s.

In profondità, il terzo sismostrato presenta importanti variazioni laterali e verticali sia per le onde P che per le onde SH. Si denota una buona corrispondenza tra le sezioni

Appaltatore:  COSTRUZIONI GENERALI Progettazione:  	VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO – SASSARI – OLBIA VARIANTE DI BAULADU PROGETTO ESECUTIVO						
Indagine Geofisiche	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA RR15</td> <td style="text-align: center;">LOTTO 00</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA E ZZ</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO IG GE 00 05 001</td> <td style="text-align: center;">REV. A</td> <td style="text-align: center;">PAG. 22/25</td> </tr> </table>	COMMESSA RR15	LOTTO 00	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO IG GE 00 05 001	REV. A	PAG. 22/25
COMMESSA RR15	LOTTO 00	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO IG GE 00 05 001	REV. A	PAG. 22/25		

onde P ed SH nei punti di inversione e/o di attenuazione del gradiente di velocità.

4.2.5 Linee Sismiche 5a e 5b Bauladu

Le linee Sismiche 5a e 5b sono state eseguite ad Est del sondaggio a carotaggio continua denominato S7 (v. Tavola 13).

La linea 5a è stata eseguita a 48 canali, con passo intergeofonico di 3 m e con sviluppo da Ovest verso Est, ed ha consentito di investigare i terreni fino ad una profondità massima di circa 35 m.

Lungo la sezione 5a (v. Tavola 14), sono individuati n. 3 sismostrati.

Il primo, superficiale, il cui spessore aumenta leggermente da inizio a fine sezione, è caratterizzato da velocità delle onde P comprese tra 600 m/s e 1.400 m/s e velocità delle onde SH tra 350/400 m/s e 800 m/s.

Segue un secondo sismostrato caratterizzato da importanti variazioni laterali e verticali dei gradienti di velocità. Lo spessore varia mediamente tra 20 m e 25 m lungo l'intera sezione e sono presenti inversioni di velocità sia lungo la sezione delle onde di compressione che lungo la sezione ottenuta per le onde di taglio.

In profondità si rintraccia un terzo sismostrato dove le onde P si propagano con velocità maggiori di 2.500 m/s e le onde SH con velocità maggiori di 1.650 m/s.

Tale contesto sismostratigrafico è confermato dalle sezioni in onde P ed SH ottenute dall'elaborazione dei dati di campagna acquisiti per la Sismica 5b (v. Tavola 15). Anche in questo caso infatti si evidenziano tre sismostrati, di cui uno superficiale ed uno profondo, caratterizzati da gradienti di velocità positivi, separati da un sismostrato (indicato come sismostrato 2) "disturbato" dalla presenza di zone con inversioni di velocità.

4.2.6 Linea Sismica 6 Bauladu

La linea Sismica 6 è stata eseguita a 48 canali con passo intergeofonico di 2,5 m lungo il tracciato ferroviario, spostata leggermente a Nord Est rispetto al foro di sondaggio S10 (v. Tavola 16). La profondità massima di indagine è di circa 30 m.

Lungo la sezione (v. Tavola 17), sono individuati n. 3 sismostrati. Il primo, superficiale, ha uno spessore di circa 2 m ad inizio sezione e tende ad ispessirsi progressivamente lungo lo stendimento; a fine sezione raggiunge un massimo di 7 m di potenza.

Le velocità sia delle onde compressionali che delle onde di taglio aumentano con la profondità e sono rispettivamente comprese negli intervalli 450 - 1.400/1.700 m/s e 300 - 700/800 m/s.

Segue un secondo sismostrato, anch'esso di spessore piuttosto limitato e privo di inversioni di velocità. Le onde compressionali si propagano al suo interno con

Appaltatore:  COSTRUZIONI GENERALI Progettazione:  	VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO – SASSARI – OLBIA VARIANTE DI BAULADU PROGETTO ESECUTIVO						
Indagine Geofisiche	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA RR15</td> <td style="text-align: center;">LOTTO 00</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA E ZZ</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO IG GE 00 05 001</td> <td style="text-align: center;">REV. A</td> <td style="text-align: center;">PAG. 23/25</td> </tr> </table>	COMMESSA RR15	LOTTO 00	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO IG GE 00 05 001	REV. A	PAG. 23/25
COMMESSA RR15	LOTTO 00	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO IG GE 00 05 001	REV. A	PAG. 23/25		

velocità racchiuse tra i 1.400/1.700 m/s ed i 2.500 m/s, mentre le onde di taglio assumono valori variabili nell'intervallo 700/800 – 1.450/1.500 m/s.

