

Project Title: **Trans Adriatic Pipeline – TAP**

Document Title: **Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel**

IPL00-URS-000-Q-TRG-0002

Rev.: 00 / all. 05

URS

TAP - Trans Adriatic Pipeline

SOIL INVESTIGATION ITALY

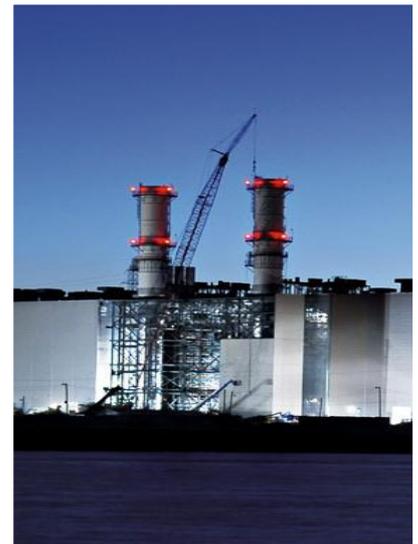
Preparato per:
E.ON Technologies GmbH

Luglio, 2015

Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel (Italia)

Allegato 05

Rapporto tecnico delle prospezioni geofisiche del 2015



Project Title: **Trans Adriatic Pipeline – TAP**

Document Title: **Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel**

**IPL00-URS-000-Q-TRG-0002
Rev.: 00 / all. 05**

PERCORSO DI REDAZIONE / APPROVAZIONE DEL DOCUMENTO

VERSIONE	NOME	FIRMA	DATA	POSIZIONE
Preparato da	A. Passero		Luglio, 2015	Senior Geologist
Controllato da	P. Alesina		Luglio, 2015	Project Manager
Approvato da	G. Lucchini		Luglio, 2015	Technical Director

TITOLO:

STUDIO GEOTECNICO E
GEOFISICO NELL'AREA DEL
MICROTUNNEL (ITALIA)
Allegato 05

Progetto No.

46318-441

Contatto / Cliente:

Florian Guballa

Cliente:

E.ON Technologies GmbH
Alexander-von-Humboldt-Straße 1
45896 Gelsenkirchen

Emesso da:

URS Italia S.p.A.
Via G. Watt, 27
20143 Milano (Italy)

REVISIONI DEL DOCUMENTO

VERSIONE	DATA	Dettagli delle Revisioni
0A	15/07/2015	Bozza per revisione
00	31/07/2015	Versione finale



URS Italy S.p.A.

TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT

INDAGINI GEOFISICHE

INDAGINI SISMICHE E GEOELETTRICHE ADDIZIONALI

ESEGUITE SULLA TERRAFERMA

RAPPORTO TECNICO

Commessa No	214/14
File	214-14_URS Italy – Indagini geofisiche addizionali eseguite sulla terraferma – TAP – MICROTUNNEL
Rev.	Rev. 0
Documento No.	03

TECNO IN S.P.A.

Registered and Operating Office: 20097 *San Donato Milanese (MI)* – Via Marcora,52 – Tel. 02.496.80.501/Fax 02.496.80.502

Administrative and Operating Office: 80142 *Napoli* – Il Trav. Strettola S. Anna alle Paludi, 11 - Tel. 081.563.45.20/Fax 081 563.39.70

Operating Office: 07046 *Porto Torres (SS)* – Piazza Garibaldi 14 – Tel. 346.0363883

Secondary Operating Offices: Messina, L'Aquila e Crotone

Nuit: 05016170630



Tecnoin Mozambique Lda

Maputo Office: Rua Da Se, n.1

Nuit: 400497788

Email: tecnoin@tecnoin.it

Web Site: www.tecnoin.it

INDICE

1 - Introduzione	4
2 - Prospezioni geofisiche. Descrizione della metodologia, acquisizione ed elaborazione dati .8	
2.1 – Prospezione geofisica con metodologia geoelettrica	8
2.1.1 – <i>Descrizione della metodologia, acquisizione ed elaborazione dati</i>	8
2.1.1.1 – Proprietà elettriche di rocce e sedimenti.....	14
2.1.1.2 – Descrizione della strumentazione utilizzata	16
2.1.2 – <i>Descrizione delle attività di campo: Micro-tunnel</i>	17
2.2 – Prospezione geofisica con sondaggi elettrici verticali (SEV)	22
2.2.1 – <i>Descrizione della metodologia, acquisizione ed elaborazione dati</i>	22
2.2.2 – <i>Descrizione delle attività di campo: Micro-tunnel</i>	23
2.3 – Prospezione geofisica con metodologia sismica a rifrazione.....	26
2.3.1 – <i>Descrizione della metodologia, acquisizione ed elaborazione dati</i>	26
2.3.1.1 – Descrizione della strumentazione utilizzata	30
2.3.2 – <i>Descrizione delle attività di campo: Micro-tunnel</i>	31
2.4 – Prospezione geofisica con metodologia sismica MASW.....	36
2.4.1 – <i>Descrizione della metodologia, acquisizione ed elaborazione dati</i>	36
2.4.2 – <i>Identificazione delle categorie di suolo ai sensi dell’Eurocode 8: Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici</i>	38
2.4.2.1 – Descrizione della strumentazione utilizzata	41
2.4.3 – <i>Descrizione delle attività di campo: Micro-tunnel</i>	42
2.5 – Prospezione geofisica con metodologia sismica in foro down-hole	45
2.5.1 – <i>Descrizione della metodologia, acquisizione ed elaborazione dati</i>	45
2.5.1 – <i>Descrizione delle attività di campo: Micro-tunnel</i>	49
3 - Prospezioni geofisiche. Commento alle indagini.....	52
3.1 – Prospezioni geoelettriche e sismiche a rifrazione. Area Micro-tunnel	52
3.1.1 – <i>Profilo PR_B</i>	54
3.1.2 – <i>Profile PR_D</i>	56
3.2 – Prospezione sismica M.A.S.W.....	58
3.3 – Prospezioni sismiche down-hole.....	59
3.4 – Prospezione geofisica con sondaggi elettrici verticali (SEV)	60

ALLEGATI

ALLEGATO 1:

Dati elaborati

Risultanze delle prospezioni sismiche e geoelettriche: PR_B

Risultanze delle prospezioni sismiche e geoelettriche: PR_D

ALLEGATO 2:

Profili sismici.

Dromocroni e modelli di velocità di propagazione delle onde sismiche

ALLEGATO 3:

Prospezioni sismica MASW.

Dati elaborati.

ALLEGATO 4:

Prospezioni sismiche DOWN-HOLE.

Dati elaborati.

ALLEGATO 5:

Prospezioni geoelettriche SEV per la Protezione Catodica.

Dati elaborati.

1 - Introduzione

Tecno In S.p.A. ha ricevuto l'incarico dalla società *URS Italy S.p.A.*, con ordine di lavoro No. 201502/106, Job No. 46318-441, di eseguire, nell'ambito del progetto *Trans Adriatic Pipeline Project*, indagini geofisiche aggiuntive (geoelettrica, sismica a rifrazione, SEV, down-hole, MASW), presso la terraferma, nel territorio di Melendugno (LE).

L'area d'indagine è situata nella regione Puglia, presso la costa centro meridionale del Salento. L'approdo del gasdotto sarà situato nel tratto di costa compreso tra le località di San Foca e Torre Specchia Ruggeri, ricadenti nel citato comune di Melendugno.

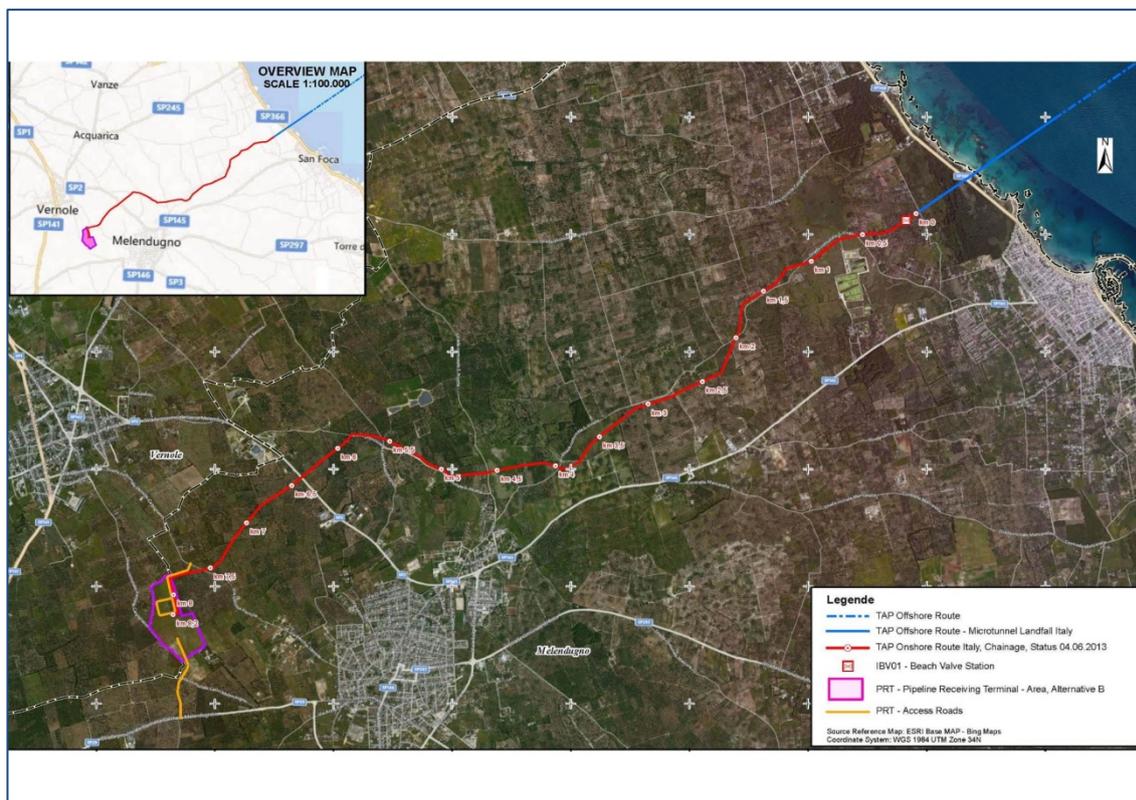


Figura 1 – Melendugno – TAP. Sito d'indagine.

Le prospezioni geofisiche sono consistite in un insieme di indagini finalizzate all'approfondimento dei seguenti punti:

- ottenere la caratterizzazione stratigrafica dei terreni interessati dall'opera;
- identificare anomalie sotterranee così come cavità naturali o artificiali oppure strutture sepolte;
- definire la resistività elettrica del terreno per fornire indicazioni utili alla progettazione degli apparati per la protezione catodica del gasdotto (*Micro-tunnel*);
- determinare il profilo verticale delle onde di taglio mediante MASW oppure down-hole.

La commessa è stata espletata mediante le seguenti prospezioni:

- esecuzione di prospezioni sismiche e geoelettriche per circa 4,5 km, con elaborazione tomografica dei dati, eseguite nel comune di Melendugno, nell'area del Terminale di Ricezione del gasdotto (PRT), lungo il tracciato del gasdotto, nella palude di Cassano e presso la pineta di San Basilio;
- n.5 sondaggi elettrici verticali (S.E.V.), per la progettazione degli apparati per la protezione catodica;
- n.2 prospezioni sismiche in foro di tipo down-hole;
- n.3 prospezioni sismiche MASW, effettuate presso il Terminale di Ricezione PRT e l'area del Micro-tunnel.

Le Figura seguenti illustrano l'ubicazione delle prospezioni geoelettriche (**rosso**) e sismiche (**blu**).



*Figura 2 – Melendugno – TAP
Ubicazione delle prospezioni geoelettriche.*



*Figura 3 – Melendugno – TAP.
Ubicazione delle prospezioni sismiche.*

Sito: Melendugno (LE) – Italia
Committente: URS Italy S.p.A.
Progetto: Indagini sismiche e geoelettriche aggiuntive eseguite sulla terraferma
File: 214-14_URS Italy – Indagini geofisiche aggiuntive eseguite sulla terraferma – TAP – MICROTUNNEL
Documento N°: 03

Invece, la figura 4 mostra l'ubicazione delle prospezioni geoelettriche SEV, eseguite per la progettazione degli apparati per la protezione catodica (**viola**), le prospezioni sismiche MASW (**verde**) e le prospezioni sismiche in foro down-hole (**celeste**).



Figura 4 – Melendugno – TAP
Ubicazione delle prospezioni MASW (**verde**) SEV (**viola**) e down-hole (**celeste**).

Si sottolinea che, a causa di condizioni logistiche (presenza di strade, muri, ecc.), il piano delle indagini è stato adattato man mano ai luoghi, in accordo con il Cliente.

Le prospezioni geofisiche sono iniziate il 24 marzo 2015 e proseguite sino al mese di giugno 2015. Esse sono state effettuate da un team composto da n.2/3 unità: n.1 geologo senior (geofisico) e n.1 o n.2 tecnici a supporto.

Tutte le attività sono state supervisionate dal Dr. geol. Alfredo Passero, della società URS Italy S.p.A.

2 - Prospezioni geofisiche.

Descrizione della metodologia, acquisizione ed elaborazione dati

2.1 – Prospezione geofisica con metodologia geoelettrica

2.1.1 – Descrizione della metodologia, acquisizione ed elaborazione dati

Le prospezioni geoelettriche si basano, in generale, sugli effetti prodotti da una corrente elettrica, di origine naturale o artificiale circolante nel sottosuolo, rilevabili in superficie attraverso misure in termini di differenze di potenziale. Il metodo di investigazione adottato per l'indagine in oggetto è quello della resistività in corrente continua.

Di seguito, si fornisce una breve descrizione dei principi che sono alla base del citato metodo di esplorazione e del potere risolutivo nell'ambito della problematica in esame.

Il metodo geoelettrico in corrente continua consiste nella determinazione sperimentale di un set di valori di resistività che, in accordo ad una formulazione matematica deducibile direttamente dalle leggi dell'elettromagnetismo per campi stazionari, descrivono una qualsiasi struttura complessa formata da materiali fisicamente diversi in contatto elettrico.

La resistività elettrica (ovvero l'inverso della conducibilità) esprime la maggiore o minore propensione di un materiale a farsi attraversare dalla corrente e dipende da molti fattori, i più importanti dei quali sono la presenza di acque ionizzate e/o di particelle minerali metalliche nella struttura dei pori. Entrambi i fattori, infatti, possono dar luogo a traiettorie interne particolarmente conduttive, in contrasto con situazioni resistive caratterizzate da strutture compatte e/o pori anidri.

La finalità delle prospezioni geoelettriche è stata quella di determinare la distribuzione di resistività nel sottosuolo effettuando misurazioni dal piano campagna. Mediante tali misurazioni, può essere stimata la resistività reale del sottosuolo.

L'indagine consiste nel posizionare sul terreno una serie di picchetti in acciaio, allineati ed equidistanziati. Successivamente, si immette nel terreno una corrente di intensità nota (**I**) attraverso una coppia di picchetti (**AB**) e si misura la corrispondente differenza di potenziale (ΔV) generata dal passaggio di tale corrente, in corrispondenza di un'altra coppia di picchetti (**MN**).

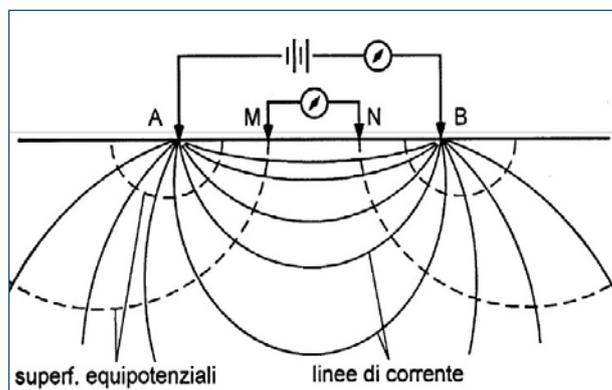


Figura 5 – Prospezione Geoelettrica

In particolare, la tecnica di *tomografia elettrica* eseguita lungo profili, adottata nell'indagine in oggetto, consente di ottenere l'andamento della resistività elettrica del sottosuolo lungo una sezione passante per l'allineamento di elettrodi in termini bidimensionali (2D). In fase esecutiva, gli elettrodi, opportunamente posizionati sul terreno, sono utilizzati sia per immettere corrente sia per misurare differenze di potenziale, secondo una sequenza opportunamente predisposta ed automatizzata dallo strumento di acquisizione.

Come riportato nella figura seguente, attraverso i primi elettrodi indicati con le sigle C1 e C2, si immette nel terreno una corrente continua e si misura la differenza di potenziale ΔV che si viene a generare ai capi di altri due elettrodi, indicati con le sigle P1 e P2, posti simmetricamente al centro dell'allineamento tra C1 e C2 o affiancati ad essi.

La disposizione reciproca degli elettrodi di corrente e di potenziale, viene definita configurazione elettrodica o semplicemente array.

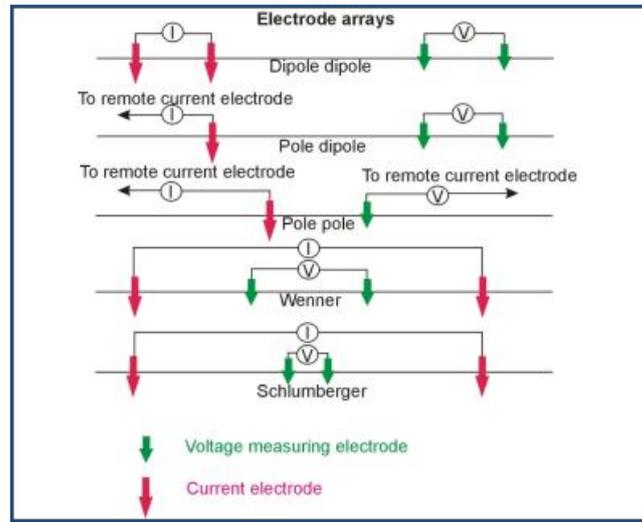


Figura 6 – Differenti array geoelettrici.

Dai valori di I (intensità della corrente) e di ΔV (differenza di potenziale) misurati, è possibile ottenere informazioni relative alle variazioni sia laterali che verticali della resistività apparente (ρ_a) del sottosuolo, ottenendo in tal modo una pseudosezione.

Poiché il sottosuolo non è elettricamente omogeneo ed isotropo, quando vi si immette corrente, una qualsiasi causa di variazione di conducibilità ne altera il flusso provocando, di conseguenza, un'anomala distribuzione del potenziale rispetto a quella che si avrebbe in un sottosuolo omogeneo. In pratica è come se si misurasse una "anomalia".

Il rilevamento geoelettrico consiste nell'uso dei valori di resistività apparente, derivati da misure di campo in vari punti e con diverse configurazioni, per stimare la vera resistività dei diversi strati e ricostruire spazialmente i loro limiti al di sotto della superficie topografica.

Al variare della configurazione (o array) di uno stendimento geoelettrico, varia la costante definita dal fattore geometrico. Diverse configurazioni di elettrodi, con spaziatura variabile, vengono di norma utilizzate per riconoscere meglio variazioni laterali o verticali di resistività apparente, che possono riflettere variazioni litologiche.

Il volume di terreno indagato dipende essenzialmente da tre fattori: dai contrasti di resistività nel sottosuolo, dalla lunghezza dello stendimento (ovvero dallo spazio libero presente in superficie) e dal tipo di configurazione elettrodica adottata (Wenner, dipolo-dipolo, etc.). Per indagare sui cambiamenti a maggiore profondità, si aumenta la spaziatura degli elettrodi; inoltre, variando la distanza tra i picchetti, è possibile intensificare il numero di misure e, pertanto, aumentare la precisione di indagine richiesta.

Dalle misurazioni eseguite, si ottiene la *pseudosezione misurata* che fornisce un'approssimazione della distribuzione della *resistività* nel sottosuolo poiché, tale distribuzione, varia a seconda del dispositivo elettrodico utilizzato, dando, comunque, un primo step per un'interpretazione quantitativa (*Figura 7-a*).

Il passo successivo è la risoluzione del cosiddetto *modello diretto* mediante il quale si ottiene una pseudosezione bidimensionale in cui è rappresentata la distribuzione della *resistività apparente calcolata* avvalendosi di un ipotetico rilievo compiuto sulla medesima struttura.

L'elaborazione del *modello diretto* si esegue suddividendo il sottosuolo in un insieme di blocchi regolari per ognuno dei quali è determinata la *resistività apparente* mediante un procedimento iterativo ai minimi-quadrati; successivamente si verifica se il valore calcolato sia in accordo o meno con i valori di *resistività* misurati durante la fase di campo. In questa fase possono essere poste in input al modello eventuali strutture sepolte, se ipotizzate, quali aree fratturate, corpi sepolti, etc.

La suddetta procedura consente di ottenere la *pseudosezione calcolata* (*Figura 7-b*).

Verificata la congruenza tra la *pseudosezione misurata* e la *pseudosezione calcolata*, si deve procedere alla modellizzazione di un sottosuolo le cui caratteristiche elettriche sono proprio definite mediante la misurazione dei valori di resistività in superficie (*Figura 7-c*).

Tuttavia, affinché si possa risalire ad un modello di sottosuolo che sia in accordo con i dati misurati, è essenziale avvalersi dei cosiddetti *metodi d'inversione*. La procedura d'*inversione* comporta che i parametri del modello siano costituiti da valori di *resistività* assegnati ad un insieme di blocchi regolari costituenti il sottosuolo che sono posti successivamente a confronto con i valori misurati di *resistività apparente*.

Siccome è noto che per lo stesso insieme di dati esiste un'ampia gamma di modelli i cui valori calcolati di *resistività apparente* collimano con il dataset misurato, il metodo d'*inversione* cerca di minimizzare la differenza tra i valori di resistività apparente misurata e calcolata (problema di equivalenza). La variazione riscontrata è espressa in termini di scarto quadratico medio.

L'iterazione che consente di ottenere un accordo tra i dati con il minore RMS possibile fornisce, quindi, il modello di sottosuolo che viene analizzato in fase interpretativa.

Per l'elaborazione dei dati di resistività, è stato utilizzato l'algoritmo di Loke e Barker scritto nel 1996 ed in particolare il software *RES2DINV*, della Geotomo Int.

Si ribadisce, tuttavia, che il dettaglio con il quale si riescono a discriminare le variazioni di *resistività* del sottosuolo e, di conseguenza, la possibilità di distinguere le diverse strutture o corpi in esso presenti, dipendono dalla distanza minima tra gli elettrodi di misura e dalla lunghezza dello stendimento e non solo dalla discretizzazione del sottosuolo in elementi regolari.

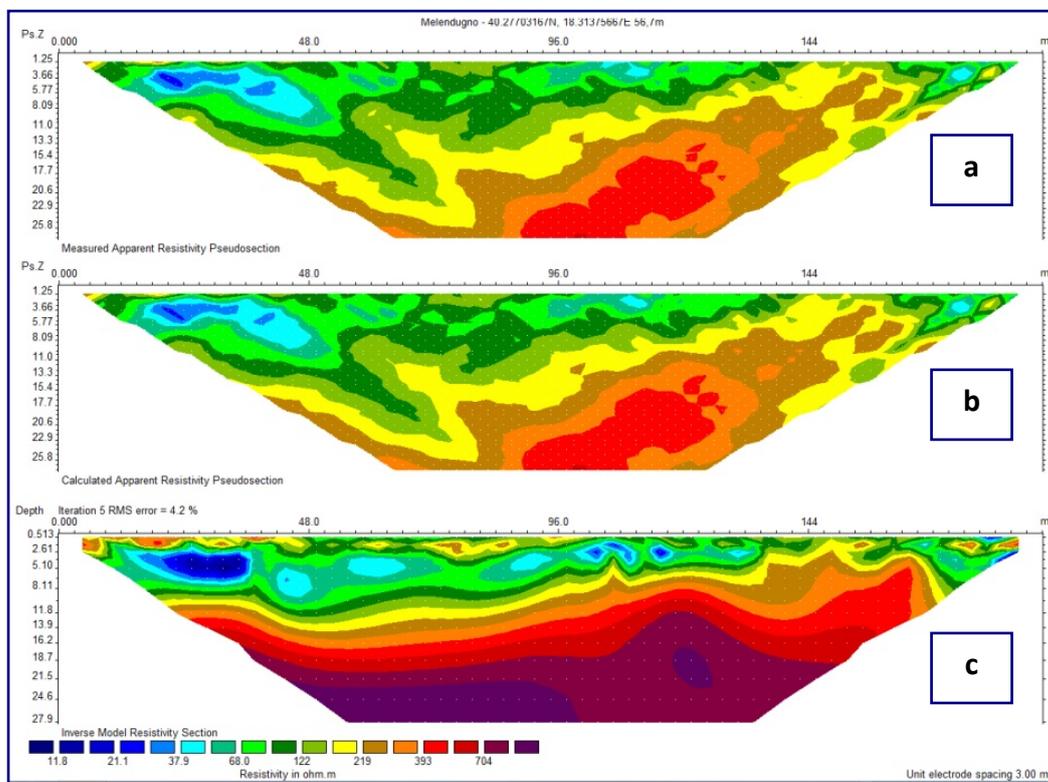


Figura 7 – Esempio di pseudosezione di resistività: modello misurato (a), modello calcolato (b) e inversione tomografica (c) o modello finale.

Immagini di repertorio.

2.1.1.1 – Proprietà elettriche di rocce e sedimenti

La maggior parte delle rocce presenta caratteristiche di conducibilità di tipo elettrolitico dato che, con le eccezioni di alcuni minerali metallici, quasi tutti i minerali sono isolanti. La conducibilità è dovuta, quindi, essenzialmente all'acqua interstiziale ed è in larga misura funzione della porosità, del contenuto d'acqua e della quantità di sali disciolti nell'acqua. La presenza di fluidi nel sottosuolo fa sì che rocce e terreni, attraversati dalla corrente, si comportino relativamente come dei buoni conduttori di elettricità; al contrario le strutture con scarso contenuto di fluidi, come rocce asciutte non fratturate e cavità naturali o di natura antropica, si comportano come dei cattivi conduttori di corrente, se non addirittura come degli isolanti.

Pertanto, le geometrie sepolte rispondono al flusso di corrente artificiale, immessa con diverse modalità, in funzione del parametro fisico che regola tale comportamento: la resistività elettrica ρ (Ohm*m).

