

scala 1:280.000

scala 1:280.000

QUADERNI di GEOFISICA

Elaborazione ed interpretazione geologica
di sismica di altissima risoluzione
nell'offshore del promontorio del Cilento
(Tirreno meridionale, Italia)



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

155

Direttore Responsabile

Valeria DE PAOLA

Editorial Board

Luigi CUCCI - Editor in Chief (luigi.cucci@ingv.it)
Raffaele AZZARO (raffaele.azzaro@ingv.it)
Christian BIGNAMI (christian.bignami@ingv.it)
Mario CASTELLANO (mario.castellano@ingv.it)
Viviana CASTELLI (viviana.castelli@ingv.it)
Rosa Anna CORSARO (rosanna.corsaro@ingv.it)
Domenico DI MAURO (domenico.dimauro@ingv.it)
Mauro DI VITO (mauro.divito@ingv.it)
Marcello LIOTTA (marcello.liotta@ingv.it)
Mario MATTIA (mario.mattia@ingv.it)
Milena MORETTI (milena.moretti@ingv.it)
Nicola PAGLIUCA (nicola.pagliuca@ingv.it)
Umberto SCIACCA (umberto.sciacca@ingv.it)
Alessandro SETTIMI (alessandro.settimi1@istruzione.it)
Andrea TERTULLIANI (andrea.tertulliani@ingv.it)

Segreteria di Redazione

Francesca DI STEFANO - Coordinatore
Rossella CELI
Barbara ANGIONI

redazionecec@ingv.it

REGISTRAZIONE AL TRIBUNALE DI ROMA N.174 | 2014, 23 LUGLIO

© 2014 INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
Rappresentante legale: Carlo DOGLIONI
Sede: Via di Vigna Murata, 605 | Roma



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

QUADERNI di GEOFISICA

Elaborazione ed interpretazione geologica
di sismica di altissima risoluzione
nell'offshore del promontorio del Cilento
(Tirreno meridionale, Italia)

*Processing and Geologic Interpretation of
High Resolution Seismics Offshore the Cilento
Promontory (Southern Tyrrhenian Sea, Italy)*

Gemma Aiello

ISMAR | Istituto di Scienze Marine, Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Sezione Secondaria di Napoli

Accettato 9 maggio 2019 | Accepted 9 May 2019

Come citare | How to cite Aiello G., (2019). Elaborazione ed interpretazione geologica di sismica di altissima risoluzione nell'offshore del promontorio del Cilento (Tirreno meridionale, Italia). Quad. Geofis., 155: 1-24.

In copertina Profili sismici B51, B52 e B53 e corrispondente interpretazione geologica | Cover Seismic profiles B51, B52 and B53 and corresponding geologic interpretation

155

INDICE

Riassunto	7
<i>Abstract</i>	7
Introduzione	8
1. Inquadramento geologico	8
2. Materiali e metodi	10
3. Risultati	12
3.1 Elaborazione dei profili sismici	12
3.2 Interpretazione geologica dei profili sismici	13
3.2.1 Offshore tra la foce del fiume Solofrone e Punta Licosa	13
3.2.2 Offshore tra Punta Licosa e l'abitato di Agnone	15
3.2.3 Offshore tra l'abitato di Agnone e la foce del fiume Solofrone	15
4. Discussione	16
5. Conclusioni	17
Bibliografia	19

Riassunto

Viene qui presentata l'elaborazione e l'interpretazione per scopi di cartografia geologica marina (realizzazione della parte a mare del foglio n. 502 "Agropoli"; ISPRA, Servizio Geologico d'Italia) di una dettagliata griglia di profili sismici a riflessione di altissima risoluzione (*Subbottom Chirp*) acquisiti nell'offshore della piattaforma continentale della Campania tra la foce del fiume Solofrone e l'abitato di Agnone. I profili sismici, acquisiti tramite il *Subbottom Chirp profiler*, sono stati elaborati tramite un programma di ri-lettura ed elaborazione di dati sismici monocanale, il *SeisPrho*, messo a punto dall'Istituto di Scienze Marine del CNR di Bologna e cortesemente reso disponibile. In particolare, è stata effettuata la ri-lettura di oltre 100 sezioni sismiche, precedentemente acquisite a bordo della N/O *Urania* del CNR, unitamente con l'applicazione di un guadagno verticale lineare, che ha consentito di migliorare notevolmente la qualità del segnale sismico. L'area studiata è schematizzabile in tre zone distinte, differenziate tra loro in base all'orientamento dei profili sismici ed all'interlinea del grigliato. L'interpretazione dei profili sismici, effettuata secondo i criteri della sismo-stratigrafia, ha consentito di distinguere le principali unità sismo-stratigrafiche presenti nel sottofondo marino, che sono separate da riflettori sismici significativi, corrispondenti con superfici notevoli di discordanza e/o concordanza. Nella piattaforma continentale interna del Cilento tra la foce del fiume Solofrone e Punta Licosa l'analisi sismo-stratigrafica ha evidenziato che la copertura sedimentaria recente, di età compresa tra il Pleistocene superiore e l'Olocene è organizzata in quattro unità sismo-stratigrafiche e rappresenta, nel suo settore settentrionale, un'area depocentrale di sedimenti marini, prevalentemente sabbiosi. Inoltre, sono presenti bande sabbiose grossolane parallele alla linea di costa, che evidenziano la probabile attività di correnti di fondo lungo costa. Per contro, nel suo settore meridionale, tale piattaforma rappresenta il proseguimento verso mare dell'alto strutturale di Punta Licosa ed è caratterizzata dall'affioramento a fondo mare di ampi settori di basamento acustico roccioso, geneticamente correlabile con il "Flysch del Cilento" Auct.

Abstract

The processing and the geologic interpretation aimed at marine geological mapping (realization of the marine map of the sheet n. 502 "Agropoli", ISPRA, National Geological Survey of Italy) of a detailed grid of very high resolution seismic profiles (Subbottom Chirp) recorded in the Campania continental shelf between the Solofrone river mouth and the Agnone town have been carried out. The seismic profiles, recorded through the Subbottom Chirp profiler, have been processed using an open-source software for single-channel seismic data processing, the SeisPrho, licensed by the Institute of Marine Sciences of the National Research Council of Bologna, Italy and made available. In particular, more than one hundred seismic sections, previously recorded onboard of the RV Urania (CNR) have been read and processed through the application of a vertical linear gain, allowing for a significant improvement of the seismic signal. The study area can be divided in three zones, which have been distinguished based on the trend of the seismic profiles and on the line spacing. The interpretation of the seismic profiles, carried out accordingly to the criteria of the seismic stratigraphy, has allowed to distinguish the main seismo-stratigraphic units occurring in the subsurface, which are separated by significant seismic reflectors, corresponding with unconformities and/or conformities. In the Cilento inner continental shelf between the Solofrone river mouth and the Licosa Cape the seismo-stratigraphic analysis has shown that the recent sedimentary cover, ranging in age from the Late Pleistocene and the Holocene is organized in four main seismo-stratigraphic units. In its northern sector this shelf represents a depocentral area of marine deposits, mainly sands. Coarse-grained sandy

belts have been identified parallel to the shoreline, suggesting the activity of alongshore currents. In its southern sector this shelf represents the seaward prolongation of the Licosa Cape structural high and is characterized by wide outcrops of rocky acoustic basement, genetically related with the Cilento Flysch Auct.

Introduzione

Viene qui illustrata l'elaborazione e l'interpretazione di una fitta griglia di profili sismici a riflessione di altissima risoluzione acquisiti ad Ottobre del 2003 nell'offshore della piattaforma continentale della Campania tra la foce del fiume Solofrone e la zona antistante la città di Agnone in una fascia batimetrica compresa tra -10 m e -110 m con la finalità di effettuare un'interpretazione geologica e morfologica dei lineamenti presenti al fondo mare e nel primo sottofondo marino. Tale interpretazione è stata finalizzata alla produzione di carte geologiche marine (foglio n. 502 "Agropoli", parte mare) [Monti et al., 2016].

