



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

IPR01-URS-000-Q-TRG-0001
Rev.: 01 / all.06

Company: Trans Adriatic Pipeline AG

Doc. Originator: URS Italia S.p.A.

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

Document Title: **Studio geotecnico e geofisico nell'area del Terminale di Ricezione del Gasdotto – ITALIA**
Allegato 06 - Rapporto tecnico delle prospezioni geofisiche del 2015

Rev.	Purpose of Issue	Remark/Description	Orig.	Date
0A	Issued for Review	Bozza per revisioni	URS	17/06/2015
0B	Issued for Information	Verifiche della capacità portante e dei cedimenti di assestamento; Conclusioni e raccomandazioni	URS	01/07/2015
00	Issued for Information	Versione finale	URS	31/07/2015
01	Final issue	Emissione finale	URS	18/12/2015

Final Purpose of Issue: Final issue

	CONTRACTOR			TSP East	
	created by:	checked by:	approved by:	checked by:	accepted by:
Name/Signature	A. Passero <i>A. Passero</i>	S. Conti <i>S. Conti</i>	G. Lucchini <i>G. Lucchini</i>		
Date	18/12/2015	18/12/2015	18/12/2015		
Org. / Dept.	URS	URS	URS		
Document Status	Preliminary	Checked	Approved	Checked	Accepted

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

Document Title: **Studio geotecnico e geofisico nell'area del Terminale di Ricezione del Gasdotto – ITALIA**

IPR01-URS-000-Q-TRG-0001
Rev.: 01 / all. 06

URS

TAP - Trans Adriatic Pipeline

SOIL INVESTIGATION ITALY

Preparato per:
E.ON Technologies
GmbH

Dicembre, 2015

Studio geotecnico e geofisico nell'area del Terminale di Ricezione del Gasdotto – ITALIA

Allegato 06

Rapporto tecnico delle prospezioni geofisiche del 2015

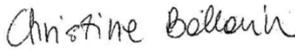


Project Title: **Trans Adriatic Pipeline – TAP**

Document Title: **Studio geotecnico e geofisico nell'area del Terminale di Ricezione del Gasdotto – ITALIA**

**IPR01-URS-000-Q-TRG-0001
Rev.: 01 / all. 06**

PERCORSO DI REDAZIONE / APPROVAZIONE DEL DOCUMENTO

VERSIONE	NOME	FIRMA	DATA	POSIZIONE
Preparato da	A. Passero C. Ballarin	 	Dicembre, 2015	Geologo Senior Ingegnere Senior
Controllato da	S. Conti		Dicembre, 2015	Project Manager
Approvato da	G. Lucchini		Dicembre, 2015	Direttore Tecnico

TITOLO:

Studio geotecnico e geofisico nell'area del Terminale di Ricezione del Gasdotto – ITALIA
Allegato 06

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	17/06/2015	Bozza per revisioni
0B	01/07/2015	Verifiche della capacità portante e dei cedimenti di assestamento; Conclusioni e raccomandazioni
00	31/07/2015	Versione finale
01	18/12/2015	Emissione finale

URS

Italia

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 – PRT
Rev.	Rev. 0
Documento No.	01

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. 079.0222002

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: Terminale di Ricezione del gasdotto PRT and tracciato del gasdotto (Pipeline)</i>	17
2.2 – Prospezione geofisica con sondaggi elettrici verticali (SEV)	24
2.2.1 – <i>Descrizione della metodologia, acquisizione ed elaborazione dati</i>	24
2.3 – Prospezione geofisica con metodologia sismica a rifrazione.....	25
2.3.1 – <i>Descrizione della metodologia, acquisizione ed elaborazione dati</i>	25
2.3.1.1 – Descrizione della strumentazione utilizzata	29
2.3.2 – <i>Descrizione delle attività di campo: Terminale di Ricezione del gasdotto PRT e tracciato gasdotto</i>	30
2.4 – Prospezione geofisica con metodologia sismica MASW.....	38
2.4.1 – <i>Descrizione della metodologia, acquisizione ed elaborazione dati</i>	38
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>	40
2.4.2.1 – Descrizione della strumentazione utilizzata	43
2.4.3 – <i>Descrizione delle attività di campo: Terminale di Ricezione del gasdotto PRT e tracciato gasdotto</i>	44
2.5 – Prospezione geofisica con metodologia sismica in foro down-hole	47
2.5.1 – <i>Descrizione della metodologia, acquisizione ed elaborazione dati</i>	47
2.5.1.1 – Descrizione della strumentazione utilizzata	50
3 - Prospezioni geofisiche. Commento alle indagini.....	51
3.1 – Prospezioni geoelettriche e sismiche a rifrazione. Terminale di Ricezione del gasdotto (PRT) e tracciato del gasdotto – Profilo PR07	51
3.2 – Prospezioni geoelettriche e sismiche a rifrazione. Terminale di Ricezione del gasdotto (PRT) e tracciato del gasdotto – Profilo PR06	53
3.3 – Prospezione sismica M.A.S.W.....	55

ALLEGATI

ALLEGATO 1:

Dati elaborati.

Risultanze delle prospezioni sismiche e geoelettriche

ALLEGATO 2:

Profili sismici.

Dromocrone e modelli di velocità di propagazione delle onde sismiche

ALLEGATO 3:

Prospezioni sismiche MASW.

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.

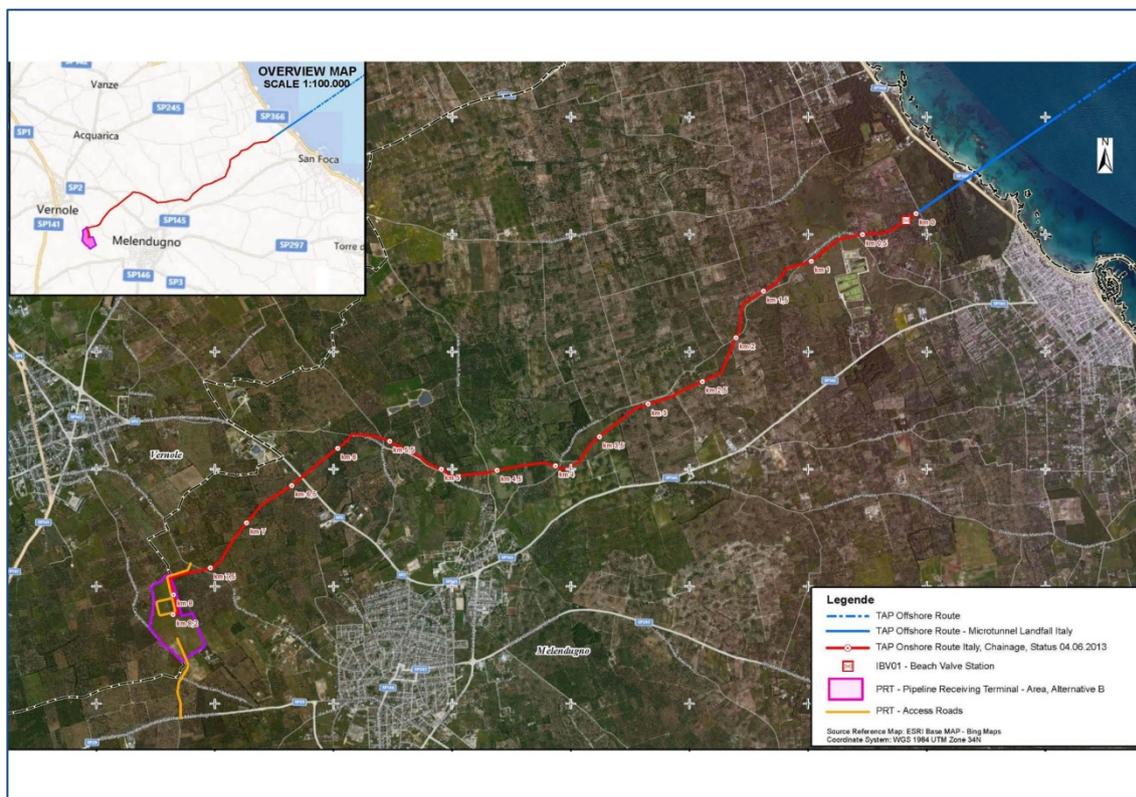


Figura 1 – Melendugno – TAP. Sito d'indagine.

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 – PRT
Documento N°: 01

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**).

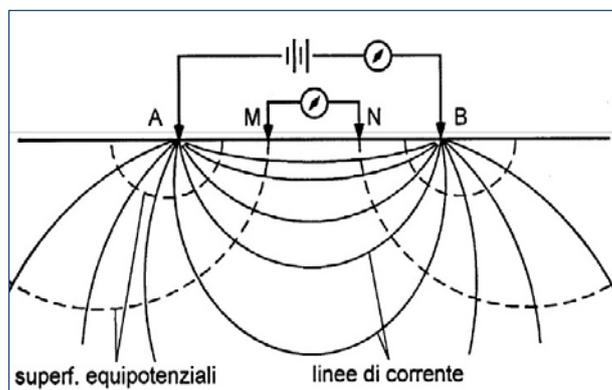


Figura 5 – Prospezione Geoelettrica

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.

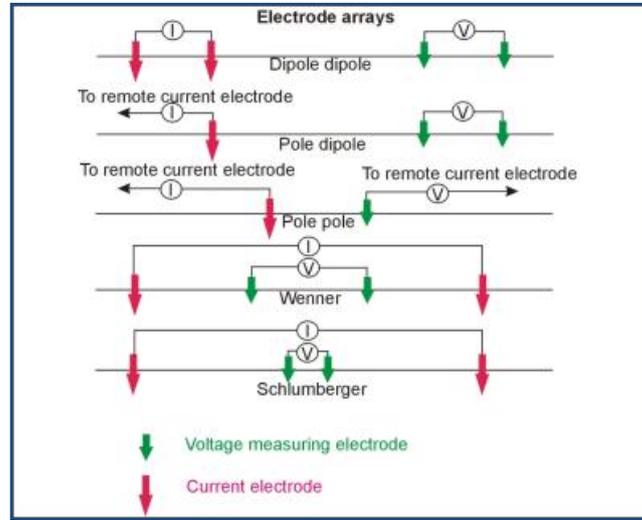


Figura 6 – Differenti array geoelettrici.

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.

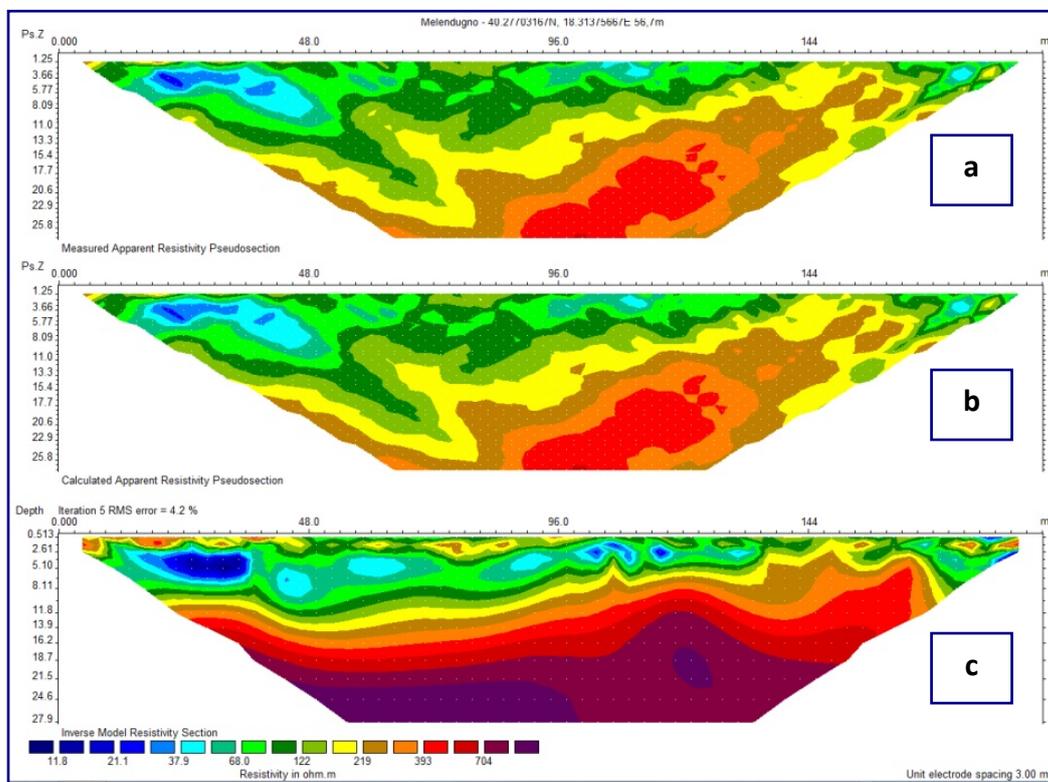


Figura 7 – Esempio di pseudosezione di resistività: modello misurato (a), modello calcolato (b) e inversione tomografica (c) o modello finale.

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*).