La resistività è una proprietà assai variabile, anche all'interno della stessa formazione litologica; ciò è particolarmente vero per i materiali poco consolidati prossimi alla superficie, come detriti e regolite (suolo).

Di seguito, sono forniti alcuni valori indicativi della resistività di rocce e sedimenti, valori che vanno utilizzati con le limitazioni suddette (*Figura 8*).

In particolare, come si osserva dalla tabella di sinistra i valori degli intervalli di resistività, per molti litotipi, spesso si sovrappongono e ciò ne rende problematica l'univoca identificazione.

Per un dato tipo di materiale esiste un ampio *range* di variabilità del valore di resistività, a seconda che esso risulti secco (*dry*) o bagnato (*wet*).

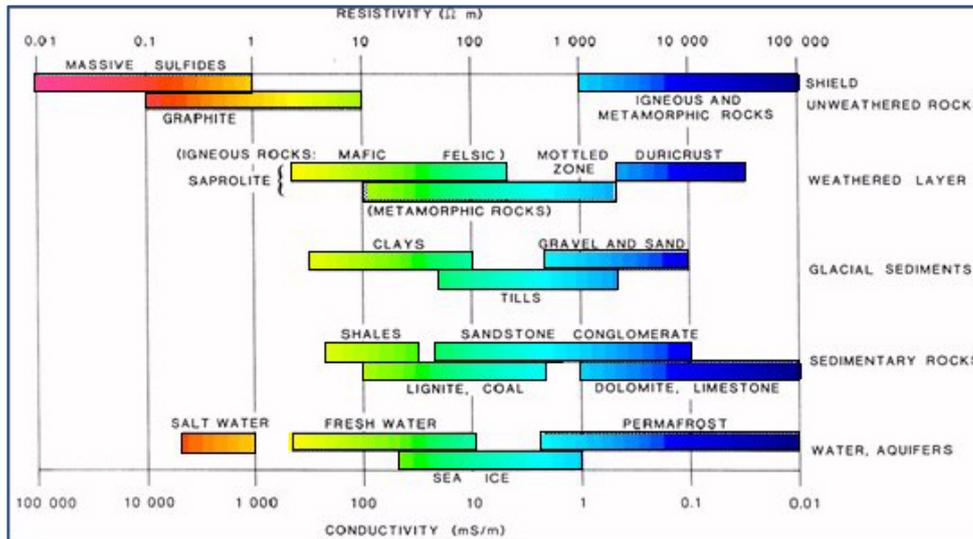


Figura 8 - Valori sperimentali della resistività delle più comuni rocce, suoli e minerali.

2.1.1.2 – Descrizione della strumentazione utilizzata

Per eseguire le misurazioni è stato adoperato un georesistivimetro **M.A.E. X612-EM+** per tomografia geoelettrica equipaggiato con 96 elettrodi per l'energizzazione e l'acquisizione dati.

Al fine di minimizzare eventuali scarti delle misure, per ciascun profilo, sono state eseguite misure reiterate al fine di ottenere un dato medio di resistività attendibile

Di seguito, si riportano le caratteristiche tecniche della strumentazione adoperata.



Figura 9 – Georesistivimetro
M.A.E. X612-EM+

Georesistivimetro X612-EM+

Caratteristiche

- Risoluzione scheda di acquisizione 24 bit
- Potenza del generatore interno 250 Watt
- Uscita voltaggio: $\pm 50V$, $\pm 100V$, $\pm 250V$, $\pm 500V$, $\pm 800V$ nominali
- Risoluzione della misura $\pm 1.5\mu V$
- Compensazione automatica del potenziale spontaneo
- Misura della resistenza di contatto per singolo elettrodo
- IP programmabile in time domain
- Energizzazione su onda quadra programmabile dall'utente
- Possibilità di variare a piacimento il sistema di acquisizione e le quantità delle misure in qualsiasi momento
- Possibilità di controllo, in qualsiasi momento, dei dati acquisiti.

La sequenza di scansione dei picchetti è stata preliminarmente prefissata, via software, mediante l'elaborazione di una matrice di punti, stabilendo il passo (a) ed il valore di livelli "n", i quali vanno a definire la densità spaziale e, conseguentemente, la risoluzione verticale della misura.

2.1.2 – Descrizione delle attività di campo: Micro-tunnel

Le prospezioni geoelettriche sono state eseguite in corrispondenza di **n.2** profili, ubicati nella pineta di San Basilio, nell'area che sarà interessata dalla realizzazione del micro-tunnel.

A causa della fitta vegetazione (macchia "Mediterranea"), l'ubicazione dei profili è stata adattata alla logistica del sito.

Perciò i profili **PR_A** e **PR_C**, non sono stati realizzati mentre i profili **PR_B** e **PR_D** sono stati effettuati adattandoli alla morfologia ed alla logistica del sito.



Figura 10 – Melendugno. TAP. Prospezioni geofisiche eseguite presso l'area Micro tunnel.

Le indagini geoelettriche sono state effettuate con la modalit  di seguito descritte.

Profilo¹	Lunghezza (m)	Spaziatura (m)	Roll-along	Percentuale di sovrapposizione (%)
PR_B	94	2	NO	
PR_D	141	3	NO	

Tabella 1 - Melendugno. TAP. Dettaglio delle prospezioni geoelettriche.

Come si evince dalla tabella precedentemente riportata, per il profilo **PR_B**   stata adottata una spaziatura pari a 2 metri mentre per il profilo **PR_D** la spaziatura   stata pari a 3 metri.

¹ Naming profiles refers to the revision of the April 20, 2015 of URS Investigation plan.



Foto 1 - Melendugno. TAP. Prospezione geoelettrica. Profilo PR_B.



Foto 2 - Melendugno. TAP. Prospezione geoelettrica. Profilo PR_B.



Foto 3 - Melendugno. TAP. Prospezione geoelettrica. Profilo PR_D.



Foto 4 - Melendugno. TAP. Prospezione geoelettrica. Profilo PR_D.

In fase esecutiva, identificato il profilo da investigare, mediante metodo topografico, si è proceduto all'infissione di picchetti in acciaio antimagnetico ed al loro successivo collegamento con i cavi multipolari al georesistivometro.

Prima dell'acquisizione, onde garantire una bassa resistività di contatto, in corrispondenza di ciascun elettrodo, è stata versata una soluzione salina (notoriamente conducibile).

Al termine della verifica dei collegamenti e della resistenza di contatto, il geofisico ha dato il via all'acquisizione dei dati. Per ciascun quadripolo, in modalità automatica, sono state effettuate tre misurazioni, distinte tra loro, mediate dal software. Al termine dell'acquisizione, osservando lo scarto quadratico medio delle misurazioni, il geofisico ha proceduto alla ripetizione di quelle misure risultate al di fuori dal range ritenuto ammissibile.

Ultimate le operazioni di verifica del dato, si è proceduto al loro salvataggio ed ad un post-processing speditivo, direttamente in sito, avvalendosi del software Res2dinv 3.5 della Geotomo software, al fine di validare le misurazioni compiute.

2.2 – Prospezione geofisica con sondaggi elettrici verticali (SEV)

2.2.1 – Descrizione della metodologia, acquisizione ed elaborazione dati

Le misurazioni delle resistività elettrica del sottosuolo, mediante la tecnica SEV, sono state effettuate per fornire indicazioni utili alla progettazione degli apparati per la Protezione catodica del gasdotto.

Le misurazioni di resistività sono state effettuate utilizzando l'array Schlumberger (vedi Figura 6 and Figura 11), materializzando uno stendimento avente lunghezza massima pari a 50 m.

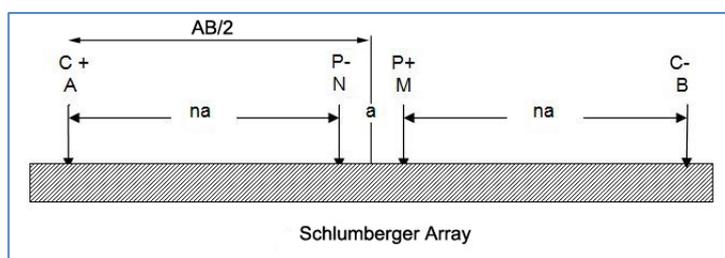


Figura 11 – Melendugno. TAP. Prospezioni SEV. Array Schlumberger.

Per ciascuna indagine sono stati acquisiti n.15 valori di resistività con differenti distanze elettrode (AB/2), in modo da investigare orizzonti posti a profondità gradualmente crescente; in particolare, sono state investigate quattro differenti profondità, così come richiesto dalle specifiche tecniche: 1.5m, 3 m, 6 m e 10 m.

I dati sono stati processati con il software IPI2Win (sviluppato dalla *Moscow State University*), progettato per interpretare, in modalità semi-automatica, le prospezioni elettriche verticali.

La finalità della sub-routine di inversione è nel determinare lo spessore e la resistività degli strati di un modello 1-D che produce un output che tende a combaciare il modello misurato.

2.2.2 – Descrizione delle attività di campo: Micro-tunnel

Le misurazioni della resistività elettrica del sottosuolo, mediante la tecnica SEV, sono state effettuate per fornire indicazioni utili alla progettazione degli apparati per la Protezione catodica del gasdotto. Come riportato in specifica, le misurazioni sono state effettuate ogni 40 metri lungo la sezione del gasdotto, tra il punto d'ingresso del micro-tunnel e la posizione proposta per il giunto d'isolamento, tra i sondaggi **ST_BH1** e **ST_BH2**, ponendo gli elettrodi sul terreno, perpendicolarmente e parallelamente ad esso.

Per ciascuna indagine SEV sono stati acquisiti n.15 valori di resistività con differenti distanze elettrodiche ($AB/2$), in modo da investigare orizzonti posti a profondità gradualmente crescente; in particolare, sono state investigate quattro differenti profondità, così come richiesto dalle specifiche tecniche: 1.5m, 3 m, 6 m e 10 m.

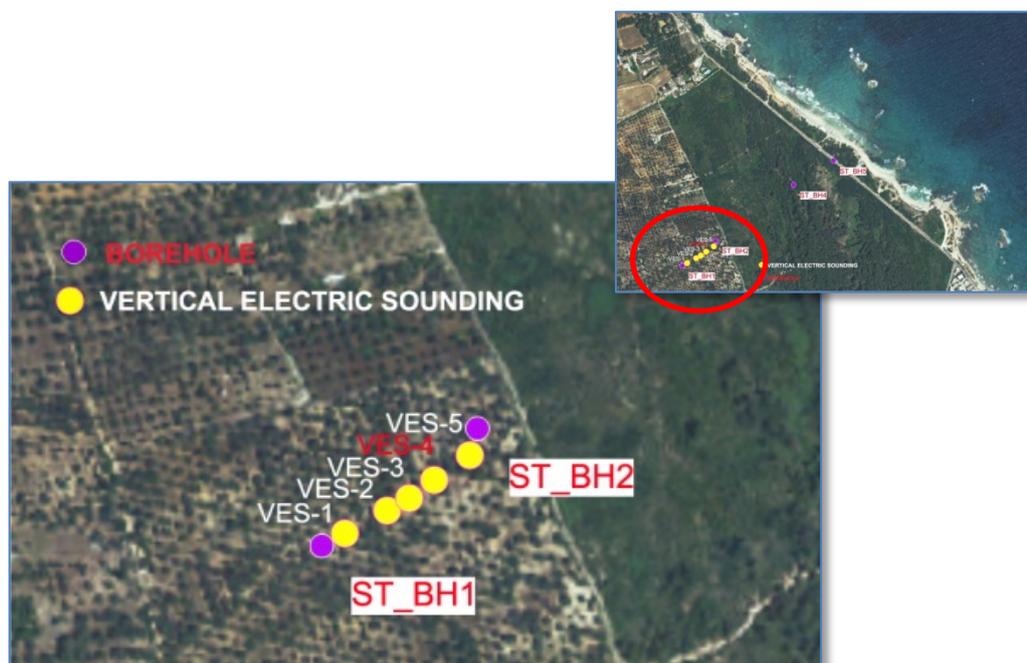


Figura 12 – Melendugno. TAP. Sito delle prospezioni geoelettriche SEV presso l'area micro-tunnel.

Le prospezioni geoelettriche SEV sono state così eseguite:

#SEV	Codice	AB/2 max. distanza (m)	Orientamento rispetto all'asse del gasdotto
1	SEV-1-A	50,00	ortogonale
	SEV-1-B	50,00	parallelo
2	SEV-2-A	50,00	ortogonale
	SEV-2-B	50,00	parallelo
3	SEV-3-A	50,00	ortogonale
	SEV-3-B	50,00	parallelo
4	SEV-4-A	50,00	ortogonale
	SEV-4-B	50,00	parallelo
5	SEV-5-A	50,00	ortogonale
	SEV-5-B	50,00	parallelo

Tabella 2 – Melendugno. TAP. Dettaglio delle indagini eseguite

I dati sono stati processati con il software IPI2Win (sviluppato dalla *Moscow State University*), progettato per interpretare, in modalità semi-automatica, le prospezioni elettriche verticali.

La finalità della sub-routine di inversione è nel determinare lo spessore e la resistività degli strati di un modello 1-D che produce un output che tende a combaciare il modello misurato.

Per eseguire le misurazioni è stato adoperato un georesistivimetro **M.A.E. X612-EM+**.



*Foto 5 - Melendugno. TAP. Prospezione geoelettrica 1D VES. **VES-2**.
Prospezioni eseguite parallelamente ed ortogonalmente al tracciato del gasdotto.*



*Foto 6 - Melendugno. TAP. Prospezione geoelettrica 1D VES. **VES-3**.
Prospezioni eseguite parallelamente ed ortogonalmente al tracciato del gasdotto.*

2.3 – Prospezione geofisica con metodologia sismica a rifrazione

2.3.1 – Descrizione della metodologia, acquisizione ed elaborazione dati

L'utilizzo delle prospezioni sismiche a rifrazione (per mezzo soprattutto di energizzazione in onde P) ha riscontrato nel corso degli anni una crescente applicabilità negli studi geologico-tecnici (ricerche idrogeologiche, geotecniche, ingegneristiche, etc..).

Lo scopo di tale indagine è la ricostruzione dei sismostrati, in base alla velocità di propagazione delle onde di compressione, al fine di determinare le geometrie sepolte (spessori e superfici di contatto) dei sismostrati stessi.

Materiale	Vp (m/s)
Aerato superficiale	300 - 800
Sabbia, ghiaia e loess secchi; suoli alterati superficiali	300 - 800
Sabbia asciutta	500 - 1000
Sabbia umida	600 - 1800
Argilla	1800 - 2900
Terreni alluvionali sciolti	400 - 2000
Acqua	1450 - 1500
Lave	2500 - 4000
Calcare	3500 - 5000
Calcare molto fratturato	2000 - 3000
Arenarie	2500 - 4500
Graniti	4000 - 6000
Piroclastiti coerenti (tufo)	750 - 2450
Piroclastiti incoerenti (pozzolane)	350 - 1000
Unità Flyschoidi compatta (livello di base)	2700 - 3700

Tabella 3 – Prospezione sismica a rifrazione. Velocità di propagazione delle onde P.

Come è noto, si suppone che, nell'ambito della porzione di sottosuolo indagata, la distribuzione delle velocità sismiche sia crescente con la profondità; questa infatti è la condizione necessaria affinché si verifichi il fenomeno della doppia rifrazione, attraverso il quale, il treno d'onde sismico generato è in grado di essere registrato dai geofoni posti in superficie. Altrimenti, si potrà incorrere nel fenomeno cosiddetto dell'orizzonte muto, ovvero nell'impossibilità di poter distinguere ed individuare strati con velocità di propagazione delle onde sismiche inferiori rispetto ai livelli sovrastanti.

La prova sismica a rifrazione consiste nel produrre sulla superficie del terreno, in prossimità del sito da investigare, sollecitazioni dinamiche verticali per la generazione delle onde P e nel registrare le vibrazioni prodotte, sempre in corrispondenza della superficie, a distanze note e prefissate mediante opportuni sensori (geofoni).

L'apparecchiatura utilizzata per questo tipo di prove si deve comporre delle seguenti parti:

- sistema energizzante;
- sistema di ricezione;
- trigger;
- sistema di acquisizione dati.

Il trigger consiste in un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui il grave colpisce la base di battuta, consentendo ad un condensatore di scaricare la carica precedentemente immagazzinata e la produzione di un impulso che viene inviato a un sensore collegato al sistema di acquisizione dati; in questo modo è possibile individuare e visualizzare l'esatto istante in cui la sorgente viene attivata e parte la sollecitazione dinamica.

Il sistema di acquisizione dati deve essere di tipo multicanale (almeno 24 canali) in grado di registrare su ciascuno di essi in forma digitale le forme d'onda e di conservarle su memoria di massa dinamica pari a 24 bit.

Esso è collegato, mediante cavi multipolari, a ciascuno dei trasduttori di velocità ed al trigger, consentendo quindi di registrare in forma numerica e visualizzare come tracce su un apposito monitor le vibrazioni a partire dall'impulso inviato dal trigger.

In fase di acquisizione dati, in caso di presenza di noise indotto da vicini impianti industriali, per ciascun tiro, si procede all'acquisizione di un numero adeguato di stacks.

L'elaborazione dei dati è realizzata mediante software ad elevata valenza diagnostica in grado di fornire i valori dei parametri di velocità, relativi ai rifrattori individuati, per ogni stazione geofonica con particolare riferimento al caso di morfologie ondulate sia della superficie topografica sia dei rifrattori.

L'interpretazione dei segnali rilevati e la conseguente stima del profilo di velocità delle onde P, può essere suddivisa in cinque fasi fondamentali:

- individuazione del primo arrivo in P;
- ricostruzione delle dromocrona e relativa interpretazione in P;
- preparazione dei file shot, receiver, pick da importare nel software tomografico;
- elaborazione del modello tomografico;
- gridding dei dati e restituzione delle pseudosezioni.

Attraverso questo approccio è possibile ottenere sezioni sismostratigrafiche in cui vengono definite distribuzioni discrete delle velocità e dei relativi rifrattori.

Il software utilizzato (SeisOpt@2D v.6.0) implementa il metodo di ottimizzazione numerica simulato (simulated annealing) che permette la processazione tomografica dei dati acquisiti fornendo, in output un modello di velocità delle onde sismiche ad elevata risoluzione.

Il metodo tomografico utilizzato, si basa su un metodo di ottimizzazione non-lineare, noto come metodo di ottimizzazione numerica simulata (simulated annealing), utilizzato per ricavare un modello di velocità delle onde sismiche, ad elevata risoluzione, dalla misurazione dei tempi di arrivo delle onde P.

Il metodo di ottimizzazione numerica simulata delle velocità sismiche, è un processo basato sul metodo di Monte-Carlo che può combinare i tempi di arrivo delle onde in un modello di velocità. Tale modello può essere considerato superiore ai più sofisticati metodi d'inversione non-lineare. L'algoritmo compie un'elaborazione impostando un modello con una variazione casuale del parametro d'interesse, sino a che il modello sismico sintetico dei tempi di arrivo delle onde sismiche calcolate non collima con i tempi di arrivo osservati.

Processi iterativi fanno in modo di far convergere la soluzione riducendo, ad ogni iterazione, lo scarto eliminando quelle soluzioni i cui errori oltrepassano l'errore totale ammesso dall'algoritmo di calcolo. In definitiva, il processo di ottimizzazione adottato troverà la soluzione testando diverse migliaia di soluzioni possibili prima di arrivare alla soluzione ottimale proposta che è quella, come detto in precedenza, in cui i tempi di arrivo calcolati coincidono, a meno di uno scarto ridotto, con quelli osservati.

2.3.1.1 – Descrizione della strumentazione utilizzata

Per le indagini in oggetto è stata utilizzato un sismografo marca M.A.E. modello A6000-S, equipaggiato con 24 geofoni, con le seguenti caratteristiche tecniche:

Sismografo MAE A6000-S

Caratteristiche

- CPU chipset VIA 500 MHz;
- Risoluzione scheda di acquisizione: 24 bit;
- Numero canali: 24;
- Campionamento sino a 30.000 c/s;
- Larghezza di banda: da 0 a 8 KHz - Max segnale IN: 10V;
- Visualizzazione fenomeno intero o parziale per ogni canale;
- Funzione di analisi del rumore ambientale pre-acquisizione;
- Funzione test geofoni automatico;
- Funzioni grafiche limita ed evidenza onda;
- Funzioni lettura velocità e picking primi arrivi in tempo reale;
- Funzioni Trigger e Pre-Trigger;
- Filtri settabili e parzializzabili da software;
- Monitor colori LCD tranflettivo 10.4";
- Dispositivo touch screen integrato;
- Salvataggio dati su disk su modulo interno allo stato solido e su memoria USB.



Figura 13 – Sismografo
M.A.E. A6000-S.

⇒ Geofoni OYOGEOSPACE GS20DM, 14.0 Hz per la rilevazione delle onde P.

⇒ Energizzatore da superficie massa battente (8 kg).

2.3.2 – Descrizione delle attività di campo: Micro-tunnel

Per la prospezione sismica a rifrazione, le onde P sono state generate mediante impatto avvalendosi di una mazza battente del peso di 8 kg e rilevate da un array di n.24 geofoni, infissi al suolo, con spaziatura tra i trasduttori pari a 3,0 metri.

Inoltre, unicamente per il profilo **PR_B** è stata adottata una spaziatura intergeofonica pari a 2 metri.

La generazione delle onde elastiche è avvenuta, per ciascun profilo/porzione del profilo stesso, come riportato nello schema seguente, presso **7** differenti siti (quattro esterni e tre interni), operando con energizzazioni ripetute in modo da ottenere un segnale caratterizzato da un rapporto segnale-rumore soddisfacente.

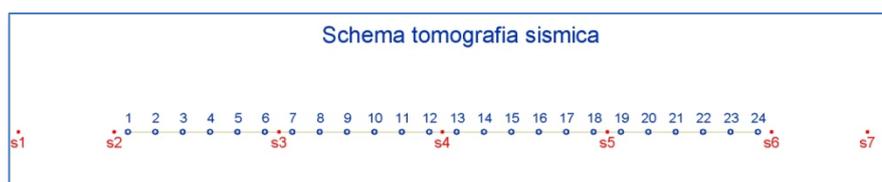


Figura 14 – Prospezione sismica a rifrazione. Schema di indagine.

Al fine di investigare il profilo nella sua interezza, le indagini contigue sono state effettuate unendo l'ultimo ed il primo geofono dello stendimento successivo.

Mediante questa tecnica è stato possibile investigare profili di lunghezza superiore allo stendimento ovvero superiore a 69 metri.

Le indagini sismiche sono state effettuate con la modalit  di seguito descritte.

<i>Profilo</i>	<i>Lunghezza (m)</i>	<i>Spaziatura (m)</i>	<i>N° di sub-profilo</i>
PR_B	92	2	2
PR_D	138	3	2

Tabella 4 – Melendugno. TAP.

Dettaglio delle prospezioni sismiche a rifrazione.



Figura 15 – Melendugno. TAP. Ubicazione delle prospezioni sismiche a rifrazione presso l’area micro-tunnel.



Foto 7 - Melendugno. TAP. Prospezione sismica. Profilo PR_B.



Foto 8 - Melendugno. TAP. Prospezione sismica. Profilo PR_B.



Foto 9 - Melendugno. TAP. Prospezione sismica. Profilo PR_D.



Foto 10 - Melendugno. TAP. Prospezione sismica. Profilo PR_D.

In fase esecutiva, si è operato sul profilo già individuato e realizzato nel corso delle prospezioni geoelettriche, procedendo con il posizionamento dei geofoni ed al loro successivo collegamento con i cavi multipolari al sismografo.

Al termine della verifica dei collegamenti e del livello di noise esistente nell'area è stata eseguita l'acquisizione dei dati, operando mediante procedura iterativa al fine di incrementare il rapporto segnale/rumore.

Conclusa la fase di acquisizione, per ciascuno shot, si è proceduto al loro salvataggio ed ad un post-processing speditivo, direttamente in sito, avvalendosi del software IXSeg2Segy 3.40 della Interpex Limited, al fine di validare le misurazioni compiute.

2.4 – Prospezione geofisica con metodologia sismica MASW

2.4.1 – Descrizione della metodologia, acquisizione ed elaborazione dati

La tecnica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) rappresenta una tipologia d'indagine sismica non invasiva che consente di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs, basandosi sulla misura delle onde superficiali, fatta in corrispondenza di uno stendimento di geofoni disposti sulla superficie libera del terreno. Quando si energizza in un punto posto in superficie, si generano diversi tipi di onde. Se la sorgente è perpendicolare alla superficie, hanno origine onde appartenenti al piano verticale: onde P, onde SV, onde Rayleigh, onde rifratte. Se la sorgente è parallela alla superficie libera, si generano onde appartenenti al piano orizzontale: onde SH, onde di Love.

Nel metodo MASW di seguito descritto, si usano le sole onde di superficiali di Rayleigh e si trascurano gli effetti dovuti alle onde di volume, alle riflesse o alle rifratte. Sebbene una sorgente puntiforme verticale generi anche onde P ed S, oltre alle onde superficiali, intervengono due aspetti che rendono il contributo di dette onde prevalente sul contributo delle onde di volume. Il primo aspetto è che le onde Rayleigh trasportano circa i due terzi dell'energia generata dalla sorgente. Il secondo aspetto è che, allontanandosi dalla sorgente, le onde di Rayleigh subiscono un'attenuazione geometrica inferiore rispetto alle onde P e SV, perché esse si propagano secondo fronti d'onda cilindrici, mentre le onde P e SV si propagano secondo fronti d'onda sferici.

In sintesi, il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato, le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo ovvero la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione.

La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza, con lunghezza d'onda corta, si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, mentre onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.

Il metodo d'indagine MASW, è del tipo attivo ovvero le onde superficiali sono indotte o generate artificialmente mediante l'impatto di un grave sulla superficie del suolo e misurate ad uno stendimento lineare di sensori. Questo consente di ottenere una curva di dispersione sperimentale apparente, generalmente nel range di frequenze compreso tra 4.5÷80 Hz; il metodo, pertanto, permette di ottenere informazioni indirette sulla parte del sottosuolo compresa entro i primi 30÷50 metri circa dal piano campagna, in funzione della rigidità o rigidità sismica dei litotipi costituenti il sottosuolo e della lunghezza dell'allineamento di sensori.

