



Applicazioni di indagini GPR 3D nell'area della foce del Fiume Volturno.



Rapporto Tecnico N. 05/IAMC/GF/2013

A cura di:

Michele Punzo¹, Giuseppe Cavuoto¹, Laura Giordano¹, Michele Iavarone¹, Nicola Pelosi¹, Paolo Scotto di Vettimo¹, Daniela Tarallo¹, Vincenzo Di Fiore¹, Rosaria De Martino¹.

¹IAMC - CNR (Istituto per l'Ambiente Marino Costiero, Napoli)

INDICE

1. INTRODUZIONE	1
2. METODOLOGIA E STRUMENTAZIONE	2
3. ELABORAZIONE DEI DATI	6
4. ANALISI DEI DATI E RICOSTRUZIONE 3D	8

1. INTRODUZIONE

Il gruppo di geofisica dell'Istituto per l'Ambiente Marino Costiero del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR-I.A.M.C.) di Napoli ha eseguito una prospezione GPR 3D in un'area in prossimità della foce del Fiume Volturno. Tali indagini sono state realizzate nell'ambito del progetto PON I-AMICA (Infrastruttura di Alta tecnologia per il Monitoraggio Integrato Climatico-Ambientale -) - O.R. 2.3. L'Obiettivo Realizzativo 2 opera per la realizzazione e messa a punto di infrastrutture, sistemi strumentati e sensoristica in grado di eseguire misure ed acquisire informazioni in diversi contesti ambientali (qualità dell'aria e sistema climatico, ecosistemi agroforestali e marino-costieri) (www.i-amica.it). In particolare, l'OR 2.3 ha l'obiettivo di sviluppare e potenziare sensoristica e sistemi per il monitoraggio di ecosistemi terrestri, sia dal punto di vista ambientale che produttivo.

L'area test della prospezione si trova lungo il tratto terminale del fiume Volturno, in sinistra orografica ed a poche centinaia di metri dalla sua foce, ad una quota media di 2 metri sul l.m.m. (Figura 1). Nell'area indagata, sono già state eseguite prospezioni sismiche, geoelettriche ed elettromagnetiche oggetto del rapporto tecnico N. 03/IAMC/GF/2013 (<http://eprints.bice.rm.cnr.it/5405>).



Figura 1. Immagine di Google Earth della localizzazione dell'appezzamento terriero, adiacente la foce del fiume Volturno, luogo dell'indagine georadar.

Lo scopo di questa campagna è stato quello di investigare i primi 2-3 metri del sottosuolo per determinare la geometria e la natura degli strati superficiali e di fornire le caratteristiche giaciture dei terreni presenti nell'area investigata. La strumentazione utilizzata risulta essere molto utile in questa tipologia di acquisizione in quanto possiede un elevato potere risolutivo, è un sistema molto veloce e non invasivo nello studio del sottosuolo ed inoltre permette di costruire modelli 2D e 3D.

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

PERSONALE	QUALIFICA	COMPETENZE
Vincenzo DI FIORE	RICERCATORE	Responsabile Scientifico Survey
Laura GIORDANO	RICERCATORE	Responsabile OR 2 I-AMICA
Giuseppe CAVUOTO	TECNOLOGO	Acquisizione dati
Michele PUNZO	CTER	Acquisizione dati ed elaborazione
Nicola PELOSI	RICERCATORE	Posizionamento GPS
Daniela TARALLO	ASSEGNISTA	Acquisizione dati ed elaborazione
Paolo SCOTTO DI VETTIMO	CTER	Acquisizione dati
Michele IAVARONE	OPT	Acquisizione dati
Rosaria DE MARTINO	CTER	Logistica

Tabella 1. Personale IAMC-CNR coinvolto nell'acquisizione dei dati georadar.

2. METODOLOGIA E STRUMENTAZIONE

Il sistema GPR è costituito da un'apparecchiatura ricetrasmittente in grado di inviare impulsi elettromagnetici e di ricevere il relativo eco riflesso dalle superfici di discontinuità di materiali a diverse caratteristiche fisico-elettriche, presenti all'interno del mezzo indagato (stratificazioni di materiali, fratture, cavità, etc.) (*Davis and Annan, 1989*). Il GPR si basa sulla trasmissione di impulsi elettromagnetici nel terreno e sui fenomeni di riflessione e rifrazione che essi subiscono durante la propagazione quando incontrano elementi di discontinuità elettromagnetica e geometrica nel sottosuolo. Le discontinuità dove si verificano riflessioni sono caratterizzate da variazioni delle proprietà elettriche del terreno, spesso correlabili a variazioni del contenuto

d'acqua o a cambiamenti litologici. In generale, tali riflessioni possono anche essere generate all'interfaccia tra un oggetto archeologico e il terreno circostante oppure in corrispondenza di spazi vuoti nel terreno, come quelli che si possono incontrare negli scavi, cavità, tunnel ecc...

