

Consiglio Nazionale delle Ricerche

ISMAR - Istituto di Scienze Marine

Sede Secondaria di Bologna
Via P. Gobetti, 101 – 40129 Bologna, Italy
Tel +39 051 6398891 Fax +39 051 6398939
segreteria@bo.ismar.cnr.it - protocollo.ismar@pec.cnr.it
www.ismar.cnr.it

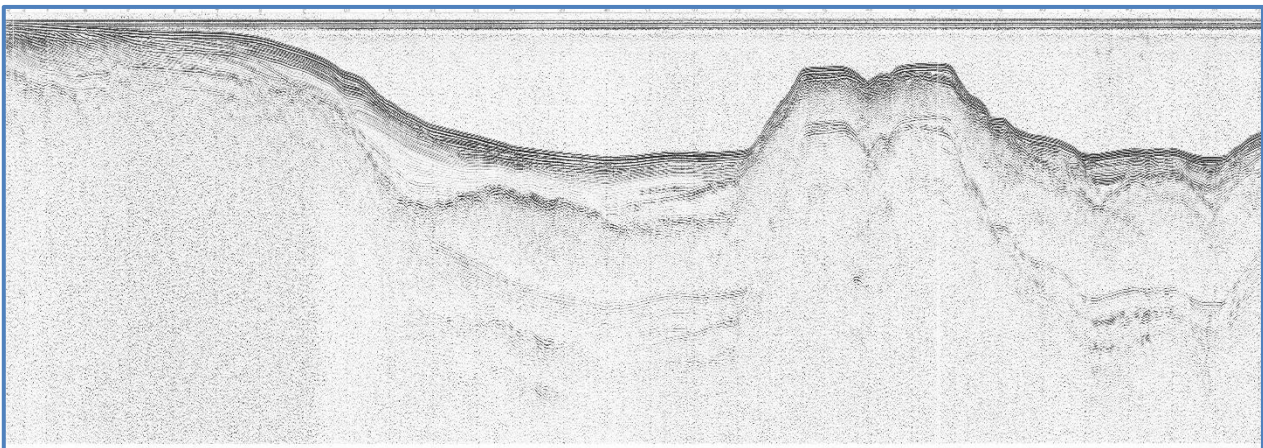


Rapporto Tecnico

“PRESERVAZIONE DEL DATO SISMICO: DAL “VINTAGE” CARTACEO AL DIGITALE”

Valentina Ferrante*, M. Filomena Loreto*, Marzia Rovere*

*Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Scienze Marine (ISMAR) di Bologna



Sommario

STATO DELL'ARTE E SCOPO DEL LAVORO.....	3
SOFTWARE UTILIZZATI.....	4
ORGANIZZAZIONE DEL LAVORO	5
FASE ESPLORATIVA.....	5
RECUPERO, CATALOGAZIONE E SCANSIONE SEZIONI CARTACEE E SU LUCIDO	5
CONTROLLO DI QUALITA' DEI DATI CARTACEI E DI POSIZIONAMENTO	6
FASE OPERATIVA.....	8
<i>EDITING</i> DELLE IMMAGINI.....	8
CREAZIONE DI FILES DI TESTO PER LA GEOREFERENZIAZIONE E CONVERSIONE IN FORMATO SEGYY.....	12
CONVERSIONE TIFF-SEGY	15
CONTROLLO DI QUALITA' DEI DATI SEGYY	16
PRODOTTI FINALI.....	18
BIBLIOGRAFIA	18
INDICE DEGLI ALLEGATI	19

STATO DELL'ARTE E SCOPO DEL LAVORO

Nell'ambito del Progetto Finalizzato "Oceanografia e Fondi Marini" finanziato dal CNR furono condotte, a partire dagli anni '70, numerose campagne oceanografiche dedicate all'acquisizione di dati geofisici con l'obiettivo di studiare i mari che circondano il territorio Italiano ed in particolare le relazioni tra tettonica e sedimentazione osservate sul fondale marino e in profondità.

Le campagne oceanografiche vennero effettuate con la Nave "Bannock", un rimorchiatore oceanico della US Navy varato nel 1943, che aveva partecipato allo sbarco in Normandia e che nel 1962 fu ceduto in uso dal governo degli Stati Uniti d'America al CNR. Riconvertita a scopi di ricerca la "Bannock" fu protagonista di una lunga e prestigiosa serie di crociere e campagne oceanografiche fino al 2001.

Le tecnologie disponibili a quel tempo permisero l'acquisizione dei dati esclusivamente in formato analogico. I dati registrati venivano stampati in tempo reale su carta termica con un plotter collegato direttamente al sistema di acquisizione. Contemporaneamente il posizionamento, stimato mediante un sistema di radio navigazione del tipo LORAN C, veniva di volta in volta riportato manualmente su apposite schede cartacee per poi produrre manualmente delle carte di posizionamento.

I dati raccolti consistono di circa 46000 km di profili sismici a riflessione monocanale, in formato cartaceo, ottenuti utilizzando sorgenti di tipo SPARKER. Si tratta di sezioni bidimensionali "tempo /lunghezza" che permettono di visualizzare porzioni del sottosuolo, approssimabili a sezioni geologiche, fino ad alcuni chilometri al di sotto del fondale marino.

Con il passare del tempo però questi dati hanno subito, e subiscono tutt'ora, un inevitabile e progressivo deterioramento legato all'invecchiamento della carta ma anche alla poca manutenzione di un archivio di grandi dimensioni. Solo recentemente, vista la diffusione delle "buone pratiche" dedicate alla preservazione dei dati *vintage*, ci si è resi conto che tutti questi profili sismici rappresentano un enorme patrimonio per gli studiosi di geologia marina, non solo perché permettono di ottenere una visione a scala regionale delle strutture tettoniche e sedimentarie dei nostri mari ma anche perché recentemente le prospezioni geofisiche a mare sono diventate complesse da programmare e difficili da realizzare in quanto soggette ad una serie di vincoli ambientali.

Questo patrimonio, acquisito con fondi pubblici, deve essere salvaguardato, diffuso e soprattutto reso fruibile a tutta la comunità scientifica. Ciò può essere fatto solo avvalendosi delle nuove tecnologie che permettono di creare archivi digitali e portali WebGIS per una rapida consultazione e diffusione.

L'obiettivo di questo lavoro è stato quello non solo di creare un archivio digitale in cui siano conservate le copie in formato *raster* dei profili sismici cartacei, ma anche trasformare queste immagini in sezioni sismiche digitali convertendole nel formato standard SEG-Y, definito dalla Society of Exploration Geophysicists (SEG), per la scrittura di dati sismici a riflessione.

Ciò ne permetterà una più ampia diffusione ed una rapida consultazione. Inoltre la possibilità di effettuare un *reprocessing* del dato sismico, anche se parziale, contribuirà ad una migliore definizione delle conoscenze geologiche dei nostri mari.

SOFTWARE UTILIZZATI

GIMP (GNU Image Manipulation Program): è un software gratuito e “*open source*” che permette l’elaborazione digitale delle immagini (<https://www.gimp.org/>) e supporta l’importazione e l’esportazione di un gran numero di formati di file differenti. Il formato scelto per la digitalizzazione dei profili cartacei è il formato TIFF (*Tagged Image File Format*) largamente utilizzato per lo scambio di immagini *raster* fra stampanti e scanner e permette di rappresentare immagini con diverse scale di colore tra cui scale di grigio. Questo software è stato utilizzato per l’editing delle immagini scansionate.

PROJ: è un software gratuito e “*open source*” che permette di trasformare le coordinate da un sistema di riferimento ad un altro includendo proiezioni cartografiche e trasformazioni geodetiche (<https://proj.org/>). Il software dispone di applicazioni da linea di comando che permettono di trasformare facilmente le coordinate contenute in un file di testo. Ad esempio l’applicazione **cs2cs** è stata utilizzata per trasformare le coordinate geografiche WGS84 del posizionamento nella proiezione UTM33-WGS84.

GLOBAL MAPPER: è un software GIS sviluppato dalla Blue Marble Geographics che permette di utilizzare contemporaneamente immagini *raster*, dati vettoriali, mappe topografiche e dati altimetrici del terreno in formato griglia. Oltre ad una rapida visualizzazione dei dati include anche alcune importanti funzionalità tra cui la georeferenziazione di immagini *raster*, la consultazione di dati altimetrici, il calcolo del profilo longitudinale tra punti assegnati, l’editing di linee di posizionamento, il calcolo della distanza tra due o più punti e la conversione di coordinate da un sistema di riferimento ad un altro. Grazie a questo software è stato possibile effettuare il controllo di qualità sui dati di posizionamento delle linee *Sparker* oggetto di questo lavoro e ove necessario editarne le coordinate per correggere eventuali errori.

IMAGE2SEGY: è un software “*open source*” sviluppato da Marcel Farran (2008) e distribuito gratuitamente dal Dipartimento di Geologia Marina dell’istituto di Scienze del Mare (CSIC-ICM) Spagnolo (<http://www.icm.csic.es/gma/en/content/image2segy/>). Per poter utilizzare IMAGE2SEGY è stato necessario installare *MATLAB* e *SegyMAT* una applicazione libera di *MATLAB* sviluppata da Thomas M. Hansen (<http://segymat.sourceforge.net/>), necessaria per la conversione da TIFF a SEGY. Il programma è stato utilizzato per convertire immagini sismiche *raster*, derivanti dalla scansione dei vecchi dati cartacei, in file SEGY georeferenziati.

SEISSEE: è un software gratuito sviluppato da Sergey I. Pavlukhin (psi@dmng.ru) che permette di visualizzare velocemente dati sismici in formato SEGY. La visualizzazione può avvenire mediante diverse rappresentazioni (*variable area*, *variable density* o colore). È possibile applicare anche una blanda sequenza di elaborazione (guadagni lineari e/o filtri) per migliorare l’aspetto della sezione sismica. Questo software è stato utilizzato per verificare in modo veloce la qualità dei file generati da IMAGE2SEGY.

KINGDOM SUITE: è un software per l’interpretazione sismica e geologica in grado di importare dati in diversi formati tra cui SEGY, georeferenziati e non (<https://kingdom.ihs.com/>). Il vantaggio di questo programma è che permette di visualizzare contemporaneamente i dati sismici sia in pianta (ad esempio il posizionamento è riportato su una mappa di base) che attraverso sezioni verticali sulle quali è possibile eseguire una serie di operazioni tra cui il *picking* di orizzonti e/o faglie. Questo software è stato utilizzato per verificare la qualità dei file SEGY georeferenziati generati da IMAGE2SEGY.

ORGANIZZAZIONE DEL LAVORO

In accordo con i responsabili del Progetto, considerata la mole di lavoro prevista, si è deciso di dare la priorità ai dati acquisiti nel Canale di Sicilia e nel Mar Ionio (Figura 1) con l'obiettivo di determinare la procedura ottimale da applicare successivamente all'intero dataset.

Il lavoro ha previsto diverse fasi tra loro interconnesse che possono essere schematizzate nel modo seguente:

Fase Esplorativa: recupero, catalogazione e scansione dei profili cartacei.

Controllo di Qualità delle immagini sismiche e del loro posizionamento.

Fase Operativa: *Editing* delle immagini e del posizionamento, creazione di file di testo per la georeferenziazione e conversione, conversione finale delle immagini in formato SGY, verifica dei dati generati.

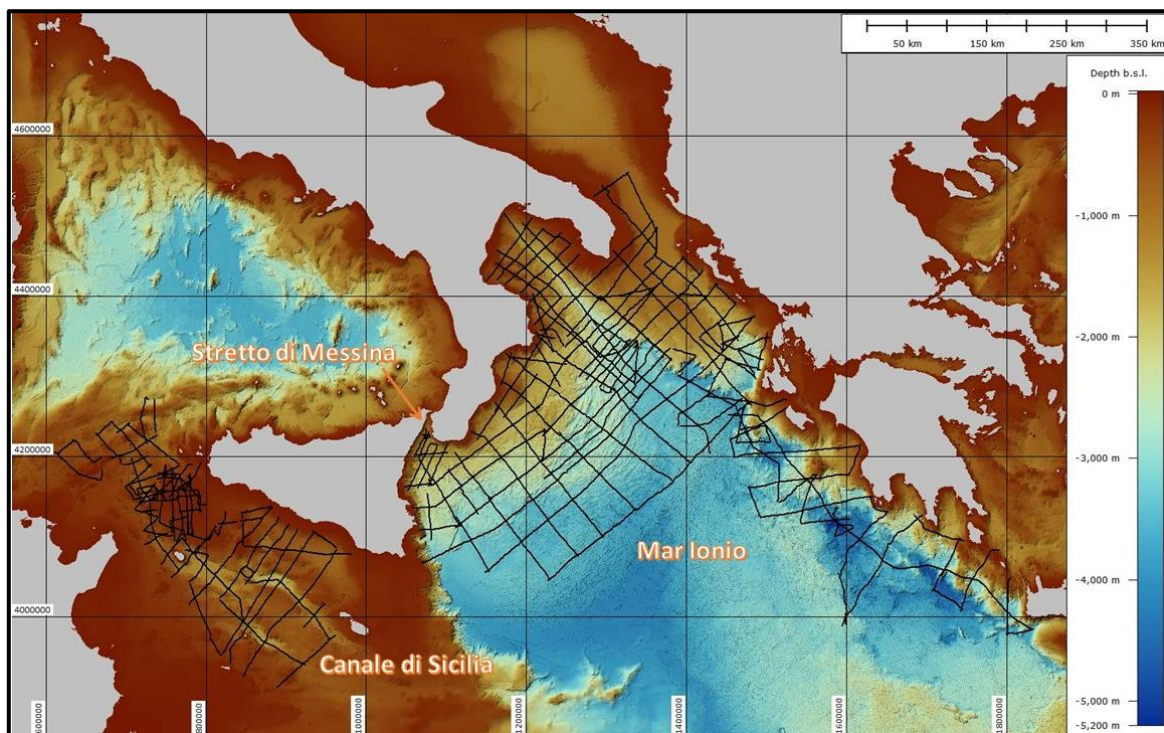


Figura 1: Ubicazione dei profili cartacei “Sparker” nel Canale di Sicilia, Stretto di Messina e Mar Ionio acquisiti nel corso delle campagne oceanografiche tra il 1971 ed il 1986.

FASE ESPLORATIVA

RECUPERO, CATALOGAZIONE E SCANSIONE SEZIONI CARTACEE E SU LUCIDO

La ricognizione puntuale delle sezioni è stata condotta nel primo mese di attività. Sono state recuperate un totale di 645 sezioni cartacee e lucidi che erano conservati in apposite cassettiere presso l'Istituto. Le sezioni sono state suddivise per campagna oceanografica (Tabella A1, A2 e A3) e mediante i dati bibliografici disponibili (Volumi delle Pubblicazioni dell'IGM dal 1973 al 1986) sono state ricavate le informazioni di carattere generale (nome della Campagna, anno di esecuzione, nave oceanografica utilizzata, responsabile scientifico e sistema di acquisizione).