La fase di elaborazione è stata effettuata avvalendosi di software scientifici di post-processing che hanno consentito l'esecuzione del seguente processo: dopo aver visionato i dati acquisiti ed impostate le caratteristiche del profilo, è stata calcolata la velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale, mediante un processo di elaborazione che consente di estrarre la suddetta curva dallo spettro nel dominio frequenza–numero d'onda applicando una doppia trasformata di Fourier al campo di moto misurato originariamente nel dominio spazio-tempo; successivamente, è stata calcolata la velocità di fase apparente numerica mediante la modellizzazione del sottosuolo; la terza fase è consistita nell'individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , modificando lo spessore degli orizzonti litologici e la densità ipotizzata fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase sperimentale e la velocità di fase numerica corrispondente al modello di suolo assegnato.

Dopo aver determinato il profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , si è proceduto al calcolo della velocità equivalente nei primi 30 m di profondità (V_{s30}) ed alla individuazione della categoria sismica del suolo.

2.4.2 – Identificazione delle categorie di suolo ai sensi dell'Eurocode 8: Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici

La problematica inerente la classificazione del terreno da un punto di vista sismico è trattata dall' Eurocode 8: *Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings*.

Nel suddetto documento al par. 3.1.2. "Identification of ground types", sono identificate cinque tipologie di sottosuolo (**A, B, C, D, E**), di seguito riportate, in base alla velocità media di propagazione delle onde di taglio VS (su 30 metri), il valore di NSPT e la CU.

Categoria di suolo	Descrizione del profilo stratigrafico	Parametro
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	$V_{s,30} > 800$ m/s
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)	$360 \text{ m/s} < V_{s,30} < 800 \text{ m/s}$ ovvero $N_{SPT,30} > 50$ (terreni a grana grossa) ovvero $c_{u,30} > 250$ kPa (terreni a grana fina)
C	<i>Depositi 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)	$180 \text{ m/s} < V_{s,30} < 360 \text{ m/s}$ ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ (terreni a grana grossa) ovvero $70 < c_{u,30} < 250$ kPa (terreni a grana fina)
D	<i>Depositi 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)	$V_{s,30} < 180$ m/s ovvero $N_{SPT,30} < 15$ (terreni a grana grossa) ovvero $c_u < 70$ kPa (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 5 - Eurocode 8: suddivisione delle categorie di suolo

Sono, inoltre, definite ulteriori due categorie, **S1** ed **S2**, che prevedono specifiche analisi per la definizione delle azioni sismiche, particolarmente nei casi in cui la presenza di terreni suscettibili di liquefazione e/o di argille d'elevata sensitività possa comportare fenomeni di collasso del terreno.

Categoria di suolo	Descrizione del profilo stratigrafico	Parametro
S1	Depositi 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	$V_{s,30} < 100$ m/s ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.	

Tabella 6 - Eurocode 8: suddivisione delle categorie di suolo

La caratterizzazione del terreno dal punto di vista sismico in particolare e dinamico in generale richiede come elemento indispensabile la conoscenza del profilo di velocità delle onde di taglio V_s degli strati di terreno presenti nel sito, fino alla profondità di almeno 30 m dal piano campagna, secondo quanto richiesto dalle sopraccitate normative.

- Il profilo delle onde di taglio V_s nei primi 30 m di profondità risulta necessario per:
- valutare l'azione sismica di progetto al livello delle fondazioni di qualunque struttura
- valutare il rischio di liquefazione del terreno in sito
- valutare rischi di instabilità dei pendii e/o delle opere di sostegno
- valutare i cedimenti dei rilevati stradali, delle opere di sostegno, delle fondazioni degli edifici
- valutare la trasmissione delle vibrazioni generate dai treni, dalle macchine vibranti, dalle esplosioni in superficie o in sotterraneo, dal traffico veicolare

La velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,30}$ è definita dall'espressione:

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

Dove:

h_i è lo spessore (in metri) dell' i -esimo strato compreso nei primi 30 m di profondità;

V_{s_i} è la velocità (in m/s) delle onde di taglio nell' i -esimo strato.

2.4.2.1 – Descrizione della strumentazione utilizzata

Per le indagini in oggetto è stata utilizzato un sismografo marca M.A.E. modello A6000-S, equipaggiato con 24 geofoni, con le seguenti caratteristiche tecniche:

Sismografo MAE A6000-S

Caratteristiche

- CPU chipset VIA 500 MHz;
- Risoluzione scheda di acquisizione: 24 bit;
- Numero canali: 24;
- Campionamento sino a 30.000 c/s;
- Larghezza di banda: da 0 a 8 KHz - Max segnale IN: 10V;
- Visualizzazione fenomeno intero o parziale per ogni canale;
- Funzione di analisi del rumore ambientale pre-acquisizione;
- Funzione test geofoni automatico;
- Funzioni grafiche limita ed evidenza onda;
- Funzioni lettura velocità e picking primi arrivi in tempo reale;
- Funzioni Trigger e Pre-Trigger;
- Filtri settabili e parzializzabili da software;
- Monitor colori LCD tranflettivo 10.4";
- Dispositivo touch screen integrato;
- Salvataggio dati su disk su modulo interno allo stato solido e su memoria USB.



Figura 16 – Sismografo
M.A.E. A6000-S.

⇒ Geofoni OYOGEOSPACE GS20DM, 4,5 Hz.

⇒ Energizzatore da superficie massa battente (8 kg).

2.4.3 – Descrizione delle attività di campo: Micro-tunnel

La prospezione sismica MASW in oggetto è stata effettuata in un'area ricadente tra il tracciato del gasdotto ed il micro-tunnel.

Così come la sismica a rifrazione, le onde superficiali sono state generate mediante impatto avvalendosi di una mazza battente del peso di 8 kg e rilevate da un array di n.24 geofoni, infissi al suolo, con spaziatura tra i trasduttori pari a 2,0 metri.

La generazione delle onde elastiche è avvenuta, esternamente ad entrambi gli estremi del profilo, ad una distanza pari a 2 e 10 metri.

In tal modo, è stato restituito un profilo verticale di velocità delle onde di taglio 1-D partendo da un unico stendimento sismico.



Figura 17 – Melendugno. TAP. Prospezioni sismiche MASW eseguite nell'area del micro-tunnel.

La prospezione sismica MASW è stata eseguita con la seguente modalità:

Profilo	Lunghezza (m)	Spaziatura (m)	Sondaggio limitrofo alla prospezione MASW
MASW-3	46	2	PIEZO-2

Tabella 7 – Melendugno. TAP. Dettaglio della prospezione MASW.

Di seguito, sono riportate alcune foto inerenti la prospezione.



*Foto 11 - Melendugno. TAP. Prospezioni MASW. **MASW-3.***



*Foto 12 - Melendugno. TAP. Prospezioni MASW. **MASW-3.***

2.5 – Prospezione geofisica con metodologia sismica in foro down-hole

2.5.1 – Descrizione della metodologia, acquisizione ed elaborazione dati

Il metodo sismico in foro “down-hole” consente di determinare il tempo di propagazione delle onde elastiche di compressione e di taglio, P ed S, generate in superficie mediante l’uso di una massa battente, all’interno delle varie unità litologiche che si incontrano lungo una perforazione.

In fase esecutiva, per il rilievo delle onde elastiche, si utilizza un sistema di ricezione costituito da geofoni opportunamente assemblati (geofono da pozzo), che viene fissato a profondità man mano crescenti contro le pareti di un perforo, opportunamente condizionato, mediante un sistema pneumatico (Figura 18).

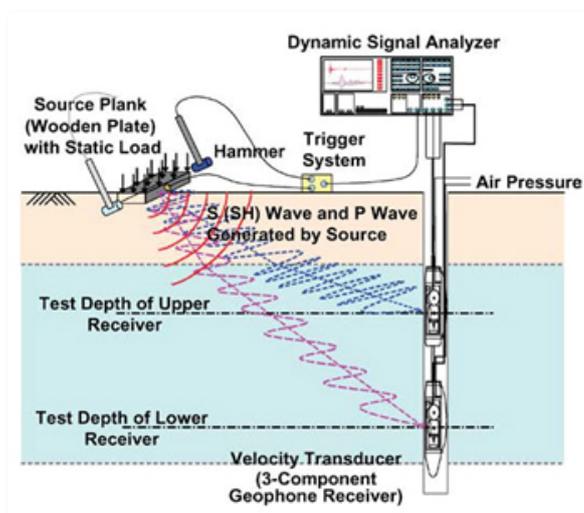


Figura 18 – Melendugno. TAP. Down-hole.

La rilevazione delle onde P e delle onde S, nota la profondità dell’apparato di misurazione, permette di determinare le relative velocità di propagazione e di calcolare i moduli elastici dinamici dei litotipi, assunti i valori dei pesi di volume che li caratterizzano.

A differenza della sismica a rifrazione, che misura i tempi di arrivo delle onde sismiche dopo che queste hanno subito fenomeni di rifrazione e/o di riflessione, il metodo “down-hole”,

misurando il tempo di arrivo delle onde elastiche man mano che queste penetrano negli strati più profondi, ha il vantaggio di non avere come condizione necessaria l'aumento della velocità con la profondità; pertanto è sempre possibile valutare eventuali inversioni di velocità nel pacco di litotipi attraversati dall'indagine.

Se la sorgente energizzante è molto prossima all'asse del perforo e le superfici di discontinuità sono perpendicolari a tale asse, il raggio sismico che dalla sorgente si muove verso i geofoni, non subirà alcuna deviazione nell'attraversare le suddette discontinuità.

Se, invece, sia per motivi logistici sia per evitare che l'onda elastica si trasmetta lungo il materiale di condizionamento, la sorgente energizzante viene a trovarsi ad una certa distanza dall'asse del perforo, i tempi di arrivo delle onde devono essere corretti in modo da riportarli ai valori che si sarebbero riscontrati qualora il raggio avesse viaggiato secondo un tragitto verticale.

In fase di elaborazione, per una prima valutazione del grado di disomogeneità delle litologie lungo il profilo verticale, si usa determinare la "velocità intervallo", ovvero la velocità con cui viaggerebbe il fronte d'onda lungo l'asse verticale tra due posizioni consecutive del ricevitore, intervallate da un determinato spessore, rappresentate mediante un diagramma del tipo step plot.

Successivamente, si determina il profilo di velocità reale lungo la verticale per il pozzo, sia per le onde P che per le onde S, nell'ipotesi che il sottosuolo sia localmente stratificato.

In tal modo, sono costruiti diagrammi "tempi di arrivo corretti - profondità" per procedere all'individuazione di dromocrone, laddove ciascuno dei segmenti individua un intervallo di profondità entro cui la velocità dell'onda sismica è costante.

Infine, dalla conoscenza dei valori di velocità di propagazione delle onde P ed S, in ogni strato, e noti i valori del peso di volume naturale, è possibile determinare i valori dei moduli elastici dinamici tra cui i principali sono il modulo di Poisson (ν), modulo di Taglio G ed il modulo di Elasticità o modulo di Young (E)

Per quanto concerne le registrazioni ottenute da energizzazione applicata in verticale, è stato determinato il primo arrivo in onde P come mostrato nella figura seguente.

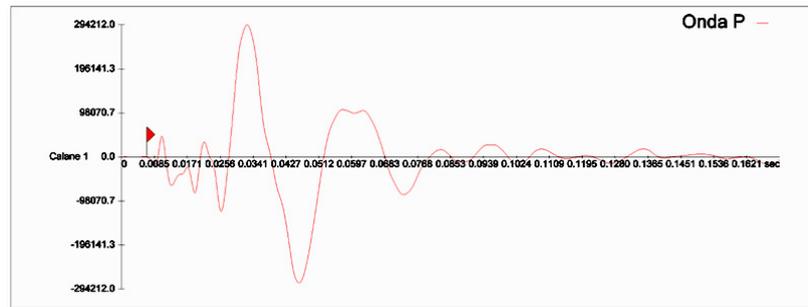


Figura 19 – Esempio di onda P e di lettura del primo tempo di arrivo.

Nelle registrazioni energizzate con percussione orizzontale, per ciascuna profondità d’indagine, sono state sovrapposte le registrazioni “battuta destra (SH-A)-battuta sinistra (SH-B)”.

Tale metodica ha consentito, tramite l’inversione di fase dell’onda SH, di identificare con maggiore facilità l’onda di taglio e di determinare, con maggior esattezza, il tempo di arrivo.

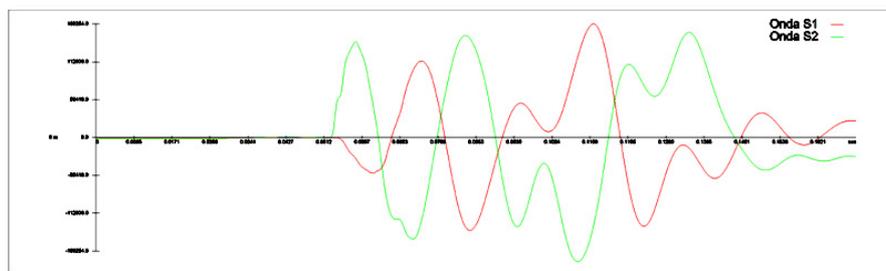


Figura 20 – Esempio di onda S ed individuazione del tempo di arrivo dell’onda di taglio (onda S).

Infine, è stato calcolata la velocità equivalente delle onde di taglio (V_{S30}) al fine di definire la categoria sismica del sottosuolo, così come riportato nell’Eurocode 8.

2.5.1.1 – Descrizione della strumentazione utilizzata

Per le indagini in oggetto è stata utilizzato un sismografo marca M.A.E. modello A6000-S, con le seguenti caratteristiche tecniche:

Sismografo **MAE A6000-S**

Caratteristiche

- CPU chipset VIA 500 MHz;
- Risoluzione scheda di acquisizione: 24 bit;
- Numero canali: 24;
- Campionamento sino a 30.000 c/s;
- Larghezza di banda: da 0 a 8 KHz - Max segnale IN: 10V;
- Visualizzazione fenomeno intero o parziale per ogni canale;
- Funzione di analisi del rumore ambientale pre-acquisizione;
- Funzione test geofoni automatico;
- Funzioni grafiche limitata ed evidenza onda;
- Funzioni lettura velocità e picking primi arrivi in tempo reale;
- Funzioni Trigger e Pre-Trigger;
- Filtri settabili e parzializzabili da software;
- Monitor colori LCD tranflettivo 10.4";
- Dispositivo touch screen integrato;
- Salvataggio dati su disk su modulo interno allo stato solido e su memoria USB.
- Maximum range of inlet signal: $\pm 5V$;
- Common mode rejection: 110 dB at 60 Hz.



Figura 21 – Sistema down hole

- ⇒ Geophono da pozzo: array di n.5 geofoni di cui n.4 geofoni orizzontali disposti in senso radiale e n.1 geofono verticale.

- ⇒ Energizzatore da superficie massa battente (8 kg).

2.5.1 – Descrizione delle attività di campo: Micro-tunnel

Sono state realizzate **n.2** prospezioni sismiche down-hole per la caratterizzazione sismica del sottosuolo.

Le suddette prospezioni sono state realizzate da fondo foro, posto a 30 m di profondità dal piano campagna, sino alla superficie, nei perfori indicate con le sigle **ST_BH-4** e **ST_BH-5**, come di seguito riportato.



Figura 22 – Melendugno. TAP. Ubicazione delle prospezioni sismiche down-hole.

Le indagini sismiche down-hole sono state effettuate con la modalità di seguito descritte.

<i>Id. Down-hole</i>	<i>Lunghezza perforo (m)</i>	<i>Sigla sondaggio</i>
DH-1	30	ST_BH4
DH-2	30	ST_BH5

Tabella 8 – Melendugno. TAP. Dettaglio delle prospezioni sismiche down-hole



Foto 13 - Melendugno. TAP. Prospezione down-hole. **DH-1** sondaggio ST_BH4.



Foto 14 - Melendugno. TAP. Prospezione down-hole. **DH-2** sondaggio ST_BH5.

I segnali sismici sono stati generati mediante l'impatto di un martello sia su una piastra metallica, per le onde P, sia contro un'asse di legno, contrastato con il peso di un autoveicolo, per le onde S.

I punti di energizzazione sono stati posizionati ad una distanza di 3 metri da ciascun perforo.

I segnali sismici sono stati acquisiti a passi di 2 metri, vincolando il ricevitore da pozzo alla parete del perforo, mediante una camera d'aria ad espansione pneumatica.

Successivamente all'acquisizione dei dati, i segnali sono stati elaborate con software scientifici.

Infine, dalla conoscenza dei valori di velocità di propagazione delle onde P ed S, in ogni strato, e noti i valori del peso di volume naturale, è stato possibile determinare i valori dei moduli elastici dinamici tra cui i principali sono il modulo di Poisson (ν), modulo di Taglio G ed il modulo di Elasticità o modulo di Young (E).

3 - Prospezioni geofisiche. Commento alle indagini

3.1 – Prospezioni geoelettriche e sismiche a rifrazione. Area Micro-tunnel

Nell'area in oggetto, situata nella pineta di San Basilio e luoghi circostanti, sono state eseguite le seguenti indagini:

- Prospezioni geoelettriche e sismiche a rifrazione, in corrispondenza di **n.2** profili denominati **PR_B** e **PR_D**, posti in prossimità di due forme carsiche (sinkhole).

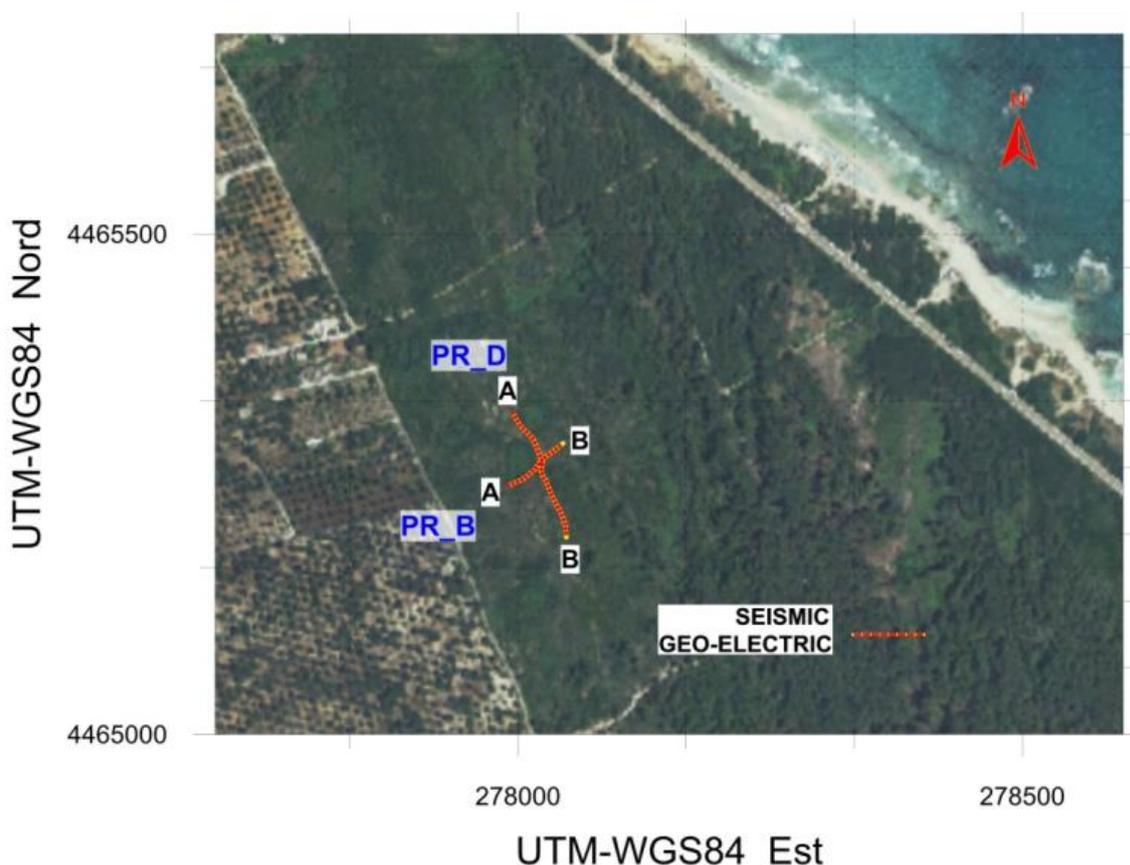


Figura 23 –Melendugno. TAP. Prospezioni geofisiche sismiche e geoelettriche eseguite presso l'area micro-tunnel.

- **n.1** prospezione sismica MASW, denominata **MASW-3**, eseguita in prossimità del perforo PIEZO-2.
- **n.2** prospezioni sismiche in foro down-hole, denominate **DH-1** e **DH-2**, effettuate all'interno dei perfori ST_BH4 e ST_BH5.
- **n.5** prospezioni geoelettriche SEV denominate da **SEV-1** a **SEV-5**.

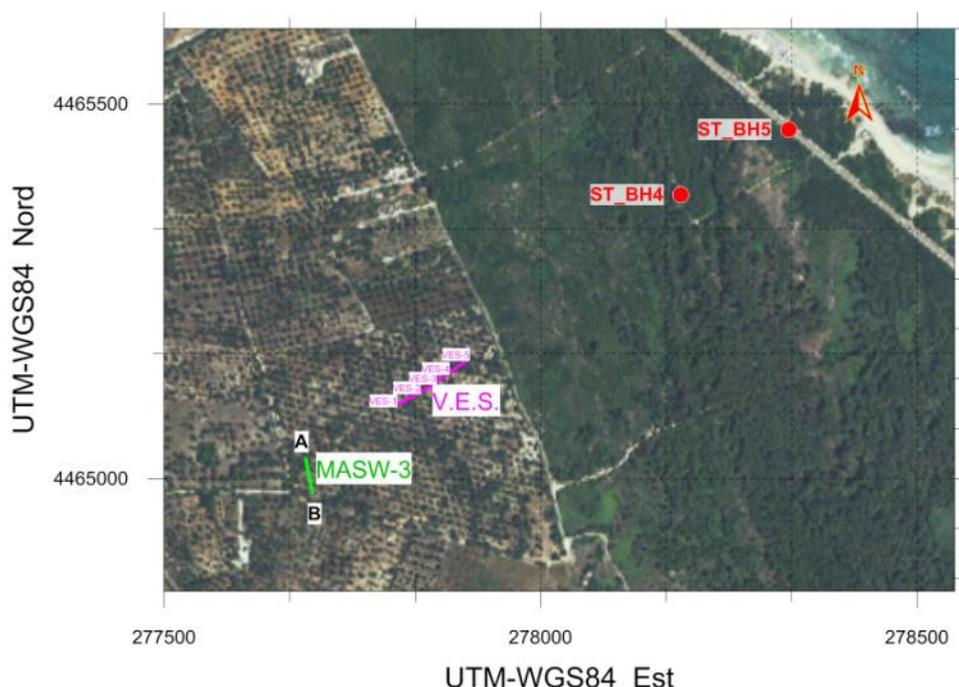


Figura 24 – Prospezioni geofisiche MASW, VES e Down-hole eseguite presso l'area micro-tunnel.

Le prospezioni MASW e down-hole sono state eseguite per la caratterizzazione sismica del sottosuolo mentre le prospezioni geoelettriche SEV sono state eseguite per fornire elementi di supporto alla protezione catodica.

3.1.1 – Profilo PR_B

L'analisi delle pseudosezioni geofisiche, ottenuta mediante il processo tomografico d'inversione dei dati, ha evidenziato la presenza di un primo layer, caratterizzato da valori di resistività più elevati, compresi tra 100 sino a 300 Ohm per metro, posto al di sopra di un secondo layer, avente resistività inferiore, compresa tra 30 sino a 100 Ohm per metro (Figura 25).

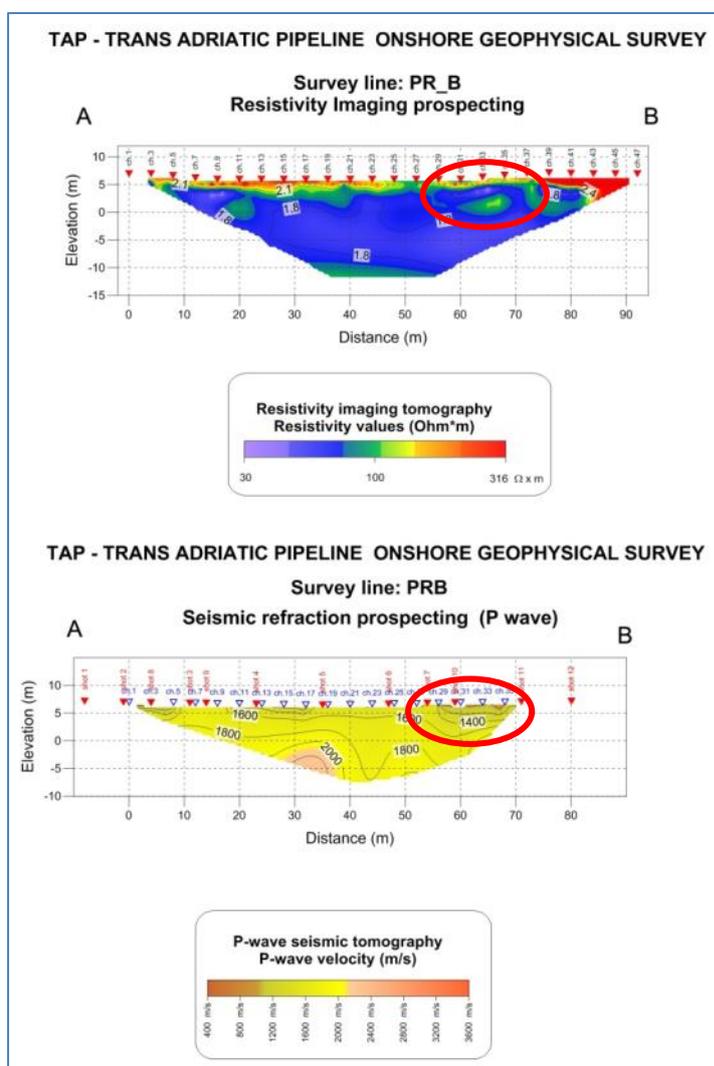


Figura 25 – Melendugno. TAP. Profilo PR_B – prospezioni geoelettriche e sismiche a rifrazione.

