



# INTERVENTO DI DIFESA DELLA COSTA LOCALITA' LIDO DELLE NAZIONI COMUNE DI PORTO RECANATI

## PROGETTO DEFINITIVO

elaborato:  <b>RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA E SEDIMENTOLOGICA</b>	tavola:  <b>R02</b>
	scala:
	data: <b>giugno 2013</b>
	rif.:

responsabile del procedimento

Geom. D. Re - Comune di Porto Recanati

-

### Progettazione:

Dott. Ing. G. Filomena (progettista)	Dott. Ing. A. Bartoli (progettista)	Dott. Geol. L. Magi Galluzzi (progettista)
Dott. Ing. L. Piermattei (progettista)	Dott. Ing. I. Boaro (progettista)	Dott. Geol. G. Scalella (progettista)
Dott. Ing. A. Ippoliti (coor. sicurezza)	Dott.ssa V. Storoni (progettista)	Dott.ssa K. Granci (progettista)
Geom. E. Rinaldi (collaboratore)	Geom. M. Sinigaglia (collaboratore)	Dott. Geol. S. Parlani (collaboratore)
Geom. D. Pernini (collaboratore)	Geom. D. Magnoni (collaboratore)	

2					
1					
0					
emissione:					
Nome file:	etichette.dwg	disegnato:	controllato:	approvato:	

COMUNE DI PORTO RECANATI



REGIONE MARCHE



Servizio Infrastrutture

Trasporti ed Energia

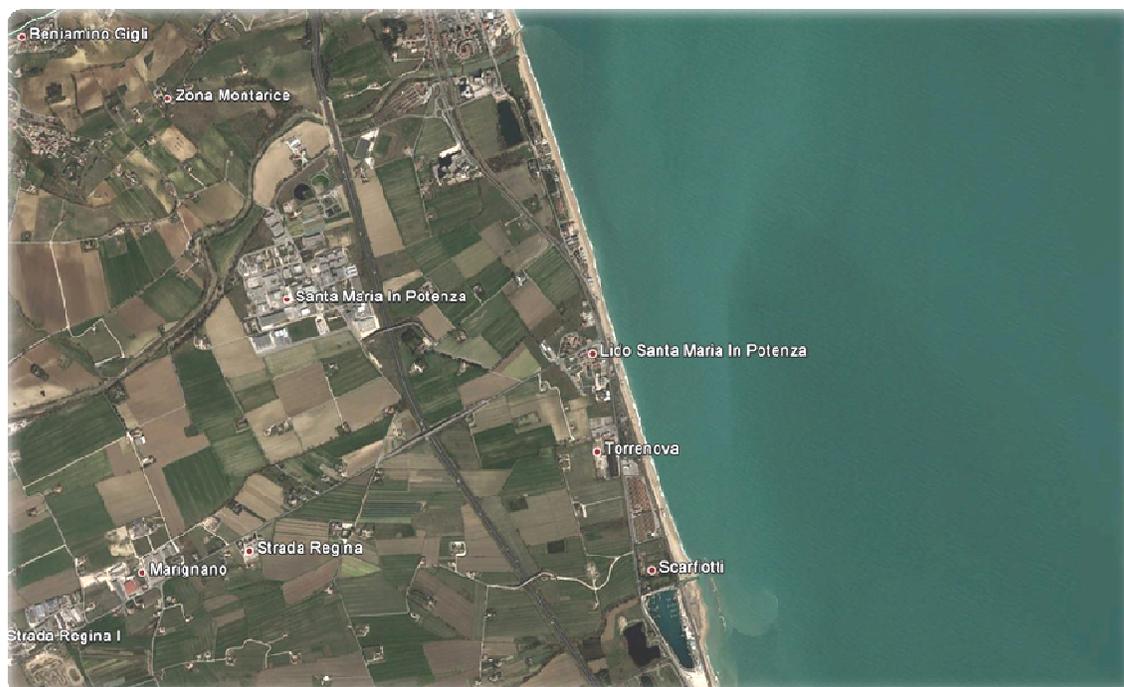
## INTERVENTO DI DIFESA DELLA COSTA

### LOCALITA' LIDO DELLE NAZIONI DI PORTO RECANATI (MC)

Accordi di Programma tra Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare e la Regione Marche per l'attuazione degli interventi di mitigazione per il rischio idrogeologico nei territori del Centro Nord finanziati dalla delibera CIPE n.6/2012.

## PROGETTO DEFINITIVO

### RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, SEDIMENTOLOGICA



## Sommario

<b>1.1. INTRODUZIONE</b> .....	3
1.2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO, GEOMORFOLOGICO.....	7
1.3. CONSIDERAZIONI PALEOGEOGRAFICHE DELL'ADRIATICO NEL TRATTO MARCHIGIANO ( <i>ESTRATTO DA STUDI GEOLOGICI CAMERTI</i> ).....	11
1.3.1. FENOMENI DI SOLLEVAMENTO, LA PALEO-SUPERFICIE SOMMITALE, LE SUPERFICI DI EROSIONE E DEFORMAZIONI ASSOCIATE .....	11
1.4. CENNI DI GEOLOGIA DELL'ADRIATICO NEL TRATTO MARCHIGIANO .....	14
1.4.1. DISTRIBUZIONE DEI SEDIMENTI SUPERFICIALI .....	16
1.4.2. EVOLUZIONE TARDO-QUATERNARIA.....	16
1.4.3. LA COSTA .....	18
1.4.4. ASSETTO E DISTRIBUZIONE DEL DRAPPO PELITICO OLOGENICO .....	19
1.4.5. PLIOCENE E PLEISTOCENE.....	21
1.4.6. STRUTTURA ED EVOLUZIONE.....	22
1.4.7. MARE ADRIATICO .....	25
1.5. CARATTERISTICHE PALEOGEOGRAFICHE E PALEOCLIMATICHE.....	27
1.5.1. MOVIMENTI RELATIVI MARE\LINEA DI COSTA .....	29
1.5.2. IL RISCHIO COSTIERO ED I MOVIMENTI IN ATTO SULLE COSTE IN ITALIA .....	32
1.5.3. CAUSE ANTROPICHE.....	35
1.5.4. CONSIDERAZIONI SULLE CONDIZIONI DI PERICOLOSITÀ, RISCHIO E DANNO IN SEGUITO AL RECEPIMENTO DELLA DIRETTIVA ALLUVIONI (DIRETTIVA 2007/60/CE E D.LGS. N. 49 DEL 23/02/2010) .....	36
1.6. CARATTERISTICHE FIOGRAFICHE DEL LITORALE DAL QUADRO CONOSCITIVO DEL "PIANO DI GESTIONE INTEGRATA DELL'AREA COSTIERA" .....	39
1.6.1. UNITA' FIOGRAFICA N.17 – DALLA FOCE DEL FIUME POTENZA AL PORTO DI CIVITANOVA MARCHE....	39
1.6.1.1. STATO DI FATTO .....	40
1.6.1.2. ANALISI DEGLI SQUILIBRI.....	41
1.6.1.3. INDICAZIONI PROGETTUALI .....	41
<b>2. SINTESI DEGLI STUDI CONDOTTI PER LA REDAZIONE DEL PIANO DI GESTIONE INTEGRATA DELLE AREE COSTIERE</b> .....	41
<b>3. INQUADRAMENTO DELLE CARATTERISTICHE LITOLOGICHE E SEDIMENTOLOGICHE DELLE SPIAGGE</b> .....	44
<b>4. CARATTERISTICHE SEDIMENTOLOGICHE, MORFOLOGICHE E PARAMETRI CARATTERISTICI DELLE SPIAGGE NATIVE</b> .....	45
4.1 - LITORALE A SUD DEL FIUME POTENZA.....	46
4.2. CRITERI DI COMPATIBILITA' DEI SEDIMENTI DI RIPASCIMENTO.....	53
<b>5. PARAMETRI CARATTERISTICI DI PROGETTO DEI SEDIMENTI</b> .....	55
<b>6. COMPATIBILITÀ CON LA DINAMICA COSTIERA</b> .....	59
<b>7. REPERIMENTO DEI SEDIMENTI DI RIPASCIMENTO</b> .....	60
<b>8. SINTESI BIBLIOGRAFICA</b> .....	60

## 1.1. Introduzione

Il Piano di Gestione Integrata delle Aree Costiere della Regione Marche (DACR n.169 del 2/2/2005) (che di fatto costituisce il progetto preliminare degli interventi) affronta, lungo i 172 km di costa gli squilibri ambientali, derivati dall'erosione marina nel rispetto delle attività turistiche e delle valenze ambientali della Regione Marche.

E' stato sottoscritto un accordo di programma tra il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare e la Regione Marche finalizzato alla programmazione e al finanziamento di interventi urgenti e prioritari per la mitigazione del rischio idrogeologico nelle zone specificate nell'allegato 1. Nell'ambito di questo progetto il finanziamento riguarda gli interventi di difesa della costa nel tratto del Lido delle Nazioni nel Comune di Porto Recanati.

L'attuazione dell'intervento consiste nell'intervenire con un ripascimento dell'arenile con ghiaia, ciottoli e sabbie di origine alluvionale nel tratto costiero situato tra l'attuale fiume Potenza ed il fosso Pilocco (Paleofoce del fiume Potenza).

La scelta tipologica degli interventi di recupero delle spiagge erose è stata indirizzata anche dalla disponibilità della risorsa naturale la cui compatibilità con quella esistente impone in alcuni casi una semplice condizione di affinità granulometrica in quanto sono state individuate spiagge pressoché totalmente scomparse.

Nell'ambito della fase progettuale definitiva la presente relazione geologica, geomorfologica e sedimentologica ha lo scopo di fornire, l'inquadramento geologico, geomorfologico, paleogeografico e il fuso di progetto del tratto costiero marchigiano interessato dall'intervento. Il litorale marchigiano si estende per circa 172 km, delimitato a nord dal Fiume Tavollo al confine con l'Emilia Romagna e a sud dalla foce del fiume Tronto al confine con l'Abruzzo. E' caratterizzato dalla presenza di diversi morfotipi in stretta correlazione con le caratteristiche strutturali, litologiche e morfoevolutive del territorio (*Scalella et al. 2003*).

Tali caratteri sono anche componenti della struttura fisica dei diversi tratti costieri e sono elementi di base fondamentali per la trattazione del tema ripascimento dei litorali (*Ferretti et. Al., 2003*).

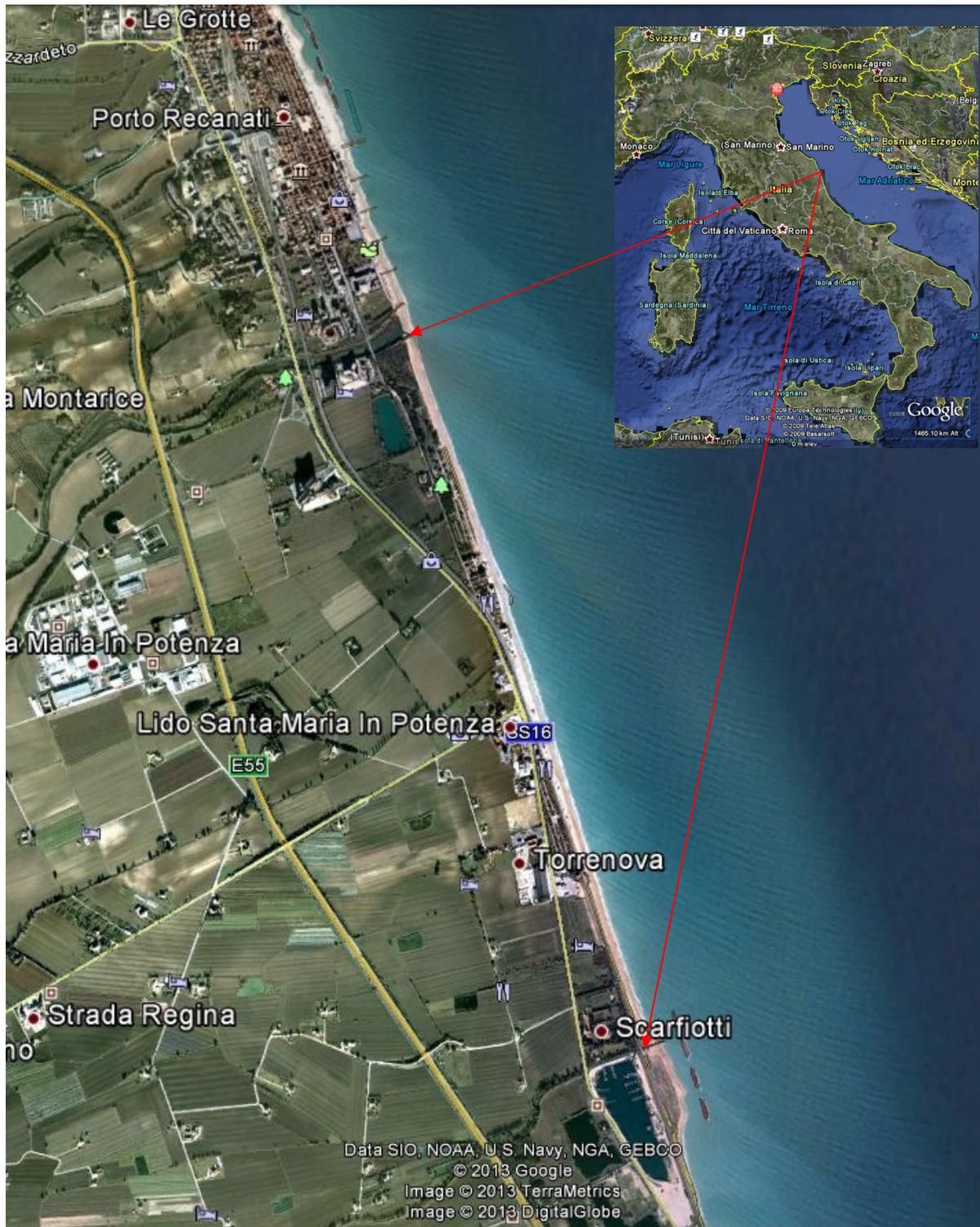


Fig. 1 Ubicazione dell'area generale di intervento (Porto Recanati)

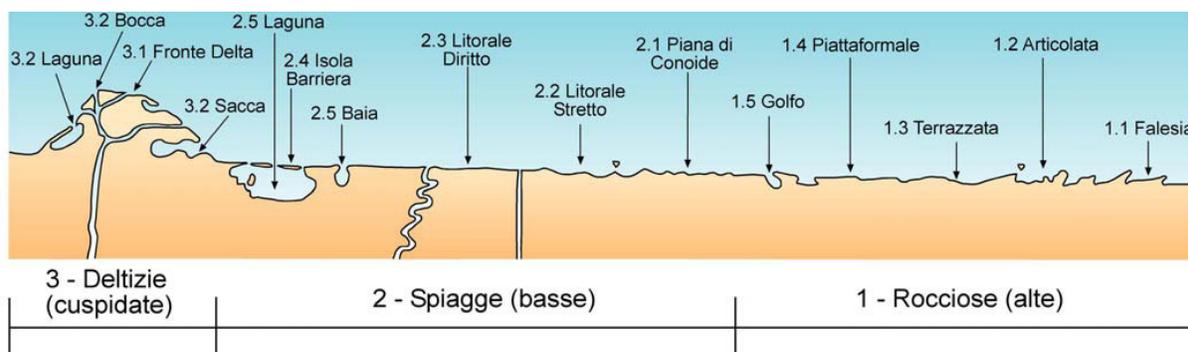


Fig. 2 Tipi morfo-sedimentologici delle coste marine italiane da (Ferretti et. Al. 2003)

I singoli tipi morfo-sedimentologici rappresentano corpi tridimensionali visti unitariamente nelle loro estensioni di terraferma e mare costiero.

Ogni tipo morfo-sedimentologico comporta che ciascuno di essi ha caratteristiche distinte in termini di fisiografia e morfologia, geometrie sedimentarie e litologie della Spiaggia emersa e sottomarina. Ogni tipo morfo-sedimentologico manifesta comportamenti distinti in rapporto ai principali parametri di caratterizzazione dell'ambiente fisico locale, bilancio sedimentario costiero, subsidenza del suolo, riserve idriche sotterranee, ecc.. Per quanto riguarda il trasporto costiero, ogni tipo morfo-sedimentologico si distingue ed è in rapporto alla fonte dei sedimenti ed entità del loro apporto alla costa e modalità ed estensione della deriva costiera (Ferretti et. Al. 2003).

Il tema del reperimento dei materiali e della loro qualità rappresenta un aspetto preponderante riguardo alla scelta di questa tipologia di intervento. In generale viene posto l'accento sul materiale dei corsi d'acqua locali che "hanno la massima vocazione per il ripascimento delle spiagge alimentate da tali fiumi, dal momento che sarebbe naturalmente destinato ad esse".

Il sedimenti da utilizzare sono quelli in genere reperiti localmente, sia nei corsi d'acqua sia nelle "spiagge relitte" sottomarine (qualora si debba avere a che fare con ripascimenti sabbiosi). La pratica, talvolta utilizzata, di importare materiali da altre province può essere considerata soltanto per quei materiali che hanno la stessa storia geologica e le stesse litologie di quelli delle spiagge native soprattutto per il rispetto delle caratteristiche fisico-meccaniche.

Per discutere gli aspetti di qualità dei materiali è fondamentale introdurre il concetto di Sedimento Nativo. I sedimenti nativi sono i sedimenti naturalmente prodotti e distribuiti

lungocosta localmente e in caso di ripascimento la caratterizzazione mineralogica e tessiturale dei sedimenti nativi assume sempre maggiore importanza.

Il riconoscimento delle Province petrografiche sedimentarie costiere viene classicamente svolto usando la firma composizionale dei sedimenti prodotti sulla costa (es. falesia) o trasportati su di essa (es. fiume) e trasferiti lungoriva dal drift costiero.

La sola ricerca svolta a scala nazionale per la definizione delle Province sedimentarie costiere data agli anni settanta svolta da ENEA-Casaccia sulla composizione mineralogica dei sedimenti di fiume e di spiaggia delle coste italiane

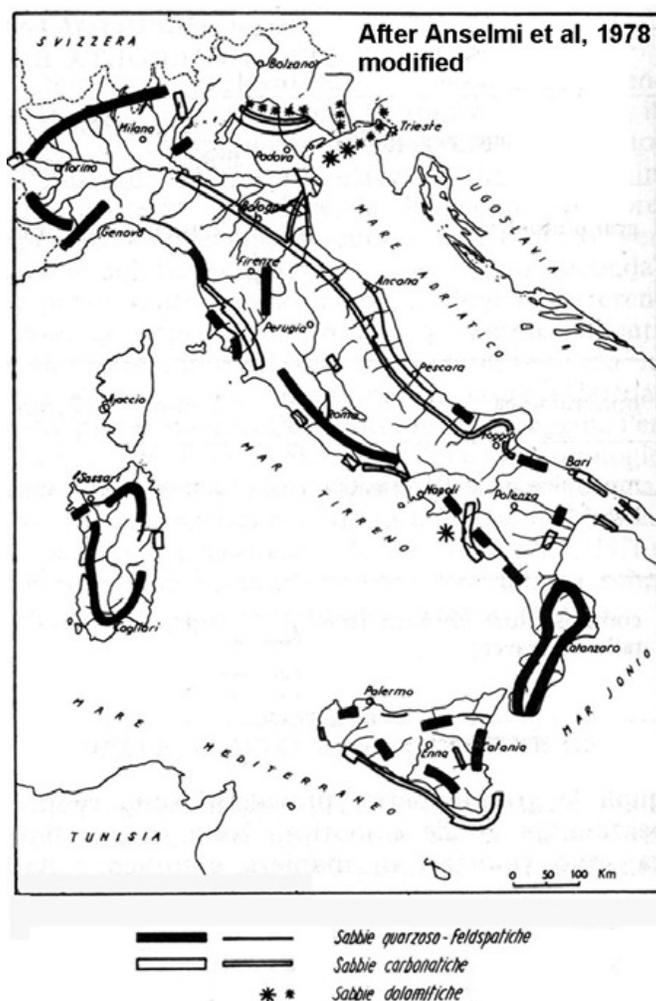


Fig. 3 Composizione petrografica delle sabbie fluviali e costiere d'Italia (Ferretti et. Al. 2003)

Tre grandi progetti di ricerca CNR sviluppati negli anni settanta illustrano altrettanti tratti costieri con la determinazione di estremo dettaglio delle Province Sedimentarie Costiere:

si tratta del nord Adriatico (*Gazzi et al., 1973*), della Toscana settentrionale (*Gandolfi e Paganelli, 1977*) e del Golfo di Taranto (*Cocco et al., 1975*).

La scelta di intervenire sul litorale di Porto Recanati dalla foce del fiume Potenza e per una lunghezza di circa 2 km verso il fosso Pilocco ubicato più a sud è stata fatta dopo aver constatato lo stato di senilità del tratto costiero, dopo numerosi fenomeni di mareggiata che nel corso degli anni hanno messo a repentaglio *life line* quali la linea ferroviaria e la strada comunale litoranea oltre che alle strutture antropiche dedicate al turismo e agli edifici residenziali realizzati al di là della ferrovia che di fatto ha creato dopo il 1863 un limite fisico alla pianura costiera nella zona prospiciente il litorale. In relazione a ciò il 25/11/2010 il tratto costiero è stato inserito nell'allegato 1 del protocollo di intesa tra la Regione Marche e il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, finalizzato alla programmazione e al finanziamento di interventi urgenti e prioritari per la mitigazione del rischio idrogeologico.