Particolari caratteristiche distintive dell'utilizzo di tale metodologia di indagine geofisica sono:

- Tipologia di indagine non distruttiva e non invasiva;
- Velocità di esecuzione;
- Elevata probabilità di rivelazione degli oggetti nascosti;
- Elevata risoluzione e precisione di localizzazione;
- Possibilità di operare in zone antropizzate;
- Maneggevolezza nell'utilizzo e nel trasporto;
- Possibilità di ottenere informazioni in real time.

Lo strumento si compone principalmente di un'antenna (Figura 2) che trasmette gli impulsi elettromagnetici nel sottosuolo e li riceve dopo il loro percorso di ritorno. L'antenna viene fatta scorrere sulla superficie da investigare in modo da seguire degli allineamenti sul terreno per ognuno dei quali viene immagazzinato nell'unità centrale un profilo radar che rappresenta in sezione il terreno sottostante, visibile su un monitor al tempo stesso dell'acquisizione.

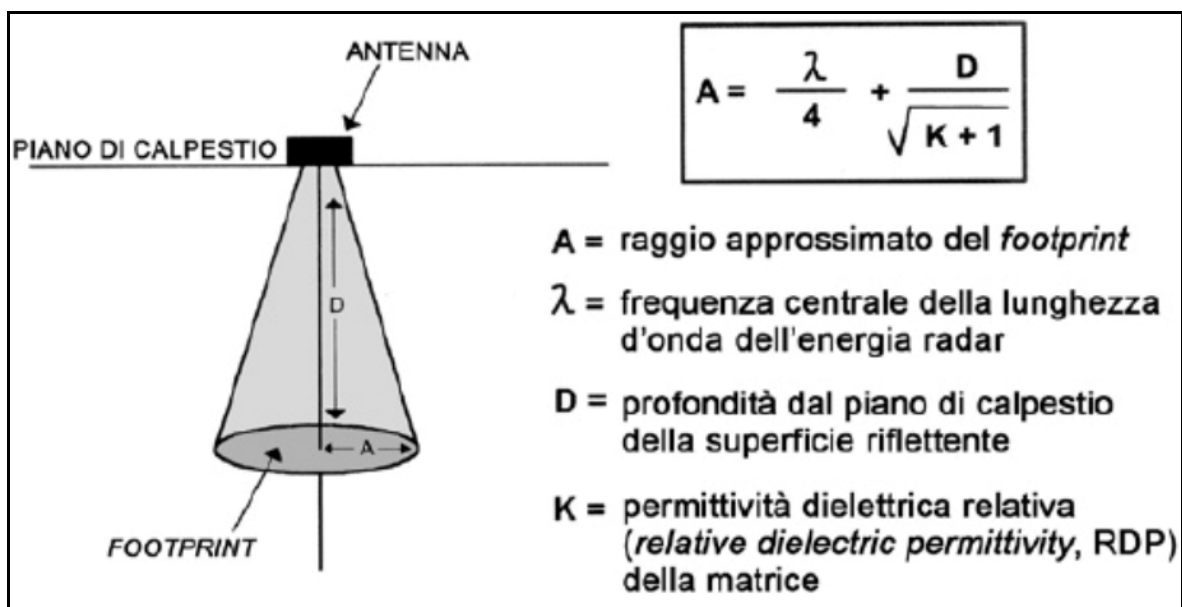


Figura 2. Le onde GPR prodotte da un'antenna standard irradiano energia radar nel terreno attraverso un cono ellittico il cui apice è al centro dell'antenna trasmittente. Questo cono ellittico di trasmissione è generalmente allungato e parallelo alla direzione di moto dell'antenna lungo la superficie del terreno.

Nello specifico, il profilo radar corrisponde a una sezione di tempi radar, poiché lo strumento misura il tempo in andata e ritorno impiegato da ciascun impulso per andare dall'antenna trasmittente al target sepolto e ritornare al ricevitore. La grandezza fisica che maggiormente influenza le onde elettro-magnetiche è la permittività dielettrica, che è la capacità di un materiale di immagazzinare e poi restituire energia elettromagnetica quando ad esso è applicato un campo elettro-magnetico, e da cui dipende la velocità di propagazione degli impulsi elettro-magnetici nei mezzi attraversati.

La profondità cui l'energia elettromagnetica può penetrare e la risoluzione che ci si può aspettare nel sottosuolo sono parzialmente controllati dalla frequenza centrale del pacchetto d'onde radar trasmesso. La banda di frequenza delle antenne normalmente utilizzate varia da circa 10 MHz a 2000 MHz. Nel metodo GPR le antenne radar sono spostate sul terreno ed è possibile acquisire in continuo (Time mode) o in distanza (Distance mode): nel primo caso il sistema emette e riceve continuamente gli impulsi radar, nel secondo invece il sistema è capace di trasformare la velocità di trascinamento dell'antenna in distanze lineari. In entrambi i modi si ottengono profili bidimensionali che contengono un gran numero di riflessioni.