La diminuzione dei valori di resistività con la profondità indica che i materiali sono in saturazione (presenza di falda idrica tra 2,00 e 3,00 m dal piano campagna) e caratterizzati dalla presenza di una percentuale variabile della frazione sabbioso-siltosa o argillosa.

La pseudosezione sismica a rifrazione mostra un graduale incremento della velocità delle onde sismiche con la profondità (Figura 25).

Si sottolinea la presenza di un'anomalia, caratterizzata da elevate valori di resistività e bassi valori di propagazione della velocità delle onde sismiche, ad una progressiva di 60÷70 metri (Figura 25, si vedano le aree rimarcate con il circolo rosso).

3.1.2 – Profilo PR_D

L'analisi delle pseudosezioni geofisiche, ottenuta mediante il processo tomografico d'inversione dei dati, ha evidenziato la presenza di un primo layer, caratterizzato da valori di resistività più elevati, posto al di sopra di un secondo layer, avente resistività inferiore, compresa tra 30 sino a 100 Ohm per metro. Ad una profondità variabile, compresa tra 16 e 21 m, si rinviene un terzo layer caratterizzato da un incremento di resistività elettrica (Figura 26).

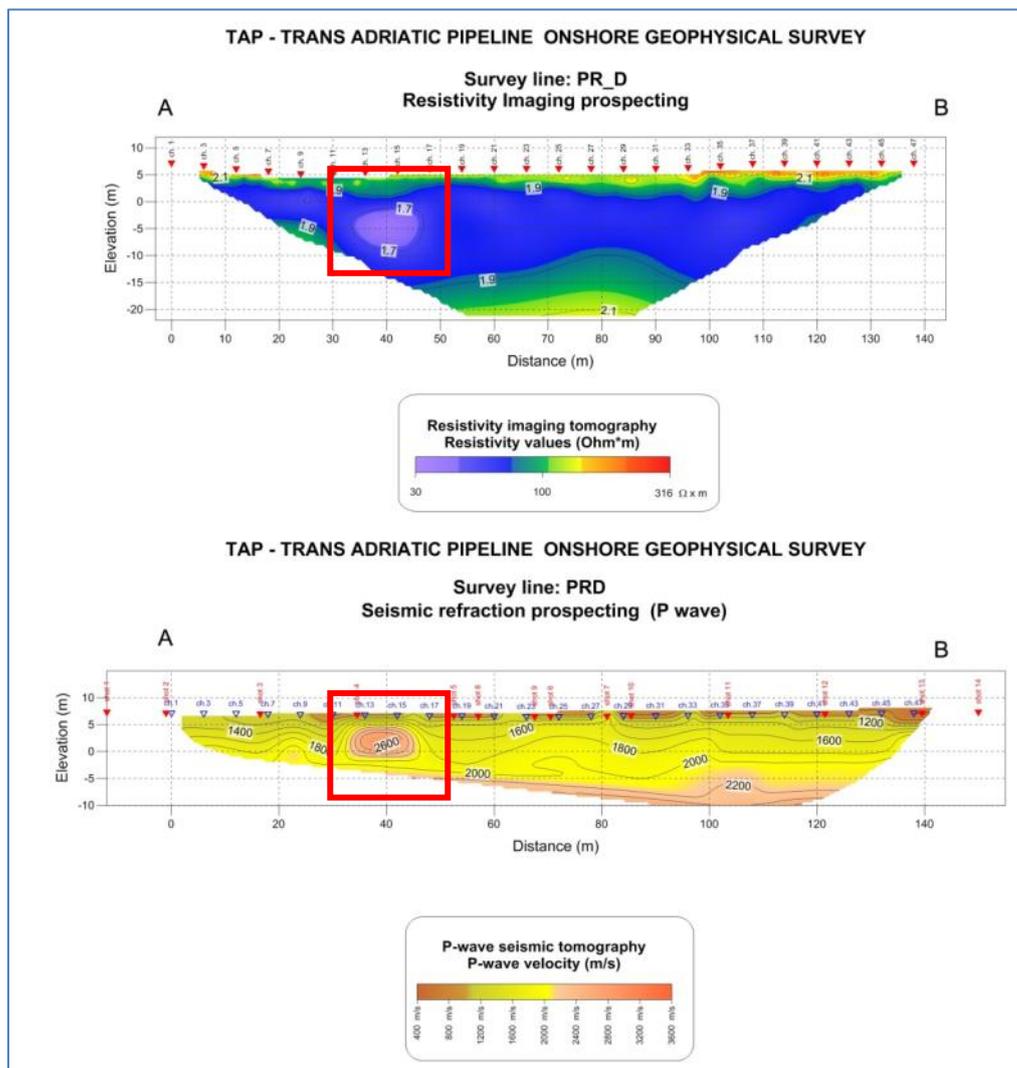


Figura 26 – Melendugno. TAP. Profilo PR_D – prospezioni geoelettriche e sismiche a rifrazione.

La diminuzione dei valori di resistività con la profondità indica che i materiali sono in saturazione (presenza di falda idrica tra 2,00 e 3,00 m dal piano campagna) e caratterizzati dalla presenza di una percentuale variabile della frazione sabbioso-siltosa o argillosa, mentre l'incremento di resistività riscontrato presso il terzo layer, indica la presenza di materiale roccioso oppure anidro.

La pseudosezione sismica a rifrazione, sebbene non abbia raggiunto il medesimo approfondimento di quanto ottenuto con la prospezione geoelettrica, evidenzia un incremento della velocità di propagazione delle onde sismiche oltre i 2.200 m/s ad una profondità di circa 11÷12 m dal piano campagna.

Si sottolinea, alla progressiva di 40 m, la presenza di un'anomalia, caratterizzata da ridotti valori di resistività ed elevati valori di propagazione della velocità delle onde sismiche (Figura 26, si vedano le aree rimarcate con il cerchio rosso).

3.2 – Prospezione sismica M.A.S.W

Nel sito in oggetto è stata eseguita **n.1** prospezione sismica MASW.

Elaborando i segnali, come descritto nei paragrafi precedenti, sono stati determinati i profili di velocità delle onde di taglio verticali V_s .

Successivamente, si è proceduto al calcolo della velocità equivalente nei primi 30 m di profondità (V_{S30}) ed alla individuazione della categoria sismica del suolo, come riportato nella tabella seguente.

Nella seguente Tabella, per la **MASW-3**, è riportato il valore della velocità equivalente delle onde di taglio ($V_{S,30}$).

Prospezione sismica MASW – area Micro-tunnel		
MASW Codice	Valore del $V_{S,30}$	Classificazione del sottosuolo in accordo Eurocode 8
MASW-3	550 m/s	“B”

Tabella 9 - Melendugno. TAP. Prospezione sismica MASW. Risultanze delle indagini.

Si veda l'ALLEGATO 3 per la consultazione dei grafici e delle tabelle riepilogative per la prospezione in oggetto.

3.3 – Prospezioni sismiche down-hole

Nel corso della campagna di prospezioni geofisiche, sono state realizzate **n.2** prospezioni sismiche down-hole, denominate **DH-1** and **DH-2**, ed eseguite rispettivamente nei perfori **ST_BH4** e **ST_BH5**.

Dalla conoscenza dei valori di velocità di propagazione delle onde P ed S, in ogni strato, e noti i valori del peso di volume naturale, è stato possibile determinare i valori dei moduli elastici dinamici tra cui i principali sono il modulo di Poisson (ν), modulo di Taglio G ed il modulo di Elasticità o modulo di Young (E).

Successivamente, si è proceduto al calcolo della velocità equivalente nei primi 30 m di profondità (V_{S30}) ed alla individuazione della categoria sismica del suolo, come riportato nella tabella seguente in accordo all'Eurocode 8

Down-Hole Code	Sondaggio	Valore del $V_{S, 30}$	Classificazione del sottosuolo in accordo Eurocode 8
DH-1	ST_BH4	425 m/s	"B"
DH-2	ST_BH5	475 m/s	"B"

Tabella 10 - Melendugno. TAP. Prospezioni sismiche down-hole. Risultanze delle indagini.

Si veda l'ALLEGATO 4 per la consultazione dei grafici e delle tabelle riepilogative per le prospezioni in oggetto.

3.4 – Prospezione geofisica con sondaggi elettrici verticali (SEV)

Nel corso delle prospezioni geofisiche, sono state eseguite **n.5** indagini geoelettriche SEV per la progettazione della protezione catodica.

I dati sono stati processati con il software IPI2Win (sviluppato dalla *Moscow State University*). Con questo software è possibile ottenere informazioni riguardanti la variazione della resistività reale del sottosuolo in corrispondenza della verticale del centro dell'array.

Modificando il modello del sottosuolo e variando la resistività e/o gli spessori dei differenti strati, la routine del software correla il modello reale (curva sperimentale) con il modello calcolato (curva teorica) che meglio approssima la resistività e fornisce l'errore inferiore.

Si veda l'ALLEGATO 5 per la consultazione sia numerica sia grafica dei valori di resistività misurata e del modello del sottosuolo ottenuto mediante il processo d'inversione.

Si sottolinea che i modelli ottenuti hanno evidenziato un errore inferiore al 3,5%.

Nelle tabelle di seguito riportate (Tabelle 11÷15), sono riepilogati i valori di resistività per ciascun layer identificato.

VES-1-A No. strato	Rho ² [Ω*m]	Profondità ³ [m]	VES-1-B No. strato	Rho [Ω*m]	Profondità [m]
1°	584.8	0.5	1°	584.6	0.5
2°	1457	1.2	2°	1249	1.4
3 rd	150.9	5.5	3 rd	129.5	9.3
4 th	50.2	7.9	4 th	35.8	18.4
5 th	54.6	40.9	5 th	133.8	
6 th	2607				

Tabella 11 - Mele^ougno. TAP. Micro-tunnel. Prospezioni geoelettriche SEV.
 Riepilogo dei dati.

VES-2-A No. strato	Rho [Ω*m]	Profondità [m]	VES-2-B No. strato	Rho [Ω*m]	Profondità [m]
1°	153.3	0.5	1°	118.3	0.8
2°	39.7	0.8	2°	426.5	1.8
3 rd	274.3	1.9	3 rd	8.0	2.4
4 th	294.1	2.1	4 th	141.5	3.7
5 th	14.9	4.3	5 th	47.0	20.5
6 th	74.6	50	6 th	81.9	
7 th	2.5				

Tabella 12 - Mele^ougno. TAP. Micro-tunnel. Prospezioni geoelettriche SEV.
 Riepilogo dei dati.

² Rho = resistività dello strato.

³ Profondità del limite inferiore dello strato.

VES-3-A No. strato	Rho [Ω *m]	Profondità [m]	VES-3-B No. strato	Rho [Ω *m]	Profondità [m]
1°	532.5	0.5	1°	505.8	0.5
2°	1694	1.4	2°	2273	1.4
3 rd	172.3	4.1	3 rd	93.3	4.1
4 th	62.4	34.4	4 th	68.3	34
5 th	149.2		5 th	106.9	

Tabella 13 - Mele°ugno. TAP. Micro-tunnel. Prospezioni geoelettriche SEV.
 Riepilogo dei dati.

VES-4-A No. strato	Rho [Ω *m]	Profondità [m]	VES-4-B No. strato	Rho [Ω *m]	Profondità [m]
1°	1646	1.2	1°	1193	0.5
2°	3355	1.7	2°	5339	1.4
3 rd	890.7	3.2	3 rd	100.3	4.1
4 th	90.7	10	4 th	81.5	11.8
5 th	55.6	24.1	5 th	39.9	34
6 th	108.7		6 th	1591	

Tabella 14 - Mele°ugno. TAP. Micro-tunnel. Prospezioni geoelettriche SEV.
 Riepilogo dei dati.

VES-5-A	Rho	Profondità	VES-5-B	Rho	Profondità
No. strato	[$\Omega \cdot m$]	[m]	No. strato	[$\Omega \cdot m$]	[m]
1°	109.8	1.4	1°	116	0.5
2°	90.7	4.1	2°	135	1.7
3rd	30.1	11.8	3rd	44.1	3.6
4th	44.1	34	4th	76.7	10
5th	71		5th	10.3	12.9
			6th	36.9	26
			7th	185.8	

*Tabella 15 - Mele°ugno. TAP. Micro-tunnel. Prospezioni geoelettriche SEV.
 Riepilogo dei dati.*

Tecno In S.p.A.

URS

Italia

URS Italy S.p.A.

TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT

INDAGINI GEOFISICHE

INDAGINI SISMICHE E GEOELETTRICHE ADDIZIONALI

ESEGUITE SULLA TERRAFERMA

ALLEGATO 1

DATI ELABORATI

RISULTANZE DELLE PROSPEZIONI SISMICHE E GEOELETTRICHE

Commessa No	214/14
File	214-14_URS Italy – Indagini geofisiche addizionali eseguite sulla terraferma – TAP – MICRO
Rev.	Rev. 0
Documento No.	ALLEGATO 1

TECNO IN S.P.A.

Sede Legale e Operativa: 20097 **San Donato Milanese (MI)** – Via Marcora,52 – Tel. 02.496.80.501/Fax 02.496.80.502

Sede Amministrativa, Operativa e Laboratori: 80142 **Napoli** – Il Trav. Strettola S. Anna alle Paludi, 11 - Tel. 081.563.45.20/Fax 081 563.39.70

Sede Operativa: 07046 **Porto Torres (SS)** – Piazza Garibaldi 14 – Tel. 346.0363883

Sedi Operative Secondarie: Messina, L'Aquila e Crotone

P.Iva 05016170630

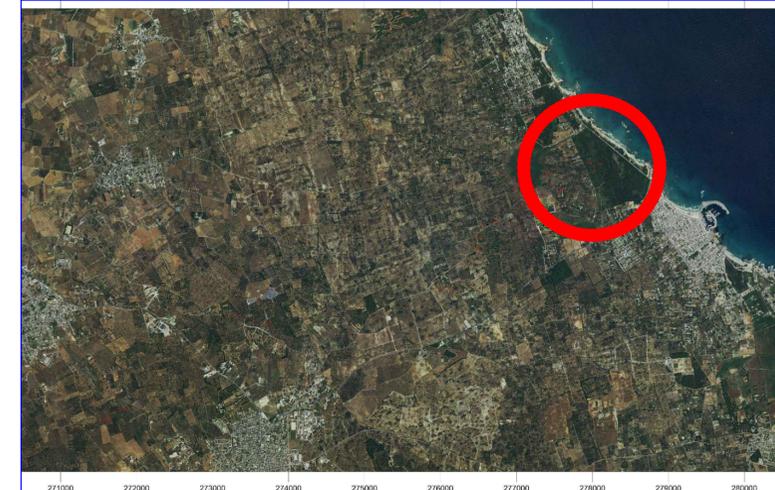
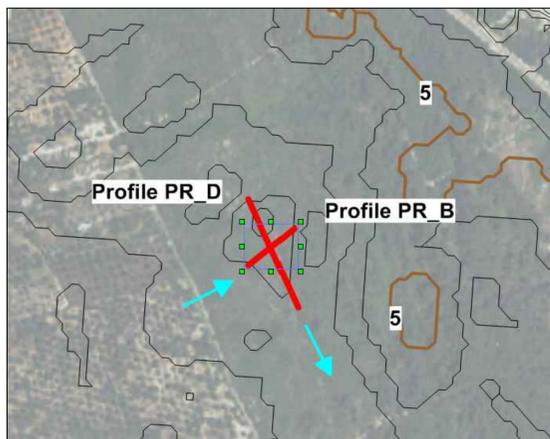
Tecnoin Mozambique Lda

Sede Ufficio: Maputo - Rua Da Se, n.1

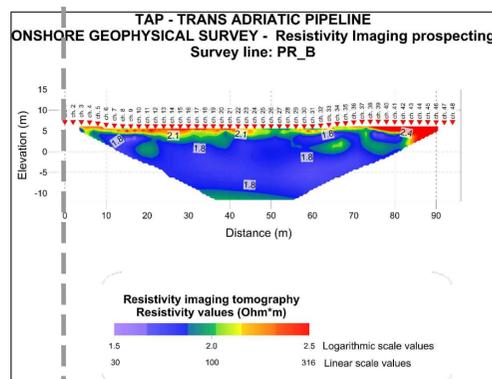
P.I.: 400497788

Email: tecnoin@tecnoin.it

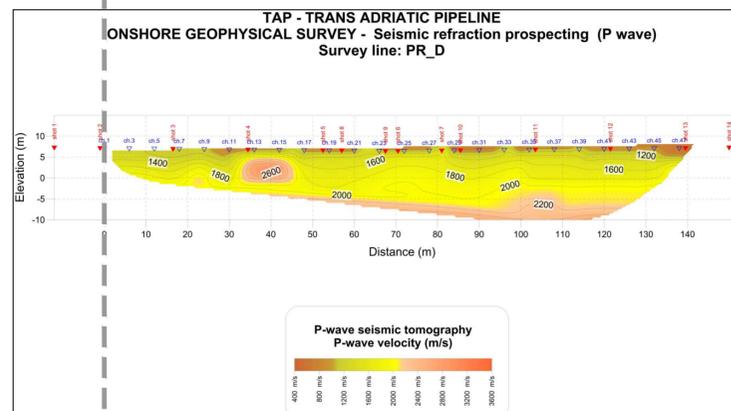
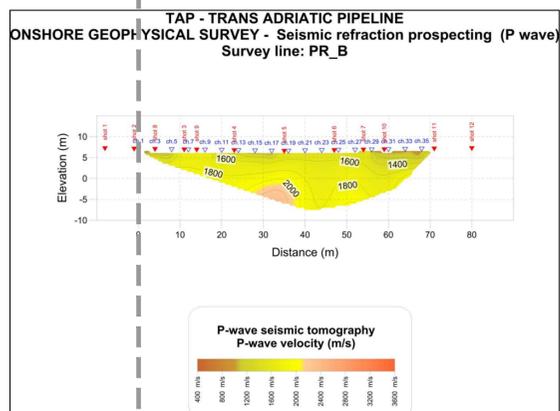
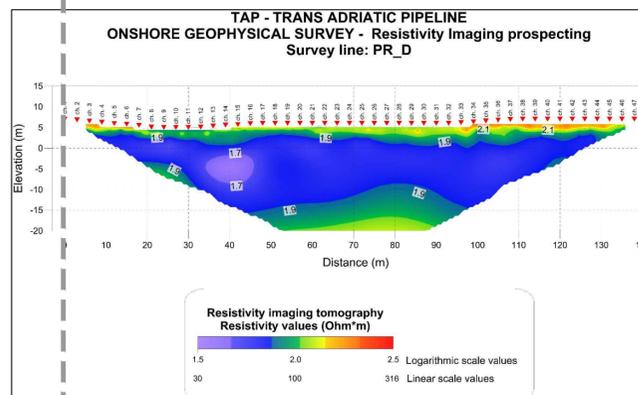
Sito: www.tecnoin.it



Origine delle prospezioni geofisiche



Origine delle prospezioni geofisiche



LEGENDA

PR_B - PR_D

Prospezioni geofisiche

IND. DI REV.	DESCRIZIONE - Description	DATA -Date	RED. -Prep.d	CONTR. -Chk'd	APPR. -Appr.d
Reg. com. 214/14	URS Italia S.p.A.				
DIS. Drawn		SOSTITUITO DA:			
CONTR. Chk'd		SOSTITUISCE IL:			
APPR. Appr'd	TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT				
SCALA Scale	1:1.000				
DATA Date	ALLEGATO 1 - Dati elaborati. Risultanze delle prospezioni sismiche e geoelettriche. PR_B - PR_D				
DISEGNO N°		IND. DI REV. 0	FG.	DI Sht. 1	of 1
UNITA' DI MISURA/Units of measure:		SCALA DI PLOTTAGGIO/Plot scale:			

URS

Italia

URS Italy S.p.A.

TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT

Indagini Geofisiche **Indagini sismiche e geoelettriche aggiuntive** **eseguite sulla terraferma**

ALLEGATO 2 **PROFILI SISMICI**

Dromocrone e modelli di velocità di propagazione delle onde sismiche

Commessa No	214/14
File	214-14_URS Italy – Indagini geofisiche aggiuntive eseguite sulla terraferma – TAP – MICRO - SISMICA
Rev.	Rev. 0
Documento No.	ALLEGATO 2

TECNO IN S.P.A.

Sede Legale e Operativa: 20097 **San Donato Milanese (MI)** – Via Marcora,52 – Tel. 02.496.80.501/Fax 02.496.80.502

Sede Amministrativa, Operativa e Laboratori: 80142 **Napoli** – Il Trav. Strettola S. Anna alle Paludi, 11 - Tel. 081.563.45.20/Fax 081 563.39.70

Sede Operativa: 07046 **Porto Torres (SS)** – Piazza Garibaldi 14 – Tel. 346.0363883

Sedi Operative Secondarie: Messina, L'Aquila e Crotone

P.Iva 05016170630

Tecnoin Mozambique Lda

Sede Ufficio: Maputo - Rua Da Se, n.1

P.I.: 400497788

Email: tecnoin@tecnoin.it

Sito: www.tecnoin.it

INDICE

1. INTRODUZIONE	3
2. PROSPEZIONI SISMICHE E RIFRAZIONE	5
2.1. Profilo PR_B.....	5
2.1.1. Profilo PR_B – Sub-Profilo S1	5
2.1.2. Profilo PR_B – Sub-Profilo S2	6
2.1.3. Profilo PR_B – pseudosezione.....	7
2.2. Profilo PR_D.....	8
2.2.1. Profilo PR_D – Sub-Profilo S1	8
2.2.2. Profilo PR_D – Sub-Profilo S2.....	9
2.2.3. Profilo PR_D – pseudosezione	10

1. Introduzione

La **Tecno In S.p.A.** ha ricevuto l'incarico dalla società URS Italy S.p.A., con ordine di lavoro No. 201502/106, Job No. 46318-441, di eseguire, nell'ambito del progetto Trans Adriatic Pipeline Project, indagini geofisiche aggiuntive (geoelettrica, sismica a rifrazione, SEV, down-hole, MASW), presso la terraferma, nel territorio di Melendugno (LE).

L'area d'indagine è situata nella regione Puglia, presso la costa centro meridionale del Salento. L'approdo del gasdotto sarà situato nel tratto di costa compreso tra le località di San Foca e Torre Specchia Ruggeri, ricadenti nel citato comune di Melendugno.

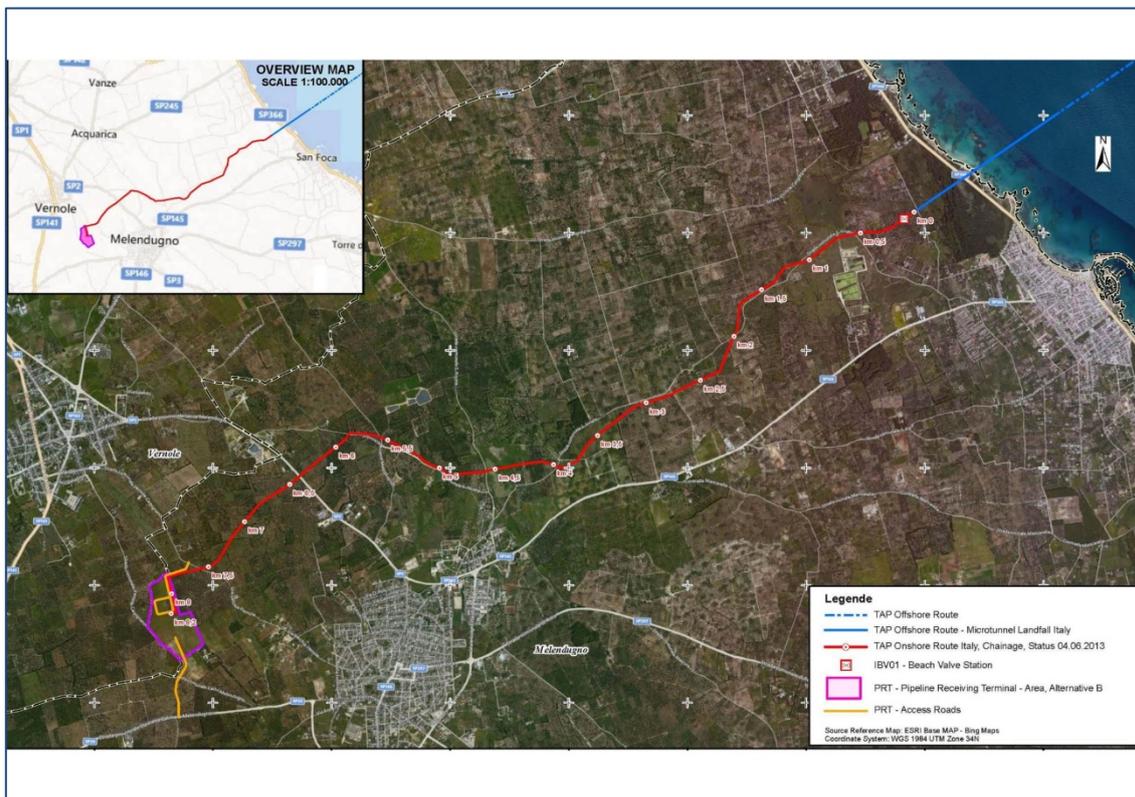


Figure 1 – Melendugno – TAP. Sito d'indagine.

Le prospezioni geofisiche sono consistite in un insieme di indagini finalizzate all'approfondimento dei seguenti punti:

- ottenere la caratterizzazione stratigrafica dei terreni interessati dall'opera;
- identificare anomalie sotterranee così come cavità naturali o artificiali oppure strutture sepolte;
- definire la resistività elettrica del terreno per fornire indicazioni utili alla progettazione degli apparati per la protezione catodica del gasdotto (Micro-tunnel);
- determinare il profilo verticale delle onde di taglio mediante MASW oppure down-hole.

La commessa è stata espletata mediante le seguenti prospezioni:

- esecuzione di prospezioni sismiche e geoelettriche per circa 4,5 km, con elaborazione tomografica dei dati, eseguite nel comune di Melendugno, nell'area del Terminale di Ricezione del gasdotto (PRT), lungo il tracciato del gasdotto, nella palude di Cassano e presso la pineta di San Basilio;
- n.5 sondaggi elettrici verticali (S.E.V.), per la progettazione degli apparati per la protezione catodica;
- n.2 prospezioni sismiche in foro di tipo down-hole;
- n.3 prospezioni sismiche MASW, effettuate presso il Terminale di Ricezione PRT e l'area del Micro-tunnel.