In particolare, è stata elaborata ed interpretata una maglia di profili sismici di altissima risoluzione, che presentano una penetrazione verticale relativa ai primi 30 metri del sottofondo marino, acquisiti mediante il *Subbottom Chirp*, un nuovo modello di profilatore acustico in dotazione alla RV Urania del CNR (<http://www.cnr.it/consulenza/NaveUrania.html>). Tale strumento rappresenta un profilatore acustico di sedimento di nuova generazione, che ha completamente sostituito il *Subbottom 3.5 kHz*, precedentemente utilizzato per queste indagini. Il *Subbottom Chirp* presenta una frequenza modulata e concentrata in due bande distinte (2.5-7 kHz e 8-21 kHz), consentendo una profondità di investigazione di 15-20 m ed una risoluzione decimetrica. I profili sismici sono stati ripuliti e filtrati mediante l'utilizzo di un *software* di riletture ed elaborazione di dati sismici monocanale, il *SeisPrho*, messo a punto dall'Istituto di Scienze Marine del CNR di Bologna [Gasperini e Stanghellini, 2009; Ricchi et al., 2015]. Tale programma è stato estesamente utilizzato in indagini geologiche e geofisiche in aree mediterranee ed extra-mediterranee per il trattamento dei dati di sismica di alta risoluzione [Gasperini e Stanghellini, 2009; Gasperini et al., 2012; Polonia et al., 2016; Bonatti et al., 2017]. Il programma *SeisPrho* è stato messo a punto per consentire all'utente di immettere manualmente i principali parametri che riguardano la struttura dei dati in modo da leggere e mostrare *files* di dati (Profile, Positioning, Analysis, SEG Y File Header, Reflectivity, Bitmaps, Log) [Gasperini e Stanghellini, 2009; Ricchi et al., 2015]. Il risultato del processing dei dati sismici con *SeisPrho* consente la restituzione di sezioni sismiche in forma di immagini bitmap. Alle sezioni sismiche del Cilento è stato applicato un processing semplice, consistente nell'applicazione di un guadagno verticale lineare lungo tutta la sezione sismica, che ha consentito un miglioramento significativo della qualità dei dati sismici elaborati (vedi discussione nel paragrafo 3). Dopo il processing sismico è stata effettuata un'interpretazione geologica delle sezioni sismiche elaborate in base ai criteri della stratigrafia sismica [Mitchum et al., 1977; Vail et al., 1977]. Tale interpretazione ha consentito di distinguere le principali unità sismo-stratigrafiche presenti nel sottofondo marino, separate da riflettori significativi, corrispondenti con superfici notevoli di discordanza e/o concordanza. L'interpretazione delle sezioni ha permesso di effettuare una distinzione tra il basamento acustico, affiorante in ampi settori della zona sottocosta, per un'estensione notevolmente superiore a quella precedentemente segnalata [Coppa et al., 1988; Ferraro et al., 1997] e le zone di accumulo di sedimenti.

1. Inquadramento geologico

Il margine sud-orientale del Tirreno rappresenta un margine continentale di tipo passivo interessato da faglie listriche con blocchi basculanti sia verso mare che verso terra. Questo stile

tettonico ha determinato la formazione, lungo il margine tirrenico, di bacini di *half-graben*, sia sulla piattaforma continentale che sulla scarpata, alternati a zone di alto strutturale [Bartole, 1983; Bartole et al., 1984; Trincardi e Zitellini, 1987; Sacchi et al., 1994; Aiello et al., 2000; Marani e Gamberi, 2004; Guarnieri, 2006; Aiello et al., 2011a; 2011b; Milia et al., 2013; Moeller et al., 2013; Conti et al., 2017; Aiello, 2018].

L'area marina antistante il Promontorio del Cilento rappresenta una zona di alto strutturale, risultante dal proseguimento verso mare dell'alto strutturale di Punta Licosa, delimitato a nord e a sud da due *semi-graben*: la Valle di Salerno ed il Golfo di Policastro. La Valle di Salerno rappresenta un bacino sedimentario di *half-graben*, la cui individuazione è stata controllata nel Pleistocene inferiore dalla faglia maestra Capri-Penisola Sorrentina, che borda il margine meridionale della Penisola con rigetti complessivi dell'ordine dei 1500 m, ribassando le serie carbonatiche meso-cenozoiche mediante una gradinata di faglie dirette. I dati sismo-stratigrafici precedenti hanno mostrato un'importante discordanza regionale, posta tra i 2000 ed i 2500 m di profondità, correlabile con la sommità dei carbonati meso-cenozoici, che segna la base del riempimento plio-pleistocenico della Valle di Salerno, con uno spessore complessivo di circa 1500 m [Aiello et al., 2007; 2009]. L'intensa attività tettonica sinsedimentaria, attiva fino al Pleistocene superiore in corrispondenza di faglie listriche ad andamento NNW-SSE ha innescato instabilità gravitative sottomarine, evidenti come facies acustiche caotiche intercalate a varie altezze stratigrafiche sui profili sismici multicanale [Aiello et al., 2009].

L'alto strutturale del Cilento è stato oggetto di studi geologici e sismo-stratigrafici fin dalla fine degli anni '90, quando l'interpretazione della sismica multicanale AGIP ha evidenziato ampie zone di alto strutturale, caratterizzate da facies acustiche sorde con basamento acustico privo di riflessioni interne [Sacchi et al., 1994], alternate a bacini sedimentari. Successivamente, l'acquisizione di sismica multicanale profonda lungo il margine tirrenico [Aiello et al., 2011a; 2011b; Aiello e Cicchella, 2019], ha confermato tale assetto strutturale, evidenziando come la struttura dell'alto del Cilento sia localmente complicata da piegamenti, faglie inverse e fenomeni di inversione di bacino, documentati lungo tutto il margine tirrenico orientale [Trincardi and Zitellini, 1987; Argnani and Trincardi, 1990; Sacchi et al., 1994].

L'area emersa del Cilento (ed in parte anche la corrispondente area sommersa) è stata soggetta ad un sollevamento verticale dell'ordine dei 400 m dal Pleistocene inferiore al Pleistocene medio, controllato dalla neotettonica distensiva che ha coinvolto il margine tirrenico orientale. Tale sollevamento tettonico è evidenziato e confermato dalla quota e dalla distribuzione dei terrazzi marini affioranti a terra durante tale intervallo temporale [Cinque et al., 1994]. Numerosi lembi di superfici terrazzate intagliano, a fondo mare le aree di affioramento del basamento acustico roccioso, evidenziando come l'area sommersa sia stata più volte sollevata e terrazzata durante il Pleistocene, fino al raggiungimento dell'assetto tettonico attuale. La misura delle paleo-profondità dei lembi di superfici terrazzate potrebbe consentire una correlazione tentativa con i corrispondenti episodi di stazionamento basso del livello marino durante il Quaternario superiore. Evidenze di faglie dirette con piccolo rigetto verticale sono state rinvenute nelle aree di affioramento del basamento acustico roccioso al largo di Punta Licosa, frequentemente associate a morfologie erosive (canalizzazioni, superfici erosive policicliche).

Nel settore emerso del Promontorio del Cilento affiorano estesamente le successioni silicoclastiche ascrivibili al Gruppo del "Flysch del Cilento" *Auct*, coinvolti dalla deformazione della catena appenninica durante il Cenozoico e successivamente interessati da distensione e da sollevamento tettonico a partire dal Pliocene superiore [Bonardi et al., 1988; Cammarosano et al., 2011; Vitale e Ciarcia, 2018]. Tali unità sono state l'oggetto di una revisione stratigrafico-strutturale nell'ambito della realizzazione del progetto CARG [Cammarosano et al., 2011]. Tale revisione ha riguardato sia il Gruppo del Cilento, costituito dalle Arenarie di Pollica e dalla Formazione di S. Mauro, che l'unità Nord-calabrese, costituita dalla Formazione delle Crete Nere, del Saraceno e dalle Arenarie di Cannicchio e le Unità Sicilidi *Auct*.

Tali unità stratigrafico-strutturali rappresentano il basamento acustico roccioso dei depositi

plio-pleistocenici ed olocenici della piattaforma continentale tra Punta Licosa e Capo Palinuro [Coppa et al., 1988; Ferraro et al., 1997]. Il basamento acustico è estesamente affiorante al fondo mare, in particolare nell'area al largo dell'alto strutturale di Punta Licosa, caratterizzato da diffuse morfologie erosive.

Da un punto di vista morfologico l'area in studio rappresenta un esteso settore di piattaforma continentale, il cui margine esterno si rinviene a profondità di circa 250 m. Mentre la piattaforma continentale a nord di Punta Licosa decorre con pendenze uniformi, l'area marina antistante Punta Licosa rappresenta un alto strutturale con andamento circa E-W, caratterizzato da lembi di superfici terrazzate, intagliate nel basamento roccioso e particolarmente evidenti nell'intervallo batimetrico compreso tra -10 e -20 m, ma presenti anche a profondità più elevate (di circa -60 m). Una brusca rottura di pendenza, posta a profondità comprese tra -60 e -80 m segna il passaggio dall'alto strutturale di Punta Licosa alle zone di piattaforma esterna, attraverso una scarpata acclive. Lungo tale scarpata decorrono vari assi di drenaggio. La piattaforma continentale verso il Golfo di Policastro è caratterizzata da un andamento morfologico articolato e pendenze elevate, a profondità d'acqua comprese tra -10 m e -110 m.

Va segnalata infine, sia a nord-ovest che a sud-ovest dell'alto di Punta Licosa, la presenza di relitti morfologici collegati alla piattaforma continentale medio-tardo pleistocenica, che presentano un andamento planimetrico sia NNW-SSE che E-W e si sollevano su fondali a profondità d'acqua di circa -130 m. Tali relitti morfologici rappresentano palinsesti di spiaggia emersa-sommersa e formano cordoni dunari allungati, costituiti da sabbie e ghiaie ben cernite, a luoghi cementate, con abbondanti frammenti bioclastici, a luoghi drappeggiati alla sommità da sabbie bioclastiche di piattaforma esterna [Monti et al., 2016]. Sui profili *Subbottom Chirp* le sabbie relitte appaiono come unità sorde con cliniformi a bassa pendenza, con *offsets* troncati a fondo mare da superfici erosive policicliche (vedi paragrafi successivi). Le parti sommitali dei cliniformi di spiaggia non appaiono preservate, ma troncate da superfici erosionali di *ravinement*, che suggeriscono una rielaborazione dei depositi di spiaggia durante successive fasi di sollevamento del livello marino.