## **1.2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO, GEOMORFOLOGICO**

L'area di studio si sviluppa lungo la costa nel settore sud del Monte Conero che costituisce il rilievo calcareo più esterno dell'Appennino centro-settentrionale. Esso rappresenta una struttura anticlinale fortemente asimmetrica, con asse orientato in direzione appenninica e vergenza a NE. Tale struttura porta in affioramento una successione stratigrafica fortemente lacunosa che comprende la Maiolica, le *Marne a fucoidi*, *Scaglia bianca*, *Scaglia rossa*, al di sopra della *Scaglia rossa* le formazioni presentano caratteristiche simili a quelle di altre zone nell'area umbro-marchigiana ad eccezione della Formazione di tetto e dell'orizzonte del Trave (*Messiniano sup.*); verso l'alto stratigrafico a sud di Numana arriviamo ai depositi plio-pleistocenici.

Il tratto di costa in esame appartiene al bacino periadriatico del "Settore Anconetano" (*Bigi et alii, 1995*), che è il più settentrionale rispetto ad altri susseguenti settori (maceratese, fermano, teramano, chietino) che dal Monte Conero si estende fino alla bassa valle del fiume Sangro. La sua evoluzione paleogeografica è stata condizionata dall'articolata strutturazione delle dorsali longitudinali presenti al suo interno, tra cui spicca la dorsale o struttura costiera più esterna (*Perconig, 1955, Ori et alii, 1991, Casnedi & Serafini, 1994*) e l'attività di faglie trasversali ed oblique, generalmente impostate su discontinuità tettoniche più antiche che hanno agito sia come faglie trascorrenti e transpressive sia come faglie normali e transtensive.

L'area anconetana, più rialzata rispetto alle altre aree più a sud, era caratterizzata durante il *Pliocene inferiore-medio* da minori tassi di sedimentazione con lacune sedimentarie molto estese nel tempo e marcate da discordanze angolari tra i vari termini della successione depositatasi in un generale ambiente di piattaforma. In questo settore si realizzava l'emersione di una porzione di dorsale sottomarina rappresentata dall'attuale rilievo del Monte Conero. Alla fine del *Pleistocene inferiore* la fascia periadriatica marchigiano-abruzzese emergeva per effetto dei fenomeni di sollevamento dando origine in superficie all'impostazione e all'approfondimento dell'attuale sistema vallivo. L'assetto geologico strutturale dell'area anconetana è caratterizzato da elementi compressivi (pieghe e sovrascorrimenti) che sono tipici di una *foreland fold and thrust belt* e da faglie trascorrenti/transpressive che rappresentano elementi di collegamento (rampe laterali, *transfer faults*) tra i maggiori *thrust sheets* ed in parte strutture di neoformazione. Queste ultime sono successive alla principale fase compressiva pliocenica (*Pliocene medio-superiore*) responsabile della strutturazione delle zone esterne e sono tuttora attive e responsabili della sismicità dell'area.

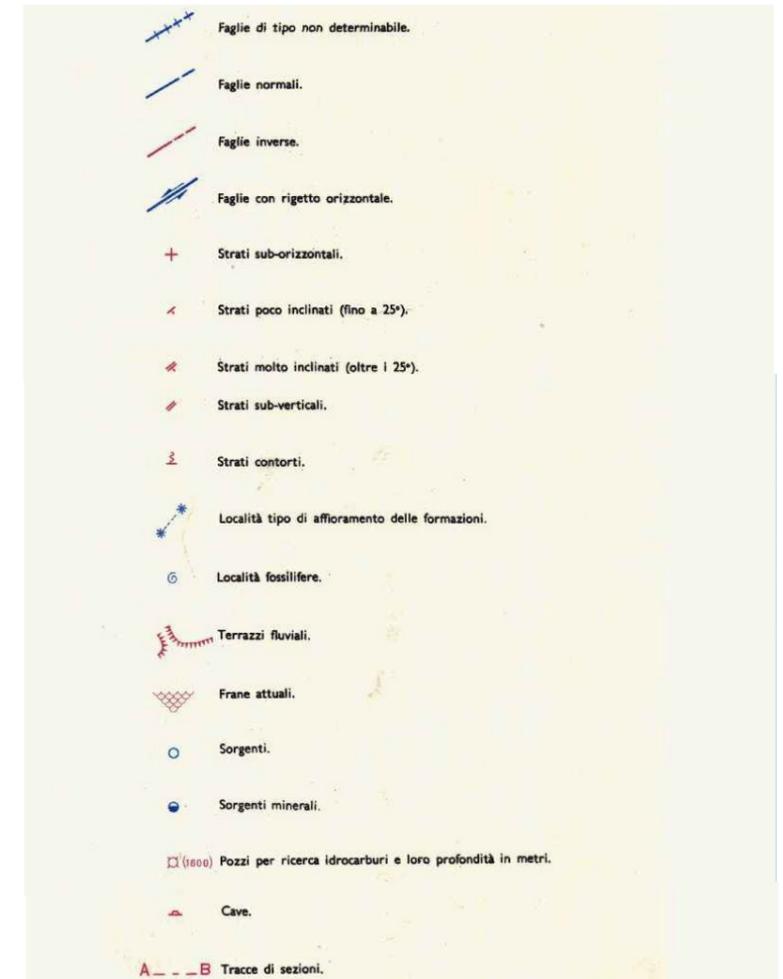
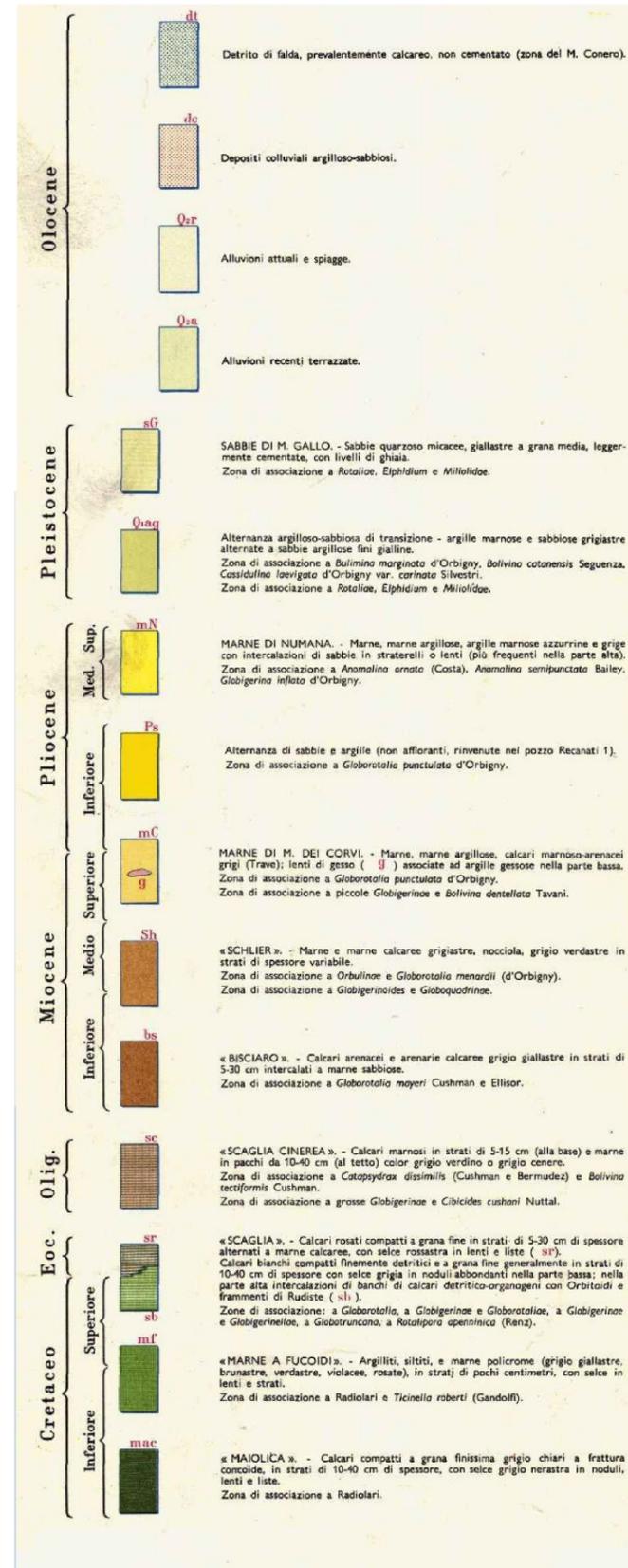
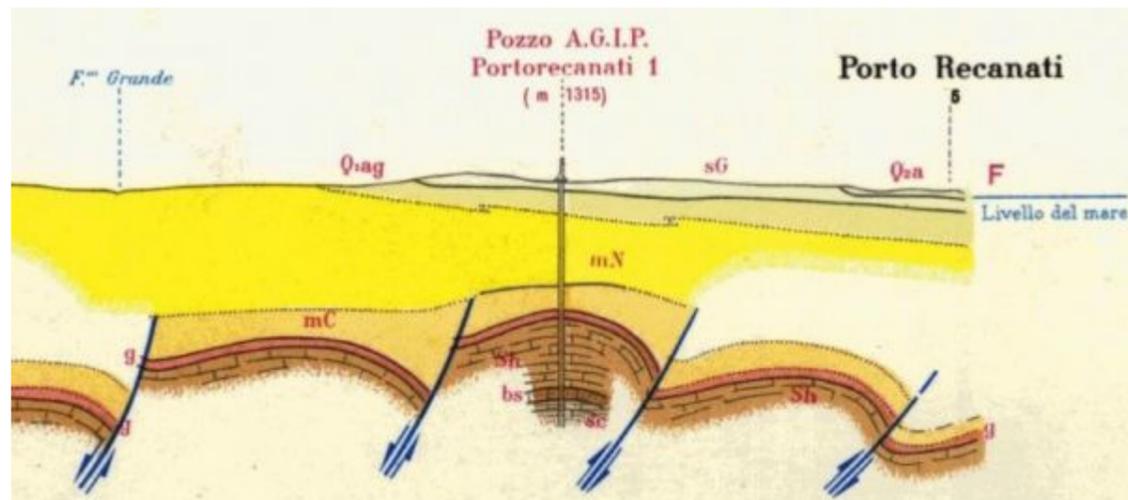
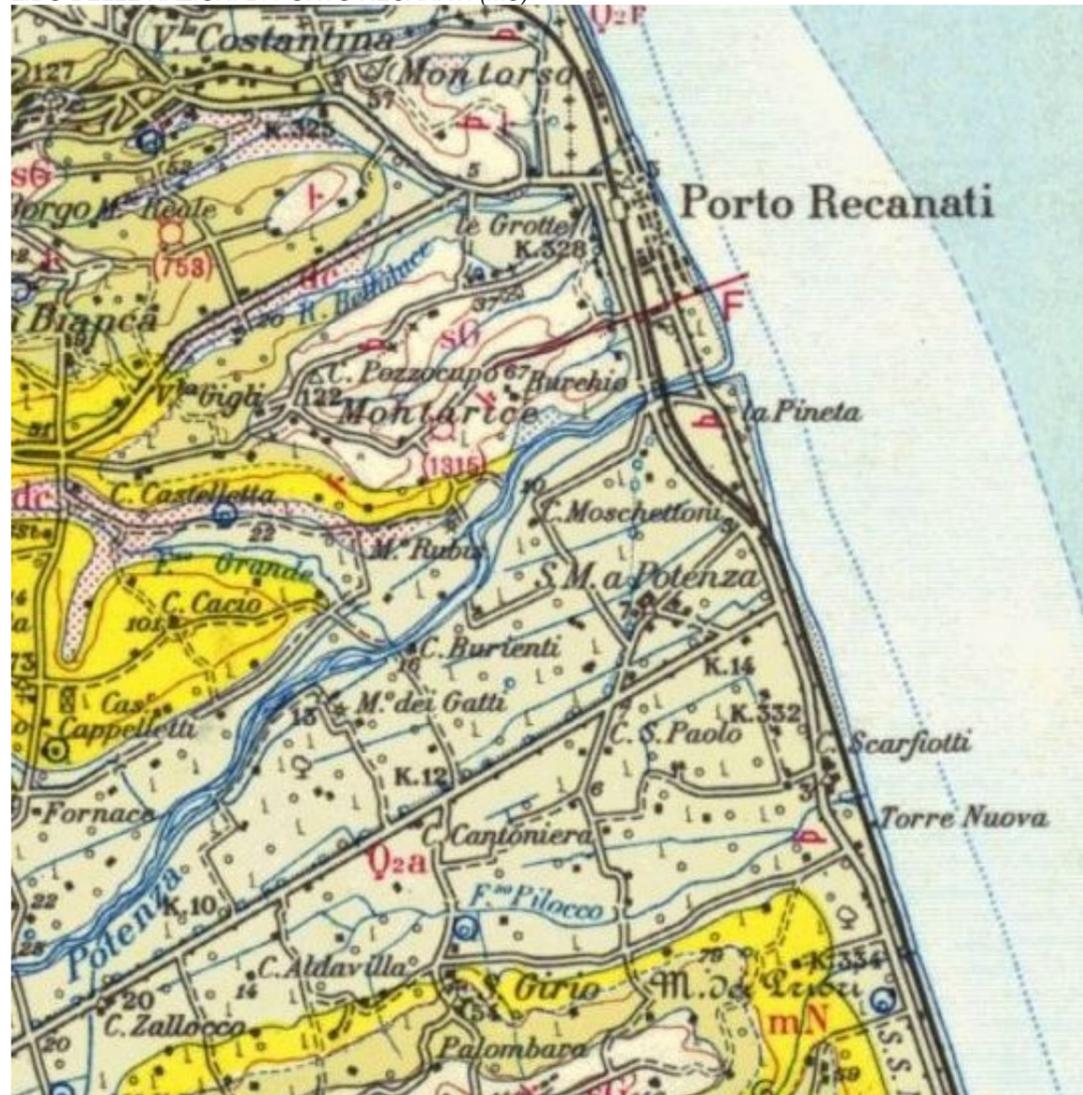


Fig. 4 Carta geologica del settore studiato (Estratto da Carta Geologica d'Italia scala 1:100.000)

Le caratteristiche morfologiche nelle aree oggetto di intervento identificano un settore caratterizzato da una costa bassa e presenta una piana costiera senza dune di retrospiaggia piuttosto estesa che si raccorda ai versanti collinari.

Il tratto di piana costiera, riferibile alla trasgressione *Flandriana*, all'inizio dell'Olocene è collegata al mare dalla spiaggia che presenta un'estensione estremamente variabile. La linea di costa durante la massima fase di trasgressione Nei tratti di litorale analizzati è stato possibile individuare una spiaggia emersa, con una o più berme e cordoni. Una spiaggia intertidale caratterizzata dalla presenza della zona di battigia, barre e truogoli.

Durante la massima fase di trasgressione versiliana la linea di costa aveva invaso l'area dell'attuale foce del Musone e si spingeva per alcuni chilometri nell'entroterra all'incirca nei pressi di Acquaviva-Villa Musone.

La fascia costiera attuale si origina circa 4000 anni fa, dapprima come un cordone litorale che delimita un'ampia palude costiera. Questa ospiterà la sedimentazione fluviale sino al 1100 A.D. fino a completo colmamento in seguito al quale la sedimentazione raggiunge pienamente la linea di costa attuale con progressivo avanzamento verso mare. Per quanto riguarda la linea di costa ricostruzioni storiche portate alla luce da diversi autori mettono in evidenza come agli inizi del 1500 la battigia si trovava in prossimità del Castello Svevo.

In seguito tutte le azioni sui versanti eseguite dall'uomo ma anche condizioni climatiche comunque abbastanza variabili che hanno agito in senso erosivo con notevole produzione di detriti (condizioni di resistasia) che hanno determinato un avanzamento della linea di spiaggia fino a circa il 1840. Con ogni probabilità l'antica e importante *Potentia* fu costruita vicino alla spiaggia e l'attuale distanza dalla battigia testimonia il generale avanzamento della costa nel tempo. Il paesaggio dell'entroterra è relativamente monotono soprattutto a causa della relativa omogeneità dei terreni plio-pleistocenici, ma anche per la scarsa importanza dei rari elementi strutturali che di fatto non modificano l'assetto del substrato.

Nel tratto di costa oggetto di indagine il Piano per l'Assetto idrogeologico (D.C.R. n. 116 del 21/01/2004) non censisce alcun tipo di fenomeno di dissesto idrogeologico.

### **1.3. CONSIDERAZIONI PALEOGEOGRAFICHE DELL'ADRIATICO NEL TRATTO MARCHIGIANO** (Estratto da *Studi Geologici Camerti*)

#### **1.3.1. Fenomeni di sollevamento, la paleo-superficie sommitale, le superfici di erosione e deformazioni associate**

L'evoluzione dell'area adriatica è il risultato di successive fasi tettoniche che hanno determinato l'assetto strutturale del substrato, un'intensa attività morfogenetica sui rilievi e movimenti verticali a scala regionale. I processi tettonici attivi in Appennino centrale sono caratterizzati dalla presenza di un sistema di faglie quaternarie che a partire dal Pleistocene inferiore-medio, si sviluppa essenzialmente nelle zone assiali della catena dando origine a faglie che mostrano ancora evidenti segni di tettonica recente e/o attiva (*Calamita et al., 1994*). Nella zona periadriatica il sistema di faglie quaternarie più esterne, determinano una deformazione che interessa un'area estesa all'incirca fino alla porzione mediana dell'avanfossa, lungo le zone costiere invece risultano essere ancora in atto principalmente i processi di accrezione al fronte del sistema a *thrusts* centro appenninico e subordinatamente fenomeni di estensione. La complessità dei meccanismi deformativi in atto nel settore centrale della catena appenninica è anche evidenziata da un particolare pattern sismico che riflette la complessità dei meccanismi deformativi in atto nell'area. Nella zona esterna del sistema a *thrusts* umbro-marchigiano-abruzzese nelle zone costiere e/o offshore nell'adriatico. La soluzione dei meccanismi focali dei terremoti di media grandezza (che sono tipici della zona periadriatica) mostra come l'attuale campo tensionale è caratterizzato da un asse di massima compressione orientato ENE-WSW (*Gasparini et al., 1985*).

Gli innumerevoli fenomeni sismici che caratterizzano l'area umbro-marchigiana sono la risposta di deformazioni crostali a più grande scala. Tra questi, i fenomeni di sollevamento verticale a scala regionale sono quelli che assumono un maggiore significato in quanto rappresentano con ogni probabilità la risposta in termini di ritorno elastico (*elastic rebound*) di aree sovrascorse (umbro-marchigiano) attraverso migrazioni laterali su placche subdotte (*slab*) o in subduzione (placca adriatica). Le rocce che non sono confinate in regimi di pressioni e temperature troppo elevate (campo plastico) reagiscono ancora per una parte in campo elastico non lineare e per l'altra in campo elastico lineare. Questa aliquota rappresenta il recupero della deformazione delle zone sovrascorse determinando il sollevamento regionale che ha rappresentato l'input per l'origine delle deformazioni fragili

in Appennino originatesi fin dalle prime emersioni e l'interazione con le variazioni del livello del mare con i fenomeni di trasgressione e regressione dello stesso. Quindi l'area ha subito l'azione congiunta e sovrapposta nel tempo dei sollevamenti generalizzati (maggiore nell'area di catena progressivamente minore verso la linea di costa) e differenziali che hanno dato luogo a discordanze angolari, contatti *onlap* ed eteropie di facies, notevoli variazioni di spessore dei corpi sedimentari e la loro distribuzione in senso verticale nella successione plio-pleistocenica (con spessore 1500/2000 m). Nelle zone più prossime alla costa il sollevamento non è sincrono con quello delle aree più interne, ciò in relazione ad una preponderanza del sollevamento tettonico su quello regionale che ha determinato la strutturazione recente delle zone costiere agendo in modo diverso a causa anche dei condizionamenti esercitati da strutture tettoniche più interne diverse, dando luogo così a tassi di sollevamento differenziali e sovrapposti da ovest ad est e nord-sud e più in particolare per le diverse zone a seconda del dominio morfostrutturale di appartenenza. Gli elementi morfologici principali che derivano dal complesso delle deformazioni sono le paleosuperfici sommitali (*Demangeot, 1965; Desplanques, 1969; Calamita et al., 1982; Ciccacci et al., 1985*) che rappresentano i resti di antichi paesaggi caratterizzati da dislivelli topografici modesti, presenti in lembi alla sommità di alcuni rilievi appenninici calcarei ed arenacei (Monti della Laga).

Queste forme di spianamento sono state prodotte in condizioni climatiche favorevoli ai processi areali (*Dramis, 1986*) che determinavano già durante le prime emersioni troncature della stratificazione del substrato eliminando diverse centinaia di metri di successione.



