



MARS-3D (MARINE REFLECTION SEISMIC THROUGH ENHANCED 3D)

PROCEDURA PER L'USO DELLA METODOLOGIA

Giovanni Scicchitano, Giovanni Scardino

Università degli Studi di Bari Aldo Moro



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



ISPR
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



CNR
Consiglio Nazionale
per la Ricerca Scientifica

Sommario

1. INTRODUZIONE	3
2. PROCEDURA MaRS-3D.....	4
1.2 SOFTWARE UTILIZZATI	7

1. INTRODUZIONE

Le tecniche sismiche marine trovano vaste applicazioni in diversi settori, tra cui l'esplorazione di petrolio e gas, l'attività mineraria, il monitoraggio ambientale e la ricerca geologica. Nonostante questo, il prodotto principale della maggior parte delle prospezioni sismiche marine è ancora rappresentato da profili 2D. L'iniziativa MaRS-3D ha affrontato questo limite attraverso lo sviluppo di procedure in grado di ricostruire un modello 3D da linee sismiche 2D eterogenee.

Gli ambienti marini poco profondi, naturali o artificiali, tra cui aree costiere, porti, foci dei fiumi, laghi e lagune, rappresentano zone economicamente rilevanti che subiscono generalmente pressioni di natura antropica. Di conseguenza, tali aree richiedono un monitoraggio regolare per affrontare crisi ambientali derivanti sia da attività umane sia da processi naturali. Questi ambienti preservano spesso *record* stratigrafici continui e ben conservati che offrono informazioni preziose su processi geologici quali movimenti lungo faglie attive, frane sottomarine e instabilità gravitativa. Inoltre, forniscono dati su fattori preparatori e innescanti di pericoli naturali che lasciano segni distintivi nei depositi sedimentari.

Le prospezioni di sismica marina a riflessione offrono vantaggi rispetto a quelle eseguite a terra, in particolare un accoppiamento efficace tra la sorgente sismica e il mezzo acquoso (o saturato d'acqua), che migliora la qualità dell'*imaging* acustico. I recenti progressi nella robotica marina, inclusi veicoli a comando remoto e veicoli autonomi di superficie, offrono opportunità interessanti e facilitano l'acquisizione e l'analisi multidimensionale/multiparametrica dei dati geofisici marini.

Le sorgenti sismiche a riflessione si dimostrano particolarmente efficaci per studi geologici in acque poco profonde. Il segnale a modulazione di frequenza, altamente ripetibile, generato da questi sistemi consente una stima precisa della riflettività del fondale, offrendo indicazioni sulle sue proprietà geologiche. Inoltre, sfruttando i vantaggi delle acque basse e la ridotta distanza tra le linee d'indagine – anche acquisite mediante veicoli autonomi – è possibile applicare con successo algoritmi pseudo-3D. Queste tecniche consentono di determinare efficacemente le variazioni laterali delle *facies* acustiche delle unità sismostratigrafiche. Tutti i parametri acustici derivati da tali dati possono essere utilizzati per creare mappe tematiche, sotto forma di rappresentazioni 2D, pseudo-3D, 3D o persino 4D (ripetute nel tempo) delle proprietà e dei processi geologici dell'area di studio.

Con MaRS-3D è stata testata una consolidata tecnica pseudo-3D al fine di definire una procedura specifica da implementare con lo sviluppo di un algoritmo per la definizione di volumi sismici.

La fase di test è stata svolta su dati sismici monicanale precedentemente acquisiti con l'obiettivo di: i) affinare tecniche per costruire una griglia pseudo-3D, ii) campionare la griglia (*time-slice*) per generare mappe di ampiezza e riflettività sismica. Tali mappe rappresentano strumenti fondamentali per dedurre le proprietà geologiche e interpretare i processi del sottosuolo.

La procedura sarà in futuro utilizzata per analizzare nuovi dati sismici multicanale acquisiti lungo le coste ionica e adriatica della Puglia e verrà sviluppato un algoritmo per estrarre automaticamente volumi dalle sezioni *time-sliced* prodotte.

2. PROCEDURA MaRS-3D

La procedura, basata su software liberamente disponibili, è stata testata su un profilo sismico a riflessione di riferimento acquisito con uno *sparker* lungo i Dardanelli, un tratto di mare stretto situato nella Turchia nord-occidentale.

