

# CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE

## Istituto per l'Ambiente Marino Costiero



Prospezioni sismiche, geoelettriche ed elettromagnetiche ad alta risoluzione in prossimità della foce del Fiume Volturno

### **TECHNICAL REPORT N. 03/IAMC/GF/2013**



A cura di:

Vincenzo Di Fiore<sup>1</sup>, Giuseppe Cavuoto<sup>1</sup>, Luciana Ferraro<sup>1</sup>, Laura Giordano<sup>1</sup>, Fabrizio Lirer<sup>1</sup>, Ennio Marsella<sup>1</sup>, Nicola Pelosi<sup>1</sup>, Michele Punzo<sup>1</sup>, Daniela Tarallo<sup>1</sup>, Mattia Vallefucio<sup>1</sup>, Costantino Di Gregorio<sup>1</sup>, Michele Iavarone<sup>1</sup>, Paolo Scotto di Vettimo<sup>1</sup>, Salvatore Losanno<sup>1</sup>, Rosanna Ferraro<sup>1</sup>, Vittorio Gargiulo<sup>1</sup>, Patricia Sclafani<sup>1</sup>

<sup>1</sup>IAMC - CNR (Istituto per l'Ambiente Marino Costiero, Napoli)

# INDICE

<b>1. Introduzione.....</b>	<b>1</b>
<b>2. Metodologia e Strumentazione</b>	
- Prospezione sismica.....	<b>4</b>
- Prospezione geoelettrica.....	<b>6</b>
- Prospezione elettromagnetica.....	<b>8</b>
<b>3. Acquisizione dei dati</b>	
- Prospezione sismica.....	<b>10</b>
- Prospezione geoelettrica.....	<b>11</b>
- Prospezione elettromagnetica.....	<b>12</b>
<b>4. Elaborazione dei dati.....</b>	<b>14</b>
<b>5. Bibliografia.....</b>	<b>17</b>

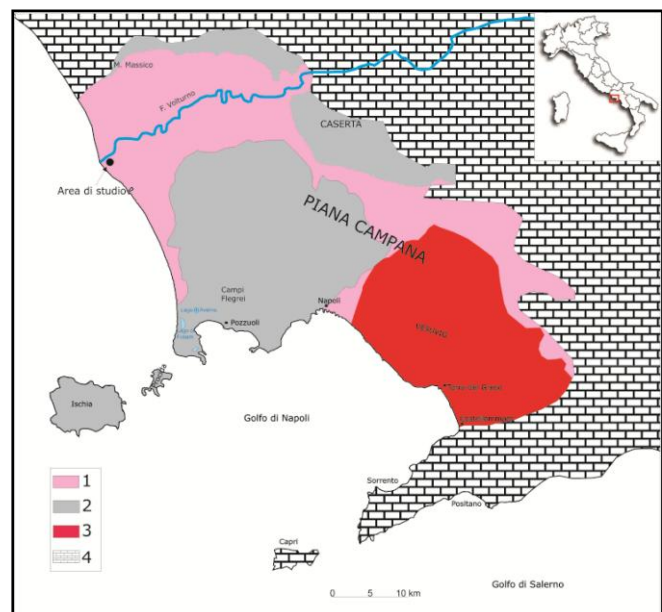
## 1. INTRODUZIONE

Nell'ambito dell'Obiettivo Realizzativo 2.3 "Sviluppo e allestimento di sensoristica e sistemi innovativi per osservazioni dell'iterazione terra-aria per la qualità dell'aria e degli ecosistemi agro-forestali" del progetto PON I-AMICA (Infrastruttura di Alta tecnologia per il Monitoraggio Integrato Climatico-Ambientale), l'Istituto per l'Ambiente Marino Costiero del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR-I.A.M.C.) di Napoli, coordinato dal dott. Vincenzo Di Fiore, ha eseguito delle prospezioni sismiche, geoelettriche ed elettromagnetiche in un'area prospiciente la foce del Fiume Volturno. L'area oggetto di indagini (figura 1) ricade all'interno del Graben della Piana Campana.

Tale depressione strutturale (diverse migliaia di metri) è stata colmata, nei tempi geologici passati, sia da depositi marini prevalentemente argilloso - sabbiosi del Pliocene che da materiale di origine piroclastica del Pleistocene, legati principalmente all'attività vulcanica dei Campi Flegrei e del Roccamonfina (Ortolani & Aprile, 1978, 1985). In particolare, nell'area in oggetto, in affioramento, si rinvengono essenzialmente terreni argillosi e limosi di origine alluvionale.

Tali indagini hanno avuto come obiettivo:

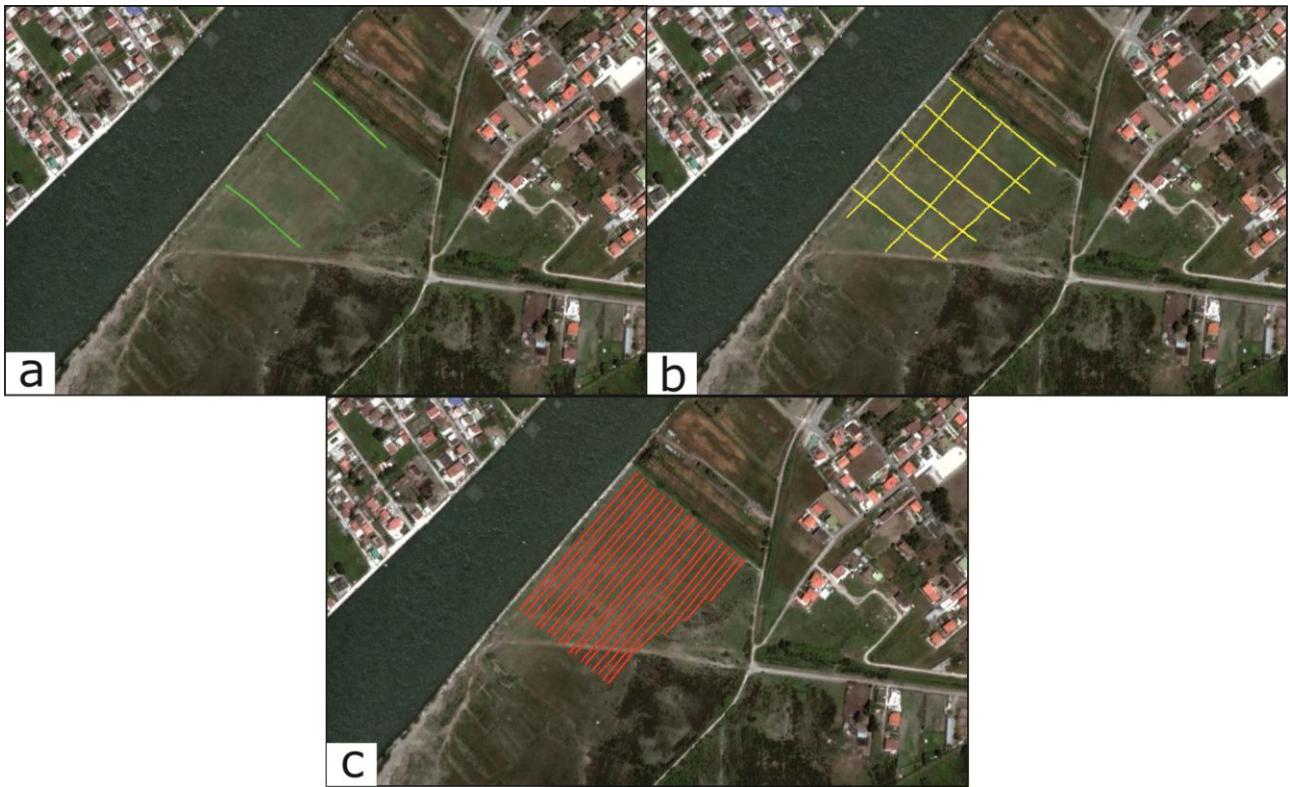
- La valutazione dell'intrusione nelle falde acquifere di componenti idrosaline provenienti dalla vicina area costiera;
- Lo studio, con risoluzione metrica, della porzione superficiale (0 - 80 metri di profondità) del sottosuolo al fine di caratterizzare, in termini di spessori e di velocità di propagazione, le serie riflettive che caratterizzano l'area in esame.
- Evidenziare strutture sepolte.



**Figura 1.** Schema geologico esemplificativo della Piana Campana. Simboli: 1) Sequenze sedimentarie terrigene quaternarie; 2) Sequenze vulcano-clastiche dei Campi Flegrei; 3) Sequenze vulcano-clastiche del Somma-Vesuvio; 4) Carbonati Meso-Cenozoici. (modificata da Orsi et al., 2003).

In totale sono stati acquisiti (figura 2):

- N. 3 profili sismici;
- N. 8 profili geoelettrici;
- N. 20 profili elettromagnetici.



**Figura 2.** Immagine di Google Earth dell'area antistante la foce del fiume Volturno e localizzazione dei profili acquisiti. a) in verde sono rappresentate le tre linee sismiche; b) in giallo gli otto profili geoelettrici; c) in rosso i venti profili elettromagnetici.

Nella Tabella 1 è riportato il gruppo di lavoro del CNR-I.A.M.C. coinvolto nell'acquisizione dei dati geofisici:

<b>PERSONALE</b>	<b>QUALIFICA</b>	<b>COMPETENZE</b>
Vincenzo DI FIORE	RICERCATORE	Responsabile Scientifico Survey
Luciana FERRARO	RICERCATORE	Acquisizione dati
Laura GIORDANO	RICERCATORE	Responsabile Scientifico OR 2
Fabrizio LIRER	RICERCATORE	Acquisizione dati
Ennio MARSELLA	DIRIGENTE DI RICERCA	Researcher management
Nicola PELOSI	RICERCATORE	Acquisizione dati e posizionamento GPS
Giuseppe CAVUOTO	TECNOLOGO	Acquisizione dati
Michele PUNZO	CTER	Acquisizione dati ed elaborazione

Daniela TARALLO	ASSEGNISTA	Acquisizione dati ed elaborazione
Mattia VALLEFUOCO	CTER	Acquisizione dati
Paolo SCOTTO DI VETTIMO	CTER	Acquisizione dati
Michele IAVARONE	OPT	Acquisizione dati
Costantino DI GREGORIO	CTER	Acquisizione dati
Salvatore LOSANNO	CTER	Acquisizione dati
Rosanna FERRARO	COLLABORATORE DI AMMINISTRAZIONE	Logistica e segreteria tecnica
Patricia SCLAFANI	CTER	Relazioni enti
Vittorio GARGIULO	CTER	Relazioni enti ed amministrazione

**Tabella 1**

## 2. METODOLOGIA E STRUMENTAZIONE

### - PROSPEZIONE SISMICA

Le prospezioni sismiche sono metodi di indagine geofisica basati sullo studio della propagazione di onde sismiche generate artificialmente (*Steeple, 1984*). Esse dipendono dalle caratteristiche elastiche dei terreni: i principi di tale metodologia si basano per questo sulla teoria dell'elasticità. Le onde sismiche viaggiano nel sottosuolo a diverse velocità attraverso i diversi litotipi e subiscono sulle superfici di discontinuità geologica i fenomeni della riflessione, rifrazione e diffrazione. La velocità di propagazione di un impulso sismico, può mutare anche nell'ambito di uno stesso litotipo perché, per variazioni di compattazione, fratturazione, porosità, ecc., cambiano le caratteristiche elastiche. I principali metodi di prospezione sismica si avvalgono delle onde riflesse (metodo a riflessione) o delle onde rifratte (metodo a rifrazione). Tutte le metodologie della sismica si basano sulla tecnica di generare onde sismiche in un punto del terreno (cariche esplosive, cannoncino sismico, mazza battente, etc.) e di rilevarne l'arrivo, mediante sensori (geofoni), in altri punti. Attraverso lo studio dei sismogrammi e l'individuazione dei tipi di onda si può risalire alla disposizione geometrica e alle proprietà elastiche dei litotipi presenti al di sotto della zona di indagine.