Fig. 4 - Main structural and tectonic features in the Central-Northern Apennines and the northern peri-Adriatic zones. 1) Ligurian and Southern Alps; 2) Foredeep basins; 3, 4) Axial and outer belts of the Northern Apennines; 5) Latium-Abruzzi and Southern Apennines carbonate platforms; 6) Outer belt of the Southern Apennines; 7) Dinarides carbonate platforms; 8) Adriatic foreland; 9) Calabrian Arc; 10) Compressional features: a = outer front of the Alps and Apennines; b,c = active and inactive thrusts, d = fold axes; 11) Transcurrent and extensional features: a, b = active and presumably active strike-slip faults; c = normal faults. Main compressional features: CA = central Adriatic folds; Co = San Colombano-Cremona; CR = Coastal Ridge; Fa = Faenza; Fe = Ferrara; IR = Internal Ridge; OAMS = Olevano-Antrodoco-Monti Sibillini lineament; Pa = Parma; Pd = Pedepennino; Pe = Periadriatic; Po = Porto S. Giorgio, Re = Reggio Emilia; Ro = Romagna; Rn-Pe-An = Rimini-Pesaro-Ancona; St = Stradella-Fiorenzuola d'Arda; Vo = Voghera-Pavia. Main strike-slip features: EN = Enza; FS = Fella-Sava; ID = Idrjia; RJ = Rijeka; SV = Schio-Vicenza; VV = Villalvernia-Varzi. Main extensional/transensional basins: Aq = Aquila; Ca = Casentino; Ch = Chiana; Cf = Colfiorito; Fi = Firenze-Pistoia; Fo = Foligno-Spoleto; Fu = Fucino; Ga = Garfagnana; Gu = Gubbio; Le = Leonessa; Lu = Lunigiana; Mg = Magra; Mu = Mugello; No = Norcia; Ri = Rieti; Sg = Upper Sangro; Su = Sulmona; Ti = Tevere; Tn = Terni; Va = Valdarno; Li = Ligurian Apennines; Ml = Maiella; Tl = Tagliamento river; Tu-Em = Tuscano-Emiliano Apennines; Um-Ma = Umbria-Marche Apennines. Details on tectonic features in the Southern Apennines are given in Figs 1 and 3. See text for explanations.

- *Principali caratteristiche strutturali e tettoniche nell'Appennino centro settentrionale e nelle zone periAdriatiche settentrionali.* 1) Alpi liguri e meridionali; 2) Avansosse; 3, 4) Parti assiali ed esterne dell'Appennino settentrionale; 5) Unità di piattaforma carbonatica dell'Appennino centrale e meridionale; 6) Parte esterna dell'Appennino meridionale; 7) Unità di piattaforma carbonatica delle Dinaridi; 8) Avampaese adriatico; 9) Arco Calabro; 10) Strutture compressive: a = fronte esterno delle Alpi e dell'Appennino, b,c = raccorciamenti attivi ed inattivi, d = assi di pieghe; 11) Faglie trascorrenti e normali: a, b = faglie trascorrenti attive e probabilmente attive; c = faglie normali. Principali strutture compressive: CA = pieghe nell'Adriatico centrale; Co = San Colombano-Cremona; CR = Ridge Costiero; Fa = Faenza; Fe = Ferrara; IR = Ridge interno; OAMS = lineamento Olevano-Antrodoco-Monti Sibillini; Pa = Parma; Pd = Pedepennino; Pe = Periadriatico; Po = Porto S. Giorgio, Re = Reggio Emilia; Ro = Romagna; Rn-Pe-An = Rimini-Pesaro-Ancona; St = Stradella-Fiorenzuola d'Arda; Vo = Voghera-Pavia. Principali strutture trascorrenti: EN = Enza; FS = Fella-Sava; ID = Idrjia; RJ = Rijeka; SV = Schio-Vicenza; VV = Villalvernia-Varzi. Principali bacini estensionali/transensionali: Aq = Aquila; Ca = Casentino; Ch = Chiana; Cf = Colfiorito; Fi = Firenze-Pistoia; Fo = Foligno-Spoleto; Fu = Fucino; Ga = Garfagnana; Gu = Gubbio; Le = Leonessa; Lu = Lunigiana; Mg = Magra; Mu = Mugello; No = Norcia; Ri = Rieti; Sg = Alto Sangro; Su = Sulmona; Ti = Tevere; Tn = Terni; Va = Valdarno. CA = pieghe Centro Adriatiche; Li = Appennino Ligure; Ml = Maiella; Tl = Tagliamento; Tu-Em = Appennino Tosco-Emiliano; Um-Ma = Appennino Umbro-Marchigiano. Dettagli sulle caratteristiche tettoniche nell'Appennino meridionale sono riportati nelle figg. 1 e 3. Vedi testo per spiegazioni.

Boll. SGI 125 (2006) fasc. 3, 273-291, 6 ff.

Fig. 5 Schema geologico strutturale della zona periadriatica

Fasi deformative connesse alla strutturazione della catena, compressive e distensive, sono all'origine della frammentazione e dislocazione del paesaggio originario. Il versante adriatico è stato caratterizzato da un'evoluzione, che a partire dal Pliocene medio si è protratta per tutto il Pleistocene inferiore attraverso diversi cicli di erosione areale e lineare che hanno determinato livelli di spianamento sempre più a quote minori. Tale tipo di modellamento si estendeva all'intera fascia periadriatica da ovest verso est nel corso dell'emersione progressiva, si originavano così per erosione selettiva rilievi residuali (M. Ascensione) che hanno assunto le posizioni altimetriche attuali per effetto di fasi tettoniche compressive del Pliocene medio-superiore, Pleistocene inferiore e del sollevamento più recente.

L'evoluzione dell'area ha subito i più significativi cambiamenti a partire dal sollevamento più recente, regionale (*Demangeot, 1965; Ambrosetti et al., 1982; Dufaure et al., 1988*) e tettonico, del Pliocene superiore/Pleistocene inferiore, che hanno conferito l'attuale assetto orografico del rilievo. L'energia del rilievo, decisamente maggiore rispetto ai periodi precedenti ha determinato forti incrementi dell'erosione lineare producendo così un generale e rapido approfondimento delle incisioni vallive e determinando l'impostazione e la successiva evoluzione del reticolo di drenaggio per precedenza e/o sovrapposizione (*Dufaure et al., 1989*). In tutta l'area, all'interno delle valli si rinvengono almeno tre generazioni principali di depositi alluvionali terrazzati (Pleistocene medio (I), Pleistocene medio finale (II), Pleistocene superiore (III), precedute in diversi casi da ripiani orografici a quote maggiori. All'origine di questi depositi e ripiani orografici vi sono interferenze tra approfondimenti dell'erosione e fenomeni di prevalente deposizione connesse ad oscillazioni climatiche in senso freddo che determinavano la scomparsa della vegetazione sui versanti (*Coltorti & Dramis, 1988; Coltorti et al., 1991*).

#### **1.4. CENNI DI GEOLOGIA DELL'ADRIATICO NEL TRATTO MARCHIGIANO**

Questo paragrafo viene introdotto con lo scopo di porre in evidenza che il limite costiero appartenente ad un territorio comunale non può essere trattato a se stante ma fa parte di un complesso sistema naturale in cui i meccanismi di *biofeedback* non sono propri di un territorio comunale ma fanno parte di complessi sistemi naturali che per forza di cose

devono essere trattati con una visione ampia e generale. Il tratto di mare che bagna la regione Marche appartiene all'alto e medio Adriatico, che si estendono rispettivamente a nord e a sud di Ancona. La presente nota vuole essere una raccolta dei principali dati disponibili sulle problematiche geologiche, s.l., di questo tratto di mare. I fondali marini antistanti le Marche, che costituiscono parte della piattaforma continentale adriatica, diventano piu profondi non solo da costa verso il largo, ma anche procedendo da nord verso sud e riflettono quelli che erano gli antichi versanti e l'antica pianura alluvionale del fiume Pò. Al traverso della foce del fiume Tronto è situato il ciglio della piattaforma continentale a circa 140 m di profondità. Oltre questo giace la Depressione Mesoadriatica (DMA), che non ha un'origine strutturale ma piuttosto morfologica-sedimentaria, in quanto legata alla crescita di un corpo deltizio di progradazione. Nel tratto di piattaforma in esame, l'isobata dei -20 m rappresenta il limite che separa fondali pressoché pianeggianti sottocosta, da fondali a maggiore pendenza verso il largo.

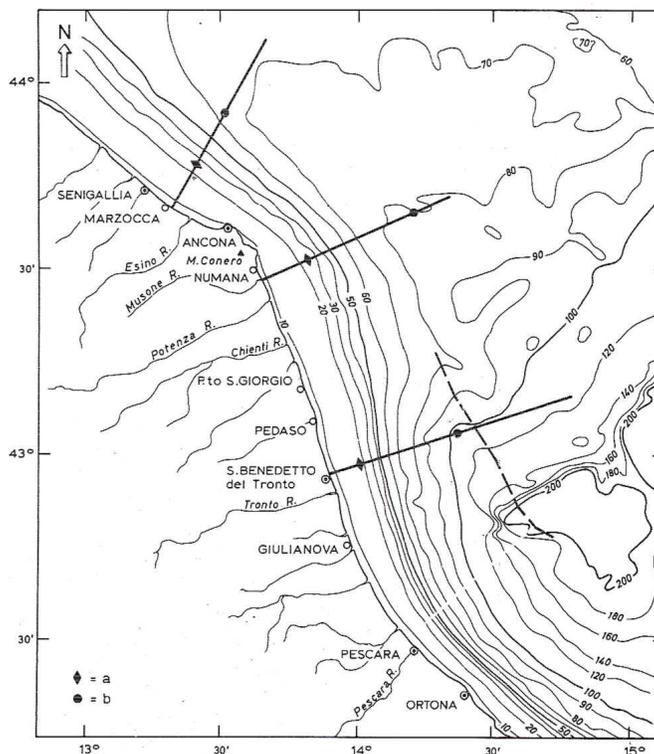


Fig. 6 - Carta batimetrica. Tracce delle sezioni a largo di Marzocca, Numana e S. Benedetto. (da Curzi & Tomadin, 1986).

La sua distanza dalla costa è di circa 7 miglia a nord del Conero e diminuisce progressivamente verso sud. Dal punto di vista morfologico i fondali superiori a -20 m si possono suddividere da nord verso sud in tre zone, e precisamente:

1 - Fino al promontorio del Conero - fondali piu acclivi (circa 3 m/Km) si estendono fino a 10 miglia dalla costa, seguiti per un breve tratto da fondali con una pendenza di 0.25 m/Km e quindi da fondali pianeggianti; 2 - Fino a Porto S. Giorgio-fondali a pendenza accentuata si mantengono ancora fino a circa 10 miglia dalla costa, seguono poi fondali a debole pendenza (1.3 m/Km); 3 - A sud di Porto S. Giorgio-fondali a pendenza ancora piu accentuata (valore massimo: 7 m/Km) giungono fino alla DMA. Allargo di Ancona il fondale presenta ondulazioni e strutture terrazzate con una pendenza generale di 0.75 m/Km. Tale pendenza massima aumenta gradualmente verso sud.

#### **1.4.1. Distribuzione dei sedimenti superficiali**

La distribuzione dei sedimenti superficiali (Fig. 12) avviene per fasce parallele alla costa, come messo in luce dagli studi di Van Straaten (1965, 1970), Pigorini (1968), Brambati *et alii* (1973, 1983), Colantoni *et alii* (1978), Curzi & Gallignani (1982). Le sabbie sono presenti non solo lungo il litorale (sabbie attuali) ma affiorano anche allargo sulla piattaforma continentale a nord della DMA (sabbie relitte). La fascia dei sedimenti fini (limi) mette in evidenza una zona a piu alta percentuale di limo (60-70%) situata piu sottocosta, cui fa seguito verso il largo una zona a piu elevata percentuale di argilla (40-50%).

#### **1.4.2. Evoluzione Tardo-Quaternaria**

L'abbassamento del livello di base, legato all'ultimo glaciale, che ha portato la linea di riva al bordo settentrionale della DMA ha causato l'aumento del potere erosivo dei fiumi, i quali portavano cosi una notevole quantità di alluvioni sabbiose. Contemporaneamente dovevano esistere ambienti palustri dove si instaurava una sedimentazione caratterizzata da intercalazioni di limo argilloso e torba. Con lo scioglimento dei ghiacciai, la trasgressione versiliana, relativamente veloce, ha ridistribuito la sabbia precedentemente depositata, dando luogo ad una copertura di sabbia relitta. Al finire della trasgressione versiliana si è instaurato l'attuale sistema di sedimentazione controllato dagli apporti fluviali e dalla ridistribuzione selettiva dei sedimenti da parte delle correnti marine e del moto ondoso. I sedimenti fini olocenici ed attuali costituiscono pertanto un drappo pelitico sovrastante le sabbie relitte e progradante verso il largo (*Van Straaten 1965, 1970*;

Pigorini, 1968; Nelson, 1970; Brambati et alii, 1973; Colantoni et alii, 1978; Curzi & Gallignani, 1982; Lenaz & Taviani, 1983; Stefanon, 1984; Ferretti et alii, 1986).

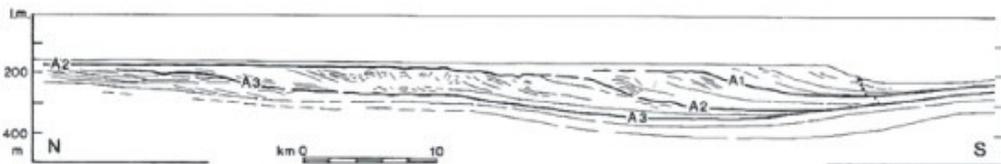


Fig. 7

Interpretazione del profilo *sparker* (1'000 Joule) Ad 84-10 (per l'ubicazione vedi Fig. 59). La scala verticale di questo e degli altri profili ecografici a bassa frequenza (Figg. 63, 64 e 65) è stata calcolata considerando una velocità media di propagazione nei sedimenti di 1'600 m/sec.

La sezione mostra le suddivisioni interne del corpo progradazionale padano. Le maggiori (A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub>) sono interpretate come interruzioni dell'accreszione deltizia, causate da risalite del livello marino (eventi trasgressivi e caldi in senso lato) (da CIABATTI, CURZI & RICCI LUCCHI, in stampa).

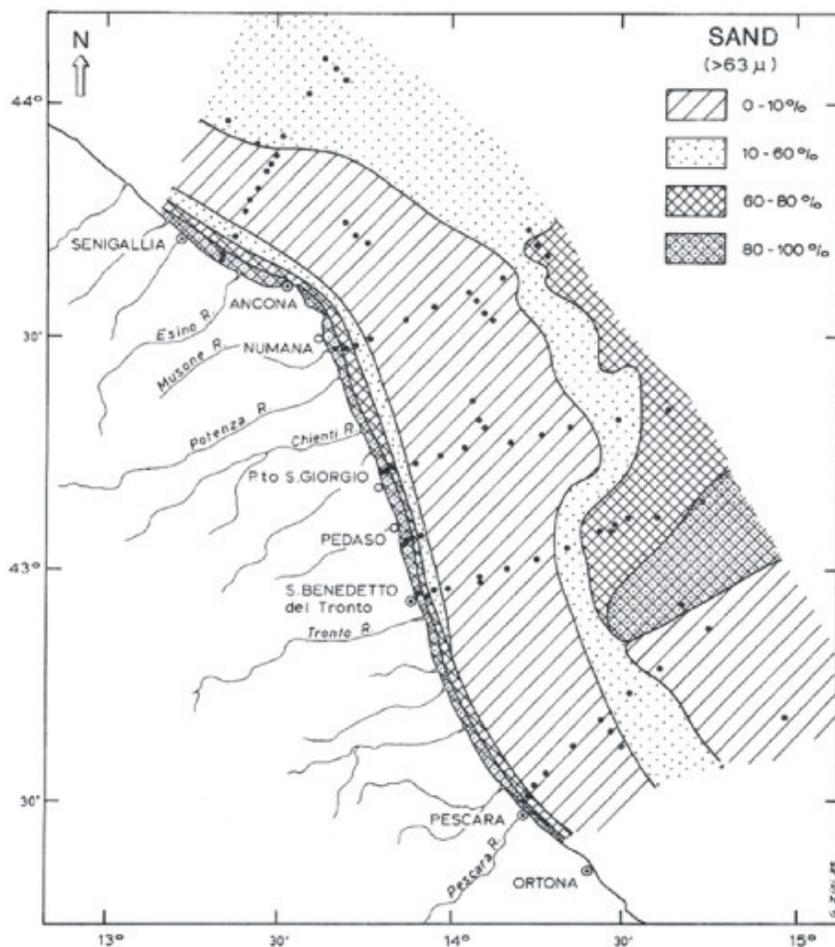


Fig. 8

Distribuzione areale delle percentuali di sabbia (>63 nm). Le classi utilizzate sono state scelte in base ad evidenze morfologiche, sedimentologiche e mineralogiche. Le sabbie sono presenti lungo il litorale (sabbie attuali) ed affiorano anche al largo, fino al ciglio settentrionale della DMA (sabbie relitte), dove raggiungono le più alte percentuali (80-100%) (da CURZI & TOMADIN, in stampa).

### 1.4.3. LA COSTA

La morfologia e la direzione della costa sono regolate dal promontorio di Gabicce e da quello del Conero che individuano due tratti di costa: l'uno da Gabicce al Conero orientato N 130 E, l'altro dal Conero alla foce del fiume Tronto con direzione N 150 E. Sottocosta sono presenti quasi ovunque sabbie costiere, la cui presenza ed estensione è legata alla morfologia ed alla natura della costa.

Nelle vicinanze delle foci fluviali e torrentizie sono impostate le spiagge, che sono più o meno ampie ed estese in senso trasversale e longitudinale a seconda della migrazione delle foci nel tempo; in corrispondenza della falesia alta in genere esiste una stretta cimosa ghiaiosa e ciottolosa, con presenza di sporadici massi di considerevoli dimensioni.

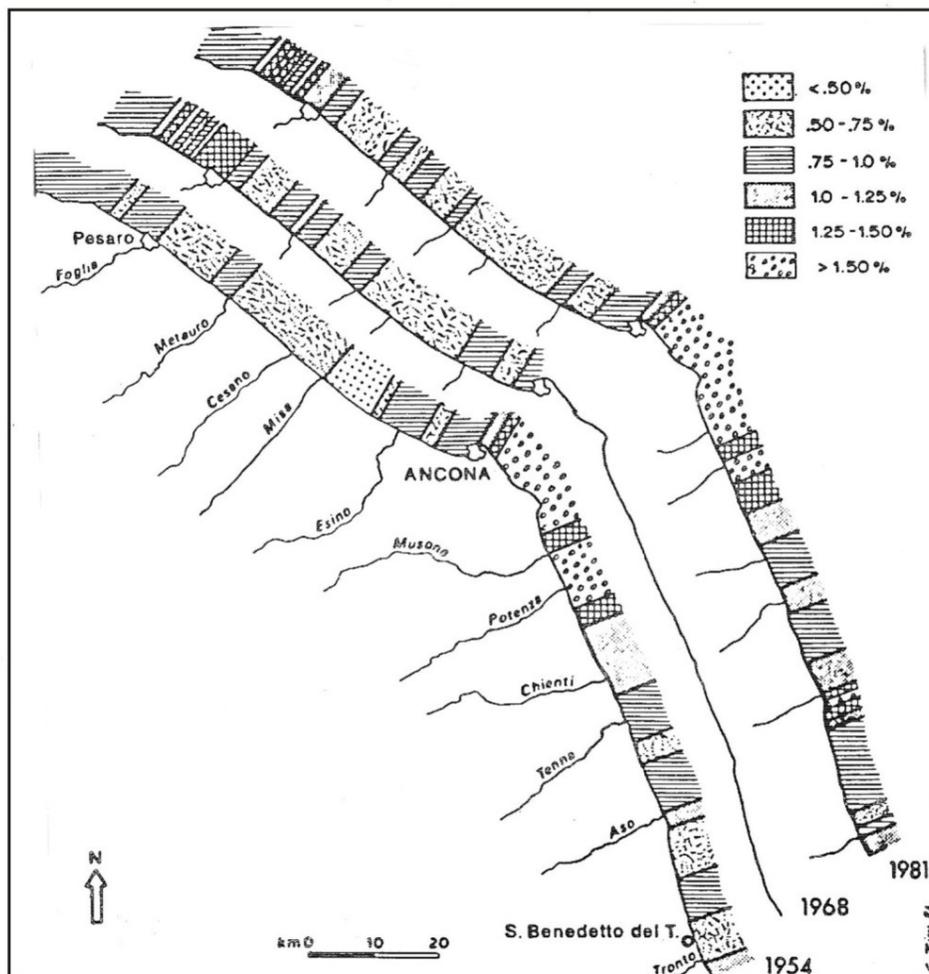


Fig. 9 – Variazioni nel tempo della pendenza del fondo dalla riva fino ai 5 m di profondità (da Giorgi & Marabini)

La falesia è costituita da materiali clastici grossolani plio-pleistocenici a varia cementazione che giacciono sopra argille grigio-azzurre sovraconsolidate. Ciò nonostante questa è interessata da frane ricorrenti anche di notevoli dimensioni (*Cancelli ed altri, 1984*); basti ricordare quella di Ancona avvenuta nel dicembre del 1982 (*Crescenti ed altri, 1984*). Il materiale franato in mare ha sempre costituito una delle fonti principali per il ripascimento naturale dei litorali marchigiani, per mezzo della ridistribuzione causata dalla corrente lungo la costa il cui principale vento di traversia è lo scirocco (SE). Da vari studi eseguiti (*Aquater, 1982; Dal Cin ed altri, 1984; Marabini, 1985*) risulta che negli ultimi decenni la linea di riva si è comportata in maniera diversa nei due tratti di costa: a nord del Conero sono diminuiti i tratti di spiaggia soprattutto in regressione e sono aumentati quelli nei quali era apprezzabile un certo avanzamento medio; mentre è accaduto il contrario nel tratto Ancona-F. Tronto. Nello stesso periodo la spiaggia sommersa è rimasta sostanzialmente stabile da Gabicce alla foce del F. Potenza, mentre la pendenza dei fondali è diminuita dalla foce del F. Potenza a quella del F. Tenna e da qui alla foce del F. Tronto è aumentata.