I dati sono stati processati con SeisPrho seguendo i seguenti passaggi:

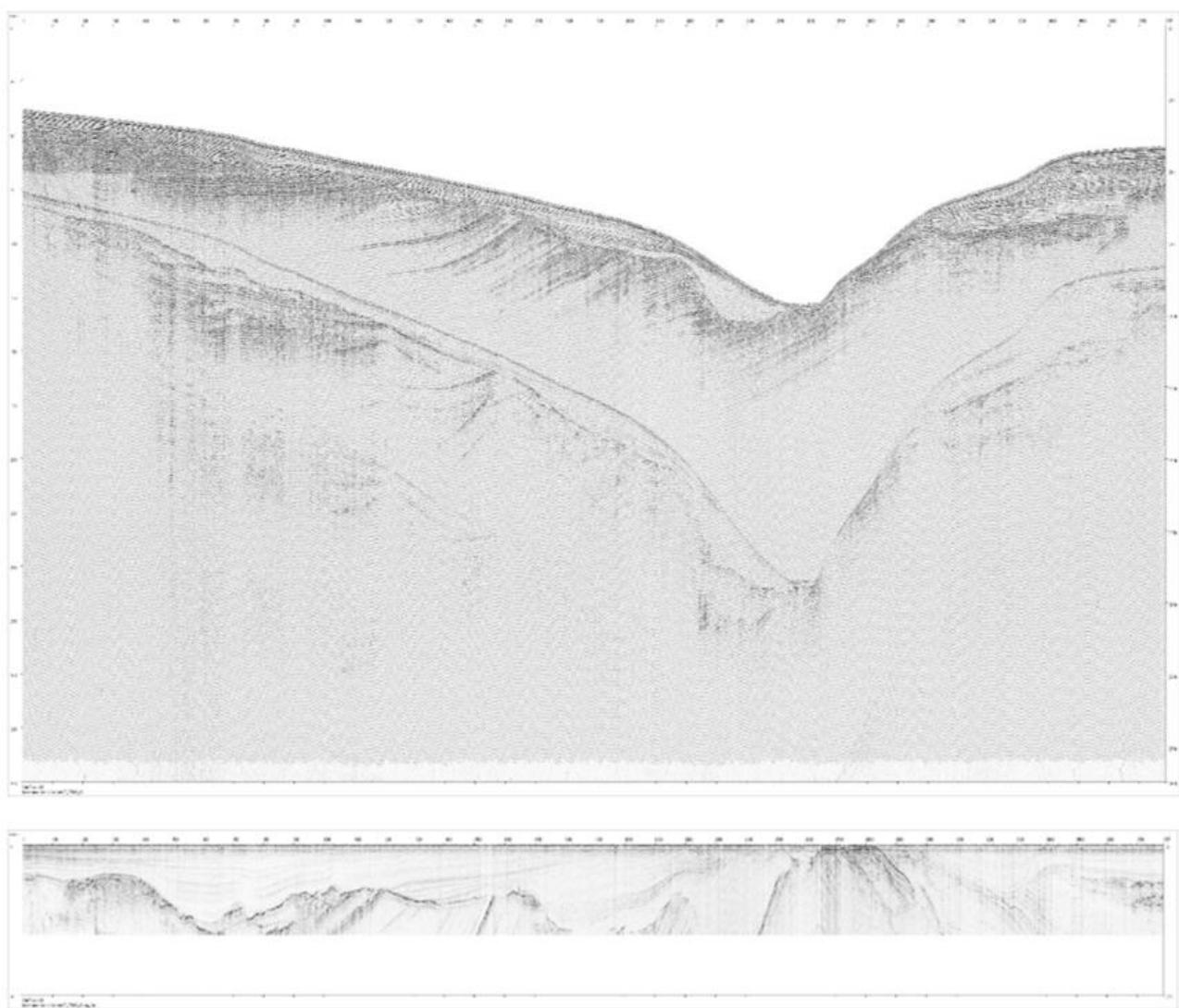
1. **Pre-processing (fase 1):** correzioni statiche, *gain normalization*, correzione della divergenza sferica e *band-pass filtering*.
2. **Aampiezza sismica (fase 2):** ricostruzione delle ampiezze del segnale sismico mediante *envelope inversion*.
3. **Sezione sismica flattened (fase 3):** rimozione delle strutture inclinate dai dati sismici e compilazione di una versione *flattened* della sezione in formato SEGY.
4. **Time slice (fase 4):** campionamento del file SEGY (*flattened*) utilizzando la funzione Time Slice di SeisPrho, che consente l'integrazione delle ampiezze sismiche al quadrato (proporzionali all'energia delle riflessioni) all'interno di diverse *time window* definite sulla base della stratigrafia locale.
5. **Riflettività pseudo-3D:** valutazione delle sezioni pseudo-3D di riflettività nel *software S-GeM*.

