

## Due esempi di applicazione delle tecnologie subacquee per lo studio della geologia e geomorfologia marina

### *Two examples of underwater technologies application in marine geology and geomorphology studies*

BARBAGELATA M. P. (\*)

NOTA BREVE – Nel corso degli ultimi anni la CO.L.MAR. ha eseguito rilievi e ricerche in campo marino per la determinazione della morfologia, dell'inquinamento ambientale, del trasporto e della distribuzione dei sedimenti lungo tratti del litorale italiano.

In particolare i lavori svolti lungo un tratto della costa laziale e quelli commissionati dall'ENEL a Montalto di Castro presentano obiettivi simili, ma metodi di indagine subacquea differenti, comprendendo in un caso campionamenti sottoposti ad analisi di laboratorio e nell'altro misure in situ.

Per rilevare la morfologia del fondale si è fatto ricorso in entrambe i casi a strumenti di indagine batimetrica e sismica, accompagnati dalla precisa mappatura di ogni singola misura effettuata.

Da una prima fase, che può essere definita di macroesplorazione, in cui sono stati impiegati il sistema UNIBOOM ed il Side Scan Sonar si è passati allo studio dei sedimenti. Qui i metodi utilizzati differiscono: nel caso del litorale laziale si sono prelevati campioni di sedimenti con l'uso di sommozzatori mentre a Montalto di Castro si è fatto ricorso ad una misura diretta della porosità del sedimento tramite uno strumento progettato e costruito appositamente, senza dover ricorrere al prelievo di campioni e alla successiva indagine di laboratorio. Il vantaggio di tale metodo è evidente, dal momento che il campione, oltre ad essere analizzato immediatamente tramite lettura dello strumento, non su-

bisce alterazioni dovute all'asportazione ed al trasporto ad un centro di analisi.

#### 1) Montalto Di Castro

Nel Maggio e Ottobre 1986 la CO.L.MAR. ha condotto una campagna di misure nell'area di Montalto di Castro in base ad un contratto con il CENTRO RICERCA AMBIENTE e MATERIALI della DIREZIONE STUDI E RICERCHE dell'ENEL

Scopo del programma era:

1. ottenere dati ambientali del fondale prima dell'entrata in funzione della centrale elettronucleare di Montalto

2. fornire dei parametri ambientali da utilizzare per l'elaborazione di modelli matematici che permettessero di prevedere i meccanismi di trasporto, distribuzione e circolazione delle varie sostanze nell'ecosistema costiero marino.

L'investigazione richiesta è stata effettuata mediante l'uso di: un sistema sismico ad alta risoluzione, Side Scan Sonar, telecamera subacquea ed un misuratore di porosità in situ; inoltre è stata eseguita la batimetria della zona, in modo da poter meglio correlare tra loro le varie misure.

Le apparecchiature sono state installate sull'imbarcazione oceanografica COLMAR, dotata della strumentazione e delle apparecchiature necessarie per questo tipo di rilievi.

(\*) CO.L.MAR. s.r.l. - Via Leopardi 5, 19031 Ameglia (Sp).

Per la batimetria è stato utilizzato un ecoscandaglio RAYTHEON a 200 KHz.

Come sistema sismico ad alta risoluzione è stato impiegato l'UNIBOOM (EG&G), che permette tramite una sorgente acustica a larga banda (500 Hz - 10 KHz) ed un ricevitore delle onde riflesse dal fondale, di rappresentare su un registratore grafico (EPC) gli strati giacenti sotto la superficie del fondo, la profondità, se visibile, del substrato roccioso (Bed Rock) e l'eventuale presenza di faglie, discontinuità, paleovalvei, discordanze, piegamenti. La scelta di questo sistema dipende dal fatto che associa ad una penetrazione sufficiente ai nostri scopi, una buona risoluzione.

Il SIDE SCAN SONAR (EG&G) produce invece una sorta di fotografia dall'alto del fondale, tramite una sorgente di onde acustiche inviate con un angolo di incidenza assai inferiore a quello dell'Uniboom. Esso lavora a 100 KHz e consente, opportunamente adoperato, di evidenziare ogni discontinuità del fondo marino, nonché, in alcuni casi, la granulometria che lo caratterizza.

La Telecamera Subacquea è stata impiegata a sostegno delle registrazioni Side Scan Sonar e per riprendere in diretta alcune misure di porosità. Essa è stata calata in mare su di una slitta che fungeva da struttura di supporto capace di appoggiarsi e di strisciare sul fondo. Su tale slitta era montato anche il sistema di illuminazione ed una bussola per indicare l'orientamento della telecamera. Dalla slitta partiva inoltre un cavo che serviva a collegare la telecamera con il videoregistratore ed il monitor di bordo.

Fra i dati ambientali richiesti dal committente erano compresi i valori della porosità del sedimento superficiale marino. Non esistendo in Italia uno strumento atto a misurare la porosità *in situ*, la CO.L.MAR. ne ha costruito uno apposito.

Tale apparecchio, che chiameremo «Porosimetro», è dotato di quattro elettrodi fissi che vengono introdotti nel sedimento. Facendo passare una corrente nota attraverso il sedimento, se ne misura la conducibilità. La stessa misura viene eseguita nell'acqua sovrastante che si trova alla stessa temperatura del sedimento, prima di introdurre il porosimetro. Si ricava quindi il «Formation Factor», dato dal rapporto tra i due valori di conducibilità, il quale consente di determinare la porosità del sedimento.

Il porosimetro è un esempio di tecnologia applicata alla geologia subacquea e presenta molti vantaggi rispetto al prelievo di campioni effettuato dal sommozzatore ed alla successiva analisi di laboratorio.

Infatti è estremamente difficile mantenere invariata la conducibilità di un campione dal prelievo all'arrivo in laboratorio. Inoltre la misura *in situ* è più veloce e può essere eseguita anche nei sedimenti più grossolani come la sabbia, che, prelevata e portata in laboratorio, perderebbe sicuramente la conducibilità originaria, a causa della variazione del liquido in essa contenuto. I dati ottenuti dalle misure *in situ* sono stati confrontati con quelli eseguiti dal Committente in laboratorio, confronto che ha confermato il corretto funzionamento del porosimetro.

I risultati derivanti dall'insieme dei rilievi hanno permesso di descrivere l'area in esame dal punto di vista morfologico, sedimentologico e ambientale. La piattaforma in esame presenta un'ampiezza modesta ed un'acclività piuttosto accentuata. Considerando tutte le indagini essa è stata suddivisa in 5 zone caratterizzate da processi sedimentari diversi; sono stati messi in evidenza: la distribuzione della Posidonia, che rappresenta un importante indicatore ambientale, la presenza di piccoli rilievi (2-7 metri) e di canali di drenaggio, la profondità di un forte riflettore corrispondente alla Trasgressione Versiliana, l'accumulo di sedimenti pre-versiliani e lo spessore della copertura olocenica (Fig. 1).

## 2) Litorale Laziale

Il lavoro eseguito nell'anno 1992 in un tratto costiero del Lazio aveva come obiettivi :

1. la conoscenza dell'attuale morfologia di spiaggia emersa e sommersa
2. la determinazione della giacitura dei sedimenti superficiali marini e della loro natura
3. la previsione di eventuali fenomeni di erosione o sedimentazione lungo il litorale in base alla definizione del trasporto attuale dei sedimenti.

A tale scopo sono stati eseguiti sullo stesso allineamento profili batimetrici nella spiaggia sommersa e di elevazione nella spiaggia emersa, in modo da ottenere sezioni continue necessarie all'identificazione dell'attuale morfologia costiera.

Le misure sono state effettuate sia in mare che a terra tramite il Geodimeter 400 della Geotronics, un moderno teodolite a raggi infrarossi che consente di definire le coordinate del punto collimato con un'accuratezza di 2 cm.

Nelle misure a terra tale strumento misurava posizione ed elevazione dei punti, mentre nelle sezioni a mare trasmetteva all'imbarcazione i dati di

posizione mediante un sistema di radiotelemetria ad esso collegato tramite una linea RS232.

La batimetria è stata effettuata con ecoscandaglio RAYTHEON a 200 KHz con registrazione contemporanea dei dati di posizione e di profondità su di un PC portatile 386 tenuto a bordo .