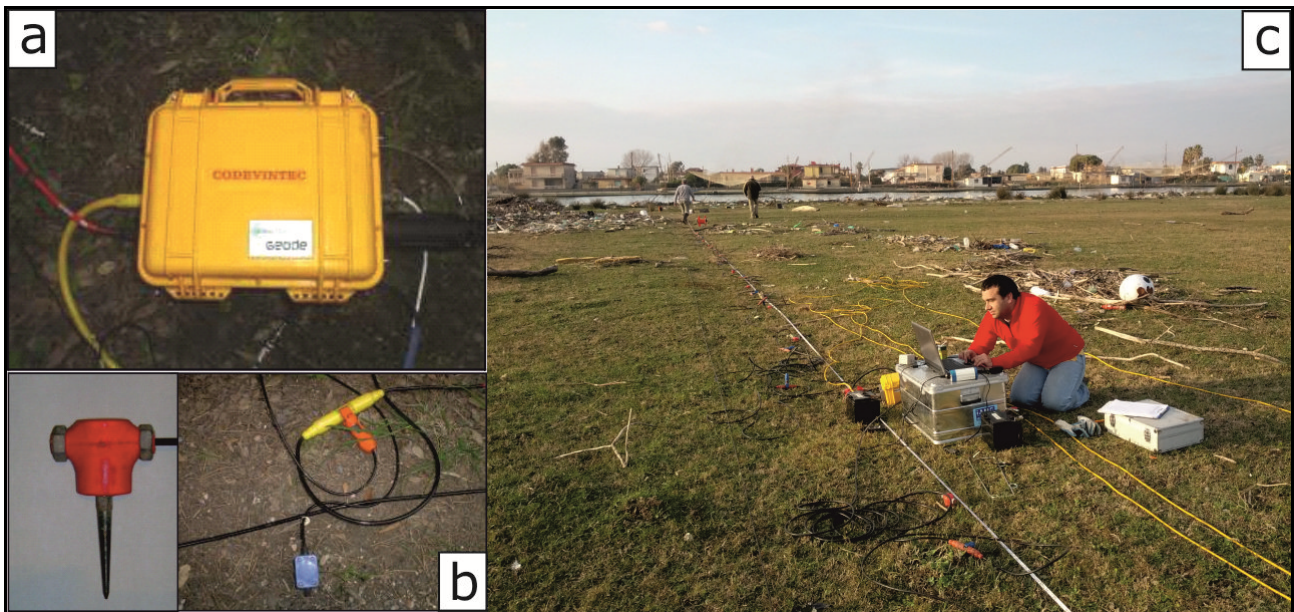
La strumentazione utilizzata per la prospezione sismica è composta da un'unità di registrazione ed un sistema di elaborazione dati (figura 3).

L'unità di registrazione è costituita dalle seguenti parti:

- 2 sismografi GEODE Geometrics (da 24 canali cadauno). Il Geode è un sismografo a 24 bit ad elevata dinamica (144 dB di range dinamico totale - 105 dB istantanei), ampia banda d'ingresso (1.75 Hz - 20 kHz), con velocità di campionamento da 0.02 ms a 16 ms;
- 48 geofoni Geospace 4.5 Hz verticali (mod. GS-11D);
- 4 cavi sismici Geospace, 12 take-out con spaziature a 5 m;
- 1 cavo di interfaccia digitale, 125 m, per connessione moduli geode;

Un'unità di visualizzazione, elaborazione ed archiviazione dati rappresentata da un Laptop collegato tramite rete locale Ethernet ai due Geodi.





**Figura 3.** Alcuni componenti dell'unità di registrazione dei dati sismici. A) Sismografo Geode; b) geofono con particolare della connessione tra il geofono ed il cavo sismico; c) Sistema di registrazione: i dati di campagna vengono monitorati in tempo reale per controllarne la qualità.

Il sistema di energizzazione è costituito da una sorgente sismica a cannoncino modello Minibang. La sorgente utilizza cartucce industriali tipo calibro 8; la canna del cannoncino viene introdotta ad una profondità di circa 30 cm in un piccolo foro precedentemente preparato con una piccola trivella a mano. Per evitare il rinculo ed avere la massima propagazione dell'energia prodotta dall'esplosione della cartuccia, la base di supporto del cannoncino è trattenuta solidale al terreno dal peso dell'addetto allo scoppio che vi deve salire sopra (figura 4a).

Il sistema di trigger consiste in un circuito elettrico che viene aperto nell'istante in cui il cannoncino sismico spara il colpo, consentendo di produrre un impulso che viene inviato al sistema di acquisizione determinandone l'avvio dell'acquisizione. In questo modo la registrazione ha inizio all'esatto istante in cui la sorgente viene attivata.

Sono state realizzate energizzazioni anche utilizzando la mazza battente (figura 4b). In particolare, per ogni punto di scoppio, si è energizzato con la mazza per 3 volte, allo scopo di aumentare il rapporto segnale/rumore.



**Figura 4.** Fase di energizzazione a) mediante la sorgente sismica a cannoncino modello *Minibang*; b) mazza battente.

#### - PROSPEZIONE GEOELETTRICA

Il metodo geoelettrico consiste nella determinazione sperimentale dei valori di resistività elettrica che caratterizza il sottosuolo. La conoscenza dei valori di resistività, per differenti tipi di materiali nel sottosuolo, è di estrema importanza per ottenere, da questa distribuzione di resistività, una descrizione geologica dell'area d'indagine (Loke, 2001).

I profili geoelettrici sono stati acquisiti applicando il metodo di resistività ed il metodo della polarizzazione indotta.

Il metodo della resistività utilizza, come parametro geofisico per indagare il sottosuolo, la resistività elettrica del terreno. La resistività è una grandezza fisica posseduta dalle rocce, misurata in  $\Omega m$  ed indica la resistenza incontrata dalla corrente elettrica nell'attraversare una formazione rocciosa. La prospezione viene effettuata immettendo nel sottosuolo, tramite due elettrodi (elettrodi di corrente), una corrente di intensità nota e misurando, tramite due altri elettrodi (elettrodi di potenziale), la differenza di potenziale che tale corrente produce nei punti del terreno nei quali sono stati posti gli elettrodi stessi.

Il metodo della polarizzazione indotta o della caricabilità si basa su un fenomeno simile a quello di "carica" e "scarica" di un condensatore: immettendo nel terreno una corrente di intensità costante, per un certo tempo, il potenziale di equilibrio tra gli elettrodi di potenziale non viene raggiunto istantaneamente ma dopo un certo intervallo di tempo (*rise-time*); allo stesso modo, interrompendo la corrente di energizzazione, il potenziale non cade istantaneamente a zero, ma si scarica seguendo una curva di decadimento. Il tempo di decadimento e il *rise-time* dipendono da fattori



geologici e quindi sono dei parametri che possono essere diagnostici per la ricostruzione delle strutture presenti nel terreno. Le misure della polarizzazione indotta sono fatte utilizzando le stesse configurazioni utilizzate per eseguire le misure di resistività. La misura contemporanea dei valori di resistività e caricabilità nella stessa zona di investigazione, consente di ottenere una ricostruzione più dettagliata del sottosuolo (figura 5).

La strumentazione utilizzata per l'esecuzione delle misure è costituita da un apparato di energizzazione e da un sistema di ricezione. L'apparato di energizzazione consiste in un generatore di tensione

LITOTIPO	$\rho$ ( $\Omega$ m)	$\phi$ (%)
Acqua	10÷100	-
Acqua di mare	2÷3	-
Arenarie	200÷5000	7÷30
Argille	1÷50	40÷70
Calcari	300÷10000	2÷30
Detrito alluvionale	50÷1000	15÷60
Dolomie	500÷10000	2÷20
Sabbie e Ghiaie	70÷700	30÷60
Graniti	1000÷20000	0.2÷0.8
Marne	100÷500	8÷15
Piroclastiti	50÷600	15÷60
Rocce ignee	100÷10000	30÷10
Suolo di copertura	10÷200	60÷90
Tufi	150÷900	10÷40

**Figura 5.** Tabella di confronto tra i dati di resistività ed i valori di porosità di alcuni litotipi.

continua e di una coppia di elettrodi A e B. Il generatore, alimentato da una batteria esterna, invia nel sottosuolo un treno di onde quadre di corrente a bassa frequenza (< 0.1 Hz). La coppia di elettrodi A, B costituisce il dipolo attivo tramite cui avviene l'invio di corrente. La durata dell'energizzazione è determinata nel corso della misura e dipende dal rapporto segnale/rumore caratteristico del sito. Il sistema di ricezione è invece costituito da un millivoltmetro digitale e da una coppia di elettrodi M, N. La corrente elettrica inviata nel sottosuolo, produce ai capi degli elettrodi M, N del dipolo passivo un segnale di tensione che viene misurato dal millivoltmetro digitale e memorizzato da un computer portatile che calcola istantaneamente i valori di resistività apparente. Gli elettrodi sono costituiti da picchetti di acciaio della lunghezza di 40 cm che vengono infissi nel terreno e successivamente collegati attraverso morsetti a cavi multicanale.

Le misure geoelettriche di resistività apparente e di caricabilità sono state eseguite con il georesistivimetro SYSCAL-Pro Switch 96 canali prodotto dalla Iris Instruments (figura 6) che rappresenta il più moderno e raffinato georesistivimetro per le indagini



**Figura 6.** Georesistivimetro SYSCAL-Pro.

geoelettriche presente sul mercato. Questo strumento compendia sia il sistema ricevente che quello energizzante. Il georesistivimetro SYSCAL-Pro è composto da un alimentatore che fornisce corrente continua (amperometro), da un misuratore di tensione (voltmetro), da un'unità di switching e da batterie interna ed esterna da 12 V. Lo strumento, secondo una sequenza di acquisizione predisposta dall'operatore con parametri e tipo di array prestabiliti, gestisce automaticamente il gruppo di elettrodi sul quale effettuare la misura e li commuta alternativamente in elettrodi di corrente e di potenziale, in tutte le configurazioni possibili con il numero di elettrodi presenti nel suolo. In questo modo vengono costruite le pseudosezioni (rappresentazione qualitativa bidimensionale della resistività apparente). Il georesistivimetro SYSCAL-Pro ha permesso di eseguire una configurazione multi - elettrodo: la tecnica multielettrodica, indicata con il nome di tomografia geoelettrica, risulta particolarmente adatta per investigazioni in aree di interesse geologico, idrogeologico, ingegneristico ed archeologico. Lo strumento presenta un voltaggio massimo di 800 V, compensazione automatica dei potenziali spontanei e permette la misura contemporanea di resistività e caricabilità.

#### - PROSPEZIONE ELETTROMAGNETICA

La prospezione magnetica è una delle tecniche d'indagine più importanti e più utilizzate applicate alla ricerca geologica, questo grazie al fatto che è una tecnica assolutamente non distruttiva, con una buona rapidità d'investigazione ed economicità d'impiego (*Mathé & Léveque, 2003*). Il metodo magnetico si basa sulla misura delle variazioni del Campo Magnetico Terrestre (CMT) o del suo gradiente. Le variazioni o anomalie magnetiche sono rappresentate dal contrasto tra la suscettività magnetica (proprietà caratteristica degli elementi) delle diverse formazioni geologiche e la suscettività del terreno che le contiene. Il contrasto di suscettività è forte quando è alto il contenuto di minerali ferro e ferri-magnetici in uno dei due elementi o quando sono subentrati fenomeni di stress termico sugli elementi stessi.

Il rilievo magnetico è stato realizzato con la tecnica del gradiente. Tale metodologia, che si basa sull'impiego di un magnetometro differenziale o gradiometro, da un'indicazione continua delle variazioni di intensità del campo magnetico terrestre. Il rilievo magnetico con la tecnica del gradiente, rispetto a quello della misura del campo totale, consente di operare indipendentemente dalle variazioni magnetiche, temporali naturali o dalle interferenze magnetiche di origine antropica che interagiscono con il

segnale magnetico reale. Ulteriori vantaggi sono rappresentati, inoltre, dalla rapidità di acquisizione (diverse misure al secondo) e dall'alta capacità di discriminazione laterale del segnale. Un altro vantaggio della tecnica del gradiente, rispetto alla tecnica del campo magnetico totale, consiste nell'eliminazione automatica dei disturbi casuali e di quelli temporali; in pratica non si rende necessaria la correzione per la variazione diurna.

La strumentazione utilizzata per l'acquisizione dei dati magnetometrici è costituita da un magnetometro differenziale G-858 della "Geometrics" a vapori di Cesio con sensibilità di 0,1 gamma (nT). Il magnetometro è costituito essenzialmente da una centralina provvista di un display (figura 7), con il quale l'utente interagisce con lo strumento, da due sensori e da una staffa di materiale diamagnetico lunga circa 1,5 metri che supporta i due sensori. Alla



**Figura 7.** Centralina per la configurazione e la gestione delle misure elettromagnetiche.

centralina vengono collegati, tramite cavi elettrici, sia i sensori che le batterie disposte in contenitori alla vita dell'operatore. I sensori sono costituiti da celle con vapori di metalli alcalini: non viene misurato direttamente il campo magnetico, ma una conseguenza fisica della sua intensità cioè la frequenza di risonanza elettronica del vapore alcalino (cesio) in presenza di un campo magnetico.

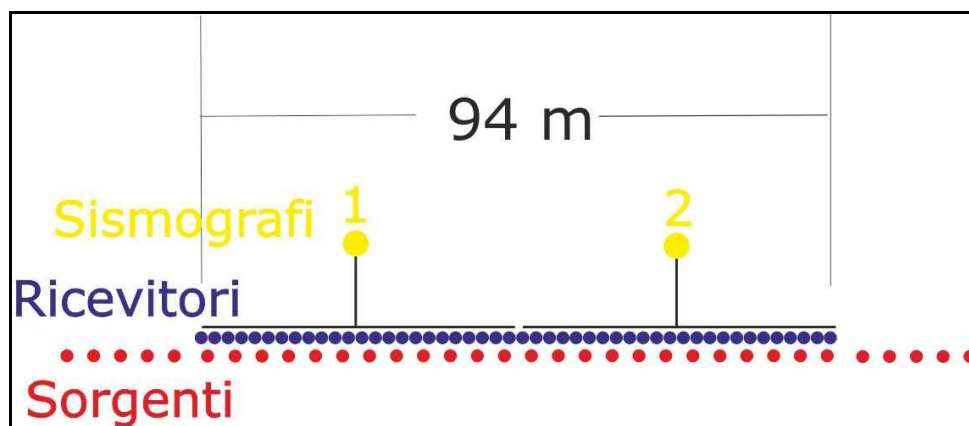
Lo strumento, in configurazione gradiometrica, prevede due sensori posizionati sull'asta ad una distanza verticale di circa 1 metro l'uno rispetto all'altro. I due sensori misurano separatamente l'intensità del campo magnetico: il rapporto tra la differenza dei valori ottenuti e la distanza in verticale dei due sensori fornisce il valore del gradiente del campo magnetico terrestre. Il gradiente verticale è particolarmente sensibile ai disturbi magnetici superficiali e aumenta la risoluzione delle anomalie individuali in un'area di anomalie generalizzate.

### 3. ACQUISIZIONE DEI DATI

#### - PROSPEZIONE SISMICA

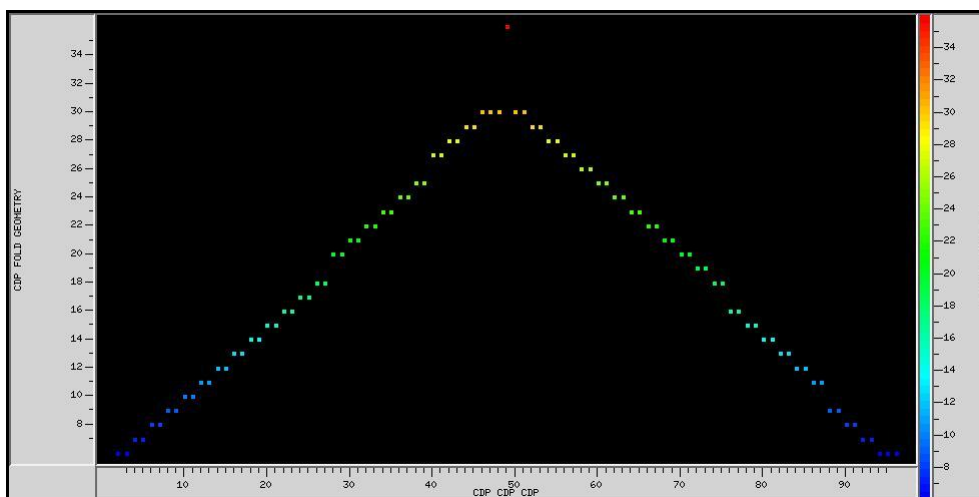
L'attività di sismica svolta ha previsto l'acquisizione di tre profili (ognuno lungo 134 metri) per un totale di 402 metri di indagini (si veda figura 1a). Il sistema d'acquisizione impiegato è stato di 2 sismografi a 24 canali GEODE equipaggiati con geofoni verticali a 4.5 Hz. Le energizzazioni sono state realizzate impiegando sia una sorgente sismica impulsiva (Minibang o fucile sismico) sia la mazza battente.

I profili sismici sono stati acquisiti sia con una geometria di tipo "long offset shot" che di tipo "global offset". Tale strategia d'acquisizione, che ha previsto l'impiego di uno stendimento di geofoni con spaziatura regolare di 2 metri, è consistita nell'esecuzione di energizzazioni ai due estremi dello stendimento geofonico simmetricamente distanti 4, 8, 12, 16, 20 metri rispetto la fine dello stendimento geofonico. Sono state realizzate, inoltre, energizzazioni interdistanziate ogni 4 metri all'interno dello stendimento geofonico (figura 8); quest'ultime energizzazioni sono state realizzate utilizzando la mazza battente.



**Figura 8.** Schema utilizzato per l'acquisizione dei profili sismici. I punti blu rappresentano i ricevitori; quelli gialli i sismografi: ad ogni sismografo sono collegati 24 ricevitori; i punti rossi sono relativi alle posizioni di energizzazione.

Tale geometria d'acquisizione ha permesso d'ottenere un'interdistanza tra i CDP (Common Depth Point) di 1 m, consentendo di elaborare i dati sia in chiave di sismica a riflessione che a rifrazione. Le tracce totali acquisite sono state 4896; la geometria d'acquisizione utilizzata ha consentito di avere un'elevata copertura CDP con un valore massimo di 36 tracce (figura 9).