2. Materiali e metodi

Esistono metodi diretti e metodi indiretti per lo studio dell'ambiente marino: i primi sono utilizzati soprattutto per l'analisi di fondali poco profondi e contenuti in aree limitate; i secondi, di tipo acustico, sono più adatti per lo studio della topografia del fondale marino. Essi, infatti, grazie alle misure eseguite utilizzando strumenti ad onde sonore situati su una nave in superficie, quali gli ecoscandagli a fascio singolo, gli ecoscandagli laterali multifascio (*Multibeam*), i profilatori di sedimento *Subbottom* (*Subbottom 3.5 kHz* e *Subbottom Chirp*) ed i *Sidescan Sonar* permettono un rapido monitoraggio delle zone marine, rendendo possibile la classificazione dei fondali e l'individuazione di strutture geologiche in seguito allo studio delle proprietà acustiche dei materiali che li costituiscono.

In particolare, la metodologia di prospezione geofisica qui utilizzata è la sismica a riflessione, basata sulla misura dei tempi di arrivo delle onde sonore riflesse dagli strati costituenti il fondo. L'interpretazione geologica delle sezioni sismiche a riflessione è una metodologia di lavoro basata su un approccio definito "sismostratigrafia" o "stratigrafia sismica" [Vail et al., 1977; Mitchum et al., 1977; Anstey et al., 1982; Bally et al., 1988]. Tale approccio è basato sul principio che i riflettori sismici, determinati da contrasti di impedenza acustica (prodotto della velocità sismica per la densità del materiale attraversato) corrispondono ai piani di strato. Pertanto, le geometrie delle riflessioni sismiche corrispondono alle geometrie deposizionali. I contrasti di impedenza acustica, che controllano l'individuazione dei riflettori sismici, sono

localizzati lungo superfici di strato o altre discontinuità con significato cronostratigrafico. Le superfici di strato rappresentano le antiche superfici deposizionali e quindi, sono coeve nell'area di deposizione. Le discontinuità sono vecchie superfici di erosione o non-deposizione, che corrispondono con lacune stratigrafiche significative. Sebbene rappresentino eventi variabili nel corso del tempo geologico, le discontinuità rappresentano superfici crono-stratigrafiche, dato che gli strati che ricoprono la discontinuità sono più recenti degli strati sottostanti [Mitchum et al., 1977; Vail et al., 1977; 1984].

I principali passaggi dell'analisi sismostratigrafica sono rappresentati dall'identificazione delle discontinuità e conseguentemente, delle sequenze deposizionali, dalla ricostruzione della geometria originaria dei corpi sedimentari e degli ambienti deposizionali a questi collegati e dalla correlazione cronostratigrafica [Mitchum et al., 1977; Vail et al., 1977; 1984]. L'analisi della sequenza sismica consente l'identificazione delle sequenze deposizionali. Le relazioni geometriche tra le terminazioni laterali degli strati e le discontinuità (o le correlabili concordanze) definiscono i limiti delle sequenze deposizionali. Le terminazioni laterali degli strati rispetto ai limiti di sequenza individuano le configurazioni di onlap, downlap e continuità (limiti inferiori) e di troncatura erosiva, toplap e continuità (limiti superiori).

L'analisi della facies sismica riguarda sia l'individuazione che l'interpretazione geologica della geometria, continuità, ampiezza, frequenza e velocità dei riflettori sismici, più che la forma esterna dei corpi sedimentari e le associazioni di facies sismiche in una sequenza deposizionale [Mitchum et al., 1977; Roksandic, 1978; Dumay and Fournier, 1988; West et al., 2002; Coleou et al., 2003; De Matos et al., 2007; Marroquin et al., 2009]. Uno sviluppo moderno di tali tecniche è rappresentato dalla *cluster analysis*, rappresentativa delle variazioni significative nelle proprietà delle rocce, nella litologia e nel contenuto in fluidi [Coleou et al., 2003; De Matos et al., 2007; Marroquin et al., 2009]. Questa offre uno strumento significativo per classificare la forma delle tracce sismiche raggruppandole in *clusters*.

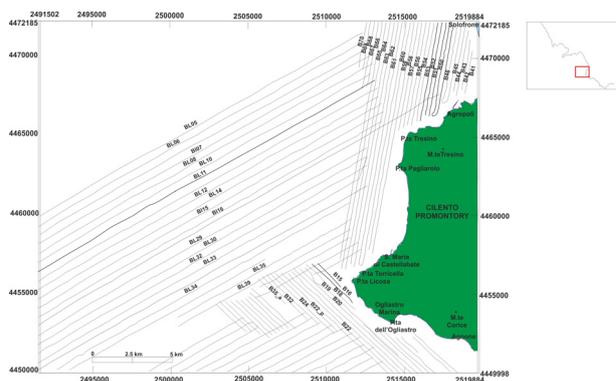
L'analisi delle fluttuazioni relative del livello del mare si basa sulla costruzione di diagrammi cronostratigrafici e di curve delle variazioni relative del livello del mare [Mitchum et al., 1977; Vail et al., 1977; 1984; de Alteriis e Aiello, 1993]. In una sezione cronostratigrafica vengono riportate le unità cronologiche nelle ordinate del grafico ed ogni strato ha una uguale durata temporale. Gli *hiatus*, sia erosionali che non-deposizionali, possono essere rinvenuti lungo le superfici temporali che corrispondono con gli strati delle sequenze deposizionali. Le informazioni finalizzate possono essere riassunte in diagrammi cronostratigrafici di Wheeler [de Bruin et al., 2007; Qayyum et al., 2012].

L'importanza della cartografia geologica nella gestione del territorio ha reso necessaria la realizzazione di una cartografia geologica aggiornata, che ha consentito di migliorare le conoscenze sulla dinamica della sedimentazione attuale e recente per l'uso sostenibile e la tutela delle zone costiere e delle aree di piattaforma. I dati sismici qui analizzati sono stati acquisiti nella piattaforma continentale circostante il Promontorio del Cilento nel corso della crociera oceanografica GMS03_01, realizzata nell'ottobre 2003 a bordo della N/O Urania (CNR). Oltre ai profili sismici Chirp, qui analizzati, sono state acquisite strisciate acustiche *Sidescan Sonar* e profili magnetometrici sulle stesse linee di navigazione della sismica.

La griglia sismica dei profili *Subbottom Chirp* è rappresentata nella mappa di navigazione (Fig. 1), generata utilizzando un GIS (Geographic Information System), che ha importato i *files* di navigazione delle linee sismiche, registrati a bordo dal programma di navigazione NAVPRO, che ha gestito l'acquisizione dati a bordo. La mappa di navigazione (scala 1:50.000) rappresenta la mappa base per la rappresentazione cartografica realizzata nel settore marino del foglio geologico n. 502 "Agropoli" [Monti et al., 2016].

Figura 1 Mappa di navigazione dei profili sismici Subbottom Chirp nell'offshore del Cilento.

Figure 1 Navigation map of the Subbottom Chirp seismic profiles in the Cilento offshore.



3. Risultati

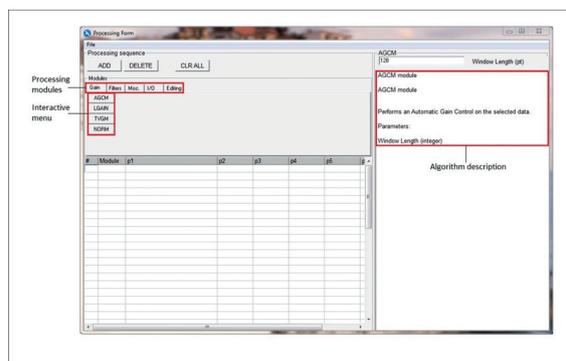
3.1 Elaborazione dei profili sismici

Il programma SeisPrho è stato sviluppato per essere usato utilizzando la multiplatforma Delphi/Kylix per il monitoraggio ambientale ed è disponibile in versioni che girano sotto i sistemi operativi Windows™ e Linux™. In particolare, qui è stata utilizzata la versione del programma che gira sotto Windows™. Il programma elabora files acquisiti in formato SEG-Y e produce, come risultato finale, sezioni sismiche sotto forma di immagini bitmap. Nel programma sono inclusi algoritmi di elaborazione sismica, come il filtraggio, la deconvoluzione e vari altri moduli di base. Una delle caratteristiche più rilevanti del *software* è la sua interfaccia grafica, che fornisce, a coloro che lo usano, uno strumento per l'analisi e l'interpretazione dei dati sismici monocanale. Infatti, SeisPrho realizza diverse funzioni interattive per l'analisi del segnale sismico ed il controllo geometrico delle caratteristiche geologiche attraverso la visualizzazione combinata di sezioni sismiche e carte geomorfologiche. Infine, grazie a questo software è possibile realizzare una serie di funzioni aggiuntive, come la creazione di *time slices*, partendo da una griglia sismica strettamente spaziata ed il calcolo e la redazione delle funzioni di riflettività. Ogni modulo è stato messo a punto per una data sequenza. I moduli di processing del programma sono organizzati in cinque categorie (Fig. 2) [Ricchi et al., 2015]:

1. Gain
2. Filter
3. Misc.
4. I/O
5. Editing

Figura 2 Flusso di elaborazione dei dati sismici (modificato da Ricchi et al., 2015).