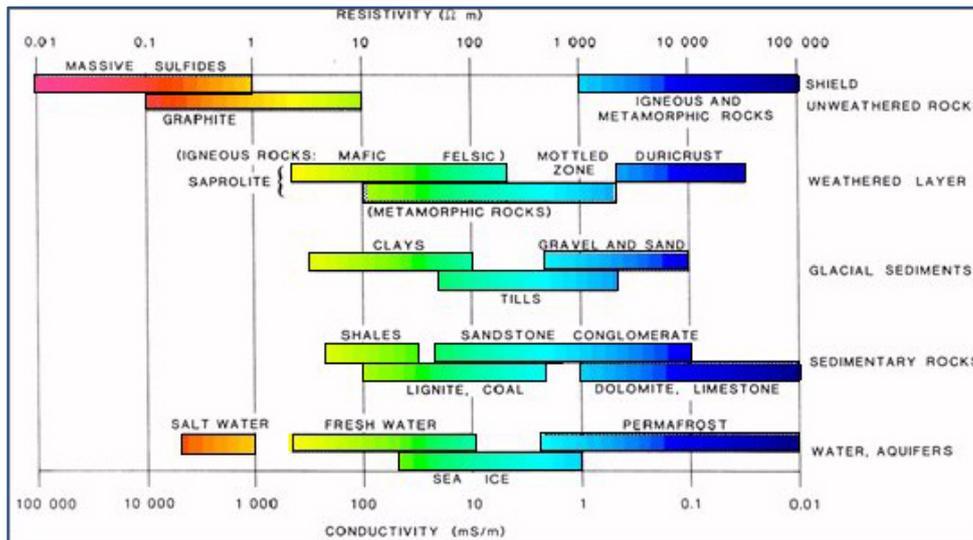


Figura 8 - Valori sperimentali della resistività delle più comuni rocce, suoli e minerali.

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: Terminale di Ricezione del gasdotto PRT and tracciato del gasdotto (Pipeline)

Le prospezioni geoelettriche hanno riguardato **7** profili situati nell'area del Terminale di Ricezione del gasdotto PRT e lungo il tracciato del gasdotto.

Al fine di investigare i profili nella loro interezza è stata utilizzata la tecnica *roll-along*¹. Questo metodo consiste nel muovere fisicamente l'intero set di elettrodi nello stesso senso dello stendimento, in modo tale che il primo elettrodo venga a trovarsi in una posizione avanzata rispetto la precedente di una distanza scelta dall'operatore e risulti un certo numero di elettrodi sovrapposti tra una misurazione e la successiva.



Figura 10 – Melendugno. TAP. Ubicazione delle prospezioni geoelettriche eseguite nell'area PRT.

¹ Solo per la prospezione geoelettrica.

In tal modo, dividendo il profilo d'investigazione in sub-profili, parzialmente sovrapposti, è stato possibile effettuare indagini per una lunghezza superiore dell'array (ovvero superiore 285 metri).

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

Profilo	Sub-profilo²	Lunghezza (m)	Spaziatura (m)	Roll-along	Percentuale di sovrapposizione (%)
PR01	PR01	429	3	SI	50
PR02	PR02	237	3	NO	
PR03	PR03	94	2	NO	
PR04	PR04_A	318	3	SI	50
	PR04_B	213	3	NO	
PR05	PR05_A	261	3	NO	
	PR05_B	711	3	SI	50
PR06	PR06	308	3	SI	92
PR07	PR07	189	3	NO	

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

² Si sottolinea che, a causa della presenza delle strade, è stato necessario suddividere le indagini PR04 and PR05 in due sub-profili.



Foto 1 - Melendugno. TAP. Prospezione geoelettrica. Profilo **PR01**.



Foto 2 - Melendugno. TAP. Prospezione geoelettrica. Profilo **PR02**.



Foto 3 - Melendugno. TAP. Prospezione geoelettrica. Profilo **PR03**.



Foto 4 - Melendugno. TAP. Prospezione geoelettrica. Profilo **PR04_A**.



Foto 5 - Melendugno. TAP. Prospezione geoelettrica. Profilo **PR04_B**.



Foto 6 - Melendugno. TAP. Prospezione geoelettrica. Profilo **PR05_A**.



*Foto 7 - Melendugno. TAP. Prospezione geoelettrica. Profilo **PR05_B**.*



*Foto 8 - Melendugno. TAP. Prospezione geoelettrica. Profilo **PR06**.*



Foto 9 - Melendugno. TAP. Prospezione geoelettrica. Profilo **PR07**.

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 georesistivimetro.

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.

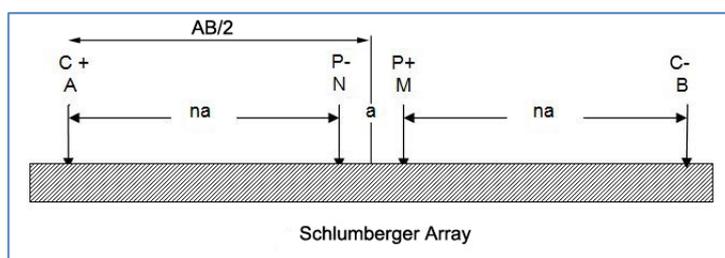


Figura 11 – Melendugno. TAP. Prospezioni SEV. Array Schlumberger.

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.

2.3 – 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
Calcere	3500 - 5000
Calcere 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 2 – 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 transflettivo 10.4";
- Dispositivo touch screen integrato;
- Salvataggio dati su disk su modulo interno allo stato solido e su memoria USB.



Figura 12 – 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: Terminale di Ricezione del gasdotto PRT e tracciato gasdotto

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.

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.

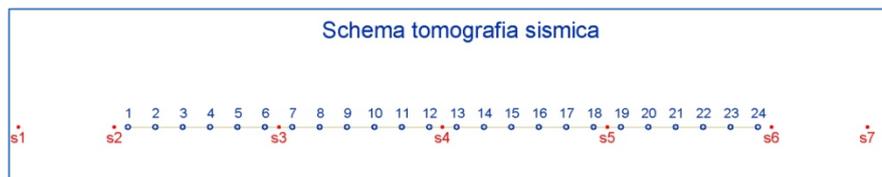


Figura 13 – Prospezione sismica a rifrazione. Schema di indagine.

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.



Figura 14 – Melendugno. TAP. Ubicazione delle prospezioni sismiche a rifrazione eseguite nell'area PRT.

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

Profilo	Lunghezza³ (m)	Spaziatura (m)	N° di sub-profilo
PR01	460	3	7
PR02	207	3	3
PR03	69	3	1
PR04	456	3	7
PR05	870	3	13
PR06	309	3	5
PR07	207	3	3

*Tabella 3 – Melendugno. TAP.
Dettaglio delle prospezioni sismiche a rifrazione.*

³ Si sottolinea che, a causa della presenza delle strade, muri ed altri ostacoli, in alcuni casi le prospezioni sono risultate più corte rispetto a quelle programmate.



Foto 10 - Melendugno. TAP. Prospezione sismica. Profilo **PR01**.



Foto 11 - Melendugno. TAP. Prospezione sismica. Profilo **PR02**.



Foto 12 - Melendugno. TAP. Prospezione sismica. Profilo **PR03**.



Foto 13 - Melendugno. TAP. Prospezione sismica. Profilo **PR04_A**.



Foto 14 - Melendugno. TAP. Prospezione sismica. Profilo **PR04_B**.



Foto 15 - Melendugno. TAP. Prospezione sismica. Profilo **PR05_A**.



*Foto 16 - Melendugno. TAP. Prospezione sismica. Profilo **PRO5_B**.*



*Foto 17 - Melendugno. TAP. Prospezione sismica. Profilo **PRO6**.*



Foto 18 - Melendugno. TAP. Prospezione sismica. Profilo **PR07**.

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>Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina)	$180 \text{ m/s} < V_{s,30} < 360 \text{ m/s}$ ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ (terreni a grana grossa) ovvero $70 < c_{u,30} < 250$ kPa (terreni a grana fina)
D	<i>Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina)	$V_{s,30} < 180$ 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 4 - 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 5 - 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 utilizzata 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 transflettivo 10.4";
- Dispositivo touch screen integrato;
- Salvataggio dati su disk su modulo interno allo stato solido e su memoria USB.



Figura 15 – 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: Terminale di Ricezione del gasdotto PRT e tracciato gasdotto

Nell'area in oggetto, sono state eseguite, **n.2** prospezioni sismiche MASW per la definizione della categoria sismica del sottosuolo.

La scelta di effettuare n.2 profili nell'area PRT è stata concordata con il Cliente tenuto conto dell'eterogeneità geologica del sito rispetto all'area interessata dal tracciato del gasdotto.

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, per ciascun profilo, esternamente ad entrambi gli estremi, ad una distanza pari a 2 o 2,5 e 10 metri, dal primo ed ultimo geofono del profilo.

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

Grazie alla presenza di un ridotto rumore di fondo, per ciascuno shot è stato eseguito un numero di iterazioni non superiore a 10.

Le prospezioni MASW sono state realizzate, come accennato, nell'area del Terminale di Ricezione del gasdotto (PRT), come mostrato nella figura seguente.



Figura 16 – Melendugno. TAP. Prospezioni sismiche MASW eseguite nell'area PRT.

Le prospezioni sismiche MASW sono state eseguite con la seguente modalit :

Profilo	Lunghezza (m)	Spaziatura (m)	Sondaggio limitrofo alla prospezione MASW
MASW-1	46	2	BH-5B
MASW-2	46	2	BH-10B

Tabella 6 – Melendugno. TAP. Dettaglio delle prospezioni MASW.



*Foto 19 - Melendugno. TAP. Prospezioni MASW. **MASW-1.***



*Foto 20 - Melendugno. TAP. Prospezioni MASW. **MASW-2.***

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 17).

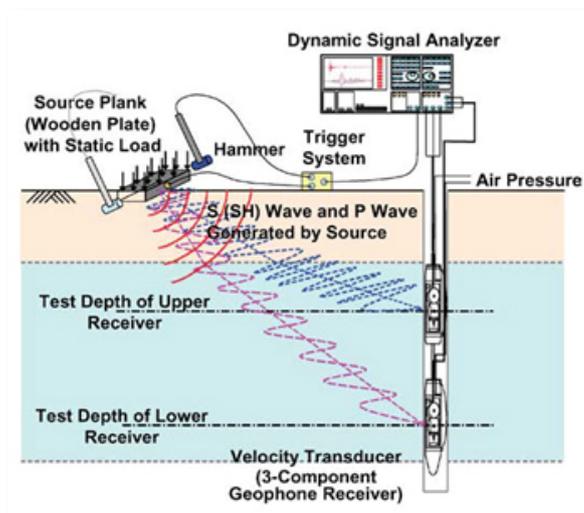


Figura 17 – Melendugno. TAP. Down-hole.

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.

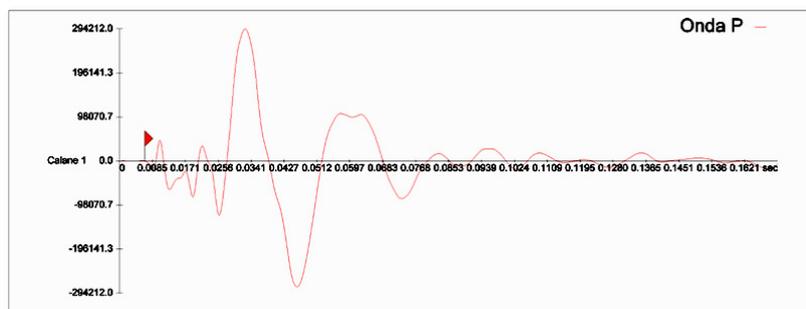


Figura 18 – Esempio di onda P e di lettura del primo tempo di arrivo.

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.

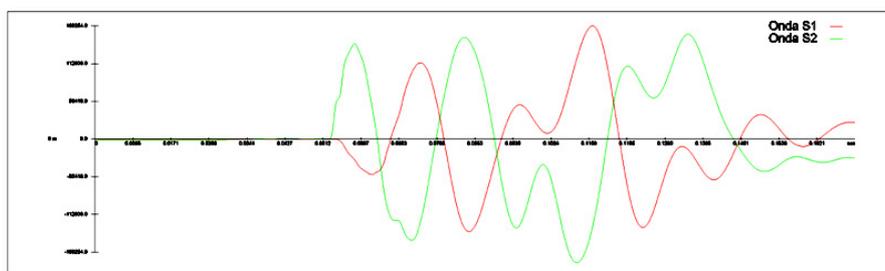


Figura 19 – Esempio di onda S ed individuazione del tempo di arrivo dell’onda di taglio (onda S).

Infine, è stata calcolata la velocità equivalente delle onde di taglio ($V_{s, 30}$) 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 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.
- Maximum range of inlet signal: $\pm 5V$;
- Common mode rejection: 110 dB at 60 Hz.



Figura 20 – 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).

3 - Prospezioni geofisiche. Commento alle indagini

3.1 – Prospezioni geoelettriche e sismiche a rifrazione.

Terminale di Ricezione del gasdotto (PRT) e tracciato del gasdotto – Profilo PR07

Presso il Terminale di Ricezione del gasdotto (PRT) è stato eseguito **n.1** profilo di sismica a rifrazione e di prospezione geoelettrica, lungo lo stesso allineamento, così come **n.2** profili MASW (Figura 21). La prospezione sismica/geoelettrica è stata indicata con la sigla **PR07**, mentre le prospezioni MASW sono state indicate con le sigle **MASW-1 (M1)** e **MASW-2 (M2)**.

Inoltre, è stata eseguita una prospezione sismica/geoelettrica, indicata con la sigla **PR06**, che ricade sia nell'area PRT sia, parzialmente, presso il tracciato del gasdotto.