Le sezioni cartacee ed i lucidi sono stati scansionati utilizzando uno scanner A0 Epson SC-T5200 e sono state generate delle immagini digitali in formato *raster* (TIFF) che possono essere considerate come una copia conforme all'originale del profilo analogico. La scansione è stata fatta scegliendo una risoluzione (360 dpi) che permettesse di distinguere in modo preciso le singole tracce sismiche del profilo. Inoltre, per rappresentare i valori positivi delle ondate sismiche, è stata scelta una scala di colori a 8-bit sulle tonalità del grigio. In questo modo l'immagine è stata trasformata in una matrice con valori

tra 0 e 255. Ai pixel bianchi dell'immagine (cioè i valori negativi delle ondine sismiche) viene assegnato il valore 0, pertanto, l'onda che costituirà ciascuna traccia sarà un'onda sinusoidale avente solo ampiezze positive i cui valori rappresentano il livello di grigio del *pixel* che le ha generate.

Contemporaneamente alla scansione è stata compilata una tabella in cui, per ogni campagna, sono state elencate le linee sismiche, inserite le informazioni di carattere generale quelle relative ai singoli profili come il numero di scoppi, la lunghezza di registrazione e il posizionamento.

Dalla catalogazione del materiale cartaceo, è emerso che nel dataset sono presenti alcune lacune: di alcuni profili scansionati non è stato trovato il relativo posizionamento e quindi non è stato possibile effettuare la conversione da TIFF a SEGY; di alcune linee, delle quali si dispone del posizionamento, manca il profilo cartaceo per cui non è stato possibile eseguire la scansione.

CONTROLLO DI QUALITÀ DEI DATI CARTACEI E DI POSIZIONAMENTO

La qualità dei dati cartacei è stata fortemente influenzata dal loro stato di conservazione. I profili sono stati suddivisi in due categorie: copie cartacee ben conservate e copie cartacee danneggiate. In questa ultima categoria ricadono tutti quei profili lacerati o con parti mancanti, profili fortuitamente riparati con nastro adesivo di cattiva qualità, profili sgualciti perché mal riposti nelle apposite scaffalature. La scansione delle copie danneggiate è stata particolarmente difficile le copie sono state maneggiate con estrema cura onde evitare un ulteriore deterioramento.

Particolare attenzione è stata posta al controllo di qualità del posizionamento per ottenere delle sezioni sismiche digitali correttamente georeferenziate, per quanto possibile e considerate le tecnologie dell'epoca. Infatti, sino agli inizi degli anni '90 i sistemi di geo-localizzazione non garantivano l'elevata precisione degli attuali sistemi GPS. Durante le campagne oceanografiche condotte a bordo della *Bannock*, il sistema di posizionamento LORAN C calcolava la posizione in funzione dei ritardi delle onde radio misurati a diversi ricevitori dei quali erano note le coordinate geografiche. I ritardi venivano trascritti manualmente sulle schede cartacee e convertiti in coordinate geografiche, procedura manuale che poteva portare ad errori dell'ordine delle centinaia di metri. Contemporaneamente, sul profilo cartaceo veniva riportato un numero progressivo (*fix*) al quale teoricamente dovevano corrispondere le coordinate calcolate. Con il passare del tempo le informazioni sulle schede sono state riportate in file di testo contenenti, per ciascuna linea, i valori della longitudine, latitudine ed il corrispondente numero di *fix*.

La verifica dei dati di posizionamento è stata fatta utilizzando il software Global Mapper e i dati di batimetria a media risoluzione resi disponibili gratuitamente dalla European Marine Observation and Data Network - EMODnet (<https://www.emodnet-bathymetry.eu/data-products>). Per ogni campagna di acquisizione è stato creato un progetto nel quale è stata importata una griglia batimetrica dell'intero Mar Mediterraneo con risoluzione di 115*115 m. Successivamente sono state importate le varie linee di navigazione e per ciascuna di esse è stato generato un profilo batimetrico (Figura 2). Il confronto tra i profili batimetrici e quelli sismici corrispondenti alla stessa navigazione ha messo in evidenza che in alcuni casi (ad esempio nel Canale di Sicilia) il posizionamento era completamente sbagliato. Le cause di questi errori sono state ascritte alle procedure utilizzate per trasformare i dati LORAN C in coordinate geografiche e alla digitalizzazione di vecchie mappe di posizionamento. Purtroppo la ricostruzione del corretto posizionamento partendo dai dati originali non è stata possibile perché molte delle schede di campagna sono andate perse. La strategia utilizzata per risolvere questo problema e che ha dato risultati accettabili ha previsto il confronto tra i profili sismici (sezioni tempo-distanza) ed i corrispondenti profili batimetrici estratti dal posizionamento (sezioni profondità-distanza). Le profondità dei primi, espresse in secondi (TWT) sono state convertite in metri utilizzando una velocità di propagazione del suono in acqua di 1500 m/s (TWT). Partendo dal posizionamento disponibile, sono stati modificati i vari *fix* per avere la corrispondenza tra la sezione sismica ed il profilo batimetrico.

In accordo con il Responsabile Scientifico del progetto, non potendo ripartire dai dati originali, si è deciso di considerare il posizionamento fornito e quello dedotto con la procedura precedentemente descritta come accettabile, con la consapevolezza degli errori derivanti.

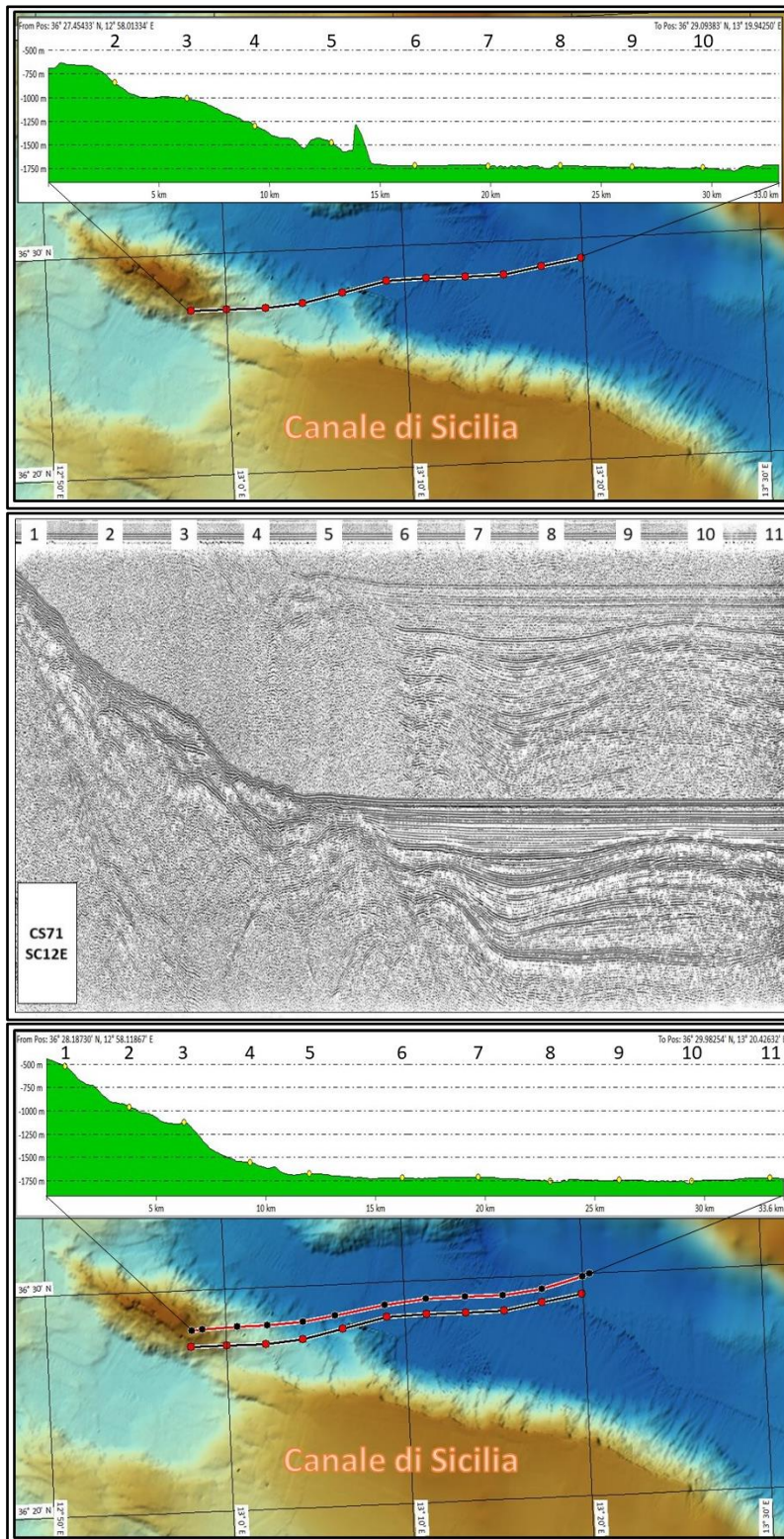


Figura2: Controllo di qualità sui dati di posizionamento. In alto è riportata la navigazione della linea CS71-SC12E (Canale di Sicilia) ricavata dai dati di posizionamento registrati durante la campagna oceanografica CS71. I punti rossi e gialli, visibili rispettivamente sulla linea di navigazione e sul profilo batimetrico, indicano la posizione dei *fix*. Nella figura centrale è riportata la scansione del profilo sismico CS71-SC12E. Confrontando i due profili si osserva che la morfologia del fondale non corrisponde, soprattutto nella parte iniziale dei profili. In basso, in rosso è tracciato il posizionamento ricostruito sulla base dell'andamento morfologico e delle profondità calcolate convertendo la sezione sismica in profondità. Si noti che tra le due linee di navigazione (bianca e rossa) esiste un offset variabile tra 500 e 1000 metri.

FASE OPERATIVA

EDITING DELLE IMMAGINI

Acquisire un dato sismico fisicamente continuo, in forma digitale (numerica), significa campionarlo ad intervalli di tempo regolari e renderlo in forma discreta, rappresentandolo mediante una serie temporale. Nella conversione delle immagini sismiche dal formato cartaceo a quello digitale *raster* avviene un procedimento analogo. Dopo la scansione infatti l'immagine viene digitalizzata, cioè rappresentata mediante una griglia ortogonale di punti (*pixel*) a ciascuno dei quali è associato un livello di grigio (Figura3).

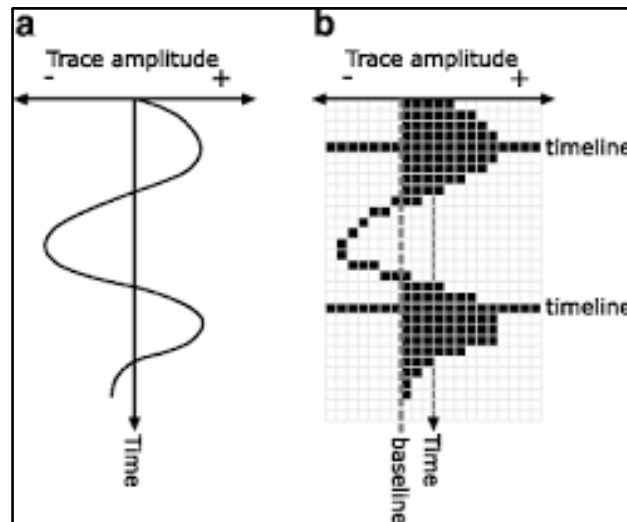


Figura 3: la scansione di un profilo cartaceo genera una digitalizzazione dell'immagine che viene rappresentata mediante una griglia ortogonale di punti, o *pixel*, a ciascuno dei quali viene assegnato un valore corrispondente ad un livello di grigio. A) la traccia prima della digitalizzazione, B) la traccia dopo la digitalizzazione nel formato *raster*.

Poiché il software IMAGE2SEGY converte da TIFF a SEGY l'intera immagine digitalizzata e tutte le sue componenti, a seconda della qualità e del contenuto dell'immagine, possono verificarsi degli artefatti e delle distorsioni. È stato quindi necessario limitare il più possibile l'immagine scansionata ai dati che effettivamente rappresentavano il profilo sismico.

Le immagini sono state **ritagliate** per eliminare i dati superflui lungo i margini esterni al profilo. Le annotazioni riportate all'interno del profilo sismico sono state invece mascherate con dei rettangoli bianchi. In questo modo, durante la conversione queste aree vengono rappresentate da valori nulli (privi di ampiezza) e non falsano i valori delle ampiezze realmente associate al segnale sismico. Inoltre le immagini sono state **riflesse** lungo l'asse verticale, in modo che la numerazione dei *fix* fosse crescente da sinistra verso destra, e **leggermente ruotate**, quando necessario, per avere gli assi X e Y il più possibile ortogonali tra loro. In alcuni casi particolari è stato necessario applicare un editing che ha comportato modifiche sostanziali rispetto alle immagini originali. Di seguito sono riportate le diverse casistiche riscontrate e le soluzioni adottate.

Variazione della lunghezza di registrazione (record length) lungo uno stesso profilo.

Durante l'acquisizione, quando si presentavano dei repentini cambi di profondità, per mantenere la continuità della stampa di una sezione sismica, venivano cambiati i parametri di registrazione (il *record length*) ed annotati su carta. Ciò comportava che sulla stessa linea sismica si potevano avere delle variazioni di scala e di conseguenza variazioni di risoluzione (Figura 4). Poiché il software utilizzato per la conversione dei dati *raster* in dati SEGY richiedeva sezioni omogenee, si è deciso di suddividere le immagini in segmenti aventi caratteristiche omogenee. Ciò ha permesso una conversione del file *raster* in SEGY più accurata.