2. Prospezioni sismiche e rifrazione

2.1. Profilo PR_B

2.1.1. Profilo PR_B – Sub-Profilo S1

P wave travelttime (ms)							
	-8,0 m (from ch.1)	1,0 m (from ch.1)	between ch.6-ch.7	between ch.12-ch.13	between ch.18-ch.19	1,0 m (from ch.24)	8,0 m (from ch.24)
ch.	shot_1	shot_2	shot_3	shot_4	shot_5	shot_6	shot_7
1	7,00	1,60	11,34	17,81	21,14	28,35	37,49
2	8,87	3,14	8,34	16,81	20,08	27,28	36,42
3	10,14	4,67	5,74	15,81	18,94	26,35	35,42
4	11,21	6,00	4,00	14,81	17,81	25,41	34,48
5	13,01	7,67	2,47	13,54	16,61	24,35	33,62
6	14,47	9,07	0,60	12,07	15,47	23,41	32,28
7	15,74	11,01	1,07	10,67	13,94	22,28	31,15
8	17,01	12,81	4,34	7,67	12,81	21,34	29,95
9	17,94	14,61	3,40	5,27	11,27	20,21	28,95
10	18,94	16,34	5,34	3,67	10,21	18,81	27,88
11	20,21	17,68	7,27	2,33	8,94	17,74	26,95
12	21,48	19,08	9,47	1,13	7,40	16,68	25,75
13	22,41	20,21	11,14	0,93	5,74	15,67	24,61
14	23,68	21,34	12,41	2,40	4,54	14,34	23,41
15	24,81	22,34	13,67	4,80	3,67	13,27	22,34
16	25,88	23,35	15,41	6,87	3,00	12,14	21,41
17	26,88	24,35	16,61	8,80	2,13	11,14	20,14
18	27,95	25,48	17,81	10,14	0,47	9,74	18,68
19	28,88	26,48	18,81	11,47	0,73	8,20	17,34
20	29,82	27,41	19,81	12,74	1,53	6,94	16,41
21	30,68	28,35	20,88	13,74	2,74	5,67	15,14
22	31,62	29,35	22,01	14,67	4,14	4,14	13,67
23	32,48	30,35	23,01	15,67	5,87	2,74	11,87
24	33,28	31,22	23,95	16,74	7,40	0,87	9,74

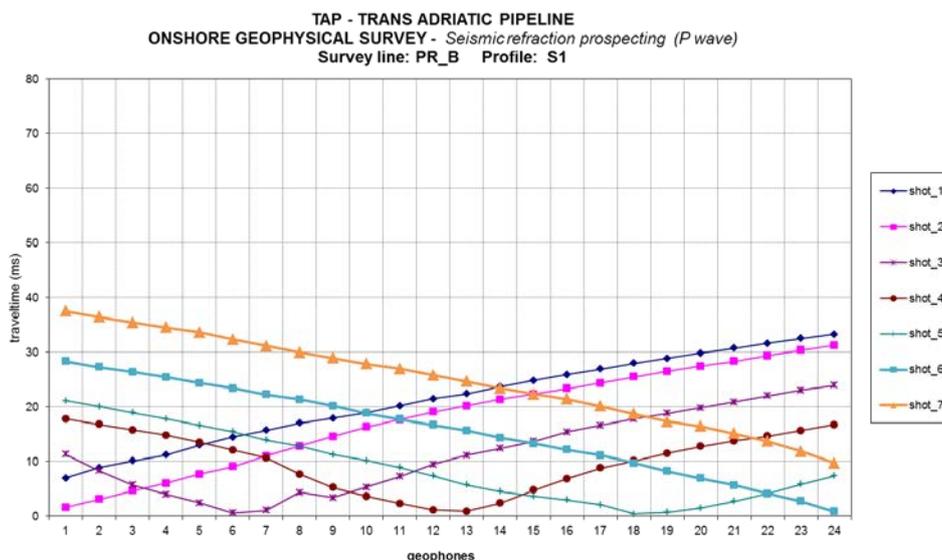


Figure 2 – IN ALTO. Tempi arrivo onde P - IN BASSO. Dromocrono.

2.1.2. Profilo PR_B – Sub-Profilo S2

P wave travelttime (ms)							
	-20,0 m (from ch.1)	-10,0 m (from ch.1)	between ch.6-ch.7	between ch.12-ch.13	between ch.18-ch.19	1,0 m (from ch.24)	10,0 m (from ch.24)
ch.	shot_1	shot_2	shot_3	shot_4	shot_5	shot_6	shot_7
1	13,61	6,34	9,07	15,47	25,01	32,28	37,69
2	15,14	7,54	7,14	14,14	23,81	31,28	36,69
3	17,08	8,94	5,34	12,67	22,41	30,22	35,68
4	18,48	10,74	3,27	11,21	21,14	29,15	34,75
5	20,01	12,07	1,80	9,41	20,08	28,21	33,62
6	21,21	13,67	0,73	7,67	19,08	27,28	32,35
7	22,41	15,21	0,73	6,20	18,01	26,28	31,15
8	23,28	16,48	2,00	5,07	16,88	24,81	30,02
9	24,28	17,54	3,14	3,67	15,88	23,61	28,95
10	25,35	18,81	4,74	2,33	14,81	22,41	27,95
11	26,55	19,81	6,27	1,47	12,94	21,21	27,01
12	27,61	21,14	7,67	0,73	11,01	19,74	25,75
13	28,95	22,34	9,41	0,60	8,67	18,14	24,61
14	30,02	23,28	10,81	1,93	6,80	17,14	23,55
15	31,22	24,15	12,74	3,27	5,34	16,14	22,41
16	32,28	25,28	14,47	5,14	4,14	15,14	21,34
17	33,42	26,48	15,61	6,80	2,47	13,74	20,21
18	34,62	27,55	17,01	8,47	1,07	11,74	18,54
19	35,55	28,81	18,68	10,74	1,20	9,34	17,41
20	36,62	29,95	19,94	12,74	3,27	7,27	15,61
21	37,69	30,88	21,48	14,47	5,27	5,60	13,67
22	38,55	32,02	22,68	16,01	6,80	4,14	11,47
23	39,49	32,95	23,81	17,41	8,47	2,74	9,07
24	40,35	33,88	25,08	18,68	10,07	0,87	7,47

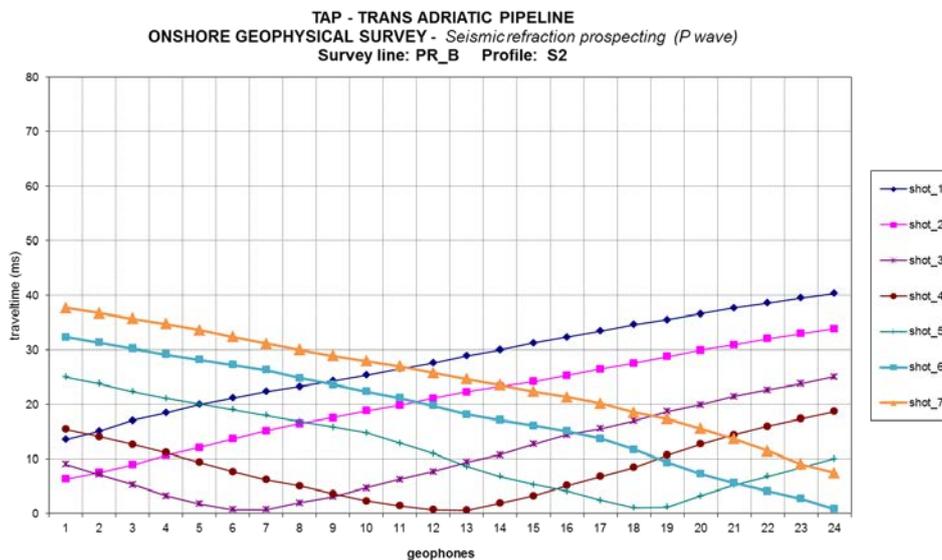


Figure 3 – IN ALTO. Tempi arrivo onde P - IN BASSO. Dromocrone.

2.1.3. Profilo PR_B – pseudosezione

**TAP - TRANS ADRIATIC PIPELINE
ONSHORE GEOPHYSICAL SURVEY - Seismic refraction prospecting (P wave)
Survey line: PR_B**

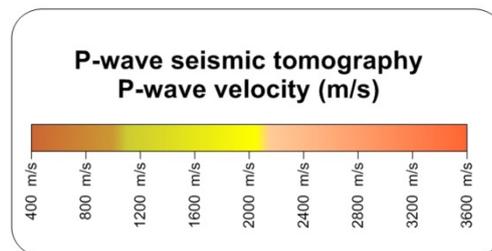
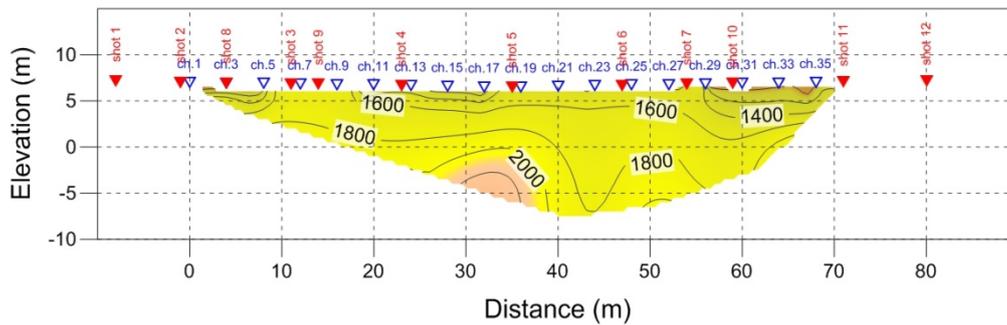


Figure 4 – Pseudosezione in onde P.

2.2. Profilo PR_D

2.2.1. Profilo PR_D – Sub-Profilo S1

P wave travelttime (ms)							
	-12,0 m (from ch.1)	1,0 m (from ch.1)	between ch.6-ch.7	between ch.12-ch.13	between ch.18-ch.19	1,5 m (from ch.24)	12,0 m (from ch.24)
ch.	shot_1	shot_2	shot_3	shot_4	shot_5	shot_6	shot_7
1	6,20	0,93	13,54	25,75	33,02	41,02	47,62
2	8,27	3,80	11,34	23,68	31,42	39,55	46,22
3	11,14	6,20	8,94	21,48	29,62	38,22	44,89
4	13,67	8,14	6,87	19,34	27,95	36,95	43,42
5	16,14	10,34	3,80	17,28	26,28	35,62	42,02
6	18,61	12,27	1,60	15,47	24,61	34,35	40,75
7	20,34	14,47	1,73	13,67	22,95	32,82	39,35
8	22,41	17,41	3,67	11,74	21,41	31,28	38,15
9	24,01	19,48	6,87	9,21	19,81	29,75	36,89
10	25,48	21,74	9,47	6,60	18,14	27,81	35,55
11	27,01	23,48	11,74	3,80	16,61	26,01	34,22
12	28,88	25,01	13,47	1,33	14,87	24,08	32,28
13	30,42	26,48	15,07	1,33	13,14	22,41	29,75
14	32,28	28,15	16,68	3,14	11,21	20,88	27,55
15	33,62	29,35	18,28	5,60	9,41	19,34	25,75
16	35,22	30,48	19,94	8,67	7,00	17,54	24,08
17	36,49	31,75	21,61	11,07	3,80	15,47	22,28
18	37,82	33,22	22,95	13,41	1,20	13,54	20,28
19	39,29	34,42	24,28	14,94	1,00	10,87	18,41
20	40,75	35,82	25,68	16,48	2,54	9,07	16,34
21	42,22	37,22	27,08	17,94	5,27	7,14	13,94
22	43,56	38,55	28,61	19,41	7,67	4,47	12,47
23	44,96	40,02	30,02	20,74	10,07	2,54	10,47
24	46,29	41,29	31,42	22,21	12,54	0,73	8,20

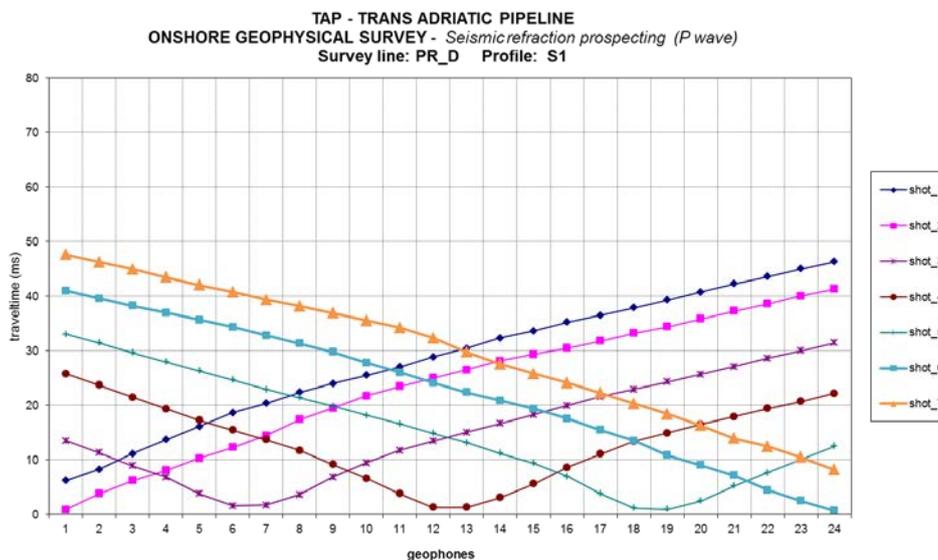


Figure 5 – IN ALTO. Tempi arrivo onde P - IN BASSO. Dromocrono.

2.2.2. Profilo PR_D – Sub-Profilo S2

P wave traveltimes (ms)							
	-12,0 m (from ch.1)	1,5 m (from ch.1)	between ch.6-ch.7	between ch.12-ch.13	between ch.18-ch.19	1,5 m (from ch.24)	12,0 m (from ch.24)
ch.	shot_1	shot_2	shot_3	shot_4	shot_5	shot_6	shot_7
1	9,93	1,00	10,94	23,53	33,28	42,31	46,82
2	12,07	2,87	9,54	22,41	31,88	41,09	45,56
3	13,94	4,67	7,67	21,28	30,62	39,82	44,22
4	15,67	7,00	4,94	20,14	29,15	38,49	43,02
5	17,07	8,80	3,14	18,94	27,81	37,15	41,75
6	18,54	11,14	1,33	17,14	25,88	35,95	40,55
7	20,14	13,01	0,87	14,47	24,35	34,76	39,15
8	21,81	15,21	3,14	11,21	22,88	33,35	37,42
9	23,54	17,14	5,07	8,40	21,28	31,68	36,02
10	25,07	19,21	7,07	5,74	19,34	30,48	34,48
11	26,74	21,14	9,34	3,54	17,68	29,08	33,28
12	28,81	22,88	12,61	1,20	16,14	27,61	32,08
13	30,88	24,48	15,07	1,47	14,07	26,41	30,48
14	32,55	26,28	17,54	3,40	11,74	25,01	28,88
15	34,75	27,95	19,81	7,40	9,07	23,61	27,28
16	36,61	29,95	21,34	9,94	5,74	22,34	25,75
17	38,81	32,08	23,41	12,54	3,27	20,48	24,35
18	40,35	34,02	25,21	15,81	1,47	19,08	22,68
19	41,75	35,89	26,88	17,74	1,60	17,21	21,01
20	43,15	37,49	28,41	19,34	5,40	15,07	19,68
21	44,48	38,89	30,22	21,08	9,07	11,67	18,08
22	45,75	40,22	31,42	22,41	12,01	9,07	16,41
23	46,91	41,49	32,68	23,81	14,21	6,27	14,54
24	48,15	42,69	33,82	25,28	15,88	3,67	12,34

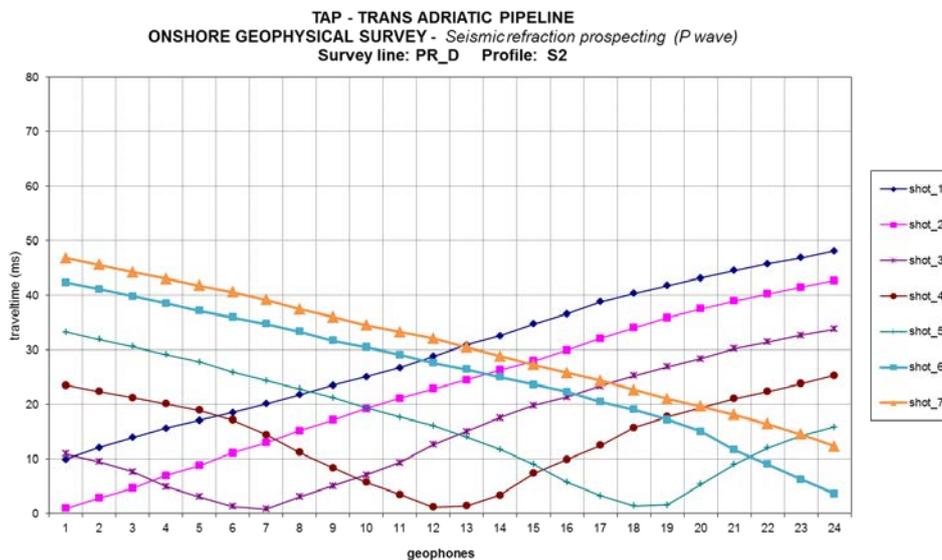


Figure 6 – IN ALTO. Tempi arrivo onde P - IN BASSO. Dromocrone.

2.2.3. Profilo PR_D – pseudosezione

TAP - TRANS ADRIATIC PIPELINE
ONSHORE GEOPHYSICAL SURVEY - Seismic refraction prospecting (P wave)
Survey line: PRD

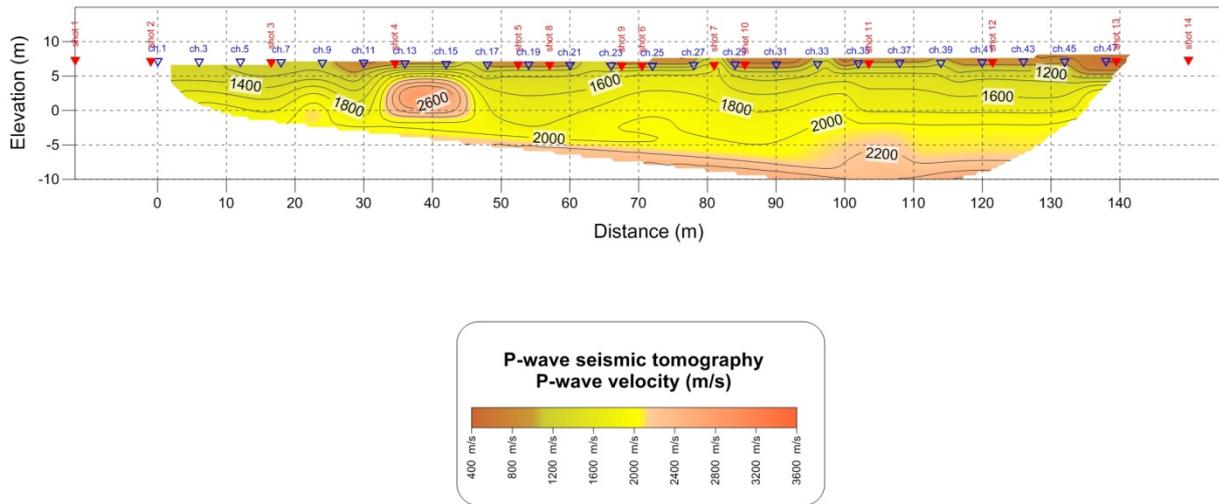


Figure 7 – Pseudosezione in onde P.

URS

Italia

URS Italy S.p.A.

TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT

Indagini Geofisiche **Indagini sismiche e geoelettriche aggiuntive** **eseguite sulla terraferma**

ALLEGATO 3 **PROSPEZIONI SISMICHE MASW** **Report**

Commessa No	214/14
File	214-14_URS Italy – Indagini geofisiche aggiuntive eseguite sulla terraferma – TAP – MICRO - MASW
Rev.	Rev. 0
Documento No.	ALLEGATO 3

TECNO IN S.P.A.

Sede Legale e Operativa: 20097 **San Donato Milanese (MI)** – Via Marcora,52 – Tel. 02.496.80.501/Fax 02.496.80.502

Sede Amministrativa, Operativa e Laboratori: 80142 **Napoli** – Il Trav. Strettola S. Anna alle Paludi, 11 - Tel. 081.563.45.20/Fax 081 563.39.70

Sede Operativa: 07046 **Porto Torres (SS)** – Piazza Garibaldi 14 – Tel. 346.0363883

Sedi Operative Secondarie: Messina, L'Aquila e Crotona

P.Iva 05016170630

Tecnoin Mozambique Lda

Sede Ufficio: Maputo - Rua Da Se, n.1

P.I.: 400497788

Email: tecnoin@tecnoin.it

Sito: www.tecnoin.it

INDEX

1. INTRODUZIONE	3
2. PROSPEZIONI SISMICHE MASW – AREA MICRO TUNNEL	5
2.1. Identificazione delle categorie di suolo ai sensi dell'Eurocode 8: Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici.....	6
2.2. MASW 3	9

1. Introduzione

La **Tecno In S.p.A.** ha ricevuto l'incarico dalla società URS Italy S.p.A., con ordine di lavoro No. 201502/106, Job No. 46318-441, di eseguire, nell'ambito del progetto Trans Adriatic Pipeline Project, indagini geofisiche aggiuntive (geoelettrica, sismica a rifrazione, SEV, down-hole, MASW), presso la terraferma, nel territorio di Melendugno (LE).

L'area d'indagine è situata nella regione Puglia, presso la costa centro meridionale del Salento. L'approdo del gasdotto sarà situato nel tratto di costa compreso tra le località di San Foca e Torre Specchia Ruggeri, ricadenti nel citato comune di Melendugno.

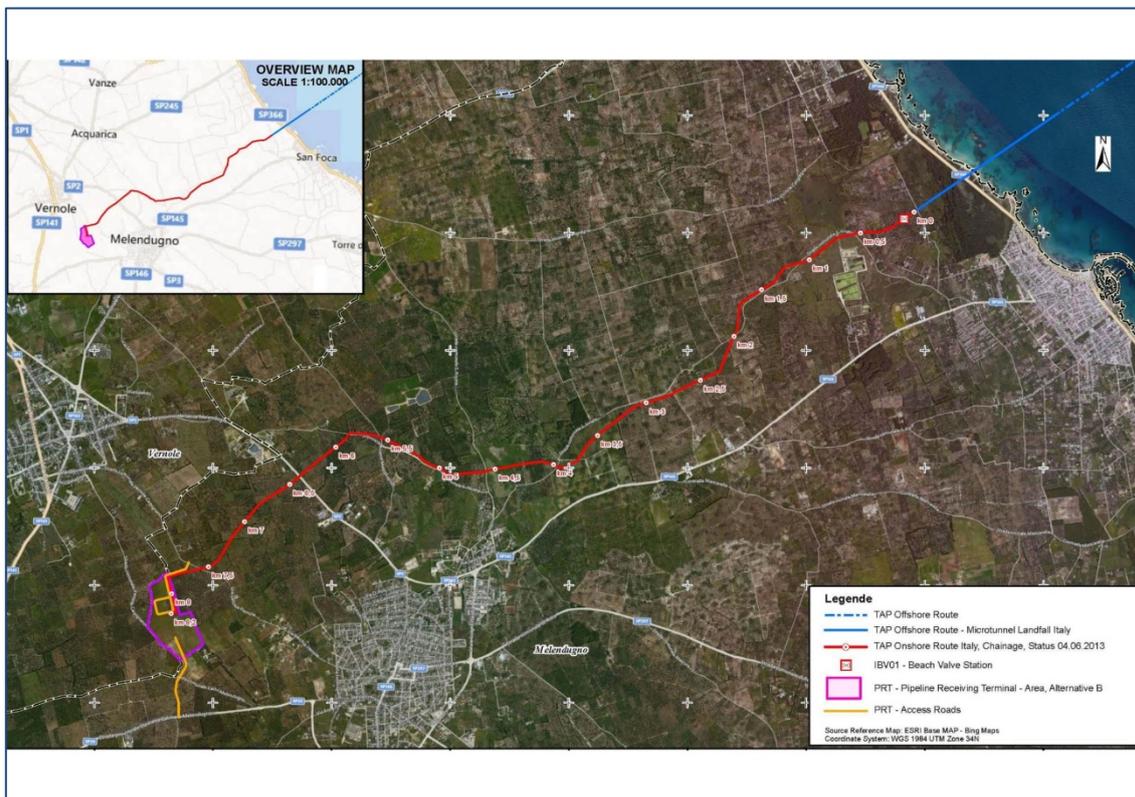


Figura 1 – Melendugno – TAP. Sito d'indagine.

Le prospezioni geofisiche sono consistite in un insieme di indagini finalizzate all'approfondimento dei seguenti punti:

- ottenere la caratterizzazione stratigrafica dei terreni interessati dall'opera;
- identificare anomalie sotterranee così come cavità naturali o artificiali oppure strutture sepolte;
- definire la resistività elettrica del terreno per fornire indicazioni utili alla progettazione degli apparati per la protezione catodica del gasdotto (Micro-tunnel);
- determinare il profilo verticale delle onde di taglio mediante MASW oppure down-hole.

La commessa è stata espletata mediante le seguenti prospezioni:

- esecuzione di prospezioni sismiche e geoelettriche per circa 4,5 km, con elaborazione tomografica dei dati, eseguite nel comune di Melendugno, nell'area del Terminale di Ricezione del gasdotto (PRT), lungo il tracciato del gasdotto, nella palude di Cassano e presso la pineta di San Basilio;
- n.5 sondaggi elettrici verticali (S.E.V.), per la progettazione degli apparati per la protezione catodica;
- n.2 prospezioni sismiche in foro di tipo down-hole;
- n.3 prospezioni sismiche MASW, effettuate presso il Terminale di Ricezione PRT e l'area del Micro-tunnel.