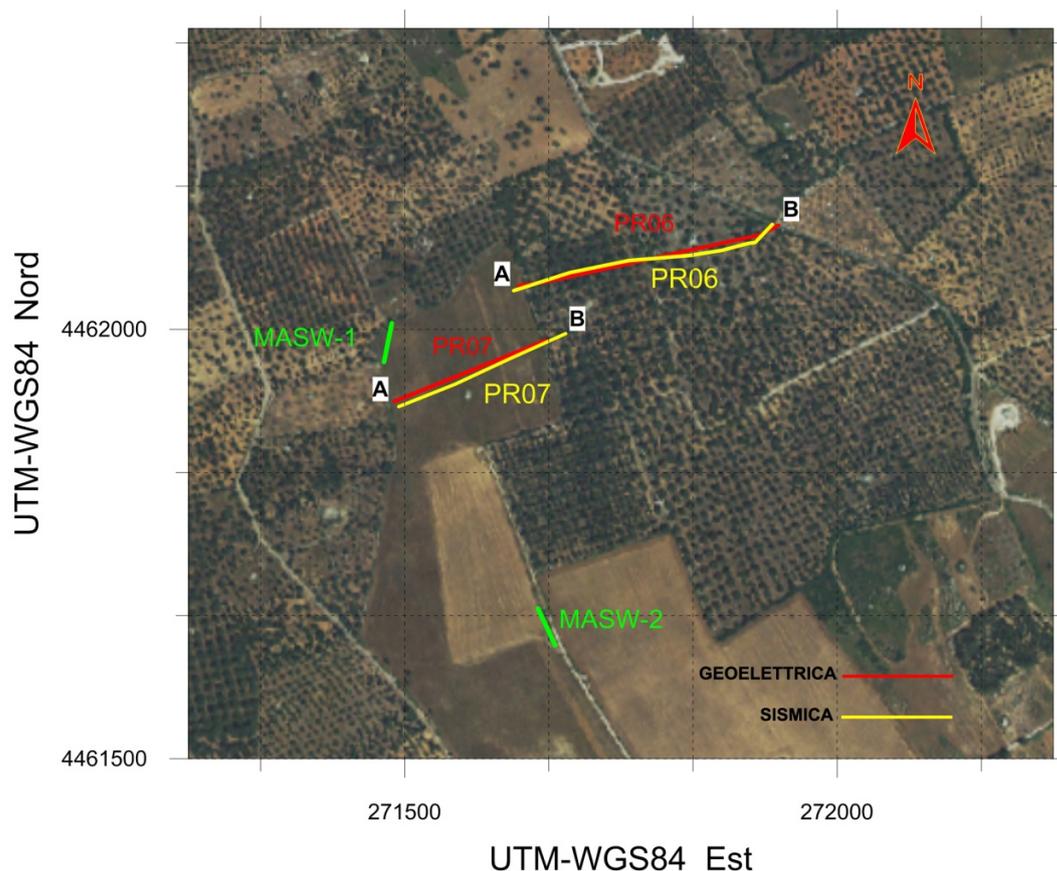


Figura 21 – Melendugno. TAP. Prospezioni geofisiche eseguite nell'area PRT.

L'analisi della pseudosezione geoelettrica, ottenuta mediante il processo di inversione del dataset tomografico, mostra la presenza di un primo layer caratterizzato da valori di resistività inferiori (da poche decine sino a 80 Ohm per metro), con uno spessore che si riduce da sud-ovest (A) a nord-est (B), compreso tra 15÷20 a 5 metri, posto al di sopra di un secondo strato, caratterizzato da valori di resistività più elevati (superiori a 300 Ohm per metro).

Lo stesso strato è caratterizzato da valori di velocità delle onde sismiche comprese tra 400 e 1.200 m/s. Lo spessore dello strato è discontinuo e varia da pochi centimetri sino a circa 7 metri verso sud-ovest.

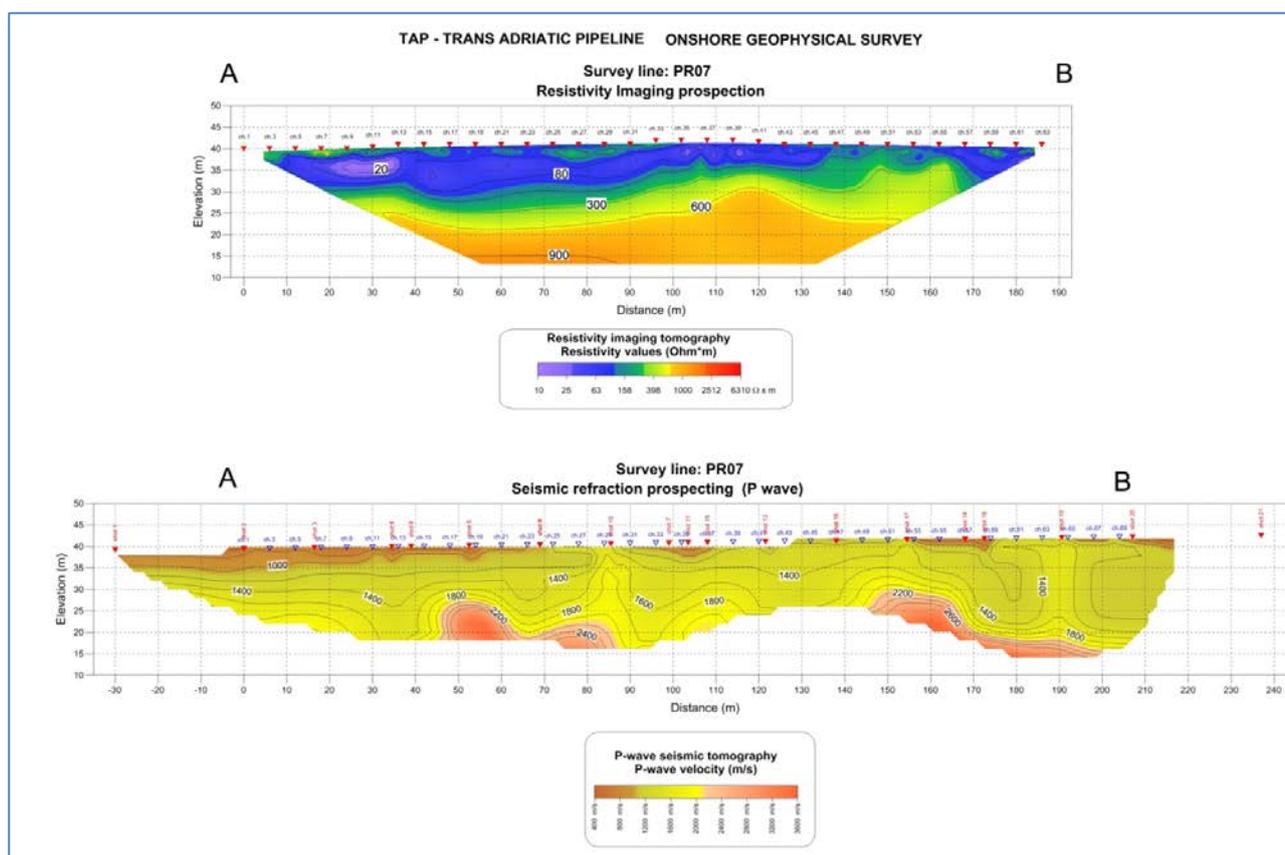


Figura 22 – Melendugno. TAP. Profilo **PR07** – prospezioni geoelettriche e sismiche a rifrazione.

Al di sotto dello strato descritto, i valori di resistività e delle onde elastiche più elevati, suggeriscono la presenza di materiali a maggiore densità seguiti dal bedrock.

3.2 – Prospezioni geoelettriche e sismiche a rifrazione.

Terminale di Ricezione del gasdotto (PRT) e tracciato del gasdotto – Profilo PR06

Come riportato in precedenza, è stato eseguito un profilo geofisico, denominato **PR06**, tra il Terminale di Ricezione del gasdotto (PRT) e tracciato del gasdotto.

L'analisi della pseudosezione mostra un contatto laterale tra le litologie, con differenti caratteristiche fisiche, posto ad una distanza di 150 metri dall'origine della pseudosezione stessa. Infatti, osservando l'immagine successiva, si riscontra il contatto di terreni aventi valori di resistività più bassi, compresi tra 20 sino a 160 Ohm per metro, e terreni aventi resistività superiore sino a 6.000 Ohm per metro. Allo stesso modo, la prospezione sismica a rifrazione, evidenzia il suddetto contatto, descritto in precedenza, tra i terreni della trasgressione miocenica ed i sottostanti calcari organogeni.

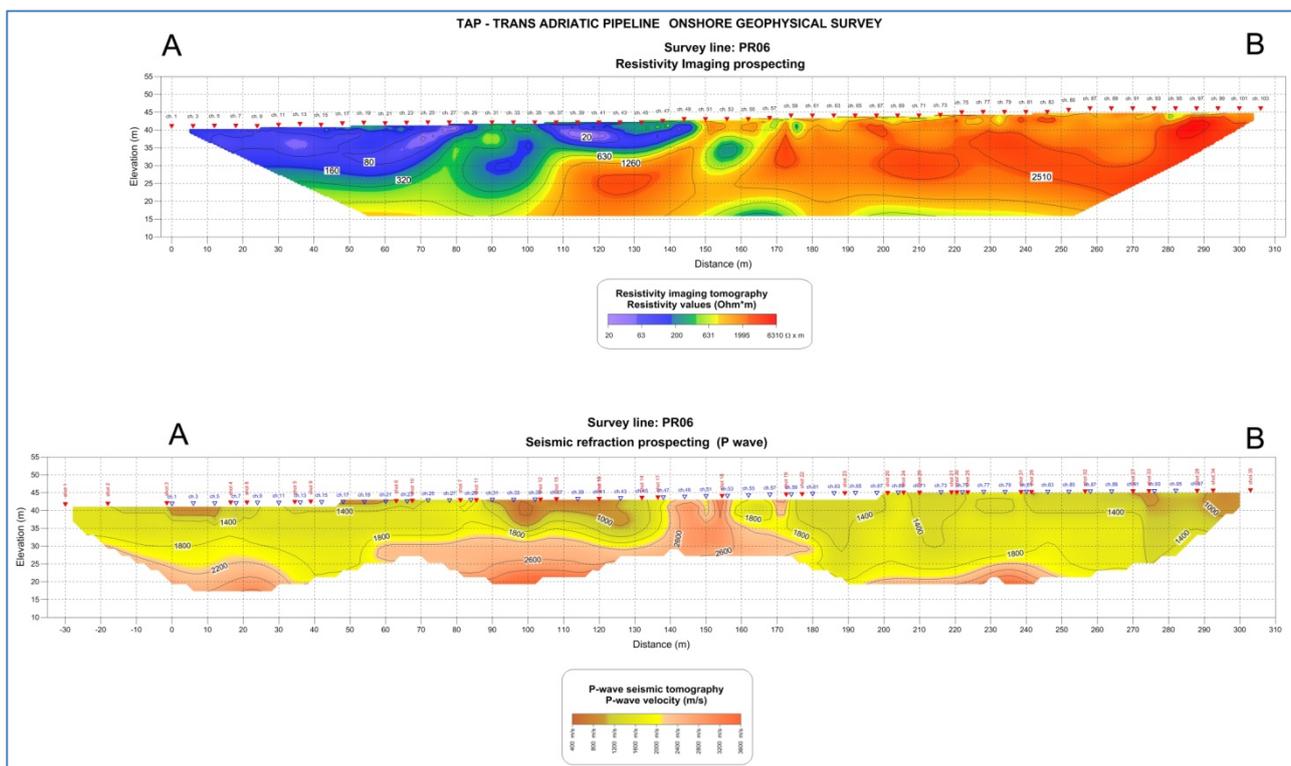


Figura 23 – Melendugno. TAP. Profilo **PR06** - prospezioni geoelettriche e sismiche a rifrazione.

Unendo le informazioni scaturite dalle prospezioni geofisiche, l'area posta ad una distanza tra 60 e 150 m dall'origine appare eterogenea ed, inoltre, tra le progressive 110 e 150 m, vi è una probabile morfologia carsica.

Infine, alle progressive pari a 90 e 155 metri vi sono due aree a bassa resistività di attribuzione incerta.

3.3 – Prospezione sismica M.A.S.W.

Nel corso della campagna geofisica compiuta presso l'area in oggetto, sono state eseguite **n.2** prospezioni sismiche 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 ($V_{s,30}$) ed alla individuazione della categoria sismica del suolo, come riportato nella tabella seguente.

Nella seguente Tabella sono riportati i valori della velocità equivalente delle onde di taglio ($V_{s,30}$), per entrambe le MASW (**MASW-1** e **MASW-2**).

Prospezione sismica MASW – Terminale di Ricezione del gasdotto (PRT)		
MASW Codice	Valore del $V_{s,30}$	Classificazione del sottosuolo in accordo Eurocode 8
MASW-1	731 m/s	"B"
MASW-2	943 m/s	"A"

Tabella 7 - Melendugno. TAP. Prospezioni sismiche MASW. Risultanze delle indagini.