#### **1.4.4. Assetto e distribuzione del drappo pelitico olocenico**

L'andamento morfologico generale della piattaforma continentale dipende dall'estensione e dall'accumulo dei fanghi olocenici. Infatti, in base ai profili sismici ed alle analisi dei campioni, sono state riscontrate procedendo da N verso S le seguenti situazioni. A largo di Marzocca le sabbie litorali attuali (a) passano lateralmente a fanghi olocenici (b), che stanno sopra le sabbie relitte sotto cui giacciono i terreni della pianura alluvionale (c). I fanghi olocenici arrivano fino a 30 Km dalla costa con uno spessore massimo di 22 m.

La distribuzione granulometrica ed i tenori di smectite ed illite dei sedimenti superficiali consentono di apprezzare diverse modalità di accumulo secondo profili normali alla costa. A sud del Conero (traverso di Numana) il drappo pelitico si estende più a largo fino a 50 Km dalla costa con uno spessore massimo di circa 40 m. In seguito, il drappo pelitico si restringe fino al traverso di S. Benedetto del Tronto, dove raggiunge lo spessore massimo di 50 m e le sabbie relitte giungono più vicino alla costa. La massima estensione del drappo olocenico è riportata sulle tracce dei profili dove sono stati indicati anche i punti corrispondenti agli spessori massimi osservati sui profili sismici.

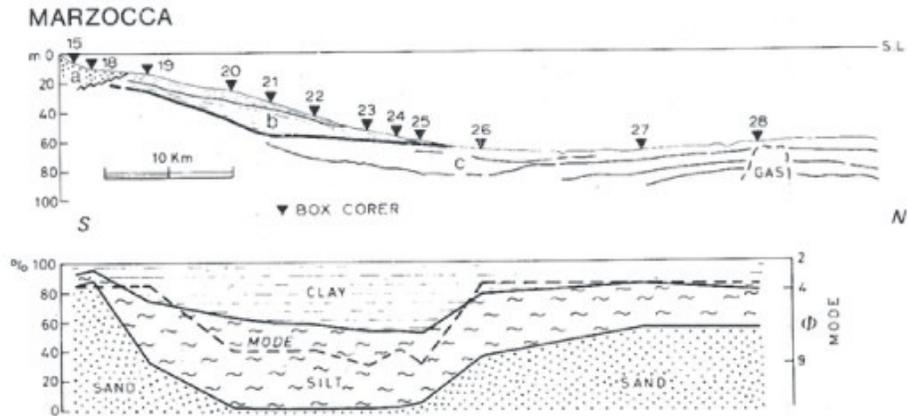


Fig. 10 Profilo *subbotom* (3.5 KHz) e granulometrico al traverso di Marzocca. Sottofondo della piattaforma continentale: a) sedimenti di spiaggia; b) sedimenti marini olocenici; c) sedimenti continentali e palustri dell'ultimo glaciale (il tratto marcato indica sabbie basali). Le percentuali di sabbia, limo ed argilla sono in accordo con le facies sismiche. I limi olocenici si estendono fino a 30 Km dalla costa ed hanno uno spessore massimo di 22 m (da CURZI & TOMADIN, in stampa).

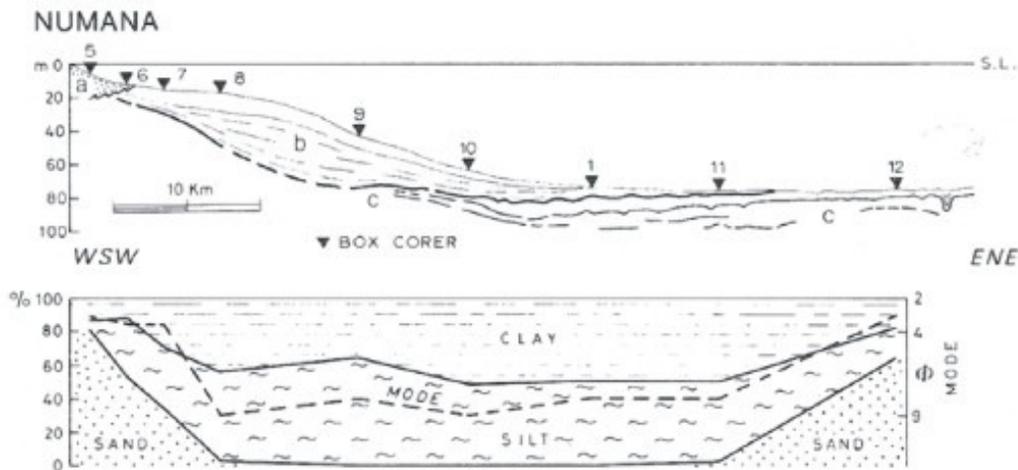


Fig. 11 Profilo *subbotom* e granulometrico al largo di Numana. Assetto del sottofondo della piattaforma continentale. Il drappo pelitico olocenico si estende fino a 50 Km dalla costa e presenta uno spessore massimo di circa 40 m (vedi Fig. 5 per la spiegazione dei simboli) (da CURZI & TOMADIN, in stampa).

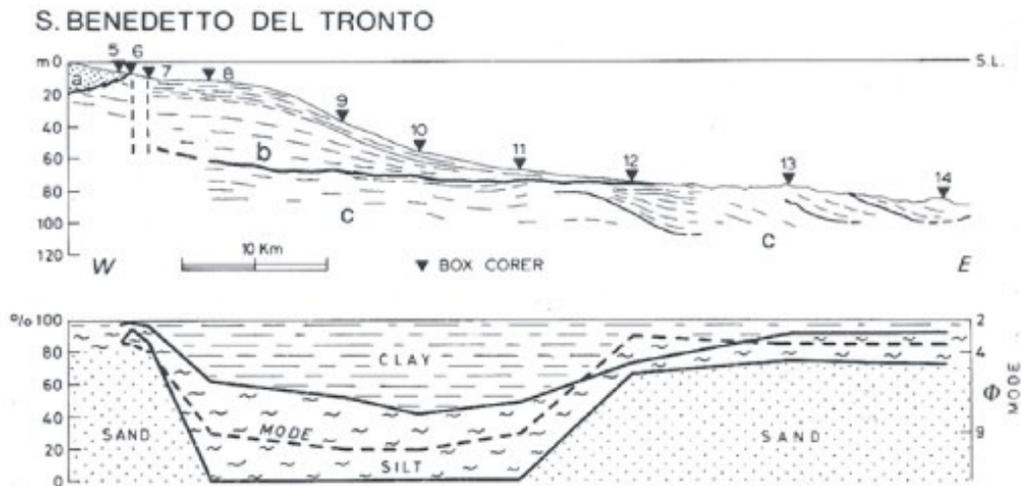


Fig. 12 Profilo *subbotom* e granulometrico antistante S. Benedetto del Tronto. Il drappo pelitico olocenico si estende fino a 40 Km dalla costa e presenta uno spessore massimo di 50 m (da CURZI & TOMADIN, in stampa).

### 1.4.5. Pliocene e Pleistocene

I depositi plio-quadernari dell'avanfossa marchigiana sono interessati dalle compressioni appenniniche. Il Plio-Quaternario si presenta in continuità di sedimentazione ma è diviso stratigraficamente dagli Autori (*Dondi et alii, 1982*) in due cicli, utilizzando come *marker* la *Hyalinea baltica*. La serie quaternaria è costituita dalla Formazione sabbie di Asti, in prosecuzione della pianura padana, fino ad Ancona e, più a sud, continua con le Sabbie di Carassai. Nel settore sud-occidentale sono diffuse le Argille del Santerno. Nel ciclo quaternario è ben chiara un'unità sismo-stratigrafica con riflessioni oblique le cui caratteristiche sono collegabili all'eustatismo glaciale ed i cui trend di progradazione denotano apporti appenninici, jugoslavi e padani.

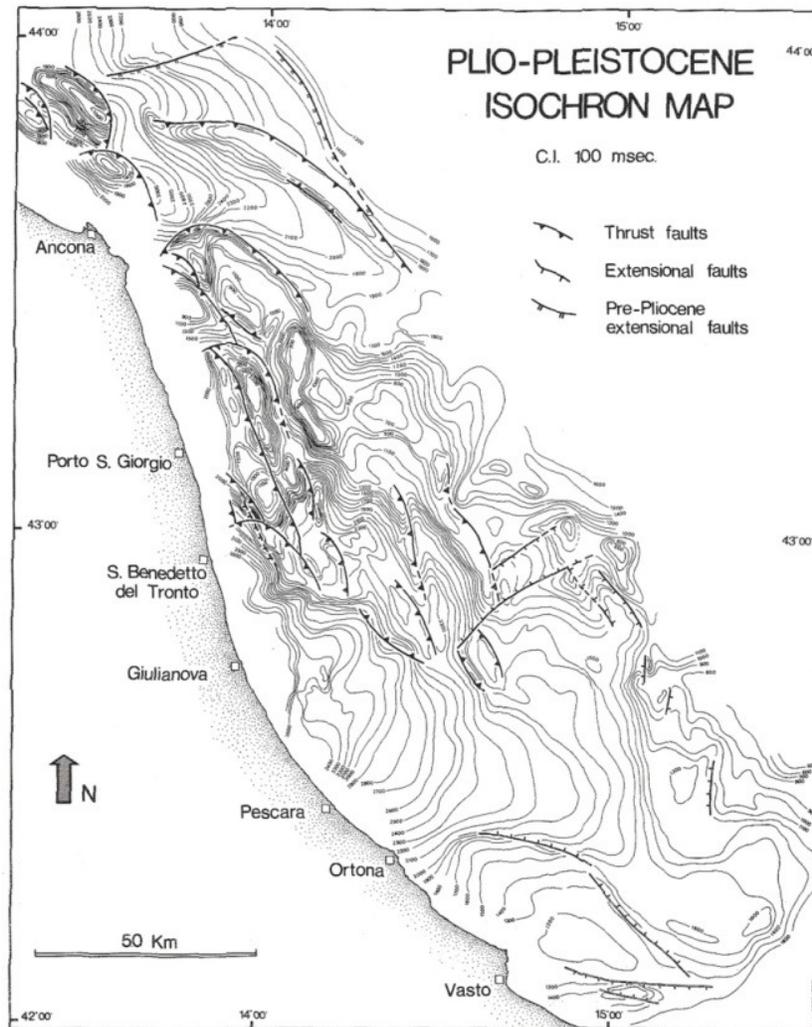


Fig. 13 Carta degli spessori del Plio-Quaternario (tempi doppi, da Ori, Zitellini & Roveri, 1986)

Il ciclo pliocenico è costituito da sedimenti torbiditici ed emipelagici di mare profondo e di bassa energia che provenivano dal sorgente Appennino e venivano dispersi in senso parallelo all'asse del bacino (NW-SE). Gli spessori (con massimi fino a 2.500 m) evidenziano tre zone delineate da due massimi ubicati uno a nord di Ancona e l'altro a sud di S. Benedetto del Tronto. La tettonica è attiva fino al Pliocene, sembra invece cessare con il Pleistocene. Il bacino pliocenico, ancora ricco di alti e bassi morfologici, è colmato dall'unità sottostante quella delle progradazioni e quindi con il Pleistocene inferiore.

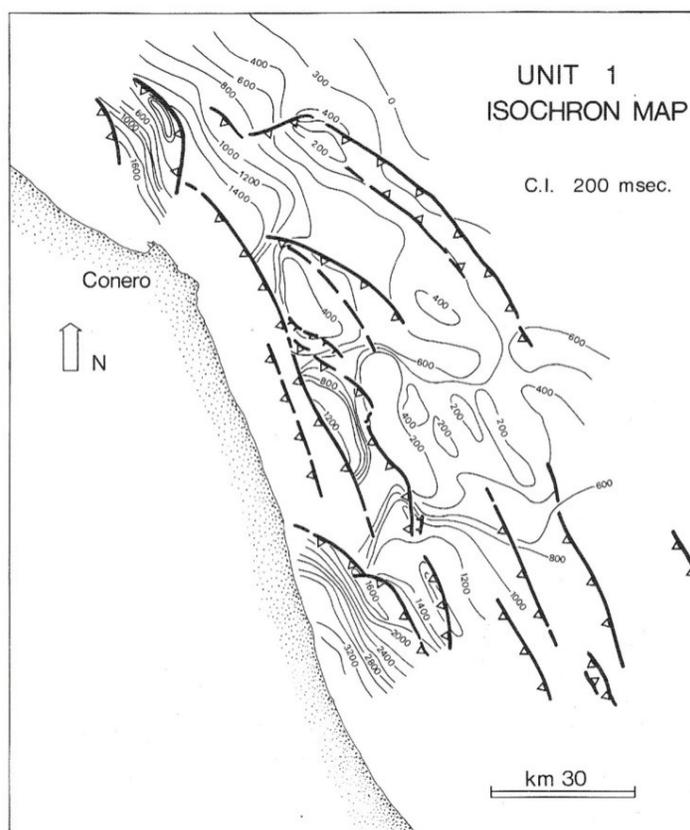


Fig. 14 – Carta delle isocronopache del Pliocene (tempi doppi, da Ori, Roveri & Vannoni)

#### 1.4.6. Struttura ed evoluzione

Un'intensa attività sismica marca il contatto dei Thrusts attivi fino al Pliocene e situati al largo di Ancona, con l'area relativamente stabile e più esterna frapposta tra Appennini e Dinaridi.

La sommità del Mesozoico (Finetti, 1983) è situata a profondità variabili (3.0-1.5 sec) e marca la dorsale medio adriatica (2.0-1.0 sec) che rappresenta l'elemento strutturale più importante insieme al bacino padano che si estende a sud di Ancona. Nella zona al largo di S. Benedetto si individua l'avanfossa abruzzese che continua poi a sud.

La crosta di tipo continentale ha uno spessore di 30 Km e fa parte di una litosfera di circa 70 Km (Giese ed altri, 1982). Le anomalie magnetiche di BOUGUER presentano un massimo (140 gamma) a largo di Ancona e valori intorno allo zero, o di poco superiori, in corrispondenza della dorsale medio adriatica (AGIP-A.M.I., 1974).

L'evoluzione geologica della zona interessata è strettamente collegata a quella del mare Adriatico settentrionale e centrale che rappresenta una zona relativamente stabile e rigida (prolungamento della placca africana), compressa dalle forze convergenti di due catene (Appennini e Dinaridi). L'Adriatico ha oggi più il carattere di "microplacca" piuttosto che di "promontorio africano", poiché la sua continuità continentale con l'Africa è realizzata solo attraverso il ponte calabro-siculo e il canale di Sicilia (Morelli, 1983).

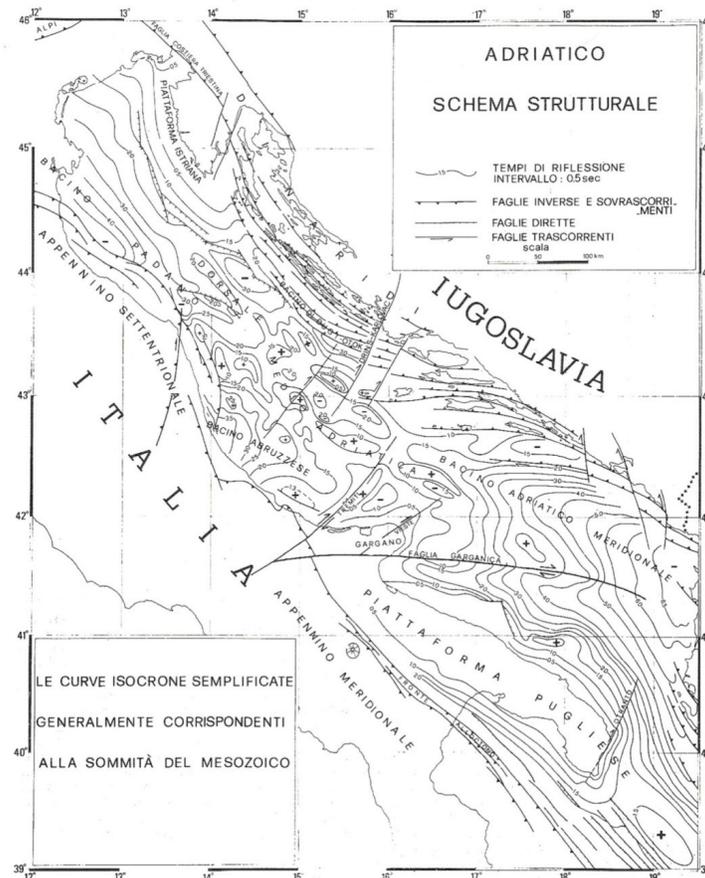


Fig. 15 – Schema strutturale dell'Adriatico alla sommità del Mesozoico (da Finetti, 1983)

Il "promontorio africano" ha iniziato a staccarsi dal cratone africano, e quindi a sprofondare, col Trias medio-superiore e completa tale azione nel Dogger (*Finetti, 1982*). Successivamente, sul margine orientale (Dinaridi) e settentrionale (Alpi meridionali) poi su quello occidentale (Appennini), si creano pieghe asimmetriche, faglie inverse e sovrascorrimenti. Nell' Adriatico i movimenti sono molto intensi nel Miocene superiore-Pliocene inferiore e si attenuano nel Pliocene superiore e nel Quaternario (*Finetti, 1983*). Per queste ragioni lo studio geologico e geotecnico della piattaforma continentale è di fondamentale importanza per impostarne correttamente i piani di gestione e di utilizzazione. Seguendo queste necessità, da qualche tempo si stanno raccogliendo dati geotecnici sui fondali marchigiani, i quali, oltre a fornire una caratterizzazione dei sedimenti, offrono al geologo un parametro per le ricostruzioni paleoambientali (*Baldi et alii, 1986*). E' stata effettuata anche la mappatura di sedimenti superficiali impregnati di gas; la quantità di gas è sempre molto modesta per cui è da escludere una possibile importanza economica di questi accumuli. Possono comunque costituire un potenziale pericolo in occasione di perforazioni eseguite senza gli opportuni accorgimenti.

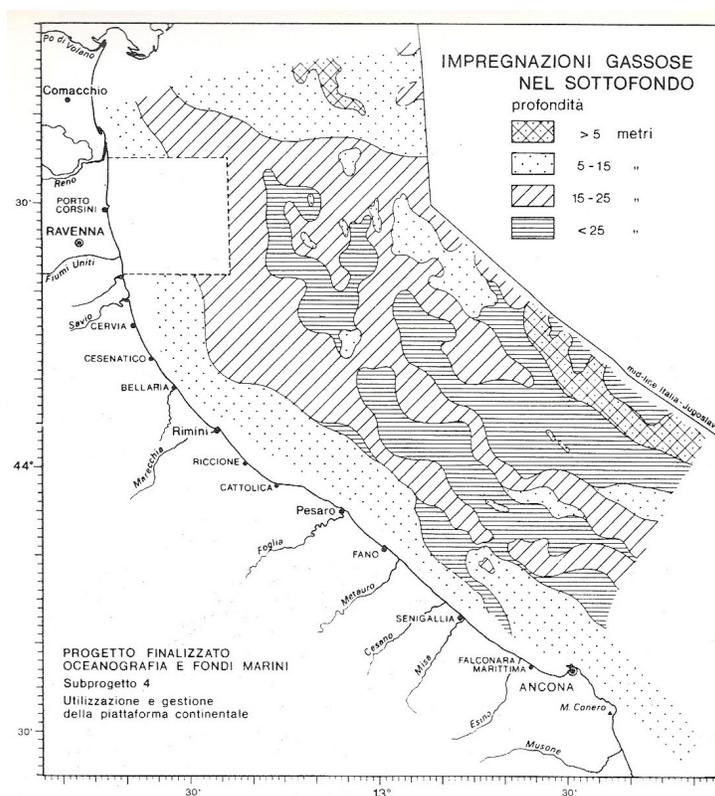


Fig. 16 - Distribuzione areale e profondità minima sotto il fondale di sedimenti impregnati di gas  
(da Colantoni, Curzi & Gallignani, 1978).

Come aspetto "sociale" della geologia tecnica va brevemente ricordato che nel 1980 la marineria di S. Benedetto del Tronto, fra le altre, fu scossa da strani avvistamenti di colonne d'acqua alte anche 20 m, seguite da bagliori o addirittura da fiamme. Questi fenomeni fecero pensare ai marinai che si trattasse di segretissimi esperimenti militari o di UFO. Molto probabilmente si trattava di naturale effusione di gas nell'aria. Del resto numerose testimonianze di risalita di gas attraverso i sedimenti sono state raccolte nella vicina Depressione Mesoadriatica (*Curzi & Veggiani, 1985*).

#### **1.4.7. Mare Adriatico**

Il mare Adriatico è una zona prevalentemente di mare basso compreso fra la penisola italiana e quella balcanica. Solo nel settore meridionale antistante le coste pugliesi raggiunge profondità elevate (circa 1200 m). Dal punto di vista geologico il mare Adriatico si presenta assai differenziato: la parte occidentale costituisce l'avanfossa della catena appenninica, mentre nel lato orientale è presente l'avanfossa della catena dinarica (*Argnani et alii, 1993*). Fra queste due aree si estende l'avampaese relativamente indeformato delle due catene. Le anomalie di Bouguer presentano un minimo a nord del Conero, in continuità con quello che marca l'avanfossa padana, e un altro minimo nella zona di Pescara. Un'altra regione con valori gravimetrici fortemente negativi è presente sul lato orientale, nell'area adiacenti alle coste albanesi. Le rimanenti aree adriatiche sono caratterizzati da valori che si discostano di poco da 0; due massimi gravimetrici sono comunque presenti nella zona del Gargano ed in Istria. I valori crostali sono piuttosto omogenei su tutta l'area e si aggirano sui 35 km. Un'area con spessore leggermente più elevato si estende a sud del Gargano (*Nicolich & Dal Piaz, 1991*).