I risultati del rilievo parallelo a terra e a mare ci hanno consentito di osservare una certa omogeneità morfologica lungo tutto il litorale, con presenza di una berma ordinaria nella spiaggia emersa e di una o più barre sommerse.

Lungo gli stessi profili sono stati prelevati da un sommozzatore campioni di sedimenti superficiali a 2, 5, 10 metri di profondità; dalle analisi granulometriche e mineralogiche si sono ricavate importanti informazioni sulla dinamica del trasporto sedimentario lungo il litorale e sul tipo di sedimento presente.

Le granulometria è stata determinata quasi esclusivamente con i setacci, trattandosi per lo più di sedimento grossolano; raramente si sono presentate particelle al di sotto dei 63 micron, in questi casi si è ricorsi all'aerometro. I parametri definiti e riportati sulle carte granulometriche (D50, % Pelite e Deviazione Standard), ci hanno permesso di dividere il litorale in tre tratti con condizioni sedimentologiche differenti le une dalle altre:

I Tratto: la spiaggia è ancora sotto la protezione del molo del Porto a Ovest, pertanto non ha subito notevoli fenomeni erosivi, anche se non può ricevere gli apporti sedimentari provenienti per lo più da Occidente

II Tratto: in questo caso la spiaggia risente particolarmente della situazione, in quanto non è protetta dalle mareggiate da Ovest e non è nemmeno interessata dal trasporto sedimentario interrotto dal molo sopraccitato

III Tratto: questa zona ha un buon equilibrio dinamico in quanto il ripascimento è garantito da un fiume interposto fra il II ed il III tratto.

Per la determinazione della giacitura dei sedimenti superficiali e del loro spessore sopra il Bed Rock sono stati eseguiti profili sismici con il sistema UNIBOOM sia all'esterno che all'interno dei due porti presenti alle estremità del litorale. Il sistema era installato a bordo dell'imbarcazione oceanografica

COLMAR. Il posizionamento in questo caso era costituito dal MINIRANGER III della Motorola, che ha una portata superiore a quella del Geodimeter anche se un'accuratezza inferiore (2 metri). Questo sistema è dotato di due risponditori radio a terra ed una stazione interrogante a bordo; un PC sulla barca permette di registrare i dati di posizione che arrivano dal Miniranger ed i valori di profondità provenienti dall' ecoscandaglio, mostrando contemporaneamente sul monitor il percorso dell'imbarcazione rispetto al reticolo prefissato.

Da questi rilievi si è appurato che i sedimenti superficiali poggiano nel porto ad Est su di un riflettore che non presenta le caratteristiche di un Bed Rock; il loro spessore aumenta notevolmente andando dal largo verso terra, dove si arriva a valori di 15 metri. Nel porto ad Occidente invece si è potuto distinguere il substrato roccioso, seguendo un forte riflettore con superficie irregolare dalle tipiche forme di erosione subaerea, fino al suo affioramento sotto costa; qui gli spessori hanno valori più omogenei e, come nel caso precedente, si osserva il forte accumulo di sedimenti attorno al molo principale, che funzionando da pennello costringe a frequenti dragaggi. È stata inoltre rilevata la linea di costa attuale per confrontarla con eventuali future misure o con misure effettuate in passato. Tale rilievo è consistito nel determinare lo zero sul l.m.m. lungo i profili di spiaggia eseguiti e dalla sua corretta determinazione è dipesa anche la corretta interpretazione e rappresentazione di tutte le altre misure.

In conclusione si è visto come attraverso diversi metodi di indagine del fondo marino sia possibile descrivere il litorale da vari punti di vista: morfologico, litologico, ambientale, sedimentologico-dinamico, geologico.

In particolare, sistemi come l'UNIBOOM ed il SIDE SCAN SONAR consentono di ottenere una dettagliata rappresentazione del fondale marino, degli strati e delle forme geologiche che si nascondono sotto di esso. A questi mezzi sarebbe spesso opportuno associare carotaggi o per lo meno campionamenti superficiali per meglio definire il tipo di sedimento.

Il prelievo del campione altera talvolta le caratteristiche fisiche del sedimento, per cui l'utilizzo di metodi di misura in situ, quando possibile, rappresenta un fattore molto importante ai fini di un rilievo più attendibile.

## Foglio 604 isole Egadi alla scala 1:50.000 - cartografia e informatizzazione dei dati geologici delle aree marine *Sheet n. 604 Egadi islands (western Sicily)* *at the scale 1:50.000 - digital geological mapping of sea-floor*

---

CATALANO R. (\*), COLANTONI P. (\*\*), D'ANGELO S. (\*\*\*),  
LEMBO P. (\*\*\*), PANTALEONE N. A. (\*\*\*), SACCHI L. (\*\*\*)

RIASSUNTO – Il Servizio Geologico Nazionale, in collaborazione con l'Istituto Idrografico della Marina, le Università di Palermo e di Urbino, negli anni novanta ha iniziato alcune ricerche sulla piattaforma delle Isole Egadi finalizzandole alla realizzazione di un Foglio prototipo di geologia marina.

Le metodologie e le tecniche utilizzate per il rilevamento dei fondali marini seguono le normative elaborate dal Servizio Geologico Nazionale in collaborazione con il CNR e varie Università (Quad. Serv. Geol. Naz., ser. III, n. 1, 1992) che si basano sull'interpretazione di profili sismici ed ecografici, analisi di campioni del fondo, immersioni dirette e utilizzo di videocamere filoguidate.

Il Poster illustra l'elaborazione dei dati finora acquisiti per la cartografia automatizzata del Foglio.

Sono stati creati sette livelli informativi omogenei (batimetrie, caratteristiche degli affioramenti, spessore dei sedimenti, principali elementi morfologici, principali elementi tettonici, aree interessate da attività antropica e/o di interesse ambientale, biocenosi significative) dalla cui sovrapposizione risulta l'elaborato finale.

Sono state anche rappresentate, su carte a scala ridotta, la distribuzione dei sedimenti superficiali del fondo marino, la carta strutturale al top dei carbonati mesozoici, la carta strutturale alla base del Pliocene, oltre che la carta delle tracce dei rilievi acustici e delle campionature effettuate.

ABSTRACT – The principal program undertaken by National Geological Survey of Italy is concerned with geological and geothematic mapping and publishing of maps at 1:50.000 scale. This cartographic project (C.A.R.G.) includes also portions of sea-floor of the continental shelf over which Italy possesses sovereign rights.

The S.G.N. has developed two lines of activities: one concerns the cartography of the offshore areas at the scale 1:250.000, adopting the same standard rules used by other European Geological Surveys (British Geological Survey, Bureau de Recherches Geologiques et Minieres, Rijks Geologische Dienst). These maps will show the outcropping and subcropping of Quaternary and pre-Quaternary geology and are constructed by interpretation of seismic profiles calibrated by boreholes and cores.

The second line of program refers to the cartography of marine areas at 1:50.000 scale. The entire coverage of Italy at this scale comprises 652 sheets of which 226 have coastal and marine areas. The information contained on the geological sheet will refer to the morphology and distribution of sediments of the bottom and immediate sub-bottom and derive from interpretation of seismic and acoustic surveys, bottom samplings and direct diversings in shallow areas near the coast where marine operations with oceanographic ships are not possible.

---

(\*) Dip. Geologia e Geodesia, Univ. Palermo, via E.Toti 91, Palermo

(\*\*) Ist. Geodinamica e Sedimentologia, Univ. Urbino, via A. Saffi 42, Urbino

(\*\*\*) Servizio Geologico Nazionale, Via Curtatone 3, Roma

## I terrazzi marini dell'isola di Ustica (mar Tirreno meridionale - Italia)

### *The marine terraces of the Ustica island (southern Tyrrhenian Sea - Italy)*

DE VITA S. (\*), ORSI G. (\*)

**RIASSUNTO** - L'isola di Ustica, ubicata circa 70 km a NW di Palermo, nel Mar Tirreno meridionale, rappresenta la cima di un esteso e complesso apparato vulcanico sommerso che si innalza per oltre 2.000 m dal fondo del mare (CALANCI *et alii*, 1984) e poggia su crosta continentale assottigliata (15-20 km; GIESE & MORELLI, 1973). L'isola è costituita prevalentemente da rocce vulcaniche e subordinatamente da rocce sedimentarie di origine sia marina che continentale. Le rocce vulcaniche sono state prodotte da eruzioni effusive ed esplosive sia subacquee che subaeree. Le più antiche datate, che non corrispondono a quelle stratigraficamente più basse, hanno un'età di circa 735 ka; le più recenti hanno un'età di circa 130 ka (DE VITA, 1993; DE VITA *et alii*, 1994 a). Le rocce sedimentarie di origine marina sono costituite da breccie ad elementi lavici e cemento carbonatico, calcari biocostruiti e calcareniti organogene, connesse con fasi di ingressione e regressione marina succedutesi nel corso degli ultimi 350 ka. Le rocce sedimentarie di origine continentale sono costituite da coltri detritiche, talora pedogenizzate, da depositi di frana e da conoidi di detrito di versante.