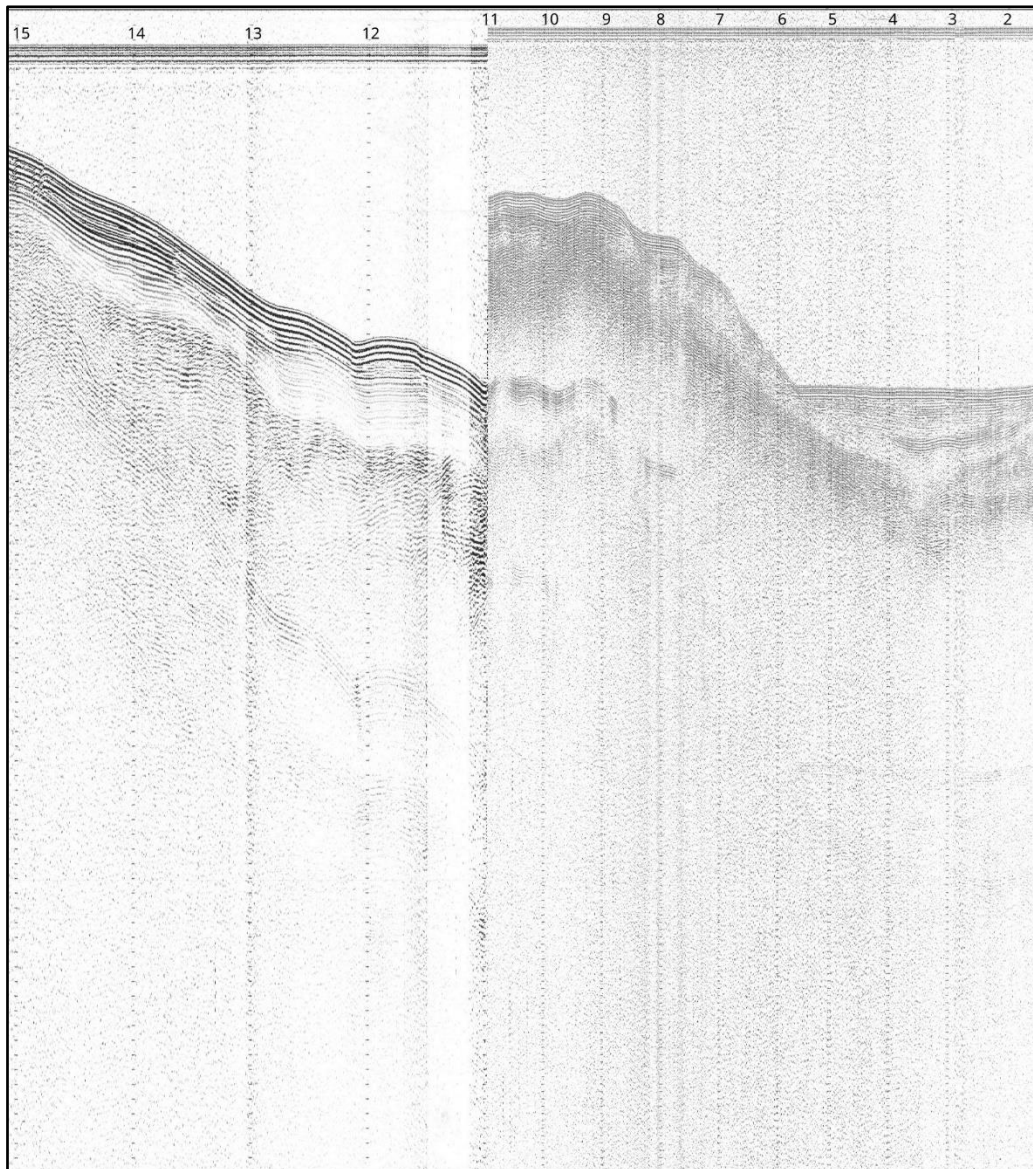


Figura 4: Profilo sismico AC85-AC33 acquisito lungo la zona di piattaforma in prossimità di Civitavecchia. Si noti come in corrispondenza del *fix* 11 la scala temporale di acquisizione sia stata cambiata da 8 a 4 secondi con conseguente variazione della risoluzione. Durante la conversione da *raster* a SEGY la sezione sismica è stata spezzata e sono stati generati due profili sismici con scala temporale omogenea.

Interruzione dell'acquisizione analogica e ricostruzione della corretta geometria della sezione sismica.

Quando si verificava un problema tecnico che richiedeva l'interruzione dell'acquisizione, la registrazione cartacea veniva interrotta spegnendo la stampante e facendo avanzare di qualche centimetro la carta. Risolto il problema la stampante veniva riaccesa e la registrazione ripresa. Gli spazi bianchi tra segmenti di uno stesso profilo sismico, venivano utilizzati per riportare manualmente la causa e la durata del guasto. Un intervallo di alcuni centimetri sul profilo cartaceo poteva corrispondere anche ad alcuni chilometri di mancata acquisizione. Per una corretta conversione e georeferenziazione dell'immagine sismica, ciascun pixel sull'asse delle ascisse viene convertito come se fosse una singola traccia sismica alla quale viene in seguito associata una coppia di coordinate geografiche. Per rispettare questa relazione 1:1 e ricostruire la corretta posizione dei segmenti lungo la sezione sismica, è stato necessario modificare l'immagine. La figura 5 mostra un segmento della linea CS80-SCO7, nel Canale di Sicilia. Durante l'acquisizione si sono verificate due interruzioni, la prima tra i *fix* 10 e 11, la seconda dopo il *fix* 11 sino al *fix* 12. Con il software GIMP è stata misurata la distanza in pixel tra le coppie di *fix*

9-10, 10-11 e 11-12, mentre con Global Mapper sono state ricavate le stesse distanze in metri a partire dal posizionamento. Assumendo che la nave si stesse muovendo a velocità costante lungo la direzione definita tra i *fix*, è stata impostata una proporzione tra metri percorsi ed i pixel dell'immagine. Ciò ha permesso riposizionare sull'asse delle ascisse i diversi segmenti in modo tale che i *fix* sul profilo sismico corrispondessero ai *fix* nel file di navigazione.

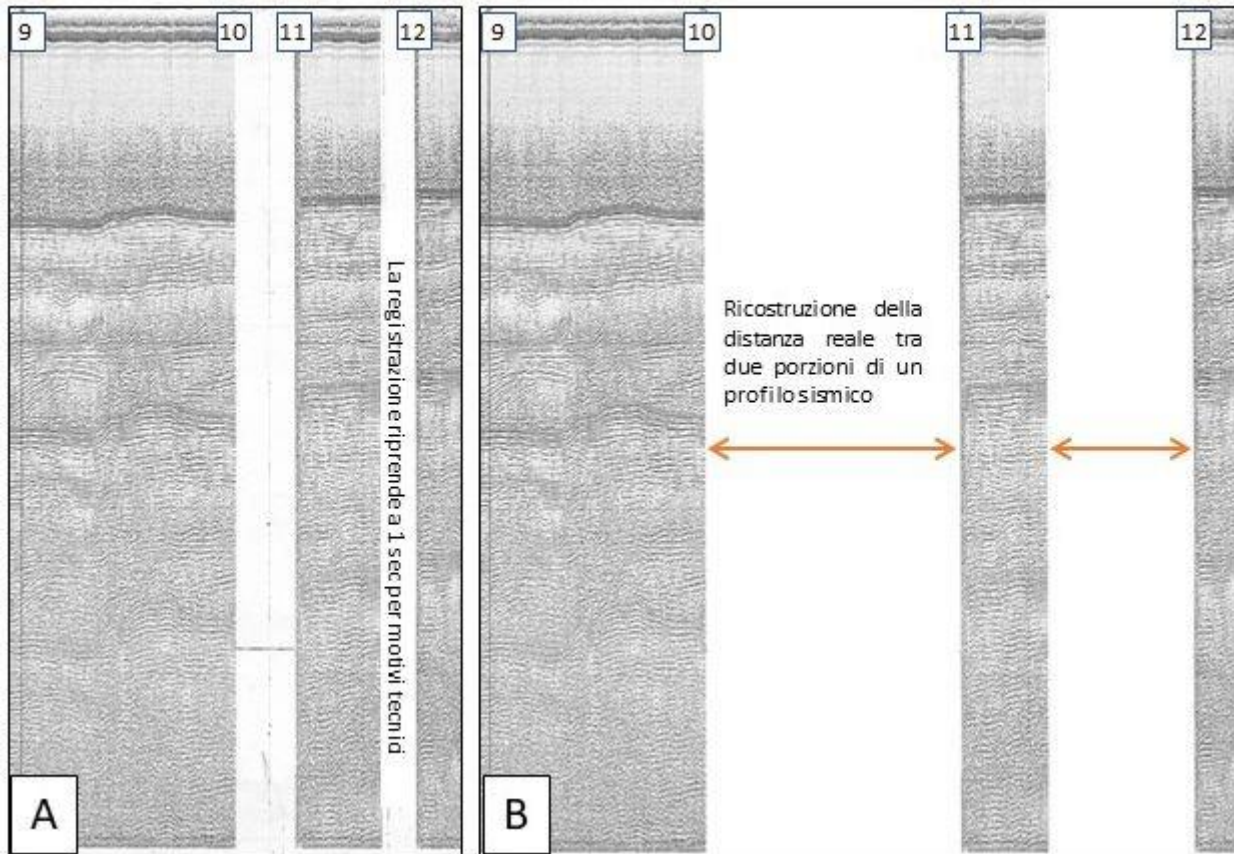


Figura 5: Caso di *editing* in cui l'immagine sismica originale è stata modificata in modo sostanziale a causa di interruzioni nell'acquisizione. Canale di Sicilia, linea CS80-SC07. Il profilo a sinistra mostra l'immagine sismica subito dopo la scansione mentre quello di destra mostra l'immagine sismica dopo l'editing ed il corretto riposizionamento dei vari segmenti lungo la sezione in funzione della reale posizione.

Ricostruzione della profondità lungo la sezione per traslazione della finestra di registrazione.

Alcune acquisizioni analogiche sono state condotte con l'obiettivo di acquisire dati ad una risoluzione più elevata. Oltre ad una diversa sorgente sismica (Sparker 305 System 0,2 kJ) la finestra di visualizzazione è stata ridotta da 4/8 secondi a 500 ms per aumentare il dettaglio delle zone investigate. Nelle aree di piattaforma, caratterizzate da profondità relativamente costanti, sono stati ottenuti dei profili di buona qualità con una penetrazione del segnale sismico fino a 500 ms (TWT) dal fondo mare corrispondenti a circa 375 m. Nelle aree in cui la batimetria subiva delle repentine variazioni, ad esempio nel passaggio piattaforma-bacino, per non cambiare i parametri di acquisizione e mantenere la stessa finestra di visualizzazione, è stato applicato un *time shift* in funzione dell'andamento del fondale. In questi casi il profilo cartaceo registrato presenta una serie di "salti" batimetrici che rendono più difficile la ricostruzione e l'interpretazione delle geometrie di sotto-superficie investigate (Figura 6). La strategia adottata per favorire la visualizzazione ed interpretabilità delle sezioni è stata quella di suddividere le immagini in segmenti corrispondenti ai diversi "salti" e successivamente ricostruire, in funzione dei ritardi e delle profondità osservate, una unica sequenza di immagini (Figura 6).

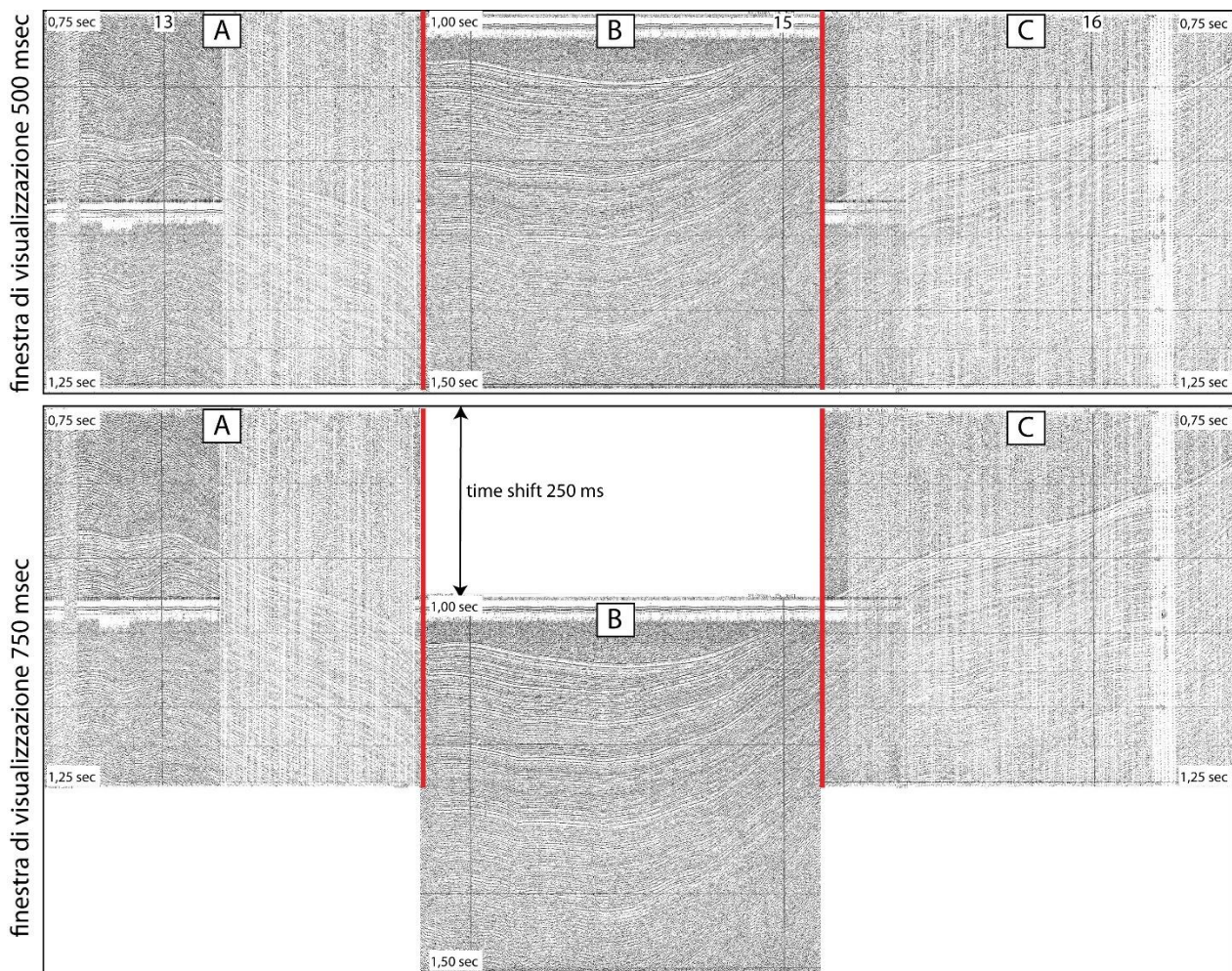


Figura 6: Caso di *editing* in cui l'immagine sismica originale è stata modificata al fine di ricostruire il corretto andamento del profilo in funzione delle profondità. Canale di Sicilia, linea CS75-AB6 *fix* 12-17. In alto il profilo scansionato dall'originale presenta dei "salti" batimetrici che delimitano tre segmenti ciascuno dei quali è stato acquisito con una finestra costante di registrazione di 500 ms: segmento A 0,75-1,25 sec; B 1-1,5 sec; C 0,75-1,25 sec. La finestra di registrazione del segnale è stata quindi progressivamente traslata verticalmente applicando un *time shift* di 250 ms per seguire l'andamento della batimetria. Benché il dato registrato sia di buona qualità, esso è difficilmente interpretabile poiché la continuità laterale dei riflettori viene interrotta in corrispondenza dei "salti". Il profilo in basso rappresenta l'immagine sismica modificata dopo aver ricostruito l'andamento della sezione e delle strutture di sotto superficie in funzione dei ritardi applicati. Tale procedura ha permesso di convertire in formato SGY l'immagine che quindi risulterà più facilmente visualizzabile ed interpretabile.