**Figura 9.** Copertura dei CDP per il profilo sismico.

I tre profili sismici sono stati acquisiti utilizzando la stessa geometria; le informazioni salienti sono riassunte nella tabella seguente.

	<b>Profilo Sismico</b>
Lunghezza	134 m
Sorgente sismica	Minibang/mazza battente
Distanza geofonica	2 m
Spaziatura sorgenti	4 m
Numero energizzazioni	34
Numero canali complessivi	48 geofoni a 4.5 Hz
Massimo offset	114 m
Finestra temporale	2000 ms
Campionamento temporale	1 ms.
Spaziatura CDP	1 m
Massima copertura CDP	36
Numero CDP	96

**Tabella 2.** Parametri della geometria d'acquisizione.

#### - PROSPEZIONE GEOELETTRICA

Le misure di resistività sono state eseguite usando un sistema costituito da 48 elettrodi. Gli elettrodi sono stati allineati ed equidistanziati e poi collegati, per mezzo di un cavo multicanale, al georesistivimetro *SYSCAL-Pro* in grado di gestire l'immissione di corrente e la misura della differenza di potenziale dai quattro elettrodi volta per volta interessati dalla misura (figura 10). Sono state eseguite misure contemporanee di resistività e caricabilità. Sono stati acquisiti 8 profili per un totale di 1584 m di indagini. In particolare, i cinque profili con direzione NW-SE (si veda figura

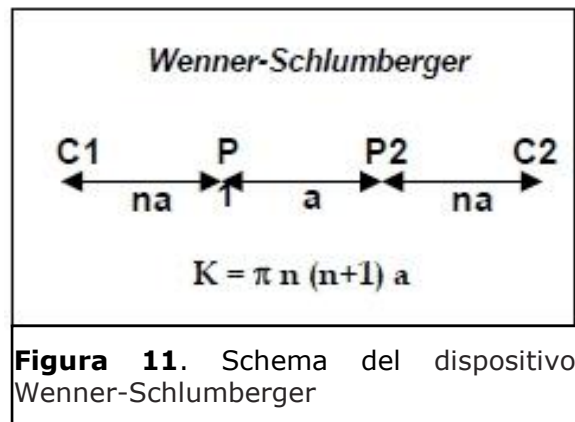


1b) sono stati acquisiti utilizzando una distanza interelettrodica di 4 metri. Le altre tre linee, ad andamento NE-SW, sono state acquisite utilizzando un'interdistanza elettrodica di 5 metri.



**Figura 10.** Alcune immagini relative alla stesa dei profili geoelettrici.

I dati sono stati raccolti in campagna usando la disposizione elettrodica tipo *Wenner-Schlumberger*. Questo tipo di dispositivo risulta essere un ibrido tra il dispositivo Wenner e quello Schlumberger: gli elettrodi sono disposti come mostrato in figura 11. La spaziatura tra gli elettrodi di potenziale rimane costante e pari ad  $a$ , mentre la spaziatura tra gli elettrodi di corrente aumenta secondo multipli interi di  $a$ . La distribuzione delle misure di questa tipologia di array è confrontabile con quella Wenner ma la copertura orizzontale che si raggiunge con questa tipologia di acquisizione, è maggiore e aumenta anche la profondità di investigazione, superiore del 10% rispetto a Wenner.



#### - PROSPEZIONE ELETTROMAGNETICA

Il rilievo elettromagnetico è stato realizzato impiegando il magnetometro G-858. Lo strumento è stato utilizzato in configurazione gradiometrica (figura 12), con i due sensori disposti ai vertici di una staffa verticale, ad una distanza di circa 0.8m l'uno dall'altro. La modalità operativa utilizzata è stata quella del *simple survey*. Con il

*simple survey mode* è stato possibile realizzare la mappa magnetica senza definire a priori una griglia di misura rettangolare; successivamente, tramite software, vengono definiti i limiti della griglia ed i vari punti di misura.

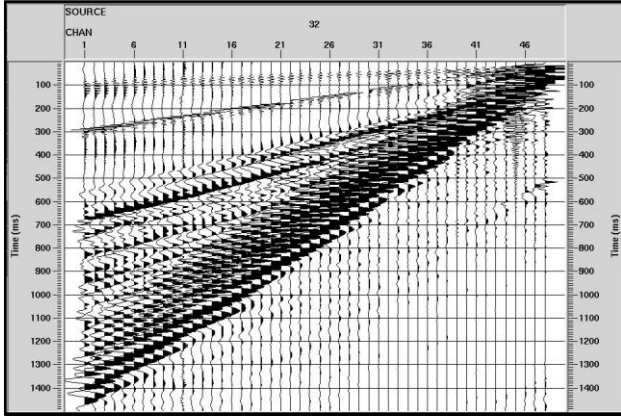


**Figura 12.** Fase d'acquisizione dati mediante il magnetometro ai vapori di cesio G-858 in configurazione gradiometrica.

All'interno dell'area investigata, geometricamente assimilabile circa ad un rettangolo di dimensioni 250\*200 mq, le indagini magnetiche sono state condotte percorrendo in totale 20 profili paralleli in direzione NE-SW, equispaziati tra loro di 10 m (si veda figura 1c). Il sistema magnetometrico è stato configurato per acquisire dati con una frequenza di campionamento di 0.2 cicli/s. I dati registrati sono riferiti sia a misure di campo magnetico sia a misure di gradiente; in pratica lo strumento fornisce una misura simultanea del campo magnetico ai due sensori (inferiore e superiore) e la componente verticale del gradiente è approssimato dal rapporto incrementale, nota la distanza tra i due sensori magnetici. In questo modo è stato possibile ottenere contemporaneamente tre mappe, due per i singoli sensori ed una terza relativa al gradiente verticale. Tale tipo di configurazione è ottimale per minimizzare già in fase di acquisizione gli effetti magnetici di corpi metallici superficiali e di piccole dimensioni correlabili a rumore ambientale ad alta frequenza. Inoltre, il sistema magnetometrico è equipaggiato con una scheda di acquisizione e antenna GPS Novatel™ WAAS/EGNOS, che consente di localizzare in maniera assoluta i punti di misura.

## 4. ELABORAZIONE DEI DATI

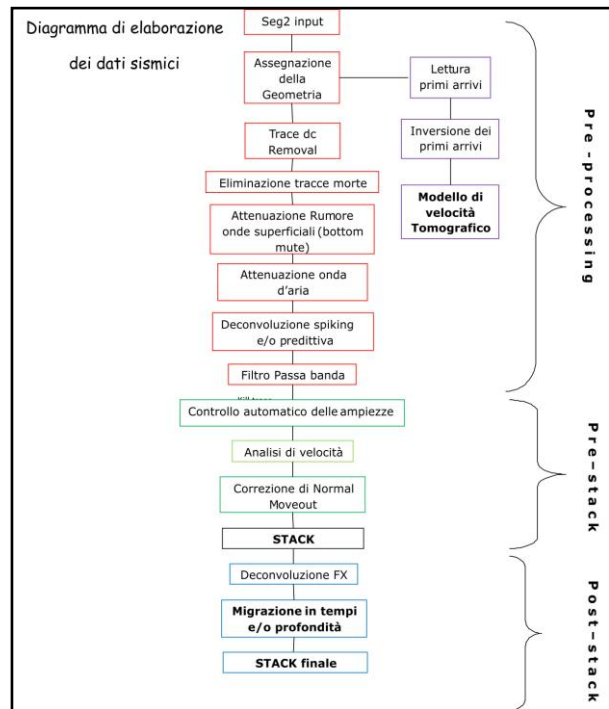
L'analisi preliminare dei dati sismici acquisiti a Castel Volturno ha messo in evidenza una buona qualità del dato (figura 13). L'elaborazione a riflessione verrà eseguita



**Figura 13.** Esempio di *Common Shot Gather* acquisito a Castel Volturno.

attraverso il software commerciale ProMAX 2D della Landmark. L'individuazione della sequenza di elaborazione ottimale da applicare al dato verrà tarata in base alla qualità ed alle caratteristiche del dato registrato in campagna (Ylmaz, 1987). La possibile sequenza d'elaborazione, schematizzata dal flusso in figura 14,

verrà articolata in tre fasi: 1) pre-processing; 2) analisi di velocità e stacking; 3) post-stack. Inizialmente il dato, raggruppato per punto di energizzazione comune (Common Shot Gather - CSG), verrà trattato al fine di incrementare il rapporto segnale-rumore. Nella successiva fase d'elaborazione, i dati verranno raggruppati per punto comune di riflessione (CDP) per eseguire l'analisi di velocità, necessaria per la correzione di Normal Moveout (NMO) e la successiva sommatoria (stack) delle tracce sismiche con gli eventi riflessi in fase. Infine, per aumentare la corrispondenza tra la sezione sismica e la realtà geologica investigata, sarà possibile applicare algoritmi di migrazione post-stack. Parallelamente all'elaborazione delle fasi sismiche a riflessione verrà anche eseguita un'analisi a rifrazione (tomografia sismica) del dato acquisito utilizzando un software commerciale che fa parte del pacchetto Seisimager<sup>®</sup>, distribuito dalla Oyo Corporation Ltd. ed impostato sul lavoro di Hayashi and Takahashi (2001). Questa elaborazione combinata migliora la qualità del prodotto finale e inoltre fornisce all'interprete informazioni complementari (ovvero sezioni stack e immagini



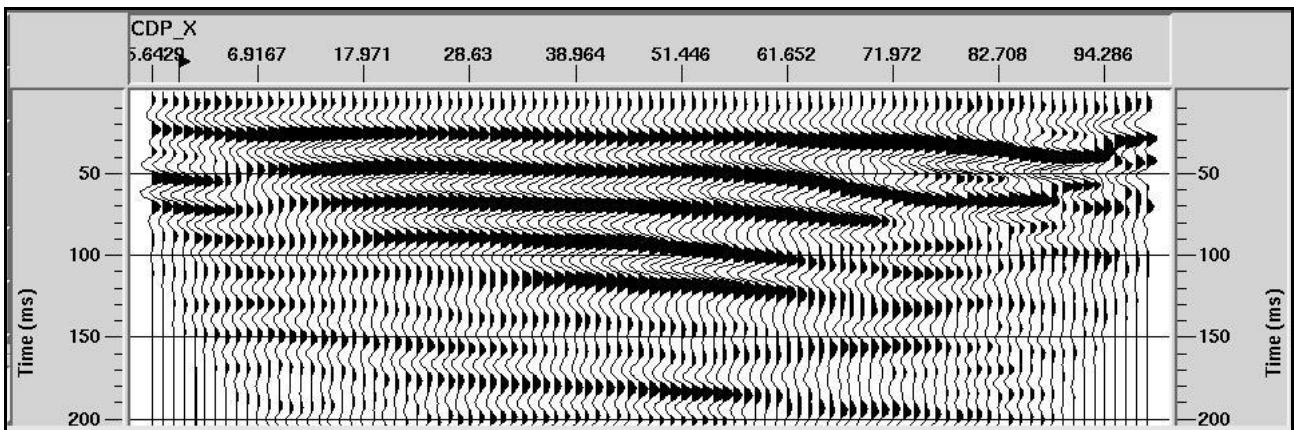
**Figura 14.** Flusso elaborazione dati sismici



tomografiche), che facilitano la successiva interpretazione geo-strutturale del dato geofisico.

Inoltre, sul dato sismico acquisito sarà possibile eseguire un'indagine sismica M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves ovvero Analisi Multicanale delle onde superficiali di Rayleigh) al fine di caratterizzare meglio gli spessori e geometrie dei litotipi e le caratteristiche sismostratigrafiche degli stessi (Park et al., 1999).

In termini generali, una prima elaborazione preliminare ha mostrato che le sezioni stack mostrano riflettori sub orizzontali e molto superficiali; lo stack fornisce informazioni molto interessanti nei primi 200 ms. Si presenta qui una sezione preliminare dell'elaborazione (figura 15).

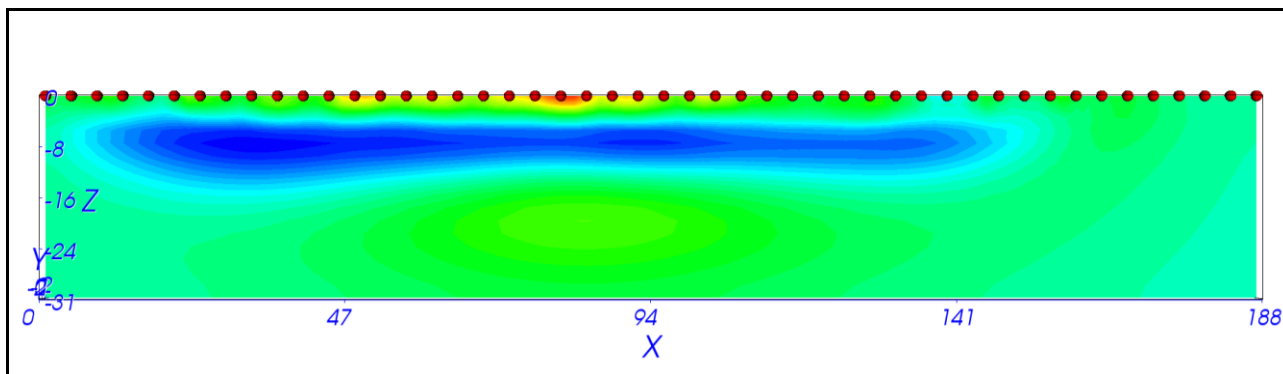


**Figura 15.** Sezione stack preliminare di un profilo acquisito a Castel Volturno.

Le misure di geoelettriche consisteranno nella realizzazione di tomografie 2D per mezzo delle quali sarà possibile visualizzare la distribuzione dei valori di resistività elettrica nel sottosuolo, al fine di individuare la falda idrica per monitorare il cuneo salino ed in particolare la sua intrusione continentale.

I dati misurati in campagna verranno elaborati mediante il programma d'inversione TOMOLAB che permette di invertire le pseudo-sezioni in modo da ottenere le tomografie. Le pseudo-sezioni di resistività forniscono un'idea, anche se molto qualitativa, della distribuzione delle resistività reali lungo la sezione verticale di sottosuolo sottesa al profilo di misura; la tomografia geoelettrica vera e propria si otterrà "mettendo a fuoco" l'immagine di resistività apparente in modo da definire meglio le geometrie dei corpi sepolti. Per avere la resistività reale, e quindi per poter ricostruire l'andamento delle resistività reali nel sottosuolo, è necessario realizzare un'inversione dei dati: un modello di partenza verrà iterativamente modificato finché la differenza tra questo e la pseudo-sezione sperimentale risulta ridotta al minimo. Le differenze tra i valori di resistività apparente della pseudo sezione teorica e della

pseudo-sezione sperimentale vengono utilizzate per ricavare delle resistività quanto più vicine alla realtà. Le elaborazioni dei risultati delle tomografie di Resistività Elettrica (figura 16) ad alta risoluzione consentiranno di riconoscere le caratteristiche elettriche e le geometrie dei corpi presenti nel sottosuolo di questo tratto della piana costiera di Castel Volturno.



**Figura 16.** Sezione geoelettrica preliminare di un profilo acquisito a Castel Volturno.

Per elaborare i dati magnetici verrà utilizzato il software proprietario MagMap2000, prodotto dalla Geometrics Inc. ed il software MagPick. Inizialmente verrà svolta una fase di pre-processing volta all'eliminazione di effetti spuri e dei valori inconsistenti di campo magnetico (rimuovendo gli spike e i valori di *drop-outs*) sui singoli profili acquisiti. Procedure di desprite potranno, poi, essere applicate per eliminare il noise coerente. Successivamente, attraverso la tecnica del contouring, e dopo operazioni di filtraggio, necessarie per attenuare il noise legato alle operazioni di campo e a corpi superficiali ad alta frequenza, verrà realizzata un'interpolazione (di tipo "spline" e bilineare) dei dati per la realizzazione di una mappa magnetica.

I dati magnetometrici potranno essere rappresentati in mappa sia con i valori di campo totale sia come misure di gradiente.

### *Ringraziamenti*

Desideriamo ringraziare il dott. Paolo Bonasoni, Responsabile Scientifico del progetto PON I-AMICA, per l'incoraggiamento e la disponibilità mostrata.

Si ringrazia, inoltre, il Sig. Luigi Boscolo (La Flegrea Srl Cooperativa Pescatori) per la preziosa assistenza logistica durante la fase di acquisizione dei dati.



## 5. Bibliografia

Hayashi, K. and Takahashi, T. (2001). High Resolution Seismic Refraction Method Using Surface and Borehole Data for Site Characterization of Rocks. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol. 38, pp. 807-813.

Loke M.H.; 2001: Tutorial: 2-D and 3D electrical imaging surveys. 122 pp.

Mathé V., Léveque F., High resolution magnetic survey for soil monitoring: detection of drainage and soil tillage effects. *Earth and Planetary Science Letters*», CCXII 2003, pp. 241-251

Orsi G, de Vita S, Di Vito M, Isaia R, Nave R, Heiken G. Facing volcanic and related hazards in the Neapolitan Area. In: Heiken G, Fakundiny R, Sutter J, editors. *Earth Science in the Cities: a Reader*. Washington, DC: American Geophysical Union; 2003. p. 121-170.

Ortolani F., Aprile F., 1978. Nuovi dati sulla struttura profonda della Piana Campana a sud est del fiume Volturno; *Boll. Soc. Geol. It.* n.97, 591-608.

Ortolani F., Aprile F., 1985. Principali Caratteristiche Stratigrafiche e Strutturali dei Depositi Superficiali della Piana Campana. *Boll. Soc. Geol. It.*, 104, 195-206

Park C. B., Miller R. D., Xia J.; 1999: Multichannel analysis of surface waves. *Geophysics*, 64, 3, 800-808.

Steeple, D.W., 1984. High resolution seismic reflections at 200 Hz. *Oil and Gas Journal*, December 3, 86-92

Ylmaz O., 1987. *Seismic Data Analysis*; Society of Exploration Geophysicists.