Oscillazioni eustatiche Pleistoceniche e movimenti di origine tettonica e/o vulcano-tettonica hanno generato una serie di superfici terrazzate, attualmente dislocate dalla loro posizione originaria a quote variabili sul livello del mare (CORTESE & SABATINI, 1892; MARTELLI, 1912; STELLA STARRABBA, 1925; ROMANO & STURIALE, 1971; CINQUE *et alii*, 1988; DE VITA, 1993; DE VITA *et alii*, 1994 b). I depositi marini associati a tali superfici sono connessi con periodi di stasi nel corso delle oscillazioni eustatiche, in fase di ingressione e/o di regressione, e sono talvolta riccamente fossiliferi (RUGGIERI & BUCCHERI, 1968). L'attività vulcanica, che contemporaneamente alle diverse fasi di ingressione e regressione marina si andava esplicando sull'isola, era condizionata dalle oscillazioni relative del livello del mare, come evidenziato dall'alternanza di prodotti di eruzioni subacquee e subaeree (ROMANO & STURIALE, 1971; CINQUE *et alii*, 1988; DE VITA, 1993).

L'insieme delle osservazioni di carattere geologico, geomorfologico, paleontologico e strutturale, unitamente ai dati di geocronologia assoluta (DE VITA *et alii*, 1994 a) ha condotto all'identificazione di quattro cicli trasgressivo-regressivi responsabili della genesi dei terrazzi marini dell'isola di Ustica. Tali

cicli si collocano in un lasso di tempo che va dal Crotoniano (sensu RUGGIERI *et alii*, 1984; stadio isotopico 9 della curva di SHACKLETON & HOPDIKE, 1973) al Neotirreniano (stadio isotopico 5a della curva di SHACKLETON & HOPDIKE, 1973) e hanno generato cinque ordini di superfici terrazzate, rilevabili a quote comprese tra 5 e 120 m s.l.m. (Tab. 1).

Tab. 1. Ordine dei terrazzi marini e relative quote ed età.

Ordine	Quota (m s.l.m.)	Età (ka)
I . . . . .	80-120	- 350
II . . . . .	40-60	240 ± 35
III . . . . .	30	132 ± 6
IV . . . . .	10	105
V . . . . .	5	80

Il terrazzo del I ordine (80-120 m s.l.m.) si è formato durante il ciclo trasgressivo-regressivo di età crotoniana correlabile con lo stadio isotopico 9 della curva di SHACKLETON & HOPDIKE (1973; ca. 350 ka b.p.). Datazioni  $^{230}\text{Th}$  di campioni provenienti da depositi carbonatici associati a questa superficie terrazzata, danno età 3350 ka (DE VITA *et alii*, 1994 a).

Il terrazzo del II ordine (40-60 m s.l.m.) si è generato durante il ciclo trasgressivo-regressivo di età crotoniana correlabile con lo stadio isotopico 7 della curva di SHACKLETON & HOPDIKE (1973; ca. 210 ka b.p.). Campioni di carbonati provenienti da questa superficie terrazzata hanno fornito età  $^{230}\text{Th}$  di 240 5 ka (DE VITA *et alii*, 1994 a).

Il terrazzo del III ordine (30 m s.l.m.) si è originato nel corso del ciclo trasgressivo-regressivo di età eutirreniana correlabile con lo stadio isotopico 5e della curva di SHACKLETON & HOPDIKE (1973; ca. 128 ka b.p.). Campioni di *Cladocora coespitosa* provenienti da depositi connessi con questa superficie terrazzata hanno fornito età  $^{230}\text{Th}$  di 132 ka (DE VITA *et alii*, 1994 a). Questa datazione è in ottimo accordo con l'attribuzione del livello esaminato al Tirreniano a *Strombus bubonius*, effettuata su basi paleontologiche da RUGGIERI & BUCCHERI (1968).

(\*) Dip. Geofisica e Vulcanologia - Università degli Studi «Federico II» di Napoli.

Il terrazzo del IV ordine (10 m s.l.m.) è stato attribuito, sulla base di evidenze stratigrafiche, al ciclo trasgressivo-regressivo di età neotirreniana correlabile con lo stadio isotopico 5c della curva di SHACKLETON & HOPDIKE (1973; ca. 105 ka b.p.).

Il terrazzo del V ordine (5 m s.l.m.), ugualmente sulla base di considerazioni di carattere stratigrafico, può essere messo in relazione con una modesta oscillazione eustatica avvenuta nel Neotirreniano, in corrispondenza dello stadio isotopico 5a della curva di SHACKLETON & HOPDIKE (1973; ca. 80 ka b.p.).

Altri depositi marini, non connessi con la formazione di vere e proprie superfici terrazzate, occorrono lungo le coste occidentale e meridionale dell'isola ad una quota di circa 2 m s.l.m.. Tali depositi, riccamente fossiliferi, sono stati datati con il metodo del  $^{230}\text{Th}$  a circa 45 ka b.p. (de Vita *et alii*, 1994 a) e vanno pertanto correlati con lo stadio isotopico 3 della curva di SHACKLETON & HOPDIKE (1973). Tale correlazione fornisce una conferma indiretta per l'attribuzione dei terrazzi del IV e V ordine rispettivamente agli stadi isotopici 5c e 5a.

I terrazzi marini dell'isola di Ustica sono ben correlabili con le omologhe superfici esposte in Calabria ed in Sicilia (SHACKLETON & HOPDIKE, 1973; BUTZER, 1974; MANKINEN & DARLIMPLE, 1979; MOORE, 1982; RUGGIERI *et alii*, 1984; GLIOZZI, 1987), nonostante le differenze di quota imputabili ad una storia tettonica e vulcano-tettonica strettamente locale. L'isola di Ustica ha subito un generale continuo sollevamento, senza apprezzabili cambiamenti di polarità, di circa 120 m negli ultimi 350 ka, con un tasso di sollevamento medio di circa 3,4 cm per secolo.