Suddivisione di profili particolarmente lunghi in segmenti.

Alcune copie cartacee di sezioni sismiche acquisite nello Ionio tra il 1971 e il 1975 si presentavano molto lunghe ed i files derivanti dalla scansione di grandi dimensioni. Poiché le specifiche del programma IMAGE2SEGY riportavano, per immagini digitalizzate in scala di grigio, una dimensione massima di circa 200×10^6 di pixel, queste sezioni sono state suddivise in diversi segmenti e generati diversi files SEGY consecutivi.

Editing delle immagini scansionate da lucido.

Come detto precedentemente alcune sezioni sismiche sono state scansionate da una copia eseguita su lucido poiché la relativa copia cartacea era assente o fortemente deteriorata. Una volta generata l'immagine TIFF è stato necessario lavorare sui parametri di luminosità e contrasto per migliorare l'aspetto della sezione prima di passare alla fase di conversione. Poiché la qualità ed il tipo di lucido utilizzati erano diversi, non è stato possibile individuare dei parametri standard, ma sono stati applicati valori calibrati caso per caso (Figura 7).

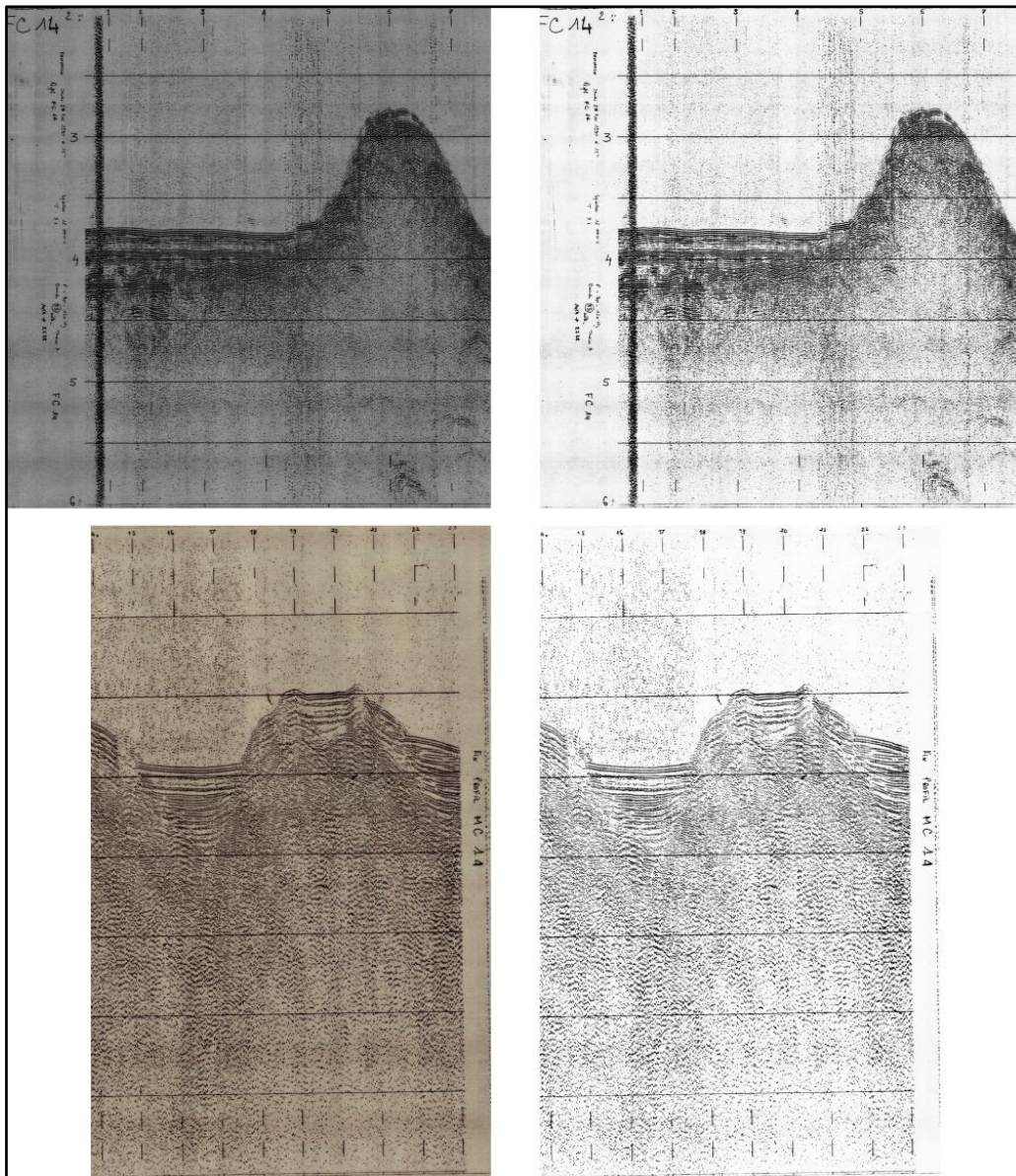


Figura 7: La qualità del lucido su cui sono stampate le sezioni sismiche influisce sulla qualità dell'immagine raster. Le sezioni a sinistra sono il risultato della scansione di due lucidi di tipo diverso. Per migliorare l'aspetto della sezione e generare un file SEG Y di qualità accettabile, è stato necessario calibrare, caso per caso, le variazioni di luminosità e contrasto da applicare. Il risultato, sezioni a destra, è comunque di qualità inferiore rispetto alla scansione di una copia originale.

CREAZIONE DI FILES DI TESTO PER LA GEOREFERENZIAZIONE E CONVERSIONE IN FORMATO SEG Y

Ultimato l'*editing* delle immagini sono stati preparati dei file di testo ausiliari contenenti le informazioni necessarie per procedere alla georeferenziazione e conversione delle immagini in formato SEG Y. Tali informazioni consistono in:

- ✓ *Posizione dei pixel primari sull'immagine (PosX, PosY).* Sono considerati primari i *pixel* che definiscono l'inizio e la fine della sezione (che quindi determinano il numero totale di tracce sismiche), quelli corrispondenti ai *fix*, quelli in corrispondenza dei quali si ha un cambio nella direzione della rotta, un cambio della velocità della nave o della distanza tra gli scoppi. Condizione necessaria per una corretta conversione e georeferenziazione è che la posizione geografica dei pixel primari sia conosciuta;
- ✓ *Posizione geografica dei pixel primari espressa nella proiezione UTM (UTM_X, UTM_Y);*
- ✓ *Lunghezza della traccia espressa in pixel.* Tale misura rimane costante lungo tutta la sezione;

- ✓ Lunghezza della registrazione espressa in millisecondi;
- ✓ Possibile ritardo iniziale (Time Delay);
- ✓ Tipo di acquisizione: acquisizione marina (0) o terrestre (1);
- ✓ Tipo di formato del file SEG Y : SEG Y Revision 0 (0) o SEG Y Revision 1 (1);
- ✓ Data Sample Format Code: formato numerico 32 bits IBM floating point (1); 16 bits IBM floating point (3); IEEE format (5).

La posizione dei *pixel primari* (PosX, PosY) è stata determinata in corrispondenza dell'inizio della traccia sismica, cioè al tempo t_0 della registrazione, e spostandosi progressivamente da sinistra verso destra (Figura 8). I valori riportati fanno riferimento all'origine degli assi posta nell'angolo in alto a sinistra dell'immagine. La posizione del primo *pixel primario* (corrispondente all'inizio del profilo) al tempo t_{end} della finestra di registrazione serve a calcolare la lunghezza della traccia. Quando necessario, sono stati digitalizzati anche dei *pixel secondari*, per i quali non è necessario conoscere la posizione geografica, che consentiranno, durante l'elaborazione, di correggere le distorsioni dell'immagine. La posizione ed il t_0 delle altre tracce sulla sezione vengono ricavate per interpolazione lineare tra i valori conosciuti.

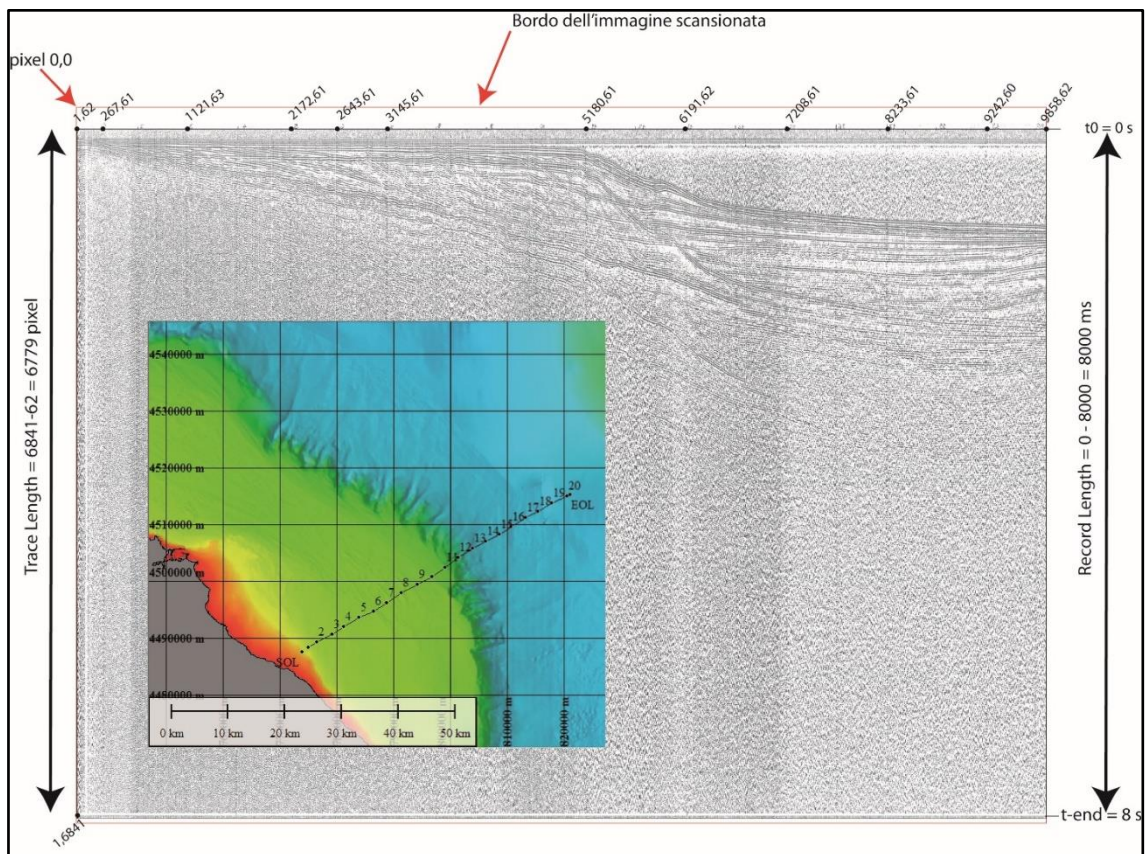


Figura 8: Linea CSJ72-J10 nel Mar Ionio. Lungo l'asse delle ascisse è stata misurata, da sinistra verso destra, la posizione dei *pixel primari* rispetto all'origine degli assi posta nell'angolo in alto a sinistra dell'immagine. Oltre alla posizione dei *pixel primari* è possibile determinare il numero totale di tracce che verranno convertite nel formato SEG Y, la loro lunghezza ed il numero di campioni.

Le coordinate geografiche dei files di posizionamento sono state convertite nel sistema di riferimento WGS84, proiezione UTM utilizzando l'applicazione **cs2cs**. La maggior parte dei dati è stata convertita nella proiezione UTM 33N. Solo alcune linee acquisite lungo il margine greco (linee GR, campagne oceanografiche J75 e GR82) sono state convertite nella proiezione UTM 34N.

In alcuni casi è stato necessario effettuare un *editing* dei file di posizionamento. Poiché la posizione geografica dei *pixel primari* deve essere nota, è stato necessario ricavare le coordinate di quelli che non corrispondevano necessariamente ai *fix*. Un caso molto semplice è quando l'inizio della linea

sismica (*SOL*) o la sua fine (*EOL*) non coincidono con il primo ed ultimo *fix* annotato nella sezione. Per non perdere l'informazione registrata la posizione di questi punti è stata ricavata per interpolazione impostando una proporzione tra le distanze espresse in *pixel* e quelle effettivamente percorse, espresse in metri. La Figura 9 mostra un esempio che può chiarire il procedimento adottato. Nel caso della linea CSJ72-J10 nel Mar Ionio, le coordinate del punto "*SOL*" erano sconosciute. Misurando la distanza "*fix1-fix2*" prima in pixel (sull'immagine sismica) e poi in metri (sulla mappa del posizionamento), assumendo che la nave si muovesse a velocità costante lungo la stessa rotta, è stata impostata una semplice proporzione che ha permesso di associare alla distanza "*SOL-fix1*" misurata in pixel, la corrispondente distanza in metri.