Figure 2 Processing flux diagram of the seismic data (modified after Ricchi et al., 2015).



Il flusso di elaborazione dei dati sismici del programma SeisPrho è riportato in Fig. 2 [Ricchi et al., 2015]. L'accesso ai moduli può essere effettuato utilizzando il tasto corrispondente, che apre

un menu interattivo per immettere i parametri, insieme con una breve descrizione dell'algoritmo utilizzato. Questi moduli permettono all'utente di operare direttamente sui dati grezzi (*raw data*) per esaltare la qualità del profilo sismico da trattare. Una volta selezionati, i moduli vengono inseriti nella sequenza di processing usando il comando ADD. La selezione di singole celle nella sequenza effettua i conseguenti cambiamenti dei parametri. Puntando una riga specifica nella sequenza si ottiene l'inserimento di un nuovo modulo in quella posizione. I comandi di base per l'editing della sequenza sono DELETE (cancellare una linea) e CRL ALL (cancellare l'intera sequenza). Dopo che è stata completata la sequenza di processing e la scheda di processing è stata chiusa, un ulteriore comando GO legge i dati, che saranno processati in accordo con la sequenza di processing precedentemente impostata.

In questo lavoro, è stata applicata una elaborazione semplice dei dati sismici, realizzando il filtraggio e la restituzione sotto forma di immagini bitmap di una griglia di oltre 100 sezioni sismiche strettamente spaziate, in funzione della contemporanea acquisizione di profili *Sidescan Sonar* e magnetometrici. In particolare, i filtri utilizzati in questo studio sono stati il TVG (Time Variant Gain) in un intervallo variabile tra 0.0035 e 0.01 db e il L-GAIN (linear gain) in un intervallo variabile tra 1.2 e 5.6 db. A titolo di esempio, viene riportata una sezione sismica prima e dopo l'elaborazione dati (Fig. 3).

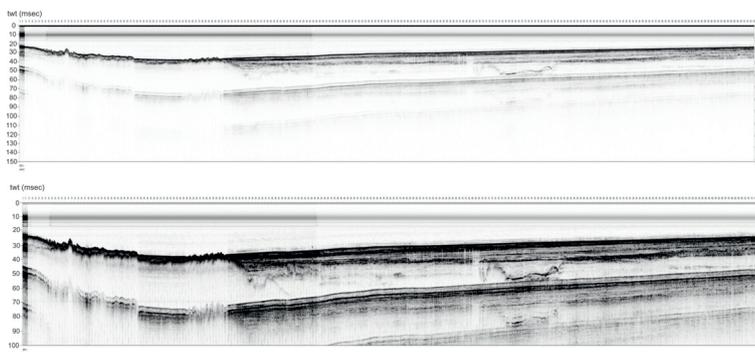


Figura 3 Esempio di sezione Chirp prima e dopo l'elaborazione dati con il programma Seisprho (B52). In alto nella figura: sezione sismica prima dell'elaborazione dati.

In basso nella figura: sezione sismica dopo l'elaborazione dati.

Figure 3 Example of Chirp profile before and after the data processing through the Seisprho software (B52). In the upper part of the figure: seismic section before the data processing. In the lower part of the figure: seismic section after the data processing.

3.2 Interpretazione geologica dei profili sismici

3.2.1 Offshore tra la foce del fiume Solofrone e Punta Licosa

Viene presentata l'interpretazione geologica di una maglia di sezioni sismiche di altissima risoluzione Subbottom Chirp, localizzata tra i -10 m ed i -50 m di profondità, con andamento NNW-SSE, strettamente spaziate ed ubicate tra la foce del fiume Solofrone ed il Promontorio di Punta Licosa. L'interlinea tra le sezioni Chirp è di 250 metri, in funzione della contemporanea acquisizione di strisciate *Sidescan Sonar*. Gli affioramenti rocciosi di basamento acustico a fondo mare sono stati riconosciuti e delimitati relativamente alla copertura sedimentaria recente, caratterizzata da sabbie grossolane passanti a sabbie medio-fini ed a sabbie fini. In particolare, è stato riconosciuto un esteso sistema di cordoni sabbiosi, localizzato tra la foce del fiume Solofrone e l'abitato di Agropoli, che presenta un andamento N-S. Tali cordoni sabbiosi sono localizzati in una fascia batimetrica compresa tra 10 e 17 metri di profondità. In quest'intervallo batimetrico le facies sabbiose sono prevalenti, rispetto agli affioramenti di

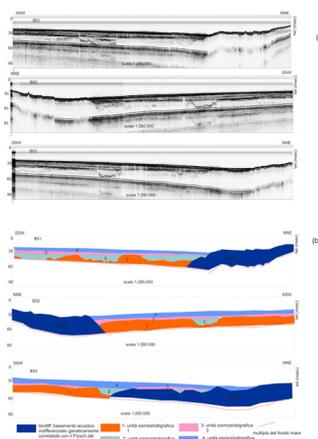
basamento acustico roccioso, presenti con limitata estensione tra 15 e 20 metri di profondità. Estesi affioramenti di basamento acustico roccioso sono stati rinvenuti nei settori sottocosta dell'area in studio, nel settore di offshore antistante l'abitato di Agropoli fino a Punta Tresino. Al contrario, una piccola baia localizzata a sud di Agropoli è caratterizzata prevalentemente da facies sabbiose grossolane, interpretabili come ambienti deposizionali di spiaggia sommersa. Da Punta Tresino a Punta Pagliarolo il basamento acustico roccioso rappresenta il naturale proseguimento verso mare delle falesie costiere incise nelle successioni del "Flysch del Cilento" Auct. [Bonardi et al., 1988; Cammarosano et al., 2011; Vitale e Ciarcia, 2018].

Da Agropoli a Punta Tresino il basamento acustico roccioso coincide con una superficie terrazzata, che presenta complessivamente una bassa pendenza, che immerge verso mare. Tale superficie affiora talvolta a fondo mare a profondità d'acqua comprese tra 5 e 25 metri di profondità. L'analisi dei dati sismo-acustici ha evidenziato la presenza di praterie algali, che colonizzano la parte superiore del basamento acustico roccioso. La presenza delle praterie algali è stata confermata dalla correlazione con sonogrammi *Sidescan Sonar* acquisiti sulle stesse linee di navigazione del Subbottom Chirp. Da Punta Tresino a Punta Pagliarolo il basamento acustico roccioso forma una superficie terrazzata a bassa pendenza, che raccorda le retrostanti falesie emerse, incise nei terreni del "Flysch del Cilento" Auct. [Bonardi et al., 1988; Cammarosano et al., 2011; Vitale e Ciarcia, 2018] con l'isobata dei -20 m di profondità. In questo caso, esiste una continuità fisiografica tra la falesia costiera e la superficie terrazzata rocciosa, dato che non è presente un raccordo da parte delle facies sabbiose di spiaggia sommersa. La forma in pianta dell'affioramento roccioso ricalca fortemente l'andamento dei due promontori rocciosi a terra, evidenziando l'esistenza di un importante controllo da parte della geologia del substrato.

L'interpretazione delle linee Chirp ha evidenziato che l'architettura stratigrafica della copertura sedimentaria recente, di età compresa tra il Pleistocene superiore e l'Olocene e sovrastante il basamento acustico roccioso, è caratterizzata da quattro unità sismo-stratigrafiche principali (Fig. 4a e b). La prima unità (1 in Fig. 4b), di spessore compreso tra 7 e 10 m, è contraddistinta da una facies sismica trasparente ed è probabilmente composta da sabbie (Fig. 4a e b). Tale unità è sovrapposta in discordanza sul substrato roccioso, la cui sommità è profondamente erosa, fino a formare canalizzazioni, interpretabili come paleo-alvei, all'interno dei quali si deposita la seconda unità sismo-stratigrafica. La seconda unità presenta alternanze di intervalli trasparenti e di riflettori continui, che suggeriscono alternanze di sabbie ed argille, per uno spessore di circa 10 m (Fig. 4a e b). Tale unità si deposita all'interno di ampie canalizzazioni di natura erosiva, localizzate al top dell'unità sismo stratigrafica 1. L'unità sismo-stratigrafica 3 presenta riflettori discontinui, di ampiezza elevata e rappresenta una prima fase del riempimento recente, di età olocenica (Fig. 4a e b). La quarta unità, con caratteristiche sismiche analoghe, coincide con una seconda fase del riempimento recente. Inoltre, sono state identificate ampie sacche di gas, riscontrabili sull'intera piattaforma interna tra la foce del Solofrone ed Agropoli a profondità comprese tra 10 e 50 m (Fig. 4a e b).

Figura 4 (a) Profili sismici B51, B52 e B53 e corrispondente interpretazione geologica (b; localizzazione in Fig. 1).

Figure 4 (a) Seismic profiles B51, B52 and B53 and corresponding geologic interpretation (b; location in Fig. 1).