La parte occidentale dell'Adriatico centro-settentrionale è occupata dalla più recente (plio-quadernaria) di una serie di avanfosse originate al fronte della catena appenninica e migrate in tempi successivi verso Est (*Ricci Lucchi, 1986*). In questa regione la base della successione plio-quadernaria si trova flessurata con pendenza verso la catena appenninica e corrisponde a un forte riflettore sul quale terminano in onlap i depositi plio-quadernari costituiti da corpi torbiditici, emipelagiti e sedimenti relativi ad apparati deltizi in progradazione (*Schwander, 1989*). L'avanfossa plio-quadernaria adriatica è caratterizzata da due depocentri separati da un'area dove la base del Pliocene è più elevata.

I due depocentri corrispondono alle due zone di minimo delle anomalie di Bouguer e a zone di accumulo sedimentario rappresentato da 4 sec. (in tempi doppi) di depositi di avanfossa.

Il fronte esterno della catena appenninica è inoltre presente nelle zone prospicienti le coste italiane. Esso presenta stili strutturali molto variabili (*Argnani & Gamberi*).

In alcune aree la deformazione frontale è diffusa su zone abbastanza ampie che passano gradualmente all'avampaese (*Low Strain Front End*; Morley, 1986) mentre in altre si concentra su una fascia ristretta nettamente separata dall'avampaese indeformato (*high strain front end*; Morley, 1986). Il settore adriatico orientale è invece occupato dall'avanfossa della catena dinarica affiorante nella penisola balcanica. Nella sua porzione centro-settentrionale l'individuazione dell'avanfossa dinarica precede il Pliocene.

La base dei sedimenti Plioceni si trova a scarsa profondità e ha andamento praticamente orizzontale, mentre al di sotto di questa superficie è visibile un cuneo di sedimenti che si inspessisce rapidamente verso Est e rappresenta il riempimento dell'avanfossa dinarica di età eocenico-oligocenica (*Celet, 1977*). Verso Sud, nelle aree prospicienti l'Albania la catena dinarico-ellenica è tuttora attiva e ha dato luogo alla deposizione di un cuneo di sedimenti plioquaternari la cui base, verso costa, raggiunge la profondità di 3 sec. in tempi doppi. Sotto l'avanfossa plio-quaternaria, evidenziata anche dalle anomalie di Bouguer, è presente un altro cuneo di sedimenti di età oligo-miocenica, la cui base raggiunge la profondità di 7 sec. e che rappresenta il riempimento della precedente avanfossa relativa alla catena dinarica, equivalente temporale di quella descritta più Nord (*Argnani et alii*).

L'avampaese relativamente indeformato delle catene che circondano l'Adriatico affiora in Istria ed in Puglia. Queste regioni sono caratterizzate da modesti spessori della successione plioquaternaria e da tettonica verticale (*Argnani et alii, 1993*). I numerosi pozzi disponibili nell'Adriatico occidentale consentono di ricostruirne l'evoluzione stratigrafica. Al di sotto dei depositi plio-quaternari è stata evidenziata la presenza di successioni simili a quelle umbro-marchigiane e a quelle sudalpine. La loro stratigrafia riflette l'evoluzione tettonica del margine continentale adriatico, dalla sua individuazione, legata al *rifting* permotriassico e alla frammentazione liassica, al suo coinvolgimento nella strutturazione della catena appenninica.

I dati attualmente reperibili non permettono di ricostruire in dettaglio l'andamento del *rifting* permo-triassico (*Cati et alii, 1987*); attendibili ricostruzioni paleogeografiche dell'area adriatica sono invece possibili fino al Giurassico.

Esse evidenziano che in buona parte dell'Adriatico la sedimentazione di piattaforma carbonatica, tipica del Triassico superiore viene interrotta nel Lias.

A questo periodo risale infatti l'annegamento, dovuto a tettonica estensionale, di parte della piattaforma carbonatica; questo evento geodinamico crea una strutturazione a piattaforme e bacini profondi, con deposizione di carbonati pelagici, caratteristica di tutto il margine meridionale della Tetide (*Argnani & Gamberi, in stampa; Zappaterra, 1990; Cati et alii, 1987*).

Un significativo cambiamento nella sedimentazione è legato all'instaurarsi della deformazione compressiva che segue la convergenza fra placca africana ed europea e alla conseguente produzione di detrito silicoclastico.

Con la progressiva migrazione della catena verso Est l'area adriatica è interessata prima da deposizione di rampa esterna rispetto alle avanfosse mioceniche e poi nel Pliocene diventa sede dell'attuale bacino di avanfossa presente al fronte della catena (*Ricci Lucchi, 1986*).

Un evento particolare si verifica nel Messiniano, quando un abbassamento del livello del mare relativo e condizioni iper-saline alla scala dell'intero Mediterraneo producono erosione subaerea e deposizione di sedimenti evaporitici, dando origine a una superficie particolarmente ben identificabile sui profili sismici. Nell'area adriatica le evaporiti e gli altri sedimenti depositi durante questo intervallo di tempo sono presenti quasi uniformemente.

### **1.5. Caratteristiche paleogeografiche e paleoclimatiche**

La conoscenza dei complessi movimenti di risalita del mare attivi su tutte le coste della terra, è di fondamentale importanza per la programmazione delle attività umane all'interno di scenari futuri.

Il mare si è comportato nel passato (e continuerà a comportarsi nel futuro prossimo) come una sorta di "ammortizzatore", variando costantemente il suo livello sia al variare della radianza del sole misurata al suolo che ad alcuni movimenti geofisici in atto sulla maggior parte delle zone costiere della terra.

Si è sempre verificata quindi una continua "risposta" in termini di variazioni del livello relativo del mare al variare naturale del clima.

Nel corso di periodi climatici freddi i ghiacci si sono concentrati ai poli, al contrario durante periodi climatici caldi i ghiacci si sciolti innescando i conseguenti innalzamenti del mare.

Le variazioni di livello sono state di circa 160-130 metri, con cicli che si sono ripetuti mediamente ogni centotrenta anni. La velocità della "risposta" del mare ha però risentito di effetti secondari e non sempre è stata la stessa e, soprattutto, non è mai stata in fase con le variazioni di radianza. (*Fabrizio Antonioli, ENEA, Progetto Speciale Clima Globale*).

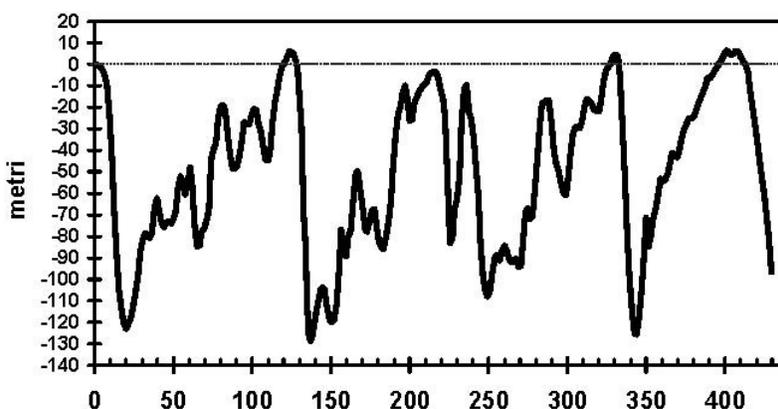


Figura 17 Variazioni di livello del mare da 450.000 anni al presente, (da *Waelbroeck et al., 2002*).

Tutto ciò ha avuto, ma soprattutto avrà delle ripercussioni notevoli sulla maggior parte delle aree costiere della terra, soprattutto nelle zone con coste basse e intorno ai delta dei fiumi.

La popolazione mondiale infatti si trova particolarmente concentrata lungo queste aree costiere. Ad aggravare i problemi c'è da considerare che in tali aree l'incremento demografico è più alto rispetto a quello della media globale della terra.

Oggi ci troviamo forse al culmine di un lungo periodo interglaciale caldo iniziato 9000 anni fa.

A partire da quel momento il mare si è sempre sollevato. Circa 6 mila anni fa lo scioglimento dei ghiacci e quindi il contributo eustatico sono quasi cessati ma, per l'aumento della colonna d'acqua insistente sulle piattaforme continentali e lo scioglimento delle migliaia di metri di spessore dei ghiacci del nord Europa, si sono innestati movimenti denominati "isostatici", di abbassamento delle coste, movimenti che sono tutt'oggi in atto ma con tassi molto diversi da zona a zona.

Tali abbassamenti appaiono come un innalzamento relativo del livello marino. Non possiamo quindi immaginare un livello del mare immobile nel tempo, né, a maggior ragione, ad una linea di costa fissa e stabile per centinaia di anni. I punti più critici sono le coste basse, dove, a piccole variazioni relative del mare possono corrispondere grandi variazioni areali.

### **1.5.1. Movimenti relativi mare\linea di costa**

Quando il mare ha raggiunto quote vicine a quelle attuali si sono sovrapposti altri movimenti geofisici, denominati "isostatici".

Durante l'ultimo periodo glaciale, 22.000 anni fa, enormi coltri glaciali, spesse anche oltre 5000 metri, ricoprivano parte della terra, (e, per quanto ci riguarda, il nord Europa). Successivamente, con il riscaldamento del clima, lo scioglimento dei ghiacci ha improvvisamente "alleggerito" la crosta terrestre, procurando in quelle zone (Scandinavia, Groenlandia, Canada settentrionale, ecc.) un rapido sollevamento (anche dell'ordine di 200 metri negli ultimi 10.000 anni) e, a causa dell'elasticità del mantello terrestre, si sono innescati cospicui abbassamenti costieri in aree anche molto distanti da tali zone glaciali (fino a 7000 km), per esempio ai Caraibi o nel mare Mediterraneo.

I motivi geofisici che hanno generato questi movimenti (ancora oggi attivi) sono dovuti al comportamento elastico del mantello ed è stato assai importante conoscerne le entità: si tratta di movimenti di abbassamento quindi risalita relativa del mare, con tassi diversi crescenti da nord verso sud.

Oltre alla glacio-isostasia in tutte le coste del mondo sono in atto movimenti (anche questi negativi) dovuti al peso della colonna d'acqua improvvisamente aumentata (140 metri) sulle piattaforme continentali; tale fenomeno è denominato idro-isostasia.

I tassi di abbassamento, espressi in mm\anno, relativi alla sommatoria di questi movimenti (entrambi negativi per il Mediterraneo) corrispondono a ordini di grandezza compresi tra 0.2 e 1 mm\anno.

Quando ci si trova in zone tettonicamente attive per la presenza di terremoti, vulcani od altri movimenti geofisici dovuti alla tettonica a zolle (nel bacino Mediterraneo per esempio sono dovuti allo scontro tra Africa ed Europa) si instaurano movimenti tettonici di sollevamento od abbassamento i cui tassi sono dell'ordine del mm\anno.

Riassumendo, il sollevamento relativo del mare è dato dai seguenti movimenti naturali: eustasia + tettonica + isostasia (glacio+idro).

A questi movimenti naturali vanno aggiunti movimenti di subsidenza del suolo (e quindi risalita relativa del livello marino) dovuti all'intervento dell'uomo: emungimenti di acque, gas petrolio, compattazioni del suolo in seguito a bonifiche di zone paludose.

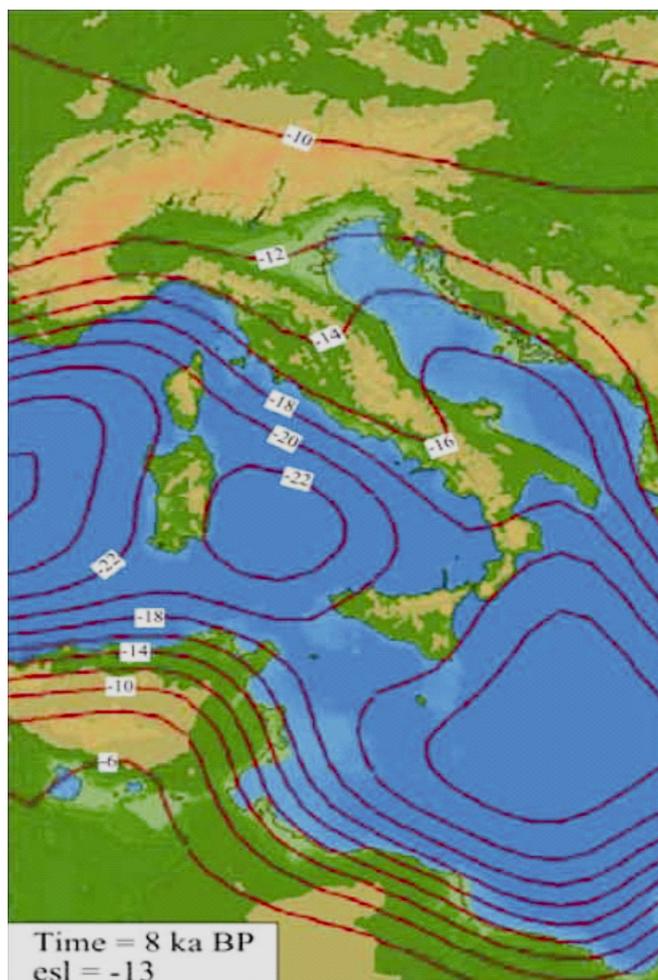


Figura 18 Le isolinee si riferiscono a dove oggi si trova la linea di riva che 8000 anni fa si trovava a -13 m

E' anche possibile registrare nel medio (secolare) e breve (decennale) periodo l'entità di tali movimenti attraverso misure strumentali operate attraverso i mareografi ed i satelliti (satellite Francese Topex Poseidon, Cazenave & Nerem, 2004). In effetti i mareografi (parecchie centinaia di stazioni in tutto il mondo) registrano la somma di tutte le componenti descritte sopra.



### 1.5.2. Il rischio costiero ed i movimenti in atto sulle coste in Italia

L'Italia è situata in un'area geologicamente attiva, dove movimenti isostatici, tettonici e di subsidenza antropica si sommano a quelli eustatici. Le coste Mediterranee (46.000 km) e soprattutto quelle Italiane (7.700 km) presentano, in relazione al rischio di allagamento da parte del mare, alcuni fattori negativi rispetto a molte altre:

- 1) la presenza di limitate escursioni mareali (mediamente 30-40 cm con l'unica eccezione del nord Adriatico dove si superano i 100 cm) ha consentito un pericoloso avvicinamento alle coste di qualsiasi attività antropica;
- 2) tutte le aree costiere Italiane in seguito a movimenti dovuti a cause isostatiche (*Lambeck et al., 2004*) e molte per cause tettoniche (*Ferranti et al., 2006*) aumentano ulteriormente gli effetti del sollevamento eustatico del mare; tale effetto viene amplificato per la presenza di un certo numero di aree costiere depresse, cioè già oggi sotto il livello del mare;
- 3) un dato invece, rispetto al sollevamento globale degli oceani, appare "positivo" l'attuale tasso eustatico (senza quello isostatico e/o tettonico) di risalita dei mari Italiani (circa 1 mm\anno (*Lambeck et al., 2004*) sembra essere minore rispetto a quello globale (1.8 mm\anno (*Church et al., 2004*)).

I motivi di questa notevole discrepanza sono attualmente fonte di dibattiti scientifici, e sembrerebbero legati ad anomalie di salinità, di pressione, e di forte evapotraspirazione del mare Mediterraneo (*Tsimplis and Baker, 2000, Tsimplis and Josey, 2001, Mariotti et al., 2000*): un bacino quasi chiuso che viene "ricaricato" con difficoltà dai corsi d'acqua, oltre alla presenza nello stretto di Gibilterra di una soglia che si comporta da "diga" rispetto agli oceani (*Rupolo et al., 2003, Sannino et al., 2002*). A questo punto, sempre in relazione alle coste italiane, è bene dare qualche numero affinché si possa quantificare il fenomeno. Il contributo eustatico al sollevamento dei mari Italiani, come già detto, è stato valutato intorno a 1.05 mm\anno (*Lambeck et al., 2004*), (meno quindi di quello medio globale degli oceani: 1.8 mm\anno Church et al., 2004). Il contributo isostatico di abbassamento delle coste (che si somma quindi al sollevamento eustatico) varia tra nord e sud d'Italia (ma anche tra Adriatico e Tirreno) tra 0.2 e 0.8 mm\anno (*Lambeck et al., 2004*). Nella figura 8 viene riportata la variazione della linea di riva relativa a 8 ka BP, osservando questa figura vengono meglio evidenziate le "inattese" entità dei movimenti differenziali in atto lungo le coste italiane. Vi sono infine zone in Italia che per motivi tettonici sprofondano oggi di circa

1.2 mm\anno o si sollevano fino a 2.4 mm\anno (Antonioli et al. 2003, Ferranti et al., 2006). In alcune aree costiere che si affacciano sul mare Adriatico settentrionale (tra Cesenatico e Venezia), i fenomeni di subsidenza indotti dalle attività antropiche si sommano a quelli naturali. Nei dintorni di Ravenna tali movimenti negativi hanno raggiunto tassi medi di 7 cm l'anno (Carminati & Martinelli, 2003). Al momento questi fenomeni sono in attenuazione infatti sono state limitate (a partire dal metà degli anni '70) le attività di estrazione di gas e petrolio e regolamentate quelle di estrazione di acque per irrigazione.

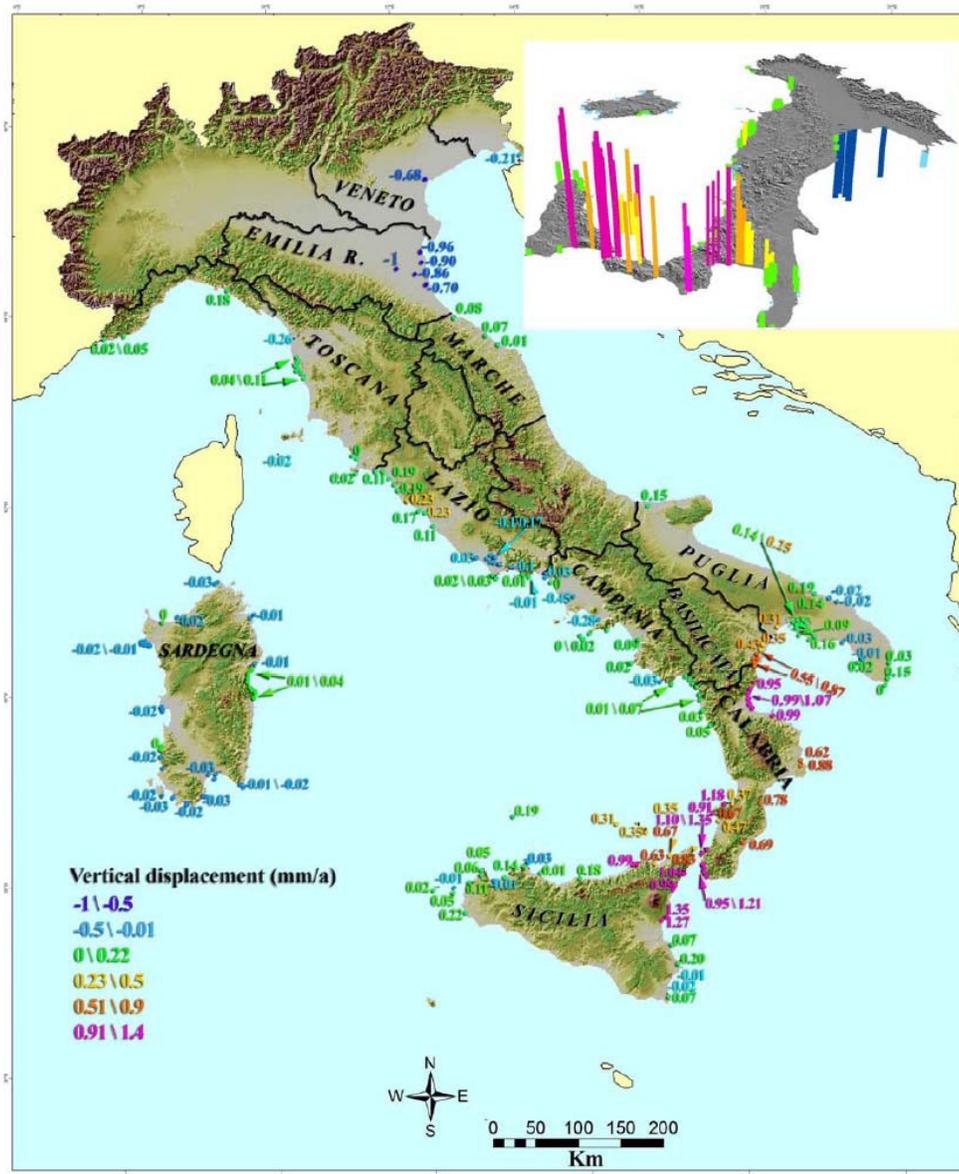


Figura 20 Movimenti costieri verticali in Italia espressi in mm\anno ottenuti utilizzando la quota di forme e depositi di 125 mila anni fa. Da notare che nell'area dello Stretto di Messina, tali movimenti si raddoppiano nel corso degli ultimi tempi giungendo a superare spesso i 2 mm\anno (da Ferranti et al., 2006).

Sia in queste aree che in molte altre in Italia, sono stati rilevati fenomeni di subsidenza dovuti alla compattazione di alcuni particolari depositi chiamati torbe. Le torbe sono costituite da frustoli di carbonio con percentuali di acqua che arrivano anche la 90 %, e si formano in zone lagunari e paludose. Tra gli anni '30 e gli anni '70 sono stati eseguiti in moltissime aree occupate da paludi costiere, lavori di bonifica, attraverso i quali sono state recuperate aree agricole. La presenza di canalizzazioni ed idrovore hanno consentito e consentono a queste aree di rimanere asciutte, pur sotto il livello del mare. Non appena tali aree sono state prosciugate, hanno iniziato a compattarsi per perdita di acqua, con fenomeni di subsidenza che hanno oltrepassato anche i 4\5 metri. In vicinanza di grossi fiumi (per esempio il Po', il Tevere, l'Arno) si assiste ad un fenomeno di progradazione della linea di costa: basta osservare il profilo di una carta topografica per vedere un "rigonfiamento" che si estende verso mare. Si tratta degli unici punti dove l'erosione delle spiagge (dovuta al sollevamento di livello del mare) è quasi annullata dalla portata del fiume. In un equilibrio naturale, non alterato dall'uomo, i sedimenti portati dai fiumi possono contribuire ad una ridistribuzione naturale del materiale sabbioso, contrastando l'ingressione del mare. Questi sedimenti, in stretta connessione con le sabbie eoliche accumulate nelle dune costiere e con l'aiuto delle correnti sono in grado di ricostituire un sistema costiero in equilibrio con il livello del mare. Nelle zone costiere l'equilibrio che si viene a formare tra la falda di acqua dolce e quella salina costituisce un "sistema" non stabile che dipende da numerosi fattori, è chiaro che se il livello di base relativo al mare sale, di conseguenza varia l'equilibrio (in senso negativo). Al tempo stesso se la falda acquifera dolce decresce (in seguito ad intenso sfruttamento) si rompe l'equilibrio. In molte zone costiere italiane il concorso di questi due motivi ha portato ad intrusioni fino a 3\4 chilometri all'interno della costa di cuneo salino. Un'ultima, ma non meno importante variabile, è quella relativa all'accelerazione del sollevamento eustatico del mare dovuto all'effetto serra. Su questo argomento sono disponibili le previsioni globali IPCC 2001 che mostrano una accelerazione rispetto a quanto riscontrato oggi: tra 25-75 cm di sollevamento attesi per il 2100. Recenti osservazioni sulle recenti variazioni di livello del mare basate su satelliti (*Cazenave e Nerem, 2004*) ma soprattutto sull'aumento medio della temperatura dell'aria faranno certamente incrementare tali valori nel futuro rapporto IPCC. Previsioni che però non entrano nel merito del mare Mediterraneo o Italiani.

Oltre ai dati provenienti dai satelliti, lo strumento che misura quali siano effettivamente in atto i movimenti relativi del mare sono i mareografi, in Italia abbiamo però pochi mareografi regolarmente funzionanti da almeno 100 anni (Genova, Trieste, Cagliari) e poche informazioni sul funzionamento degli altri. Il mareografo di Genova ha registrato 12.5 cm di sollevamento negli ultimi 100 anni.

### 1.5.3. Cause antropiche

L'utilizzo delle risorse e del territorio, sotto i suoi molteplici aspetti, sono considerate fra le cause principali delle oscillazioni del livello marino recenti e, soprattutto, future. Infatti, l'espansione termica degli oceani e lo scioglimento dei ghiacciai hanno subito un'accelerazione legata alla massiccia immissione nell'atmosfera di gas serra.

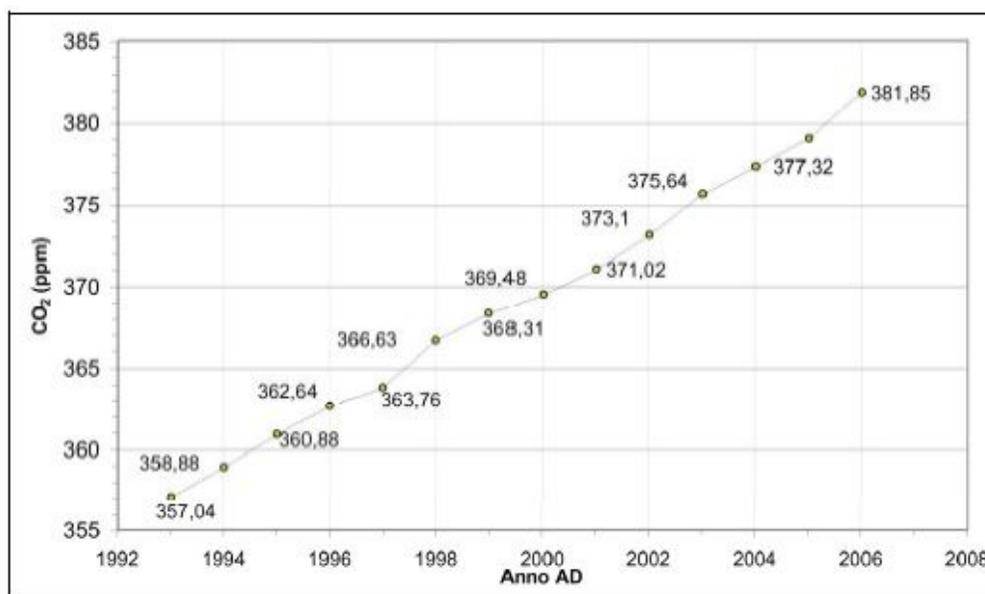


Figura 21 Andamento della CO<sub>2</sub> nell'atmosfera a partire dall'inizio degli anni '90 (dati NOAA). Nel 1750, periodo preso come riferimento pre-industriale, la concentrazione del gas era pari a circa 270 ppm (parti per milione).

Inoltre alcune attività come il sovra-sfruttamento delle falde idriche, lo sfruttamento di giacimenti metaniferi, l'escavazione di inerti per l'edilizia, le bonifiche idrauliche possono causare abbassamenti del suolo e quindi un aumento relativo del livello del mare e dei fenomeni erosivi. L'azione dell'uomo entra quindi a far parte delle cause determinanti le variazioni del livello del mare, probabilmente con un impatto maggiore rispetto alle dinamiche naturali di almeno un ordine di grandezza (Pirazzoli, 2000).

#### **1.5.4. Considerazioni sulle condizioni di pericolosità, rischio e danno in seguito al recepimento della direttiva alluvioni (Direttiva 2007/60/CE e D.Lgs. n. 49 del 23/02/2010)**

La direttiva europea sulle alluvioni costiere conduce le regioni, che fino ad ora hanno trattato le coste soltanto come una esclusiva soluzione delle problematiche di erosione, a trattare anche problematiche legate all'ingressione marina.

Questo tema conduce all'introduzione del concetto di rischio e della sua valutazione al fine di rendere efficiente la gestione delle emergenze negli scenari di inondazione delle aree costiere e della scelta di sistemi di protezione adeguati.

Nel caso dell'ingressione marina i parametri come i livelli dell'acqua, il vento, le onde, le tipologie e le condizioni delle difese costiere possono essere usati per stimare la probabilità di inondazione e il potenziale collasso delle difese costiere.

La metodologia usata per la perimetrazione delle aree a rischio e pericolosità di alluvione costiera nella Regione Marche fa riferimento alle metodologie già utilizzate dalla Regione Emilia Romagna sia perché vi è la necessità di una convergenza nelle procedure utilizzate a livello nazionale e inoltre perché tale metodologia risulta quella più all'avanguardia attualmente usata.

Per quanto riguarda la definizione degli scenari sulla base dei quali effettuare la mappatura della pericolosità (ai sensi dell'art. 6, comma 2 del D.Lgs 49/2010) per l'Adriatico si utilizza un tempo di ritorno di 100 anni e minori come ad esempio 10 anni o minori, in quanto soltanto per questi spazi temporali ci sono misure di dati significativi. Nella Regione Marche per entrambi le porzioni di territorio ricadenti nelle due Autorità di Bacino Distrettuali, si sono scelti i tempi di ritorno a 100 (bassa probabilità) e 10 anni (media probabilità) in quanto sono questi eventi che in mancanza di specifiche politiche di pianificazione e di management sono quelle che più incidono con alti costi per la collettività.

La documentazione prodotta per la direttiva alluvioni ha consentito di ottenere una prima mappatura della pericolosità, del rischio e del danno atteso.

Il clima meteo marino generale lungo il litorale marchigiano, i dati del piano della costa raccolti nell'ambito degli "studi, indagini, modelli matematici finalizzati alla redazione del piano di difesa della costa" e misurati dalla strumentazione dell'Istituto Idrografico della

Marina, riportano le condizioni del vento e del mare rilevate dalla stazione di Monte Cappuccini di Ancona. In essi troviamo:

- La direzione di provenienza del vento regnante è dai settori W e NW con una frequenza percentuale complessiva maggiore del 40%;
- Lo stato del mare con altezza d'onda superiore a 1 metro rappresenta il 10% delle osservazioni;
- Nei 30 anni di rilevamento sono stati osservati rispettivamente 35 eventi estremi con altezza d'onda maggiore di 2.5 metri e 16 mareggiate (mare 6-8) con durata maggiore di 24 ore;
- Oltre il 50% delle burrasche di vento (forza 7-12) e delle mareggiate (mare 6-8) ha direzioni di provenienza compresi nei settori N e NE.

In linea generale l'altezza d'onda per il settore marchigiano compreso da Ancona a Gabicce Mare e ricadente nell'Autorità di distretto dell'Appennino settentrionale a largo è pari a 5.02 metri e le direzioni prevalenti di provenienza è 30°N -60°N (NE-ENE), questi parametri corrispondono ad una profondità di 15 metri; mentre per il settore marchigiano compreso tra Ancona e il fiume Tronto e ricadente nell'Autorità di distretto del Tevere a largo è pari a 5.02 metri e la direzione prevalente di provenienza è 63°N (ENE), questi parametri corrispondono ad una profondità di 15 metri.

Le altezze d'onda misurate sono state rapportate alla linea di costa con una procedura analitica eseguita con il software CEDAS.

Allo stato attuale per necessità esemplificative abbiamo considerato, per i due tratti di costa marchigiana che appartengono a due distretti idrografici diversi ed hanno due orientamenti diversi, una stessa altezza d'onda che deriva dalla massima altezza d'onda significativa delle altezze d'onda dei diversi tratti di costa e che risulta pari a 2.23 mt. e provenienza da 30°-60°N.

Per la definizione delle mappe di pericolosità da inondazione della fascia costiera lungo la costa marchigiana è di fondamentale importanza tenere conto dei seguenti elementi:

- fenomeni meteo-marini;
- morfologia della costa;
- tipologia delle spiagge;
- tipologie di opere di difesa esistenti.

I fenomeni meteo-marini che possono dare luogo a fenomeni di inondazione sono le maree astronomiche e tutti i fattori meteorologici che provocano un innalzamento del livello del medio mare, le onde prodotte dalle componenti del vento sulla superficie del mare e l'innalzamento delle acque in corrispondenza delle foci dei fiumi e torrenti a causa di un effetto ostacolo prodotto dalle acque marine.

Dalle esperienze tratte in diversi studi di ricercatori e Enti di ricerca sia Italiani che stranieri si assume che la marea di tempesta (storm tide) è un parametro complesso che comprende la quota di marea astronomica attesa (expected high tide) incrementata dalla pressione barometrica e dal vento sotto costa (storm surge), inoltre bisogna considerare anche l'accumulo di acqua nella zona di frangimento delle onde (wave set-up).

Fino ad oggi la Regione Marche è intervenuta lungo la costa soltanto con azioni di emergenza per sanare i fenomeni erosivi prodotti dalle mareggiate sulle strutture antropiche. L'Attuazione della direttiva europea 2007/60/CE relativa alla gestione dei rischi di alluvioni recepita con il Dlgs n. 49 del 23 febbraio 2010 impone una diversa presa di coscienza del territorio compreso quello costiero e impone di realizzare ove ancora non si è provveduto la perimetrazione delle aree soggette ad alluvioni. La procedura semplificata, ha alla base il metodo operativo utilizzato nella Regione Emilia Romagna, in aggiunta la metodologia tiene conto in modo stimato di quanto previsto negli indirizzi operativi per l'attuazione della direttiva 2007/60/CE riguardo ai cambiamenti climatici (stimato in un +10% dell'altezza d'onda massima) negli scenari di inondazione dell'innalzamento del livello del mare generato dalla concomitanza del sollevamento determinato dalle variazioni meteorologiche, della marea astronomica e del set-up e della valutazione sempre speditiva del *run-up* per le aree conosciute il tutto calcolato per i tempi di ritorno di 10 e 100 anni.

La metodologia applicata è stata integrata con un'analisi in ambiente GIS di tipo geometrico; le superfici corrispondenti ai livelli del mare relativi ai due scenari di pericolosità (tempi di ritorno di 10 e 100 anni). In tutti i calcoli non sono stati considerati gli scenari e gli effetti di sovrapposizioni dovuti a tsunami che come già indicato nell'atlante degli tsunami italiani dell'INGV hanno colpito in passato, seppure marginalmente, il tratto settentrionale della costa marchigiana. Nella fase di taratura ed approfondimento delle ricerche e degli studi che saranno effettuati nella fase di approfondimento tra il 2013 ed il 2015 si faranno delle analisi e delle tarature della metodologia per raffinare la cartografia delle mappe di pericolosità e di rischio.

## 1.6. CARATTERISTICHE FIOGRAFICHE DEL LITORALE DAL QUADRO CONOSCITIVO DEL “PIANO DI GESTIONE INTEGRATA DELL’AREA COSTIERA”

In questa sezione si descrivono le caratteristiche fisiografiche principali desunte dalla bibliografia geologica, ovvero saranno analizzati la morfologia, la litologia, la granulometria della spiaggia emersa e sommersa delle aree selezionate dal progetto di ripascimento. Procedendo da Nord verso Sud l’area oggetto di studio è quella appartenente all’unità fisiografica n. 17.

### 1.6.1. Unita' fisiografica N.17 – Dalla foce del fiume Potenza al Porto di Civitanova Marche

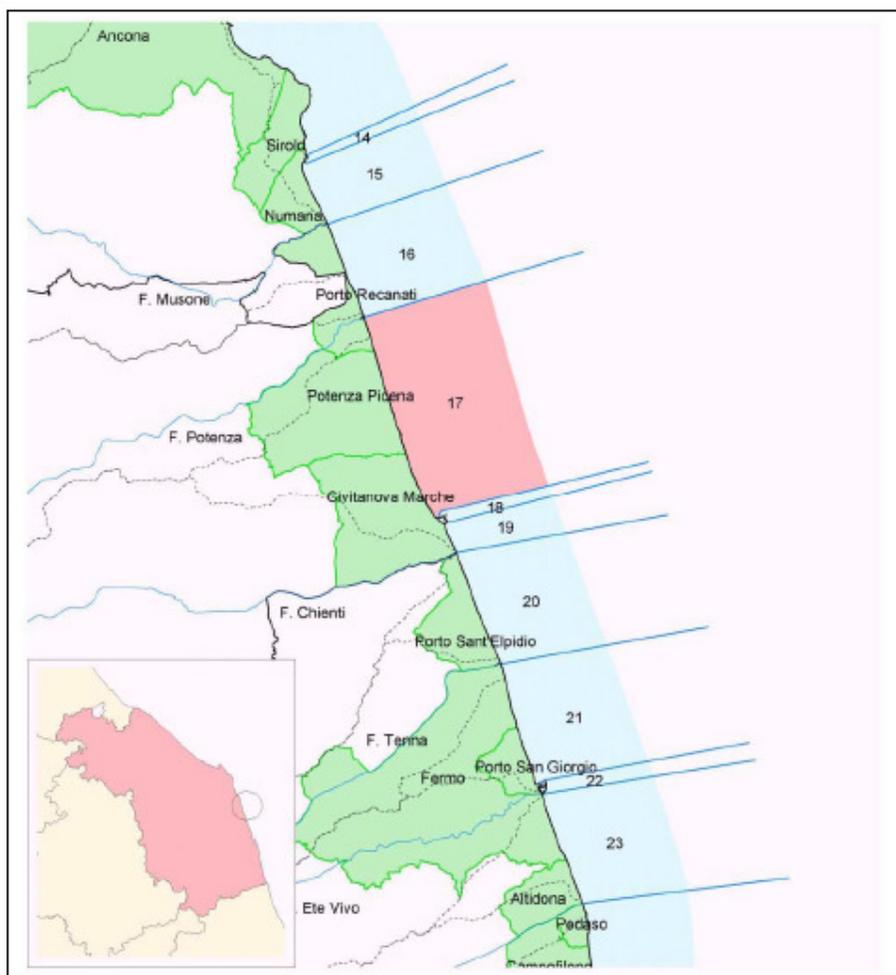


Figura 22 Unità fisiografica 17 dal Piano della Costa

### **1.6.1.1. Stato di fatto**

Il tratto in esame ha una lunghezza totale di 13,23 Km ricadenti nei Comuni di Porto Recanati

(2,25 km), Potenza Picena (6,51 km) e Civitanova Marche (4,47 km).

Il litorale presenta allo stato attuale opere per complessivi vi 10,18 km (pari al 77% della lunghezza totale), mentre in progetto sono previste ulteriori opere che non modificano la lunghezza complessiva del tratto interessato da opere.

Le principali opere esistenti sono costituite da scogliere emerse (2,09 km), scogliere radenti (4,07 km), opere miste (3,07 km) e 13 pennelli.

Le caratteristiche sedimentologiche della spiaggia emersa evidenziano la presenza dell'83% di sabbia ed una porzione del 17% non campionata; i bacini principali di apporto solido sono costituiti dal fiume Potenza e dal fiume Chienti.

La linea ferroviaria costiera e le sue strutture di servizio sono state protette dall'erosione con opere radenti realizzate a più riprese dagli anni '10 del '900 a Nord ed al centro di Porto Potenza Picena, poi estese nei decenni seguenti, procedendo sempre verso Nord, fino a terminare negli anni '80 la ricopertura dell'arenile del territorio comunale.

In sovrapposizione ad esse sono state poste negli anni '50 scogliere ravvicinate a Nord dell'abitato, fra gli anni '60 e gli anni '80 scogliere distaccate dal centro dell'abitato verso Nord e nel 1985 altre quattro barriere isolate allo sbocco del fosso Pilocco.

L'arenile di Santa Maria in Potenza ha subito negli anni '80 interventi protettivi con opere radenti e sperimentali permeabili e negli ultimi anni con altre opere radenti ed una batteria di pennelli che sono pure previsti da estendere fino alla foce del Potenza ove esiste un pennello sulla sponda destra dal 1994.

Le strutture aggettanti dl porto di Civitanova hanno provocato nel litorale sottoflutto fenomeni erosivi.

Vi furono poste scogliere foranee emerse a partire dal 1959, proseguite verso Nord fino a Fontespina nel 1977, un tratto di difesa radente del 1970-71 poi sostituita da nuove foranee e da una barriera sommersa nel 1984-85. Ancora sottoflutto sono state poste scogliere radenti sulla linea ferroviaria fra il 1972 ed il 1989 e delle foranee emerse e dei setti sperimentali permeabili nel 1977-79.

### **1.6.1.2. Analisi degli squilibri**

Il tratto in esame è particolarmente ampio e con una equivalenza di zone in erosione alternate a zone in avanzamento; i maggiori squilibri interessano aree a Nord del Porto di Civitanova con effetti erosivi concentrati.

### **1.6.1.3. Indicazioni progettuali**

A valle della foce del fiume Potenza per un tratto di costa di 1 km è previsto un sostanzioso intervento di ripascimento, prevedendo l'uso di materiale (ghiaie e sabbie da reperire sia dai fiumi limitrofi che da unità fisiografiche limitrofe) protetto attraverso la realizzazione di soglie lungo tutto il tratto. Nel litorale antistante il complesso ospedaliero di Santo Stefano si prevede il salpamento delle scogliere radenti e semiradenti esistenti della Società FF.SS., oltre ad alcune scogliere emerse in località Potenza Picena centro ed riallineamento di quest'ultime attraverso la realizzazione di una batteria di scogliere emerse al di sotto di quelle già esistenti per una lunghezza pari a 700 ml e la messa in opera di un pennello a chiusura delle stessa verso sud. Lo stesso intervento è stato previsto attraverso il salpamento delle scogliere emerse attualmente esistenti disassate e disallineate tra loro situate presso il comune di Civitanova, ed il loro riallineamento alla scogliera soffolta esistente (di cui si prevede il rifiorimento) tramite la realizzazione di scogliere emerse. A chiusura verso Nord dell'ultima batteria di scogliere previste verrà messo in opera un pennello di rilevante importanza.

## **2. SINTESI DEGLI STUDI CONDOTTI PER LA REDAZIONE DEL PIANO DI GESTIONE INTEGRATA DELLE AREE COSTIERE**

Si riporta di seguito una sintesi della metodologia di indagine e dei risultati delle analisi condotte dall'Istituto di Idraulica della Facoltà di Ingegneria dell'Università degli studi di Ancona che rappresentano la fonte conoscitiva del piano regionale delle aree costiere e che, in questa fase, costituiscono i dati sulla base dei quali sono stati progettati i due interventi.