La **fase 1 (pre-processing)** riguarda la preparazione dei dati sismici grezzi per l'analisi, attraverso operazioni di pulizia e correzione delle distorsioni.

- **Correzioni statiche:** compensano gli effetti delle variazioni topografiche e degli strati superficiali a bassa velocità nella colonna d'acqua. Allineano i segnali sismici a un livello di riferimento comune, garantendo che le differenze nei tempi rappresentino profondità e strutture reali invece della sola topografia superficiale.
- **Gain normalization:** applica un'amplificazione variabile nel tempo alle tracce sismiche, bilanciando l'ampiezza del segnale, poiché le riflessioni più profonde sono naturalmente più deboli di quelle superficiali a causa della perdita d'energia durante la propagazione dell'impulso acustico.
- **Correzione della divergenza sferica:** un particolare tipo di *gain correction* che compensa la naturale dispersione del fronte d'onda (analogo all'espansione delle onde concentriche in uno stagno).
- **Band-pass filtering:** rimuove rumore indesiderato ad alta frequenza (es. *random electronic noise*) e a bassa frequenza (es. *rolling ground swell*). Isola l'intervallo di frequenze che contiene il segnale geologico utile, migliorando l'intensità del segnale.

La **fase 2 (Aampiezza sismica)** rappresenta un passo più avanzato e quantitativo, che va oltre il semplice *imaging* per estrarre specifiche proprietà fisiche dai dati. Questa tecnica utilizza l'inviluppo sismico (una curva smussata che segue l'energia complessiva del segnale) per stimare l'impedenza acustica originaria degli strati. L'impedenza acustica è una proprietà chiave che determina la quantità di energia riflessa a un'interfaccia geologica. Il processo costituisce un'inversione, poiché lavora "al contrario": parte dalla risposta sismica misurata (l'inviluppo) per inferire matematicamente l'impedenza che l'ha generata.

Dopo aver ricostruito le ampiezze del segnale sismico tramite inversione dell’inviluppo, nella **fase 3 (Sezione sismica flattened)** abbiamo rimosso le strutture inclinate dai dati sismici, in modo analogo al metodo per le correzioni statiche residue automatiche. Ciò è avvenuto mediante la creazione di una versione *flattened* delle sezioni sismiche utilizzando una funzione dedicata del *software* SeisPrho. Le versioni *flattened* sono ottenute applicando un *time shifting* del fondale o di altri riflettori di interesse della sequenza sedimentaria determinati in precedenza tramite algoritmi di rilevamento o *picking* manuale, per generare nuove tracce in cui i tempi di questi riflettori risultano allineati a un livello di riferimento orizzontale (0 ms nel nostro caso, [Figura 1](#)).



[Figura 1- in alto: profilo sismico utilizzato in fase di test; in basso: versione flattened dello stesso profilo.](#)

Nella **fase 4 (Time slice)**, il file SEGY *flattened* creato è successivamente campionato tramite la funzione *Time Slice* disponibile in SeisPrho, che consente l’integrazione delle *squared seismic amplitudes* (proporzionali all’energia delle riflessioni) all’interno di *time windows* definite sulla base della stratigrafia locale ([Figura 2](#)). Questo *cumulative amplitude index*, calcolato per ogni

traccia, è stato considerato come una stima delle caratteristiche delle *facies* sismiche e del grado di coerenza laterale del riflettore selezionato.