2. Prosezioni sismiche MASW – area micro tunnel

Per la prospezione sismica MASW in oggetto, i dati sono stati elaborati selezionando, tra tutti i dati acquisiti, quelli caratterizzati dal miglior rapporto segnale/rumore.

Analizzando i segnali, caratterizzati da una curva di dispersione, è stato determinato il profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s .

Successivamente, si è proceduto al calcolo della velocità equivalente nei primi 30 m di profondità (V_{s30}) ed alla individuazione della categoria sismica del suolo.

La prospezione MASW di cui si relazione, è stata eseguita in prossimità del perforo indicato con la sigla **PIEZO-2** nell'area del Micro tunnel (Figura 2).



Figura 2. Melendugno – TAP. Ubicazione dell'indagine MASW Nr. 3.

2.1. Identificazione delle categorie di suolo ai sensi dell'Eurocode 8: Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici

La problematica inerente la classificazione del terreno da un punto di vista sismico è trattata dall' Eurocode 8: *Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings*.

Nel suddetto documento al par. 3.1.2. "Identification of ground types", sono identificate cinque tipologie di sottosuolo (A, B, C, D, E), di seguito riportate, in base alla velocità media di propagazione delle onde di taglio VS (su 30 metri), il valore di NSPT e la CU.

Categoria di suolo	Descrizione del profilo stratigrafico	Parametro
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	$V_{s,30} > 800$ m/s
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)	$360 \text{ m/s} < V_{s,30} < 800 \text{ m/s}$ ovvero $N_{SPT,30} > 50$ (terreni a grana grossa) ovvero $c_{u,30} > 250$ kPa (terreni a grana fina)
C	<i>Depositi 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)	$180 \text{ m/s} < V_{s,30} < 360 \text{ m/s}$ ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ (terreni a grana grossa) ovvero $70 < c_{u,30} < 250$ kPa (terreni a grana fina)
D	<i>Depositi 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)	$V_{s,30} < 180$ m/s ovvero $N_{SPT,30} < 15$ (terreni a grana grossa) ovvero $c_u < 70$ kPa (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 1 - Eurocode 8: suddivisione delle categorie di suolo

Sono, inoltre, definite ulteriori due categorie, S1 ed S2, che prevedono specifiche analisi per la definizione delle azioni sismiche, particolarmente nei casi in cui la presenza di terreni suscettibili di liquefazione e/o di argille d'elevata sensitività possa comportare fenomeni di collasso del terreno.

Categoria di suolo	Descrizione del profilo stratigrafico	Parametro
S1	Depositi 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	$V_{s,30} < 100$ m/s ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.	

Tabella 2 - Eurocode 8: suddivisione delle categorie di suolo

La caratterizzazione del terreno dal punto di vista sismico in particolare e dinamico in generale richiede come elemento indispensabile la conoscenza del profilo di velocità delle onde di taglio V_s degli strati di terreno presenti nel sito, fino alla profondità di almeno 30 m dal piano campagna, secondo quanto richiesto dalle sopraccitate normative.

- Il profilo delle onde di taglio V_s nei primi 30 m di profondità risulta necessario per:
- valutare l'azione sismica di progetto al livello delle fondazioni di qualunque struttura
- valutare il rischio di liquefazione del terreno in sito
- valutare rischi di instabilità dei pendii e/o delle opere di sostegno
- valutare i cedimenti dei rilevati stradali, delle opere di sostegno, delle fondazioni degli edifici
- valutare la trasmissione delle vibrazioni generate dai treni, dalle macchine vibranti, dalle esplosioni in superficie o in sotterraneo, dal traffico veicolare

La velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,30}$ è definita dall'espressione:

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

Dove:

h_i è lo spessore (in metri) dell' i -esimo strato compreso nei primi 30 m di profondità;

V_{s_i} è la velocità (in m/s) delle onde di taglio nell' i -esimo strato.

2.2. MASW 3

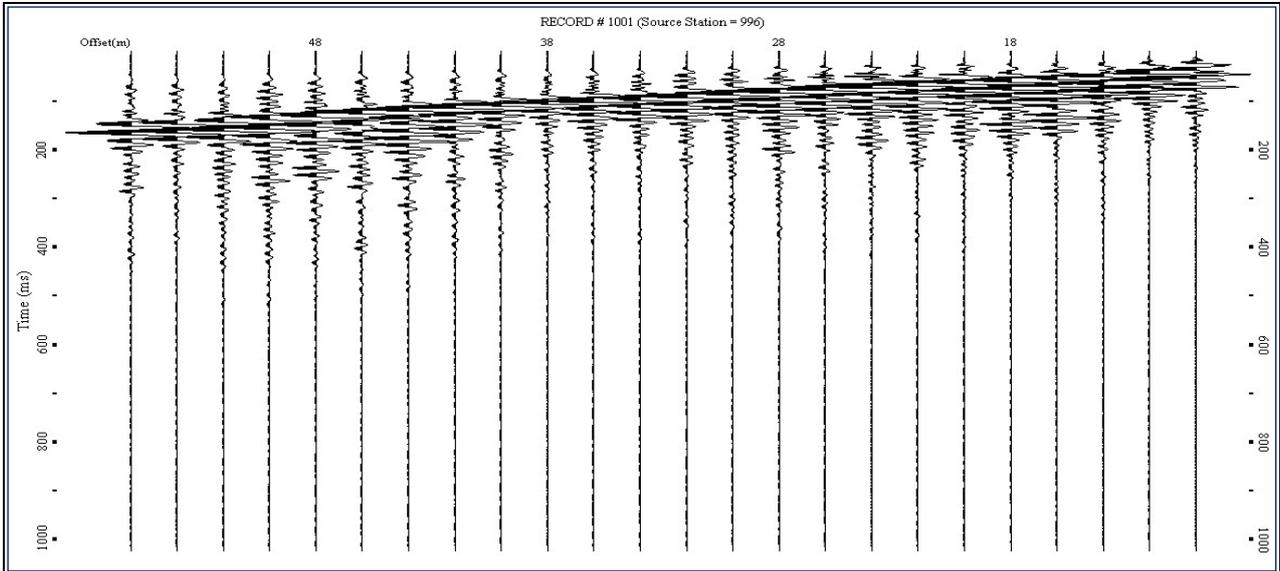


Figura 1. Melendugno – TAP. Prosperezione MASW - **MASW 3** - sismogramma.

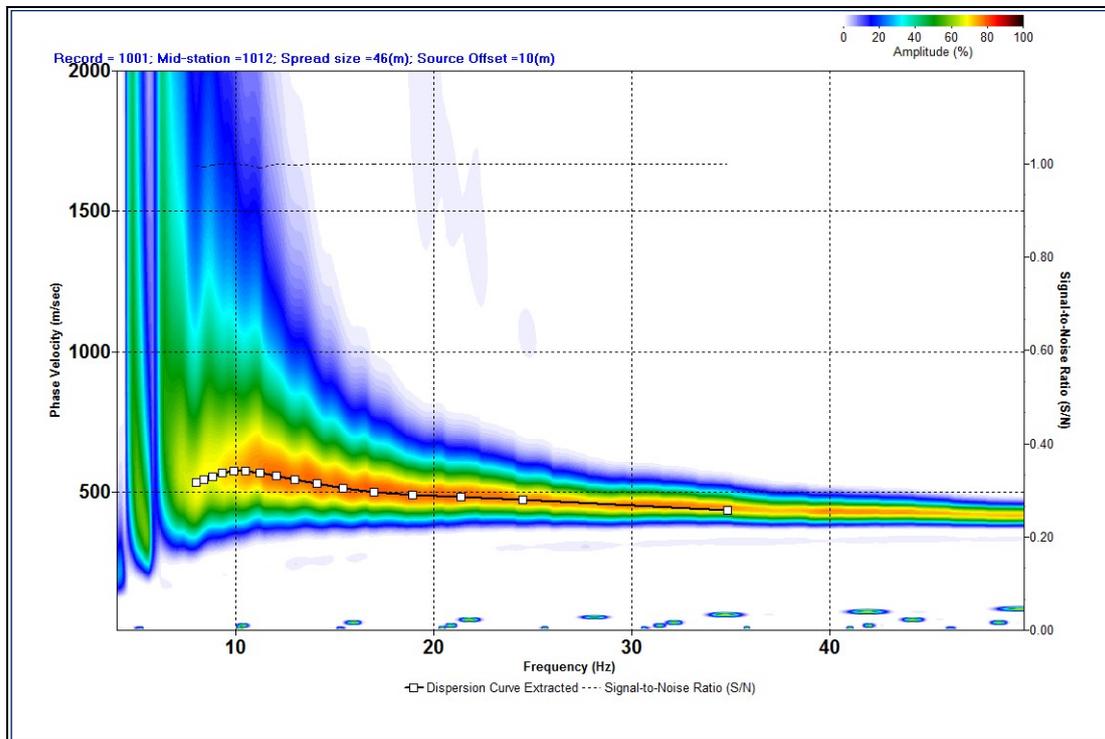


Figura 2. Melendugno – TAP. Prosperezione MASW - **MASW 3** – curva di dispersione

Sito: Melendugno (LE) – Italia
 Committente: URS Italy S.p.A.
 Progetto: Indagini sismiche e geoelettriche aggiuntive eseguite sulla terraferma
 File: 214-14_URS Italy – Indagini geofisiche aggiuntive eseguite sulla terraferma – TAP – MICRO - MASW
 Documento N°: ALLEGATO 3

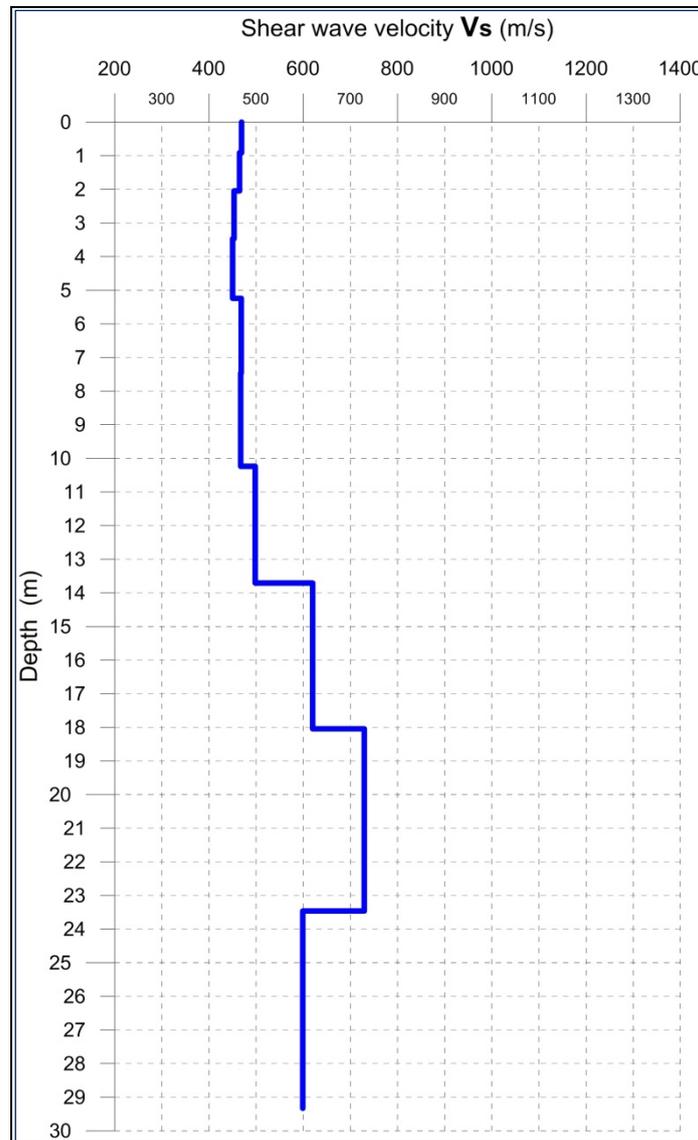


Figura 3. Melendugno – TAP. Prospettive MASW - **MASW 3** – Profilo verticale della velocità delle onde S

M A S W 3
 $V_{s,30} = 550$ m/s

Classificazione del suolo in accordo con la normativa Eurocode 8

“B” (360 m/s < $V_{s,30}$ < 800 m/s)

URS

Italia

URS Italy S.p.A.

TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT

Indagini Geofisiche **Indagini sismiche e geoelettriche aggiuntive** **eseguite sulla terraferma**

ALLEGATO 4 **PROSPEZIONI SISMICHE DOWN-HOLE** **Report**

Commessa No	214/14
File	214-14_URS Italy – Indagini geofisiche aggiuntive eseguite sulla terraferma – TAP – MICRO – DOWN-HOLE
Rev.	Rev. 0
Documento No.	ALLEGATO 4

TECNO IN S.P.A.

Sede Legale e Operativa: 20097 **San Donato Milanese (MI)** – Via Marcora,52 – Tel. 02.496.80.501/Fax 02.496.80.502

Sede Amministrativa, Operativa e Laboratori: 80142 **Napoli** – Il Trav. Strettola S. Anna alle Paludi, 11 - Tel. 081.563.45.20/Fax 081 563.39.70

Sede Operativa: 07046 **Porto Torres (SS)** – Piazza Garibaldi 14 – Tel. 346.0363883

Sedi Operative Secondarie: Messina, L'Aquila e Crotone

P.Iva 05016170630

Tecnoin Mozambique Lda

Sede Ufficio: Maputo - Rua Da Se, n.1

P.I.: 400497788

Email: tecnoin@tecnoin.it

Sito: www.tecnoin.it

Down-Hole test Nr.1

Committente	URS Italy S.p.A.	Ubicazione	Melendugno (LE)
Down-hole test	DH-1	Data	22/06/2015
Sigla sondaggio	ST_BH 4	Orario inizio	14:00

Ubicazione Down-Hole

Down-Hole test

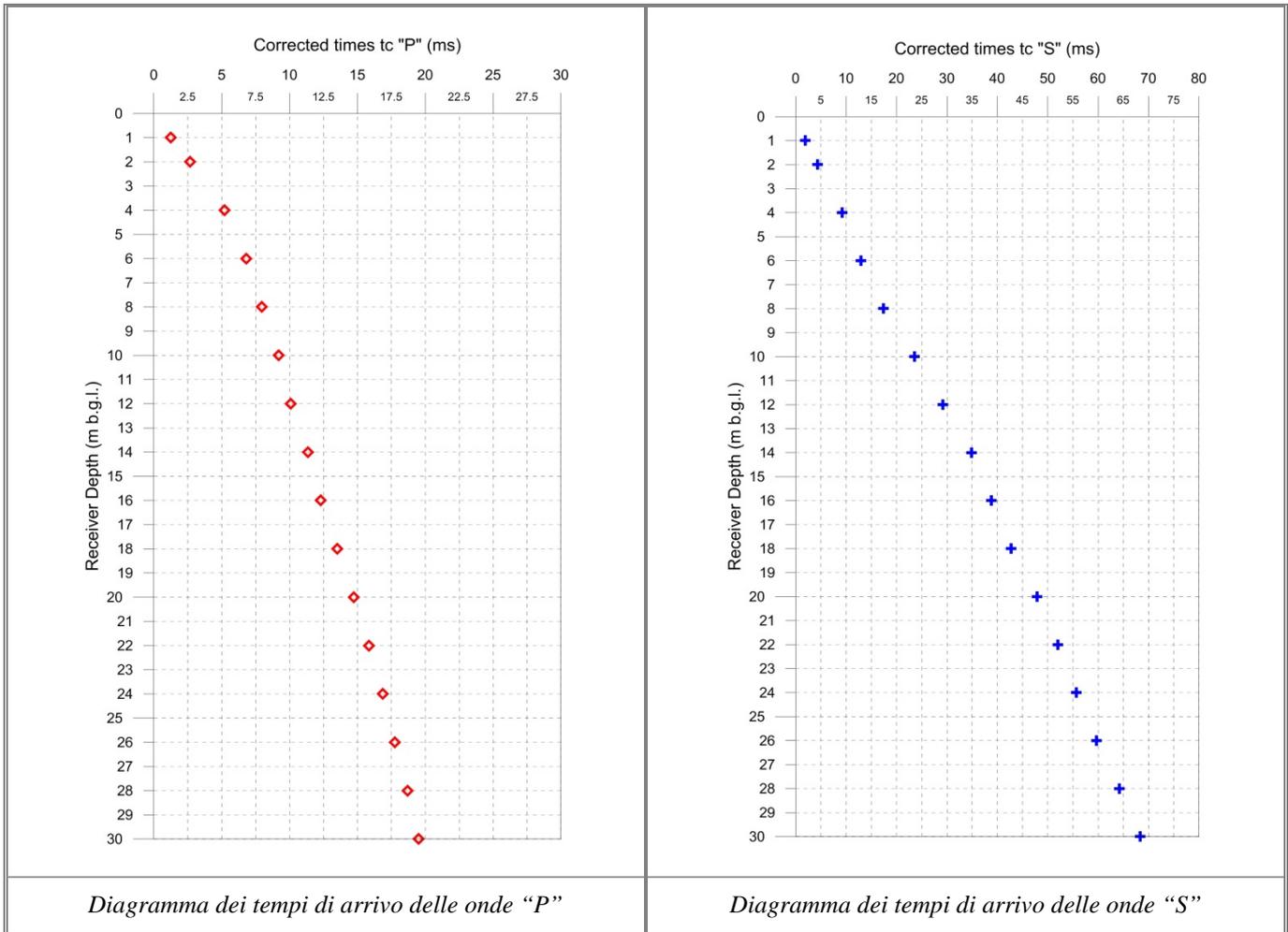
Committente	URS Italy S.p.A.	Ubicazione	Melendugno (LE)
Down-hole test	DH-1	Data	22/06/2015
Sigla sondaggio	ST_BH 4	Orario inizio	14:00

Fotografia

Down-Hole test

Committente	URS Italy S.p.A.	Ubicazione	Melendugno (LE)
Down-hole test	DH-1	Data	22/06/2015
Sigla sondaggio	ST_BH 4	Orario inizio	14:00

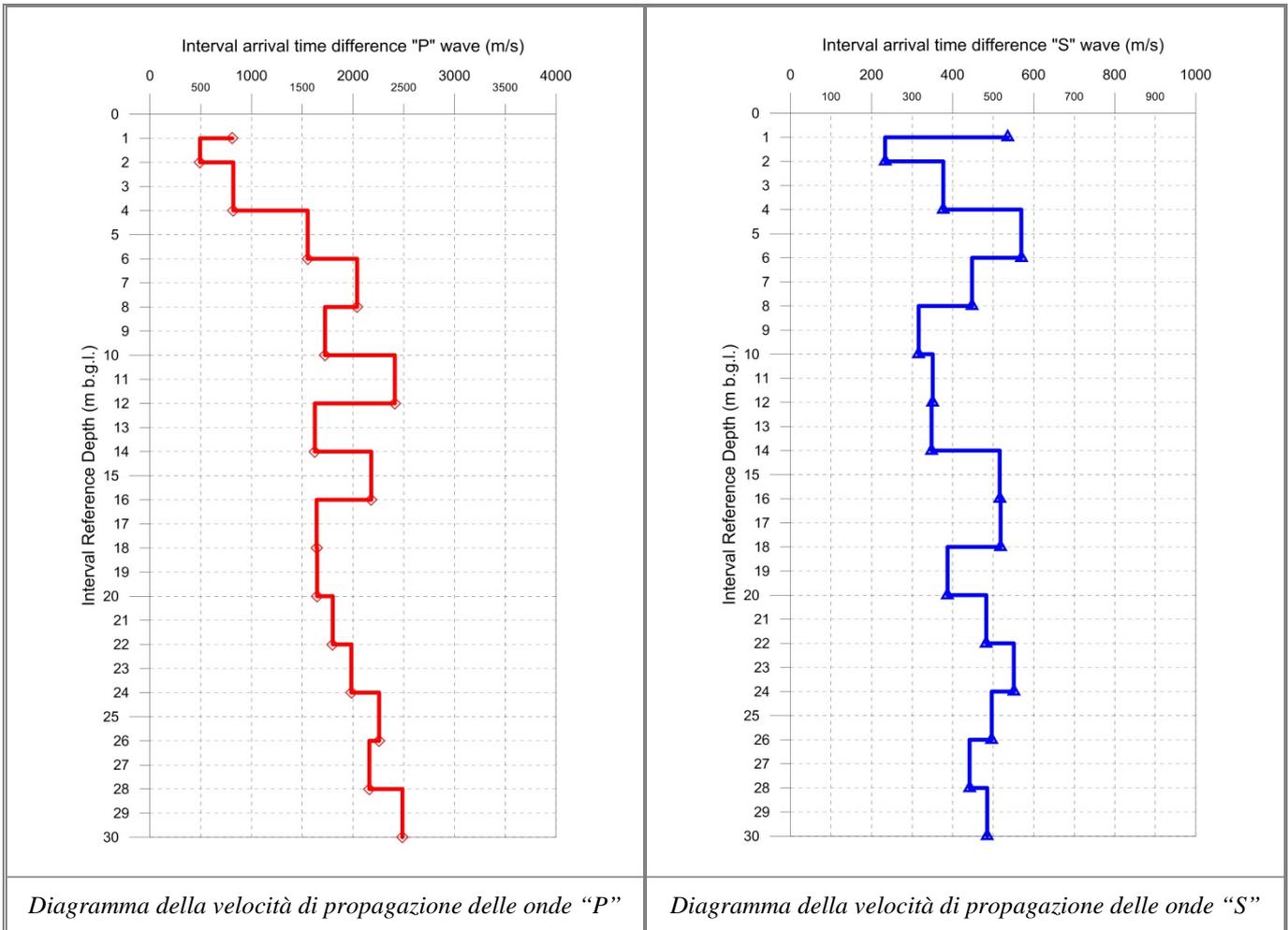
Diagramma dei tempi di arrivo delle onde "P" and "S"



Down-Hole test

Committente	URS Italy S.p.A.	Ubicazione	Melendugno (LE)
Down-hole test	DH-1	Data	22/06/2015
Sigla sondaggio	ST_BH 4	Orario inizio	14:00

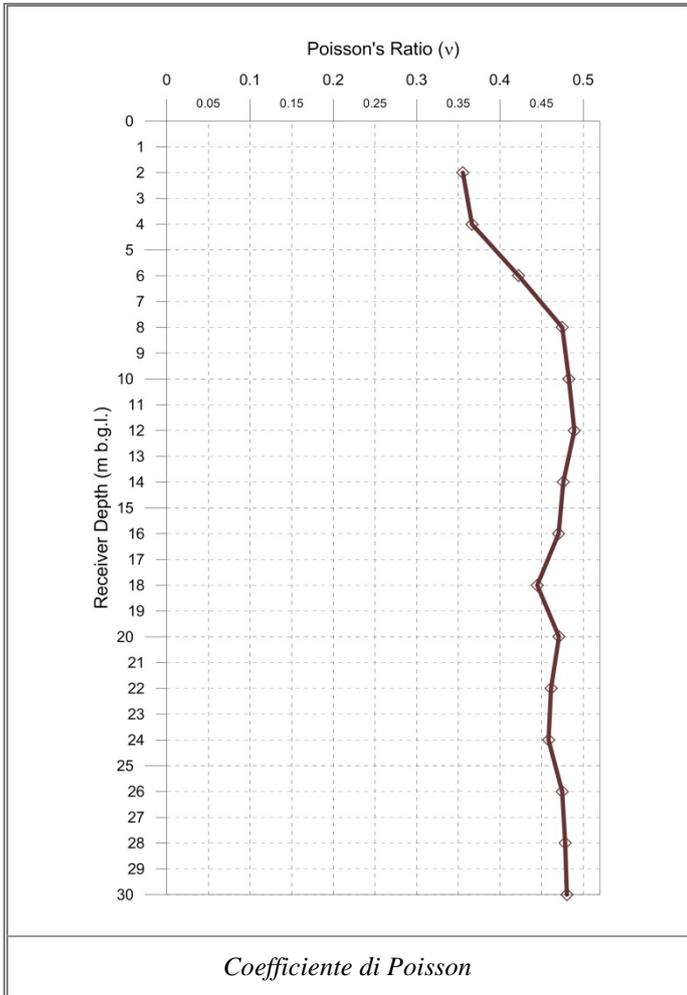
Diagramma della velocità di propagazione delle onde "P" and "S"



Down-Hole test

Committente	URS Italy S.p.A.	Ubicazione	Melendugno (LE)
Down-hole test	DH-1	Data	22/06/2015
Sigla sondaggio	ST_BH 4	Orario inizio	14:00

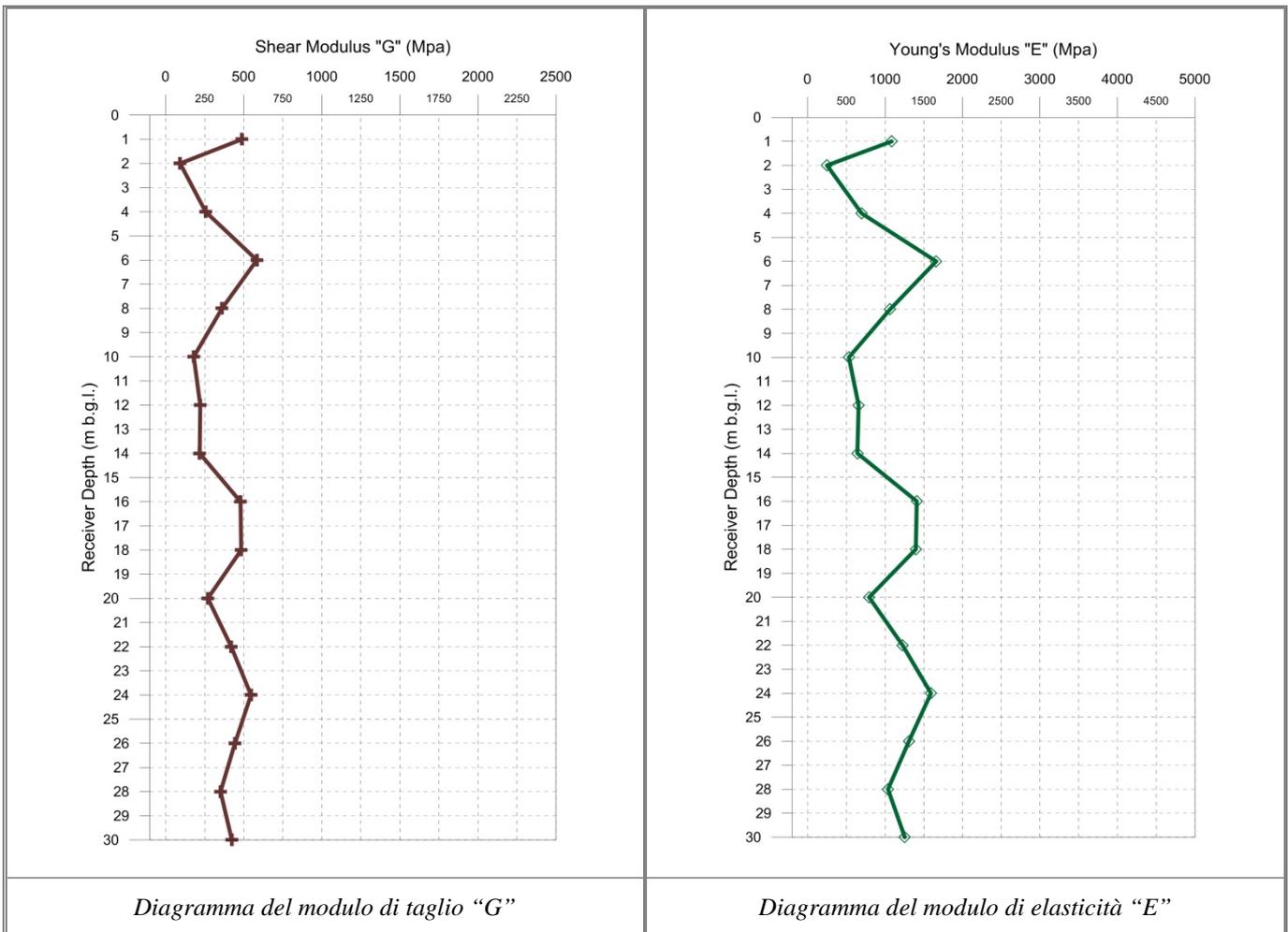
Coefficiente di Poisson



Down-Hole test

Committente	URS Italy S.p.A.	Ubicazione	Melendugno (LE)
Down-hole test	DH-1	Data	22/06/2015
Sigla sondaggio	ST_BH 4	Orario inizio	14:00

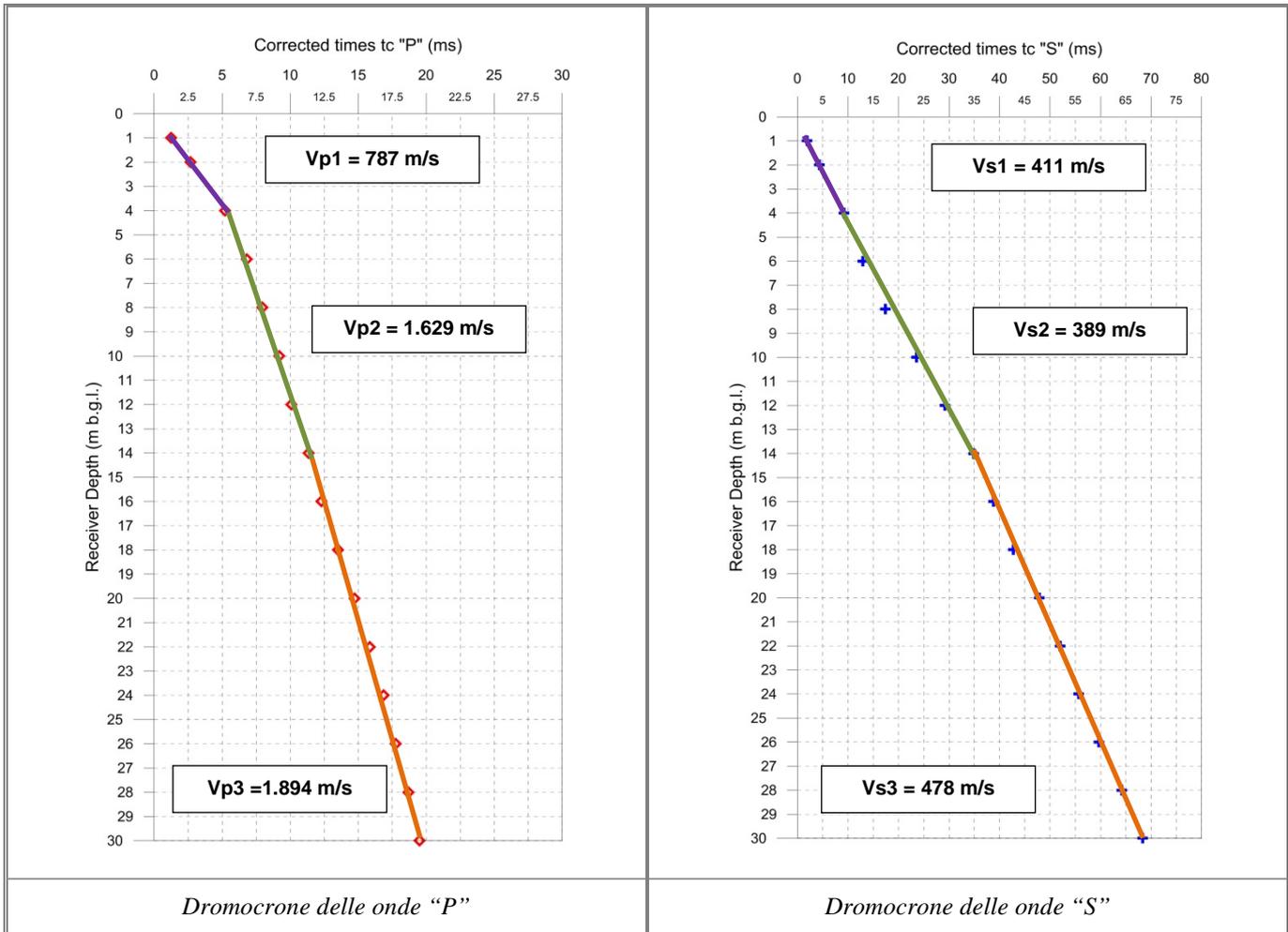
*Diagramma del modulo di taglio "G"
 Diagramma del modulo di elasticità "E"*



Down-Hole test

Committente	URS Italy S.p.A.	Ubicazione	Melendugno (LE)
Down-hole test	DH-1	Data	22/06/2015
Sigla sondaggio	ST_BH 4	Orario inizio	14:00

Dromocrone delle onde "P" e "S"



Down-Hole test

Committente	URS Italy S.p.A.	Ubicazione	Melendugno (LE)
Down-hole test	DH-1	Data	22/06/2015
Sigla sondaggio	ST_BH 4	Orario inizio	14:00

Riepilogo dei dati

Profondità (m dal p.c.)	tempi osservati t _o "P" (ms)	tempi osservati t _o "S" (ms)	tempi corretti t _c "P" (ms)	tempi corretti t _c "S" (ms)	velocità intervallo V _p (m/s)	velocità intervallo V _s (m/s)	V _p /V _s	Poisson (n)	γ _n gamma NATURALE	G Mpa	E Mpa
1	3,90	5,90	1,23	1,87	811	536	1,5	0,11	1,70	488	1.086
2	4,80	7,80	2,66	4,33	493	233	2,1	0,36	1,70	93	251
4	6,50	11,50	5,20	9,20	820	377	2,2	0,37	1,80	256	699
6	7,60	14,50	6,80	12,97	1.553	569	2,7	0,42	1,80	584	1.660
8	8,50	18,60	7,96	17,42	2.040	448	4,6	0,47	1,80	361	1.064
10	9,60	24,60	9,20	23,56	1.724	316	5,5	0,48	1,80	180	533
12	10,40	30,10	10,09	29,20	2.411	351	6,9	0,49	1,80	221	659
14	11,60	35,70	11,34	34,91	1.624	348	4,7	0,48	1,80	218	643
16	12,50	39,50	12,29	38,82	2.179	516	4,2	0,47	1,80	479	1.410
18	13,70	43,30	13,51	42,71	1.641	518	3,2	0,44	1,80	484	1.397
20	14,90	48,40	14,74	47,86	1.646	387	4,3	0,47	1,80	270	794
22	16,00	52,50	15,85	52,02	1.800	483	3,7	0,46	1,80	420	1.227
24	17,00	56,10	16,87	55,67	1.983	551	3,6	0,46	1,80	546	1.593
26	17,88	60,10	17,76	59,70	2.257	496	4,5	0,47	1,80	444	1.308
28	18,80	64,60	18,69	64,23	2.161	442	4,9	0,48	1,80	351	1.038
30	19,60	68,70	19,50	68,36	2.487	485	5,1	0,48	1,80	424	1.255

V_{s,30} Categoria del sottosuolo

367 m/s

Suolo di tipo "B"

360 m/s < V_{s,30} < 800 m/s

Down-Hole test Nr.2

Commitente	URS Italy S.p.A.	Ubicazione	Melendugno (LE)
Down-hole test	DH-2	Data	23/06/2015
Sigla sondaggio	ST_BH 5	Orario inizio	08:00

Ubicazione Down-Hole

Down-Hole test

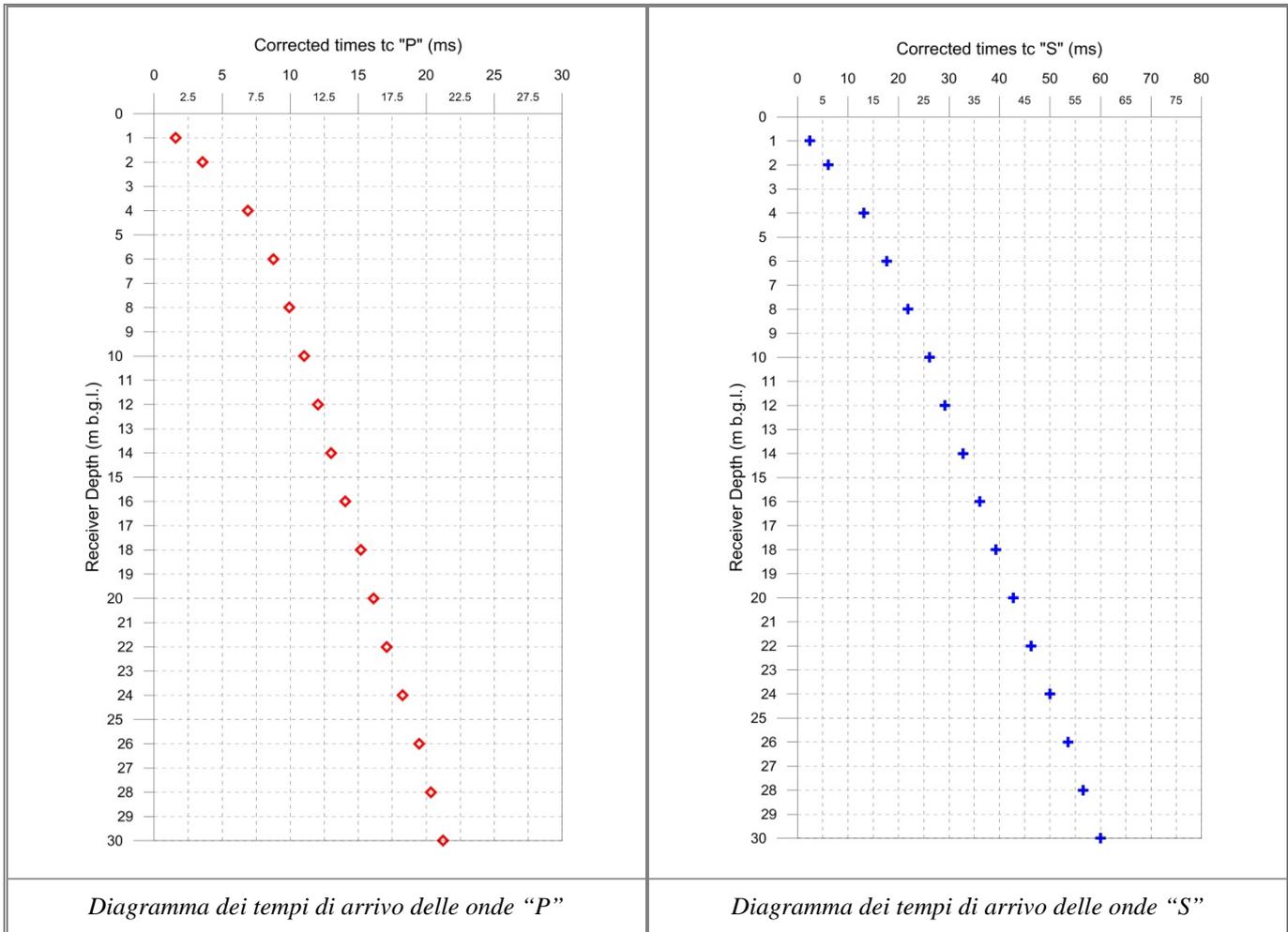
Commitente	URS Italy S.p.A.	Ubicazione	Melendugno (LE)
Down-hole test	DH-2	Data	23/06/2015
Sigla sondaggio	ST_BH 5	Orario inizio	08:00

Fotografia

Down-Hole test

Commitente	URS Italy S.p.A.	Ubicazione	Melendugno (LE)
Down-hole test	DH-2	Data	23/06/2015
Sigla sondaggio	ST_BH 5	Orario inizio	08:00

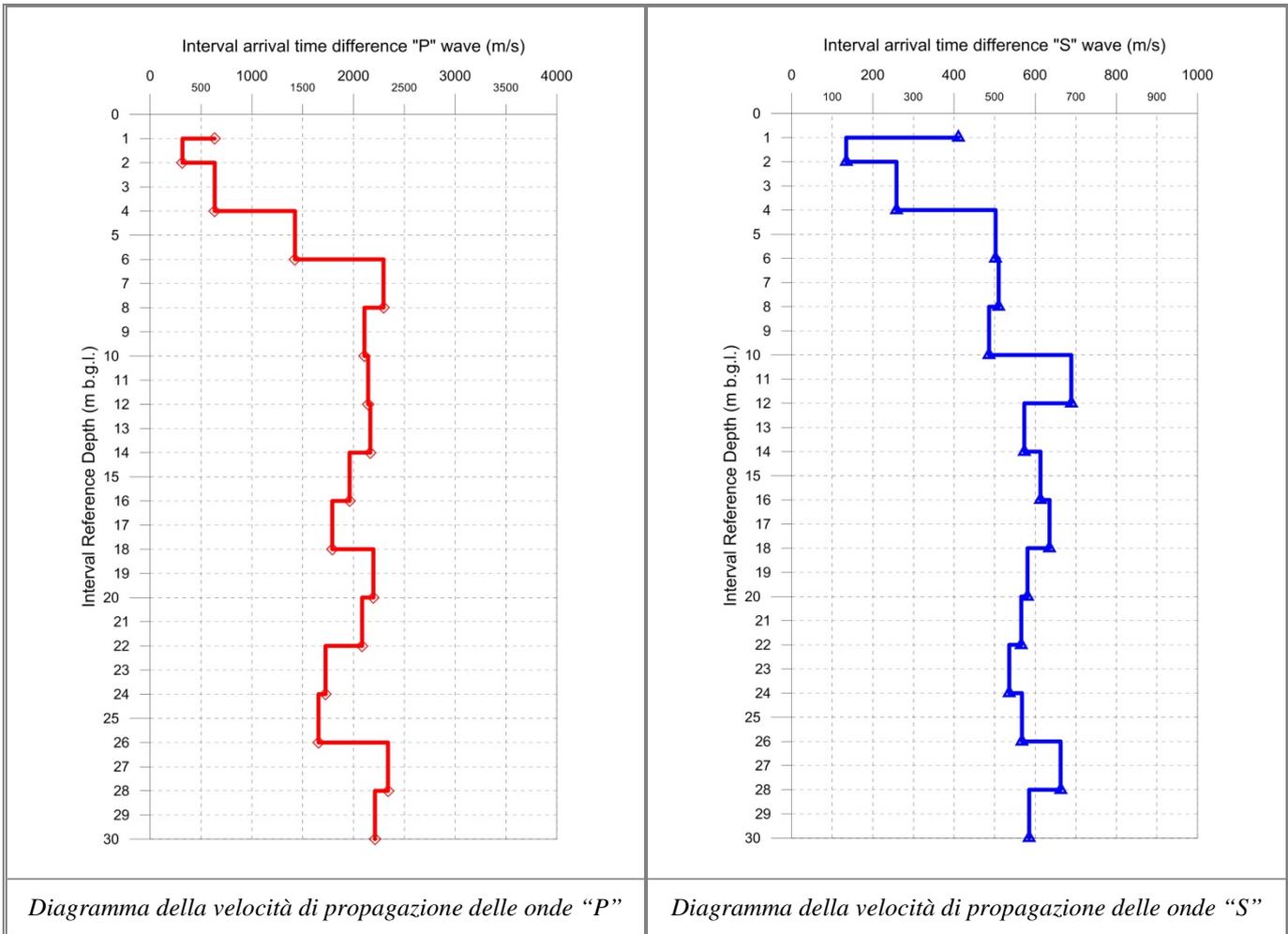
Diagramma dei tempi di arrivo delle onde "P" and "S"



Down-Hole test

Commitente	URS Italy S.p.A.	Ubicazione	Melendugno (LE)
Down-hole test	DH-2	Data	23/06/2015
Sigla sondaggio	ST_BH 5	Orario inizio	08:00

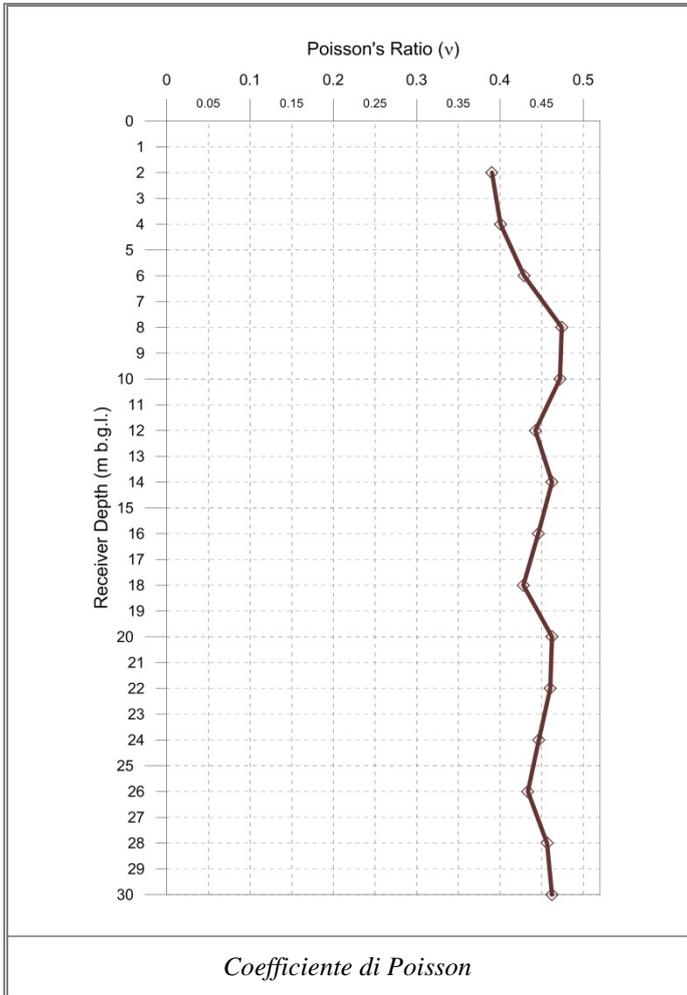
Diagramma della velocità di propagazione delle onde "P" and "S"



Down-Hole test

Commitente	URS Italy S.p.A.	Ubicazione	Melendugno (LE)
Down-hole test	DH-2	Data	23/06/2015
Sigla sondaggio	ST_BH 5	Orario inizio	08:00

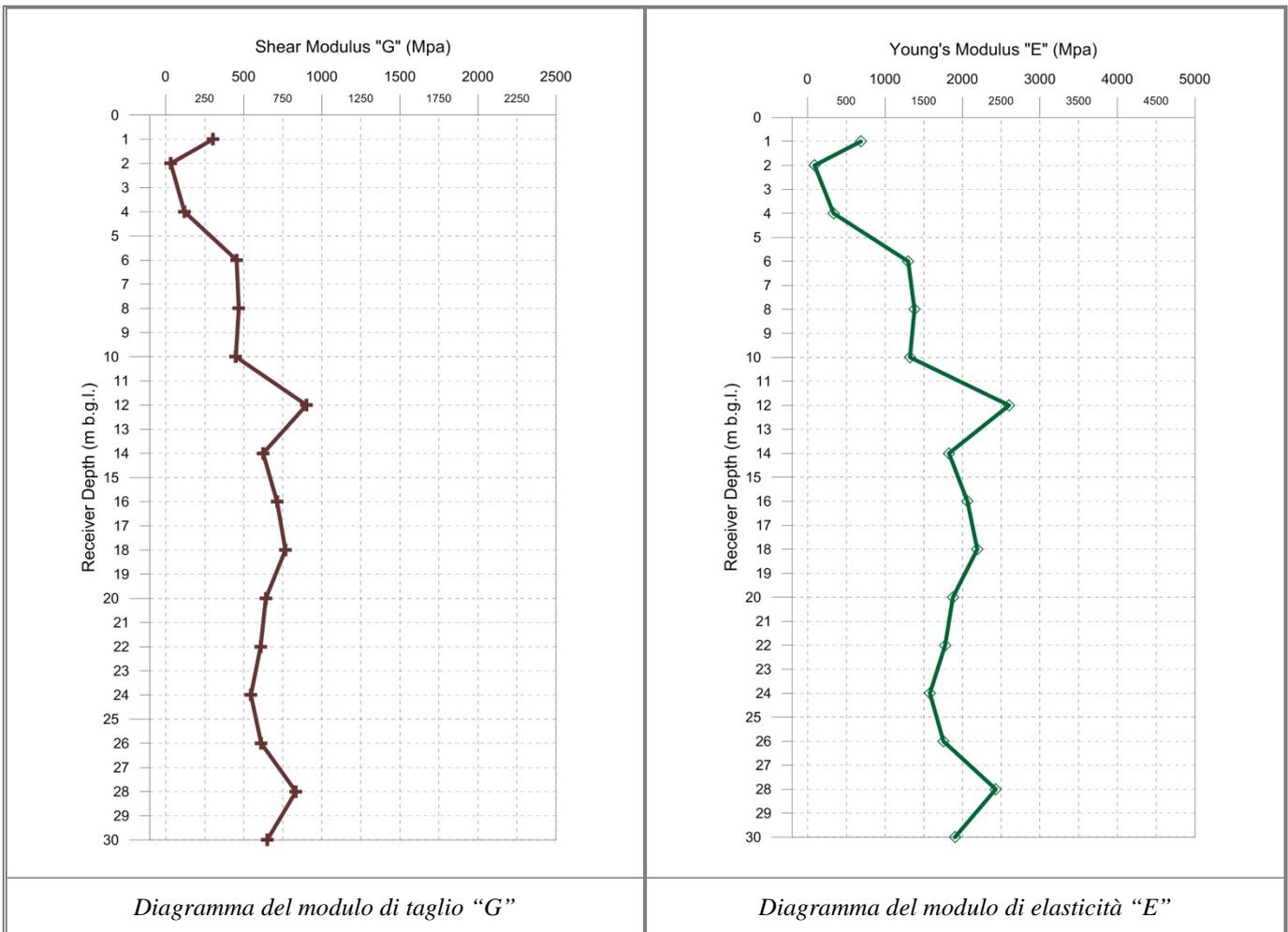
Coefficiente di Poisson



Down-Hole test

Commitente	URS Italy S.p.A.	Ubicazione	Melendugno (LE)
Down-hole test	DH-2	Data	23/06/2015
Sigla sondaggio	ST_BH 5	Orario inizio	08:00

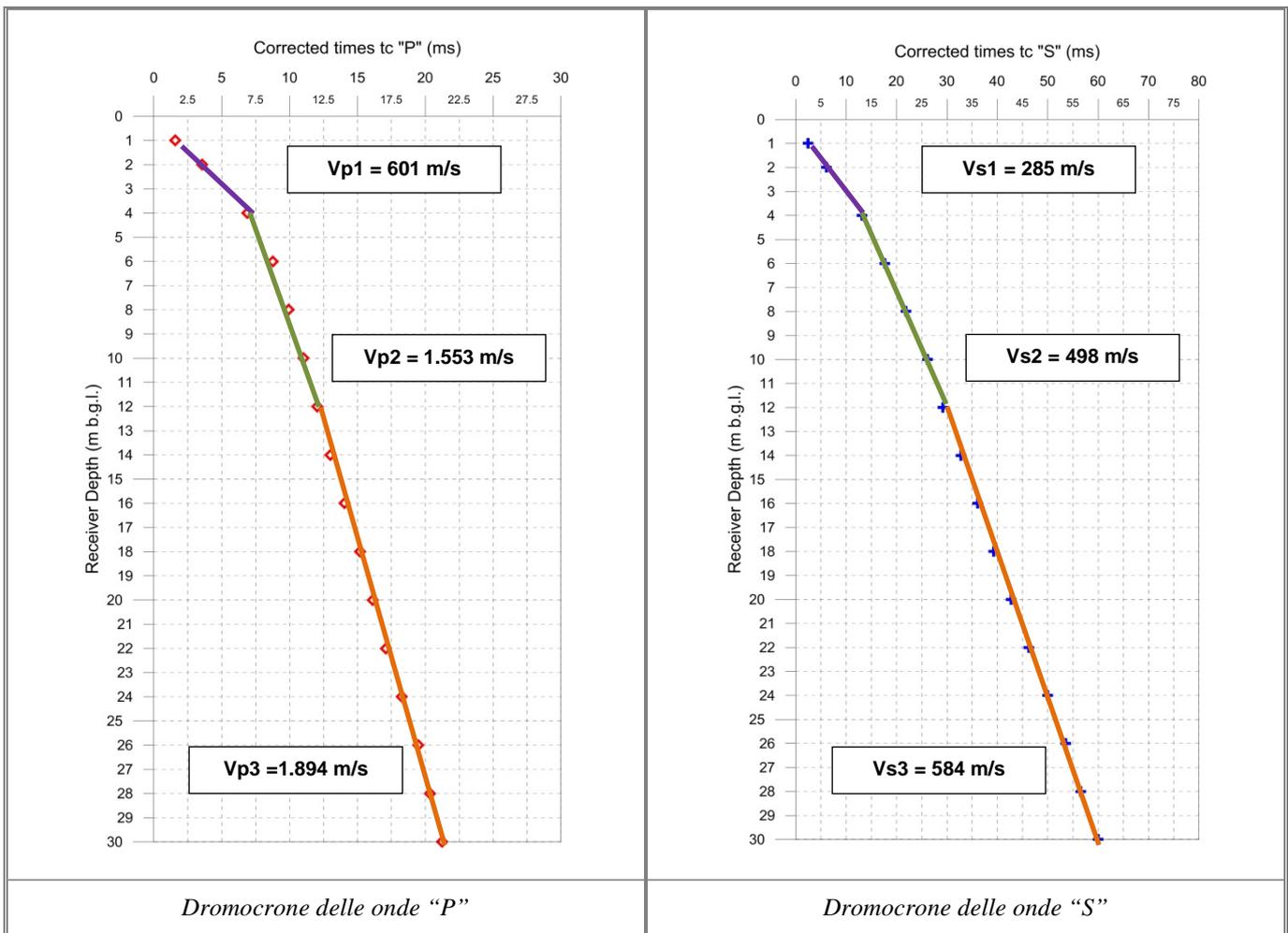
*Diagramma del modulo di taglio "G"
 Diagramma del modulo di elasticità "E"*