#### BIBLIOGRAFIA

- BUTZER K. W. (1974) - *Geological and ecological perspectives on the Middle Pleistocene*. Quat. Res., **4**: 136-148.
- CALANCHI N., COLANTONI P., GABBIANELLI G., ROSSI P. L. & SERRI G. (1984) - *Physiography of Anchise seamount and of the submarine part of Ustica island (South Tyrrhenian): petrochemistry of dredged volcanic rocks and geochemical characteristics of their mantle sources*. Miner. Petrogr. Acta, **28**: 215-241.
- CINQUE A., CIVETTA L., ORSI G. & PECCERILLO A. (1988) - *Geology and geochemistry of the island Ustica (Southern Tyrrhenian sea)*. Rend. Soc. It. Min. e Petr., **43**: 987 - 1002.
- CORTESE E. & SABATINI V. (1892) - *Descrizione geologico-petrografica delle isole Eolie*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., **7**: 131 pp., Roma.
- DE VITA S. (1993) - *Assetto geologico-strutturale ed evoluzione vulcanologica dell'isola di Ustica (Stratigrafia, tettonica e meccanismi eruttivi)*. Tesi di dottorato. Università di Napoli, 162 pp.
- DE VITA S., LAURENZI M. A., ORSI G. & VOLTAGGIO M. (1994 a) - *Application of  $^{230}\text{Th}$  and  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating methods to the chronostratigraphy of Quaternary basaltic volcanic areas: the Ustica island case history*. Submitted to Quat. Int.
- DE VITA S., GUZZETTA G. & ORSI G. (1994 b) - *Deformational features of the Ustica island in the Southern Tyrrhenian Sea (Italy)*. Submitted to Boll. Geof. Teor. Appl.
- GLIOZZI E. (1987) - *I terrazzi marini del Pleistocene superiore della penisola di Crotona*. Tesi di Dottorato. Napoli-Palermo: 153 pp.
- MANKINEN E. A. & DARLIMPLE G. B. (1979) - *Revised geomagnetic polarity time scale for the interval 0-5 my b.p.*. Journ. Geoph. Res., **84**: 615-626.
- MARTELLI A. (1912) - *L'isola di Ustica (Studio geologico-petrografico)*. Mem. Soc. Geol. It. (detta dei XL), **17**: 141-183.
- MOORE W. S. (1982) - *Late Pleistocene sea-level history*. In: IVANOVICH M. & HARMON R. S. (Eds.) *Uranium series disequilibrium. Applications to environmental problems*, Clarendon Press: 481-494, Oxford.
- ROMANO R. & STURIALE C. (1971) - *L'isola di Ustica. Studio geo-vulcanologico e magmatologico*. Riv. Min. Sic., **22**: 127-129: 1-61.
- RUGGIERI G. & BUCCHERI G. (1968) - *Una malacofauna Tirreniana dell'isola di Ustica (Sicilia)*. Geol. Rom., **7**: 27-58.
- STELLA STARRABBA F. (1925) - *Osservazioni sulla costituzione geologica dell'isola di Ustica*. Zeits. fur Vulk. Bd., **9**. Berlin.
- SHACKLETON N. J. & HOPDIKE N. D. (1973) - *Oxygen isotope and palaeomagnetic stratigraphy of equatorial pacific core V28-238: oxygen isotope temperature and ice volumes on a  $10^5$  year scale*. Quat. Res., **3**: 39-55.

## Ricerche di geomorfologia subacquea in Penisola Sorrentina *Geomorphological submarine survey of Sorrento Peninsula coast*

DONADIO C. (\*), ROMANO P. (\*), SGROSSO A. (\*)

**RIASSUNTO** – Nell'ambito delle ricerche di carattere geomorfologico subacqueo eseguite lungo le coste campane della Penisola Sorrentina, il presente contributo vuol essere un approfondimento sulle conoscenze dell'evoluzione morfologica costiera dell'area compresa tra la Grotta dello Zaffiro e lo scoglio dell'Isca (Fig. 1).

Successivamente agli studi svolti per comprendere i fenomeni morfo-evolutivi riconosciuti negli ambienti conservativi delle cavità sommerse (Grotta dell'Isca e Grotta dello Zaffiro), tale lavoro si propone di ampliare le conoscenze acquisite mediante rilievi batimetrici e geomorfologici subacquei della falesia calcarea e del fondo prospiciente, tra la battigia ed i trenta metri di profondità.

Le prime informazioni raccolte in un tratto della falesia dove si affacciano la Grotta dello Zaffiro e le Grotte cosiddette dei «Gemelli», hanno permesso di identificare alcune tipiche morfologie sommerse (Fig. 2). In particolare, sono stati riconosciuti tre ordini di terrazzi di abrasione marina, alle profondità di -6 m, -14 m e -18 m, a partire da circa 20 m ad est dell'ingresso della Grotta dello Zaffiro. Il terrazzo più superficiale, posto tra la quota di 5,5 m e quella di 6,5 m, affiora in piccoli lembi lungo il tratto di falesia osservato con un'ampiezza di circa tre metri ed una certa inclinazione verso Sud (verso il largo). Il terrazzo intermedio invece, è più continuo lungo la falesia con un'ampiezza, anch'esso, di circa tre metri, ma inclinazione molto meno accentuata del terrazzo più superficiale. Infine, il terrazzo più profondo risulta essere anche il più ampio (tra i 9 ed i 12 metri di estensione trasversale) e il più esteso (affiora lungo tutto il tratto di falesia osservato per una lunghezza di 40-50 m). Quest'ultimo terrazzo è caratterizzato da alcune forme generate da processi misti di erosione e di dissoluzione bio-chimica, tra cui vasche di corrosione del diametro compreso tra 0,5 e 2 metri circa, solchi e docce di varia profondità ed estensione.

Al di sotto del tratto di falesia dove si trovano i due ingressi della Grotta dello Zaffiro, partendo dal condotto inferiore che si trova alla profondità di circa -15 m, si riscontra la presenza di breccie calcaree, di dimensioni comprese tra qualche decimetro ed il metro cubo, che si spingono fino alla profondità di -22 m circa. Qui le breccie sono tagliate da una scarpata che si collega verso il basso con la base della falesia a -27 m. Oltre tale profondità il fondale è costituito da sabbie con andamento sub-pianeggiante. Il deposito clastico sembra ascrivibile ad un trollo, data la sua marcata eterometria. Esso poggia su di una

superficie irregolare, generalmente inclinata verso Sud, il cui ciglio è tagliato a circa -22 m.

Un altro probabile paleostazionamento marino si osserva lungo la falesia ad est della Grotta dello Zaffiro alla profondità di -10 m. Qui si riscontra la presenza di una sinuosa forra profonda 10 m, a pareti sub-verticali e parallele tra loro, che nasce come solco in prossimità del livello del mare e con due salti successivi arriva alla profondità di 10 metri; quasi subito il solco si amplia mantenendo poi una distanza di circa 2 m per tutta la sua estensione (approssimativamente una ventina di metri). Sul fondo sono presenti ciottoli calcarei del diametro di 20-30 cm, molto ben arrotondati.

Infine, alla profondità di -22 m sono presenti i due condotti carsici sub-orizzontali ad ingresso ovale, noti col nome di «Gemelli», posti a breve distanza l'uno dall'altro (5-6 m). L'ingresso di ogni condotto misura circa 3 × 2 m e risulta parzialmente sepolto.

Il condotto occidentale, in parte esplorato, è a sezione sub-triangolare, si dirama all'interno della falesia per circa 20 m e si suddivide in due camere, di cui la distale è caratterizzata da un pozzo sul pavimento parzialmente occluso da sedimenti sottili. In questa cavità sono in corso rilievi topografici.

Le morfologie costiere nel tratto di falesia esaminato hanno un limite cronologico inferiore dato dall'età della delimitazione morfotettonica della costa in esame, individuato da precedenti studi all'inizio del Pleistocene medio (CINQUE & PUTIGNANO, 1992; CINQUE & ROMANO, 1990; ROMANO & SGROSSO, 1992).

Di conseguenza i lembi dei ripiani di abrasione indicati a -5,5 m potrebbero correlarsi con analoghe tracce di paleostazionamenti del livello del mare già riconosciuti negli ambienti carsici delle grotte dell'Isca e dello Zaffiro ed attribuite a soste del livello marino della fine del Pleistocene medio. Il terrazzo a -18 m, invece, sembra potersi correlare al recente alto eustatico relativo dello Stadio Isotopico 3, segnalato nel Tirreno come oscillante intorno ai -20 m di profondità (ALESSIO *et alii.*, 1992).

Risulta di difficile interpretazione la genesi della superficie su cui poggiano le breccie affioranti al di sotto dell'ingresso dello Zaffiro, così come la natura delle breccie stesse. Come accennato esse sembrano riconducibili più ad una frana da crollo che ad un deposito di versante in s.s., che potrebbe essere correlata ad un momento di attività tettonica del settore di costa studiato.