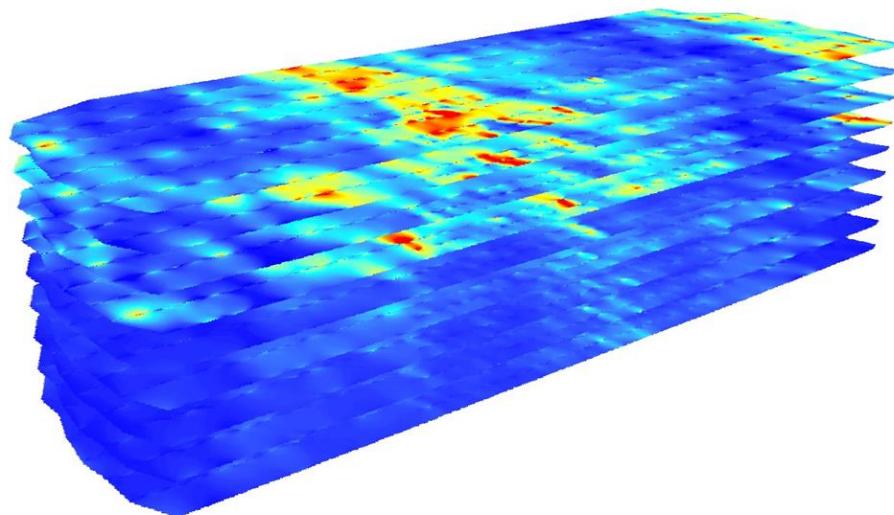


Figura 2 - Time slice della linea sismica.

A partire dal *Time Slice* (Figura 3) sono stati estratti e processati i punti tramite un algoritmo specifico di S-GeM per ricostruire il volume nella **fase 5 (Riflettività pseudo-3D)**.

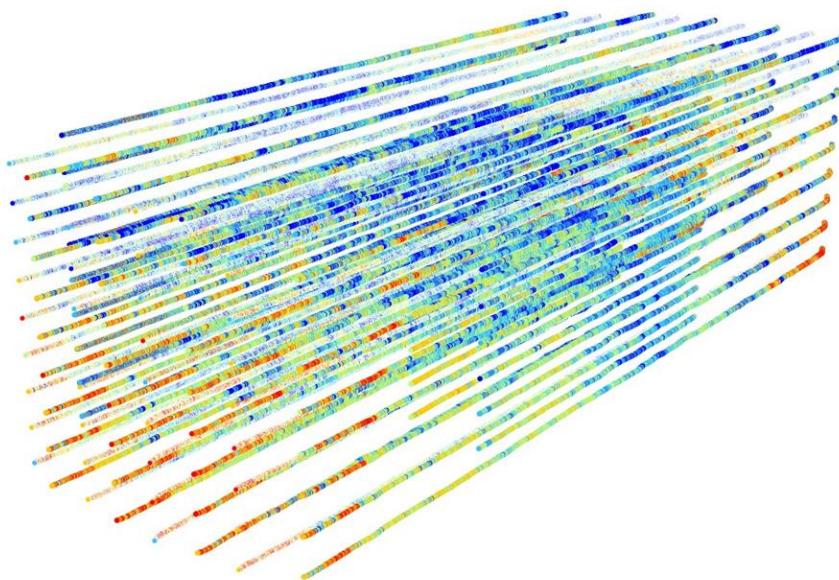


Figura 3 - Punti estratti dal Time slice.

Il risultato finale dell'algoritmo consiste in un insieme di sezioni pseudo-3D. Queste sono generate mediante interpolazione nel *software* S-GeM, al fine di stimare il volume dei diversi materiali riflettenti (Figura 4).

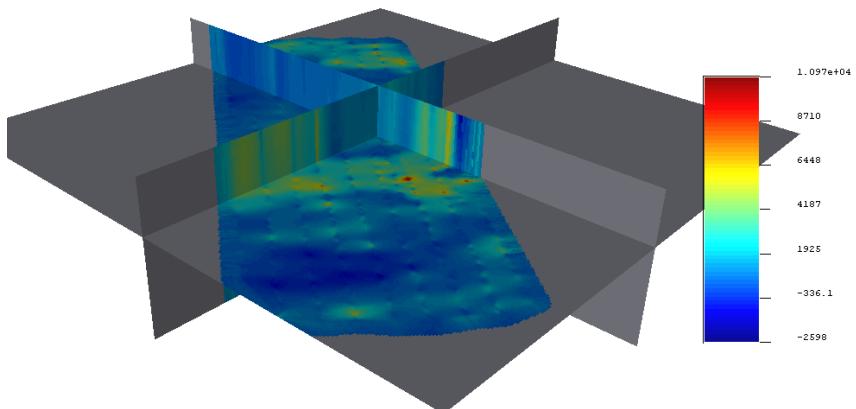


Figura 4 - Sezioni pseudo-3D estratte dal Time slice, rappresentative della distribuzione di riflettività.

1.2 SOFTWARE UTILIZZATI

SeisPrho è un software per il processing e l'interpretazione di profili sismici ad alta risoluzione, distribuito per scopi non commerciali da ISMAR-CNR. <http://software.bo.ismar.cnr.it/seisprho>

S-GeMS è un software per la modellazione geostatistica 3D. <http://sgems.sourceforge.net>