In generale i sistemi GPR usano antenne a dipolo che hanno una larghezza di banda di due ottave, ciò significa che le frequenze variano tra $\frac{1}{2}$ e 2 volte la frequenza dominante.

Nella nostra prospezione è stata utilizzata una antenna Radar con frequenza di 270 MHz di centro banda (Figura 3); la larghezza della banda varia da circa 135 a 540 MHz. Tali frequenze permettono di ispezionare il sottosuolo tra circa 0 e 6 m di profondità. L'acquisizione è avvenuta in modalità "Distance mode".

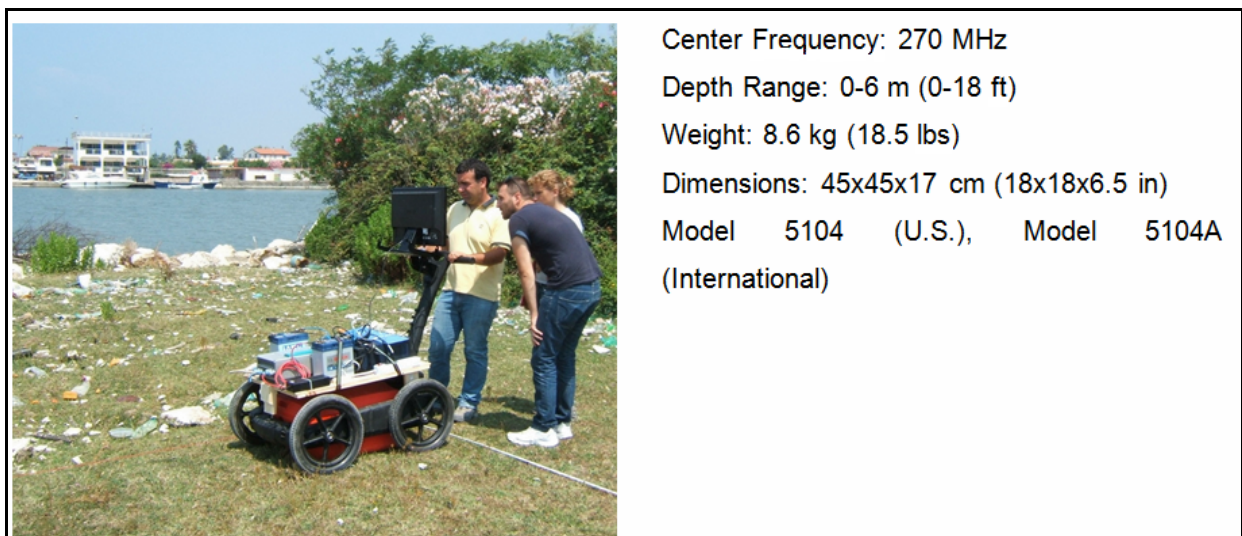


Figura 3. L'antenna monostatica utilizzata per l'acquisizione dei profili GPR.

In generale, più è grande la profondità necessaria per l'investigazione, più è bassa la frequenza dell'antenna che dovrebbe essere utilizzata, ma ciò comporta una risoluzione minore. Esiste quindi una sorta di proporzionalità inversa tra la profondità di penetrazione e la risoluzione.

Inoltre, la profondità di penetrazione e la risoluzione sono molto variabili e dipendono da molti fattori come la composizione del terreno di copertura, la porosità e la quantità di umidità trattenuta.

Il sistema GPR può essere suddiviso in quattro unità principali:

1. Unità di controllo;
2. Unità di visualizzazione;
3. Unità di trasmissione;
4. Unità di ricezione.

L'unità di controllo è costituita dal processore TerraSirch3000[®] della GSSI (Figura 4). Tale dispositivo permette di impostare manualmente i parametri di base prima di iniziare il lavoro, quali: Time window, Sample per scan, Numero di Scan/Unità, Gain function, Filtri, Stacking. Lo strumento, produce un impulso elettrico ad alto voltaggio che viene inviato, via cavo, all'antenna trasmittente che amplifica il voltaggio e forma l'impulso che è poi emesso dall'antenna.