Per la redazione del piano regionale è stata condotta una campagna sedimentologica per la quale i passi principali delle indagini sono stati l'analisi granulometrica e le necessarie elaborazioni con metodologie statistiche. In particolare le attività svolte dall'Università di Ancona sono riassumibili come segue:

- Prelievo ed analisi del campione di sedimento;
- Determinazione delle frequenze relative e cumulate;
- Calcolo dei diametri caratteristici (diametro medio, percentili);
- Calcolo dei parametri della distribuzione (media, deviazione attorno alla media, simmetria, curtosi).

La campagna di misure sedimentologiche ha interessato più di 500 profili trasversali con il prelievo di 1209 campioni sedimentologici oltre ai quali sono stati effettuati 191 prelievi in 185 sezioni intermedie a quelle già campionate.

La campagna è stata eseguita dai primi di maggio alla terza decade di giugno del 1999, per cui il rilievo sedimentologico può ragionevolmente ritenersi rappresentativo del clima meteomarinico invernale.

I campioni sono stati raccolti lungo le sezioni prescelte alle quote +1, 0, -2, -5 m s.l.m., mentre per quanto riguarda i prelievi nelle sezioni intermedie, questi sono stati effettuati in prevalenza alla quota "0" ed in qualche caso significativo alla quota "+1".

Per ogni campione l'Università di Ancona ha fornito i risultati dell'analisi granulometrica, sia come istogramma delle frequenze percentuali che come curva cumulata. Inoltre sono riportati il valore del 16°, 50° ed 84° percentile necessari per il calcolo dei fondamentali parametri statistici.

Una volta organizzati, i dati sedimentologici sono stati elaborati per caratterizzare ogni campione prelevato secondo le classificazioni fondamentali di Udden-Wentworth e di Shepard.

E' stato inoltre effettuato il calcolo di tre parametri statistici quali diametro medio, coefficiente di cernita e coefficiente di asimmetria tramite le relazioni di Inman (1952):

Per quanto riguarda i dati granulometrici disponibili la classificazione è stata operata sulla base della scala di Udden-Wentworth ed in funzione del valore della mediana (D50) del campione.

Va precisato che l'analisi granulometrica è stata effettuata mediante setacciatura meccanica nel materiale trattenuto dalla serie di setacci limitata inferiormente dal vaglio 200 ASTM (apertura della maglia 0.074 mm); quindi la classificazione operata nei dati forniti non consente di distinguere il materiale al di sotto del limite di separazione tra sabbia e silt. Pertanto il campione con  $D_{50} < 0.074$  mm è stato classificato come "limo" inglobando insieme le classi silt ed argilla.

### **3. INQUADRAMENTO DELLE CARATTERISTICHE LITOLOGICHE E SEDIMENTOLOGICHE DELLE SPIAGGE**

Nella fascia costiera della regione, le litologie prevalenti sono costituite da conglomerati marini attribuibili al Pleistocene inferiore con ciottoli per lo più fortemente appiattiti (Q1c), passanti inferiormente e lateralmente a sabbie gialle stratificate (Q1b); verso il basso queste sono in eteropia con argille sabbiose grigio-azzurre nelle quali si rinvengono intercalazioni di lenti sabbioso-conglomeratiche ubicate in diversi livelli (Q1a).

La porzione di piana costiera a ridosso dei rilievi è caratterizzata da depositi costituiti da sabbie fini di spiaggia recente fino ad arrivare alle sabbie di spiaggia attuale.

Le analisi condotte nell'ambito del Piano di gestione delle aree costiere hanno consentito di caratterizzare la granulometria presente nei tratti di costa della regione. Le elaborazioni effettuate per classificare i campioni di materiale secondo quanto previsto negli studi propedeutici al piano, hanno fornito alcuni risultati interessanti che possono essere così riassunti.

Più del 50% dei campioni granulometrici è composto da sabbia in misura superiore al 75% ed oltre il 60% del totale dei prelievi ha il D50 relativo all'intervallo delle sabbie.

Disaggregando i dati in relazione alla profondità di campionamento si nota come le caratteristiche della spiaggia emersa e di quella sommersa differiscano molto tra di loro.

La maggioranza dei campioni prelevati sulla spiaggia emersa ha infatti caratteristiche granulometriche di tipo ghiaioso.

Questo dato risulta ancora più evidente se si fa riferimento ai campioni raccolti alla "+1" sia per quanto riguarda il valore della mediana che per quello della frequenza percentuale della classe di *Shepard* relativa alle ghiaie.

Diversa è invece la situazione complessiva della spiaggia sommersa che risulta a carattere marcatamente sabbioso, sia per i campioni alla "-2" che per quelli alla "-5". Da notare comunque che esiste una percentuale di circa il 15% di campioni ghiaiosi anche alla profondità di 2 metri, mentre tale frazione praticamente si annulla alla "-5". E' importante sottolineare che questa presenza di ghiaia risulta concentrata nel tratto del litorale marchigiano tra il porto di Civitanova Marche e la foce del fiume Tenna e, comunque, si ritrovano in prossimità delle foci fluviali dei corsi d'acqua principali, a partire dalle quali il diametro medio delle ghiaie di spiaggia, molto variabile, diminuisce dalle foci.

Nello specifico le due unità fisiografiche, in cui ricadono i due tratti costa interessati dagli interventi di ripascimento, presentano le seguenti caratteristiche sedimentologiche:

#### **4. CARATTERISTICHE SEDIMENTOLOGICHE, MORFOLOGICHE E PARAMETRI CARATTERISTICI DELLE SPIAGGE NATIVE**

L'area di intervento ricade nell'unità fisiografica n. 17 del Piano della Costa è caratterizzata nel settore nord da sabbie grossolane fino a ghiaie sottili frammiste in alternanza in relazione alla presenza di differenti berme a varie altezze che comunque fanno parte di un unico morfotipo di coste basse.

Le curve granulometriche relative alle analisi sedimentologiche condotte nell'ambito degli studi propedeutici del Piano di gestione integrata delle aree costiere evidenziano un range di variazioni delle granulometrie che denotano una media classazione in cui sono presenti code della frazione sottile e quelle della frazione più grossolana causa dell'alta energia piuttosto variabile dell'ambiente di sedimentazione.

Di seguito si riportano le curve granulometriche elaborate per essere rappresentate per il tratto di costa in studio e raggruppate secondo le differenti quote di prelievo dei campioni.

Per quanto riguarda la composizione mineralogica delle spiagge native si evidenzia che riflette quella delle rocce di provenienza e cioè quella delle formazioni della successione umbro marchigiana (in prevalenza quarzoso-feldspatiche e subordinatamente carbonatica selcifera) che determina una colorazione giallo chiaro / ocra.

#### 4.1 - Litorale a Sud del fiume Potenza

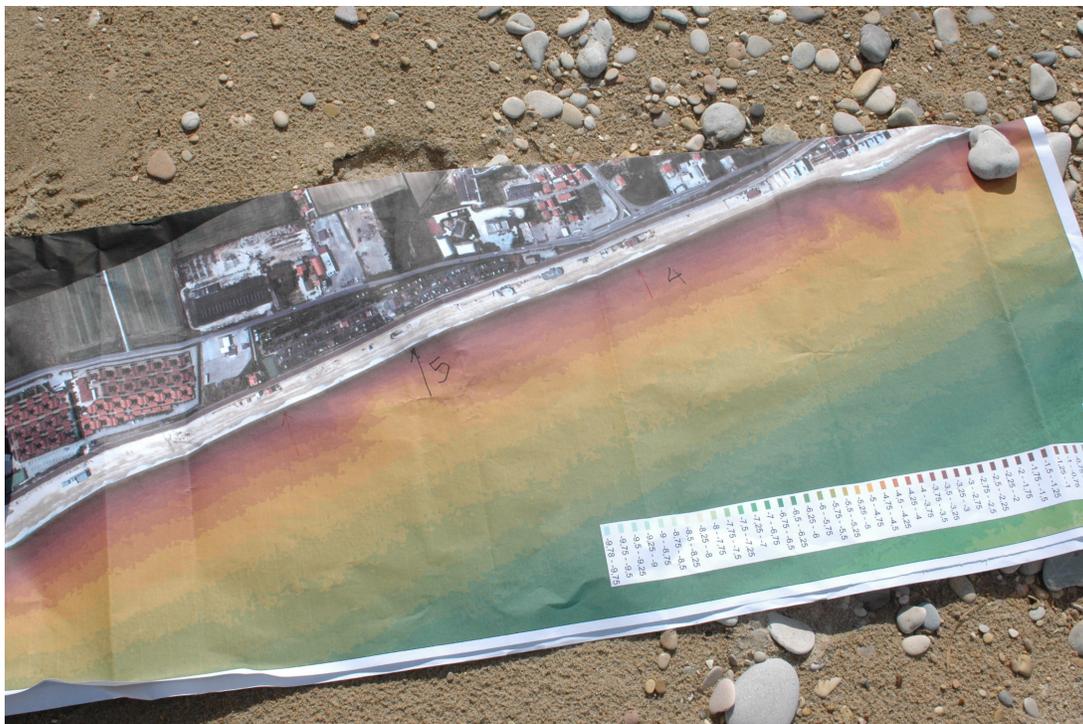
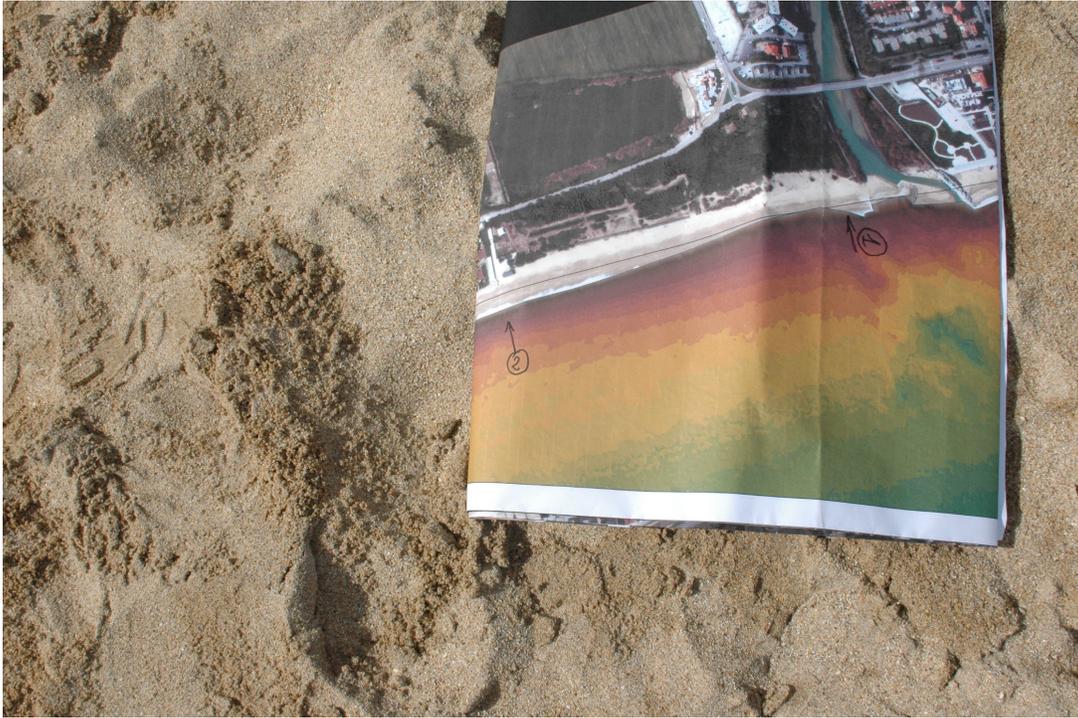
L'area di intervento è caratterizzata da un morfotipo costituito da una piana costiera senza dune di retro spiaggia, sono presenti due limiti antropici per tutta la lunghezza dell'area di intervento dati dalla linea ferroviaria prossima alla spiaggia e dalla Strada Statale Adriatica.

La spiaggia interessata dall'intervento di ripascimento presenta un profilo basso e una linea di riva praticamente lineare con una larghezza pressoché costante. Anche nel senso trasversale la spiaggia ha un profilo uniforme degradante verso il mare con debole pendenza ma interessata nella parte alta da costruzioni antropiche che hanno determinato un'alterazione sia della dinamica propria di spiaggia e sia delle dinamiche di retrospiaggia.

La spiaggia emersa è costituita prevalentemente da sabbie ghiaiose comprese tra fini – molto fini per la frazione ghiaiosa e medio – grossolana per le sabbie; questa, nel corso del tempo sia a causa delle alterazioni delle normali dinamiche di spiaggia in seguito alla realizzazione di costruzioni esageratamente spinte troppo in avanti verso il mare, ma anche a causa di derive litoranee indotte da interventi antropici a latere ha visto una rilevante riduzione. In considerazione della presenza di *life-line* e costruzioni antropiche tale tratto è stato inserito negli interventi di mitigazione della pericolosità e del rischio con un accordo di programma tra il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare e la Regione Marche.













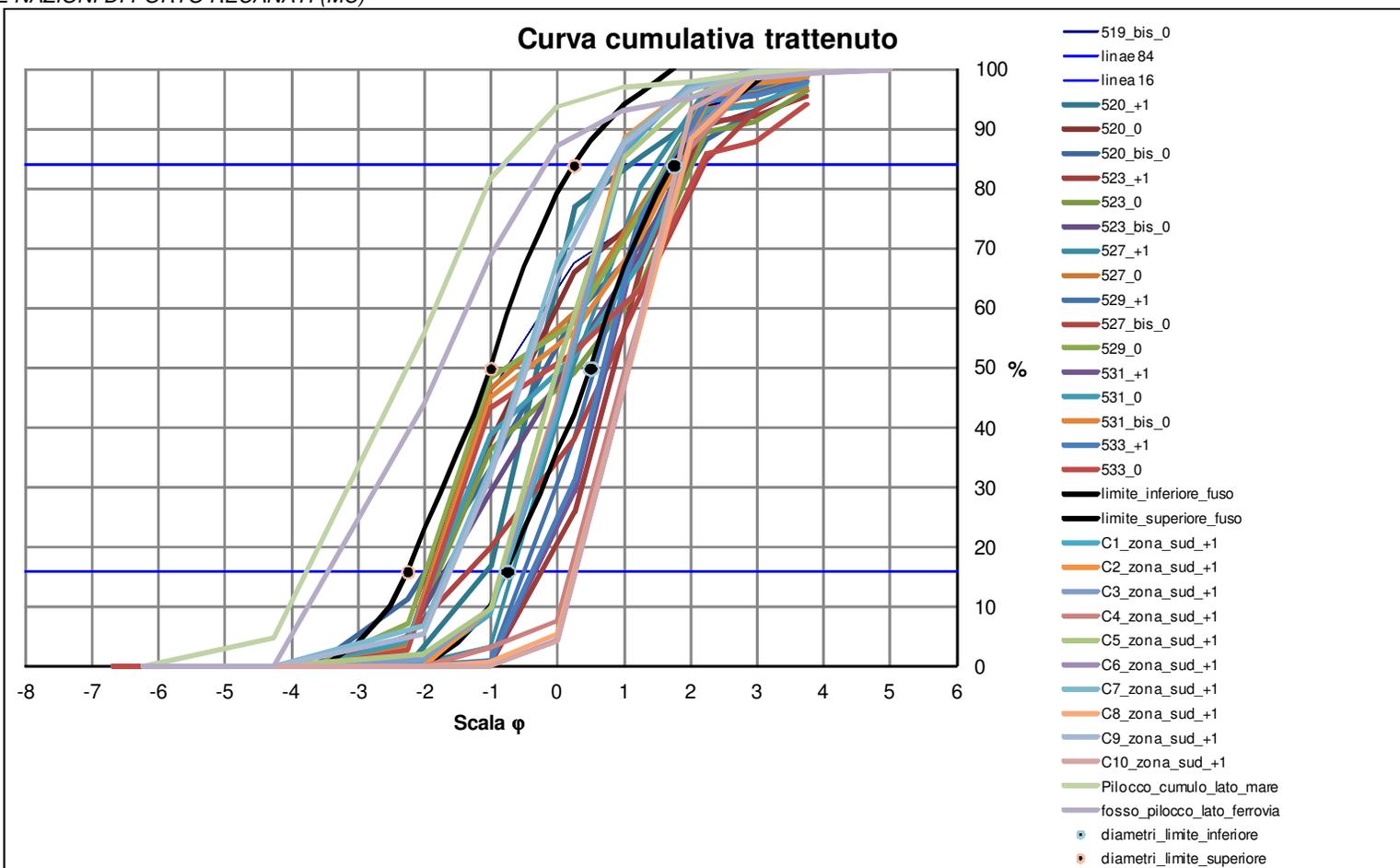


Figura 23 - Curve granulometriche delle medie di tutti i campioni prelevati a quote +1, 0 nel tratto di costa intervento del litorale a Sud del fiume Potenza (dati di riferimento degli studi propedeutici al piano di gestione integrata delle aree costiere e campionamenti eseguiti da ARPAM nel 2013). Dal grafico si può osservare come le spiagge emerse del litorale di intervento sono caratterizzate da una variabilità granulometrica che prevalentemente va dalle ghiaie fini a sabbie grossolane con una coda di sabbie medie.

## **4.2. CRITERI DI COMPATIBILITA' DEI SEDIMENTI DI RIPASCIMENTO**

L'intervento deve essere inteso non come ripascimento artificiale nel senso classico del termine, teso cioè alla semplice ricostituzione di un preesistente arenile, ma come opera finalizzata alla difesa della fruibilità della spiaggia con la metodologia del ripascimento che risulta la "più naturale possibile".

Trattandosi di interventi volti alla salvaguarda costiera, a tutela dell'habitat naturale e ripristino delle condizioni di fruibilità del territorio marittimo, è prioritario definire gli aspetti più significativi per il perseguimento di una adeguata capacità "strutturale" della spiaggia di progetto.

E' pertanto fondamentale definire le caratteristiche morfo-meccaniche del materiale di ripascimento e quindi in primis delle caratteristiche granulometriche.

I metodi di dimensionamento adottati per calcolare i volumi di ripascimento necessario, infatti, dipendono principalmente dal diametro medio D50 della materiale nativo della spiaggia e da quello del materiale di ripascimento.

Il rapporto tra i diametri medi del materiale di ripascimento e del materiale nativo della spiaggia influenza in modo sostanziale l'efficacia del ripascimento. Al fine di ottenere la massima utilità dall'intervento di ripascimento risulta fondamentale garantire il riversamento di un sedimento che fornisca un rapporto sufficientemente elevato.

La condizione ottimale è quella di effettuare il ripascimento con un sedimento caratterizzato da una granulometria uguale - o leggermente superiore - a quella del sedimento nativo.

L'intervento prevede quali sedimenti per i ripascimenti il materiale proveniente da cava dell'entroterra di depositi alluvionali ghiaiosi/sabbiosi derivanti dalle formazioni umbro-marchigiane.

La sicurezza della possibilità di scegliere e reperire il materiale con le caratteristiche granulometriche "ottimali", cioè superiori a quelle del sedimento nativo, garantisce in sostanza l'efficacia del ripascimento.

La stabilità del materiale di ripascimento, pertanto, sarà conseguita "agendo" sia sulla granulometria del materiale e sia sui quantitativi dei sedimenti immessi nelle spiagge in relazione al profilo di equilibrio (emerso / sommerso) della spiaggia.

In considerazione che comunque bisogna preservare l'aspetto della spiaggia attuale si deve garantire una compatibilità mineralogica e colorimetrica del materiale utilizzato che risultano condizioni necessarie all'attuazione dell'intervento.

Le ghiaie di ripascimento dovranno, pertanto, essere compatibili sia per la colorazione (giallo chiaro / ocra) e sia per la composizione mineralogica (in prevalenza quarzoso-feldspatica e subordinatamente carbonatica selcifera) con le spiagge native, che riflettono le caratteristiche delle rocce di provenienza e cioè quella delle formazioni della successione umbro marchigiana.

Sulla base dei due differenti ambienti di deposizione che contraddistinguono la genesi dei sedimenti costieri rispetto a quelli fluviali si evidenzia che l'unica differenza tra i depositi nativi e quelli di ripascimento sarà la morfometria (grado di arrotondamento e di appiattimento).

Per tale aspetto tessiturale, infatti, i sedimenti depositati in un ambiente costiero hanno una morfometria più appiattita e allungata, che ne aumenta la "resistenza" al moto ondoso, rispetto a quelle fluviali dovuta al completo "trasporto" che hanno subito per arrivare fino al mare.

## 5. PARAMETRI CARATTERISTICI DI PROGETTO DEI SEDIMENTI

La caratterizzazione sedimentologica delle spiagge native, da assumere come condizioni nella progettazione dell'intervento, è stata eseguita prendendo in considerazione i campioni prelevati a quota "0" e "+1" corrispondenti ad una parte della zona più attiva della spiaggia (CEM V-4-23).

