



INDAGINI GEOFISICHE DI TIPO GEOELETTRICA 2D, SISMICA A RIFLESSIONE 2D SISMICA MASW 2D

APPENDICE F DEL SIA

IMPIANTO SMALL SCALE LNG PLANT

Colle Santo gas field

ОК	01	31/03/2024	EMISSIONE PER ENTI	GGM srl	Engea Consulting srl	ITF Cosmep
_	00	-	EMISSIONE PER ENTI	GGM srl	Engea Consulting srl	ITF Cosmep
Status	Rev. n.	Data	Descrizione	Elaborato	Verificato	Approvato



INDICE

NORMA	ATIVA	1
1.	PREMESSA	2
2.	INDAGINE ELETTRICA TOMOGRAFICA 2D (E.R.T.)	9
2.1 2.2 2.3 2.4	STRUMENTAZIONE UTILIZZATA ACQUISIZIONE DATI ELABORAZIONE DATI E RISULTATI INDAGINI GEOFISICHE DI TIPO TOMOGRAFICO ELETTRICO A SUPPORTO DELLO STUDIO	12 13 15
IDRO	DEEOLOGICO INDAGINE SISMICA A RIELESSIONE 2D (SR)	23
3.1 3.2 3.3 4.	STRUMENTAZIONE IMPIEGATA ACQUISIZIONE DATI ELABORAZIONE DATI E RISULTATI INDAGINE SISMICA M.A.S.W 2D (MW)	36 38 41 64
4.1	STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	66
4.2	ELABORAZIONE DATI E RISULTATI	70
5.		//
5.1 TAVOLE	ACQUISIZIONE DATI E DI INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	77 80
TAVOLE	DI RESTITUZIONE INDAGINI	80





NORMATIVA

- UNI EN ISO 9001:2015 Sistemi di Gestione per la Qualità (SGQ);
- ASTM D6429 99(2011) E1 Standard guide for selecting surface geophysical methods;
- ASTM D 5777 18/00(2011) E1 Standard guide for using the seismic refraction method for subsurface investigation
- ASTM D7128-18(2018) E1 Standard Guide for Using the Seismic-Reflection Method for Shallow Subsurface Investigation;
- ASTM D6431 99(2010) Standard guide for using the direct current resistivity method for subsurface investigation;
- BS 6233 (1982): Methods of test for volume resistivity and surface resistivity of solid electrical insulating materials;
- ASTM F3071 14 Standard Guide for Basic Wilderness GPS/GNSS Use (GPS/GNSS-IW) Endorsement.



1. PREMESSA

L'impianto Small Scale LNG di proprietà della Società LNEnergy sarà realizzato nella Regione Abruzzo, in provincia di Chieti, nel territorio del comune di Bomba.

Le aree interessate dal progetto ricadono all'interno di un contesto territoriale caratterizzato da criticità di natura geologica, geomorfologica e sismica.

Per tale motivo lo Studio di Impatto Ambientale viene corredato da una serie di studi di approfondimento relativi a (Figura 1-1):

- Monitoraggio interferometrico
- Esecuzione indagini sismiche e relazione geofisica
- Rilevamento geologico e geomorfologico
- Valutazione delle strutture sismogenetiche
- Predisposizione modello idrogeologico
- Valutazione della suscettività alla franosità sismo-indotta

e, per quanto concerne la subsidenza:

- Modello dinamico-Modello numerico 3D del giacimento per simularne il comportamento dinamico e valutare l'influenza della produzione a scala regionale; la simulazione della produzione di gas sarà realizzata definendo vari scenari e realizzando anche un'analisi di sensitività
- Modello geomeccanico (Stima subsidenza)
- Analisi di stabilità delle faglie

L'approccio adottato e condiviso con gli enti di riferimento sin alle prime fasi di scoping si è basato dunque sull'utilizzo delle criticità fin qui emerse come base di partenza per impostare il nuovo SIA: gli elementi evidenziati da enti e portatori di interesse saranno approfonditi e chiariti partendo da dati aggiornati e reali, da nuova modellistica e da nuove indagini condotte nell'area di progetto.

Le attività previste sono consistite in:

- Rilievi di campo multiscalari (rilevamento geologico, geomorfologico ed idrogeologico);
- Esecuzione indagini di approfondimento (indagini geofisiche, analisi interferometriche, prove di carattere idrogeologico);
- Raccolta di dati bibliografici da fonti ufficiali e verifica modello regionale applicabile al contesto geologico in studio;
- Realizzazione di nuovi modelli (per le caratteristiche idrogeologiche delle coperture e profonde, per il giacimento, per la valutazione della suscettività alla franosità sismo-indotta e per la subsidenza);
- Esecuzione attività di monitoraggio.
- La presente Appendice si occuperà dei seguenti aspetti:
 - Esecuzione indagini sismiche e relazione geofisica

e descrive le indagini geofisiche di tipo:

- geoelettrica tomografica 2D (E.R.T.),
- sismica a riflessione 2D (S.R.),
- sismica M.A.S.W. 2D (MW),

eseguite a supporto del progetto "SMALL SCALE LNG PLANT - Colle Santo Gas Field" dalla società GGM srl che opera seguendo gli standard di certificazione in conformità alle "Norme UNI EN ISO 9001:201 – Sistemi di Gestione per la qualità" per le "Indagini geofisiche e Studi geologici".







FIGURA 1-1: APPROFONDIMENTI TECNICO-SCIENTIFICI A CORREDO DELLO SIA

Purtroppo, non è stato possibile realizzare due stendimenti sismici continui e fra loro ortogonali, come inizialmente previsto, a causa di problemi logistici legati anche all'impossibilità di entrare in aree private. Si è, pertanto, optato di realizzare le attività a margine della viabilità pubblica, nei contesti interessati da potenziali problematiche geomorfologiche o direttamente connessi alla realizzazione dell'impianto.

Le attività si sono concretizzate attraverso le seguenti fasi operative:

1. esecuzione di indagini geofisiche, consistenti in:

©LNENERGY

- **n. 6 stendimenti di tomografia di resistività elettrica 2D (E.R.T.)** e per la caratterizzazione elettrostratigrafica del terreno;

Pag. 3



Tabella 1-1	Tabella 1-1 - Caratteristiche dei n.6 stendimenti di tomografia di resistività elettrica 2D (E.R.T.)										
Linea	Passo Elettrodic.	Geom. di	Lunghezza	Prof. d'indagine	Coordinate Cartografiche UTM - WGS84 33N						
	[m] acquisiz. (m)		(m)	(m)	Inizio linea	Fine linea					
E.R.T. 1	5.0	Polo- Dipolo	1195	80	446324.84 m E 4653161.6 m N	446759.03 m E 4652070.4 m N					
E.R.T. 2	5.0	Polo- Dipolo	475	100	447109.04 m E 4652223.6 m N	447136.50 m E 4651757.3 m N					
E.R.T. 3	5.0	Polo- Dipolo	475	85	447331.82 m E 4652566.9 m N	447114.61 m E 4652170.4 m N					
E.R.T. 4	5.0	Polo- Dipolo	475	85	447044.61 m E 4652929.5 m N	447352.63 m E 4652574.7 m N					
E.R.T. 5	5.0	Polo- Dipolo	235	90	447029.43 m E 4653206.3 m N	446826.89 m E 4653096.7 m N					
E.R.T. 6	5.0	Polo- Dipolo	235	85	447029.70 m E 4653208.2 m N	447091.84 m E 4652983.2 m N					

- n. 6 stendimenti di tomografia di sismica a riflessione (S.R.) per la caratterizzazione sismostratigrafica del terreno;

Tabe	Tabella 1-2 - Caratteristiche dei n.6 stendimenti di tomografia di sismica a riflessione (S.R.)											
Linea	Spaziatura geofonica	Numero geofoni per base	Lunghezza (m)	Prof. d'indagine (m)	Coordinate Geografiche (WGS 84 – UTM 33N)							
	d _g (m)	sismica			Inizio linea:	Fine linea:						
CD 1	1 5 00 24 1175 2		200	446323.97 m E	446760.69 m E							
JUI	5.00	24	11/5	200	4653162.8 m N	4652052.0 m N						
502	5.00	24	155	200	447106.63 m E	447133.73 m E						
	5.00	24	455	200	4652233.1 m N	4651766.8 m N						
50.2	F 00	24	155	200	447339.39 m E	447116.88 m E						
5 76	5.00	24	455	200	4652572.6 m N	4652209.0 m N						
CD /I	5.00	24	155	200	447042.54 m E	447333.55 m E						
51.4	5.00	24	455	200	4652931.7 m N	4652587.4 m N						
	5.00	24	215	200	447033.79 m E	446833.57 m E						
5 76	5.00	24	215	200	4653216.5 m N	4653102.5 m N						
SP 6	5.00	24	215	200	447034.50 m E	447098.65 m E						
SR 6		24	215	200	4653199.0 m N	4652974.9 m N						

- **n. 6 stendimenti di indagine sismica M.A.S.W.** per la caratterizzazione sismo-stratigrafica e determinazione delle onde di taglio Vs (m/s);



Та	Tabella 1-3 - Caratteristiche dei n.6 stendimenti di indagine sismica M.A.S.W.											
Linea	Spaziatura	Numero geofoni	Lungh.	Prof.	Coordinate Cartografiche UTM - WGS84 33N							
Lillea	d _g (m)	per base sismica	(m)	[m]	Inizio linea	Fine linea:						
	5.00	24	1120	25	446347.48 m E	446756.56 m E						
WI.A.3.W. 1	5.00	24	1120	25	4653124.7 m N	4652101.8 m N						
M.A.S.W. 2	5.00	24	360	20	447113.02 m E	447123.18 m E						
				20	4652179.5 m N	4651825.9 m N						
	5.00	24	360	25	447311.50 m E	447145.47 m E						
WI.A.3.W. 3	5.00				4652551.5 m N	4652249.3 m N						
	5.00	24	360	20	447072.84 m E	447295.74 m E						
WI.A.3.W. 4	5.00	24	300	20	4652898.9 m N	4652619.6 m N						
	5.00	24	120	20	446985.56 m E	446878.12 m E						
WI.A.3.W. 3	5.00	24	120	20	4653192.5 m N	4653142.3 m N						
MASWA	5.00	24	120	20	447079.24 m E	447051.59 m E						
M.A.S.W. 6	5.00	24		20	4653030.8 m N	4653147.4 m N						

2. elaborazione ed interpretazione dei dati ottenuti e predisposizione report tecnico.





FIGURA 1-2: UBICAZIONE DELLE INDAGINI ESEGUITE





L'inquadramento geografico, l'ubicazione delle indagini e i risultati finali sono riportati nei seguenti Allegati:

ALLEGATO F1 - TAV. a: INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

ALLEGATO F1 - TAV. b: UBICAZIONE INDAGINI

ALLEGATO F2 - INDAGINI GEOFISICHE

TAV. 01: INDAGINE DI TOMOGRAFICA ELETTRICA (E.R.T). TAV. 02: INDAGINE DI TOMOGRAFICA ELETTRICA (E.R.T.) TAV. 03: INDAGINE SISIMICA A RIFLESSIONE (SR) TAV. 04: INDAGINE SISIMICA A RIFLESSIONE (SR) TAV. 05: INDAGINE SISIMICA MASW (MW) TAV. 06: INDAGINE DI TOMOGRAFICA ELETTRICA (E.R.T.) VISUALIZZAZIONE 3D TAV. 07: INDAGINE SISMICA A RIFLESSIONE (SR) VISUALIZZAZIONE 3D TAV. 08: INDAGINE SISMICA MASW (MW) VISUALIZZAZIONE 3D

Ulteriori indagini geofisiche sono state realizzate a supporto dello studio idrogeologico (Ved. Appendice G). Le attività sono state realizzate attraverso le seguenti fasi operative:

- 1. esecuzione di indagini geofisiche, consistenti in:
 - n. 3 stendimenti di tomografia di resistività elettrica 2D (E.R.T.) per la caratterizzazione elettrostratigrafica del terreno (Tabella 1-4 *e* Figura 1-3).

Tabella 1-4 - Caratteristiche dei n.6 stendimenti di tomografia di resistività elettrica 2D (E.R.T.) a supporto dello studio idrogeologico											
Linea	Passo Elettrodic.	N°	Lungh. [m]	Prof. d'indagine	Coordinate Cartografiche UTM - WGS84 33N						
	[m]	Elettrodi		[m]	Inizio linea	Fine linea					
E.R.T. 1_IDR	5.0	144	715	80	446125.73 m E	446401.72 m E					
					4652812.2 m N	4652172.6 m N					
	5.0	48	235	50	446424.28 m E	446202.54 m E					
					4652884.0 m N	4652919.1 m N					
	ГO	72	255	80	447669.00 m E	447755.48 m E					
	5.0	12	333	80	4652982.2 m N	4652640.6 m N					





Indagine di tomografia Fine elettrica 2D - ERT

FIGURA 1-3: UBICAZIONE DELLE INDAGINI ESEGUITE A SUPPORTO DELLO STUDIO IDROGEOLOGICO

2. elaborazione ed interpretazione dei dati ottenuti e scrittura della presente relazione.