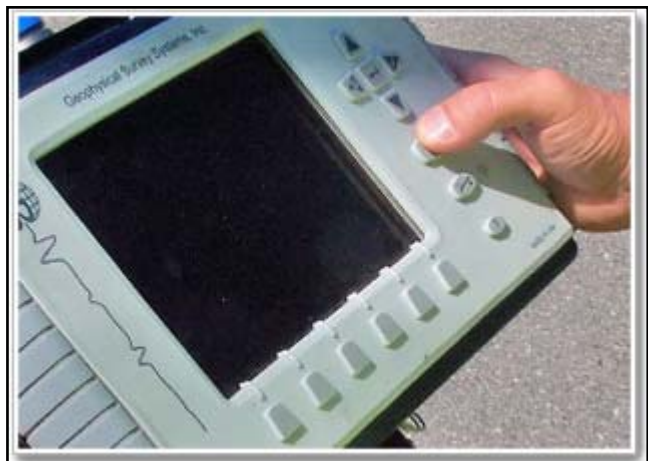


Figura 4. Unità di visualizzazione.

Nella tabella seguente vengono riportati i principali parametri d'acquisizione.

Scala orizzontale	Parametri
Scans / sec	93.00
Scans / Unit (m)	40.00
Unit/Mark (m)	2.00
Scala Verticale	Parametri
Samps / Scan	2048
Bits / Sample	32
Costante Dielettrica	8

Tabella 2: principali parametri d'acquisizione

L'unità di visualizzazione, è la parte del sistema georadar che oltre la possibilità di vedere in real-time le riflessioni GPR (Figura 5) e di configurare i parametri necessari per la visualizzazione delle tracce registrate (es: color scan e wiggle-trace). In questo modo è stato possibile gestire i parametri d'acquisizione e valutare interattivamente la qualità dei dati acquisiti.

Le unità di trasmissione e ricezione sono costituite da antenne, che possono operare in modalità monostatica e bistatica. Un'antenna standard a dipolo consiste di una sottile lamina di rame a forma



Figura 5. Registrazione delle riflessioni GPR su monitor

di arco annodato che irradia impulsi elettromagnetici nel terreno. L'energia è applicata attraverso impulsi al centro dell'arco. La corrente elettrica applicata viaggia avanti e indietro dal centro dell'antenna ai lati della lamina di rame creando un campo elettromagnetico. Questa energia radar è poi irradiata dal centro dell'antenna verso il basso dove avviene l'accoppiamento con il terreno. Le antenne radar sono connesse all'unità di controllo da un cavo in maniera tale che l'energia intercettata dall'antenna ricevente sia registrata in forma digitale.

3. ELABORAZIONE DEI DATI

L'area di studio è stata investigata mediante 21 profili radar con lunghezze variabili da circa 90 m fino ad un massimo di circa 250 m per un totale di 4152.5 m lineari di indagini.

L'elaborazione dei dati GPR è stata eseguita secondo la sequenza:

- *Correzione orientamento e assegnazione coordinate ai profili.* Inserimento delle coordinate per dare la giusta direzione e posizione dei radargrammi.
- *Move Start Time.* Individuazione dell'istante zero: tempo in cui l'onda incontra la superficie del terreno ed eliminazione dell'onda in aria.
- *Dewow:* rimozione dei segnali a bassa frequenza indotti dal sistema GPR;
- *Background Removal.* Filtro 2D per la soppressione dei segnali orizzontali ed enfattizzazione di quelli iperbolici, che rappresentano punti di discontinuità.

- *Linear Gain e Smoothed Gain*. Enfaticizzazione dei segnali a bassa ampiezza rispetto quelli di maggiore ampiezza.
- *Band Pass Frequency*. Filtro 1D centrato sulla frequenza di picco per la soppressione del rumore con diverso contenuto di frequenza.
- *Analisi delle Iperboli*. Calcolo della velocità di propagazione e visualizzazione dei radargrammi in funzione della profondità.
- *Deconvoluzione Spiking e/o predittiva*. Aumento del contenuto in frequenza (e conseguentemente la risoluzione verticale) del segnale ed attenuazione delle riverberazioni e delle multiple, a favore degli eventi riflessi primari.

I radargrammi acquisiti sono stati valutati, in una prima fase, separatamente. Successivamente per poter ottenere una più precisa determinazione della natura e della geometria del substrato, è stato creato un modello 3D del sottosuolo.

4. ANALISI DEI DATI E RICOSTRUZIONE 3D.

La zona di interesse dove è stata effettuata la campagna di prospezione georadar, sita a Castel Volturno (CE), in prossimità di Via Parco a Mare, ha una estensione di circa 0,042 Km² (Figura 6)



Figura 6: Delimitazione dell'area investigata.

I profili sono stati eseguiti parallelamente all'asta fluviale del fiume Volturno con andamento di acquisizione alternato (Figura 7). I 21 profili georadar sono stati interdistanziati tra loro 10 metri.