3.2.2 Offshore tra Punta Licosa e l'abitato di Agnone

In quest'area l'analisi sismo-stratigrafica dei profili Subbottom Chirp ha consentito di riscontrare la presenza dell'alto morfo-strutturale di Punta Licosa, che si presenta come una dorsale rocciosa con andamento E-W (Fig. 5a e b). L'interpretazione geologica dei dati sismici ha consentito di delimitare gli affioramenti al fondo mare del basamento acustico roccioso e di ricostruire i rapporti stratigrafici con la copertura sedimentaria recente, che si presenta ridotta o assente. In particolare, la superficie sommitale del basamento acustico, affiorante al fondo mare, rappresenta un'ampia superficie erosiva policiclica. L'interpretazione geologica del profilo Chirp B15 ha mostrato un esteso affioramento al fondo mare del basamento acustico cenozoico, geneticamente correlabile con il Flysch del Cilento Auct., che si presenta dislocato da faglie dirette con modesti rigetti verticali. Inoltre, sono stati identificati tre lembi di superfici terrazzati, rispettivamente a -5 m, -19 m e -31 m di profondità (Fig. 5a e b). La copertura sedimentaria è rappresentata da unità discontinue e scarsamente stratificate, che corrispondono probabilmente a sabbie grossolane. Analogamente, il profilo B16 ha attraversato l'alto strutturale tra 12 e 47 m di profondità. Il basamento appare dislocato da faglie dirette con rigetti verticali di modesta entità e da lembi di superfici terrazzate (-11 m, -14 m, -21 m; Fig. 5a e b).

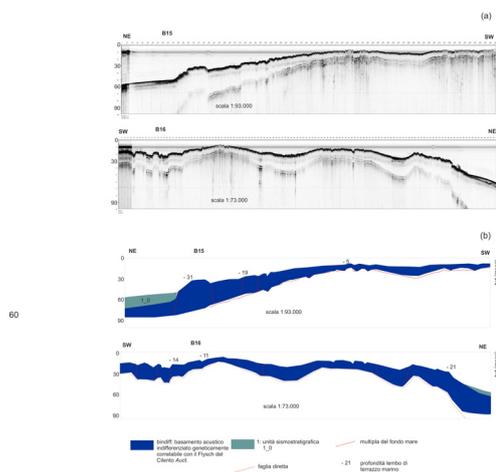


Figura 5 (a) Profili sismici B15 e B16 and corresponding geologic interpretation (b; localizzazione in Fig. 1).

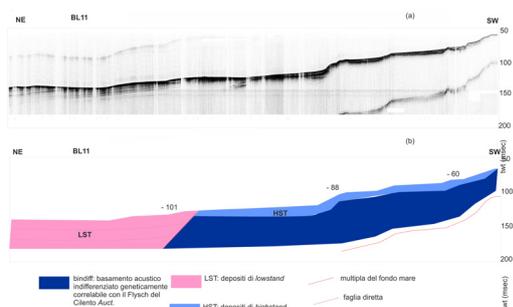
Figure 5 Seismic profiles B15 and B16 and corresponding geologic interpretation (b; location in Fig. 1).

3.2.3 Offshore tra l'abitato di Agnone e la foce del fiume Solofrone

L'analisi sismo-stratigrafica di una griglia di sezioni sismiche con andamento NE-SW, a profondità comprese tra -40 m e -150 m di profondità tra l'abitato di Agnone e la foce del fiume Solofrone, ha consentito di studiare i rapporti stratigrafici tra il basamento acustico roccioso, le unità di *lowstand* ed i depositi palinestesi (Fig. 6a e b). Il profilo sismico BL11 presenta un andamento SW-NE ed una lunghezza di 6600 m a profondità d'acqua comprese tra -52 m e -142 m. L'unità sismo-stratigrafica più bassa è rappresentata dal basamento acustico, che si presenta dislocato da faglie dirette di modesta entità. I depositi di *lowstand* (LST; Fig. 6a e b), caratterizzati da riflettori progradanti troncati verso l'alto da una superficie erosiva, che rappresenta la troncatura wurmiana, si rinvengono in contatto tettonico con il basamento acustico roccioso. I depositi di *lowstand* rappresentano palinestesi di spiaggia emersa/sommersa e sono costituiti da sabbie e ghiaie con frammenti bioclastici [Ferraro et al., 1997]. Sono stati inoltre riconosciuti i depositi di *highstand*, che formano un drappoggio di età olocenica. Tre lembi di superfici terrazzate intagliano la sommità del basamento acustico (profondità -60 m, -88 m, -101 m; Fig. 6b).

Figura 6 Profilo sismico BL11 e corrispondente interpretazione geologica (b; localizzazione in Fig. 1).

Figure 6 (a) Seismic profile BL11 and corresponding geologic interpretation (b; location in Fig. 1).



4. Discussione

L'analisi sismo-stratigrafica dei dati *Subbottom Chirp* ha evidenziato che la piattaforma interna tra la foce del fiume Solofrone e Punta Licosa rappresenta un'area depocentrale di sedimenti marino-costieri, prevalentemente sabbiosi. Al contrario, il settore meridionale della piattaforma continentale tra Agropoli e Punta Licosa costituisce un'alto strutturale, risultante dal prolungamento in mare dell'alto morfo-strutturale di Punta Licosa. Infatti, ampi affioramenti di basamento acustico roccioso sono presenti al fondo mare da Agropoli a Punta Tresino e da Punta Tresino fino a Punta Pagliarolo.

Nell'offshore tra Punta Licosa e l'abitato di Agnone è stata riscontrata la presenza di un'ampia zona di alto strutturale, dalla complessa ed articolata topografia, caratterizzata da estesi affioramenti di basamento acustico. Nel settore sottocosta tra -10 m e -50 m di profondità, tale basamento costituisce un'ampia superficie terrazzata affiorante al fondo mare, che immerge verso mare fino a ribassarsi al di sotto della copertura sedimentaria recente. Verso offshore, i dati sismici mostrano che il basamento affiora nuovamente in un'ampio alto morfo-strutturale delimitato da faglie dirette.

Lembi di superfici terrazzate disposti a varie quote evidenziano la complessa morfo-evoluzione del basamento acustico durante il Quaternario superiore. In particolare, sono stati riconosciuti quattro principali ordini di superfici terrazzate. Le superfici terrazzate più antiche sono disposte a profondità comprese tra -50 m e -43 m e sono correlabili con le superfici terrazzate disposte a quote comprese tra -46 m e -44 m di profondità nell'offshore antistante Capo Palinuro. Il secondo ordine di superfici terrazzate è stato identificato a quote comprese tra -27 m e -17 m ed è correlabile con le superfici terrazzate disposte a quote comprese tra -18 m e -24 m nell'area di Capo Palinuro. Il terzo ordine di superfici terrazzate è stato riconosciuto a quote comprese tra -5 m e -14 m ed è correlabile con le analoghe superfici disposte a quote comprese tra -12 m e -14 m nell'area di Capo Palinuro. Analogamente, gli orli di terrazzo presenti a -8 m sono coevi, se non precedenti, l'ultimo interglaciale e sono correlabili con la parte finale dello stadio isotopico 3. È stata costruita una tabella ricapitolativa, nella quale al profilo sismico vengono associate le profondità degli orli delle superfici terrazzate che intagliano il basamento acustico roccioso riconosciute in base alla sismica a riflessione (Tab. 1).

I palinsesti di spiaggia emersa-sommersa rappresentano il Lowstand System Tract (LST) della sequenza tardo-quadernaria, che si è depositato durante le fasi di stazionamento basso del livello del mare dello stadio isotopico 2 [Shackleton, 1978; Imbrie et al., 1984; Chappell and Shackleton, 1986; Lisiecki and Raymo, 2005]. Si tratta di sabbie grossolane organogene, geneticamente collegate alla regressione wurmiana.

I carotaggi prelevati nell'area di Punta Licosa indicano che questi depositi sono costituiti da sabbie grossolane organogene, passanti verso l'alto a sabbie medie con coperture pelitiche [Ferraro et al., 1997]. Nell'offshore del Cilento tali depositi si rinvengono come cordoni dunari con andamento NW-SE nel settore nord-occidentale a profondità di -140 -145 m e presentano un'età del Pleistocene inferiore.

Profilo sismico	Numero superfici terrazzate	Profondità orli di terrazzo
B50, B50_1	1	-17 m
B51	2	-18 m, -21 m
B52	2	-18 m, -21 m
B55	3	-8 m, -18 m, -21 m
B56	2	-10 m, -17 m
B61a	2	-14 m, -24 m
B61b	3	-10 m, -18 m, -27 m
B62	3	-10 m, -20 m, -50 m
B15	3	-5 m, -19 m, -31 m
B19	3	-44 m, -47 m, -50 m
B20	3	-10 m, -21 m, -43 m
B22	3	-15 m, -25 m, -47 m

Tabella 1 Tabella riepilogativa mostrante il numero di superfici terrazzate e la profondità degli orli di terrazzo associata ai relativi profili sismici.

Table 1 Sketch table showing the number of terraced surfaces and the depth of the terrace rims related to corresponding seismic profiles.