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

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 Crotona

P.Iva 05016170630

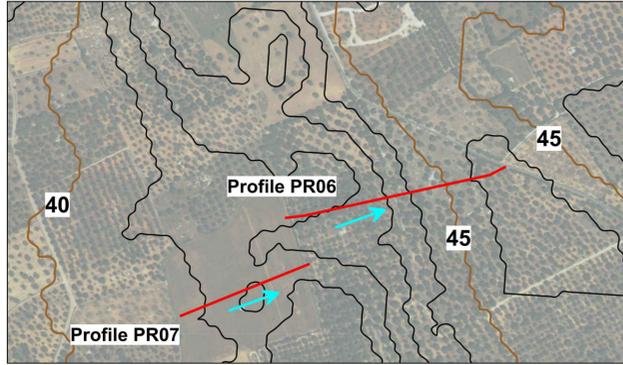
Tecnoin Mozambique Lda

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

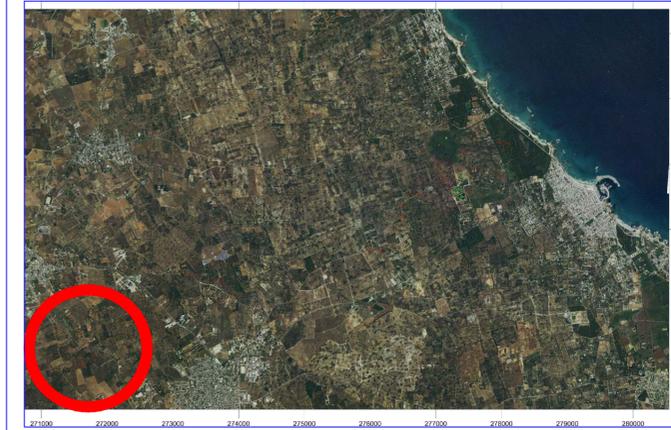
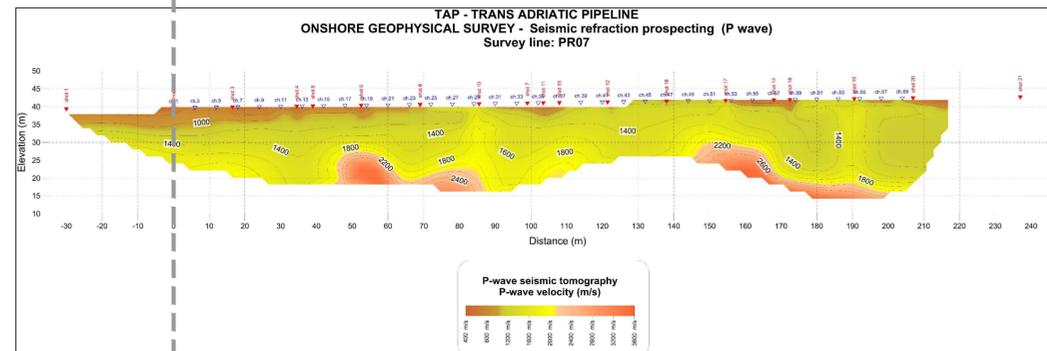
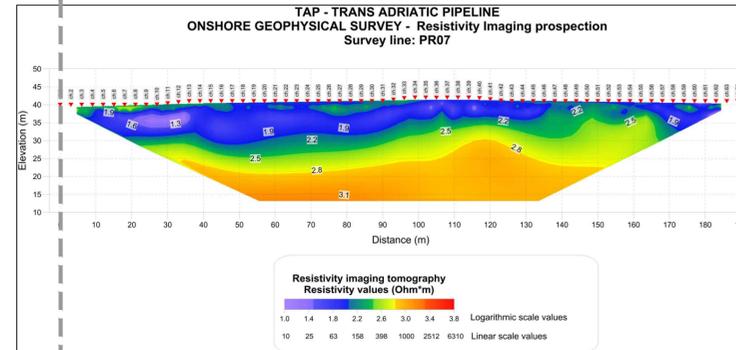
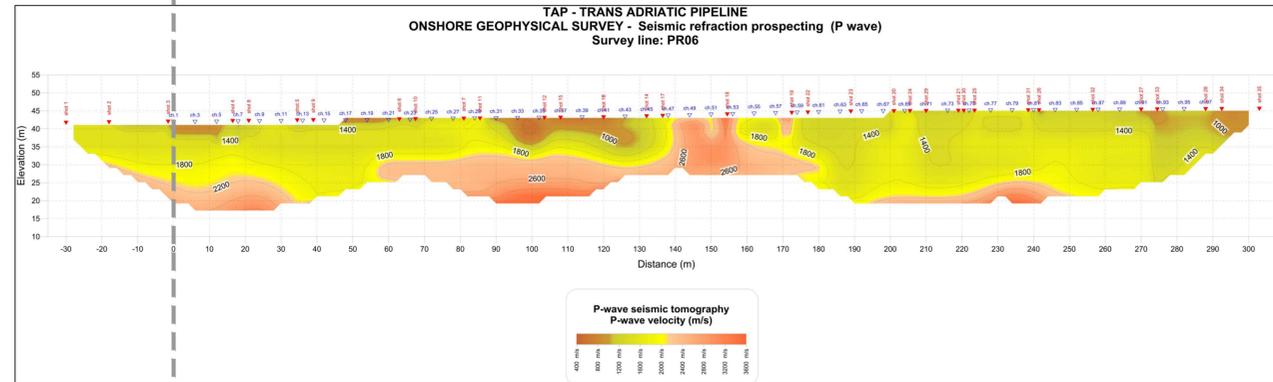
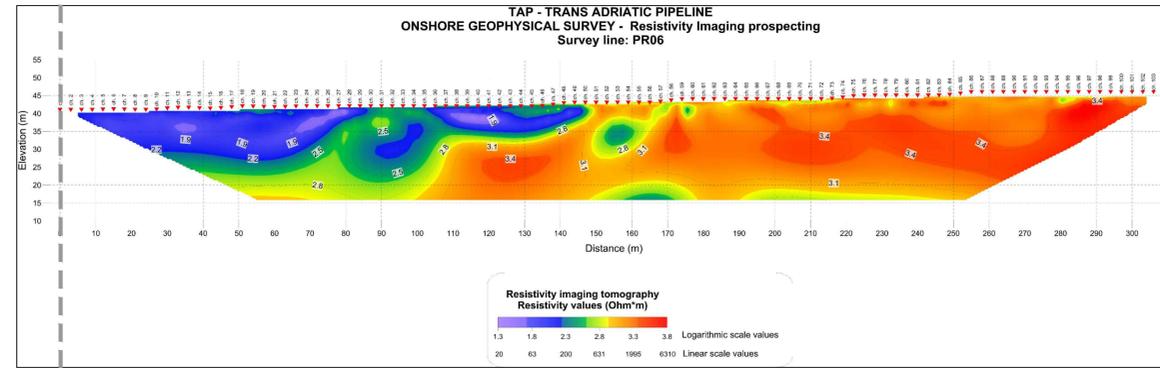
P.I.: 400497788

Email: tecnoin@tecnoin.it

Sito: www.tecnoin.it



Origine delle prospezioni geofisiche



LEGENDA

PR07

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. PR06 - PR07			
DISEGNO N°		IND. DI REV.	FG.	DI	
		0		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 – PRT
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 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. INTRODUZIONE	3
2. PROSPEZIONI SISMICHE E RIFRAZIONE	5
2.1. Profilo PR06	5
2.1.1. Profilo PR06 – Sub-Profilo S1	5
2.1.2. Profilo PR06 – Sub-Profilo S2	6
2.1.3. Profilo PR06 – Sub-Profilo S3	7
2.1.4. Profilo PR06 – Sub-Profilo S4	8
2.1.5. Profilo PR06 – Sub-Profilo S5	9
2.1.6. Profilo PR06 – pseudosezione	10
2.2. Profilo PR07 – Sub-Profilo S1	11
2.2.1. Profilo PR07 – Sub-Profilo S1	11
2.2.2. Profilo PR07 – Sub-Profilo S2	12
2.2.3. Profilo PR07 – Sub-Profilo S3	13
2.2.4. Profilo PR07 – Pseudosezione	14

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.

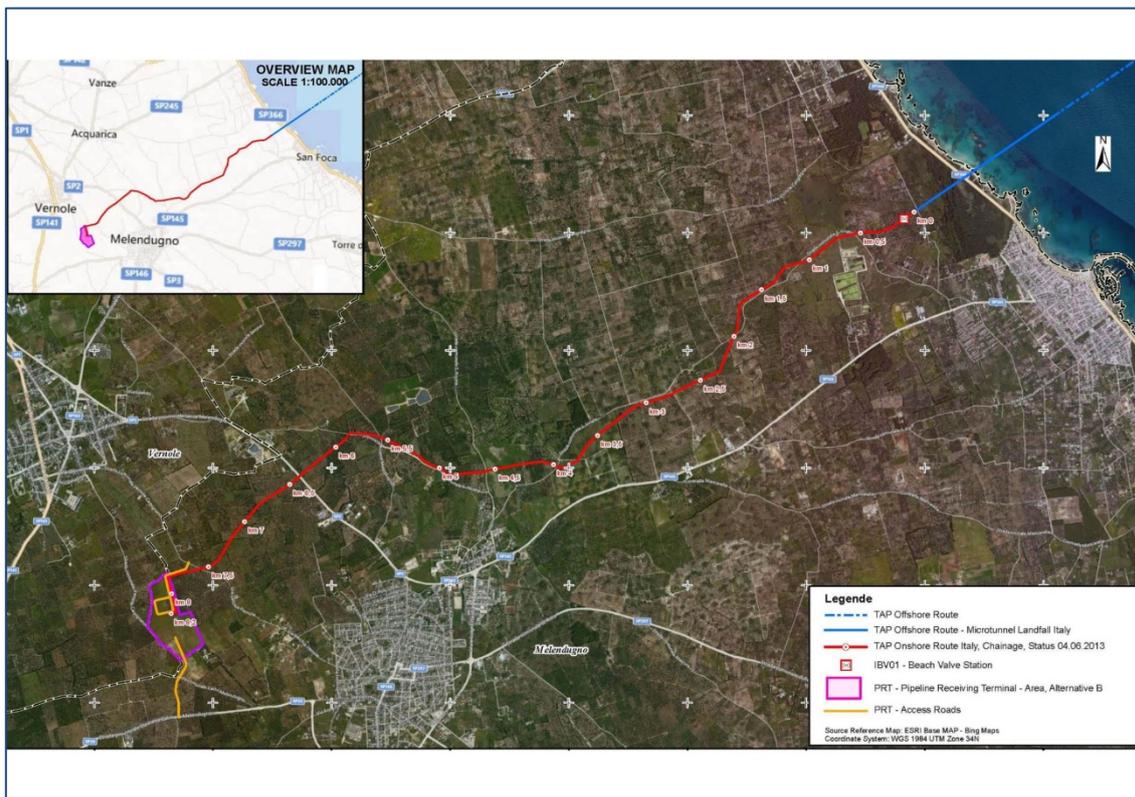


Figure 1 – Melendugno – TAP. Sito d'indagine.

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 PR06

2.1.1. Profilo PR06 – Sub-Profilo S1

P wave travelltime (ms)							
	-12,0 m (from ch.1)	0 m (from ch.1)	ch.7	between ch.12-ch.13	between ch.18-ch.19	12 m (from ch.24)	30,0 m (from ch.24)
ch.	shot_1	shot_2	shot_3	shot_4	shot_5	shot_6	shot_7
1	6,40	0,07	11,94	25,21	36,40	49,49	57,86
2	8,47	2,47	9,81	23,15	35,19	48,42	56,83
3	10,54	3,80	7,94	20,74	34,02	47,36	55,76
4	12,67	6,14	5,80	18,81	32,75	46,29	54,63
5	15,07	8,20	4,14	17,01	31,02	44,96	53,55
6	17,41	10,81	2,27	15,34	29,48	43,82	52,36
7	19,68	12,34	0,80	13,41	27,48	42,29	50,49
8	21,88	15,21	0,73	9,61	24,88	40,75	48,96
9	24,08	17,34	2,47	6,27	22,28	39,15	47,42
10	26,01	18,88	5,67	3,47	20,14	37,62	45,89
11	27,95	21,21	8,67	1,73	17,34	36,02	44,49
12	29,95	23,01	11,74	0,67	14,94	34,22	43,09
13	31,62	25,08	14,21	0,33	13,01	32,55	41,89
14	33,08	27,01	17,14	2,87	10,81	31,05	40,02
15	34,82	28,68	19,61	5,20	8,74	28,95	38,42
16	36,15	30,48	21,88	7,54	5,87	27,21	36,55
17	37,62	32,28	23,41	10,07	3,94	24,61	34,22
18	38,89	33,68	25,21	12,14	1,13	22,75	32,28
19	40,22	35,08	27,01	14,07	2,00	20,68	30,62
20	41,62	36,49	28,28	15,61	3,67	18,48	28,48
21	42,82	37,55	29,35	17,68	5,74	16,28	26,15
22	43,89	38,72	30,75	19,68	8,67	13,67	23,81
23	44,96	39,75	32,15	21,34	11,01	10,87	21,48
24	46,02	40,75	33,22	22,75	13,14	8,07	19,14

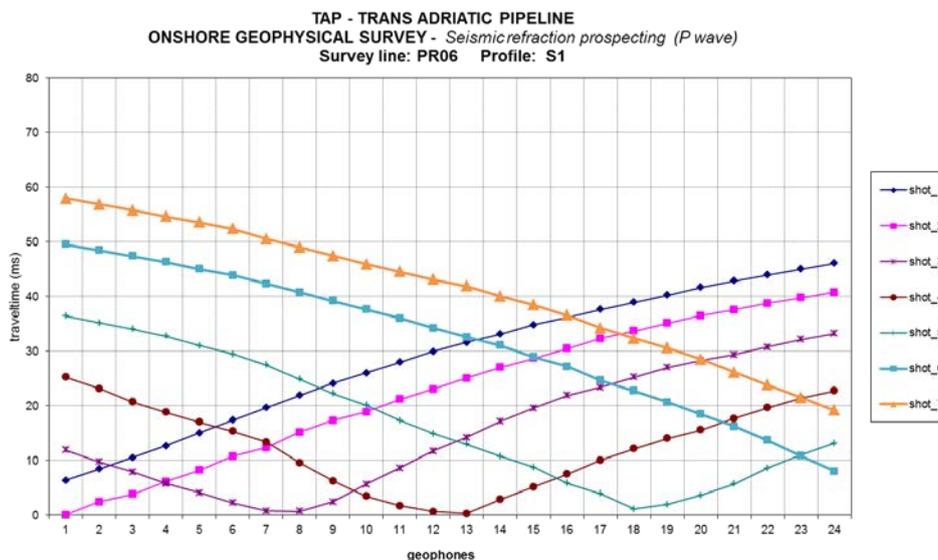


Figure 2 – IN ALTO. Tempi arrivo onde P - IN BASSO. Dromocrono.