Il sismostrato 3, profondo, presenta generalmente velocità di propagazione delle onde elevate ma, nella fascia più superficiale, di spessore piuttosto rilevante, sono presenti sia inversioni di velocità che di attenuazione di gradiente.

La zona di Bauladu è caratterizzata dalla presenza di altopiani la cui ossatura lapidea si è costruita a seguito di successioni laviche intervallate molto probabilmente da periodi di stasi, più o meno prolungati nel tempo, durante i quali hanno potuto operare, con le loro azioni, i vari agenti esogeni.

Le intense precipitazioni che un tempo si riversavano sulla Regione, la presenza di corsi d'acqua a forte carattere torrentizio e/o con portate importanti, e la pronunciata azione dei venti ha prodotto profondi mutamenti sui materiali lapidei esposti provocandone l'alterazione, la disgregazione e quindi variazioni delle caratteristiche strutturali e tessiturali della roccia vulcanica. Eventi di colate successive hanno poi seppellito le geometrie più antiche e prodotto quindi alternanze tra lapidei lavici di medesima o simile composizione ma con differenti peculiarità fisico-meccaniche acquisite nel tempo.

Tale ricostruzione genetica, sebbene molto sintetica e semplicistica, può spiegare la similarità dei risultati conseguiti dalle indagini sismiche a rifrazione tomografica eseguite nei vari siti nell'intorno di Bauladu, con particolare riferimento alle variazioni laterali nei gradienti di velocità e soprattutto alla presenza di inversioni di velocità all'interno dei sismostrati.

4.3 Analisi dei risultati della Prova Down Hole – Allegato 3, Tavole 1-3

4.3.1 Down Hole S2 DH

La prova S2_DH è stata condotta, come precedentemente accennato, all'interno del foro geotecnico S2. La profondità del sondaggio è stata spinta fino a 29 m (profondità massima misurata all'interno del foro di sondaggio).

I risultati completi della prova, la sua ubicazione e la sua interpretazione, sono reperibili di seguito e nell'Allegato 2.

Nelle pagine seguenti, sono altresì riportati, i valori delle velocità delle onde P ed S, i valori dinamici del Coefficiente di Poisson (qui indicato col simbolo σ), del Modulo di Young dinamico (E), del Modulo di Rigidità o di Taglio (μ), nonché del Bulk Modulus (inverso della compressibilità), calcolati così come descritto precedentemente.

FORO S2 – VELOCITA' ONDE P

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Velocità media P [m/s]
1	da -1 a -4 m	3	1007
2	da -4 a -9 m	5	1723
3	da -9 a -11 m	2	2300
4	da -11 a -14 m	3	2400

Appaltatore:  COSTRUZIONI GENERALI Progettazione:  	VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO – SASSARI – OLBIA VARIANTE DI BAULADU PROGETTO ESECUTIVO
Indagine Geofisiche	COMMESSA RR15 LOTTO 00 CODIFICA E ZZ DOCUMENTO IG GE 00 05 001 REV. A PAG. 24/25

5	da -14 a -16 m	2	2549
6	da -16 a -25 m	9	3369
7	da -25 a -29 m	4	3909

FORO S2 – VELOCITA' ONDE SH

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Velocità media SH [m/s]
1	da -1 a -4 m	3	679
2	da -4 a -9 m	5	1085
3	da -9 a -11 m	2	1214
4	da -11 a -14 m	3	1314
5	da -14 a -16 m	2	1381
6	da -16 a -25 m	9	1631
7	da -25 a -29 m	4	1871