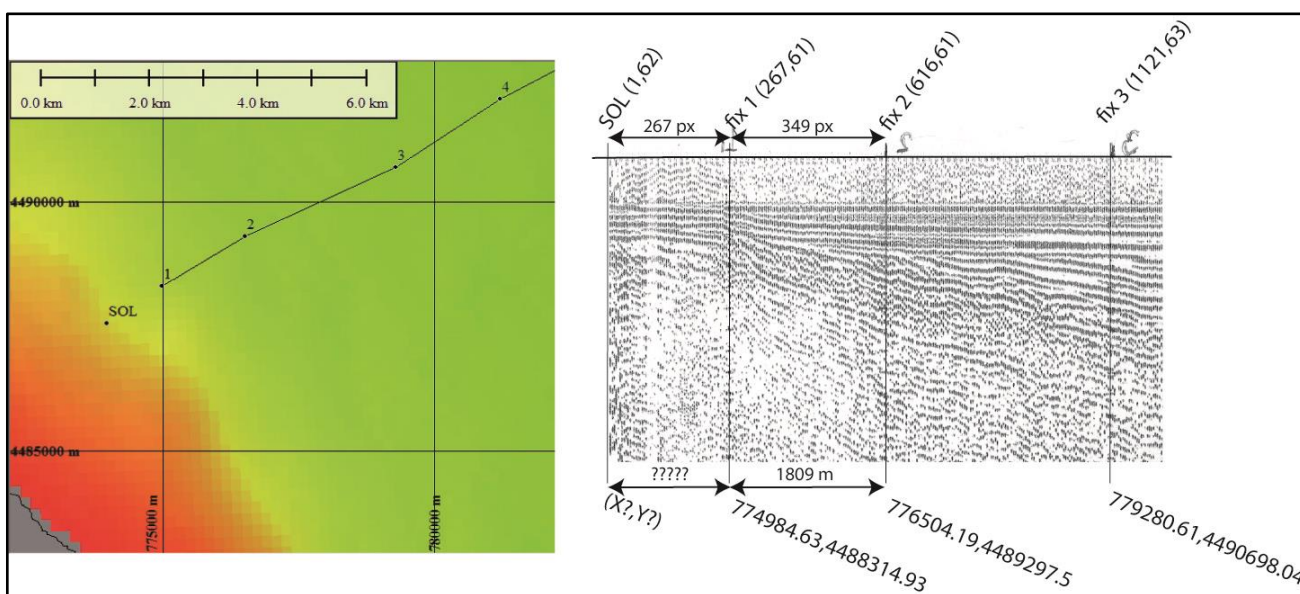


Figura 9: procedimento utilizzato per determinare i valori di UTM_X, UTM_Y del *pixel primario* "*SOL*". La distanza tra il *fix 1* ed il *fix 2* sull'immagine sismica corrisponde a 349 pixel. La stessa distanza misurata sulla mappa di posizionamento corrisponde a 1809 m. Sapendo che la distanza *SOL - fix 1* è pari a 267 pixel, assumendo che la nave si muovesse a velocità costante lungo una rotta invariata, la distanza in metri è 1343 m, la rotta di navigazione è quindi stata prolungata dal *fix 1* di questa quantità e poi estrapolate le coordinate UTM_X, UTM_Y del *pixel primario* "*SOL*".

Molto spesso, l'*editing* delle immagini descritto in precedenza è stato accompagnato da un *editing* della navigazione utilizzando la procedura precedentemente descritta.

Il ritardo iniziale, quando applicato, è stato ricavato dalle annotazioni riportate sul profilo cartaceo, quando presenti, in alternativa è stato ricavato confrontando la scala verticale della sezione con la batimetria.

Nella figura 10 è mostrato il file ausiliario corrispondente all'immagine sismica di figura 8 utilizzato per la conversione e georeferenziazione del TIFF.

```

6779,10,0,1,1,33 ← Trace Length (pixel), Line Name, Marine Acq, SEG Y Rev 1, 32-bits IBM Floating point, UTM 33N
1,62,773956.88,4487569.4,0,8000 ← PRIMO PIXEL PRIMARIO
267,61,774984.63,4488314.93,0,8000
616,61,776504.19,4489297.5,0,8000
1121,63,779280.61,4490698.04,0,8000
1635,63,781208.81,4492067.67,0,8000 ← PosX (pixel),PosY (pixel), UTM_X (m), UTM_Y (m), Time Delay (ms), Record Length (ms)
2172,61,783976.29,4493655.03,0,8000
2643,61,786481.73,4494677.47,0,8000
3145,61,788823.95,4496250.59,0,8000
3663,63,791440.04,4498020.51,0,8000
4165,63,794210.72,4499426.82,0,8000
4671,60,796839.27,4500828.69,0,8000
5180,61,799036.47,4502399.5,0,8000
5687,61,801366.18,4504161.83,0,8000
6191,62,803984.35,4505751.5,0,8000
6703,60,806193.91,4506954.51,0,8000
7208,61,808684.61,4508169.93,0,8000
7725,60,810744.11,4509553.51,0,8000
8233,61,813217.65,4511140.75,0,8000
8738,60,815424.19,4512346.69,0,8000
9242,60,817903.83,4513750.39,0,8000
9754,62,820531.4,4514976.08,0,8000
9858,62,821058.68,4515222.53,0,8000 ← ULTIMO PIXEL PRIMARIO

```

Figura 10: file di testo associato all'immagine sismica di figura 8 utilizzato per la conversione e georeferenziazione dell'immagine TIFF. I vari campi sono spiegati nel testo.

CONVERSIONE TIFF-SEG Y

La conversione dei TIFF in SEG Y standard è stata effettuata con il software IMAGE2SEG Y che utilizza l'applicazione SegyMAT. All'inizio della procedura è necessario inserire le informazioni complementari relative al nome della campagna e della linea, la data di acquisizione ed il nome dell'Istituto di Ricerca che ha condotto l'acquisizione. Successivamente viene richiesto di selezionare il file TIFF ed il corrispondente file contenente le informazioni ausiliarie ed il posizionamento.

Al termine della procedura il profilo risultante conterrà tante tracce quanti i pixel lungo l'asse orizzontale dell'immagine di partenza. Infatti il software considera ogni traccia come una colonna di una matrice numerica i cui valori sono dati dal colore di ciascuno dei pixel dell'immagine che l'ha generata. A sua volta, ogni colonna conterrà un numero di valori (campioni) pari al numero di pixel che definivano la lunghezza della traccia nell'immagine di partenza. Facendo riferimento alle figure 8 e 10, il numero totale di tracce del profilo CSJ72-J10 sarà di 9858. Ciascuna traccia sarà composta da 6779 campioni. Il passo di campionamento del segnale sarà dato dal rapporto tra la lunghezza della registrazione, espressa in microsecondi, ed il numero di campioni in ogni traccia ($8 \cdot 10^6 / 6779 = 1180$ microsecondi).

Durante la conversione, ad ogni traccia vengono aggiunte le informazioni sul posizionamento UTM, sul numero di campioni e sull'intervallo di campionamento. Poiché i file sono stati scritti nel formato SEG Y Revision 1, 32-bits IBM Floating Point, le informazioni complementari vengono riportate in una header di testo ASCII-EBCDIC (Figura 11) all'inizio del file, mentre le altre informazioni sono riportate, per ogni traccia, in forma numerica in una header binaria all'interno di campi prestabiliti, definiti dagli standard della Society of Exploration Geophysicist (SEG, 2002).

```

C 1 COMPANY/INSTITUTION__ : ISMAR CNR BOLOGNA
C 2 LINE: J50 DATE: 2/9/1975
C 3 REEL NO DAY-START OF REEL YEAR OBSERVER
C 4 INSTRUMENT: MODEL SERIAL NO
C 5 DATA TRACES/RECORD AUXILIARY TRACES/RECORD CDP FOLD
C 6 SAMPLE INTERVAL SAMPLES/TRACE BITS/IN BYTES/SAMPLE
C 7 RECORDING FORMAT FORMAT THIS REEL MEASUREMENT SYSTEM METER
C 8 SAMPLE CODE: FLOATING PT YES FIXED PT NO FIXED PT-GAIN NO CORRELATED NO
C 9 GAIN TYPE: FIXED YES BINARY NO FLOATING POINT NO OTHER NO
C10 FILTERS: ALIAS HZ NOTCH HZ BAND - HZ SLOPE - DB/OCT
C11 SOURCE: TYPE NUMBER/POINT POINT INTERVAL
C12 PATTERN: LENGTH WIDTH
C13 SWEEP: START HZ END HZ LENGTH MS CHANNEL NO TYPE
C14 TAPER: START LENGTH MS END LENGTH MS TYPE
C15 SPREAD: OFFSET MAX DISTANCE GROUP INTERVAL
C16 GEOPHONES: PER GROUP SPACING FREQUENCY MFG MODEL
C17 PATTERN: LENGTH WIDTH
C18 TRACES SORTED BY: RECORD
C19 AMPLITUDE RECOVERY: NONE
C20 MAP PROJ.: UTM COORD.UNITS: METERS ZONE ID: 33
C21 PROCESSING:
C22 GENERATED FROM SCANNED FILM OR PAPER RECORD
C23
C24 NAVIGATION FILE: GR82-J50-NAV.CSV
C25 GRAPHIC FILE: GR82-J50.TIF
C26 SEG Y FILE: J50.SGY
C27 SURVEY NAME: G82 / SURVEY LINE: J50
C28 MIN. AND MAX. DISTANCE BETWEEN GEOREFERENCED TRACES:
C29 674 METERS, 4234 METERS
C30
C31
C32 CREATED WITH IMAGE2SEGY version: 3.0.6 AND SEGYMAT
C33 SEGYMAT (C) 2001-2017 THOMAS MEJER HANSEN, http://segymat.sourceforge.net
C34 IMAGE2SEGY 2006-2017 M.FARRAN (ICM-CSIC) http://www.icm.csic.es/gma
C35
C36
C37
C38
C39
C40 END TEXT HEADER

```

Figura 11: esempio di *header* testuale ASCII-EBCDIC scritta nel file SEG Y durante la conversione con IMAGE2SEGY.

CONTROLLO DI QUALITA' DEI DATI SEG Y

Vista la notevole quantità di dati prodotti e la mancanza di tempo, a causa della fine del contratto, le sezioni digitali in formato SEG Y sono state verificate a campione utilizzando diversi tipi di software.

SeiSee è uno strumento molto utile per esaminare i dati sismici. Dopo l'importazione è possibile scegliere il tipo di rappresentazione delle tracce (metodo dell'ordina *wiggle* oppure *variable area*) e la *palette di colori*, nonché la scala orizzontale e verticale (Figura 12). Contemporaneamente, oltre alle informazioni di base (numero di tracce, passo di campionamento e lunghezza della registrazione), è possibile esaminare le *headers* ed il posizionamento associato ad ogni traccia. Il software **SeiSee** ha quindi permesso di verificare sia la qualità dell'immagine sismica digitale che la correttezza del formato in cui essa è stata convertita.

Global Mapper permette la gestione e visualizzazione di diversi dati geo-spaziali. Se all'interno di un file sismico SEG Y sono contenute, negli opportuni campi stabiliti dallo standard, le coordinate X e Y di una traccia, queste possono essere visualizzate in forma vettoriale ovvero come punti e/o linee. Utilizzando la base cartografica predisposta per il controllo di qualità dei dati di posizionamento iniziali, sono stati importati alcuni file SEG Y e si è potuto constatare, anche visivamente, che la georeferenziazione delle sezioni è avvenuta in modo corretto. Questa procedura ha permesso inoltre di individuare errori presenti nei file di testo utilizzati per la georeferenziazione. In questi casi gli errori sono stati corretti, la procedura di conversione rilanciata e verificato nuovamente il risultato.

Kingdom della IHS Markit (Figura 13) ha permesso di leggere ed importare un progetto opportunamente creato alcuni dati presi a campione, confermando non solo la corretta conversione e georeferenziazione delle sezioni ma anche verificando la possibilità di effettuare una interpretazione

interattiva attraverso il *picking* dei principali orizzonti sismici e delle strutture tettoniche sia superficiali che sepolte.

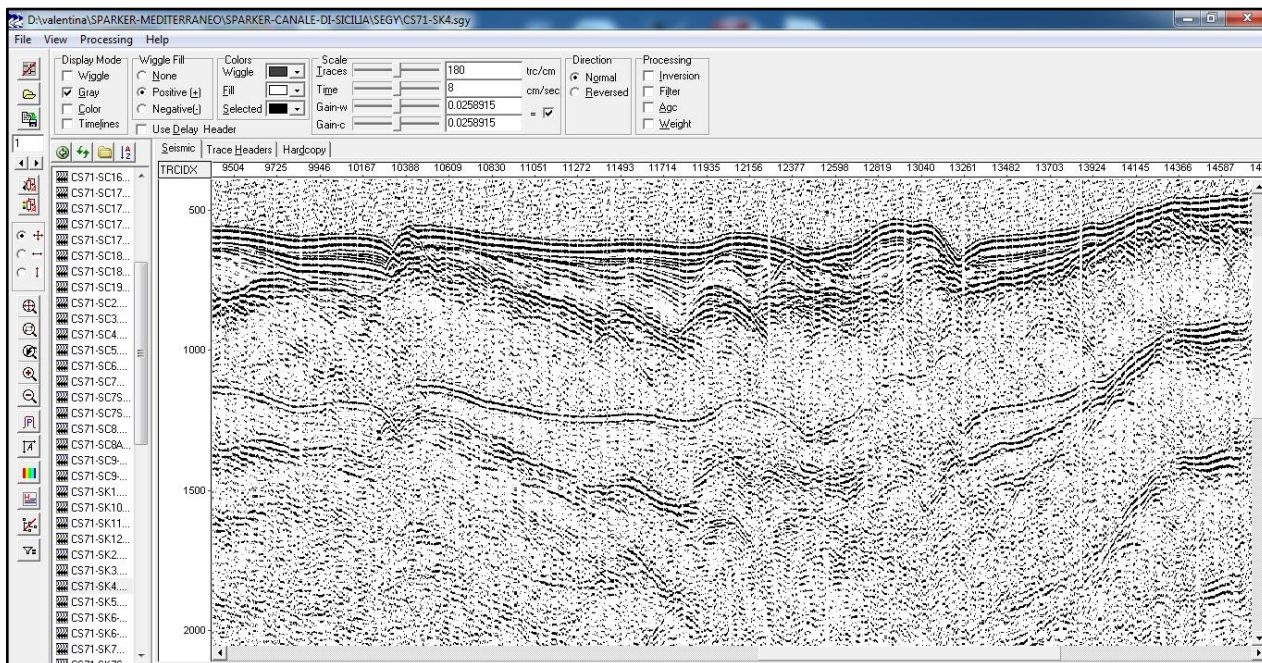


Figura 12: profilo sismico CS71-SK4 nel Canale di Sicilia visualizzato dopo la conversione in formato SEG-Y mediante il software “open source” SeiSee.