5. Conclusioni

È stata eseguita l'elaborazione e l'interpretazione per scopi di cartografia geologica marina per la realizzazione della parte a mare del foglio n. 502 "Agropoli" di una griglia dettagliata di profili sismici a riflessione di altissima risoluzione acquisiti nell'offshore della piattaforma continentale della Campania tra la foce del fiume Solofrone e l'abitato di Agnone. La finalità principale è stata quella di realizzare un'interpretazione geologica e morfologica dei lineamenti presenti a fondo mare e nel primo sottofondo marino. Tale interpretazione ha consentito la rappresentazione dei principali lineamenti morfologici presenti al fondo mare e nel primo sottofondo marino e potrà essere successivamente finalizzata alla produzione di carte geomorfologiche e tematiche del fondo mare e del primo sottofondo marino. I profili sismici, acquisiti tramite il Subbottom Chirp Profiler, sono stati filtrati tramite l'uso di un software di rilettera e di processamento dati, il Seisprho [Gasperini e Stanghellini, 2009]. L'interpretazione geologica delle sezioni sismiche è stata effettuata secondo i criteri della stratigrafia sismica; questa ha consentito di distinguere le principali unità sismo-stratigrafiche presenti nel sottofondo marino, separate da riflettori significativi, corrispondenti con superfici notevoli di concordanza e/o discordanza. L'interpretazione delle sezioni ha consentito di effettuare una distinzione tra il basamento acustico, affiorante in ampi settori della zona sottocosta, per un'estensione al fondo mare che risulta notevolmente superiore rispetto a quella segnalata da studi precedenti e le zone di accumulo dei sedimenti. Gli affioramenti di basamento acustico, correlabile con le unità del Flysch del Cilento *Auct.* estesamente affiorante nei retrostanti settori emersi, sono particolarmente diffusi nella fascia batimetrica compresa tra i -10 m ed i -50 m di profondità (quindi nella piattaforma interna in senso stretto) e formano superfici terrazzate a bassa pendenza nella zona sottocosta della piattaforma interna tra la foce del fiume Solofrone e Punta Licosa. In queste zone sottocosta l'analisi del segnale sismico e la correlazione con sonogrammi Sidescan Sonar acquisiti sulle stesse linee di navigazione del Chirp ha evidenziato

la presenza di ampie praterie a Posidonia, particolarmente diffuse in bassi fondali entro i -50 m di profondità. Procedendo verso il largo, il basamento acustico viene ribassato da faglie dirette al di sotto della copertura sedimentaria recente, organizzata in quattro principali unità sismo-stratigrafiche separate da superfici di discordanza. Il basamento acustico roccioso rilevato in quest'area risulta correlabile con le unità rocciose del "Flysch del Cilento", estesamente affioranti a terra nel corrispondente settore emerso del Promontorio del Cilento.

In base a tali considerazioni, la piattaforma continentale interna tra la foce del fiume Solofrone e Punta Licosa rappresenta, nel suo settore settentrionale, un'area depocentrale di sedimenti marini, come evidenziato dall'affioramento a fondo mare di sedimenti marini, che presentano granulometrie prevalentemente sabbiose. Sono presenti bande sabbiose grossolane parallele alla linea di costa, che evidenziano la probabile attività di correnti di fondo, attive *alongshore*.

Nel suo settore meridionale, compreso tra la città di Agnone e la foce del fiume Solofrone, tale piattaforma rappresenta chiaramente un'area di alto strutturale, risultante dal prolungamento verso mare dell'alto strutturale di Punta Licosa, come evidenziato dall'ampia diffusione degli affioramenti di basamento acustico roccioso, geneticamente correlabile al "Flysch del Cilento" Auct. Il basamento acustico affiora estesamente nei settori sottocosta, delineando un'ampia superficie terrazzata, che degrada verso mare con basse pendenze, fino a ribassarsi al di sotto della copertura sedimentaria recente, frequentemente a causa del controllo di faglie dirette. Tale basamento acustico roccioso affiora nuovamente, verso offshore, in corrispondenza di un ampio alto morfo-strutturale, controllato da faglie dirette. L'interpretazione geologica delle sezioni sismiche ha evidenziato che tale alto presenta un'estensione complessiva di circa 1.4 km ed i suoi bordi appaiono controllati da faglie dirette. Il top del basamento acustico roccioso è invece rappresentato da un'ampia superficie erosiva, probabilmente policiclica, affiorante a fondo mare nella zona sottocosta. Il drappeggio dei sedimenti olocenici a fondo mare, qualora presente, ha uno spessore complessivo inferiore ai 2 metri.

In quest'area sono stati rinvenuti affioramenti significativi di sabbie grossolane organogene geneticamente collegate alla regressione wurmiana. In base ai dati di carotaggi prelevati nell'area di Punta Licosa [Ferraro et al., 1997] tali depositi sono costituiti da sabbie grossolane organogene contenenti abbondanti gusci interi e frammenti di Molluschi, valve di *Arctica Islandica* (importante ospite freddo del Pleistocene), radioli di Echinidi e Briozoi, passanti verso l'alto, con contatto netto, a sabbie medie ed a coperture pelitiche di spessore variabile, ma inferiore ai 2 metri. Si tratta di depositi litorali relitti organizzati in prismi costieri in appoggio sulle progradazioni di margine di piattaforma, che rappresentano porzioni di spiagge sommerse collegate all'ultimo stazionamento basso del livello del mare, in corrispondenza dello stadio isotopico 2. I depositi si rinvengono come cordoni dunari con allungamento NW-SE, presenti nel settore sud-occidentale dell'area a profondità comprese tra -140 m e -145 metri e presentano un'età compresa tra il Pleistocene superiore e l'Olocene.

Nel settore sud-occidentale dell'area in studio sono state cartografate in affioramento al fondo mare ampi affioramenti di unità marine relitte pleistoceniche. Tali unità sono rappresentate da depositi marini da grossolani a fini, probabilmente costituiti da sabbie e ghiaie ben cernite con frammenti bioclastici e da sabbie medio-fini, con copertura pelitica di spessore variabile, ma inferiore ai 2 metri, localizzati nei quadranti nord-occidentale e sud-occidentale dell'area, che costituiscono palinsesti di ambienti di spiaggia e di piattaforma continentale. I depositi, stratigraficamente sottostanti il *system tract* di basso stazionamento, rappresentano le parti rimanenti di sistemi di spiaggia di età più antica, correlabili agli stadi isotopici 4 e 3 ed hanno una probabile età del Pleistocene superiore.