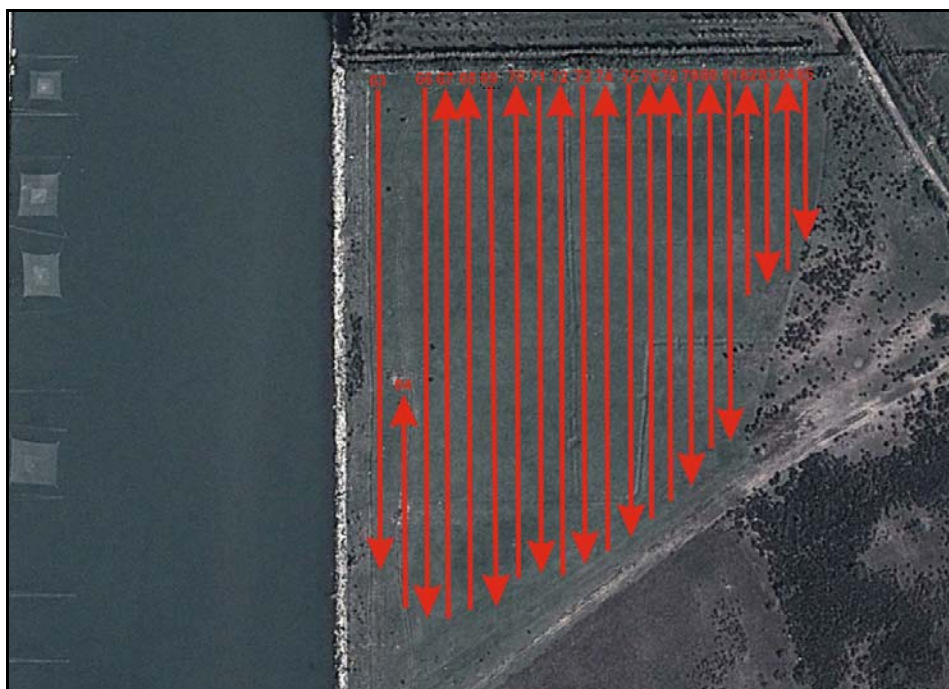


Figura 7: Rappresentazione dell'andamento dei 21 profili georadar.

Le sezioni georadar forniscono informazioni utili entro i primi 5 m di profondità (Figura 8).

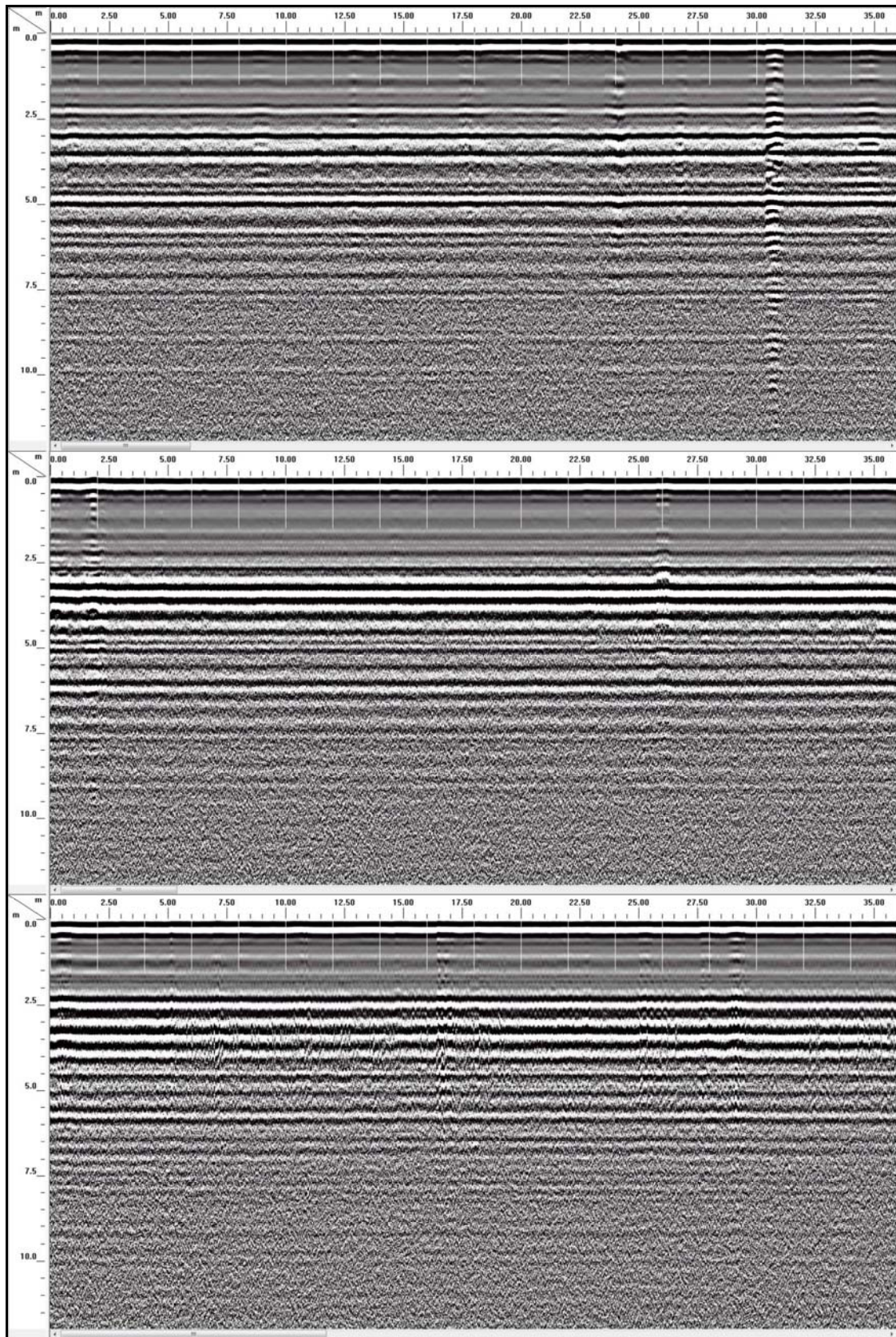


Figura 8. Esempio di tratti (non processati) di differenti profili GPR.

Dall'analisi comparata di tutti i profili acquisiti, è stato possibile distinguere a grandi linee tre facies radar (Figura 9).

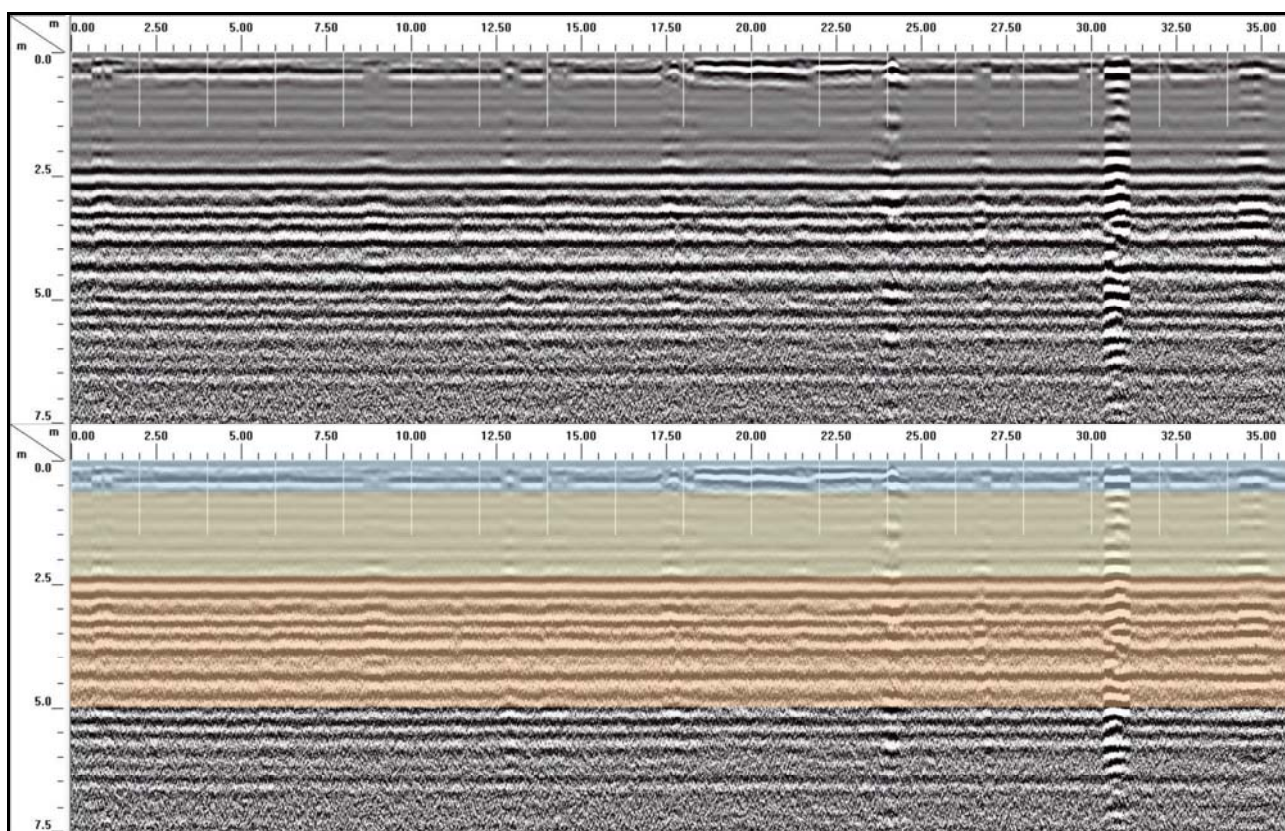


Figura 9. Individuazione sui radargrammi di tre principali facies georadar

Ogni sezione georadar, limitatamente entro 1-1,5 metri di profondità, inizia con una doppietta di riflettori ben marcati e continui caratterizzati in alcuni punti, a causa delle irregolarità topografiche, dalla presenza di piccole diffrazioni

Una seconda facies trasparente si colloca tra 1,5-3 metri di profondità.

La terza facies è molto riflettiva, caratterizzata da riflettori paralleli con ampiezza e continuità elevate. Quest'ultima unità radar si estende fino a circa 5 metri di profondità (limite della risoluzione dello strumento); al di sotto di queste profondità, le sezioni georadar sono caratterizzate da deboli riflessioni e sono pervase da "noise" ad alta frequenza.

Dall'interpretazione dei dati ottenuti dalla campagna d'indagini e dall'analisi della natura dei terreni del sottosuolo, è possibile schematizzare la seguente sequenza stratigrafica (tutta riconducibile a processi deposizionali del Fiume Volturno):

- Profondità 0-1,5 metri: terreno vegetale;
- Profondità 1,5-2,5/3 metri: limi argillosi;

- Profondità 3-5 metri: Sabbie debolmente limose (poco addensate).

Quest'ultima unità è sede della prima falda freatica. Tale falda, connessa con l'asta drenante del Fiume Volturno, è quindi estremamente superficiale; è stato rilevato, infatti, che durante i periodi invernali di forti piogge, la superficie piezometrica viene riportata a livelli prossimi al piano campagna. Alcuni radargrammi, infatti, a circa 3 m di profondità (Figura 10), presentano una riflessione prominente oltre cui si verifica una sostanziale attenuazione del segnale: tale interfaccia è probabilmente legata alla presenza della falda in sottosuolo. Al di sotto di tale interfaccia si rileva una forte diminuzione dell'ampiezza del segnale spiegabile con l'alta conduttività elettrica della falda, che dissipa velocemente l'energia elettromagnetica prima che questa possa essere riflessa indietro all'antenna ricevente.

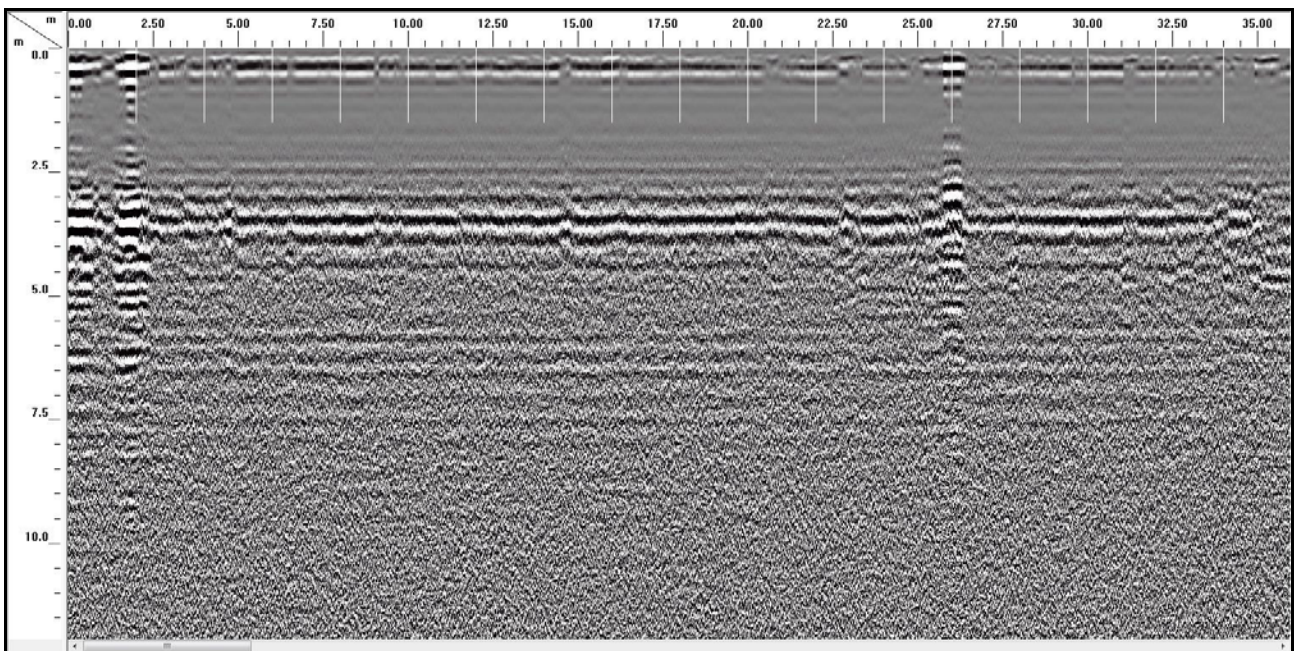


Figura 10. Individuazione a circa 3 metri di profondità della superficie piezometrica.

L'analisi 3D (Figura 11) ha mostrato che i riflettori presentano una configurazione piano-parallela; la presenza di unità omogenee, caratterizzate dall'assenza sia di strutture caotiche che di rilevanti anomalie iperboliche, dimostra che l'area analizzata risulta tettonicamente tranquilla; nel limite della risoluzione dell'indagine georadar, infatti, non sono state riscontrate grandi disuniformità dei terreni.

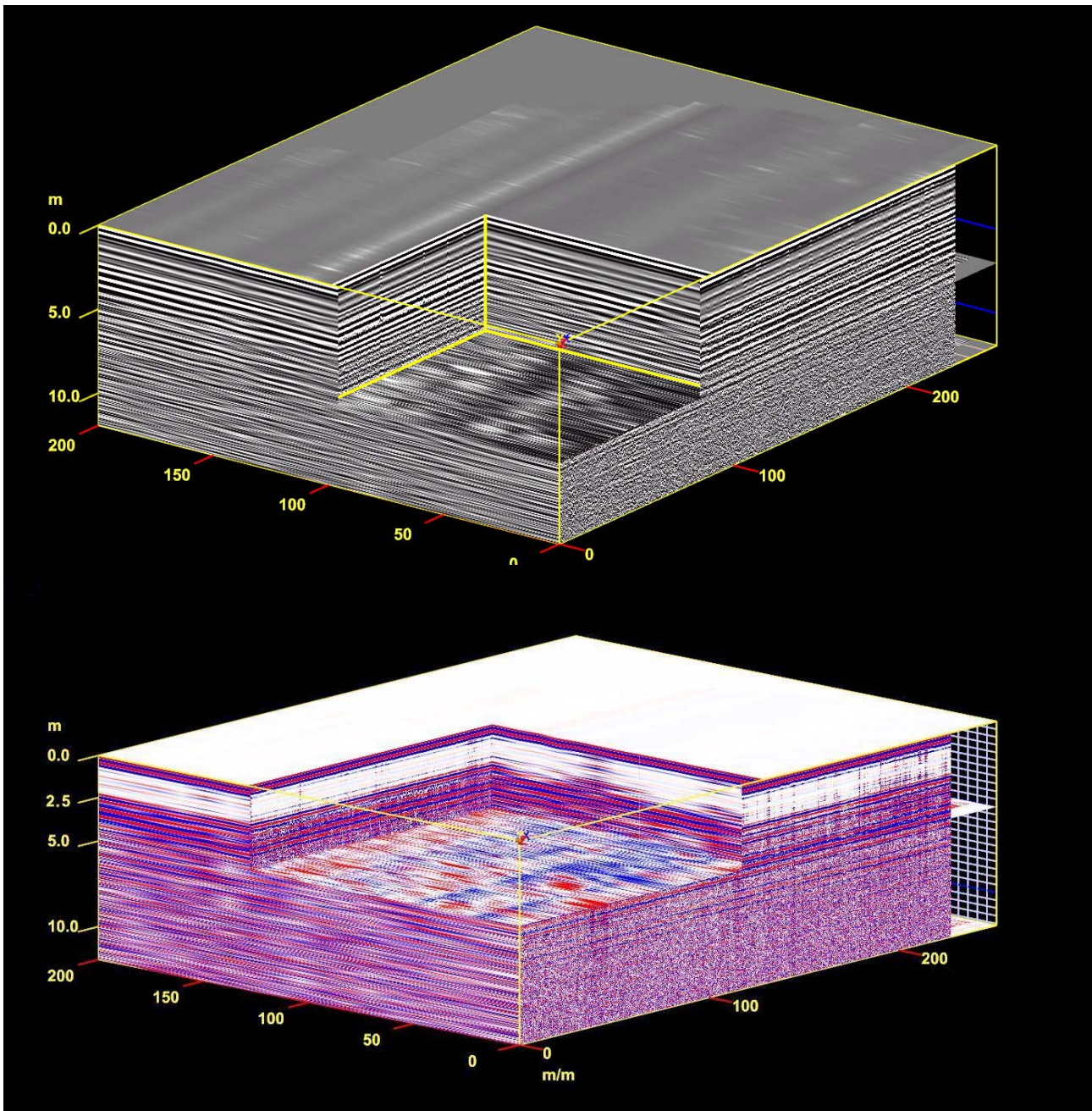


Figura 11: Rappresentazione GPR 3D dell'area investigata

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.

Bibliografia

Davis J.L., Annan A.P. (1989). Ground penetrating radar for high resolution mapping of soil and rock stratigraphy: *Geophysical Prospecting*, 37: 531-551.