2.1.2. *Profilo PR06 – Sub-Profilo S2*

P wave travelttime (ms)							
	-30,0 m (from ch.1)	-12 m (from ch.1)	between ch.6-ch.7	between ch.12-ch.13	between ch.18-ch.19	0 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	21,48	7,14	12,67	21,88	39,12	42,69	47,43
2	24,35	8,74	10,27	20,34	37,95	41,42	46,43
3	26,35	10,61	7,74	18,68	36,75	40,09	45,47
4	28,28	12,67	5,74	17,14	35,48	38,95	44,51
5	29,95	14,74	3,67	15,47	34,35	37,82	43,54
6	31,88	17,01	1,73	13,41	33,28	36,69	42,62
7	33,68	18,94	1,53	11,41	31,88	35,75	41,52
8	35,35	20,34	3,87	8,80	30,88	34,35	40,53
9	36,75	21,61	5,47	6,00	29,68	32,95	39,60
10	38,22	24,35	8,54	4,27	28,41	32,02	38,73
11	40,49	26,68	10,87	1,93	26,88	31,22	37,84
12	42,56	29,95	13,54	0,73	25,15	30,42	37,01
13	44,16	32,55	16,88	0,87	23,48	29,48	36,15
14	46,22	34,82	19,81	1,40	21,88	28,15	35,02
15	49,56	37,22	22,95	4,27	19,94	27,21	33,42
16	51,23	40,15	26,01	8,34	15,61	26,35	31,82
17	52,63	42,62	28,68	13,14	8,07	25,55	30,48
18	53,96	44,16	30,62	17,81	1,60	24,61	29,55
19	55,49	46,09	32,15	20,14	1,47	23,01	28,01
20	56,96	47,29	33,68	22,68	6,34	20,41	26,48
21	58,16	48,36	34,95	24,75	13,81	17,74	24,61
22	59,28	49,63	36,15	26,41	18,68	12,74	21,21
23	60,43	50,63	37,22	28,15	22,01	4,80	18,08
24	61,55	51,56	38,22	29,55	24,21	1,47	13,67

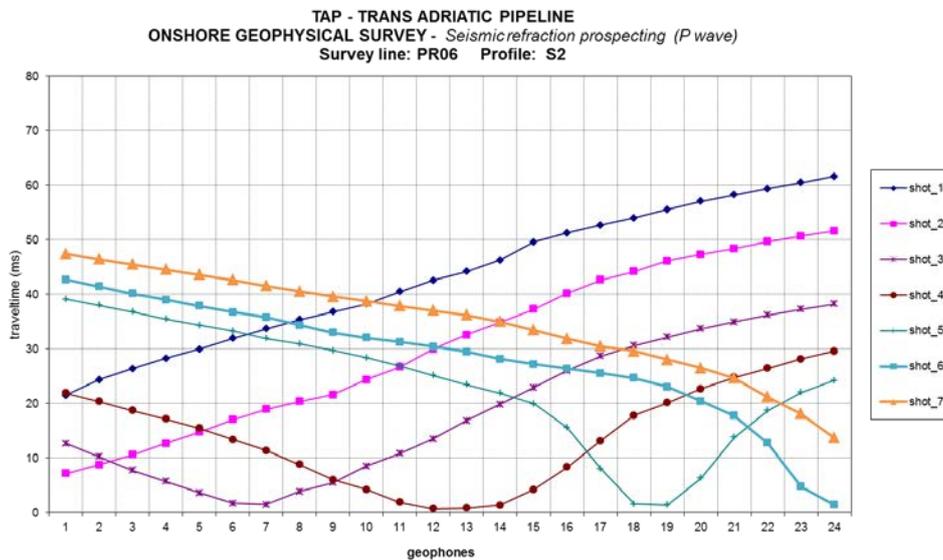


Figure 3 – IN ALTO. Tempi arrivo onde P - IN BASSO. Dromocrone.

2.1.3. *Profilo PR06 – Sub-Profilo S3*

P wave travelttime (ms)							
	-12,0 m (from ch.1)	0 m (from ch.1)	between ch.6-ch.7	between ch.12-ch.13	between ch.18-ch.19	12 m (from ch.24)	30,0 m (from ch.24)
ch.	shot_1	shot_2	shot_3	shot_4	shot_5	shot_6	shot_7
1	18,81	1,67	14,27	15,67	22,14	40,36	61,36
2	21,01	4,80	12,27	14,27	20,71	39,49	60,50
3	22,68	8,47	10,01	13,14	19,28	38,62	59,63
4	24,08	11,21	7,67	11,74	17,74	37,79	58,70
5	25,21	13,27	5,07	10,01	16,01	36,92	57,90
6	25,88	14,67	1,00	7,87	14,34	36,02	57,03
7	27,15	16,48	0,87	5,94	12,41	35,02	56,16
8	28,41	17,94	3,00	4,20	10,67	34,02	55,36
9	29,55	19,08	4,54	2,27	9,07	32,95	54,56
10	30,62	19,94	5,74	1,40	7,94	31,82	53,76
11	31,62	20,81	6,80	0,80	6,60	30,75	52,83
12	32,95	22,01	7,94	0,47	5,54	29,42	51,96
13	33,85	22,81	8,94	0,33	4,34	28,08	50,63
14	34,68	23,75	10,47	0,53	3,27	26,81	48,62
15	35,55	25,08	12,21	0,80	2,47	25,35	45,49
16	37,02	26,41	14,07	1,47	1,40	23,88	43,22
17	38,35	28,48	16,54	3,87	1,00	22,41	40,09
18	39,69	30,08	18,48	5,60	0,40	20,34	37,62
19	40,75	31,88	20,68	8,07	0,53	17,81	35,02
20	42,15	33,48	23,01	11,74	0,80	13,47	32,95
21	43,56	35,35	24,75	14,07	1,67	10,14	29,15
22	45,02	37,15	26,35	15,88	2,47	7,54	26,35
23	46,22	38,49	28,21	17,68	3,67	5,34	22,75
24	47,62	39,95	29,62	19,41	5,00	3,00	18,41

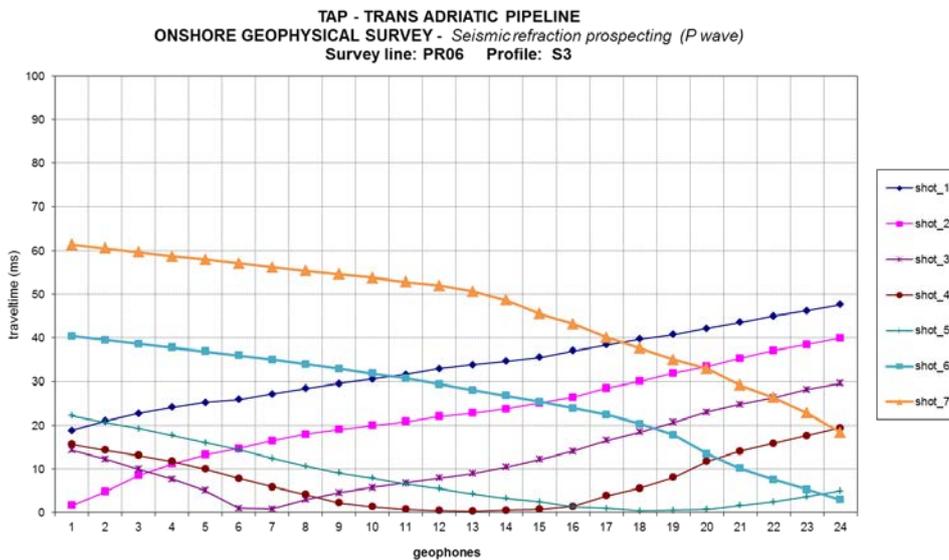


Figure 4 – IN ALTO. Tempi arrivo onde P - IN BASSO. Dromocrone.

2.1.4. Profilo PR06 – Sub-Profilo S4

P wave travelttime (ms)							
	-12,0 m (from ch.1)	0 m (from ch.1)	between ch.6-ch.7	between ch.12-ch.13	between ch.17-ch.18	12 m (from ch.24)	30,0 m (from ch.24)
ch.	shot_1	shot_2	shot_3	shot_4	shot_5	shot_6	shot_7
1	5,60	1,00	7,87	19,28	30,08	52,89	68,43
2	6,87	2,47	6,60	17,74	29,15	52,03	67,57
3	8,47	3,80	4,27	16,21	28,08	51,09	66,70
4	11,54	5,87	2,80	13,47	27,15	50,16	65,86
5	14,07	8,54	1,73	11,01	26,08	49,29	64,97
6	16,68	10,67	0,80	8,94	25,15	48,42	64,17
7	19,94	12,87	0,67	7,47	23,88	47,50	63,37
8	22,01	15,21	2,27	6,20	22,48	46,56	62,53
9	24,88	17,21	3,10	5,07	20,68	45,42	61,30
10	26,95	20,14	3,87	3,94	18,88	43,89	60,03
11	28,68	22,48	4,60	2,67	16,28	41,75	58,70
12	30,08	25,61	5,34	1,27	11,54	39,95	57,63
13	31,88	27,48	6,74	0,87	9,47	36,55	56,56
14	33,62	29,28	9,41	2,33	7,14	34,48	55,16
15	35,42	30,88	11,67	3,80	4,80	31,62	53,29
16	37,09	32,68	14,21	5,87	2,60	28,28	51,29
17	38,62	34,22	16,41	8,40	0,67	25,21	49,43
18	39,95	36,02	19,34	11,34	0,73	21,88	46,49
19	41,15	37,35	22,01	13,67	2,07	19,14	43,22
20	42,56	38,89	24,88	15,47	3,20	16,14	40,75
21	43,89	40,42	27,61	17,81	5,00	13,94	37,49
22	45,22	41,55	29,01	19,81	6,54	11,01	33,82
23	46,62	42,89	30,62	21,21	8,00	8,20	30,35
24	47,90	44,16	31,68	22,68	9,41	5,34	26,55

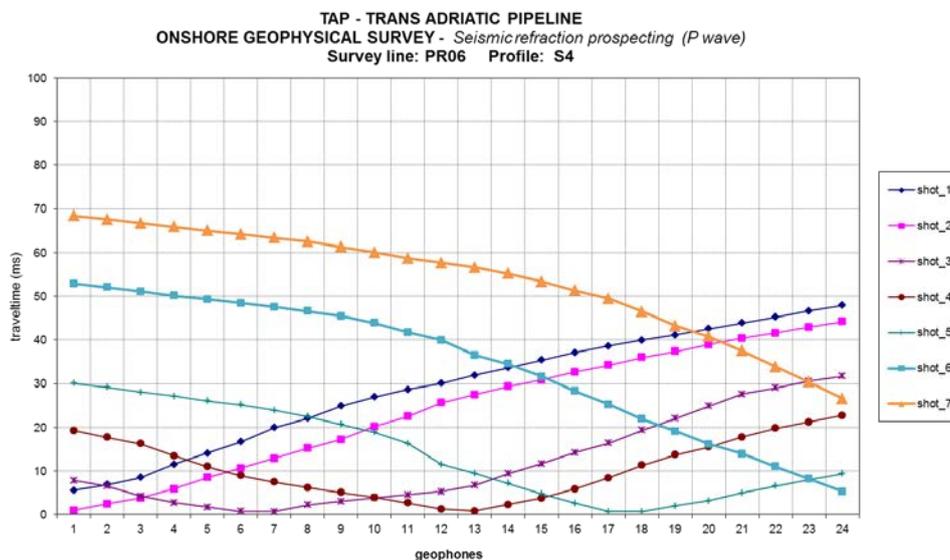


Figure 5 – IN ALTO. Tempi arrivo onde P - IN BASSO. Dromocrone.