Bibliografia

- Aiello G., (2018). *The Sedimentary Basins of the Northern Campania Tyrrhenian Margin (Southern Italy): Geologic Evolution and Advances in Seismic Stratigraphy*. In: *Sedimentary Basins: Evolution, Methods of Formation and Recent Advances*. Nova Science Publishers, USA, pp. 1-42, ISBN 978 1 53613 922 8.
- Aiello G. and Cicchella A.G., (2019). *Dati sismostratigrafici sul margine continentale della Campania tra Ischia, Capri ed il bacino del Volturno (Tirreno meridionale, Italia) in base al processing sismico ed all'interpretazione geologica di profili sismici a riflessione multicanale*. *Quaderni di Geofisica*, 149, 1-52.
- Aiello G., Marsella E., Sacchi M., (2000). *Quaternary structural evolution of Terracina and Gaeta basins (Eastern Tyrrhenian margin, Italy)*. *Rendiconti Lincei*, 11, 41-58.
- Aiello G., Di Fiore V., Marsella E., D'Isanto C., (2007). *Stratigrafia sismica e morfobatimetria della Valle di Salerno*. Atti 26° Convegno Nazionale GNGTS, Roma, Dicembre 2007, Extended Abstract, 495-498.
- Aiello G., Marsella E., Di Fiore V., D'Isanto C., (2009) *Stratigraphic and structural styles of half-graben offshore basins in Southern Italy: multichannel seismic and Multibeam morpho-bathymetric evidences on the Salerno Valley (Southern Campania continental margin, Italy)*. *Quaderni di Geofisica*, 77, 1-33.
- Aiello G., Marsella E., Cicchella A.G., Di Fiore V., (2011a). *New insights on morpho-structures and seismic stratigraphy along the Campania continental margin (Southern Italy) based on deep multichannel seismic profiles*. *Rendiconti Lincei*, 22, 349-373.
- Aiello G., Cicchella A.G., Di Fiore V., Marsella E., (2011b). *New seismo-stratigraphic data of the Volturno Basin (northern Campania, Tyrrhenian margin, Southern Italy): implications for tectono-stratigraphy of the Campania and Latium sedimentary basins*. *Annals of Geophysics*, 54 (3), 265-283.
- Anstey N.A., (1982). *Simple Seismics*. Boston: International Human Resource Development and Co., 1982.
- Argnani A. and Trincardi F., (1990). *Paola slope basin: evidence of regional contraction on the Eastern Tyrrhenian margin*. *Memorie della Società Geologica Italiana*, 44, 93-105.
- Bally A.W., Catalano R., Oldow J.S., (1988). *Elementi di tettonica regionale*. Pitagora Editrice, Bologna.
- Bartole R., (1983). *Tectonic structure of the Latian-Campanian shelf (Tyrrhenian Sea)*. *Bollettino di Oceanologia Teorica Applicata*, Vol. 2 (1983).
- Bartole R., Savelli C., Tramontana M., Wezel F.C., (1984). *Structural and sedimentary features in the Tyrrhenian margin off Campania, southern Italy*. *Marine Geology*, 55, 163-180.
- Bonardi G., Amore F.O., Ciampo G., De Capoa P., Miconnet P., Perrone V., (1988). *Il Complesso Liguride Auct: stato delle conoscenze e problemi aperti sull'evoluzione pre-appenninica ed i suoi rapporti con l'Arco Calabro*. *Memorie della Società Geologica Italiana*, 41, 17-35.
- Bonatti E., Gasperini E., Vigliotti L., Lupi L., Vaselli O., Polonia A., Gasperini L., (2017). *Lake Afrera, a structural depression in the Northern Afar Rift (Red Sea)*. *Heliyon* 3 (2017) e00301.doi: 10.1016/j.heliyon.2017.e00301.
- Cammarosano A., Cavuoto G., Martelli L., Nardi G., Toccaceli R.M., Valente A., (2011). *Il Progetto CARG nell'area silentina (area interna Appennino meridionale): il nuovo assetto stratigrafico-strutturale derivato dal rilevamento dei fogli 503, 502 e 519 (Vallo della Lucania, Agropoli e Capo Palinuro)*. *Rendiconti Online della Società Geologica Italiana*, 12, 19-21.
- Chappell J. and Shackleton N., (1986). *Oxygen isotopes and sea level*. *Nature*, 324, 137-140.
- Cinque A., Romano P., Roskopf C., Santangelo N., Santo A., (1994). *Morfologie costiere e depositi quaternari tra Agropoli e Ogliastro Marina (Cilento - Italia meridionale)*. *Il Quaternario*, 7 (1), 3-16.
- Coleou T., Poupon M., Azbel K., (2003). *Unsupervised seismic facies classification: A review and comparison of techniques and implementation*. *The Leading Edge*, 22, 10, 942-953.
- Conti A., Bigi S., Cuffaro M., Doglioni C., Scrocca D., Muccini F., Cocchi L., Ligi M., Bortoluzzi G., (2017). *Transfer zones in an oblique back-arc basin setting: Insights from Latium-Campania segmented margin (Tyrrhenian sea)*. *Tectonics*, 36 (1), 78-107.
- Coppa M.G., Madonna M., Pescatore T.S., Putignano M., Russo B., Senatore M.R., Verrengia A., (1988). *Elementi geomorfologici e faunistici del margine continentale tirrenico tra Punta Campanella e Punta degli Infreschi (Golfo di Salerno)*. *Memorie della Società Geologica Italiana*, 41, 541-546.

- De Alteriis G. and Aiello G., (1993). *Stratigraphy and tectonics offshore of Puglia (Italy, southern Adriatic sea)*. Marine Geology, 113, 197-212.
- de Bruin G., Hemstra N., Pouwel A., (2007). *Stratigraphic surfaces in the depositional and chronostratigraphic (Wheeler-transformed) domain*. The Leading Edge, 26 (7), 883-886.
- De Matos M.C., Osorio P., Johann P., (2007). *Unsupervised seismic facies analysis using wavelet transforms and self-organizing maps*. Geophysics, 72 (1), P9-P21.
- Dumay J. and Fournier F., (1988). *Multivariate statistical analyses applied to seismic facies recognition*. Geophysics, 72 (1), 1151-1159.
- Ferraro L., Pescatore T.S., Russo B., Senatore M.R., Vecchione C., Coppa M.G., Di Tuoro A., (1997). *Studi di geologia marina del margine tirrenico: la piattaforma continentale tra Punta Licosa e Capo Palinuro*. Bollettino della Società Geologica Italiana, 116, 473-485.
- Gasparini L., Stanghellini G. (2009). *SeisPrho: an interactive computer program for processing and interpretation of high-resolution seismic reflection profiles*. Computer and Geosciences, 35, 1497-1507.
- Gasparini L., Cocchi L., Stanghellini C., Stanghellini G., Del Bianco F., Serrazanetti M., Carmisciano C., (2012). *Magnetic and seismic reflection study of Lake Cheko, a possible impact crater for the 1908 Tunguska Event*. Geochem. Geophys. Geosyst., 13, Q05008, doi:10.1029/2012GC004054.
- Guarnieri P., (2006) *Plio-Quaternary segmentation of the south Tyrrhenian forearc basin*. International Journal of Earth Sciences, 95, 107-118.
- <http://www.cnr.it/consulenza/NaveUrania.html>
- Imbrie J., Hays J.D., Martinson D.G., McIntyre A., Mix A.C., Morley J.J., Pisias N.G., Prell W.L., Shackleton N.J., (1984). *The orbital theory of Pleistocene climate: support for a revised chronology of the marine oxygen isotope record*. In: A. Berger, J. Imbrie, J. Hays, G. Kukla, B. Saltzman (Eds.), Milanković and Climate, Part 1-- NATO ASI Series, C126: 269-305; Reidel, Dordrecht.
- Lisiecki L.E. and Raymo M.E., (2005). *A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}O$ records*. Paleoceanography 20, PA1003, doi:10.1029/2004PA001071, 17 pp.
- Marani M.P. and Gamberi F., (2004). *Structural framework of the Tyrrhenian Sea unveiled by seafloor morphology*. Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia, 54, 97-108.
- Marroquin I., Brault J., Hart B., (2009). *A visual data mining methodology for seismic facies analysis: Part I - Testing and comparison with other unsupervised clustering methods*. Geophysics, 74 (1), P1-P11.
- Milia A., Torrente M.M., Massa B., Iannace P., (2013). *Progressive changes in rifting directions in the Campania margin (Italy): New constraints for the Tyrrhenian Sea opening*. Global and Planetary Change, 109, 3-17.
- Mitchum R.M., Vail P.R., Sangree J.B., (1977). *Seismic stratigraphy and global changes of sea level, Part 6: stratigraphic interpretation of seismic reflection patterns in depositional sequences*. AAPG Mem. 26, 117-133.
- Moeller S., Grevemeyer I., Ranero C.R., Berndt C., Klaeschen D., Sallares V., Zitellini N., de Franco R., (2013). *Early-stage rifting of the northern Tyrrhenian Sea Basin: Results from a combined wide-angle and multichannel seismic study*. Geochem. Geophys. Geosyst., 14, 3032-3052, doi:10.1002/ggge.20180.
- Monti L., aree emerse: Nardi G., Martelli L. Cammarosano A., Danna M.; aree marine: D'Argenio B., Marsella E., Putignano M.L., Toccaceli R.M., Aiello G., Budillon F., Di Martino G., D'Isanto C., Innangi S., Passaro S., Ruggieri S., Scotto di Vettimo P., Tonielli R., Pelosi N., Capodanno M., Molisso F., Ferraro L. (2016). *Carta Geologica D'Italia - Foglio 502 - Agropoli, scala 1:50.000*. ISPRA, Servizio Geologico d'Italia.
- Polonia A., Torelli L., Artoni A., Carlini M., Faccenna C., Ferranti L., Gasparini L., Klaeschen D., Monaco C., Neri G., Nijholt N., Orecchio B., Wortel R., (2016). *The Ionian and Alfeo-Etna fault zones: New segments of an evolving plate boundary in the central Mediterranean Sea?* Tectonophysics, 675, 79-90.
- Qayyum F., de Groot P., Hemstra N., (2012) *Using 3D Wheeler diagrams in seismic interpretation - The HorizonCube method*. First Break, 30 (3), 103-109.
- Ricchi A., Gasparini L., Stanghellini G., (2015). *SeisPrho LCL 2.0 user's guide*. ISMAR-CNR Technical Report 135, Latest Release at: ISMAR software_repository, Bologna, July 2015.
- Roksandic M.M., (1978). *Seismic facies analysis concepts*. Geophysical Prospecting, 26 (2), 383-398.

- Sacchi M., Infuso S., Marsella E., Bally A.W., (1994). *Late Pliocene-early Pleistocene compressional tectonics in offshore Campania (eastern Tyrrhenian sea)*. Bollettino di Geofisica Teorica Applicata, 36, 141-144, 469-482.
- Shackleton N., (1978). *Oxygen isotope stratigraphy of the Middle Pleistocene*. In: Shotton, F.W., British Quaternary Studies. Recent advances. Clarendon Press, Oxford, pp 1-16.
- Trincardi F. and Zitellini N., (1987). *The rifting of the Tyrrhenian basin*. Geomarine Letters, 7, 1-6.
- West B.P., May S.R., Eastwood J.E., Rossen C., (2002). *Interactive seismic facies classification using textural attributes and neural networks*. The Leading Edge, 21 (10), 1042-1049.
- Vail P.R., Mitchum R.M., Todd R.G., Widmier J.M., Thompson S., (1977). *Seismic stratigraphy and global changes of sea level*. In: Payton C.E. (Ed.) Seismic stratigraphy. application to hydrocarbon exploration. AAPG Mem. 26, 49-212.
- Vail P.R., Hardenbol J., Todd R.G., (1984). *Jurassic unconformities, chronostratigraphy and sea-level changes from seismic stratigraphy and biostratigraphy*. In: Schlee J.S. (Ed.) Interregional Unconformities and Hydrocarbon Accumulation. AAPG Mem. 36, 129-144.
- Vitale S. and Ciarcia S., (2018). *Tectono-stratigraphic setting of the Campania region (southern Italy)*. Journal of Maps, 14, 2, 9-21.