(\*) Dipartimento Scienze della Terra, Università Federico II, Napoli

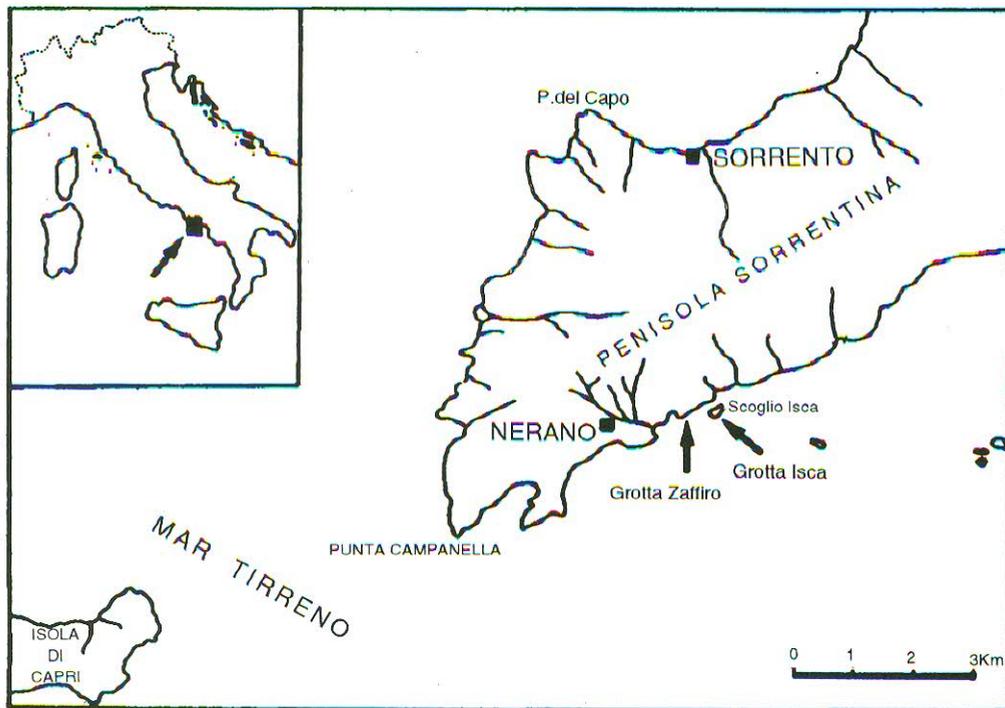


Fig. 1 - Ubicazione dell'area.

**ABSTRACT** - New data on the coastal morpho-evolution in the area between Grotta dello Zaffiro and Scoglio dell'Isca are discussed in this paper, in the framework of a geomorphological Submarine Survey of Sorrento Peninsula coast (Fig. 1). These data are established through bathymetric and geomorphic surveys of the limestone cliff and facing sea bottom down to the -30 m isobath.

Firstly, some submerged forms were identified along the cliff between the Grotta dello Zaffiro and the Grotte dei Ge-

melli (Fig. 2). These forms are three -5,5 m, -14 m and -18 m deep marine terraces, starting about 20 meters east of the Grotta dello Zaffiro. The first discontinuous and higher one, -5,5 to -6,5 m deep and 3 m wide, dips southward. The second one, 3 m wide is more continuous and less inclined. The third one, from 9 to 12 m wide, has been followed along 40-50 m. The last terrace shows whether mechanical or biochemical erosional forms, like 0,5 m to 2 m wide dissolution pools, gullies and channels of different sizes.

Limestone breccias with 10 cm to 1 m sized clasts are present between the depth of -15 m and -22 m, just below the lower pipe of the Grotta dello Zaffiro. At -22 m the breccias are cut by a scarp connected to the bottom with the cliff base, -27 m depth. These breccias, lying on an irregular southward dipping surface, are possibly due to a rock fall. Sands outcrop in the flat sea bottom.

Minor evidences of -10 m sea level standing are present eastward of the Grotta dello Zaffiro. A -10 m deep winding gully, with vertical valley side slopes, has been observed. The gully has two longitudinal breaks in the slope, and 20-30 cm sized calcareous pebbles at the bottom.

Finally, there are two subhorizontal 5 to 6 meters placed karstic caves, with oval entrances at the depth of -22 m. They are named Gemelli («Twins»). The western cave goes 20 m into the cliff with a triangular section, and broaden in two chambers. The last one has at the bottom a fine sediment filled well.

There is a discussion on the age of the forms. The lower limit age of the forms is the early part of the Middle Pleistocene, the moment of the last morphotectonic outline of the coast (CINQUE & PUTIGNANO, 1992; CINQUE & ROMANO, 1990; ROMANO & SGROSSO, 1992). The -5,5 m sea level standing can be assigned probably to the Middle Pleistocene according to Romano and Sgrosso, 1992. The -18 m sea level standing

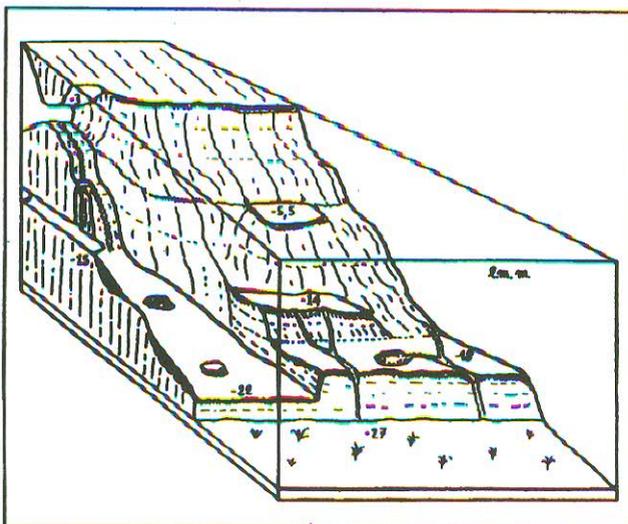


Fig. 2 - Morfologia sommersa dell'area indagata.

could be correlated to the isotopic stage 3, which beach is reported along the Tyrrhenian sea at the depth of -20 m (ALESSIO *et alii*, 1992). The rock fall breccias bury a surface of uncertain origin and age.

#### BIBLIOGRAFIA

- ALESSIO M., ALLEGRI L., ANTONIOLI F., BELLUOMINI G., FERRANTI L., IMPROTA S., MANFRA L. & PROPOSITO A. (1992) - *Risultati preliminari relativi alla datazione di speleotemi sommersi nelle fasce costiere del Tirreno centrale. I Convegno di Geologia Subacquea e Sottomarina (Geosub), Roma 5 e 6 Novembre 1991.* Giornale di Geologia di Bologna, **54** (2): 165-193.
- CINQUE A. & ROMANO P. (1990) - *Segnalazione di nuove evidenze di antiche linee di riva in Penisola Sorrentina (Campania).* Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, **13** (1): 23-36.
- CINQUE A. & PUTIGNANO M.L. (1992) - *Geomorphology of the continental shelf around the Sorrentine peninsula (Southern Italy). I Convegno di Geologia Subacquea e Sottomarina (Geosub), Roma 5 e 6 Novembre 1991.* Giornale di Geologia di Bologna, **54** (2): 115-125.
- ROMANO P. & SGROSSO A. (1992) - *L'evoluzione geomorfologica della grotta subacquea dell'Isca (Penisola Sorrentina, Campania). I Convegno di Geologia Subacquea e Sottomarina (Geosub), Roma 5 e 6 Novembre 1991.* Giornale di Geologia di Bologna, **54** (2): 151-163.

## Sorgenti ipotermali sottomarine nel territorio di Novaglie (Lecce): note descrittive ed idrogeologiche

### *Submarine ipothermal springs in Novaglie area (southern Italy): speleological and hydrogeological description*

MAGGIORE M. (\*), ONORATO R. (\*\*), PALMISANO P. (\*\*\*)

RIASSUNTO – Si riportano i primi risultati dei rilievi di carattere speleologico e idrogeologico effettuati su alcune emergenze carsiche costiere sottomarine di acqua calda e salmastra, ubicate lungo il litorale di Novaglie, in provincia di Lecce.

Le sorgenti sono situate in corrispondenza di due grotte marine di origine carsica che si aprono nei calcari cretacei affioranti con continuità tra il porto di Tricase e Capo S. Maria di Leuca.

Si tratta di polle sottomarine allincate lungo dislocazioni tettoniche ad orientamento NW-SE, alimentate dalla falda carsica sotterranea che ha sede nei calcari cretacei, permeabili per fratturazione e carsismo.

Le due cavità sono morfologicamente distinte: la prima presenta un piccolo imbocco a pelo d'acqua che introduce in una vasta caverna invasa dal mare; la seconda invece, completamente sommersa, e' costituita da una galleria di approfondimento vadoso. Lungo le pareti di questi ambienti, attraverso piccoli condotti carsici, ad una profondità compresa fra i 3 ed i 7 metri, si rinvencono alcune piccole scaturigini di varia portata idrica e grado termico.