La documentazione prodotta e i risultati delle indagini sono stati forniti alle società che hanno curato gli altri approfondimenti tecnico scientifici previsti e all'Università degli Studi G. D'annunzio.



2. INDAGINE ELETTRICA TOMOGRAFICA 2D (E.R.T.)

Con le prospezioni geoelettriche si determina il parametro fisico della resistività elettrica relativo alle formazioni che costituiscono il mezzo indagato. La resistività è un parametro indipendente dalle caratteristiche geometriche della formazione litologica cui si riferisce ed è definito come la resistenza elettrica per unità di volume. Mediante l'utilizzo di appropriate strumentazioni si immette corrente elettrica nel terreno e si esegue una successione di misure in superficie attraverso una serie di elettrodi opportunamente posizionati e infissi nei primi cm di terreno. La strumentazione per la misura della resistività comprende (Figura 2-1):

- un sistema per l'immissione di corrente nel terreno (batteria o generatore di corrente);
- una serie di elettrodi (minimo quattro: A e B elettrodi di corrente, M e N elettrodi di potenziale);
- un georesistivimetro per la misura dell'intensità di corrente immessa nel terreno mediante gli

elettrodi A e B e per la lettura della differenza di potenziale tra i due elettrodi M e N.





I dati dei rilievi geoelettrici sono usualmente presentati in forma di valori di resistività apparente, questa è definita come la resistività di un semispazio elettricamente omogeneo ed isotropo che presenti gli stessi rapporti misurati tra la corrente applicata e la differenza di potenziale per una data disposizione e spaziatura degli elettrodi. Un'equazione che dia la resistività apparente in funzione di corrente applicata, distribuzione del potenziale e disposizione degli elettrodi può essere sviluppata attraverso l'esame della distribuzione di potenziale dovuta ad un singolo elettrodo di corrente; da questa, per sovrapposizione, può essere ricostruito l'effetto di una coppia di elettrodi o di ogni altra combinazione. La resistività del mezzo può quindi essere ricavata dai valori misurati di V (potenziale elettrico), I (intensità della corrente) e dal fattore geometrico K, funzione unicamente della disposizione elettrodica. Nelle misure reali sul terreno, la notazione p relativa ad un mezzo fittizio è sostituita da pa o resistività apparente (ohm*m). L'indagine geoelettrica è realizzata misurando i valori del campo elettrico in corrispondenza di un allineamento di elettrodi di misura equi spaziati. Il campo elettrico è generato da un dipolo di corrente posto all'interno della linea di misura che viene automaticamente spostato, all'interno della linea stessa, in maniera sequenziale. Le sezioni geoelettriche forniscono, quindi, una sezione verticale del terreno mediante una molteplicità di valori di resistività apparente riportabili su una maglia regolare di punti di misura. La resistività





apparente è definita come rapporto fra differenza di potenziale al dipolo di misura e corrente immessa al dipolo di corrente, rapporto che viene moltiplicato per un opportuno fattore geometrico in funzione dalla posizione reciproca degli elettrodi. I valori di resistività apparente derivati da misure di campo in vari punti e con diverse configurazioni stimano la vera resistività dei diversi strati e consentono di ricostruire spazialmente i loro limiti al di sotto della superficie topografica. Una configurazione di elettrodi con spaziatura costante viene utilizzata per riconoscere variazioni laterali di resistività apparente che possono riflettere variazioni litologiche. Per indagare sui cambiamenti in profondità, si aumenta la spaziatura degli elettrodi.

Il risultato finale consiste nella rappresentazione della resistività (ohm *m) per piani, volumi o sezioni indagate, secondo una scala cromatica prefissata che in genere va dal blu (basse resistività) al rosso (alte resistività). Quanto più il mezzo attraversato si oppone al passaggio della corrente elettrica tanto maggiore sarà la sua resistività caratteristica (es. rocce calcaree, mezzi fratturati, vuoti, ecc), mentre quanto più il mezzo attraversato non si oppone al passaggio della corrente elettrica tanto minore sarà la sua resistività (es. terreni argillosi, terreni con acqua, ecc.).

La resistività elettrica del mezzo investigato è controllata principalmente dai seguenti fattori:

- grado di saturazione dei pori,
- porosità,
- salinità del fluido, se presente nei pori,
- temperatura,
- eventuale presenza di sostanze organiche (idrocarburi, solventi, ecc.),
- presenza di argilla,
- presenza di minerali particolari (ad esempio le miche),
- grado di compattazione.

La relazione empirica per il calcolo della resistività reale, proposta da Archie, è valida per suoli aventi scarsa componente argillosa (sabbie, ghiaie, ecc):

$$\rho_s = \rho_f a \Phi^{-n} S^{-m}$$

dove:

- ps: resistività (ohm*m) del suolo parzialmente saturo di fluido,
- pf: resistività (ohm*m) del fluido presente nei pori,
- S: frazione del volume di pori occupata dal fluido,
- m: coefficiente di saturazione (solitamente assunto essere pari a 2),
- a: costante empirica, detta di Winsaur (tipico per sabbia: 0.62)
- n: coefficiente empirico, detto di "tortuosità" (tipico per sabbia: 2.15),
- Φ: porosità del suolo.

Nel caso di presenza di argilla i cationi adsorbiti sulla superficie delle particelle di tale sostanza offrono cammini addizionali per la corrente elettrica e quindi aumentano la conducibilità dei sedimenti (abbassamento della resistività), in questo caso la conducibilità elettrica può aumentare (diminuzione di resistività) per la presenza di sedimenti limosi e/o di minerali argillosi residuo di alterazione del litotipo caratteristico della successione





stratigrafica locale (rocce calcaree). Nella tabella seguente (Tabella 2-1) si riporta una stima di intervalli di resistività (dati bibliografici) che permettono di associare un possibile litotipo ai valori ricostruiti nelle tomografie eseguite (L. Hamill – F.G. Bell, Acque Sotterranee, 1992; Norinelli A., Elementi di Geofisica Applicata, 1996):

Tabella 2-1 - Valori tipici di resistività di alcune rocce e sedimenti									
Roccia / Sedimento	Resistività (Ohm*m)	Roccia / Sedimento	Resistività (Ohm*m)						
Acqua di mare	0.18÷0.24	Calcari, Dolomie	70 ÷ 10000						
Acqua di falda	10÷30	Calcari Marnosi	50 ÷ 300						
Acqua di fiume	20 ÷ 60	Arenarie	30 ÷ 2000						
Acqua di sorgente	50 ÷ 100	Arenarie quarzose	300 ÷ 10000						
Torba e argilla	8 ÷ 20	Cineriti e Tufi Vulcanici	10 ÷ 100						
Suolo di copertura	150 ÷ 900	Lave	300 ÷ 15000						
Sabbie e Ghiaie asciutte	1000 ÷ 6000	Gneiss e Graniti alterati	100 ÷ 1000						
Sabbie di acqua dolce e ghiaie imbibite	50 ÷ 500	Gneiss e Graniti integri	1000 ÷ 10000						
Sabbie e ghiaie imbibite di acqua salata	0.5 ÷ 5	Marne	20 ÷ 60						
Argilla	1÷100	Gessi	4000 ÷ 12000						

Gli intervalli indicati forniscono una stima dei valori di resistività comunque variabile in funzione dell'associazione, della diversa percentuale e della diversa granulometria di litotipi presenti nell'area di studio. Inoltre, per la stima della resistività, è da tenere in considerazione, come accennato in precedenza, il "principio di equivalenza" secondo il quale, ad esempio, uno strato conduttore avente spessore di 50m ed una resistività di 1 Ohm*m è equivalente ad un altro con spessore di 100m e resistività di 2 Ohm*m.





2.1 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

L'acquisizione dati è stata eseguita utilizzando la seguente strumentazione:

• <u>Sistema di acquisizione dati:</u>

sistema computerizzato MAE X612-EM+ a 24 bit a 96 canali espandibile fino a 256, con le seguenti caratteristiche tecniche (Tabella 2-2);

<u>Sistema di ricezione</u>:

costituito fino a 96 elettrodi in acciaio inox, gli elettrodi permettono l'immissione e misura della corrente e della differenza di potenziale nel mezzo indagato;

• <u>Sistema di energizzazione</u>:

la sorgente elettrica è costituita da una batteria da 12 V (power box);

• <u>Sistema trasferimento segnale</u>:

il trasferimento del segnale dal sistema di ricezione (elettrodi) al sistema di acquisizione dati (georesistivimetro) è effettuato tramite cavi geoelettrici multipolari schermati, collegati mediante pinze tipo clip agli elettrodi.



La strumentazione utilizzata è conforme alle seguenti direttive e norme armonizzate:

- Direttiva macchine: 2006/42/CE;
- Direttiva: 2014/35/UE 2014/30/UE;
- ISO 12100: 2012 Sicurezza del macchinario Principi generali di progettazione;
- EN 61010 1:2010 Prescrizioni di sicurezza per apparecchi elettrici di misura, controllo e per utilizzo in laboratorio;





• EN 61326 – 1:2013 Apparecchi elettrici di misura, controllo e laboratorio – Prescrizioni di compatibilità elettromagnetica – Parte 1: Prescrizioni Generali.

2.2 ACQUISIZIONE DATI

L'acquisizione dei dati geoelettrici 2D è stata condotta mediante un allineamento di elettrodi (sensori) in superficie. Dopo aver posizionato gli elettrodi sul terreno si è proceduto a collegarli ai cavi multipolari tramite appositi morsetti ed infine a collegare i cavi al georesistivimetro. La fase di acquisizione è stata preceduta dalla verifica dei valori delle resistenze di contatto, ovvero quel valore di resistenza proprio non del mezzo da investigare ma dovuti all'interferenza elettrica data dal contatto elettrodo-terreno. La presenza di eventuali valori elevati di resistenza di contatto, che possono portare a misure "rumorose", può essere ovviata utilizzando soluzioni saline o acqua e sale versate in corrispondenza degli elettrodi. Dopo aver verificato il buon contatto elettrico tra gli elettrodi e il mezzo da investigare si è proceduto alla fase di acquisizione.

L'acquisizione delle misure è stata effettuata con georesistivimetro digitale multielettrodo e multicanale dotato di un sistema di gestione automatica degli elettrodi, in grado cioè di commutare gli elettrodi disposti lungo la sezione da investigare in elettrodi di immissione di corrente (punti di energizzazione del terreno) e in elettrodi di misura del potenziale elettrico con tutte le possibili combinazioni quadripolari scelte (es. Dipolo-Dipolo, Polo-Dipolo) (Figura 2-2). Ciascuno dei punti riportati in Figura 2-2 corrisponde ad una diversa coppia di misure di resistività del sottosuolo, ottenuta da una diversa coppia di dipoli di misura e da diverse posizioni del dipolo di corrente.







Il rilievo geofisico è stato condotto mediante l'esecuzione di n. 6 profili tomografici elettrici 2D (Figura 2-3), con geometrie di acquisizione e spaziatura elettrodica indicate nella seguente Tabella 2-3.





	Tabe	ella 2-3 – D	ati riguar	danti gl	i stendimer	nti tomogra	fici elettric	i – E.R.T. 2D	
Linea	Passo Elettrodic. [m]	Risoluz. spaziale [m]	N° Elettrodi	Lungh. [m]	Prof. d'indagine [m]	Geom. di acquisiz.	N° quadripoli	Coordinate Cartografiche UTM - WGS84 33N	
E.R.T. 1	5.0	2.5	240	1195	80	Polo-Dipolo	11754	Inizio linea: 446324.84 m E 4653161.6 m N	Fine linea: 446759.03 m E 4652070.4 m N
E.R.T. 2	5.0	2.5	96	475	100	Polo-Dipolo	3918	Inizio linea: 447109.04 m E 4652223.6 m N	Fine linea: 447136.50 m E 4651757.3 m N
E.R.T. 3	5.0	2.5	96	475	85	Polo-Dipolo	3918	Inizio linea: 447331.82 m E 4652566.9 m N	Fine linea: 447114.61 m E 4652170.4 m N
E.R.T. 4	5.0	2.5	96	475	85	Polo-Dipolo	3918	Inizio linea: 447044.61 m E 4652929.5 m N	Fine linea: 447352.63 m E 4652574.7 m N
E.R.T. 5	5.0	2.5	48	235	90	Polo-Dipolo	1335	Inizio linea: 447029.43 m E 4653206.3 m N	Fine linea: 446826.89 m E 4653096.7 m N
E.R.T. 6	5.0	2.5	48	235	85	Polo-Dipolo	1335	Inizio linea: 447029.70 m E 4653208.2 m N	Fine linea: 447091.84 m E 4652983.2 m N

E.R.T.1



E.R.T.2















FIGURA 2-3 – ACQUISIZIONE GEOELETTRICA – E.R.T. 2D.

2.3 ELABORAZIONE DATI E RISULTATI

L'elaborazione si è ottenuta attraverso inversione completa 2D dei dati acquisiti in campo e la visualizzazione grafica delle misure di campagna è stata effettuata con l'ausilio di software capaci di ricostruire la distribuzione di resistività reale in due dimensioni:

- il programma RES2DINV/RES3DINV (prodotto dalla Geotomo Software Sdn. Bhd.), basato sul metodo di minimi quadrati con vincolo armonico (Smoothness-constrained least-squares method; degroot-Hedlin e Constable 1990, Sasaki 1992);
- il programma ERTLab™ e TomoLab™ (prodotto dalla Multi-Phase Technologies LLC e dalla Geostudi Aster Srl) utilizza il metodo degli elementi finiti (MORELLI, G., LABRECQUE, D.J., 1996).

La finalità del calcolo è quello di determinare, in una griglia di dati, la resistività di blocchi rettangolari che produrranno una pseudo sezione di resistività apparente il più possibile congruente con le misure reali. Questo metodo riduce al minimo la differenza fra i valori calcolati di resistività apparente e quelli misurati, modificando la resistività dei blocchi che costituiscono il modello. Una misura di questa differenza è data dall'errore quadratico medio (RMS). Tuttavia, è importante sottolineare come talora il modello con l'errore RMS più basso possibile può, a volte, mostrare grandi e poco realistiche variazioni nei valori di resistività del modello che potrebbe non risultare il modello "migliore" dal punto di vista geologico. Il modello 2D costituisce il risultato finale della procedura di inversione che, a partire dalle resistività apparenti misurate, produce un'unica sezione/modello di resistività reale per ogni stendimento superficiale eseguito (Figura 2-4)





FIGURA 2-4: ESEMPIO DI UN MODELLO 2D DI: RESISTIVITÀ APPARENTE MISURATA (A) – RESISTIVITÀ APPARENTE CALCOLATA(B) – RESISTIVITÀ REALE (C) CON ERRORE **RMS** OTTENUTA DAL PROCESSO DI INVERSIONE.

Di seguito si riportano i risultati delle elaborazioni delle indagini di tomografia elettrica 2D. In particolare, per questa prova, vengono illustrati:

- l'acquisizione delle misure di resistività e le relative pseudo sezioni (ohm*m);
- il modello finale di resistività 2D (ohm*m) con la profondità (m) ottenuto dall'inversione tomografica;

Le elaborazioni delle prove eseguite vengono illustrate nelle immagini seguenti (Figura 2-5÷ Figura 2-16).





E.R.T. 1

Linea	Passo Elettrodic. [m]	Risoluz. spaziale [m]	N° Elettrodi	Lungh. [m]	Prof. d'indagine [m]	Geom. di acquisiz.	N° quadripoli	Coordinate Cartografiche UTM - WGS84 33N	
E.R.T. 1	5.0	2.5	240	1195	80	Polo-Dipolo	11754	Inizio linea: 446324.84 m E 4653161.6 m N	Fine linea: 446759.03 m E 4652070.4 m N



FIGURA 2-5: MODELLO 2D DI RESISTIVITÀ APPARENTE MISURATA OTTENUTA DAL PROCESSO DI INVERSIONE - E.R.T. 1.





FIGURA 2-6: MODELLO 2D DI RESISTIVITÀ OTTENUTA DAL PROCESSO DI INVERSIONE – E.R.T. 1.





E.R.T. 2

Linea	Passo Elettrodic. [m]	Risoluz. spaziale [m]	N° Elettrodi	Lungh. [m]	Prof. d'indagine [m]	Geom. di acquisiz.	N° quadripoli	Coordinate Cartografiche UTM - WGS84 33N	
E.R.T. 2	5.0	2.5	96	475	100	Polo-Dipolo	3918	Inizio linea: 447109.04 m E 4652223.6 m N	Fine linea: 447136.50 m E 4651757.3 m N



FIGURA 2-7: MODELLO 2D DI RESISTIVITÀ APPARENTE MISURATA OTTENUTA DAL PROCESSO DI INVERSIONE - E.R.T. 2.



FIGURA 2-8: MODELLO 2D DI RESISTIVITÀ OTTENUTA DAL PROCESSO DI INVERSIONE – E.R.T. 2.





Linea	Passo Elettrodic. [m]	Risoluz. spaziale [m]	N° Elettrodi	Lungh. [m]	Prof. d'indagine [m]	Geom. di acquisiz.	N° quadripoli	Coordinate Cartografiche UTM - WGS84 33N	
E.R.T. 3	5.0	2.5	96	475	85	Polo-Dipolo	3918	Inizio linea: 447331.82 m E 4652566.9 m N	Fine linea: 447114.61 m E 4652170.4 m N



FIGURA 2-9: MODELLO 2D DI RESISTIVITÀ APPARENTE MISURATA OTTENUTA DAL PROCESSO DI INVERSIONE - E.R.T. 3.



FIGURA 2-10: MODELLO 2D DI RESISTIVITÀ OTTENUTA DAL PROCESSO DI INVERSIONE – E.R.T. 3.





С.	D	т		Л
с.	Γ	•	•	4

Linea	Passo Elettrodic. [m]	Risoluz. spaziale [m]	N° Elettrodi	Lungh. [m]	Prof. d'indagine [m]	Geom. di acquisiz.	N° quadripoli	Coordinate (UTM - W	Cartografiche GS84 33N
E.R.T. 4	5.0	2.5	96	475	85	Polo-Dipolo	3918	Inizio linea: 447044.61 m E 4652929.5 m N	Fine linea: 447352.63 m E 4652574.7 m N



FIGURA 2-11: MODELLO 2D DI RESISTIVITÀ APPARENTE MISURATA OTTENUTA DAL PROCESSO DI INVERSIONE - E.R.T. 4.



FIGURA 2-12: MODELLO 2D DI RESISTIVITÀ OTTENUTA DAL PROCESSO DI INVERSIONE – E.R.T. 4.





F.	R	Т		5
L •		•	•	

Linea	Passo Elettrodic. [m]	Risoluz. spaziale [m]	N° Elettrodi	Lungh. [m]	Prof. d'indagine [m]	Geom. di acquisiz.	N° quadripoli	Coordinate (UTM - W	Cartografiche GS84 33N
E.R.T. 5	5.0	2.5	48	235	90	Polo-Dipolo	1335	Inizio linea: 447029.43 m E 4653206.3 m N	Fine linea: 446826.89 m E 4653096.7 m N







FIGURA 2-14: MODELLO 2D DI RESISTIVITÀ OTTENUTA DAL PROCESSO DI INVERSIONE – E.R.T. 5.

E.R.T. 6





Linea	Passo Elettrodic. [m]	Risoluz. spaziale [m]	N° Elettrodi	Lungh. [m]	Prof. d'indagine [m]	Geom. di acquisiz.	N° quadripoli	Coordinate (UTM - W	Cartografiche GS84 33N
E.R.T. 6	5.0	2.5	48	235	85	Polo-Dipolo	1335	Inizio linea: 447029.70 m E 4653208.2 m N	Fine linea: 447091.84 m E 4652983.2 m N







FIGURA 2-16: MODELLO 2D DI RESISTIVITÀ OTTENUTA DAL PROCESSO DI INVERSIONE - E.R.T. 6





2.4 INDAGINI GEOFISICHE DI TIPO TOMOGRAFICO ELETTRICO A SUPPORTO DELLO STUDIO

IDROGEOLOGICO

Ulteriori indagini geofisiche sono state realizzate a supporto dello studio idrogeologico (Appendice G).

APPROFONDIMENTO A - CENNI TEORICI SULLA POLARIZZAZIONE INDOTTA

Le prospezioni di polarizzazione indotta (IP, Induced Polarization), più comunemente nota col nome di caricabilità, vengono generalmente eseguite con lo stesso dispositivo e la stessa strumentazione utilizzata per le misure di resistività elettrica; si tratta di tecniche di indagine di tipo geoelettrico che permettono di evidenziare situazioni elettricamente anomale nel sottosuolo, mediante l'analisi della distribuzione della resistività elettrica e mediante l'analisi di un particolare comportamento di alcuni terreni: l'effetto "capacitivo".

In entrambi i casi si studia l'andamento di un campo elettrico in superficie, con la differenza che, nel caso della resistività, si studia il campo generato dalla circolazione della corrente nel sottosuolo, durante i periodi di invio della corrente stessa, mentre per le misure di IP si studia la variazione del campo elettrico dopo l'interruzione di corrente o in seguito a variazioni delle caratteristiche del segnale elettrico inviato.

Per quanto riguarda l'effetto capacitivo si può dire che esso rappresenta l'attitudine di un determinato materiale ad accumulare cariche elettriche di polarità opposta (cioè, a "caricarsi" come un condensatore elettrico) lungo la superficie di discontinuità tra mezzi a resistività diversa, durante l'invio di corrente nel sottosuolo, ed a permettere la "scarica" negli istanti immediatamente successivi all'interruzione della corrente. In termini pratici i terreni che presentano i maggiori effetti capacitivi, cioè una elevata caricabilità, sono quelli in cui si ha la contemporanea presenza di parti molto conduttive, affiancate ad altre molto resistive, senza che si verifichi una marcata continuità delle prime.

Tra queste situazioni sono da segnalare le zone con mineralizzazioni metalliche conduttive (es. solfuri) diffuse in rocce compatte e resistive, le alluvioni a granulometria grossolana con abbondante matrice fine, ed anche i contesti tipo discarica dove i liquami percolanti la massa di rifiuti, generalmente molto conduttivi, possono localmente esser confinati in zone elettricamente isolate o contenere barriere isolanti che, sebbene facilmente bypassabili, costituiscono zone di momentaneo accumulo di cariche elettriche.

La polarizzazione indotta è un fenomeno generato dalla stimolazione di una corrente elettrica, che viene osservata dopo l'applicazione di una tensione nel terreno. Il metodo consiste nell'osservazione della curva di decadimento del potenziale, susseguentemente all'interruzione della corrente immessa, cioè dalla misura della "Caricabilità residua" trattenuta dal terreno sottoposto ad indagine.

Tali misure vengono fatte dopo un tempo di ritardo (Delay Time) di qualche decina di millisecondi, preferibilmente un secondo (M Delay Time), in modo da lasciare che gli effetti di accoppiamento tra i cavi e altri effetti parassiti si siano esauriti o che almeno siano trascurabili. Le misurazioni della caricabilità apparente parziale (Mi) e una media globale dedotta (Ma) danno qualche informazione riguardante la capacità del suolo ad essere caricato da un flusso di corrente. La caricabilità parziale (mV/V) di una singola finestra dell'intervallo di tempo TMi è dato dalla formula:

$$M_{i} = \int_{T_{Mi}} V dt / (T_{Mi} \cdot V_{Max})$$

Dove V è la tensione istantanea misurata nell'intervallo di tempo TMi (msec) e VMax è il valore massimo della tensione di carica.

Nella figura riportata a seguire si nota che gli intervalli di tempo presi in considerazione sono tre (TM1, TM2, TM3); gli intervalli di tempo disponibili per le misurazioni dipendono dalla corrente iniettata e dal metodo di IP utilizzato. La caricabilità apparente globale (mV/V), cioè la caricabilità apparente di un singolo punto della pseudosezione, è data

$$M_{a} = \sum_{i=1}^{n} (M_{i} \cdot T_{Mi}) / \sum_{i=1}^{n} (T_{Mi})$$

Dove n è il numero di finestre IP, nel nostro caso n = 3 (M1, M2, M3). Il fenomeno di carica e scarica può essere descritto secondo la curva di Fig.2. In alcuni trattati la caricabilità viene misurata in millisecondi, attraverso la relazione:



dalla formula:



$$M_{a} = \frac{1}{1000} \cdot \sum_{i=1}^{n} (M_{i} \cdot T_{Mi})$$

Per un terreno omogeneo di dimensioni infinite, il tempo di decadimento è funzione della resistività del terreno e non cambia al variare della coppia dei punti, tra i quali si misura la differenza di potenziale. Se nel terreno è incluso un corpo metallico o un corpo con proprietà analoghe a quelle di un corpo metallico, si verificano anomalie nel decadimento elettrico in funzione del tempo. Lo stesso fenomeno si osserva anche per la polarizzazione di contaminanti organici, che possono eventualmente trovarsi nel terreno di un sito contaminato.

I fenomeni che avvengono a livello microscopico nel materiale sottoposto ad una corrente I, sono globalmente di due tipi:

- Polarizzazione elettrodica: è la tipica polarizzazione dei metalli, dove le cariche sono libere di migrare; quindi, esse si disporranno in modo da avere le cariche positive da un lato e le cariche negative dall'altro. Questo tipo di polarizzazione è tipica nelle indagini minerarie.
- Polarizzazione a membrana: dovuta a sali disciolti in liquidi che producono una selettiva membrana elettrolitica, che funge da divisione tra le cariche negative e le cariche positive. Questo tipo di polarizzazione è particolarmente importante nelle rocce porose, contenenti una bassa percentuale di argilla, ed è particolarmente riscontrata nelle indagini in discarica.



Forme d'onda del potenziale (modificato da Ward, 1990) e delle correnti.

Di seguito si riportano alcuni valori tipici di caricabilità di alcuni terreni, rocce e minerali (da Telford1990 e Keller 1966).

Roccia / Sedimento	Caricabilità (msec)	Roccia / Sedimento	Caricabilità (msec)
Pirite	13.4	Rocce vulcaniche compatte	70 ÷ 10000
Galena (solfuro di Piombo)	3.7	Graniti	50 ÷ 300
Rocce con il 20% di solfuri	2000 - 3000	Acque sotterranee	30 ÷ 2000
Rocce con l'8-20% di solfuri	1000 -2000	Materiale alluvionale	300 ÷ 10000
Rocce con l'2-8% di solfuri	500 -1000	Ghiaia	10 ÷ 100





Magnetite	2.2	Arenarie e Siltiti	100-500
Arenarie e Siltiti	100-500	Tufi	300-800
Marne e Argilliti	50-100	Calcari e Dolomie	10-20

Il rilievo geofisico è stato condotto mediante l'esecuzione di n. 3 profili tomografici elettrici 2D (Figura 2-17), con geometrie di acquisizione e spaziatura elettrodica indicate nella seguente Tabella 2-4.

Tabella 2-4–	Tabella 2-4– DATI RIGUARDANTI GLI STENDIMENTI TOMOGRAFICI ELETTRICI – E.R.T. 2D A SUPPORTO DELLO STUDIO IDROGEOLOGICO											
Linea	Passo Elettrodic. [m]	Risoluz. spaziale [m]	N° Elettrodi	Lungh. [m]	Prof. d'indagine [m]	Geom. acquisiz.	N° quadripoli					
E.R.T. 1_IDRO	5.0	2.5	144	715	80	Polo-Dipolo	3918					
E.R.T. 2_IDRO	5.0	2.5	48	235	50	Polo-Dipolo	1335					
E.R.T. 3_IDRO	5.0	2.5	72	355	80	Polo-Dipolo	3165					







FIGURA 2-17: ACQUISIZIONE GEOELETTRICA – E.R.T. 2D.

Di seguito si riportano i risultati delle elaborazioni delle indagini di tomografia elettrica 2D. In particolare, per questa prova, vengono illustrati:

- l'acquisizione delle misure di resistività e le relative pseudo sezioni (ohm*m);
- il modello finale di resistività 2D (ohm*m) con la profondità (m) ottenuto dall'inversione tomografica;
- l'acquisizione delle misure di caricabilità e le relative pseudo sezioni (msec);
- il modello finale di caricabilità 2D (msec) con la profondità (m) ottenuto dall'inversione tomografica.

Le elaborazioni delle prove eseguite vengono illustrate nelle immagini seguenti (Figura 2-18 ÷ Figura 2-29). I risultati finali delle indagini eseguite sono riportati negli Allegati all'Appendice G.





E.R.T. 1_IDRO

Linea	Passo Elettrodic. [m]	N° Elettrod i	Lungh. [m]	Prof. d'indagine [m]	Coordinate Cartografiche UTM - WGS84 33N	
E.R.T. 1	5.0	144	715	80	Inizio linea: 446125.73 m E 4652812.2 m N	Fine linea: 446401.72 m E 4652172.6 m N



FIGURA 2-18: MODELLO 2D DI: RESISTIVITÀ APPARENTE OTTENUTA DAL PROCESSO DI INVERSIONE - E.R.T. 1.



FIGURA 2-19: MODELLO 2D DI RESISTIVITÀ OTTENUTA DAL PROCESSO DI INVERSIONE – E.R.T. 1.





E.R.T. 2_IDRO

Linea	Passo Elettrodic. [m]	N° Elettrod i	Lungh. [m]	Prof. d'indagine [m]	Coordinate Cartografiche UTM - WGS84 33N	
E.R.T. 2	5.0	48	235	50	Inizio linea: 446424.28 m E 4652884.0 m N	Fine linea: 446202.54 m E 4652919.1 m N







FIGURA 2-21: MODELLO 2D DI RESISTIVITÀ OTTENUTA DAL PROCESSO DI INVERSIONE – E.R.T. 2.

©LNENERGY



E.R.T. 3_IDRO

Linea	Passo Elettrodic. [m]	N° Elettrod i	Lungh. [m]	Prof. d'indagine [m]	Coordinate Cartografiche UTM - WGS84 33N	
E.R.T. 3	5.0	72	355	80	Inizio linea: 447669.00 m E 4652982.2 m N	Fine linea: 447755.48 m E 4652640.6 m N



FIGURA 2-22: MODELLO 2D DI: RESISTIVITÀ APPARENTE OTTENUTA DAL PROCESSO DI INVERSIONE - E.R.T. 3.



FIGURA 2-23: MODELLO 2D DI RESISTIVITÀ OTTENUTA DAL PROCESSO DI INVERSIONE – E.R.T.3.





E.R.T. 1_IDRO

Linea	Passo Elettrodic. [m]	N° Elettrod i	Lungh. [m]	Prof. d'indagine [m]	Coordinate Cartografiche UTM - WGS84 33N	
E.R.T. 1	5.0	144	715	80	Inizio linea: 446125.73 m E 4652812.2 m N	Fine linea: 446401.72 m E 4652172.6 m N



FIGURA 2-24: MODELLO 2D DI: CARICABILITÀ APPARENTE OTTENUTA DAL PROCESSO DI INVERSIONE - E.R.T. 1.







E.R.T. 2_IDRO

Linea	Passo Elettrodic. [m]	N° Elettrod i	Lungh. [m]	Prof. d'indagine [m]	Coordinate Cartografiche UTM - WGS84 33N	
E.R.T. 2	5.0	48	235	50	Inizio linea: 446424.28 m E 4652884.0 m N	Fine linea: 446202.54 m E 4652919.1 m N



FIGURA 2-26: MODELLO 2D DI: CARICABILITÀ APPARENTE OTTENUTA DAL PROCESSO DI INVERSIONE - E.R.T. 2.



FIGURA 2-27: MODELLO 2D DI CARICABILITÀ OTTENUTA DAL PROCESSO DI INVERSIONE – E.R.T. 2.





E.R.T. 3_IDRO

Linea	Passo Elettrodic. [m]	N° Elettrod i	Lungh. [m]	Prof. d'indagine [m]	Coordinate Cartografiche UTM - WGS84 33N	
E.R.T. 3	5.0	72	355	80	Inizio linea: 447669.00 m E 4652982.2 m N	Fine linea: 447755.48 m E 4652640.6 m N



FIGURA 2-28: MODELLO 2D DI: CARICABILITÀ APPARENTE OTTENUTA DAL PROCESSO DI INVERSIONE - E.R.T. 3.



FIGURA 2-29: MODELLO 2D DI CARICABILITÀ OTTENUTA DAL PROCESSO DI INVERSIONE - E.R.T. 3





3. INDAGINE SISMICA A RIFLESSIONE 2D (SR)

La sismica a riflessione è una tecnica che si basa sulla registrazione dei tempi che intercorrono tra l'istante di generazione di un impulso elastico in superficie e l'istante di ricezione del relativo impulso generato da una o più riflessioni su altrettante superfici riflettenti poste al di sotto del piano campagna. Uno dei principali vantaggi di tale metodologia geofisica, rispetto a quella a rifrazione, è la non necessaria condizione di un aumento della velocità con la profondità. Infatti, la sismica a riflessione è funzione della quantità di contrasto di impedenza dei diversi materiali, di conseguenza una netta variazione di velocità e/o di densità tra litotipi è sufficiente a determinare una riflessione delle onde elastiche in corrispondenza della superficie di separazione dei due mezzi a diversa impedenza acustica (Figura 3-1). L'equazione matematica della impedenza acustica è la seguente:

 $R = (\rho 2 V2 - \rho 1 V1)/(\rho 2 V2 + \rho 1 V1)$

dove R è l'impedenza acustica, p è la densità del mezzo attraversato e V è la velocità con cui attraversa il mezzo.



FIGURA 3-1: SCHEMA GENERALE E CONCETTUALE DEL METODO A RIFLESSIONE

L'equazione matematica, di tipo iperbolica (Figura 3-2), che regola la traiettoria della curva di un segnale riflesso è la seguente:

$$(V_1 \cdot t)^2 = 4H^2 + x^2 + 4H \cdot x \cdot \sin\phi$$

dove V_1 è la velocità dell'onda che si propaga nel mezzo considerato omogeneo; t il tempo d'arrivo nel punto di ascissa generica x; H lo spessore dello strato interessato; x la distanza del geofono dalla sorgente energizzante; ϕ l'inclinazione della superficie riflettente.

©LNENERGY




FIGURA 3-2: TRAIETTORIA DEI RAGGI SISMICI SU UN RIFLETTORE INCLINATO E RELATIVE DROMOCRONE (DIAGRAMMA TEMPO-DISTANZA.)

In fase di acquisizione dei dati, i parametri fondamentali riguardanti la geometria dello stendimento sono:

- l'offset, cioè la distanza tra la sorgente energizzante ed il primo geofono;
- il numero delle tracce da registrare, e quindi il numero dei geofoni;
- la quantità di shot point da eseguire, lungo la linea, per la copertura sismica pianificata.

La sorgente energizzante, nella sismica a riflessione, può essere posta all'esterno dello stendimento geofonico (offend spread), oppure all'interno di esso (split-spread), Figura 3-3.



FIGURA 3-3: PRINCIPALI GEOMETRIE (ARRAY SISMICI) DI ACQUISIZIONE.

Solitamente vengono eseguite più misurazioni spostando la sorgente di energizzazione e la catena geofonica in direzioni uguali oppure opposte, così da investigare una porzione più ampia di terreno. Su queste geometrie si basa la modalità di acquisizione del common-depth-point (CDP), che permette, energizzando in differenti posizioni in superficie, di indagare più volte un dato punto in profondità, per il quale si ottengono più segnali associati. Questa tecnica di acquisizione permette di avere più tracce acquisite in più posizioni, dello stesso punto in profondità dove avviene la riflessione del segnale, in modo tale da avere, nel medesimo punto in profondità più segnali in comune (CDP). Tale modalità prevede ovviamente almeno due coperture operando in multicanale (multifold coverage). In Figura 3-4 si riporta l'illustrazione della geometria di copertura attraverso la tecnica dei CDP.



FIGURA 3-4: GEOMETRIA DEL COMMON-DEPTH-POINT A COPERTURA.





Un aspetto significativo nella sismica a riflessione è il campionamento del segnale. Quest'ultimo, infatti, è di tipo analogico, cioè, continuo nel tempo mentre lo strumento di acquisizione (sismografo) è di tipo digitale ossia in grado di campionare il segnale solo ad intervalli di tempo imposti dall'operatore. La funzione di Nyquist ci indica il numero minimo di campioni da registrare per trasformare in modo corretto un segnale continuo (analogico) in un segnale campionato digitalmente, al fine di non incorrere in Aliasing. Il segnale, quindi, viene campionato con un intervallo di tempo Δ t ed un intervallo di distanza Δ x. Una scelta non corretta di tali valori sulle impostazioni del sismografo digitale implica un'acquisizione non corretta e falsata dei dati (aliasing temporale).



FIGURA 3-5: SCHEMA DI SEGNALI SOTTOCAMPIONATI, FENOMENO DELL'ALIASING

3.1 STRUMENTAZIONE IMPIEGATA

L'acquisizione dati in situ è stata eseguita utilizzando la seguente strumentazione:

• <u>Sistema di acquisizione dati:</u>

costituito da un sismografo digitale GEA 24 (prodotto dalla PASI) con risoluzione 24 bit a 24 canali, con le caratteristiche tecniche, riportate nella Tabella 3-1.

• <u>Sistema di ricezione:</u>

costituito da stringhe da 4 geofoni verticali monocomponente del tipo elettromagnetico a bobina mobile a massa sospesa, con frequenza propria di 10 Hz. I trasduttori di velocità sono in grado di tradurre in segnale elettrico la velocità con cui il suolo si sposta al passaggio delle onde sismiche prodotte da una specifica sorgente (Figura 3-6).

• <u>Sistema di energizzazione per le onde P:</u>

la sorgente è costituita da un energizzatore sismico in onde P, con maglio di 85 Kg (Figura 3-7), e da una mazza del peso di 10 Kg battente verticalmente su una piastra metallica circolare del diametro di 25 cm posta direttamente sul piano campagna, per generare onde elastiche ad alta frequenza ricche di energia, con forme d'onda ripetibili e direzionali, per ottenere onde prevalentemente di compressione, con un incremento del rapporto segnale/rumore.

• <u>Sistema trigger:</u>

consiste in circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui il colpo viene esploso nella base di battuta, consentendo ad un condensatore di scaricare la carica precedentemente immagazzinata e di produrre 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 fissare l'inizio della registrazione.



• <u>Sistema trasferimento segnale:</u>

il trasferimento del segnale dal sistema di ricezione (geofono) al sistema di acquisizione dati (sismografo) è effettuato tramite un cavo sismico, costituito da cavo elettrico bipolare schermato e collegato al geofono. Il segnale acquisito dai geofoni sarà trasferito al sistema di acquisizione senza nessuna perdita di informazione.

La strumentazione utilizzata è conforme alle seguenti norme:

- Compatibilità elettromagnetica: 89 / 336 / CE
- Direttiva bassa tensione: 72/23 /CE.

Tabella 3-1 -	Caratteristiche tecn	iche del GEA 24 (PASI).
	CARATTERISTICHE T	ECNICHE
	SISMOGRAFO GEA	24 "PASI"
	Numero di canali	24 can.+trigger (can. AUX) - 2 unità serializzabili per un tot. di 48 can.
	Conversione Dati	Convertitore Analogico/Digitale Sigma-Delta 24 bit reali (compatibile con geofoni analogici a qualsiasi frequenza di risonanza)
	Intervallo Campionamento	Acquisizioni "a pacchetto": - fino a 125 microsec (8000sps) con 24 can. - fino a 31.25 microsec (32000sps) con 6 can. Acquisizione continua: - fino a 4000 microsec (250sps) con 24 can. - fino a 500 microsec (2000sps) con 3 can.
	Lunghezza Acquisizione	27500 campioni @ 24 can. (+aux) 174500 campioni @ 3 can. (+aux) Numero di campioni illiimitato per acquisizioni continue
SISMOGRAFO GEA 24 "PASI"	Guadagno Preamp.	0/52 dB, selezionabile via software
	Stacking	Numero di stacking illimitato
	Impedenza di ingresso	2MOhm // 22nF
	Range Dinamico	144dB (sistema); >117dB (istantaneo, misurato @1ksps)
ELL	Distorsione	0.007% @16kHz
	Largh.Banda -3dB Largh.Banda +/- 0.1dB	6.8kHz@32ksps - 0.21 kHz@1ksps 3.5 kHz@32ksps - 0.11 kHz@1ksps
0 . WA	Filtri	Passa Basso:125-200-500-1000Hz Passa Alto: 10-20-30-40-50-70-100-150-200-300-400Hz
	Filtri "Notch"	50-60Hz + armoniche
	Trigger	Contatto normalmente chiuso, normalmente aperto (es. per uso con esplosi- vo), segnale analogico (geofono starter, starter piezoelettrico), trigger TTL. Sensibilità del trigger regolabile via software
12	Visualizzazione Tracce	Wiggle-trace (formato oscilloscopio) / area variabile
	Noise-monitor	Tutti i canali + trigger
	Canale AUX (ausiliario)	1x (per il trigger o qualsiasi altro segnale in ingresso)
	Interfaccia comunicazione	1x USB 2.0 per PC esterno (di fornitura Cliente)
	Formato Dati	SEG2, SAF (altri formati su richiesta)
	Alimentazione	5VDC da USB, 0.25A
	Temp.operativa/stoccaggio	-30°C to +80°C
	Umidità	80% umidità relativa, non condensante
	Dimensioni	24cm x19.5cm x11cm
	Peso	2 Kg

©LNENERGY





FIGURA 3-6: ARRAY GEOFONICO UTILIZZATO, CON GRAPPOLI DA 4 GEOFONI, SU OGNI CANALE DI REGISTRAZIONE E RISPOSTA GEOFONICA DEI SENSORI DA 10 HZ UTILIZZATI PER L'ACQUISIZIONE DELLA SISMICA A RIFLESSIONE





FIGURA 3-7: ENERGIZZATORE SISMICO IN ONDE P(SX) E MAZZA DAL PESO DI 10 KG (DX).

3.2 ACQUISIZIONE DATI

L'acquisizione è stata condotta mediante allineamento delle stringhe/grappoli da n.4 geofoni superficiali per ogni canale di acquisizione. Dopo aver posizionato i geofoni sul terreno e dopo il collegamento di questi ultimi ai cavi sismici tramite appositi morsetti bipolari (split clip), per ogni acquisizione sono stati realizzati alcuni shots di prova





allo scopo di tarare i parametri di acquisizione del sismografo in termini di determinazione del livello del rumore di fondo e taratura delle amplificazioni dei singoli canali di registrazione.

Compiuta la taratura della strumentazione, si è proceduto all'acquisizione dei dati in modo tale che, dopo ogni energizzazione (o somma di energizzazioni) su ciascun punto d'impatto prestabilito, si è acquisito e registrato il segnale sul sismografo per la successiva elaborazione. L'istante di tempo zero, in altre parole il segnale d'inizio registrazione, è stato inviato allo strumento da uno shock-sensor (trigger) posto direttamente sul terreno.

Gli impulsi sismici ricevuti dai geofoni, sistemati sulla superficie topografica, sono stati acquisiti utilizzando il sismografo tramite il quale, dopo una conversione analogico-digitale, sono stati registrati nell'hard disk del computer esterno.

Per il presente lavoro è stata utilizzata la geometria di acquisizione "OFF-END PUSH-INCREASE", che prevede la sorgente energizzante posta all'esterno dello stendimento geofonico (Figura 3-8).





Nello specifico in ogni profilo di acquisizione di sismica a riflessione per ogni spostamento dello shot point "dsx" di una unità modulare di acquisizione (geofono) è stata spostata e contemporaneamente traslata tutta la serie di ricevitori (G1 ÷ G24) di una altrettanto analoga unità modulare (in gergo "rollare" in avanti l'apparato di energizzazione e di registrazione di una unità). Si è proceduto energizzando su tutti i geofoni dello stendimento, in modo da ottenere una copertura in profondità del 2400% per ogni linea.

Per ogni punto di energizzazione (*shot-point*) sono stati effettuati tre scoppi (tecnica"*stacking*") per sommare algebricamente i segnali ottenuti, rendendo in tal modo la potenza del segnale superiore a quella del rumore sismico di fondo.

Nello specifico sono state realizzate n° 6 linee sismiche le cui caratteristiche geometriche, di configurazione e acquisizione sono riportate nelle seguenti Tabella 3-2 e Tabella 3-3.





		Tab	ella 3-2 –	Caratteristic	che geometric	he dei profili di sisr	nica a riflessione (SR)		
	Distanza	Avanzamento	Numerous	Creatistan	N	Coordinat	e Geografiche	Lunghezza totale	Prof.
Linco	Shot	Chat Daint	Numero	Spaziatura	Numero	(WGS 84	– UTM 33N)	linea (m)	d'indagine [m]
Linea	Point d _s (m)	(m)	Point	(m)	base sismica	Inizio linea:	Fine linea:		
CD 1	15	E 00	225	E 00	24	446323.97 m E	446760.69 m E	1175	200
SK I	-15	5.00	225	5.00	24	4653162.8 m N	4652052.0 m N	11/5	
60.2	15	F 00	70	F 00	24	447106.63 m E	447133.73 m E	455	200
SR Z	-15	5.00	73	5.00	24	4652233.1 m N	4651766.8 m N	455	
6 0 0	15	E 00	72	E 00	24	447339.39 m E	447116.88 m E	166	200
5 36	-15	5.00	/5	5.00	24	4652572.6 m N	4652209.0 m N	455	
CD /	15	E 00	72	E 00	24	447042.54 m E	447333.55 m E	166	200
56.4	-15	5.00	/5	5.00	24	4652931.7 m N	4652587.4 m N	455	
CD E	15	E 00	25	E 00	24	447033.79 m E	446833.57 m E	215	200
5 36	-15	5.00	25	5.00	24	4653216.5 m N	4653102.5 m N	215	
SP C	15	E 00	25	E 00	24	447034.50 m E	447098.65 m E	215	200
58.0	-15	5.00	25	5.00	24	4653199.0 m N	4652974.9 m N	215	

Tabella 3-3 – Caratte	ristiche di configurazion riflessione (SR)	ne dei profili di sismica a
Denominazione Linea	Durata Acquisizione (ms)	Passo di campionamento (ms)
Linea SR 1	1000	0.5000
Linea SR 2	1000	0.5000
Linea SR 3	1000	0.5000
Linea SR 4	1000	0.5000
Linea SR 5	1000	0.5000
Linea SR 6	1000	0.5000





3.3 ELABORAZIONE DATI E RISULTATI

Per l'elaborazione dati si è utilizzata la suite Geogiga Seismic Pro (della Geogiga Technology Corp.), nello specifico si sono utilizzati i programmi REFLECTOR e FRONT END e SF imager per il pre-filtraggio, il sorting, il processing e l'editing dei dati acquisiti.

Le tecniche di *processing* utilizzate per l'elaborazione dei profili sismici si basano su modelli matematici complessi che hanno permesso di avere delle discrete analisi di velocità per la produzione delle sezioni di *stack* su cui è stata eseguita l'interpretazione.

Durante la fase di *pre-processing* sono state inserite le caratteristiche geometriche dell'indagine GEOMETRY INPUT (Figura 3-9), utilizzando i parametri di acquisizione precedentemente utilizzati, ovvero l'*off-end push increase*; ciò ha permesso un miglioramento delle caratteristiche spettrali dell'intero sismogramma.



FIGURA 3-9: ESEMPIO DI GEOMETRY INPUT – STACKING CHART, SHOTS, GEOPHONES, CDPS, ELEVATION.

Di seguito le operazioni necessarie per il processing dei dati di sismica riflessione:

- 1. Come prime operazioni di pre-filtraggio si è proceduto al *trace balance* e l'applicazione del MUTE ha permesso di eliminare, dalle registrazioni canali di acquisizione, i primi arrivi diretti e rifratti che non sono utilizzati nel processing della sismica a riflessione.
- 2. Dopo aver analizzato il contenuto in frequenza dal dato, è stato applicato un filtro in frequenza tipo *band-pass* (Figura 3-10), per individuare l'intervallo di frequenze in cui era concentrato il segnale utile, andando così a rimuovere dai sismogrammi il rumore random ed il rumore coerente a bassa frequenza.







FIGURA 3-10: ESEMPIO DI UNO SPETTRO D' AMPIEZZA PRIMA DEL FILTRAGGIO (1), SUCCESSIVAMENTE LE OPERAZIONI DI FI FILTRAGGIO INTERMEDIE (2) E SPETTRO FINALE (AMPLITUDE SPECTRUM)

3. Successivamente si è applicato il filtro bidimensionale tipo F-K (Figura 3-11) che agisce sulla velocità dei segnali per cancellare il rumore coerente, nel caso in cui questi si presenti con lo stesso range di frequenze rispetto ai segnali riflessi.



FIGURA 3-11: ESEMPIO DI CURVA F-K NON FILTRATA (1) E FILTRATA (2), (F-K CURVES)

4. La deconvoluzione è un passaggio fondamentale nell'elaborazione del dato sismico, che permette di recuperare le alte frequenze, attenuare le multiple e ricostruire la forma d'onda. Ci sono 2 tipi di





deconvoluzione (Figura 3-12), la deconvoluzione spike che agisce sull'impulso iniziale immesso nel terreno per aumentare la risoluzione verticale, migliorando le caratteristiche spettrali del segnale, e la deconvoluzione predittiva per la cancellazione delle onde riflesse multiple che simulano marker fittizi.





- Successivamente è stata applicata la procedura del SORT che raccoglie le tracce che confluiscono in un medesimo punto CDP (CDP - gather). La correzione e la somma di tutte le tracce che convergono in un unico punto di riflessione comune (CDP – Common Depth Point) è l'elemento caratterizzante della sismica a riflessione "multicanale".
- 6. In seguito, l'utilizzo della STATIC CORRECTION ha permesso di correggere i tempi delle varie tracce tenendo conto del profilo topografico, la cui morfologia non era piatta ed orizzontale.
- 7. Una volta effettuati tali passaggi, si è potuta definire la velocità di propagazione delle onde dei singoli riflettori attraverso l'analisi di velocità (VELOCITY ANALYSIS), mediante il Semblance Spectra o Velocity Analysis (Figura 3-13). Questa operazione è stata condotta mediante la tecnica dei pannelli di velocità ed ha permesso di ottenere per i diversi CDP un modello tempi doppi-velocità di stacking (RMS Stacking velocity). È noto che tali velocità non sono quelle reali dei mezzi investigati, bensì velocità verticali mediate (RMS la velocità verticale delle onde sismiche è generalmente differente da quella orizzontale in mezzi anisotropi, pertanto tali velocità differiscono generalmente da quelle ricavate mediante altre indagini sismiche, come la sismica a rifrazione, la tomografia sismica e il down-hole).





FIGURA 3-13: ESEMPIO MODELLO DI VELOCITÀ 1D E 2D NEI VARI PUNTO DI CONTROLLO (SEMBLANCE SPECTRA/VELOCITY ANALYSIS)

- 8. È stata successivamente applicata la correzione di NORMAL MOVE-OUT (NMO), necessaria per la successiva fase di STACK. È stata apportata, quindi, una correzione temporale alle tracce di ogni singola famiglia (correzione di normal move-out) in modo da poterle poi sommare aumentando il rapporto segnale/rumore (stacking) e creando una sezione "stack" in cui visualmente è possibile riconoscere i singoli riflettori e la relativa geometria.
- 9. L'applicazione di statiche residue (RESIDUAL STATIC) ha permesso di correggere i sismogrammi per le piccole deformazioni geometriche dovute a minori variazioni topografiche e di velocità di propagazione delle onde sismiche.
- 10. L'utilizzo del GAIN può consentire, nell'ambito della porzione di sismogramma caratterizzato da elevato rapporto segnale/rumore, il recupero dell'ampiezza a seguito di attenuazione del segnale per motivi di spreading geometrico ed attenuazione intrinseca durante la propagazione delle onde sismiche.
- 11. La fase di EDITING permette di creare le sezioni stack finali in tempi doppi (millisecondi, andata + ritorno) e/o in profondità (m).

Nella Tabella 3-4 di seguito vengono riportate sinteticamente le sequenze di processing per le singole linee elaborate.





Tabella 3-4 – Sequenza di processing	
SEQUENZA DI PROCESSING	

SR 1 ÷ SR 6

- 1. GEOMETRY INPUT
- 2. FREQUENCY FILTER
- 3. F-K FILTER
- 4. PREDICTIVE DECONVOLUTION
- 5. FREQUENCY FILTER
- 6. SORT
- 7. STATIC CORRECTION
- 8. VELOCITY ANALYSIS
- 9. NORMAL MOVE OUT
- 10. STACK
- 11. FREQUENCY FILTER
- 12. RESIDUAL STATIC
- 13. GAIN
- 14. EDITING

Di seguito si riportano i risultati delle elaborazioni delle indagini di sismica a riflessione 2D. In particolare, per ogni stendimento effettuato, vengono illustrati (Figura 3-14 ÷ Figura 3-43):

- Foto acquisizione;
- Geometria di acquisizione;
- Sezione migrata;
- Profili di velocità 1D e 2D;
- Normal Move Out (NMO).





FIGURA 3-14: ACQUISIZIONE SISIVIICA 3.K	FIGURA	3-14:	ACQUISIZIONE	SISMICA	S.R.
---	---------------	-------	--------------	---------	------

		Tabella	3-5 – Car	atteristiche g	geometria	che e di configuro	azione linea SR1		
Linea	Distanza Shot Point da	Avanzamento	Numero Shot	Spaziatura geofonica d _g	Numero geofoni per base	Coordinate ((WGS 84 –	Geografiche UTM 33N)	Lunghezza totale linea (m)	Prof. d'indagine [m]
	(m)		Point	(m)	sismica	Inizio linea:	Fine linea:	()	
SR 1	-15	5.00	225	5.00	24	446323.97 m E	446760.69 m E	1175	200
	_					4653162.8 m N	4652052.0 m N		



FIGURA 3-15: GEOMETRY INPUT – STACKING CHART, ELEVATION, SHOTS, GEOPHONES, CDPS.







FIGURA 3-16: SEZIONE MIGRATA SR1







FIGURA 3-17: PROFILO DI VELOCITÀ 1D (SX) E 2D (DX).



FIGURA 3-18: VELOCITÀ NMO (NORMAL MOVE OUT).









FIGURA 3-19: ACQUISIZIONE SISMICA S.L.

		Tabella .	3-6 – Caro	atteristiche g	geometric	che e di configu	razione linea SR.	2	
Linea	Distanza Shot Point da	Avanzamento	Numero Shot	Spaziatura geofonica d _g	Numero geofoni per base	Coordinate (WGS 84 -	Geografiche - UTM 33N)	Lunghezza totale linea (m)	Prof. d'indagine [m]
	(m)	Shot Forne (m)	Point	(m)	sismica	Inizio linea:	Fine linea:	()	
SR 2	-15	5.00	73	5.00	24	447106.63 m E 4652233.1 m N	447133.73 m E 4651766.8 m N	455	200



FIGURA 3-20: GEOMETRY INPUT – STACKING CHART, ELEVATION, SHOTS, GEOPHONES, CDPS.







FIGURA 3-21: SEZIONE MIGRATA -SR2.







FIGURA 3-22: PROFILO DI VELOCITÀ 1D (SX) E 2D (DX).



FIGURA 3-23: VELOCITÀ NMO (NORMAL MOVE OUT).





SR_3



FIGURA 3-24: ACQUISIZIONE SISMICA S.L.

		Tabella	3-7 – Car	atteristiche g	geometria	che e di configu	razione linea SR	3	
Linea	Distanza Shot Point d	Avanzamento	Numero Shot	Spaziatura geofonica d _g	Numero geofoni	Coordinate (WGS 84 -	Geografiche - UTM 33N)	Lunghezza totale linea (m)	Prof. d'indagine [m]
	(m)		Point	(m)	sismica	Inizio linea:	Fine linea:	(,	
SR 3	-15	5.00	73	5.00	24	447339.39 m E 4652572.6 m N	447116.88 m E 4652209.0 m N	455	200



FIGURA 3-25: GEOMETRY INPUT – STACKING CHART, ELEVATION, SHOTS, GEOPHONES, CDPS







FIGURA 3-26: SEZIONE MIGRATA SR3.







FIGURA 3-27: PROFILO DI VELOCITÀ 1D (SX) E 2D (DX).



FIGURA 3-28: VELOCITÀ NMO (NORMAL MOVE OUT).





SR_4



FIGURA 3-29: ACQUISIZIONE SISMICA S.L.

		Tabella .	3-8 – Car	atteristiche g	geometric	che e di configu	razione linea SR	4	
Linea	Distanza Shot Point d	Avanzamento	Numero Shot	Spaziatura geofonica d _g	Numero geofoni per base	Coordinate (WGS 84 -	Geografiche - UTM 33N)	Lunghezza totale linea (m)	Prof. d'indagine [m]
	(m)		Point	(m)	sismica	Inizio linea:	Fine linea:	(,	
SR 4	-15	5.00	73	5.00	24	447042.54 m E 4652931.7 m N	447333.55 m E 4652587.4 m N	455	200



FIGURA 3-30: GEOMETRY INPUT – STACKING CHART, ELEVATION, SHOTS, GEOPHONES, CDPS







FIGURA 3-31: SEZIONE MIGRATA SR 4.







FIGURA 3-32: PROFILO DI VELOCITÀ 1D (SX) E 2D (DX).



FIGURA 3-33: VELOCITÀ NMO (NORMAL MOVE OUT).





SR_5



FIGURA 3-34: ACQUISIZIONE SISMICA S.L.

		Tabella .	3-9 – Caro	atteristiche g	geometric	he e di configu	razione linea SR.	5	
Linea	Distanza Shot Point da	Avanzamento Shot Point (m)	Numero Shot	Spaziatura geofonica d _g	Numero geofoni per base	Coordinate (WGS 84 -	Geografiche - UTM 33N)	Lunghezza totale linea (m)	Prof. d'indagine [m]
	(m)		Point	(m)	sismica	Inizio linea:	Fine linea:	()	
SR 5	-15	5.00	25	5.00	24	447033.79 m E 4653216.5 m N	446833.57 m E 4653102.5 m N	215	200



FIGURA 3-35: GEOMETRY INPUT – STACKING CHART, ELEVATION, SHOTS, GEOPHONES, CDPS

Pag. 58

©LNENERGY





FIGURA 3-36: SEZIONE MIGRATA-SR5

© LNENERGY



	Velocity (m/s)																
0	1000 2000 3000 4000 5000 6000																
0.0		2 4	6 8	10 12	14 16	5 18 20	22 24	26 28 3	0 32 34	36 38 4	40 42 44	46 48	50 52 5	4 56 58	60 62 1	64 66 6	8 70 72
	provide the second seco	111	ĬĬ	1 1	1 1	10 -0	111				I I I						Ĩ Î Î
		ALC: NO.	1.1.1.1	1000000000	And State States	ALCONOM D	A REAL PROPERTY OF	And Statement of Long	and the second second	A CONTRACTOR OF A	And in case of the	COMPANY OF THE REAL PROPERTY OF	A COLUMN TWO IS NOT	The local data in the local data	ALC: NOT THE OWNER		ALC: NOT THE OWNER
	r ¢	100	1 1 2 2	10 1 1 N 1			20 1 0 1 0		to the state of the state of the	1 1 2 1 1	A COLUMN AND INCOME.				test and the set of the		
	and the second sec			Y		6666	61013		11111			0.0.0 %	11241	- 1 I X I			
						And the Real Property lies	Added to the first			A DOWN	Carl Carlos Sector	A Participant	NYNN		A-A-A-1 283		6.6 8
	4 6	and the	1100	D PC	1 1 1				10 B 10 B 10		D D D PP	a sector				The state of the s	and the second second
				V Chan	1114	100	10000	11000		CLEE	Utele	PPC CC	cccc	CCC		100 M	the second se
200.0	P. C. P. C.	1 M 10	- P - 11	No. of the local division of the local divis		and the second second	C. L. Brite	- fitter	L'Aller Com	A DECK	1.1.1.1.1.1.1.1	Statement of the local division of the	1	AT DO DO DO	A MARCE	C. Chicke	and a second second
2022020		and the second s	200	Der C								same.	1 1 1 1 1 1 1			In the second	
					1 1 1 1	T C C C	1.44	1000	1011		Reced			NECC.		1000	
					1 1 1 2	Balling and	La Contraction		No.C	A Distance	A DECISION	and the second s				L. Chile	
				A COLOR	111	and the second second						discourses.	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	11000		Station II.	
	• • • • • • • • • • • • • • • • • • •		and the second second			LCCC.	100	11000	1000	CCC.	I ICC CC	ELCSS	Lec C C	N LC		1000	
	6	The second second	allow works			A DESCRIPTION OF THE OWNER OF THE	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	a la company	100	All in the second second		THE OWNER WATER	Statistics in the		and the second	State of the local division of the local div	
		and the S				Section 1.				and and and a		Acres	111	1000			
100.0	T L L L L L L L L L					LCC	CTC-	1687	6/1	RCCC	$M \subset C \subset C$	ELCUS	acr.	1 Martine			
400.0	•	The local division of	the second second			Contraction of the local division of the loc	State Street	(the hash	JAK.	a Distantia	A CONTRACTOR	and the second se				a los	
-	-0		$C \subset I$	1	1112	and the second s			67 P 266	Land		And and	2211	1000			
					9714	100	CIT	1857	(0)	RCCC.	IKCCO	$\mathcal{L}\mathcal{L}\mathcal{L}\mathcal{L}\mathcal{L}$	661	A BALL		ALC T	
	•	-	the second second				a second s	Contraction of the second		and the set of the set		and the set					Sector Sector
	A standard and a		LC I	1	1116					and the second	1000	20000	1	(CCC-	1000		and a second second
	T		and the second second			Sec.	(CEC)	CCC (1000	1 hand	1 Maria	Ling	a state	b Balante	and the second second	COLC	
	9		-			A DECISION OF	A DESCRIPTION OF	COM	1 Martin	A Distant				and and an	CL.	The Party of the P	
		- International		at and the second	111			1 dec		000	Nec Co	CERE	661	DELEF		Alexan	And rest of the
600.0	The standard of the local sector of the bandward			Contraction of the local distance of the loc	101 108	1000	ALL ST					In the lot of the	State of the second sec		A CONTRACTOR OF THE	the hast	and the second second
	P-1		and the second		1 million 1				J Pro-		E C C C	the second second	Contraction of the		The second second		
		-		and the		6 S. (1000	and the second second				The Art of the Art	N.C.A.		C. C.	C KC	
						A DOWN		5 10 6		1 march	and the second				and the second		
-	-6	1											() () () () () () () () () ()				
2																	
	P						-	10 P P 10		- C - D	and the second		7 P 204				
8		1									Sec. 19 19 19					1 A A A A A A A A A A A A A A A A A A A	
		12				1.00		1000		and the second s	1000	- L.C.C.	1500		and so that is not		And I wanted
0.008					1000		100			A PE			S 120				
		1.0			the second second	and the second second		The second second	Sec.	THE COMP	and the second second		A REAL R	28118			
			and the second second		A DEC				and the second second		A DESCRIPTION OF	1111	11 10 10	Contraction of the		1000	A Second Second
		- Andrewson and the			1000											100 Mar 10	
	the first of the first of a first on	1	Contraction of the local division of the loc		100 C	1000	122		1.66		and the set		A DOWN		A COLOR		
		No.	1000		100	10 M 10		BERK C. Y	Contract of			1000	UTC 10 10		ALC: NOT	1.1	the same of the
		10		- The state				1200	and the second second		1 D D D		St. 19. 19. 70			Contractor in	
		-	and the second second		No. N.	Contract of the second		Contraction of the second	1000				D.C.	10 A 10	and the second second		the second
1000.0			and the second s			14 C 34		the second second second	1000	Contraction of the second	the second second	and the second	1000			and the second second	the second s
1000.0		8 - Contractor		and the second	1000	State of the second	A 14 1 1 1 1	ALC: URDER OF BUILD	We and the second second	State -	- 10 - D - D - D - D - D - D - D - D - D -		ALC: NO		and the second	CONTRACTOR OF	and the second second
				and the second	1. 10	200	1 1 1 L 1 1		Sec. 2		and the second	A STATE	1000	COM A CO	Contraction of	ALC: NOT THE OWNER OF	Self-
								1000		62515			12000			State of the local division of the local div	
			-			A 12 1	2 YO 10 11 11	12.5	Contraction of the second	1000			1		1.1		
			10 Mar 10		100 100	1000			A CONTRACTOR OF		1 C . CC	A CAL			10000	and the second second	No. of Concession, Name
		A REAL PROPERTY.				100							15.000			Contraction of the second	
		-						KE L		The lot of			-				
100010000			L.	a state	1000	1000		Contraction of the local distance of the loc	12.1.1	7 3 3 1 1	332 326	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	1. A. C. T.	DCC (2)	All and a second	and the second second	
1200.0	a second se	A REAL PROPERTY.							TO THE			1111	100 100				
						ALC: NO	1000	10 C 1 1	117 1 1		1 1 1 1 1		ALC D			1.0.1	
			-	a start	Acres 14	1000	1 4 5	1222	101 102 201	101		7103		211	1 10 1		
		A 100 100	State of the local division of the local div	A Starte	100	Sec. all	11111		1.00	1000		201 1 1 1		ALC: NO.	1.0	10 million (199	A COLUMN TWO IS NOT
	the second se	1		State of the local division of the local div	1000	EL TO THE	100 million (1990)	a service of the serv	Completing a strength of the	A CALL PROPERTY A			and the second second	the second s	and the second second second	Contraction of the	the second se
		ST THE R.	and the second second		1 C	Contraction of the local division of the loc	1 1 4 14	States 1	and the second	1	and the			1001	Contraction of the second		2 - C
		1 mar 1	and the second	A State of the second		and and	1.1.4.6.3		1400	1000		1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	18 1	A CONTRACTOR			12.0
		A DOCTOR		ALC: NOT	100	OF W	A DOWN				1	- 1/ L	22100		16	10 5 10	The second second
	I TOTAL AND AND AND A		-	and the second second	1 mar 1	and the second second	L A BOL	Contract 1		1.000	CE ADS			000			
1400.0		1	and the second se	and the second second			A CONTRACT	1000	A PAC	A PORT	100 M 100 M 100 M	1 6 1 1 1		The second second			
		- Longitude		-	1000		-		and the second second	and the second second			The set is			Conte of	State of the local division of the local div
•			the second second	The second	1 2 1 1	The second second		102200	7 1 1 1 1	1 2 3 4	CE IN YOR	1 1 No. 1		1000	A.C.	and the second second	
				100					A DECK	187 C 1	States and	1 1 20		TA AL			
	and the second	The second se	- 10 M			CALC N	and the second second	1000	100 10 10	A Destroy	1000	A MARCEL	22000		11 A.	STOC 1	Station of the local division of the

FIGURA 3-37: PROFILO DI VELOCITÀ 1D (SX) E 2D (DX)



FIGURA 3-38: VELOCITÀ NMO (NORMAL MOVE OUT)



SR_6



FIGURA 3-39: ACQUISIZIONE SISMICA S.L.

	Tabella 3-10 – Caratteristiche geometriche e di configurazione linea SR6												
Linea	Distanza Shot Point d₅	Avanzamento Shot Point (m)	Numero Shot	Spaziatura geofonica d _g	Numero geofoni per base	Coordinate (WGS 84 -	Geografiche - UTM 33N)	Lunghezza totale linea (m)	Prof. d'indagine [m]				
	(m)		Point	(m)	sismica	Inizio linea:	Fine linea:	. ,					
SR 6	-15	5.00	25	5.00	24	447034.50 m E 4653199.0 m N	447098.65 m E 4652974.9 m N	215	200				



FIGURA 3-40: GEOMETRY INPUT – STACKING CHART, ELEVATION, SHOTS, GEOPHONES, CDPS







FIGURA 3-41: SEZIONE MIGRATA SR 6







FIGURA 3-42: PROFILO DI VELOCITÀ 1D (SX) E 2D (DX).



FIGURA 3-43: VELOCITÀ NMO (NORMAL MOVE OUT).





4. INDAGINE SISMICA M.A.S.W 2D (MW)

Le misure delle onde di superficie sono ampiamente usate per misure sulla terra. Le misurazioni dei valori in situ (indisturbati) del modulo di taglio è validato come il parametro per ottenere la relazione tra stress e strain dei terreni, richiesta in ambito geotecnico ed ingegneristico. La velocità delle onde di taglio Vs (m/s) è direttamente collegata alla struttura del suolo ed è indipendente dal contenuto d'acqua e di gas. Vs (m/s) possono essere direttamente relazionate con il modulo di taglio Go dei materiali, che è un parametro chiave nei problemi correlati alle interazioni con il terreno.

Proprietà delle onde di taglio

I test sismici in situ vengono fatti creando un disturbo meccanico in un certo punto del terreno (Sorgente) e registrando le onde (onde di taglio) in uno o più punti (Ricevitori). Le onde di taglio sono il tipo più utilizzato in geofisica: le onde di compressione (onde P) hanno il moto delle particelle parallelo alla direzione di propagazione, mentre quello delle onde di taglio (Onde S) è perpendicolare alla direzione di propagazione. Onde di taglio e di superficie vengono generate simultaneamente. Le onde di superficie sono ad alta energia (Maggiore del 60-70% dell'energia d'impatto) e sono ben conosciute per l'effetto di perturbazione nelle misure sismiche ("ground roll") o potenziale distruttivo durante i terremoti. Le onde di superficie generate sull'interfaccia aria-terreno sono chiamate onde di Rayleigh. Questo tipo di onde generano un moto particellare che spiega il moto retrogrado parallelo alla superficie del terreno (Figura 4-1).



FIGURA 4-1: PROPAGAZIONE DELLE ONDE DI TAGLIO: ONDE DI CORPO E ONDE DI RAYLEIGH.

L'ampiezza del moto delle particelle delle onde di superficie, decresce esponenzialmente con la profondità, cosicché la maggior parte dell'energia dell'onda è contenuta in una sola lunghezza d'onda (Figura 4-2). Ne consegue che la propagazione della velocità del fronte d'onda è influenzata dalle proprietà del terreno. Si consideri un caso in cui lo spessore h è sovrastato da uno strato più spesso: un'onda di superficie con lunghezza d'onda minore di h si propagherà quasi interamente nello strato superiore e viaggerà ad una velocità dipendente dalle proprietà del





mezzo attraversato. Al contrario, un'onda di superficie di lunghezza d'onda significativamente più lunga di h sarà principalmente influenzata dallo strato inferiore. Le onde di superficie di lunghezze d'onda intermedie, saranno influenzate da entrambi i mezzi. In un mezzo isotropo uniforme, tutte le onde viaggeranno alla stessa velocità. Invece, in un terreno reale (terreno a più strati o terreno con proprietà di rigidità che variano al variare della profondità) la velocità delle onde di superficie dipenderà dalla propria lunghezza d'onda (o frequenza). Queste ultime sono conosciute come onde dispersive. Questa fondamentale caratteristica può essere utilizzata per i profili di velocità. Un' altra proprietà importante delle onde di Rayleigh è che la loro velocità di propagazione VR è molto vicina alla velocità delle onde di taglio Vs (VR= 0.87 to 0.96 Vs, dipende dal valore dell'indice di Poisson n, come mostrato in Figura 4-2). Questa è di grande importanza per gli ingegneri geotecnici: la velocità delle onde è fortemente legata al modulo di taglio del sito, dunque un piccolo valore di Go, con le misure delle onde di superficie offre un metodo non intrusivo ed a basso costo per la determinazione di profili di rigidezza e di profondità.





Quando le onde sismiche sono generate usando una fonte, come un martello, entrambe le onde di superficie e di corpo si propagano in tutte le direzioni. Alcune di queste onde sono riflesse ed alcune scatterate nell'incontrare oggetti profondi e non (ad esempio, edifici, fondazioni, canali sotterranei, e così via) diventando rumore. In più, c'è sempre del rumore di fondo legato alle attività umane come il traffico. Il principale vantaggio dell'approccio a Multichannel è nella sua capacità di distinguere la differenza tra le onde "di rumore" da quelle del segnale vero e proprio (Il metodo fondamentale delle onde Rayleigh) tramite l'analisi diversificata dei dati simici. Discernere il rumore dal segnale sismico basandosi su una caratteristica (Il pattern del treno d'arrivo) è illustrato dalla registrazione a più canali (Figura 4-3).







FIGURA 4-3: VANTAGGI DELLA TECNICA M.A.S.W.

4.1 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

La strumentazione utilizzata per il presente studio si compone di:

• <u>Sistema di acquisizione dati</u>: costituito da un sismografo digitale GEA 24 (prodotto dalla PASI) con risoluzione 24 bit a 24 canali, con le caratteristiche tecniche riportate nella Tabella 4-1 e configurazione riprodotta Figura 4-3.

Tabella 4-1 – Caratteristiche tecniche del GEA 24 (PASI)		
CARATTERISTICHE TECNICHE SISMOGRAFO GEA 24 "PASI"		
	Numero di canali	24 can.+trigger (can. AUX) - 2 unità serializzabili per un tot. di 48 can.
	Conversione Dati	Convertitore Analogico/Digitale Sigma-Delta 24 bit reali (compatibile con geofoni analogici a qualsiasi frequenza di risonanza)
	Intervallo Campionamento	Acquisizioni "a pacchetto": - fino a 125 microsec (8000sps) con 24 can. - fino a 31.25 microsec (32000sps) con 6 can. Acquisizione continua: - fino a 4000 microsec (250sps) con 24 can. - fino a 500 microsec (2000sps) con 3 can.
	Lunghezza Acquisizione	27500 campioni @ 24 can. (+aux) 174500 campioni @ 3 can. (+aux) Numero di campioni illimitato per acquisizioni continue
	Guadagno Preamp.	0/52 dB, selezionabile via software
	Stacking	Numero di stacking illimitato
	Impedenza di ingresso	2MOhm // 22nF
	Range Dinamico	144dB (sistema); >117dB (istantaneo, misurato @1ksps)
-	Distorsione	0.007% @16kHz
	Largh.Banda -3dB Largh.Banda +/- 0.1dB	6.8kHz@32ksps - 0.21 kHz@1ksps 3.5 kHz@32ksps - 0.11 kHz@1ksps
	Filtri	Passa Basso:125-200-500-1000Hz Passa Alto: 10-20-30-40-50-70-100-150-200-300-400Hz
	Filtri "Notch"	50-60Hz + armoniche
	Trigger	Contatto normalmente chiuso, normalmente aperto (es. per uso con esplosi- vo), segnale analogico (geofono starter, starter piezoelettrico), trigger TTL. Sensibilità del trigger regolabile via software
	Visualizzazione Tracce	Wiggle-trace (formato oscilloscopio) / area variabile
	Noise-monitor	Tutti i canali + trigger
	Canale AUX (ausiliario)	1x (per il trigger o qualsiasi altro segnale in ingresso)
SISMOGRAFO GEA 24 "PASI"	Interfaccia comunicazione	1x USB 2.0 per PC esterno (di fornitura Cliente)
	Formato Dati	SEG2, SAF (altri formati su richiesta)
	Alimentazione	5VDC da USB, 0.25A
	Temp.operativa/stoccaggio	-30°C to +80°C
	Umidità	80% umidità relativa, non condensante
	Dimensioni	24cm x19.5cm x11cm
	Peso	2 Kg





- <u>Sistema di ricezione</u>: costituito da geofoni verticali monocomponente del tipo elettromagnetico a bobina mobile a massa sospesa, con frequenza propria 4.5 Hz. I trasduttori di velocità sono in grado di tradurre in segnale elettrico la velocità con cui il suolo si sposta al passaggio delle onde sismiche longitudinali e trasversali prodotte da una specifica sorgente.
- <u>Sistema di energizzazione per le onde P</u>: la sorgente è costituita da una mazza del peso di 10 Kg battente verticalmente su una piastra metallica circolare del diametro di 25 cm posta direttamente sul piano campagna. Per ogni shot point viene preparata nel terreno una piazzola, asportando i primi centimetri di suolo vegetale scadente, in cui si posiziona la piastra; in questo modo si ottiene una migliore energizzazione sismica in termini di ampiezza e di spettro dell'impulso immesso, con un incremento del rapporto segnale/rumore.
- <u>Sistema trigger</u>: consiste in 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 di produrre 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 fissare l'inizio della registrazione.
- <u>Sistema trasferimento segnale</u>: il trasferimento del segnale dal sistema di ricezione (geofono) al sistema di acquisizione dati (sismografo) è effettuato tramite cavo sismico, costituito da cavo elettrico bipolari schermato e collegato al geofono. Il segnale acquisito dai geofoni sarà trasferito al sistema di acquisizione senza nessuna perdita di informazione.



FIGURA 4-4: CONFIGURAZIONE DELL'ACQUISIZIONE.

Di seguito si riassumono le principali caratteristiche tecniche della strumentazione utilizzata (Tabella 4-2):

Tabella 4-2 – Caratteristiche della strumentazione utilizzata			
N°	Strumentazione	Caratteristiche Tecniche	
1	Unità di acquisizione	Sismografo "PASI mod. GEA 24" a 24 bit	
24	Geofoni verticali	"GEOSPACE" con $f_0 = 4.5 Hz$	
2	Cavi sismici	L = 115 mt (max.)	
1	Sorgente	Mazza battente su piattello metallico	

4.2 ACQUISIZIONE DATI

Per l'esecuzione dell'indagine sismica in oggetto è stato utilizzato il "metodo attivo". L'analisi delle onde superficiali è stata eseguita utilizzando la strumentazione per la prospezione sismica disposta sul terreno secondo un array lineare. Il set di acquisizione è formato da 24 ricevitori (4.5 Hz geofoni) equidistanziati (ed altri ne possono essere usati se necessari). La fonte deve generare onde Rayleigh nel range tra 2 - 200Hz, le frequenze più basse corrispondono alle lunghezze d'onda maggiore che danno informazioni sulla profondità. L'acquisizione è stata condotta mediante uno stendimento lineare di geofoni superficiali. Dopo aver posizionato i geofoni sul terreno e dopo il collegamento di questi ultimi ai cavi elettrici, tramite appositi morsetti bipolari, per ogni acquisizione sono





state realizzati alcune energizzazioni di prova allo scopo di tarare i parametri di acquisizione del sismografo in termini di determinazione del livello del rumore di fondo e taratura delle amplificazioni dei singoli canali di registrazione. Effettuata la taratura della strumentazione si è proceduto alla prospezione sismica M.A.S.W. in modo tale che, dopo ogni energizzazione (o somma di energizzazioni) su ciascun punto d'impatto prestabilito, si è acquisito e registrato il segnale sul sismografo per la successiva elaborazione. L'istante di tempo zero, ovvero il segnale d'inizio registrazione, è stato inviato allo strumento da uno shock-sensor (trigger) posto direttamente sul terreno. Per aumentare il rapporto segnale/rumore si è proceduto alla somma di più energizzazioni (processo di stacking). La sorgente per l'energizzazione è stata posta ad una distanza ottimale dagli ultimi geofoni (Optimum Field Parameters of an MASW Survey", Park et al., 2005; Dal Moro, 2008). Per l'acquisizione, gli impulsi sismici ricevuti dai geofoni posizionati sulla superficie topografica sono stati acquisiti dal sismografo GEA 24 tramite il quale, dopo una conversione analogico-digitale sono stati registrati nell'hard disk del computer esterno al sismografo stesso.

Il metodo attivo MASW è il tipo più comune di acquisizione MASW in grado di generare un profilo Vs 1D ; l'unione di più profili 1D si può utilizzare per produrre una sezione 2D.

Nello specifico sono stati realizzati n.6 linee sismiche M.A.S.W. (Figura 4-5), le cui caratteristiche geometriche e di configurazione sono riportate nella Tabella 4-3.











MASW3



MASW5

MASW4



MASW6





FIGURA 4-5: ACQUISIZIONE SISMICA M.A.S.W.




Tabella	a 4-3 – Caratte	ristiche geor	netriche e di c	onfigurazione	del profilo sismico M.A.S.W.		
Linca	Spaziatura	Numero geofoni	Lungh.	Prof.	Coordinate UTM - W	Cartografiche /GS84 33N	
Lillea	d _g (m)	per base sismica	(m)	[m]	Inizio linea	Fine linea	
	5.00	24	1120	25	446347.48 m E	446756.56 m E	
WI.A.S.W. 1	5.00	24	1120	25	4653124.7 m N	4652101.8 m N	
	5.00	24	360	20	447113.02 m E	447123.18 m E	
WI.A.J. W. Z	5.00	24	300	20	4652179.5 m N	4651825.9 m N	
	5.00	24	260	25	447311.50 m E	447145.47 m E	
IVI.A.J. VV. J	5.00	24	500	25	4652551.5 m N	4652249.3 m N	
	F 00	24	260	20	447072.84 m E	447295.74 m E	
IVI.A.S. VV. 4	5.00	24	500	20	4652898.9 m N	4652619.6 m N	
	F 00	24	120	20	446985.56 m E	446878.12 m E	
IVI.A.S.VV. 5	5.00	24	120	20	4653192.5 m N	4653142.3 m N	
	F 00	5.00 24	120	20	447079.24 m E	447051.59 m E	
IVI.A.S.VV. D	5.00	24	120	20	4653030.8 m N	4653147.4 m N	

4.3 ELABORAZIONE DATI E RISULTATI

L'elaborazione dei dati MASW è stata effettuata utilizzando **SurfSeis® 5** MASW, dopo aver trasferito i dati sul PC ed aver pulito la traccia del sismogramma dal rumore sismico come in Figura 4-6.



FIGURA 4-6: ESEMPIO DI ACQUISIZIONE A PIÙ CANALI: LINEA A 48 CANALI.

I dati, una volta puliti, producono una curva di dispersione come funzione della velocità di fase diviso la frequenza. Si ottengono così una curva sperimentale di dispersione e la curva teorica (curva di picking) comparando il modello sismo-stratigrafico con un modello sperimentale durante l'inversione matematica (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**). Il software confronta la curva di dispersione calcolata dai modelli sopra citati, fino ad arrivare ad una buona convergenza fra di loro. A questo punto, la procedura d'inversione si ferma ed il modello sismostratigrafico sarà quello finale.





Questo risultato è il profilo 1-D delle Vs, variazione delle onde di taglio (m/s) con la profondità (Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.).



FIGURA 4-7: ESEMPIO DI CURVA DI DISPERSIONE SPERIMENTALE E TEORICA DURANTE IL PICKING (LINEA NERA E PUNTINI BIANCHI)



FIGURA 4-8: ESEMPIO DI PROFILO 1-D DELLE VS DELLA VARIAZIONE DELLE ONDE DI TAGLIO (M/S) CON LA PROFONDITÀ (M)

L'insieme di diverse analisi dei logs 1-D Logs sono state effettuate tramite il software SurSeis 6, così da produrre una sezione 2D, che dà un modello di onde di taglio (Vs) 2D (Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.).







FIGURA 4-9: ESEMPIO DI SEZIONE 2-D DELLA VARIAZIONE DELLE ONDE DI TAGLIO (M/S) CON LA PROFONDITÀ (M)

Di seguito si riportano i risultati delle elaborazioni delle indagini di sismica MASW 2D (Figura 4-10 ÷ Figura 4-15).





Linea	Spaziatura geofonica d _g (m)	Numero geofoni per base sismica	Lungh. (m)	Prof. d'indagine [m]	Coordinate C UTM - W	Cartografiche GS84 33N
M.A.S.W. 1	5.00	24	1120	25	Inizio linea: 446347.48 m E	Fine linea: 446756.56 m E
					4653124.7 m N	4652101.8 m N



FIGURA 4-10: SEZIONE 2-D DELLA VARIAZIONE DELLE ONDE DI TAGLIO (M/S) CON LA PROFONDITÀ (M)





Linea	Spaziatura geofonica d _g (m)	Numero geofoni per base sismica	Lungh. (m)	Prof. d'indagine [m]	Coordinate (UTM - W	Cartografiche 'GS84 33N
	5.00	24	260	20	Inizio linea:	Fine linea:
M.A.S.W. 2	5.00	24	360	20	44/113.02 m E	44/123.18 m E
					4652179.5 m N	4651825.9 m N





FIGURA 4-11: SEZIONE 2-D DELLA VARIAZIONE DELLE ONDE DI TAGLIO (M/S) CON LA PROFONDITÀ (M)





Linea	Spaziatura geofonica dg (m)	Numero geofoni per base sismica	Lungh. (m)	Prof. d'indagine [m]	Coordinate C UTM - Wo	Cartografiche GS84 33N
					Inizio linea:	Fine linea:
M.A.S.W. 3	5.00	24	360	25	447311.50 m E	447145.47 m E
					4652551.5 m N	4652249.3 m N



150 250 350 450 550 650 750

FIGURA 4-12: SEZIONE 2-D DELLA VARIAZIONE DELLE ONDE DI TAGLIO (M/S) CON LA PROFONDITÀ (M)

MASW4

Linea	Spaziatura geofonica d _g (m)	Numero geofoni per base sismica	Lungh. (m)	Prof. d'indagine [m]	Coordinate UTM - W	Cartografiche /GS84 33N
					Inizio linea:	Fine linea:
M.A.S.W. 4	5.00	24	360	20	447072.84 m E	447295.74 m E
					4652898.9 m N	4652619.6 m N



FIGURA 4-13: SEZIONE 2-D DELLA VARIAZIONE DELLE ONDE DI TAGLIO (M/S) CON LA PROFONDITÀ (M)



Linea	Spaziatura geofonica dg (m)	Numero geofoni per base sismica	Lungh. (m)	Prof. d'indagine [m]	Coordinate C UTM - WG	artografiche SS84 33N
					Inizio linea:	Fine linea:
M.A.S.W. 5	5.00	24	120	20	446985.56 m E	446878.12 m E
					4653192.5 m N	4653142.3 m N



FIGURA 4-14: SEZIONE 2-D DELLA VARIAZIONE DELLE ONDE DI TAGLIO (M/S) CON LA PROFONDITÀ (M)

MASW6

Linea	Spaziatura geofonica dg (m)	Numero geofoni per base sismica	Lungh. (m)	Prof. d'indagine [m]	Coordinate (UTM - W	Cartografiche GS84 33N
ΜΛςΨΑ	5 00	24	120	20	Inizio linea:	Fine linea:
WI.A.S. W. U	5.00	24	120	20	4653030.8 m N	4653147.4 m N



FIGURA 4-15: SEZIONE 2-D DELLA VARIAZIONE DELLE ONDE DI TAGLIO (M/S) CON LA PROFONDITÀ (M)



5. GEOREFERENZIAZIONE DELLE INDAGINI

Tutti gli elementi delle indagini eseguite sono stati georeferenziati mediate un rilievo topografico satellitare ed un rilievo aerofotogrammetrico. Il sistema topografico GNSS è basato su tecnologia multicostellazione e multifrequenza per misure RTK con modem 3.5 G integrato per le correzioni NTRIP.

Tutti i punti di misura sono stati codificati in fase di memorizzazione per una migliore gestione dei dati.

5.1 ACQUISIZIONE DATI

L'acquisizione dati è stata eseguita utilizzando la seguente strumentazione:

- GNSS Emlid Reach RS2 per ricezione dati (Figura 5-1);
- PAD / Smartphone e software acquisizione dati Reach View e TPad ;
- Drone EVO II RTK per aerofotogrammetria (Figura 5-2).

Rea	ch RS2 spe	cifications				
MECH	ANICAL			ELECTRICAL		
Dimens	sions	12	26x126x142 mm	Autonomy	16 hrs as 3.5G	RTK rover, 22 hrs logging
Weight			950g	Battery	LiF	ePO4 6400 mAh, 6.4V
Temper	rature		-20+65°C	External power input		6-40V
Ingress	protection	IP67 water	- and dustproof	Charging		USB-C 5V 2A
GNSS				DATA		
Signal t	racked	GPS/QZSS L1C/A,	L2C, GLONASS	Position output		NMEA, LLH/XYZ
		L1OF,L2OF, E	BeiDou B1I, B2I,	Corrections		NTRIP, VRS, RTCM3
Numbe	er of channels	Gali	leo E1-B/C, E5b 184	Data logging		RINEX at update rate up to 20Hz
Update	rates	20 Hz G	PS / 5 Hz GNSS	Internal storage		16GB
CONN	IECTIVITY			POSITIONING		
UHFLO	Ra radio	Frequency range Power	868/915MHz 0.1W	Precision	Static	H: 4 mm+0.5 ppm V: 8 mm+1 ppm
		Distance	Up to 8km		РРК	H:5mm+0.5ppm
3.5G m	odem	Regions	Global		RTK	H: 7 mm+1 ppm
		Bands	Quad-band,			V: 14 mm+1 ppm
			850/1900, 900/1800MHz	Convergence time		~5s typically
n RS2" (Emlid)		SIM card	Nano-SIM	іми		9DOF
Wi -Fi			802.11 b/g/n			
Bluetoo	oth		4.0/2.1 EDR			
Ports			RS-232, USB-C			

FIGURA 5-1: RICEVITORE GNSS EMLID REACH RS2.





FIGURA 5-2: DRONE "EVO II RTK SERIES"







TAVOLE DI INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

- TAV. F1A INQUADRAMENTO GEOGRAFICO
- TAV. F1B UBICAZIONE INDAGINI

TAVOLE DI RESTITUZIONE INDAGINI

- TAV. F1 INDAGINE DI TOMOGRAFICA ELETTRICA (E.R.T).
- TAV. F2 INDAGINE DI TOMOGRAFICA ELETTRICA (E.R.T.)
- TAV. F3 INDAGINE SISIMICA A RIFLESSIONE (SR)
- TAV. F4 INDAGINE SISIMICA A RIFLESSIONE (SR)
- TAV. F5-INDAGINE SISIMICA MASW (MW)
- TAV. 06- INDAGINE DI TOMOGRAFICA ELETTRICA (E.R.T.) VISUALIZZAZIONE 3D
- TAV. F7-INDAGINE SISMICA A RIFLESSIONE (SR) VISUALIZZAZIONE 3D
- TAV. F8- INDAGINE SISMICA MASW (MW) VISUALIZZAZIONE 3D