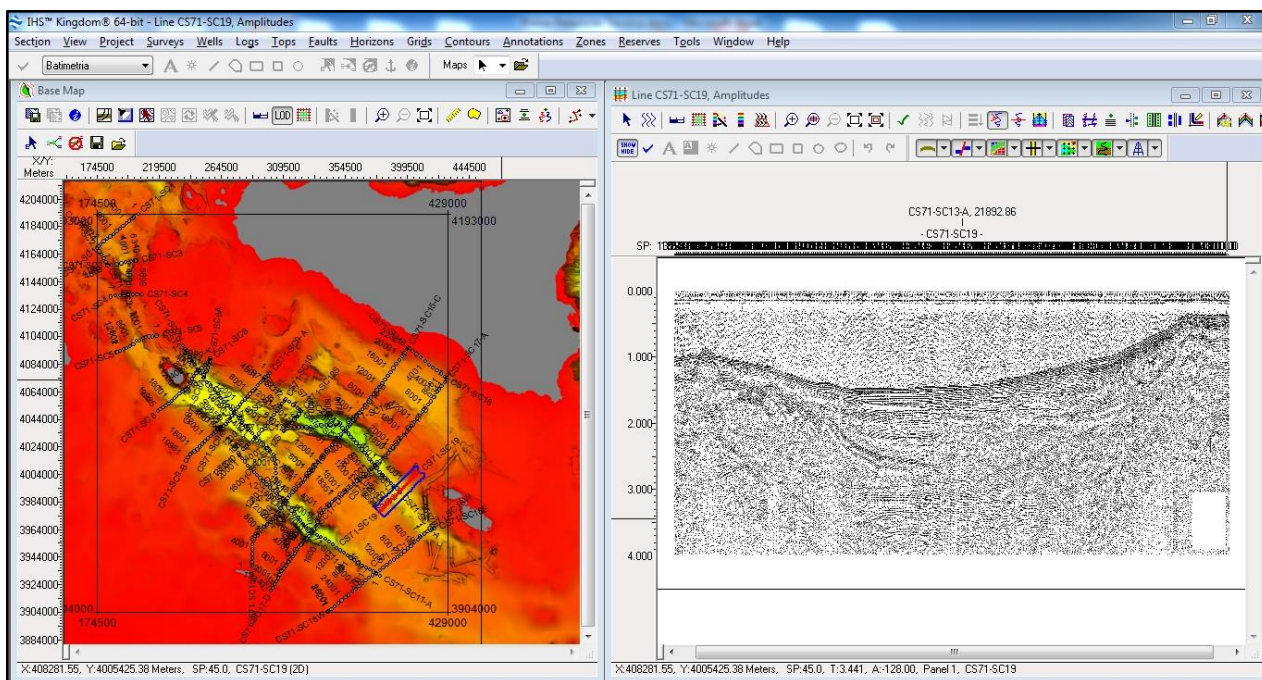


Figura 13: profilo sismico CS71-SC19 nel Canale di Sicilia visualizzato mediante il software Kingdom della IHS Markit.

PRODOTTI FINALI

I risultati ottenuti al termine di questa attività durata 8 mesi sono da considerarsi soddisfacenti:

- ✓ sono stati scansionati 645 profili (da copie cartacee e da lucido);
- ✓ sono stati generati 26197,1 km di profili sismici digitali nel Mar Tirreno;
- ✓ sono stati generati 4350,49 km di profili sismici digitali nel Canale di Sicilia;
- ✓ sono stati generati 12870,54 km di profili sismici digitali nell'area del Mar Ionio – Stretto di Messina e lungo il margine Greco (isole Ionie);
- ✓ per un totale di 43418,13 km.

Purtroppo il recupero dei dati cartacei, nonché la ricerca, la verifica e la correzione dei dati di navigazione hanno richiesto una notevole quantità di tempo e non è stato possibile completare la verifica sull'intero dataset.

Per quanto riguarda l'area del Canale di Sicilia, non sono stati convertiti in formato SEGY i profili delle campagne CS81, CS82 e CS86 ed alcune sezioni della campagna CS75 per le quali il posizionamento è presente ma non è verificabile in quanto i dati di posizionamento forniti non sono confrontabili con i dati batimetrici osservati.

Per quanto riguarda l'area del Mar Tirreno, alcune sezioni scansionate sono prive di posizionamento, di altre sezioni manca la copia cartacea ed il lucido corrispondente, quindi la conversione finale è rimasta in sospeso. Inoltre non sono stati trattati circa 375 km di profili sismici acquisiti in maniera sporadica. Si tratta di linee isolate acquisite probabilmente in via occasionale e delle quali, a parte il posizionamento, non si hanno informazioni di nessun tipo.

BIBLIOGRAFIA

Farran, M., 2008: IMAGE2SEGY: Una aplicación informática para la conversión de imágenes de per- files sísmicos a ficheros en formato SEG Y. *Geo- Temas* 10, 1215-1218.

Norris M. W. and Faichney, A. K. Eds. (2002). SEG Y Rev 1 Data Exchange format. Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, OK, Technical Standards Committee. Release 1.0. 22 pp. http://www.seg.org/publications/tech-stand/seg_y_rev1.pdf

Segymat Copyright © 2001-2007 Thomas Mejer Hansen, Niels Bohr Institute, University of Copenhagen, Denmark. GNU Library. <http://segymat.sourceforge.net/>

Dataset batimetrico: "EMODnet Digital Bathymetry" (DTM, griglia 115 m circa) disponibile gratuitamente sul portale web EMODnet Bathymetry (<http://www.emodnet-bathymetry.eu>).

La colormap utilizzata per rappresentare i dati batimetrici è da Crameri, F. (2018), Scientific colour maps, Zenodo, doi:10.5281/zenodo.1243862.

INDICE DEGLI ALLEGATI

Tabella A1: Tabella riassuntiva dei profili sismici Sparker acquisiti nel Mar Tirreno e convertiti da formato cartaceo a formato digitale SEG-Y.

Tabella A2: Tabella riassuntiva dei profili sismici Sparker acquisiti nel Canale di Sicilia.

Tabella A3: Tabella riassuntiva dei profili sismici Sparker acquisiti nello Stretto di Messina, nel Mar Ionio e nell'area delle Isole Ionie lungo il margine greco.

Figura A1: mappa d'insieme delle linee acquisite nel Mar Tirreno tra il 1970 ed il 1987 e che sono stati convertiti in formato digitale SEG-Y. "EMODnet Digital Bathymetry" (DTM 115*115 m). Datum WGS84, proiezione UTM 33 N. Colormap da Cramer 2018.

Figura A2: mappa di posizionamento delle linee acquisite lungo il margine tirrenico centro orientale che fanno riferimento alla Tabella A1. Zona di Anzio-Civitavecchia (linee AC in nero); Isole Pontine (linee TP, in bianco) e Zona della scarpata orientale (linee SE, in fucsia).

Figura A3: mappa di posizionamento delle linee acquisite nell'area del Bacino di Paola (linee BP, in giallo); Bacino di Gioia (linee BG, in viola); Bacino di Cefalù (linee BC in nero) e Zona della Scarpata della Sicilia Settentrionale (linee SS in bianco). Gli acronimi delle linee fanno riferimento alla Tabella A1.

Figura A4: mappa di posizionamento delle linee nell'area della Piana Batiale Meridionale (linee PM, in rosso) ed in quella Occidentale (linee PO in marrone); lungo la zona della Scarpata Settentrionale (linee SN in blu) e nelle aree denominate "Faglia Centrale" (linee FC in nero) e "Monti Centrali" (linee MC in bianco). Gli acronimi delle linee fanno riferimento alla Tabella A1.

Figura A5: mappa di posizionamento delle linee acquisite nell'area del Canale di Sardegna (linee MA in nero) e lungo il margine tirrenico occidentale nel Bacino Sardo (linee BS in azzurro) e nel Bacino della Corsica (linee BCO in bianco). Gli acronimi delle linee fanno riferimento alla Tabella A1.

Figura A6: mappa di posizionamento delle linee acquisite nell'area del Canale di Sicilia tra il 1971 e il 1980. In giallo sono riportate le linee denominate SC; in bianco le linee acquisite nell'area del Banco Avventura (linee AB); in verde le linee nell'area del Banco Skerki (linee SK); in blu le linee acquisite nel 1980 nel Canale di Sicilia Occidentale (SCO). Gli acronimi delle linee fanno riferimento alla Tabella A2.

Figura A7: mappa di posizionamento delle linee acquisite nell'area dello Stretto di Messina (linee ME in blu) e nel Mar Ionio nel corso di diverse campagne oceanografiche che si sono succedute dal 1971 al 1982 (linee J in nero). Gli acronimi delle linee fanno riferimento alla Tabella A3.

Figura A8: mappa di posizionamento delle linee acquisite nell'area delle Isole Ionie nel Mar Ionio meridionale durante la campagna oceanografica GR82. Gli acronimi delle linee fanno riferimento alla Tabella A3.

Tabella A1

Tabella riassuntiva dei profili sismici Sparker acquisiti nel Mar Tirreno e convertiti da formato cartaceo a formato digitale SEGY. La localizzazione di questi dati è riportata nelle figure da A1 ad A5.

ACRONIMO LINEE	LOCALIZZAZIONE	ACRONIMO CAMPAGNA	Nr. PROFILI	SEGY (km totali)
AC	Civitavecchia-Anzio	AC85	58	2.758,10
BC	Bacino di Cefalù	T71, T72, BS78	43	2.210,00
BCO	Bacino Corso	T77, BS78	22	1.944,80
BG	Bacino di Gioia	T70, T72, T73	12	620,01
BP	Bacino di Paola	T71, T72, T73	22	1.321,20
BS	Bacino Sardo	T70, T71, T73, T75, T76, T77	62	3.864,80
FC	Area Faglia Centrale	T70, T71, TC79, TC80	16	671,61
MA	Canale di Sardegna	MATS87	38	2.780,90
MC	Area Monti Centrali	T70, T71, T75, TC79, TC80	24	1.176,00
PM	Piana Batiale Meridionale	T71, T72, T73, BS74, T75, TC80	31	3.029,40
PO	Piana Batiale Occidentale	T70, T71, T75, T76	13	714,75
SE	Scarpata Orientale	T71, T72, T75, TEST79, TC80, TCO80	21	2.097,00
SN	Scarpata Settentrionale	T71, TC79, TC80	12	684,33
SS	Scarpata Meridionale	T71, T72, T73, T75	22	1.231,90
TP	Tirreno – Pontine	TP80, TP81	19	1.092,30

Tabella A2

Tabella riassuntiva dei profili sismici Sparker acquisiti nel Canale di Sicilia. La localizzazione di questi dati è riportata nella figura A6.

ACRONIMO LINEE	LOCALIZZAZIONE	ACRONIMO CAMPAGNA	Nr. PROFILI	SEGY (km totali)
AB	Banco Avventura Canale di Sicilia	CS75	10	738,84
SC	Canale di Sicilia	CS71, CS73, CS75	47	2.244,10
SCO	Canale di Sicilia Occidentale	CS80	16	855,31
SK	Banco di Skerki Canale di Sicilia	CS71	13	692,24

Tabella A3

Tabella riassuntiva dei profili sismici Sparker acquisiti nello Stretto di Messina, nel Mar Ionio e nell'area delle Isole Ionie lungo il margine greco. La localizzazione di questi dati è riportata nelle figure A7 e A8.

ACRONIMO LINEE	LOCALIZZAZIONE	ACRONIMO CAMPAGNA	Nr. PROFILI	SEGY (km totali)
GR	Mar Ionio Margine Greco Occidentale	J75, GR82	41	3.272,90
J	Mar Ionio	CSJ71, CSJ72, J73, J75, GR82	98	9.358,60
ME	Stretto di Messina	T72	5	239,04

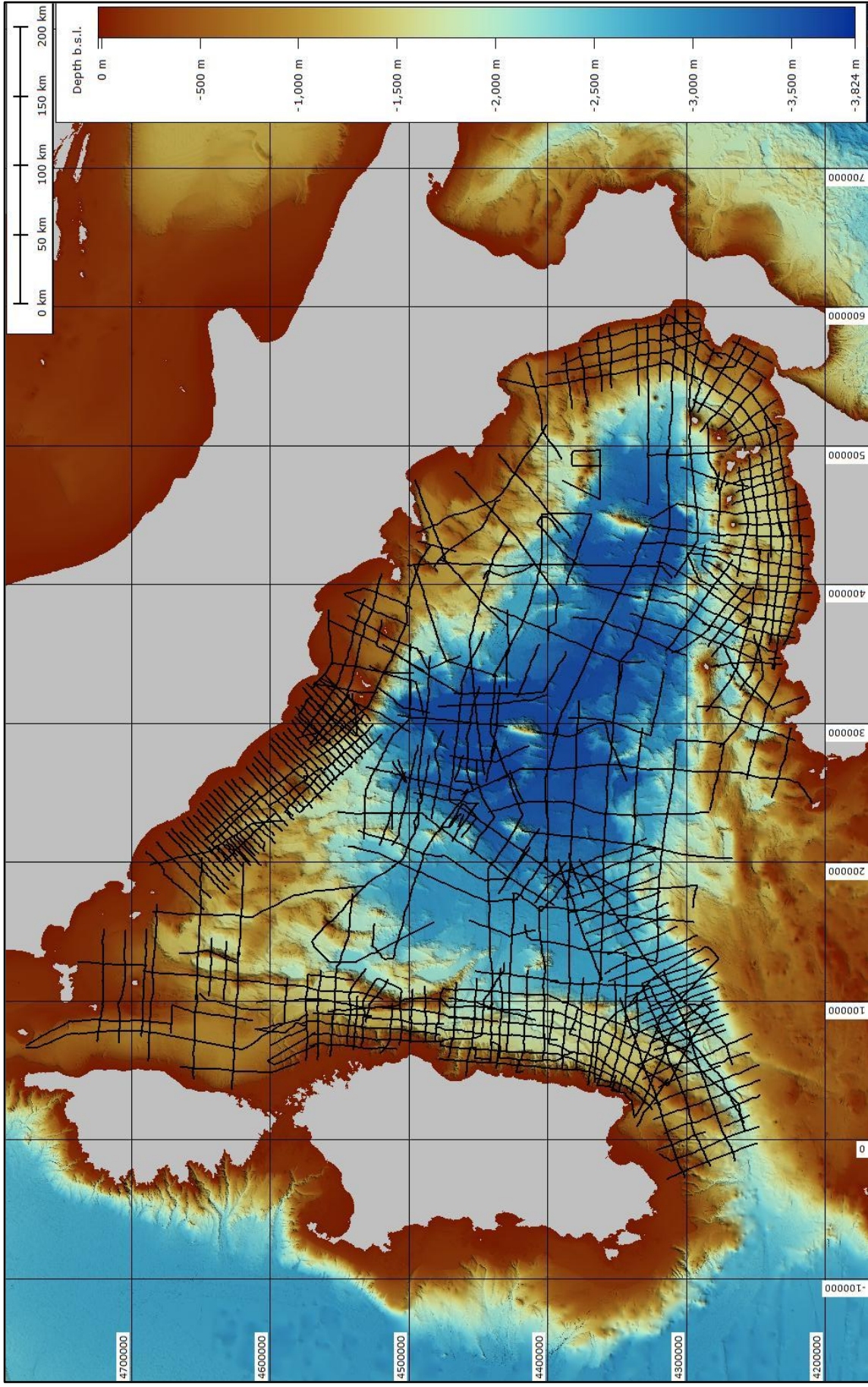


Figura A1: mappa d' insieme delle linee acquisite nel Mar Tirreno tra il 1970 ed il 1987 e che sono stati convertiti in formato digitale SEGY. " EMOdnet Digital Bathymetry" (DTM 115*115 m). Datum WGS84, proiezione UTM 33 N. Colormap da Cramerì 2018.

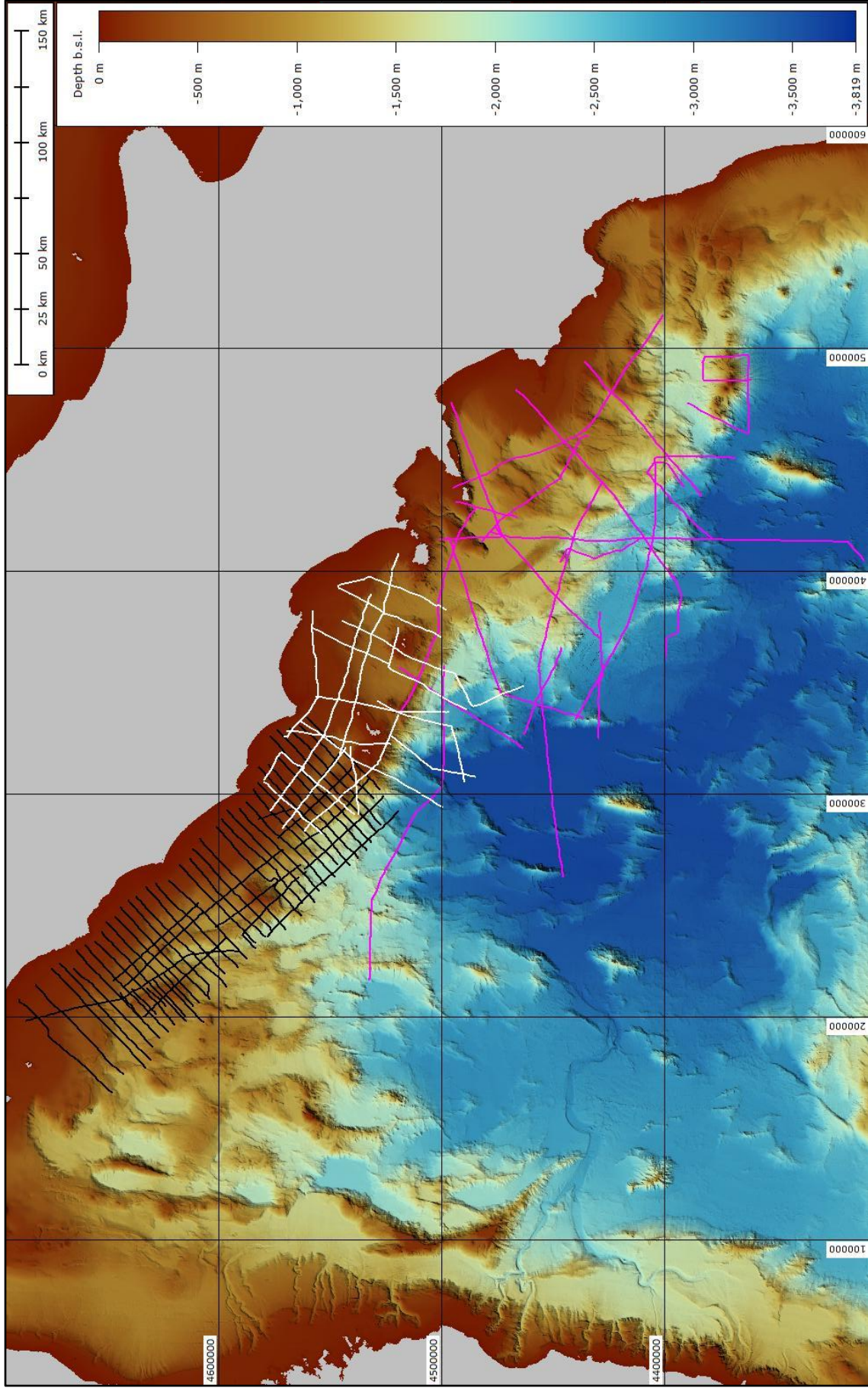


Figura A2: mappa di posizionamento delle linee acquisite lungo il margine tirrenico centro orientale che fanno riferimento alla Tabella A1. Zona di Anzio-Civitavecchia (linee AC in nero); Isole Pontine (linee TP, in bianco) e Zona della scarpata orientale (linee SE, in fucsia).

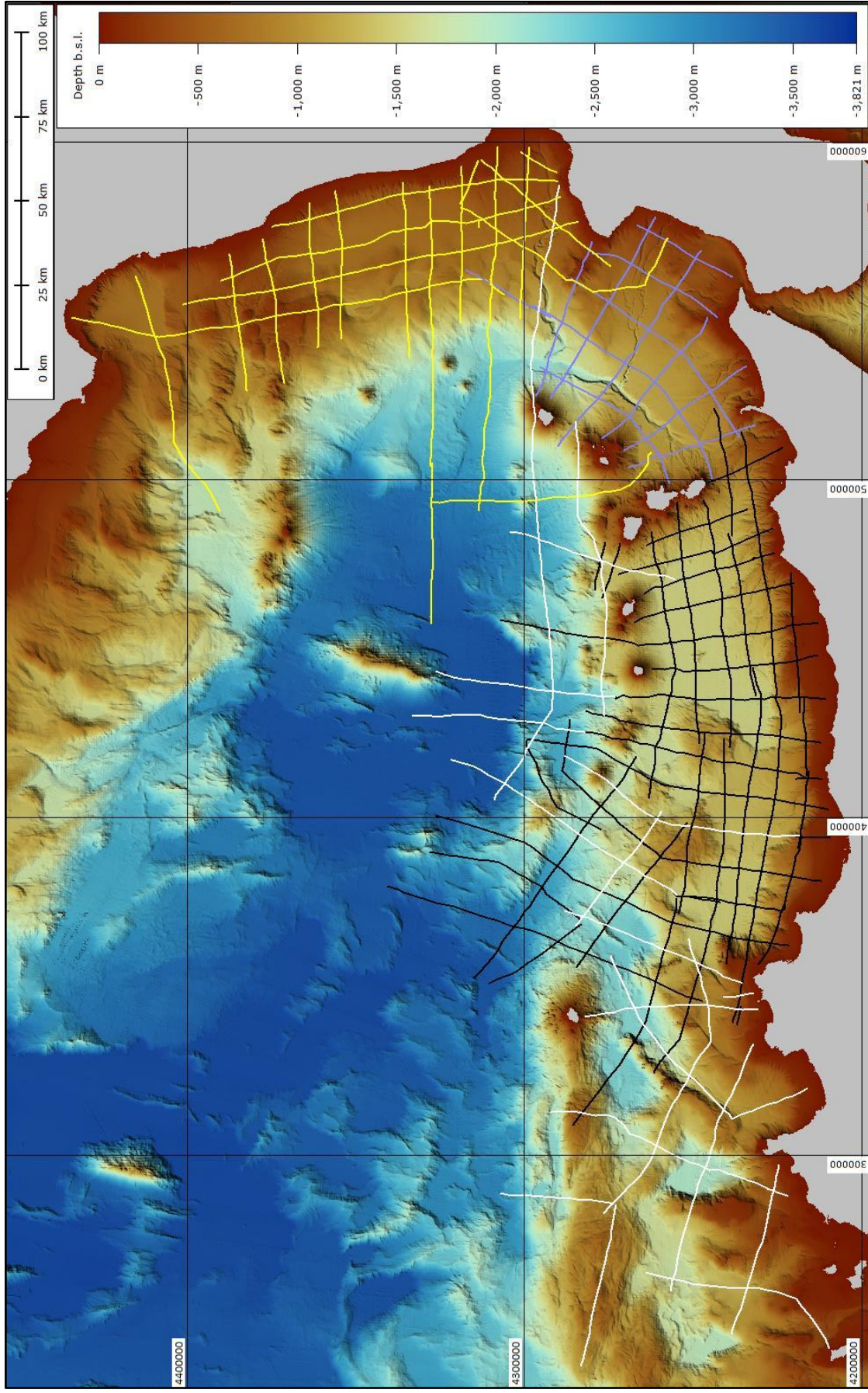


Figura A3: ubicazione dei profili Sparker acquisiti lungo il margine tirrenico meridionale che fanno riferimento alla Tabella A1. Bacino di Paola (linee BP, in giallo); Bacino di Gioia (linee BG, in viola); Bacino di Cefalù (linee BC in nero) e Zona della Scarpata della Sicilia Settentrionale (linee SS in bianco). Gli acronimi delle linee fanno riferimento alla Tabella A1. “ EMODnet Digital Bathymetry” (DTM 115*115 m). Datum WGS84, proiezione UTM 33 N. Colormap da Cramerì 2018.

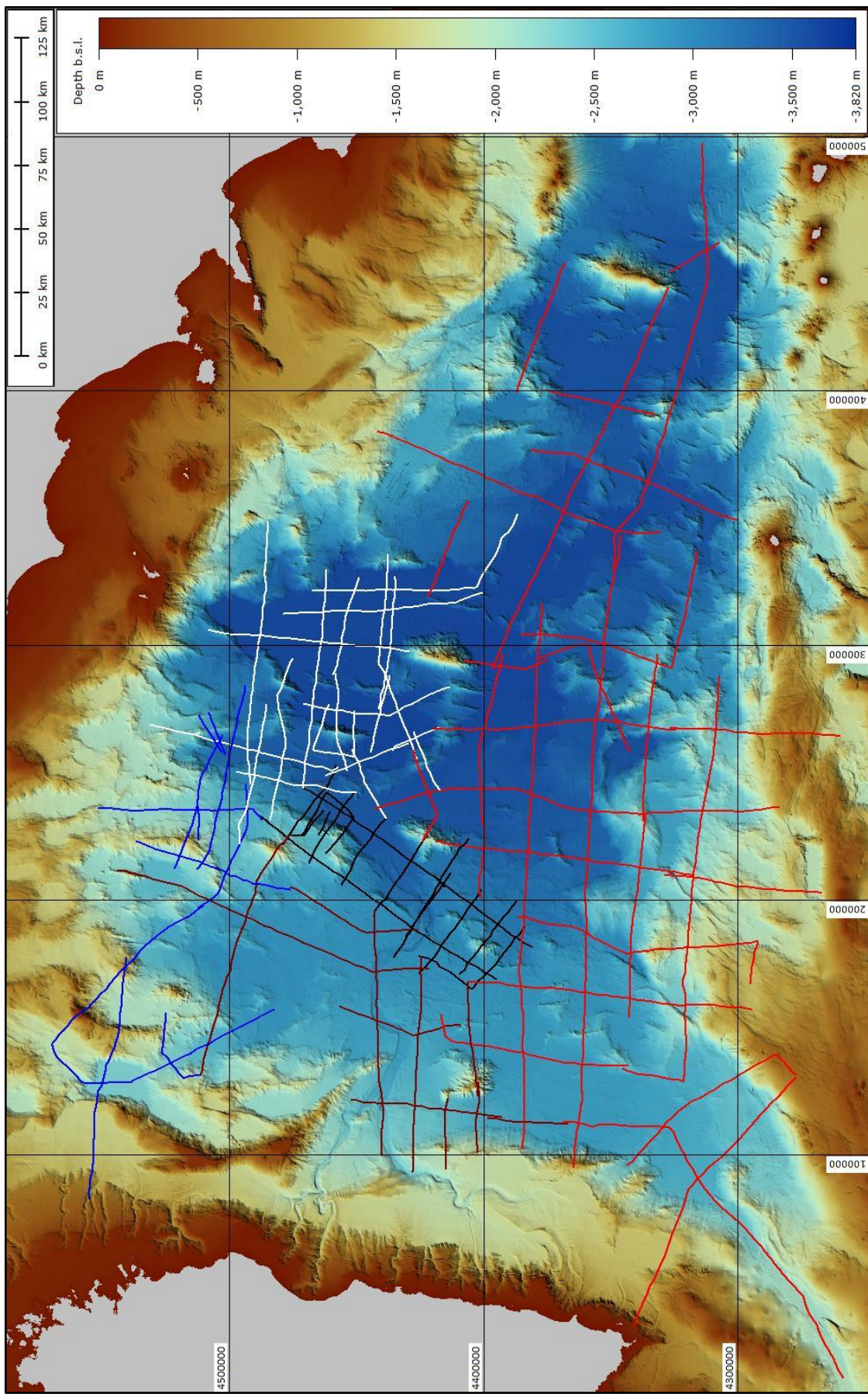


Figura A4: ubicazione dei profili Sparkler acquisiti nell' area della Piana Batiale Meridionale (linee PM, in rosso) ed in quella Occidentale (linee PO in marrone); lungo la zona della Scarpata Settentrionale (linee SN in blu) e nelle aree denominate " Faglia Centrale" (linee FC in nero) e " Monti Centrali" (linee MC in bianco). Gli acronimi delle linee fanno riferimento alla Tabella A1. " EMODnet Digital Bathymetry" (DTM 115*115 m). Datum WGS84, proiezione UTM 33 N. Colormap da Cramer 2018.

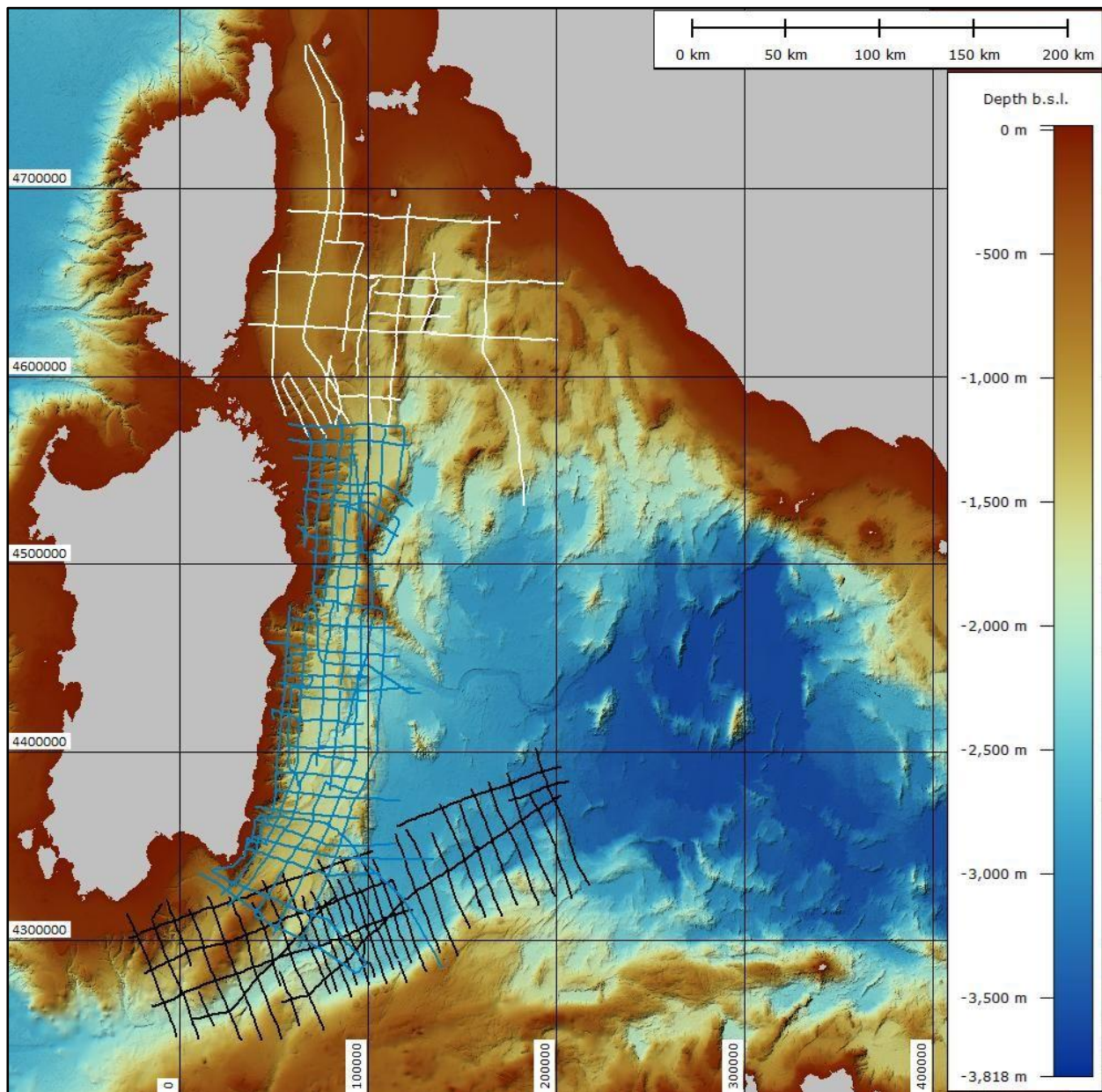


Figura A5: ubicazione dei profili *Sparker* acquisiti nel Canale di Sardegna (linee MA in nero) e lungo il margine tirrenico occidentale nel Bacino Sardo (linee BS in azzurro) e nel Bacino della Corsica (linee BCO in bianco). Gli acronimi delle linee fanno riferimento alla Tabella A1. "EMODnet Digital Bathymetry" (DTM 115*115 m). Datum WGS84, proiezione UTM 33 N. Colormap da Cramerì 2018.