Per quanto attiene al termalismo, l'ubicazione delle sorgenti in corrispondenza di importanti linee di faglia fa ritenere valido, anche per questa zona della Puglia, il modello proposto da MAGGIORE & MONGELLI (1991) per le sorgenti ipotermali situate al margine occidentale del promontorio garganico. In considerazione dei bassi gradienti geotermici (3°C/100 m) che caratterizzano l'Avanpaese apulo, le faglie rappresenterebbero una via preferenziale per la migrazione verso l'alto di acque calde, forse associate a giacimenti di idrocarburi, le quali, risalendo "velocemente", conserverebbero buona parte del calore terrestre acquistato negli strati rocciosi più profondi riscaldando l'acqua fredda e dolce proveniente dall'acquifero salentino.

ABSTRACT – This paper shows the first results of some speleological and hydrogeological prospects done on some submarine karstic springs of warm and brackish water, located along the coast of Novaglie, Lecce.

These springs are inside two marine karstic caves opening in the cretaceous limestones rising uninterrupted between Tricase harbour and Capo S. Maria di Leuca. They are submarine springs aligned along NW-SE oriented tectonic displacements feeded by the karstic ground water.

The two caves are morphologically distinguishable: the first shows a little entrance at the level of the water which brings into a large room flooded by the sea; the second one, instead, is fully submerged and is formed by a drawdown vadose morphology. Along the walls of these caverns there can be found several little springs with variable hydric output and thermal grades, coming through little karstic conduits, at depth between 3 and 7 meters.

For what concerning the thermalism, the springs sites near important fault lines, confirm the model proposed by MAGGIORE e MONGELLI (1991) for the ipothermal springs of the western boundary of the Gargano promontory, also for this part of Puglia. Taking account of the low geothermal gradients (3°C/100m) typical of the "Apulia foreland", the faults would be a preferred way for the welling up of warm waters, probably connected with oil pools. These waters coming up "quickly", would keep most of the earthal heat gained in the deepest rocky layers warming the freshwater coming from the Salento Aquifer.

(\*) Dipartimento di Geologia e Geofisica, Università di Bari

(\*\*) Gruppo Speleologico Neretino

(\*\*\*) Federazione Speleologica Pugliese

## Primi dati sulle caratteristiche morfostrutturali del tratto di costa sommerso tra la foce del fiume Noce e Capo Scalea (Tirreno meridionale - Calabria nordoccidentale)

### *Observation on the morpho-structural features along the Tyrrhenian submerged coast between the Noce river and Cape Scalea (north-western Calabria)*

TOCCACELI R. M. (\*)

RIASSUNTO – L'area in esame si sviluppa lungo il margine tirrenico della Calabria nord occidentale tra la foce del Fiume Noce a nord, al confine con la Basilicata, e Capo Scalea a sud.

La ricerca è mirata, principalmente, al rilevamento e definizione dell'assetto morfostrutturale dei bassi fondali delle aree marine costiere con preciso riferimento ai settori emersi nell'ottica dello studio della evoluzione recente ad attuale delle fasce costiere.

Da un punto di vista geologico regionale l'area ricade in prossimità del limite settentrionale dell'Arco Calabro-Peloritano (cfr. MORELLI A. *et alii*, 1976) dove si individua il passaggio alle unità dell'Appennino campano-lucano.

Tale area, nel complesso, si distingue per gli alti tassi di sollevamento registrati durante tutto il Pleistocene e che hanno portato alla formazione di terrazzi lungo tutta la fascia costiera (CAROBENE & DAI PRÀ, 1990; CAROBENE & FERRINI, 1991; 1993).

Il tratto di mare è stato investigato secondo una metodologia già sperimentata in aree limitrofe (TOCCACELI, 1992) mediante indagini indirette, utilizzando un ecoscandaglio montato su imbarcazione da diporto, e dirette con l'esecuzione di immersioni con uso di autorespiratore (A.R.A.).

L'uso dell'ecoscandaglio ha consentito la realizzazione di una serie di profili batimetrici opportunamente ubicati ed orientati con restituzione grafica dei dati, consentendo, tra l'altro, la redazione di una carta batimetrica di dettaglio.

Le immersioni subacquee eseguite in aree e per profondità significative, hanno permesso l'osservazione diretta ed il rilevamento subacqueo dei fondali costieri effettuando anche una sorta di taratura morfologica per l'interpretazione dei dati relativi ai profili batimetrici eseguiti in aree non direttamente investigate.

La ricerca a mare, confortata da rilevamenti di superficie ed analisi fotointerpretative lungo il tratto di costa emerso, unitamente alla acquisizione di recenti dati, anche bibliografici (CAROBENE & DAI PRÀ, 1990; CAROBENE & FERRINI, 1991; 1993; FERRINI *et alii*, 1994 questo volume), ha consentito la correlazione dei principali elementi geologici e geomorfologici al

passaggio tra settore emerso e settore sommerso, definendo il locale assetto morfostrutturale.

In particolare, si evidenzia come l'ubicazione di importanti strutture determini il controllo della recente ed attuale sedimentazione e la distribuzione degli apporti alluvionali.

ABSTRACT – A preliminary morpho-structural study has been carried out along the submerged coastal area between the Noce river and Cape Scalea, located in the north-western sector of the tyrrhenian margin of Calabria.

From a geological point of view this coastal sector represents the northern boundary of the Calabro-Peloritano Arc (cfr. AMODIO-MORELLI *et alii*, 1976) where the alpine units of the Arc are in tectonic contact with the units of the Campano-Lucano Apennines.

In the area a strong uplift is reported during all the Pleistocene and well documented by the presence of several terrace orders mappable all along the coast (CAROBENE & DAI PRÀ, 1990, 1991; CAROBENE & FERRINI, 1991, 1993).

The study of principal geological and morphological elements has been performed by means of first bathymetric campaign and the execution of the subaqueous geomorphological surveying in significant sector of the coastal area.

The data related to bathymetric campaign, carried out with echo-sounding gear, were elaborated to draw a bathymetric map.

Geological survey and areal photo interpretation of the coastal area and the acquired submerged elements, together with recent bibliography data (COSENTINO & GLIOZZI, 1988; CAROBENE & DAI PRÀ, 1990; CAROBENE & FERRINI, 1991; 1993; FERRINI *et alii*, 1994 - this volume) has highlighted the correlation in both the outcropping and underwater sectors, permitting to determine the local submerged morpho-structural scenario showing recent tectonics activity.

Locations of important structures, due to the neotectonics activity, determine and control the recent and actual coastal sedimentation and alluvial apports.

(\*) c/o Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Napoli «Federico II».

## BIBLIOGRAFIA

- AMODIO-MORELLI L., BONARDI G., COLONNA V., DIETRICH D., GIUNTA G., IPPOLITO F., LIGUORI V., LORENZONI F., PAGLIONICO A., PERRONE V., PICCARRETA G., RUSSO M., SCANDONE P., ZANETTIN-LORENZONI E. & ZUPPETTA A. (1976) - *L'arco calabro-peloritano nell'orogene appenninico-maghrebide*. Mem. Soc. Geol. It., **17**: 1-60 pp.
- COSENTINO D. & GLIOZZI E. (1988) - *Considerazioni sulle velocità di sollevamento di depositi entirreniani dell'Italia meridionale e della Sicilia*. Mem. Soc. Geol. It., **41**: 653-665, 5 ff.
- CAROBENE L. & DAI PRÀ G. (1990) - *Genesis, chronology and tectonics of the quaternary marine terraces of the Tyrrhenian coast of northern Calabria (Italy). Their correlations with the climatic variations*. Il Quaternario, **6**: 173-202 pp.
- CAROBENE L. & FERRINI G. (1991) - *The lower Pleistocene Monte Carpinoso terraces (Tyrrhenian coast of Calabria, Southern Italy)*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., **14**: 209-219 pp.
- CAROBENE L. & FERRINI G. (1993) - *Morphological, sedimentological and tectonic features of Diamante - M. Carpinoso marine Terrace flyight (Tyrrhenian coast of northern Calabria, Italy)*. Earth surface processes and landforms, **18**: 225-230 pp.
- FERRINI G., MANDICINO P. & TOCCACELI R. M. (1994) - *Cosiderazioni preliminari sull'evoluzioone recente dell'Isola di Dino sulla base della stratigrafia e degli elementi sommersi, (Tirreno meridionale, Calabria settentrionale)*. Questo Volume.
- FERRINI G., MENDICINO P. & TOCCACELI R. M. (1994) - *Elementi morfologici sommersi ed evoluzione recente dei fondali antistanti l'Isola Dino. (Tirreno meridionale, Calabria settentrionale)*. Questo Volume.
- TOCCACELI R. M. (1992) - *Principali elementi morfostrutturali del tratto di costa sommerso tra Sapri e la foce del Fiume Noce (Golfo di Policastro)*. Giornale di Geologia, ser. III, **54** (2): 91-101 pp., Bologna.