Down-Hole test

Commitente	URS Italy S.p.A.	Ubicazione	Melendugno (LE)
Down-hole test	DH-2	Data	23/06/2015
Sigla sondaggio	ST_BH 5	Orario inizio	08:00

Dromocrone delle onde "P" e "S"



Down-Hole test

Commitente	URS Italy S.p.A.	Ubicazione	Melendugno (LE)
Down-hole test	DH-2	Data	23/06/2015
Sigla sondaggio	ST_BH 5	Orario inizio	08:00

Riepilogo dei dati

Profondità (m dal p.c.)	tempi osservati t _o "P" (ms)	tempi osservati t _o "S" (ms)	tempi corretti t _c "P" (ms)	tempi corretti t _c "S" (ms)	velocità intervallo V _p (m/s)	velocità intervallo V _s (m/s)	V _p /V _s	Poisson (n)	γ _n gamma NATURALE	G Mpa	E Mpa
1	5,00	7,70	1,58	2,43	632	411	1,5	0,14	1,80	304	689
2	6,40	11,00	3,55	6,10	317	134	2,4	0,39	1,80	32	90
4	8,60	16,40	6,88	13,12	634	258	2,5	0,40	1,80	120	336
6	9,80	19,80	8,77	17,71	1.424	502	2,8	0,43	1,80	454	1.298
8	10,60	23,40	9,93	21,91	2.295	510	4,5	0,47	1,80	468	1.380
10	11,50	27,30	11,02	26,15	2.107	486	4,3	0,47	1,90	449	1.322
12	12,40	30,10	12,03	29,20	2.143	689	3,1	0,44	1,90	902	2.601
14	13,30	33,50	13,00	32,76	2.165	573	3,8	0,46	1,90	624	1.825
16	14,30	36,70	14,06	36,07	1.961	613	3,2	0,45	1,90	714	2.063
18	15,40	39,80	15,19	39,26	1.790	635	2,8	0,43	1,90	767	2.190
20	16,30	43,20	16,12	42,72	2.195	581	3,8	0,46	1,90	641	1.876
22	17,25	46,70	17,09	46,27	2.084	566	3,7	0,46	1,90	608	1.776
24	18,40	50,40	18,26	50,01	1.724	536	3,2	0,45	1,90	546	1.579
26	19,60	53,90	19,47	53,54	1.655	567	2,9	0,43	1,90	612	1.753
28	20,45	56,90	20,33	56,58	2.339	663	3,5	0,46	1,90	834	2.430
30	21,35	60,30	21,24	60,00	2.210	585	3,8	0,46	1,90	650	1.902

V_{s,30} Categoria del sottosuolo

475 m/s

Suolo di tipo "B"
 360 m/s < V_{s,30} < 800 m/s

URS

Italia

URS Italy S.p.A.

TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT

Indagini Geofisiche **Indagini sismiche e geoelettriche aggiuntive** **eseguite sulla terraferma**

ALLEGATO 5 **PROSPEZIONI GEOELETTICHE SEV** **Report**

Commessa No	214/14
File	214-14_URS Italy – Indagini geofisiche aggiuntive eseguite sulla terraferma – TAP – MICRO – SEV
Rev.	Rev. 0
Documento No.	ALLEGATO 5

TECNO IN S.P.A.

Sede Legale e Operativa: 20097 **San Donato Milanese (MI)** – Via Marcora,52 – Tel. 02.496.80.501/Fax 02.496.80.502

Sede Amministrativa, Operativa e Laboratori: 80142 **Napoli** – Il Trav. Strettola S. Anna alle Paludi, 11 - Tel. 081.563.45.20/Fax 081 563.39.70

Sede Operativa: 07046 **Porto Torres (SS)** – Piazza Garibaldi 14 – Tel. 346.0363883

Sedi Operative Secondarie: Messina, L'Aquila e Crotona

P.Iva 05016170630

Tecnoin Mozambique Lda

Sede Ufficio: Maputo - Rua Da Se, n.1

P.I.: 400497788

Email: tecnoin@tecnoin.it

Sito: www.tecnoin.it

INDICE

1 - PROSPEZIONE GEOFISICA CON SONDAGGI ELETTRICI VERTICALI (SEV) 3

1.1 – Introduzione	3
1.2 – SEV-1	5
1.3 – SEV-2	6
1.4 – SEV-3	7
1.5 – SEV-4	8
1.6 – SEV-5	9

1 - PROSPEZIONE GEOFISICA CON SONDAGGI ELETTRICI VERTICALI (SEV)

1.1 – Introduzione

Le misurazioni delle resistività elettrica del sottosuolo, mediante la tecnica SEV, sono state effettuate per fornire indicazioni utili alla progettazione degli apparati per la Protezione catodica del gasdotto. Come riportato in specifica, le misurazioni sono state effettuate ogni 40 metri lungo la sezione del gasdotto tra i sondaggi **ST_BH1** e **ST_BH2**, ponendo gli elettrodi sul terreno, perpendicolarmente e parallelamente ad esso.

Per ciascuna indagine sono stati acquisiti n.15 valori di resistività con differenti distanze elettrodiche (AB/2), in modo da investigare orizzonti posti a profondità gradualmente crescente; in particolare, sono state investigate quattro differenti profondità, così come richiesto dalle specifiche tecniche: 1.5m, 3 m, 6 m e 10 m.



Figura 1 – Melendugno. TAP. Sito delle prospezioni geoelettriche SEV. Pineta di San Basilio – Area Micro tunnel.

Le prospezioni geoelettriche SEV sono state così eseguite

#SEV	Codice	AB/2 max. distanza (m)	Orientamento rispetto all'asse del gasdotto
1	SEV-1-A	50,00	ortogonale
	SEV-1-B	50,00	parallelo
2	SEV-2-A	50,00	ortogonale
	SEV-2-B	50,00	parallelo
3	SEV-3-A	50,00	ortogonale
	SEV-3-B	50,00	parallelo
4	SEV-4-A	50,00	ortogonale
	SEV-4-B	50,00	parallelo
5	SEV-5-A	50,00	ortogonale
	SEV-5-B	50,00	parallelo

Tabella 1 – Melendugno. TAP. Dettaglio delle indagini eseguite

I dati sono stati processati con il software IPI2Win (sviluppato dalla *Moscow State University*), progettato per interpretare, in modalità semi-automatica, le prospezioni elettriche verticali.

La finalità della sub-routine di inversione è nel determinare lo spessore e la resistività degli strati di un modello 1-D che produce un output che tende a combaciare il modello misurato.

Per eseguire le misurazioni è stato adoperato un georesistivimetro **M.A.E. X612-EM+**.

1.2 – SEV-1

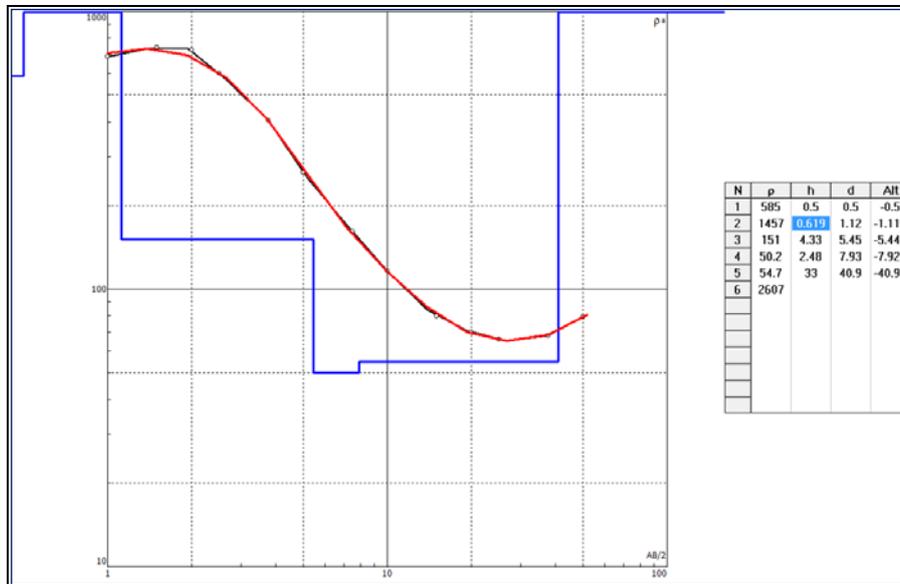


Figura 2 – Melendugno – TAP. Prospezione SEV- SEV-1-A – Curva and modello 1D (RMS = 2.26%).

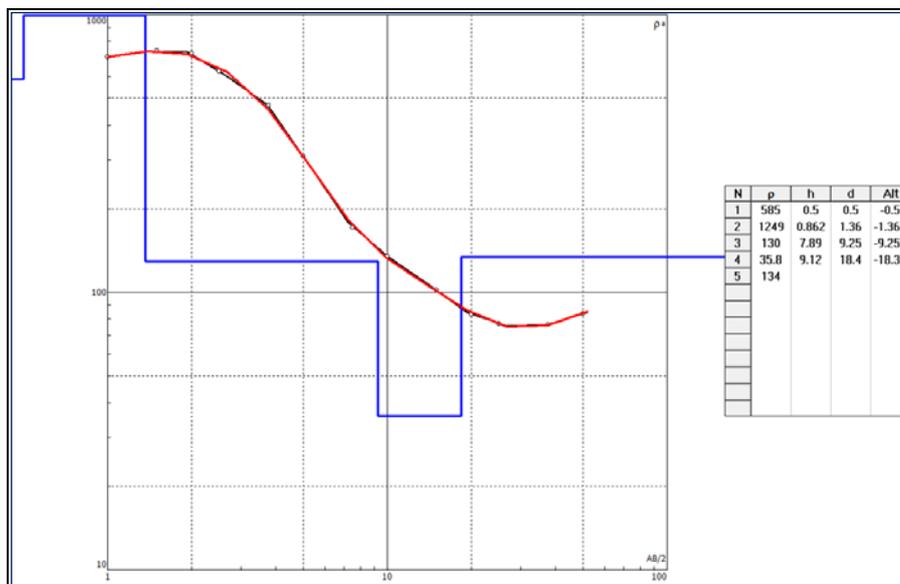


Figura 3 – Melendugno – TAP. Prospezione SEV- SEV-1-B – Curva and modello 1D (RMS = 1.83%).

1.3 – SEV-2

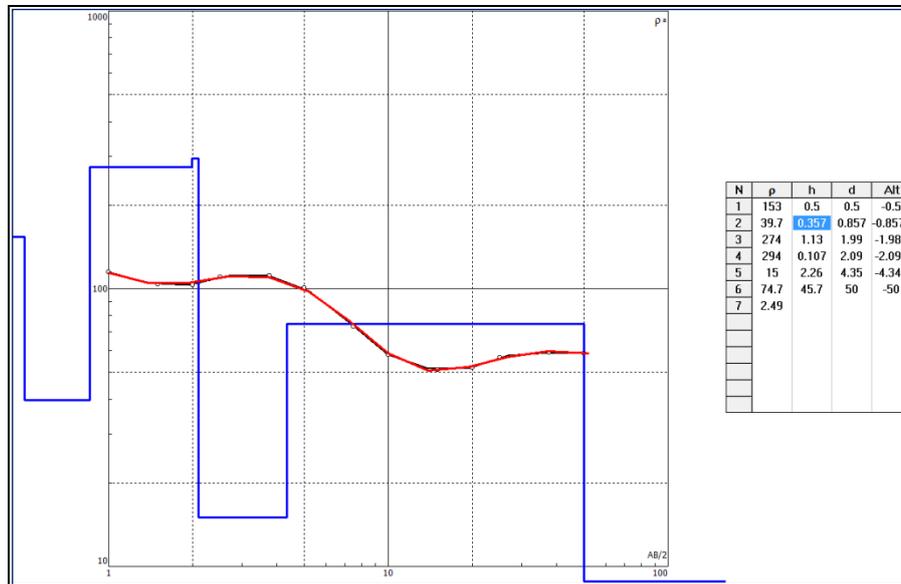


Figura 4 – Melendugno – TAP. Prospezione SEV- SEV-2-A – Curva and modello 1D (RMS = 1.16%).

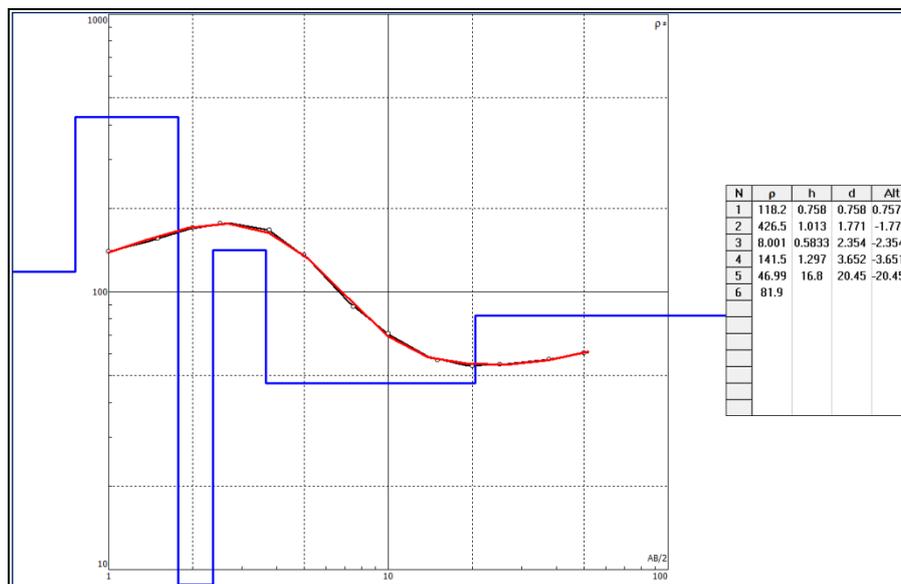


Figura 5 – Melendugno – TAP. Prospezione SEV- SEV-2-B – Curva and modello 1D (RMS = 1.5%).

1.4 – SEV-3

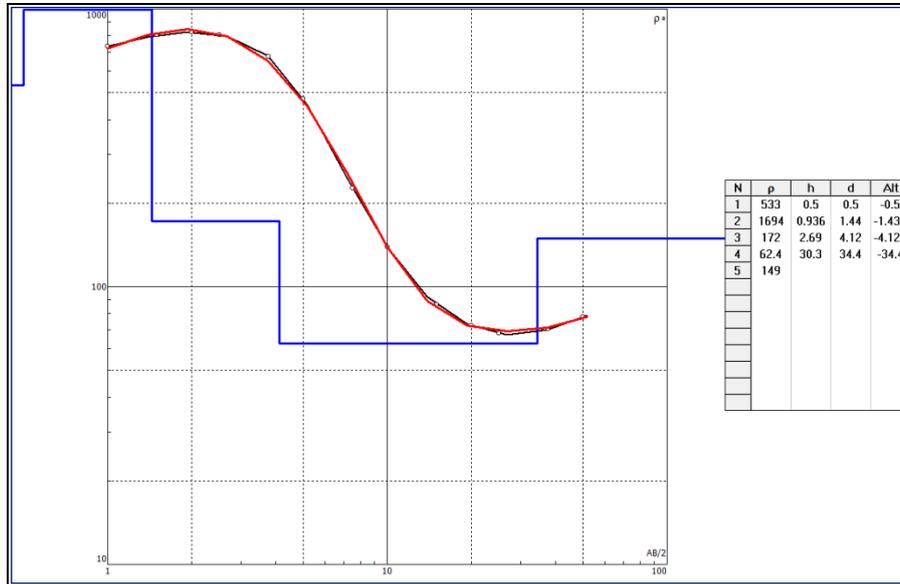


Figura 6 – Melendugno – TAP. Prospezione SEV- SEV-3-A – Curva and modello 1D (RMS = 2.47%).

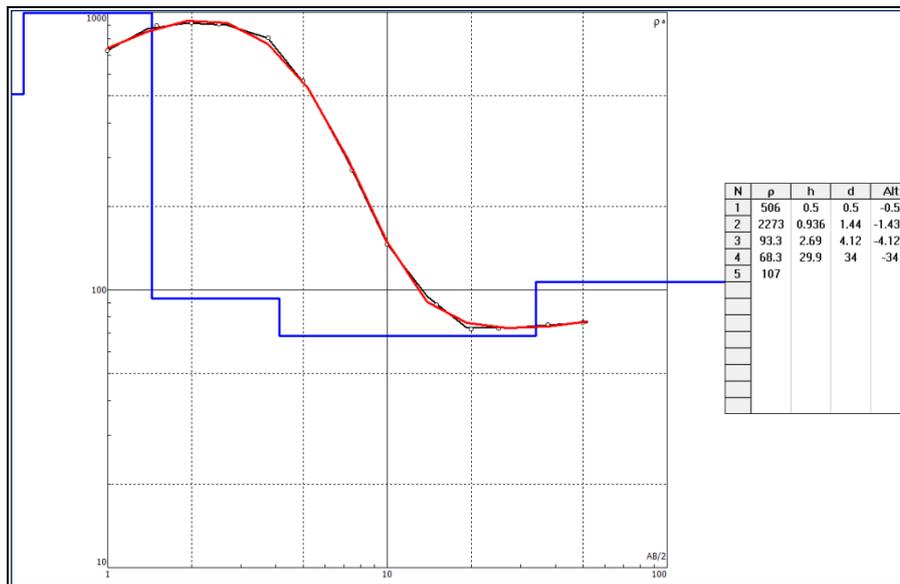


Figura 7 – Melendugno – TAP. Prospezione SEV- SEV-3-B – Curva and modello 1D (RMS = 2.45%).

1.5 – SEV-4

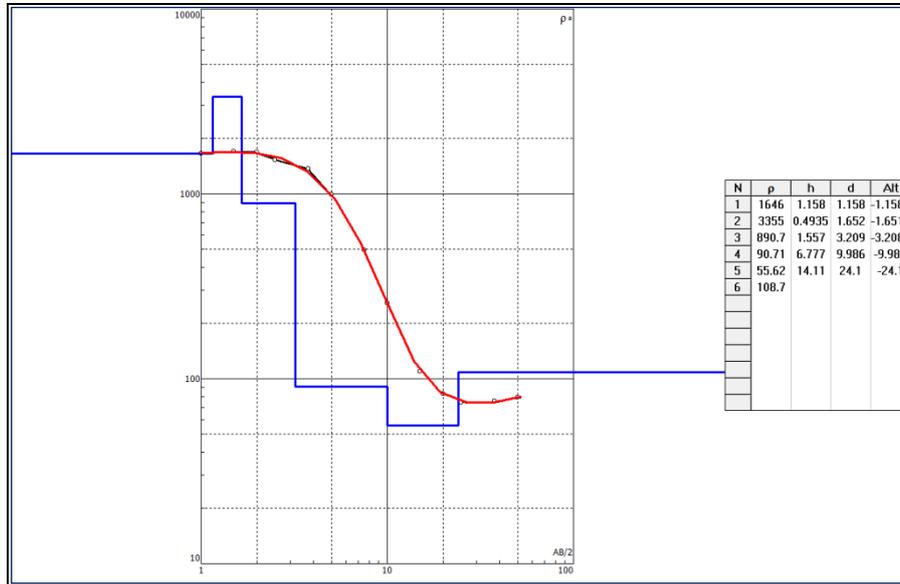


Figura 8 – Melendugno – TAP. Prospezione SEV- SEV-4-A – Curva and modello 1D (RMS = 1.66%).

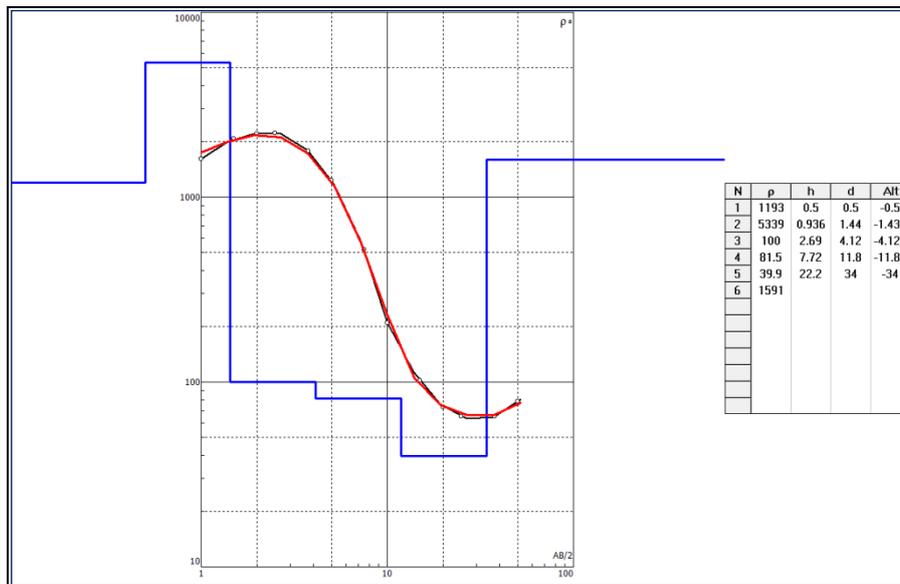


Figura 9 – Melendugno – TAP. Prospezione SEV- SEV-4-B – Curva and modello 1D (RMS = 3.46%).

1.6 – SEV-5

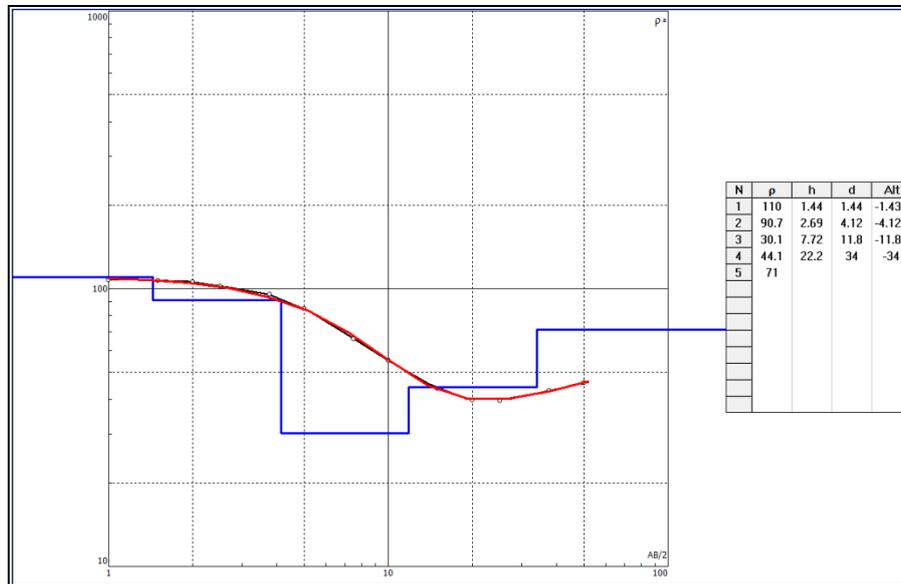


Figura 10 – Melendugno – TAP. Prospezione SEV- SEV-5-A – Curva and modello 1D (RMS = 1.13%).

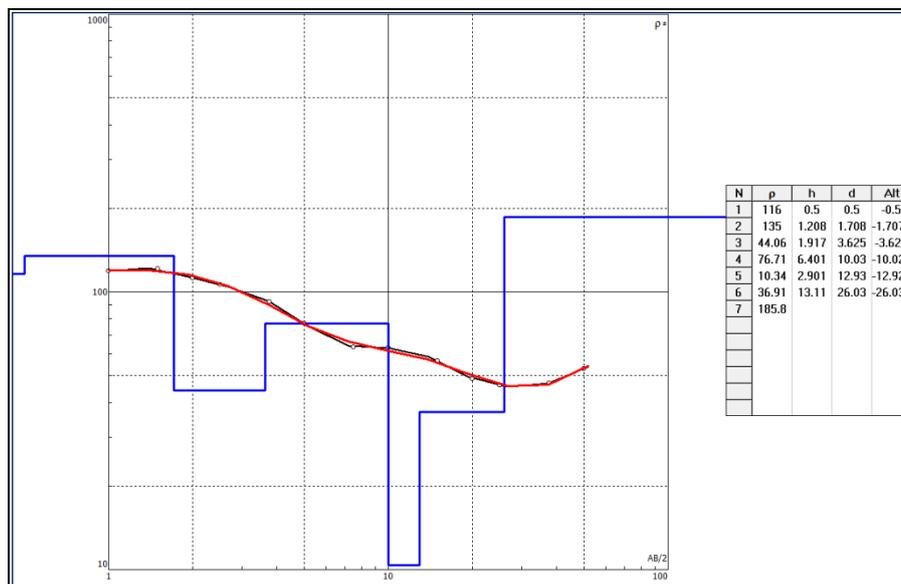


Figura 11 – Melendugno – TAP. Prospezione SEV- SEV-5-B – Curva and modello 1D (RMS = 1.87%).