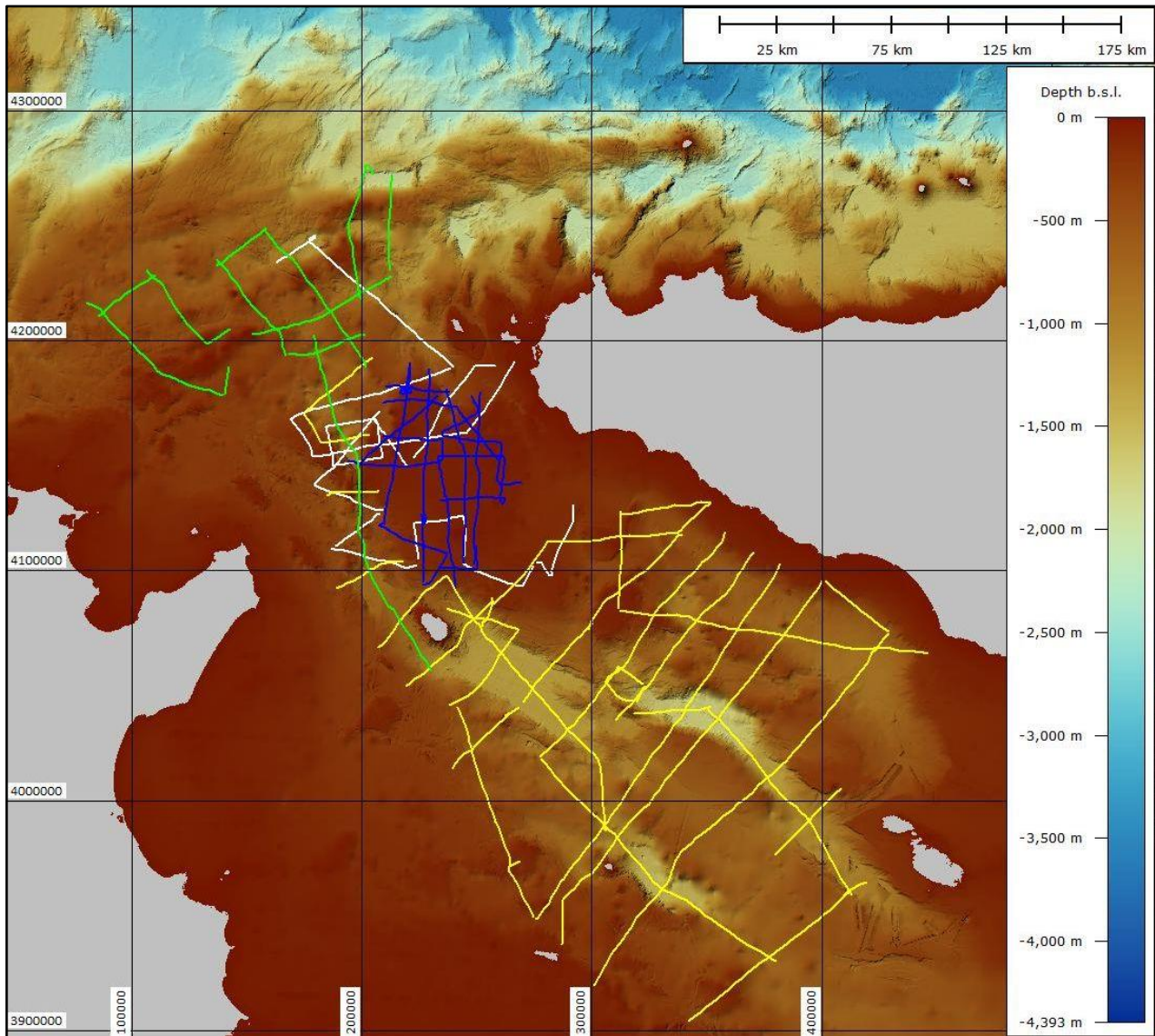


Figura A6: ubicazione dei profili Sparker acquisiti nell'area del Canale di Sicilia tra il 1971 e il 1980. In giallo sono riportate le linee denominate SC; in bianco le linee acquisite nell'area del Banco Avventura (linee AB); in verde le linee nell'area del Banco Skerki (linee SK); in blu le linee acquisite nel 1980 nel Canale di Sicilia Occidentale (SCO). Gli acronimi delle linee fanno riferimento alla Tabella A2. "EMODnet Digital Bathymetry" (DTM 115*115 m). Datum WGS84, proiezione UTM 33 N. Colormap da Crameri 2018.

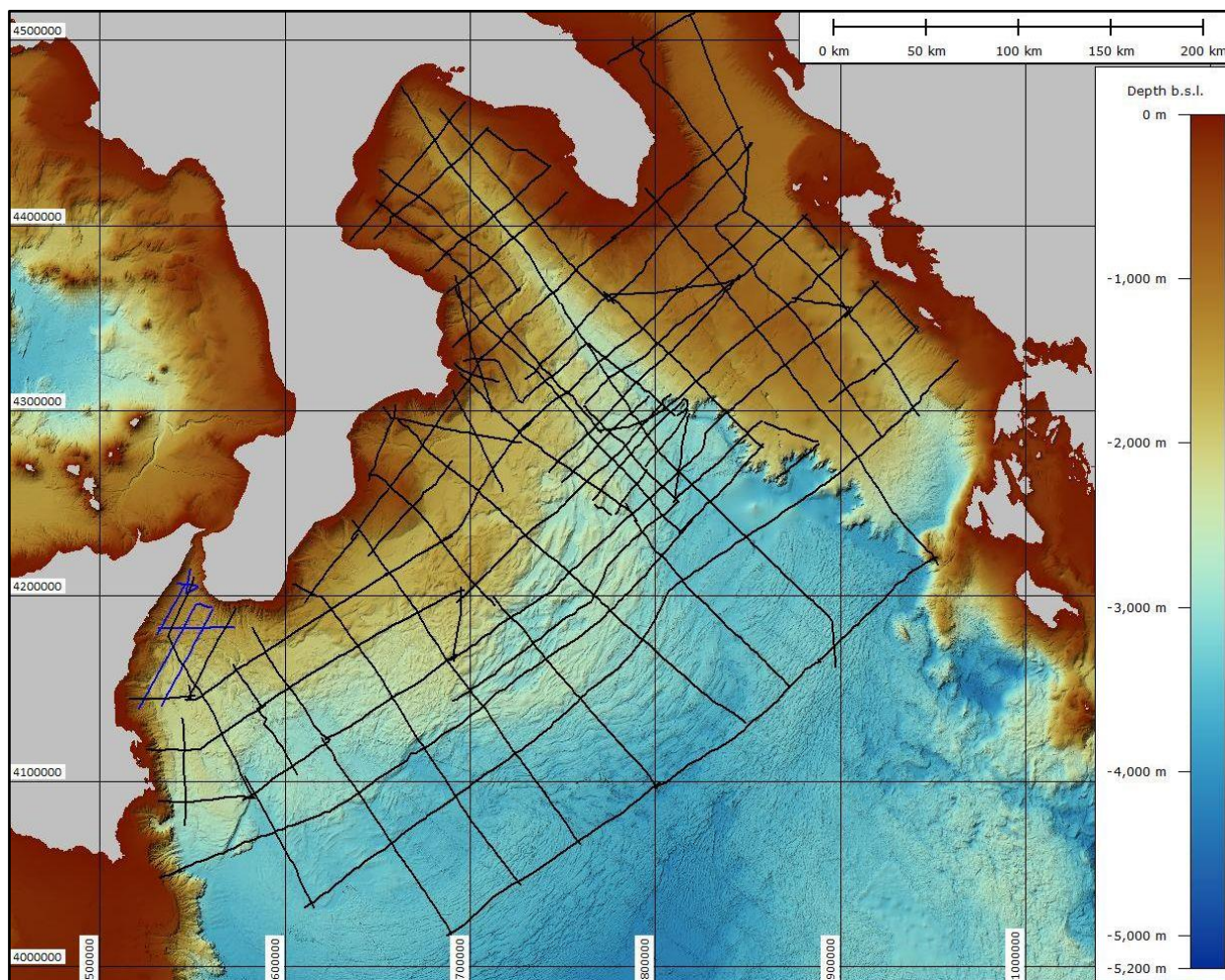


Figura A7: ubicazione dei profili Sparker acquisiti nell'area dello Stretto di Messina (linee ME in blu) e nel Mar Ionio nel corso di diverse campagne oceanografiche che si sono succedute dal 1971 al 1982 (linee J in nero). Gli acronimi delle linee fanno riferimento alla Tabella A3. "EMODnet Digital Bathymetry" (DTM 115*115 m). Datum WGS84, proiezione UTM 33 N. Colormap da Cramerì 2018.

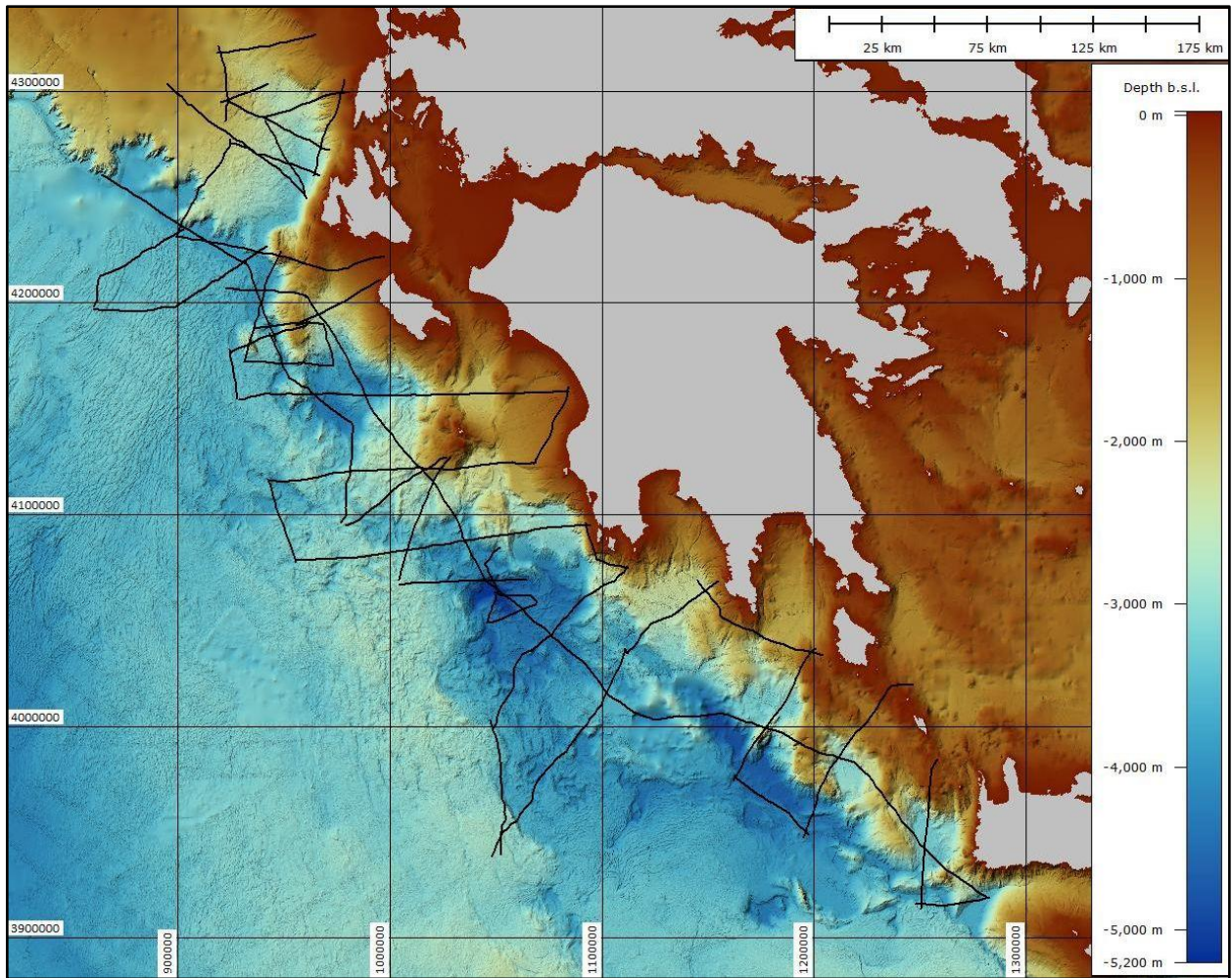


Figura A8: ubicazione dei profili Sparker (linee GR) acquisiti nell'area delle Isole Ionie nel Mar Ionio meridionale durante la campagna oceanografica GR82. Gli acronimi delle linee fanno riferimento alla Tabella A3. "EMODnet Digital Bathymetry" (DTM 115*115 m). Datum WGS84, proiezione UTM 33 N. Colormap da Cramer 2018.