## Dispersione dei sedimenti olocenici nel sistema fiume-piattaforma-canyon del Bonamico (Calabria ionica)

### *Holocene sediment dispersal in the Bonamico river-shelfs canyon system (Ionian sea)*

VALLONI R. & TORELLI L. (\*)

RIASSUNTO – Il litorale ionico della Calabria sotteso dalle coste di Bianco e di Locri mostra un'inflexione all'altezza delle foci dei fiumi Bonamico e Careri; ad essa corrisponde la testata di un canyon, a fisiografia complessa, che intercetta il prisma sabbioso costiero (figure 1 e 2).

Questo lavoro tratta la dispersione dei sedimenti Attuali e Recenti tramite lo studio composizionale di campioni di fiume, di superficie della piattaforma (benna), e dell'asse del canyon del Bonamico (carotiere a pistone).

I sedimenti sono separabili in due province petrografiche, alimentate da terreni prevalentemente metamorfici (Aspromonte) e sedimentari (Zomaro), che, attualmente, manifestano una deriva costiera verso settentrione (IBBEKEN & SCHLEYER, 1991).

Sulla spiaggia le due province confinano all'altezza del paese di Bovalino mentre sulla piattaforma il limite coincide con la testata del canyon del Bonamico (figure 1 e 2); nelle singole traverse di piattaforma la dispersione dei sedimenti resta immutata.

Sia la composizione principale sia la frazione dei minerali pesanti delle sabbie indicano che nei depositi di piattaforma le associazioni detritiche sono fortemente modificate dai processi di selezione idraulica (figura 3a).

Le sabbie e le argille delle torbiditi deposte nell'asse del canyon, a profondità di 1700 metri circa, hanno composizione diversa da quella dei sedimenti di piattaforma; tale composizione è invece simile a quella dei sedimenti di fiume (figura 3b).

(\*) Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Parma

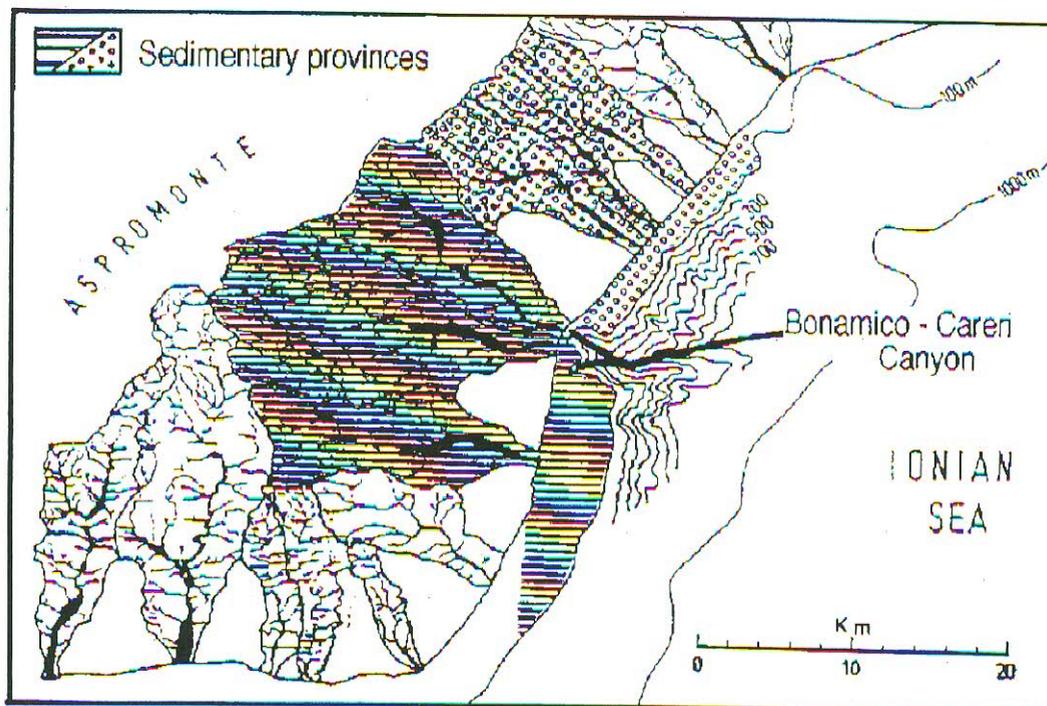


Fig. 1 – Inquadramento geografico del settore costiero Bianco - Locri e province petrografiche.  
The Bianco (south) and Locri (north) coasts and the sedimentary petrographic provinces.

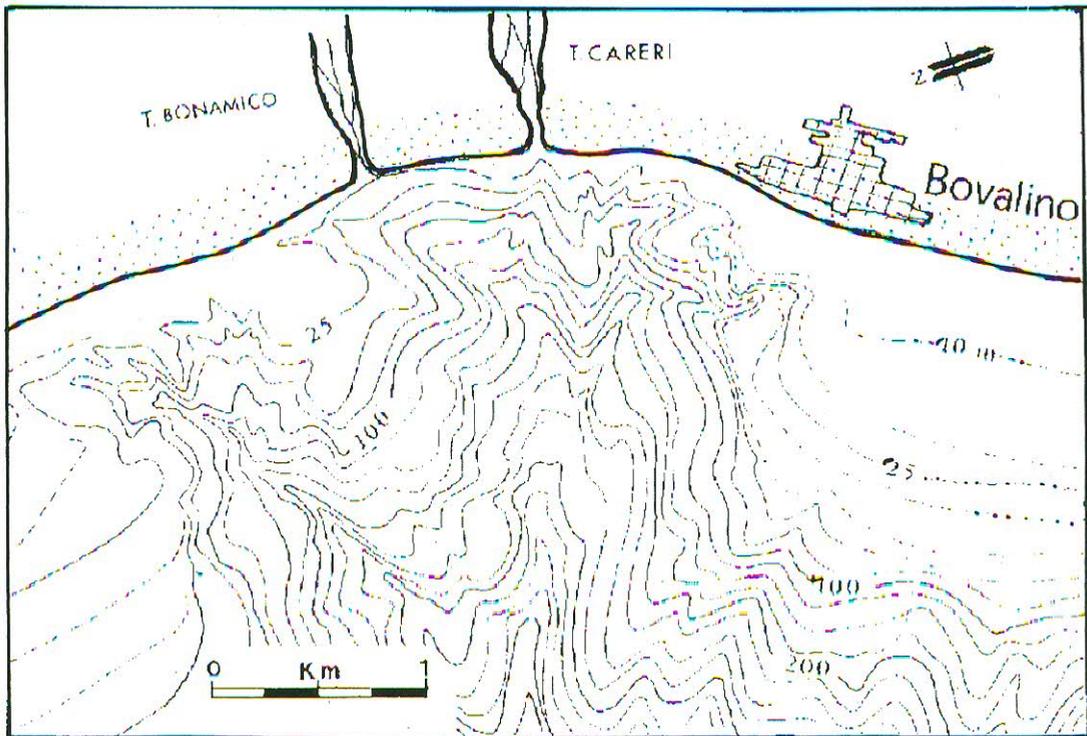


Fig. 2 – Fisiografia della testata del canyon del Bonamico (da IBBEKEN & SCHLEYER,1991, modificato).  
*Physiography of the Bonamico canyon head (modified after Ibbeken and Schleyer,1991).*