2.1.5. Profilo PR06 – Sub-Profilo S5

P wave travelttime (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	7,94	1,13	8,94	23,15	41,95	53,43	62,77
2	10,07	3,00	7,14	21,01	40,42	52,43	61,87
3	12,14	5,34	5,67	17,68	38,89	51,49	60,96
4	14,41	7,40	3,94	14,21	36,75	50,49	60,01
5	17,21	9,34	2,20	11,74	34,68	49,49	59,03
6	20,88	11,54	0,33	9,07	32,15	48,49	58,09
7	24,35	14,07	1,20	7,14	30,15	47,22	57,12
8	27,15	15,88	3,07	5,54	28,41	46,16	56,16
9	30,08	17,54	4,94	4,14	25,28	44,96	54,69
10	32,35	19,94	6,74	2,67	22,61	44,09	53,03
11	34,68	22,41	8,27	1,80	20,28	42,62	51,56
12	37,02	25,21	10,07	0,80	17,14	40,35	49,69
13	39,02	27,81	11,27	0,80	14,81	37,22	48,09
14	41,62	31,48	13,01	3,00	11,61	33,28	45,49
15	43,49	33,55	16,01	6,07	8,87	29,68	41,55
16	45,69	36,69	19,94	8,27	6,74	25,35	36,69
17	47,62	38,75	25,08	13,34	4,80	20,48	32,35
18	49,36	41,69	28,01	15,61	1,93	17,34	27,21
19	51,03	43,62	31,75	17,68	1,93	14,74	24,01
20	52,69	45,89	34,08	21,01	5,07	10,81	20,28
21	54,49	47,96	36,55	24,08	7,00	7,40	16,48
22	56,03	49,76	39,02	27,15	9,34	5,47	13,67
23	57,43	51,43	41,75	29,68	11,74	3,54	10,67
24	58,96	52,89	44,22	31,42	14,21	1,53	7,54

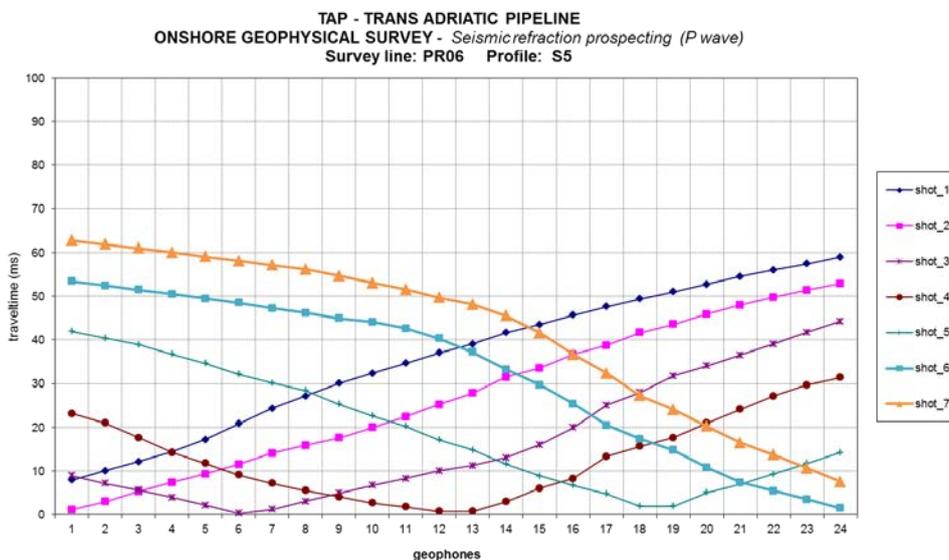


Figure 6 – IN ALTO. Tempi arrivo onde P - IN BASSO. Dromocrone.

2.1.6. Profilo PR06 – pseudosezione

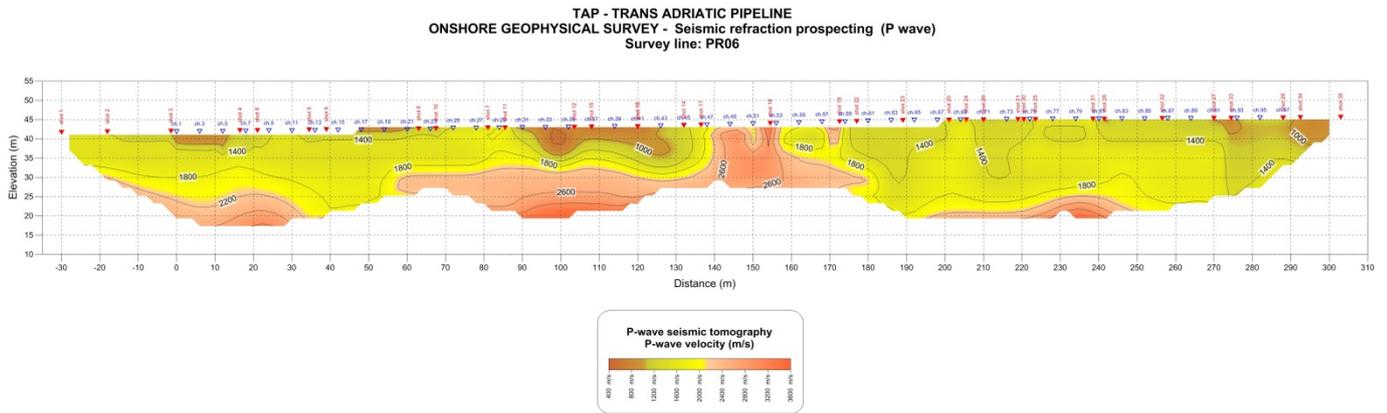


Figure 7 – Pseudosezione in onde P.

2.2. Profilo PR07 – Sub-Profilo S1

2.2.1. Profilo PR07 – Sub-Profilo S1

P wave traveltime (ms)							
	-30,0 m (from ch.1)	0 m (from ch.1)	between ch.6-ch.7	between ch.12-ch.13	between ch.18-ch.19	0 m (from ch.24)	30,0 m (from ch.24)
ch.	shot_1	shot_2	shot_3	shot_4	shot_5	shot_6	shot_7
1	34,22	2,07	20,41	34,22	49,83	59,76	64,97
2	37,09	4,67	17,54	32,68	48,29	57,96	63,63
3	38,89	8,20	14,94	30,88	46,49	56,10	62,36
4	40,22	12,87	12,34	28,01	44,42	54,56	61,03
5	42,29	17,28	9,47	25,08	42,29	53,23	59,76
6	44,62	20,68	2,60	22,75	40,75	51,96	58,36
7	46,49	24,41	2,67	20,14	38,62	50,09	57,06
8	48,56	27,68	7,14	18,34	35,55	47,76	55,36
9	50,89	30,88	13,94	15,74	33,22	44,89	54,00
10	52,69	32,95	18,61	12,87	29,82	43,36	52,69
11	55,56	36,02	23,01	7,40	26,15	39,42	51,16
12	57,16	38,62	26,68	3,80	20,68	37,35	49,09
13	58,50	39,95	29,55	3,54	15,47	34,35	47,22
14	59,86	41,55	31,88	7,40	12,61	32,15	45,69
15	61,36	43,09	33,95	10,27	10,54	30,08	44,16
16	62,63	45,16	36,02	14,41	7,40	28,01	42,29
17	64,17	47,49	37,35	17,54	5,90	25,88	40,49
18	65,50	49,09	38,89	19,94	4,00	22,75	38,89
19	67,00	51,16	40,49	23,81	3,60	19,14	36,02
20	68,20	52,69	42,02	26,15	5,34	14,94	33,68
21	69,47	54,83	43,62	28,75	7,67	10,54	31,62
22	70,97	56,63	44,92	30,88	10,54	6,87	29,55
23	72,20	57,96	46,22	32,42	13,94	4,27	26,15
24	73,50	59,33	47,59	33,68	17,81	1,93	22,28

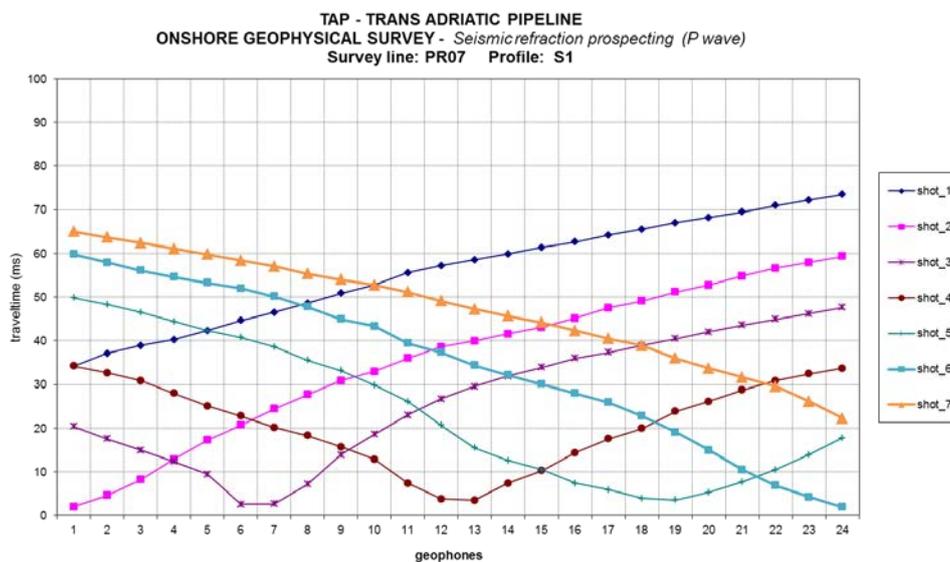


Figure 8 – IN ALTO. Tempi arrivo onde P - IN BASSO. Dromocrone.

2.2.2. *Profilo PR07 – Sub-Profilo S2*

P wave travelttime (ms)							
	-30,0 m (from ch.1)	0 m (from ch.1)	between ch.6-ch.7	between ch.12-ch.13	between ch.18-ch.19	0 m (from ch.24)	30,0 m (from ch.24)
ch.	shot_1	shot_2	shot_3	shot_4	shot_5	shot_6	shot_7
1	29,01	1,33	14,01	30,62	38,15	45,86	68,33
2	30,35	3,54	11,07	28,41	36,82	44,65	67,13
3	31,75	5,60	8,80	25,88	35,55	43,46	65,93
4	33,48	8,40	6,80	23,55	34,22	42,22	64,71
5	35,55	10,94	3,67	21,21	32,15	41,02	63,57
6	37,29	12,81	0,67	18,88	30,62	39,35	62,44
7	39,02	15,27	0,33	16,34	28,75	37,49	61,30
8	40,75	17,54	2,54	13,14	26,68	35,22	60,11
9	42,35	20,28	4,87	10,34	25,08	33,82	58,83
10	43,82	22,01	7,94	8,00	23,41	31,88	57,16
11	45,02	24,28	10,07	5,34	21,88	30,02	55,36
12	46,69	27,21	12,47	2,13	19,08	28,41	53,49
13	49,43	30,68	15,27	2,54	16,14	26,88	52,16
14	51,16	32,68	18,54	5,07	12,41	24,88	50,89
15	53,23	35,02	20,61	9,07	10,74	22,28	48,29
16	54,56	36,29	23,61	11,54	7,54	19,94	45,96
17	56,10	38,89	25,48	13,94	4,47	17,41	42,29
18	57,43	40,49	27,21	16,81	2,33	14,74	41,02
19	58,96	42,02	29,28	19,41	2,54	12,61	37,35
20	60,56	43,62	31,22	21,61	4,74	9,94	35,82
21	61,96	45,16	32,75	23,81	6,60	7,14	33,22
22	63,27	46,76	34,32	25,88	8,54	4,80	29,28
23	64,63	48,29	35,89	27,48	10,54	2,74	26,68
24	65,97	49,83	37,29	29,08	12,87	1,20	23,81

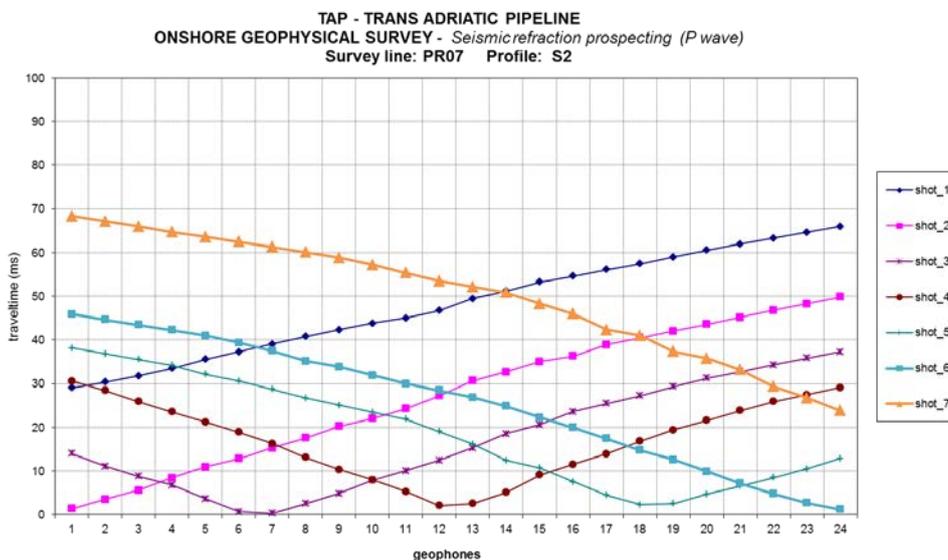


Figure 9 – IN ALTO. Tempi arrivo onde P - IN BASSO. Dromocrone.

2.2.3. Profilo PR07 – Sub-Profilo S3

P wave travelttime (ms)							
	-12,0 m (from ch.1)	0 m (from ch.1)	between ch.6-ch.7	between ch.12-ch.13	between ch.18-ch.19	0 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	5,60	0,53	12,54	28,01	37,95	46,76	59,10
2	8,27	3,34	10,27	25,75	36,29	45,16	57,63
3	12,27	5,40	8,40	23,68	34,48	43,62	56,16
4	15,21	8,00	6,27	21,74	32,75	42,22	54,76
5	19,14	10,07	3,54	19,68	31,02	40,69	53,43
6	21,48	12,54	1,27	17,81	28,95	39,29	52,06
7	24,08	15,07	0,73	15,74	26,88	37,15	50,49
8	26,68	17,68	2,80	13,54	25,15	35,55	48,82
9	30,08	20,61	7,67	11,54	23,08	33,82	47,16
10	32,42	22,81	9,94	9,34	20,41	31,88	45,69
11	36,02	25,61	11,87	7,40	18,88	30,35	44,42
12	39,15	28,35	13,94	3,00	16,54	28,68	42,96
13	41,02	30,68	17,14	2,74	14,14	26,68	41,62
14	43,36	32,42	19,68	5,74	11,54	24,61	39,95
15	44,96	34,48	21,34	8,74	8,47	22,75	38,42
16	46,29	36,42	23,61	10,87	5,47	19,61	35,82
17	47,62	38,22	26,15	13,41	1,73	17,68	32,55
18	48,99	39,62	28,21	15,34	0,33	14,74	30,22
19	50,16	41,29	30,35	17,41	0,60	11,81	27,81
20	51,39	42,69	32,15	19,34	2,13	9,41	25,08
21	52,56	44,09	33,65	22,28	5,74	6,80	23,41
22	53,77	45,36	35,08	25,08	7,87	4,34	21,01
23	54,99	46,69	36,55	27,15	9,94	2,54	18,54
24	56,20	47,92	38,05	29,28	12,01	1,13	15,34

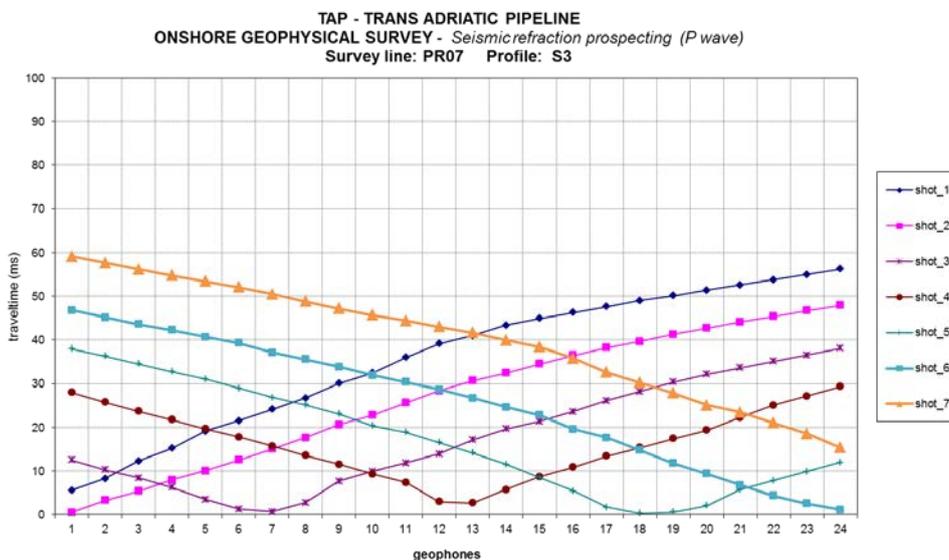


Figure 10 – IN ALTO. Tempi arrivo onde P - IN BASSO. Dromocrone.

2.2.4. Profilo PR07 – Pseudosezione

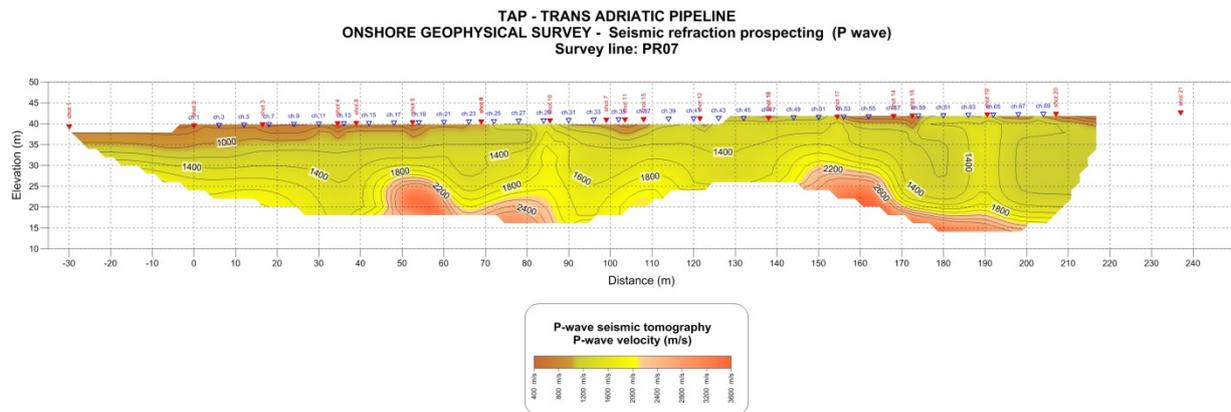


Figure 11 – Pseudosezione in onde P.

URS

Italia

URS Italy S.p.A.

TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT

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

ALLEGATO 3 **MASW** **Dati elaborati**

Commessa No	214/14
File	214-14_URS Italy – Indagini geofisiche aggiuntive eseguite sulla terraferma – TAP – PRT
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 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

INDEX

1. INTRODUZIONE	3
2. PROSPEZIONE SISMICA MASW	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.....	7
2.2. MASW 1	10
2.3. MASW 2	12

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.

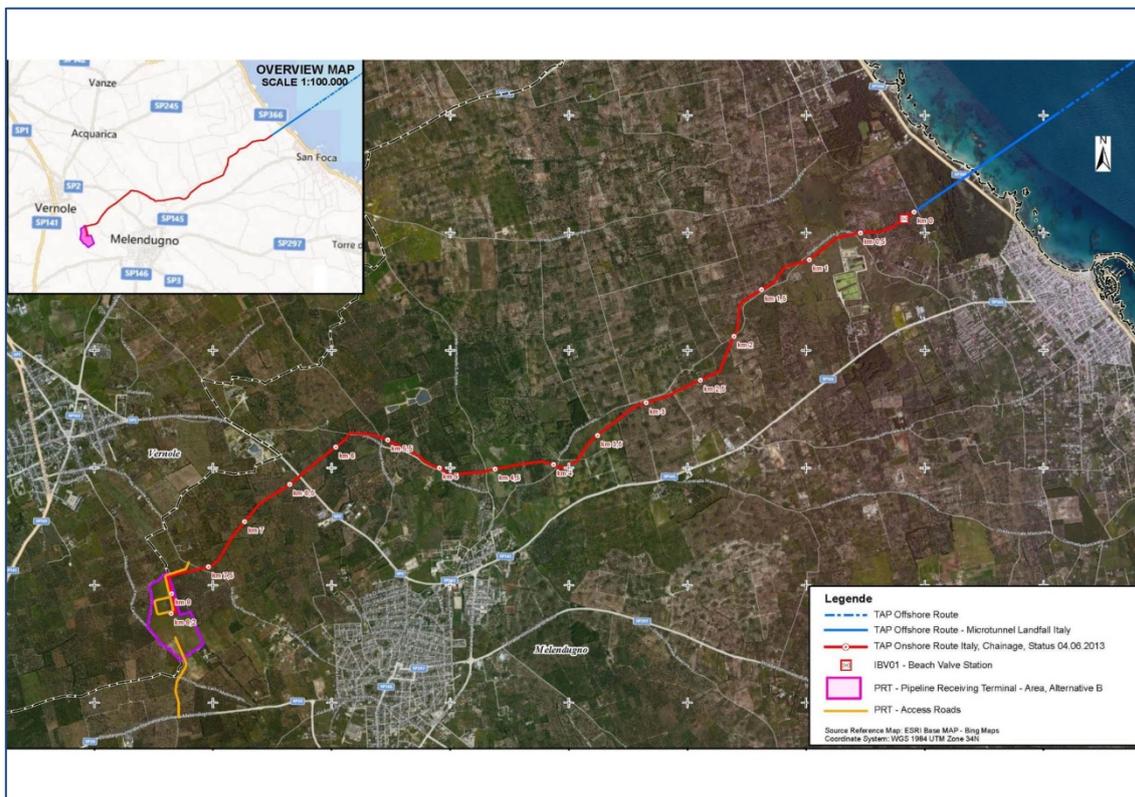


Figura 1 – Melendugno – TAP. Sito d'indagine.

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. Prospezione sismica MASW

Nel corso della campagna geofisica in oggetto, sono state eseguite n.2 prospezioni sismiche MASW.

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

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.

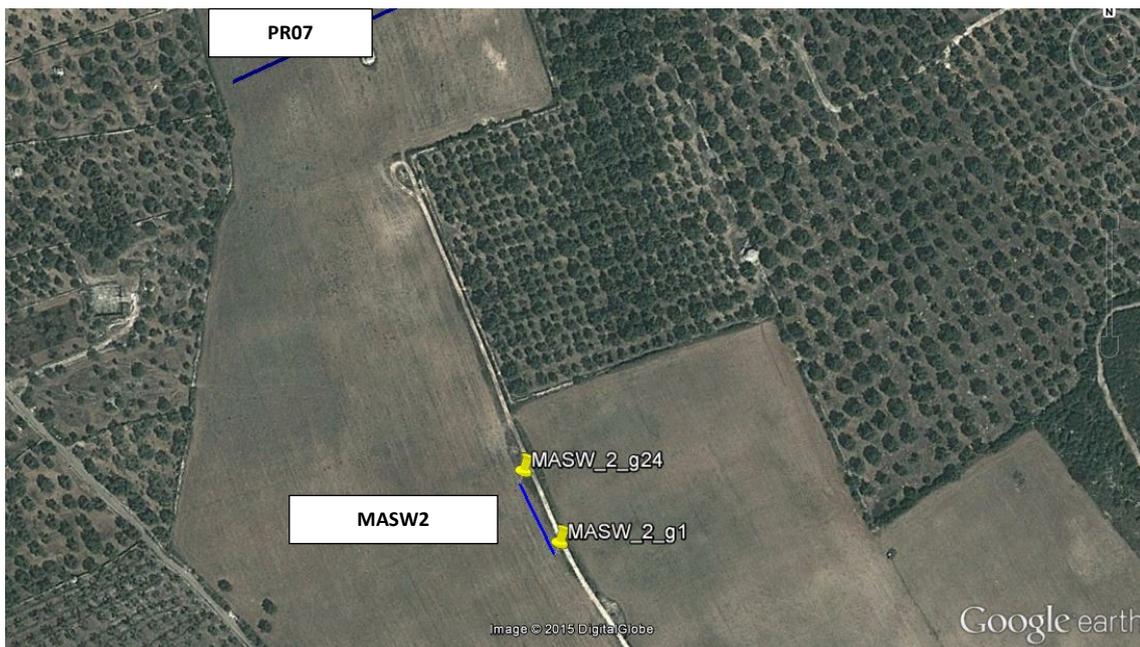
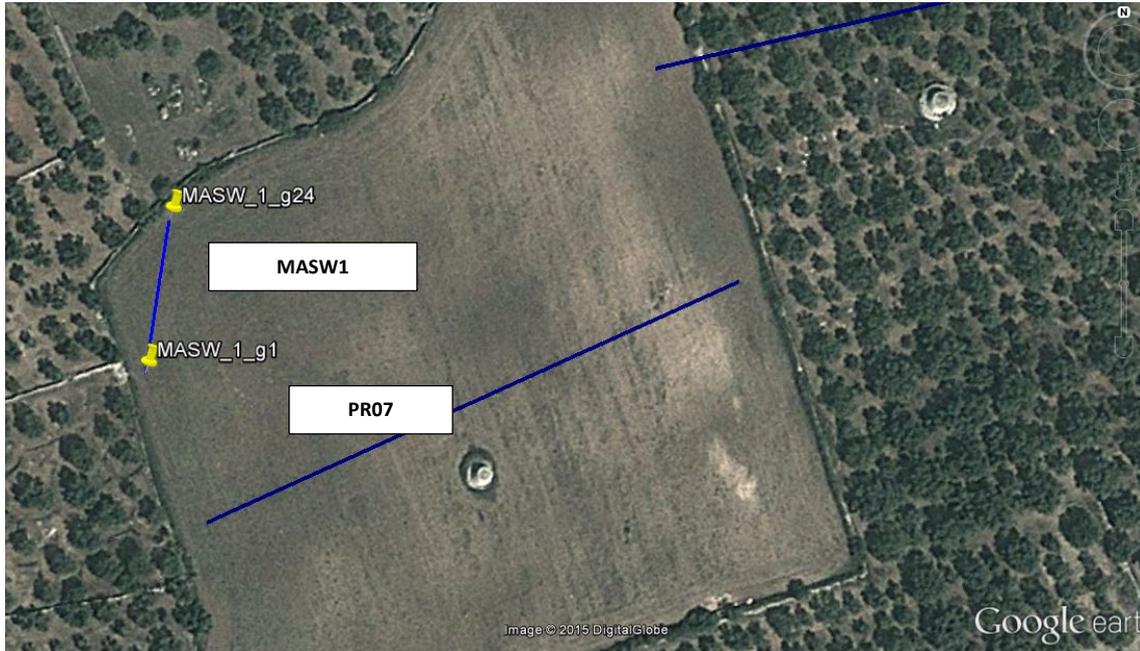


Figura 2 – Melendugno – TAP. Ubicazione delle indagini MASW.