FORO S2 – PARAMETRI DINAMICI

Strato	Profondità	Spessore (m)	γ (kN/m ³)	Poisson	Young (MPa)	Taglio (MPa)	Bulk (MPa)
	(m dal p.c.)						
1	da -1 a -4 m	3	18.01	0.08	1764.40	814.47	705.45
2	da -4 a -9 m	5	19.45	0.17	5259.79	2245.01	2668.12
3	da -9 a -11 m	2	20.60	0.31	7782.26	2977.37	6717.05
4	da -11 a -14 m	3	20.80	0.29	9058.16	3521.94	7053.42
5	da -14 a -16 m	2	21.10	0.29	10198.49	3945.99	8182.06
6	da -16 a -25 m	9	22.74	0.35	15979.62	5931.82	17400.31
7	da -25 a -29 m	4	23.82	0.35	22100.29	8176.74	24789.13

Sulla base del profilo di velocità delle onde di taglio V_s nei primi 30 m di profondità, assumendo a 30 m dal piano campagna la medesima velocità dello strato compreso tra 25 m e 29 m, è possibile determinare una velocità equivalente V_{s30} rappresentativa del sito in esame.

Secondo la normativa italiana in materia di progettazione antisismica "O.P.C.M. n° 3274/2003" e sue modifiche e le Norme Tecniche di Costruzione (D.M. 14/01/2008) e sue modifiche e, ancora, secondo la normativa europea Eurocodice 8, il valore calcolato di V_{s30} è pari a

$$V_{s30} = 1232 \text{ m/s.}$$

Al di là del valore del parametro, viste l'esiguità dei terreni di copertura e la presenza di un substrato lapideo sub-affiorante con velocità delle onde di taglio elevate già a modestissime profondità, è possibile attribuire al sito la categoria di sottosuolo "A".

Tale categoria viene assegnata anche tenendo conto dei risultati delle indagini sismiche a rifrazione eseguite sul medesimo sito.

Appaltatore:  COSTRUZIONI GENERALI Progettazione:  	VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO – SASSARI – OLBIA VARIANTE DI BAULADU PROGETTO ESECUTIVO						
Indagine Geofisiche	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA RR15</td> <td style="text-align: center;">LOTTO 00</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA E ZZ</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO IG GE 00 05 001</td> <td style="text-align: center;">REV. A</td> <td style="text-align: center;">PAG. 25/25</td> </tr> </table>	COMMESSA RR15	LOTTO 00	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO IG GE 00 05 001	REV. A	PAG. 25/25
COMMESSA RR15	LOTTO 00	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO IG GE 00 05 001	REV. A	PAG. 25/25		

5. BIBLIOGRAFIA

Aki K., 1964. A note on the use of microseisms in determining the Shallow structures of the earth's crust, *Geophysics*, 29, 665–666.

Ben-Menahem A. E SINGH S.J., 1981. *Seismic Waves and Sources*, Springer-Verlag, New York.

Burnham, G. F. and Hawke, P. J., Smart solution to a sticky problem: in-mine clay mapping using high-resolution geophysics. (In Press).

Coffeen, J.A., 1978. "Seismic exploration fundamentals". Pubb. Co.;

Dobrin, M.B., 1976. "Introduction to Geophysical prospecting". McGraw-Hill Book Co.;

Cavinato, G. P., Di Luzio, E., Moscatelli, M., Vallone, R., Averardi, M., Valente, A., and Papale, S. [2006] The new Col di Tenda tunnel between Italy and France: Integrated geological investigations and geophysical prospections for preliminary studies on the Italian side. *Engineering Geology* 88, 90-109.

Ganerød, G. V., Rønning, J. S., Dalsegg, E., Elvebakk, H., Holmøy, K., Nilsen, B., and Braathen, A. [2006] Comparison of geophysical methods for sub-surface mapping of faults and fracture zones in a section of the Viggja road tunnel, Norway. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 65, 231-243.

John m. Reynolds, (1997). "An introduction to applied and environmental geophysics", pp. 415-488, Wiley, England.

6. Allegati

Al fine di limitare la dimensione del file, gli allegati di seguito elencati non sono stati assemblati nel presente pdf, ma sono disponibili nello zip consegnato su PDM.

6.1 ALLEGATO GRAFICO N.1 – INDAGINI FDEM

6.2 ALLEGATO GRAFICO N. 2 – INDAGINI SISMICHE RIFRAZIONE

6.3 ALLEGATO GRAFINO N.3 – INDAGINI SISMICHE DOWN HOLE