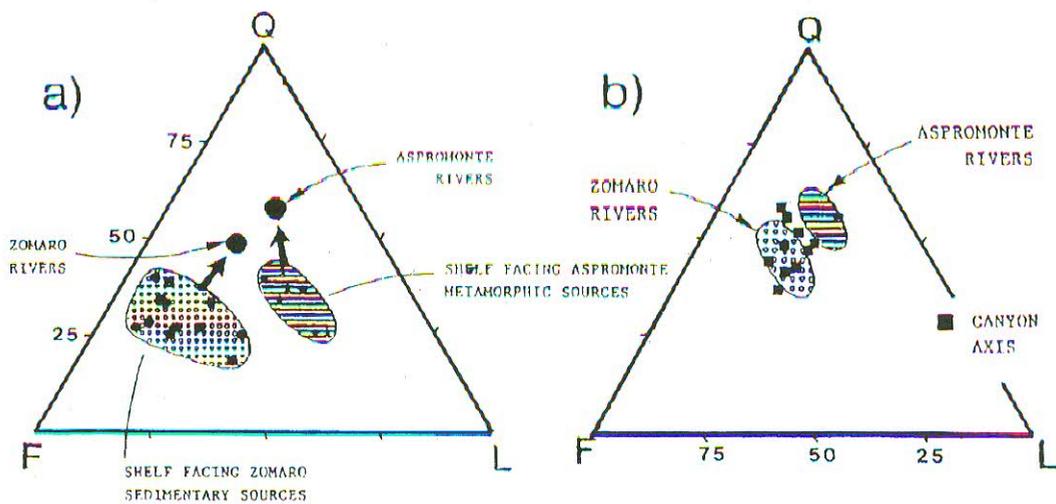


Fig. 3 – Composizione Modale Principale delle sabbie. Q + grani quarzosi, F + grani feldspatici, L + grani litici a tessitura fina.  
 a) Media dei fiumi delle province Aspromonte e Zomaro e analisi delle piattaforme antistanti.  
 b) Campi composizionali dei fiumi delle province Aspromonte e Zomaro e distribuzione delle analisi delle torbiditi del canyon del Bonamico.  
*Principal Composition of the sands. Q + quartzose grains, F + feldspathic grains, L + fine-grained lithics. a) Mean composition of the Aspromonte and Zomaro rivers and analyses of the facing shelves. b) Compositional fields of the Aspromonte and Zomaro rivers and analyses of the canyon-axis turbidites.*

ABSTRACT – In the ionian coast of southern Calabria the coastline bends on the mouth of the Bonamico and Careri rivers where a submarine canyon intercepts the nail of the lower shoreface (figures 1 and 2).

The mineralogic composition of the river, shelf, and canyon-axis sediments has been studied for determining the Holocene sediment dispersal.

Metamorphic detritus from the Aspromonte and sedimentary detritus from the Zomaro define two main sedimentary provinces; the net longshore drift is northwards (IBBEKEN & SCHLEYER, 1991).

The limit of the two provinces is represented onshore by the town of Bovalino and offshore by the canyon head; all shelf transects show no changes in the sediment dispersal.

The light and heavy minerals of sandy sediments indicate that hydraulic sorting is strongly effective on shelf deposits (figure 3a); turbidite deposits of the canyon axis (1700 m in depth) are mineralogically different from shelf sediments and similar to the river mouth sediments (figure 3b).

#### BIBLIOGRAFIA

- IBBEKEN & SCHLEYER. (1991) - *Source and Sediment: A Case Study of Provenance and Mass Balance at an Active Plate Margin (Calabria, Southern Italy)*. Springer-Verlag, Berlin, 286 pp.

## Metodologie subacquee per lo studio della variazione annuale dei flussi bentici e dei nutrienti (N, Si, P) in acque costiere (Golfo di Trieste, Nord Adriatico)

### *Scuba-dive methodology for studying annual variation of benthic nutrient (N, Si, P) fluxes in shallow coastal waters (Gulf of Trieste, Northern Adriatic)*

BERTUZZI A. (\*), DE MURO S. (\*), FAGANELLI J. (\*\*), BRAMBATI A. (\*)

**RIASSUNTO** - Durante gli anni 1992-1993, sono stati applicati metodi di campionatura subacquea diretta nel nord Adriatico. Sono stati misurati con cadenza mensile, per un periodo di 16 mesi, i flussi bentici dei nutrienti N, Si, P, e alcalinità, carbonio inorganico disciolto (DIC) e O<sub>2</sub> nei sedimenti superficiali del Golfo di Trieste. Lo studio è stato effettuato attraverso campionature sottomarine con ARA utilizzando camere bentiche successivamente trasferite in laboratorio con condizioni di temperature analoghe al fondale marino. Gli esperimenti in laboratorio sono stati eseguiti in assenza di luce per evitare l'utilizzo dei nutrienti rilasciati, da parte delle microalghe bentiche. La valutazione media annuale si è attestata sui valori: O<sub>2</sub> = -19.3 ± 8.2, DIC = 13.7 ± 9.6, NO<sub>3</sub> = 0.04 ± 0.16, NH<sub>4</sub> = 0.3 ± 0.4, PO<sub>4</sub> = -0.001 ± 0.01, Si = 0.9 ± 1.1 mmol m<sup>-2</sup> d<sup>-2</sup>, evidenziando una forte variazione temporale. I flussi maggiori dei nutrienti e del carbonio inorganico DIC sono stati osservati durante il periodo estivo mentre nel periodo invernale sono stati osservati piccoli efflussi di DIC, NH<sub>4</sub> ed influssi di Si e PO<sub>4</sub>. Lo studio ha evidenziato che solo i flussi di NH<sub>4</sub> (ca 50%) e di Si (ca 70%) sono significativamente dipendenti direttamente dalla temperatura. Alti efflussi di DIC, NH<sub>4</sub> e Si sono stati osservati nel maggio '93 con basse temperature dell'acqua. Ciò è dovuto dalla degradazione della materia organica sedimentata prodotta durante il bloom microfitobentonico primaverile avvenuto circa sei settimane prima. Anche in autunno è stato osservato un aumento dei flussi bentici legato prevalentemente all'aumento della temperatura dell'acqua e al bloom fitoplanctonico, inoltre è stato osservato che all'interfaccia acqua-sedimento del Golfo di Trieste i flussi dei nutrienti non sono legati significativamente al consumo di O<sub>2</sub> ma anche ai processi anaerobici.

**ABSTRACT** - The scuba-diving sampling method was used in the northern Adriatic during the last two years (1992-1993). Benthic fluxes of dissolved N, Si, P nutrients, and alkalinity, dissolved inorganic C (DIC) and O<sub>2</sub> were measured monthly over 16 months periods from sediments in the Gulf of Trieste, using direct sampling and laboratory incubated flux chambers at in situ temperature. The experiments were performed in the dark since previous studies showed the important utilization of released nutrients by benthic microalgal mat. The estimated yearly average fluxes were: O<sub>2</sub> = -19.3 ± 8.2, DIC = 13.7 ± 9.6, NO<sub>3</sub> = 0.04 ± 0.16, NH<sub>4</sub> = 0.3 ± 0.4, PO<sub>4</sub> = -0.001 ± 0.01, Si = 0.9 ± 1.1 mmol m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>, showing strong temporal fluctuation. The highest effluxes of all nutrients and DIC were observed in the summer period but small DIC efflux and NH<sub>4</sub>, Si and PO<sub>4</sub> influxes in the late winter. Only NH<sub>4</sub> (ca 50%) and Si (ca 70%) fluxes were significantly direct temperature dependent. This suggests that the rate of downward input and quality of sedimented organic matter (autochthonous and allochthonous) were superimposed on the temperature fluctuation. High DIC, NH<sub>4</sub> and Si effluxes observed in May 1993 during low temperature was due to degradation of sedimented organic matter produced by early spring microphytobenthic bloom about 6 weeks before while the autumn phytoplanktonic bloom was simultaneously reflected in enhanced benthic fluxes due to higher temperature. The nutrient fluxes observed were not significantly linked to O<sub>2</sub> consumption suggesting that also anaerobic oxidation processes were important at the sediment-water interface in the Gulf.

(\*) Università degli Studi di Trieste - Dipartimento di Scienze Geologiche, Ambientali e Marine.

(\*\*) Marine Biological Station, 66330 Piran Slovenia.