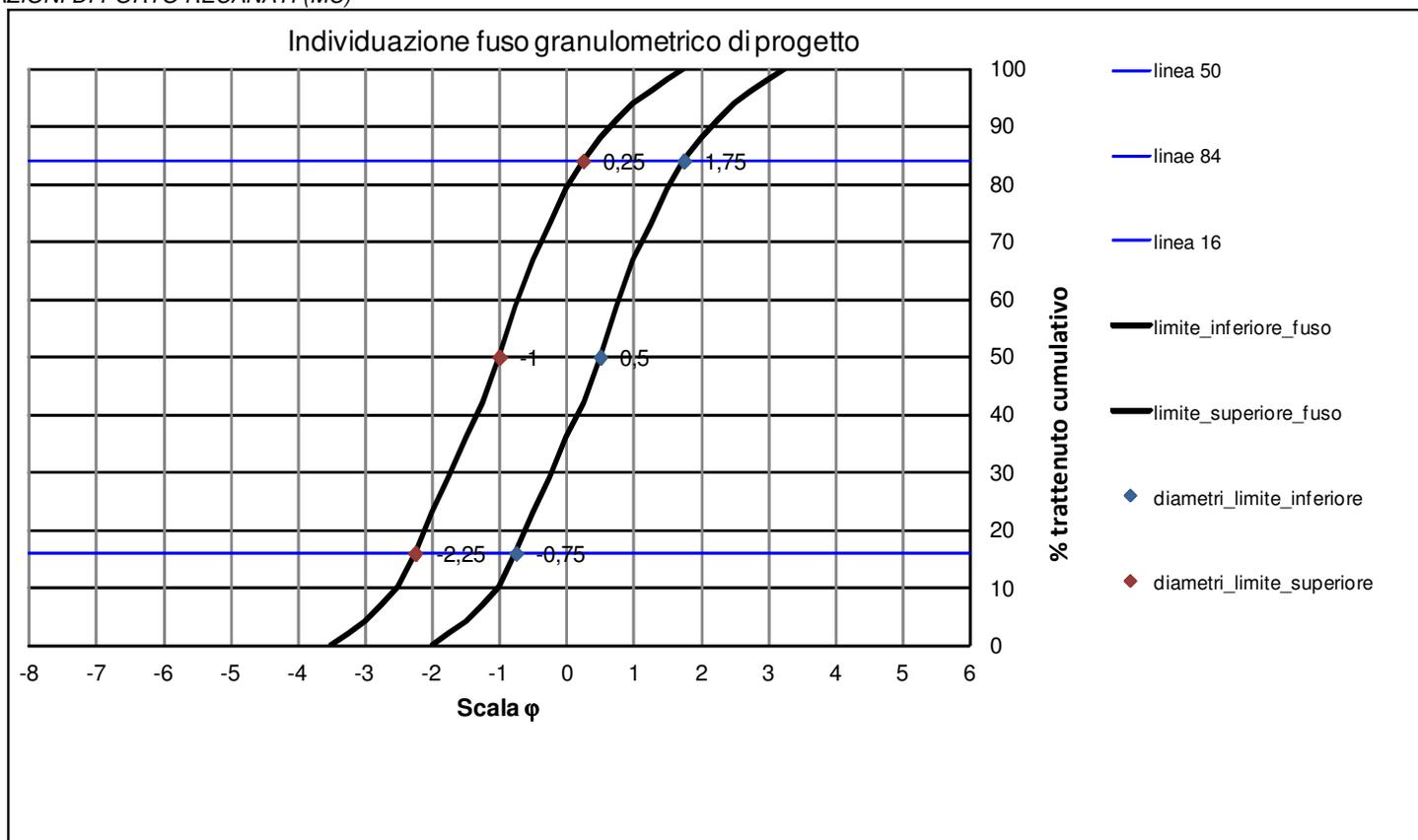
Alla luce delle osservazioni e delle analisi, effettuate sulle caratteristiche granulometriche dei sedimenti delle spiagge native, sono stati definiti dei criteri di accettazione cui devono rispondere le ghiaie di ripascimento rappresentati nel fuso granulometrico di progetto.

Altro elemento tenuto in considerazione nel progetto è stata la percentuale di fino, che è stata completamente esclusa per minimizzare sia la torbidità dell'acqua in fase di deposito e sia per evitare la diminuzione del volume della spiaggia di ripascimento dovuto alla perdita del materiale fino dovuta all'azione del moto ondoso.

Dalla curva cumulata risulta che per l'area di intervento il materiale per il ripascimento è quello avente la granulometria prevalente delle ghiaie fini a sabbie grossolane con una coda di sabbie medie.

Esprimendo i fusi granulometrici dei sedimenti in termini di percentuale del trattenuto e del diametro del setaccio, espresso in unità  $\phi = -\log_2 D$ , i parametri caratteristici utilizzati come riferimento sono il diametro medio, espresso in termini dei percentili del  $\phi_{50}$ , relativo alla percentuale del 50% del trattenuto in peso (o in alternativa del passante).

Tenuto conto delle caratteristiche granulometriche rappresentative della spiaggia oggetto di intervento di ripascimento, si è verificato che sedimenti contraddistinti dai seguenti parametri sono compatibili con gli obiettivi progettuali di ripascimento delle spiagge.



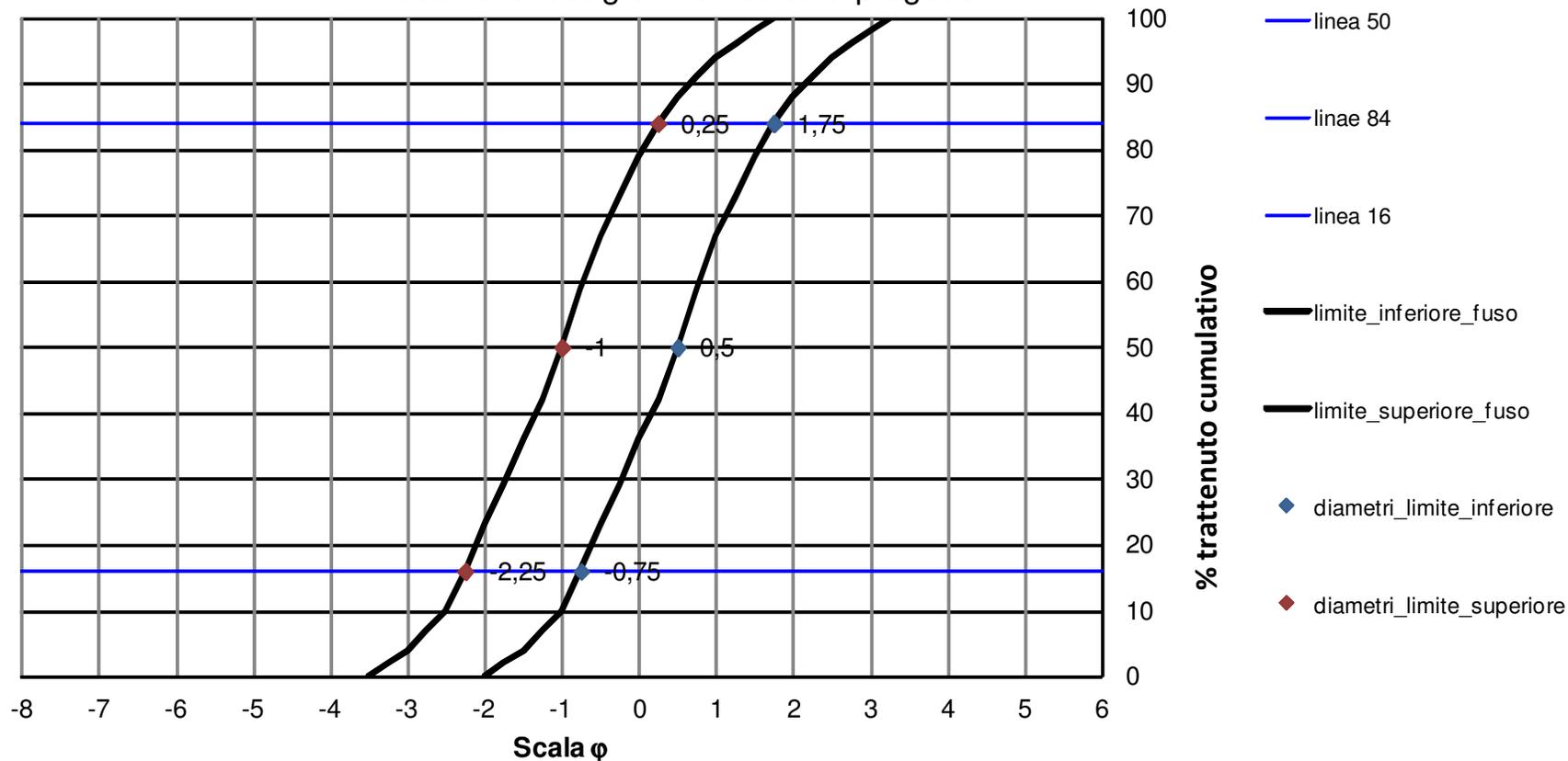
### Parametri fuso di progetto

$$1.75 \varphi < \mathbf{D84} < 0.25 \varphi$$

$$0.5 \varphi < \mathbf{D50} < -1.0 \varphi$$

$$-0.75 \varphi < \mathbf{D16} < -2.25 \varphi$$

### Individuazione fuso granulometrico di progetto



mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	μm	μm	μm
64-256	32-64	16-32	8-16	4-8	2-4	1-2	0.5-1	0.25-0.50	125-250	62.5-125	<62.5
Ciottoli	Ghiaia molto grossa	Ghiaia grossa	Ghiaia media	Ghiaia fine	Ghiaia molto fine	Sabbia molto grossa	Sabbia grossa	Sabbia media	Sabbia fine	Sabbia molto fine	Silt o limo

In sintesi il materiale per rispondere ai criteri di compatibilità e ai parametri caratteristici previsti dal progetto definitivo deve avere i seguenti requisiti:

- provenire da cava terrestre;
- essere di origine alluvionale;
- compatibilità mineralogica (in prevalenza quarzoso-feldspatica e subordinatamente carbonatica selcifera derivante dalle formazioni umbro-marchigiane);
- compatibilità colorimetrica (giallo chiaro / ocra);

curva granulometrica compresa entro il fuso granulometrico di progetto caratterizzato dai seguenti parametri:

$$1.75 \varphi < \mathbf{D84} < 0.25 \varphi$$

$$0.5 \varphi < \mathbf{D50} < -1.0 \varphi$$

$$- 0.75 \varphi < \mathbf{D16} < - 2.25 \varphi$$

- vagliata e lavata.

## **6. COMPATIBILITÀ CON LA DINAMICA COSTIERA**

Il progetto prevede la realizzazione dell'intervento di ripascimento nella condizione ottimale: effettuare il ripascimento con un sedimento caratterizzato da una granulometria leggermente superiore a quella del sedimento nativo.

La realizzazione di spiagge in sabbie grossolane – ghiaie fini costituisce un'alternativa efficace ed economicamente vantaggiosa quando si interviene su spiagge in cui i processi erosivi sono particolarmente intensi e non si sceglie il ripascimento "protetto" con opere di difesa di forte impatto paesaggistico.

La caratteristica che rende la ghiaia estremamente efficace negli interventi di ripascimento dipende dal fatto che, a parità di volume impiegato, si ha una maggiore estensione della spiaggia emersa e una minore dispersione dei sedimenti verso il largo rispetto a sedimenti più fini.

Anche la stabilità dei ripascimenti in ghiaia, tolta l'abrasione dei granuli, è decisamente superiore a quella del materiale con granulometrie inferiori.

La stabilità del materiale di ripascimento, pertanto, è "affidata" prevalentemente alla granulometria del materiale oltre che ai quantitativi dei sedimenti immessi nelle spiagge in relazione al profilo di equilibrio (emerso / sommerso) della spiaggia.

Questi parametri (dimensioni e quantità) sono fondamentali nel determinare l'efficienza del ripascimento e, conseguentemente, nel contrastare i processi morfodinamici.

Vi è da rilevare che comunque la linea di spiaggia o di riva o di battigia, è un confine sempre mutevole tra terra e mare, in quanto soggetta a variazioni temporali che vanno dal periodo di un'onda (pochi secondi) alle ere geologiche.

E' in ogni modo importante sottolineare ancora la intrinseca mutevolezza di questa posizione e la dinamicità della fascia litoranea, che rappresenta l'area destinata al "libero sfogo" del mare.

## 7. REPERIMENTO DEI SEDIMENTI DI RIPASCIMENTO

Per quanto attiene al reperimento del materiale di ripascimento è indubbio che quello ottimale sarebbe ottenuto con le alluvioni dei corsi d'acqua locali in quanto hanno la massima vocazione per il ripascimento delle spiagge, dal momento che sarebbero naturalmente destinate alle stesse spiagge.

L'impiego di tali materiali di cava è anche legata alla condizione di preservare le caratteristiche colorimetriche e composizionali dell'area di progetto, per cui la compatibilità granulometrica, mineralogica e colorimetrica del materiale utilizzato risultano condizioni necessarie all'attuazione dell'intervento.

## 8. SINTESI BIBLIOGRAFICA

Antonoli F., Bard E., Silenzi S., Potter E. K., Improta S. (2004) 215 KYR history of sea level based on submerged speleothems. *Global and Planetary Change*, 43, 57-68.

Cazenave, A., and R.S. Nerem, 2004: Present-day sea level change: observations and causes. *Reviews of Geophysics*, 42(3), RG3001, doi:10.1029/2003RG000139.

Church, J.A. White N.J., Coleman R., Lambeck, K. Mitrovica J.X, (2004) Estimates of the regional distribution of sealevel rise over the 1950 to 2000 period, *J. Climate* 17 2609–2625.

ARGNANI A., BERNINI M., DI DIO G.M., PAPANI G., & ROGLEDI S. (1998) - Stratigraphic record of crustal-scale tectonics in the Quaternary of the Northern Apennines (Italy). *Il Quaternario*, 10, 595-602.

BARONE A., FABBRI A., ROSSI S. & SARTORI R. (1983) - Geological structure and evolution of the marine areas adjacent to the Calabrian arc. *Earth Evolution Sciences*, 2: 207-221.

Beccaluva I., Bonatti e., Dupuy c., Ferrara g., Innocenti f., Lucchini f., Macera p., Petrini r., Rossi p.l., Serri g., Seyler m., & Siena f. (1990) - Geochemistry and mineralogy of volcanic rocks from ODP Sites 650, 651, 655, and 654 in the Tyrrhenian Sea. In: K.A.

CORREGGIARI A., FIELD M.E., & TRINCARDI F. (1996) - Late Quaternary transgressive large dunes on the sediment-starved Adriatic shelf. In: M.DE BATIST & P. JACOBS (Eds.): *Geology of Siliciclastic Shelf Seas*, Geological Society Special Publication, 117, 155-169.

CORREGGIARI A., ROVERI M. & TRINCARDI F. (1992) - Regressioni "forzate", regressioni "deposizionali" e fenomeni di instabilità in unità progradazionali tardo-quaternarie (Adriatico Centrale). *Gior. Geol.* 54:19-36  
CURRAY, J.R., (1964). - Transgressions and regressions. In: R.L. MILLER, (Eds.): *Papers in Marine Geology*, Shepard Commemorative Volume, 175-203, Macmillan Press.

PLINT G.A. EYLES N. HEYLES C.H. & WALKER R.G. (1992) - Control of sea level change In: R.G. WALKER & N.P. JAMES (Eds.): *Facies model Geol. Ass. of Canada*, 15-25.

Gianni Scaella, Leandro D'Alessandro, Claudio Caputo, Marcello Buccolini, Enrico Miccadei, Tommaso Piacentini, Paolo Paron & Francesco Ricci - Geomorphological framework of the Abruzzi shores. *Coastal Processes, Erosion Control and Shoreline Management*, Vol. III - Medcoast 03, Ravenna 9 - 11 october

SHACKLETON N.J. (1977) - Oxygen isotope and paleomagnetic evidence for early northern hemisphere glaciation: *Nature*, 270: 216-219.

TAVIANI, M. & TRINCARDI, F. (1987) Postglacial buildups on the Eastern Tyrrhenian shelf - attempt of interpretation. *Coll. Intern. Oceanol., Perpignan, CIESM*, p. 30.

TRINCARDI F. & ARGNANI A. (1990) - Gela submarine slide: a major basin-wide event in the Plio-Quaternary foredeep of Sicily. *Geo-Mar. Lett.*, 10: 13-21.

TRINCARDI F., ASIOLI A., CATTANEO A., CORREGGIARI A., & LANGONE L. (1986) - Stratigraphy of the late-Quaternary deposits in the Central Adriatic basin and the record of short-term climatic events. *Memorie Istituto Italiano di Idrobiologia*, 55, 39-70.

SERVIZIO GEOLOGICO NAZIONALE (1992) - Carta geologica d'Italia - 1:50.000 Guida al rilevamento a cura del CNR Commissione per la Cartografia Geologica Geomorfologica Quad., ser. III, 1. pp. 203.

SHACKLETON N.J. (1977) - Oxygen isotope and paleomagnetic evidence for early northern hemisphere glaciation: *Nature*, 270: 216-219.

TAVIANI, M. & TRINCARDI, F. (1987) Postglacial buildups on the Eastern Tyrrhenian shelf - attempt of interpretation. *Coll. Intern. Oceanol., Perpignan, CIESM*, p. 30.

TESSON, M., GENSOUS, B., ALLEN, G.P. & RAVENNE, C.H. (1990) - Late Quaternary deltaic lowstand wedges on the Rhone continental shelf, France *Mar. Geol.*, 91: 325-332.

AQUATER (1982) - *Studio generale per la difesa delle coste; prima fase. Rapporti di settore. Regione Marche. II.*

BALDI G., BRIGNOLI E. & CURZI P. (1986) - *Laboratori geotecnici a bordo dei natanti e a terra: finalità e prospettive per l'ingegneria offshore.* Atti del I Congr. A.LO.M .. Venezia 4-6 giugno 1986.

BRAMBATI A., BREGANT D., LENARDON G. & STOLFA D. (1973) - *Transport and sedimentation in the Adriatic Sea.* Museo Friulano di Storia Nat., 20, Udine.

CIABATTI M., CURZI P.V. & RICCI LUCCHI F. (in stampa) *Sedimentazione quaternaria nell'Adriatico centrale.* Atti della Riun. del Gruppo di Sedim. del C.N.R., Ancona 5-6-7 giugno 1986.

COLANTONI P., CURZI P. & GALLIGNANI P. (1978) - *Caratteristiche generali del fondo e del sottofondo della piattaforma continentale tra Ancona e la foce del fiume Reno.* In: *Ri cerche sulla piattaforma continentale dell'A Ito Adriatico* (Ed. COLANTONI P. & GALLIGNANI P.), P.F. Oceanografia e Fondi Marini - C.N.R., Quaderno 1, Bologna.

CURZI P. V. & TOMADIN L. (in stampa) - *Dinamica della sedimentazione pelitica attuale ed olocenica nell'Adriatico centrale.* *Giornale di Geologia*, 48, 2.

CURZI P.V. & VEGGIANI A. (1985) - *I pockmarks nel Mare Adriatico centrale.* L'Ateneo Parmense - *Acta Natur.*, 21.

GIORGI O. & MARABINI F. - *Character of the coast from the Gabicce Promontory to the mouth of the Tronto River.*

MARABINI F. (1985) - *Evolution trend of the Adriatic coast (Italy).* 4th Symp. on Coastal and Ocean Management. July 30-August 2 1985, Baltimora.

ORI O.O., ZITELLINI N. & ROVERI M. (1986) - *Sedimentazione plio-quaternaria nell'Adriatico centrale.* Riun. Oruppo di Sedim. del C.N.R. Ancona, 5-7 giugno 1986.

INTERVENTO DI DIFESA DELLA COSTA LOCALITA'  
LIDO DELLE NAZIONI DI PORTO RECANATI (MC)

BIGI S., CALAMITA F., CELLO G., CENTAMORE E., DEIANA G., PALTRINIERI W. & RIDOLFI M. (1995)- *Evoluzione Messiniano-Pliocenica del sistema Catena-Avanfossa nell'area marchigiano-abruzzese esterna*. In: Studi Geologici Camerti, volume speciale, 29-35, Camerino.

BIGI S., CANTALAMESSA G., CENTAMORE E., DIDASKALOU P., DRAMIS F., FARABOLLINI P., GENTILI B., INVERNIZZI C., MICARELLI A., NISIO S., PAMBIANCHI G. & POTETTI M., (1995) - *La fascia periadriatica marchigiano-abruzzese dal Pliocene medio ai tempi attuali: evoluzione tettonico-sedimentaria e geomorfologica*. Studi Geol. Camerti, vol spec..

COOKE R.U. & DOORNKAMP J.C. (1990)- *Geomorphology in Environmental Management*. Clarendon Press, London.

CURZI P.V., MARABINI F. & TOMANDIN L. (1987)- *Provenienza e dispersione dei sedimenti attuali sulla piattaforma abruzzese*. In: Mem. Soc. Geol. It., 37, 437-451, Roma.

CANCELLI A., MARABINI F., PELLEGRINI M. & TONNETTI G. (1984b) *Incidenza delle frane sull'evoluzione della costa adriatica da Pesaro a Vasto*. Mem. Soc. Geol. It., 27, pp.555-568.

CANTALAMESSA G., CENTAMORE E., CHIOCCHINI U., COLALONGO M.L., MICARELLI A., NANNI T., PASINI G., POTETTI M. & RICCI LUCCHI F. (1986) *Il Plio-Pleistocene delle Marche*. Studi Geol. Camerti, vol. speciale "La Geologia delle Marche", pp.61-81.

COLTORTI M. (1991) - *Modificazioni morfologiche oloceniche nelle piane alluvionali marchigiane: alcuni esempi nei fiumi Misa, Cesano e Musone*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 14, 73-86, 7 figg.

ESU F. & GRISOLIA M. (1991) - *La stabilità dei pendii costieri adriatici tra Ancona e Vasto*. Univ degli Studi di Roma "La Sapienza", G.N.D.C.. U.O. - 2.18, pubbl. n.464.

REGIONE MARCHE (1991) – *Ambiente fisico delle Marche: Geologia – Geomorfologia - Idrogeologia in scala 1:10.000*. Regione Marche, Giunta Regionale, Ed. S.E.L.C.A. Firenze.