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 fine)
C	<i>Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina)	$180 \text{ m/s} < V_{s,30} < 360 \text{ m/s}$ ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ (terreni a grana grossa) ovvero $70 < c_{u,30} < 250$ kPa (terreni a grana fine)
D	<i>Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina)	$V_{s,30} < 180$ m/s ovvero $N_{SPT,30} < 15$ (terreni a grana grossa) ovvero $c_u < 70$ kPa (terreni a grana fine)
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s)</i>	

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:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

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 1

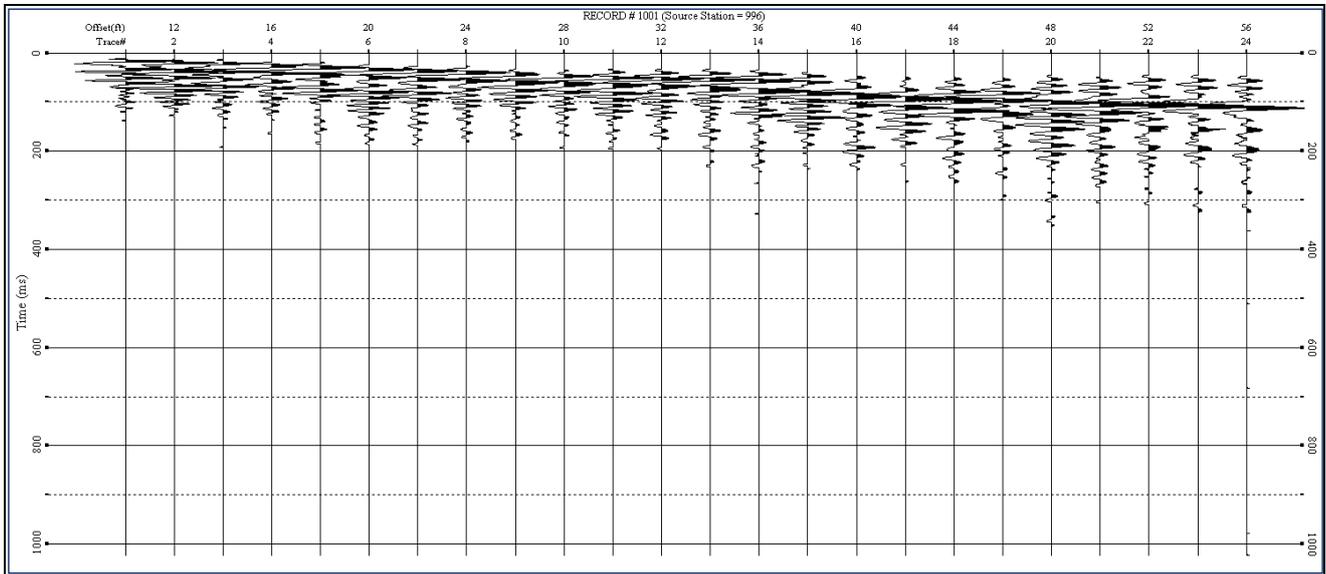


Figura 1. Melendugno – TAP. Prospezione MASW - **MASW 1** - sismogramma

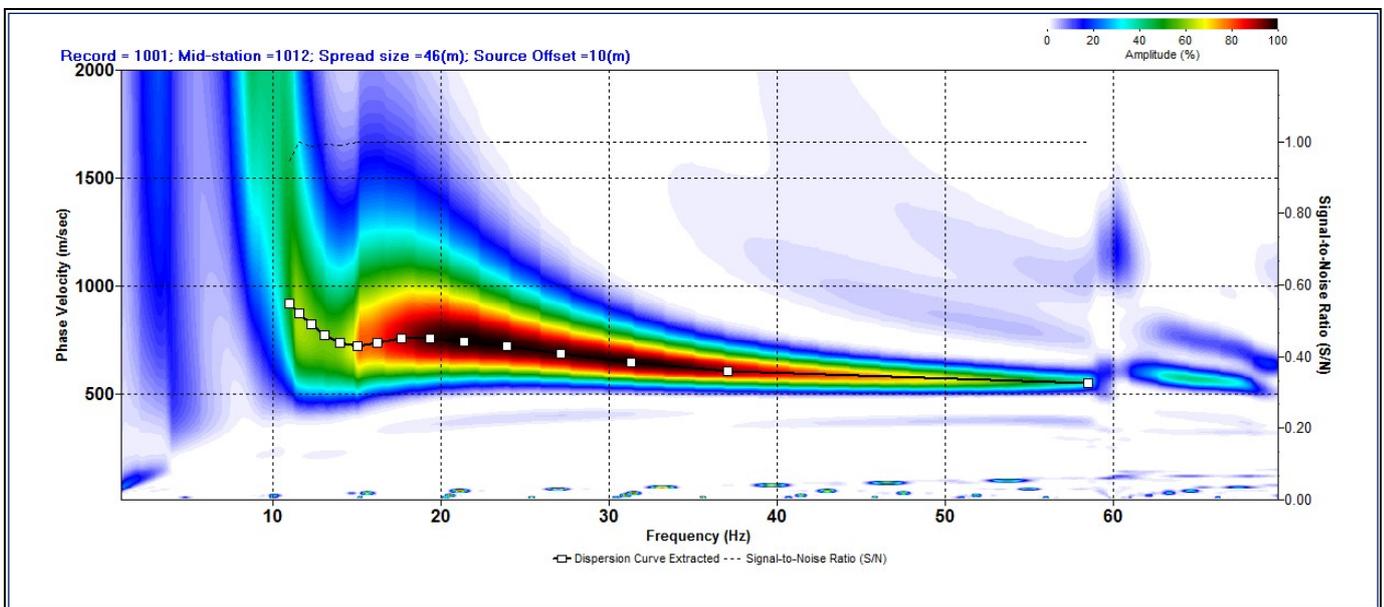


Figura 2. Melendugno – TAP. Prospezione MASW - **MASW 1** – curva di dispersione

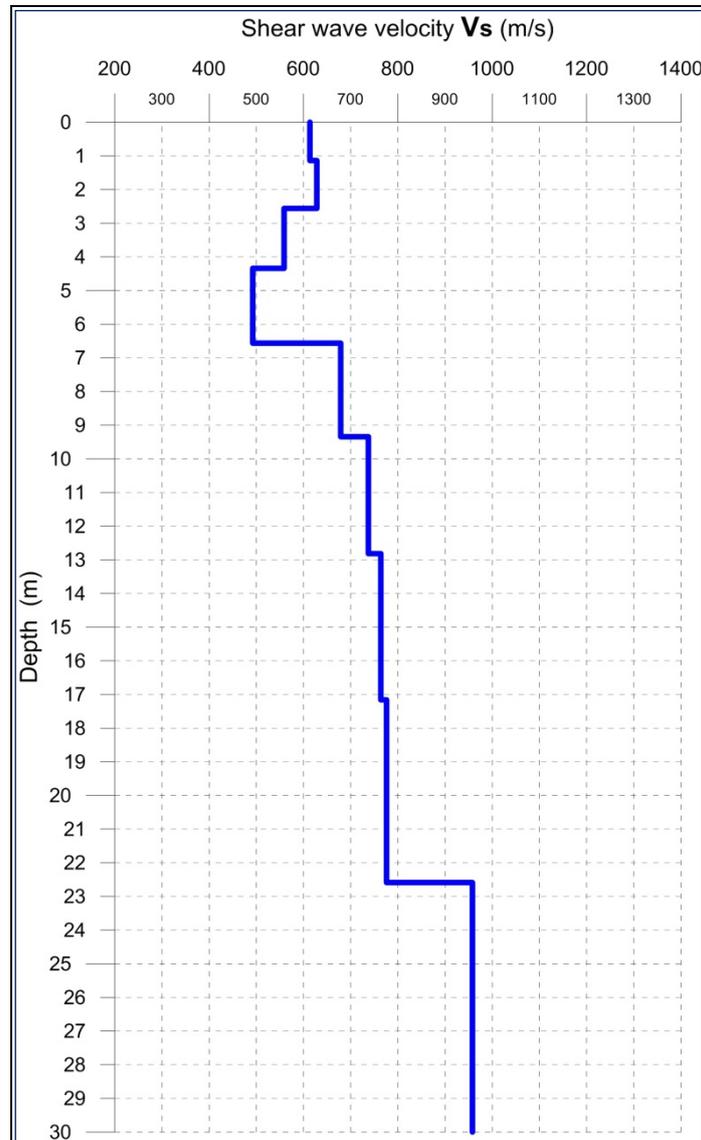


Figura 3. Melendugno – TAP. Prospezione MASW - **MASW 1** – Profilo verticale della velocità delle onde S

MASW 1
 $V_{s,30} = 731$ m/s

Classificazione del suolo in accordo con la normativa Eurocode 8

“B” (360 m/s < $V_{s,30}$ < 800 m/s)

2.3. MASW 2

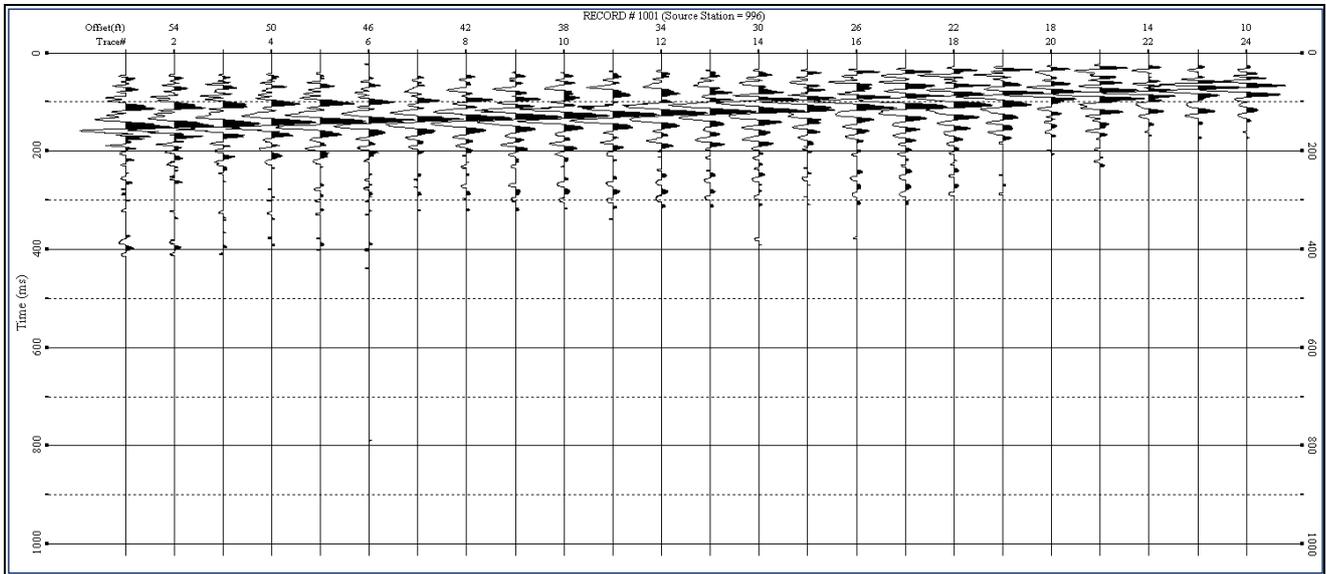


Figura 4. Melendugno – TAP. Prospezione MASW - **MASW 2** - sismogramma

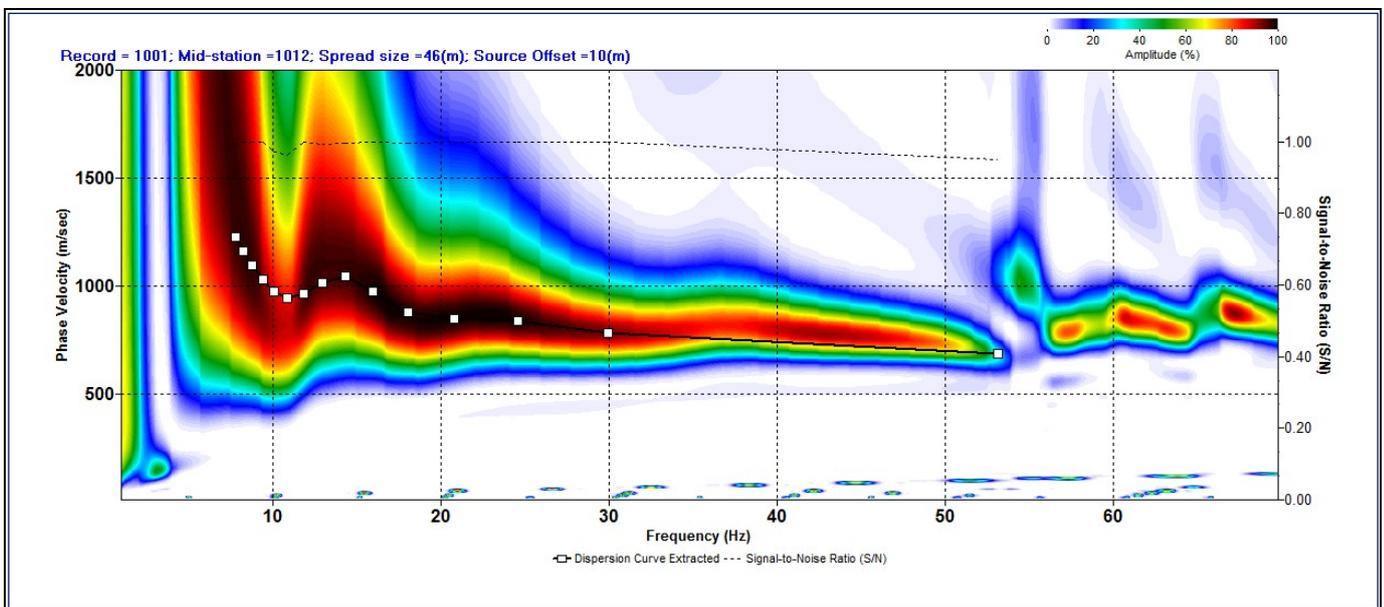


Figura 5. Melendugno – TAP. Prospezione MASW - **MASW 2** – curva di dispersione