QUADERNI di GEOFISICA

ISSN 1590-2595

<http://istituto.ingv.it/le-collane-editoriali-ingv/quaderni-di-geofisica.html/>

I QUADERNI DI GEOFISICA (QUAD. GEOFIS.) accolgono lavori, sia in italiano che in inglese, che diano particolare risalto alla pubblicazione di dati, misure, osservazioni e loro elaborazioni anche preliminari che necessitano di rapida diffusione nella comunità scientifica nazionale ed internazionale. Per questo scopo la pubblicazione on-line è particolarmente utile e fornisce accesso immediato a tutti i possibili utenti. Un Editorial Board multidisciplinare ed un accurato processo di peer-review garantiscono i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi. I QUADERNI DI GEOFISICA sono presenti in "Emerging Sources Citation Index" di Clarivate Analytics, e in "Open Access Journals" di Scopus.

QUADERNI DI GEOFISICA (QUAD. GEOFIS.) welcome contributions, in Italian and/or in English, with special emphasis on preliminary elaborations of data, measures, and observations that need rapid and widespread diffusion in the scientific community. The on-line publication is particularly useful for this purpose, and a multidisciplinary Editorial Board with an accurate peer-review process provides the quality standard for the publication of the manuscripts. QUADERNI DI GEOFISICA are present in "Emerging Sources Citation Index" of Clarivate Analytics, and in "Open Access Journals" of Scopus.

RAPPORTI TECNICI INGV

ISSN 2039-7941

<http://istituto.ingv.it/le-collane-editoriali-ingv/rapporti-tecnici-ingv.html/>

I RAPPORTI TECNICI INGV (RAPP. TEC. INGV) pubblicano contributi, sia in italiano che in inglese, di tipo tecnologico come manuali, software, applicazioni ed innovazioni di strumentazioni, tecniche di raccolta dati di rilevante interesse tecnico-scientifico. I RAPPORTI TECNICI INGV sono pubblicati esclusivamente on-line per garantire agli autori rapidità di diffusione e agli utenti accesso immediato ai dati pubblicati. Un Editorial Board multidisciplinare ed un accurato processo di peer-review garantiscono i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi.

RAPPORTI TECNICI INGV (RAPP. TEC. INGV) publish technological contributions (in Italian and/or in English) such as manuals, software, applications and implementations of instruments, and techniques of data collection. RAPPORTI TECNICI INGV are published online to guarantee celerity of diffusion and a prompt access to published data. A multidisciplinary Editorial Board and an accurate peer-review process provide the quality standard for the publication of the contributions.

MISCELLANEA INGV

ISSN 2039-6651

http://istituto.ingv.it/le-collane-editoriali-ingv/miscellanea-ingv.html

MISCELLANEA INGV (MISC. INGV) favorisce la pubblicazione di contributi scientifici riguardanti le attività svolte dall'INGV. In particolare, MISCELLANEA INGV raccoglie reports di progetti scientifici, proceedings di convegni, manuali, monografie di rilevante interesse, raccolte di articoli, ecc. La pubblicazione è esclusivamente on-line, completamente gratuita e garantisce tempi rapidi e grande diffusione sul web. L'Editorial Board INGV, grazie al suo carattere multidisciplinare, assicura i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi sottomessi.

MISCELLANEA INGV (MISC. INGV) favours the publication of scientific contributions regarding the main activities carried out at INGV. In particular, MISCELLANEA INGV gathers reports of scientific projects, proceedings of meetings, manuals, relevant monographs, collections of articles etc. The journal is published online to guarantee celerity of diffusion on the internet. A multidisciplinary Editorial Board and an accurate peer-review process provide the quality standard for the publication of the contributions.

Coordinamento editoriale e impaginazione

Francesca DI STEFANO, Rossella CELI
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

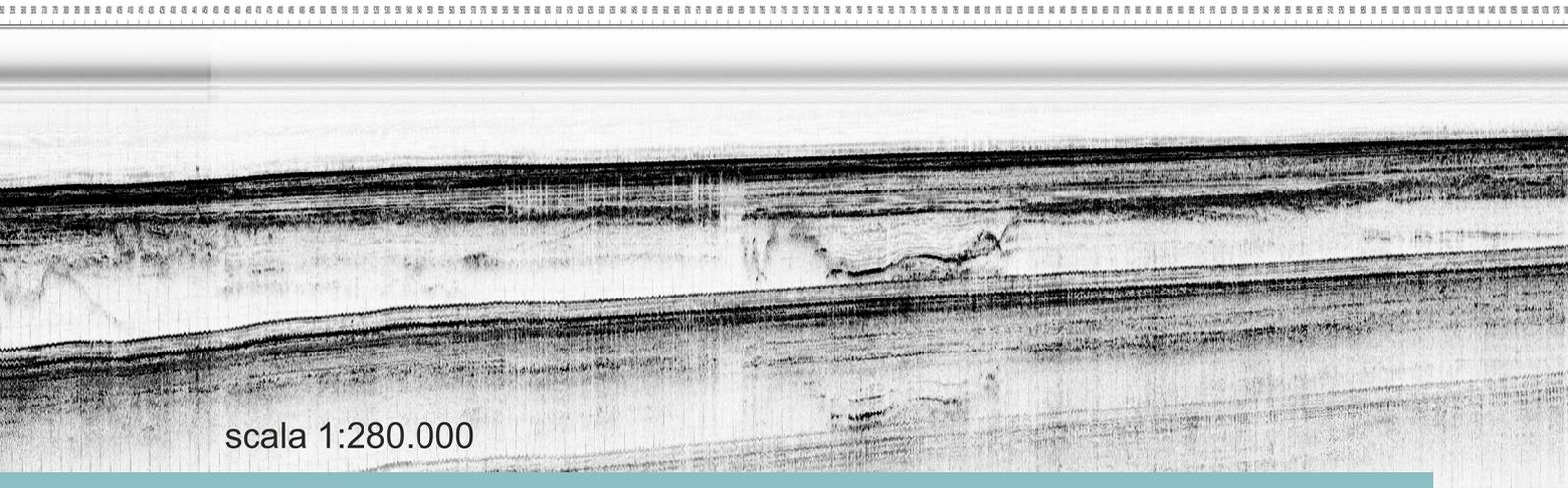
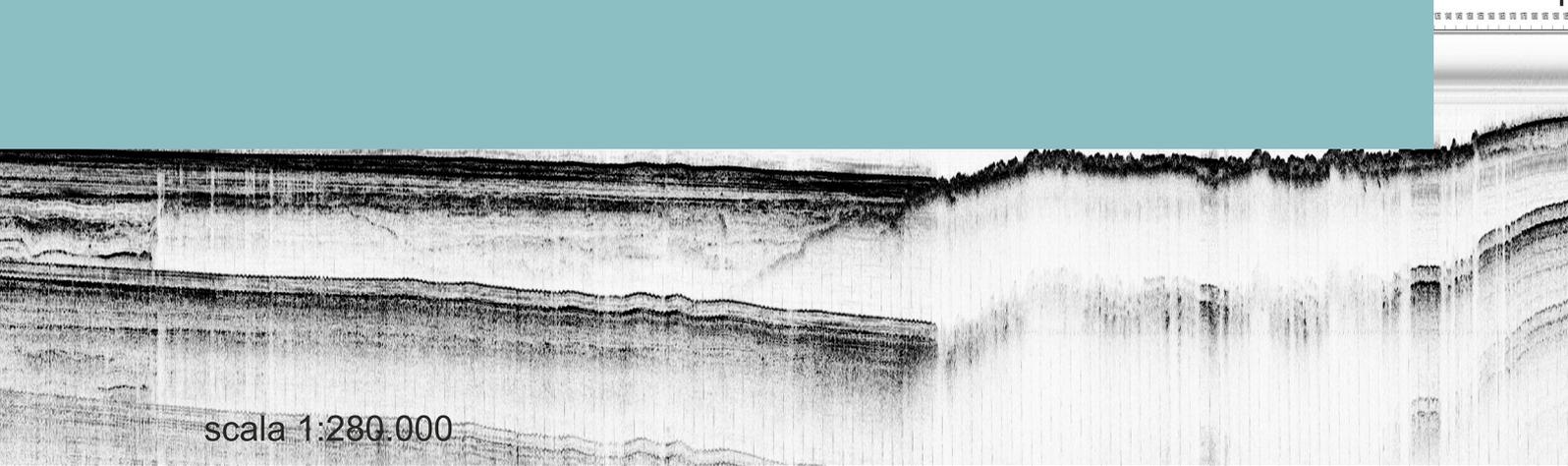
Progetto grafico e impaginazione

Barbara ANGIONI
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

©2019

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
Via di Vigna Murata, 605
00143 Roma
tel. +39 06518601

www.ingv.it



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA