Direzione Protezione Civile, Ambiente
Servizio Politiche per lo Sviluppo Sostenibile

Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

Regione Abruzzo
Direzione Protezione Civile, Ambiente,

Valutazione dei possibili scenari di risalita del livello marino sulla fascia costiera abruzzese e strumenti di supporto alla gestione del territorio della regione Abruzzo

Studio effettuato da:
ENEA – Ente per le nuove tecnologie, l'energia e l'ambiente – Dipartimento Ambiente
Con la collaborazione di:
ISPRA - Unità Cambiamenti Climatici e Studi Costieri

Coordinamento delle attività per la Regione Abruzzo
Direzione Protezione Civile, Ambiente
Servizio Politiche per lo Sviluppo Sostenibile

dott.ssa Franca Chiola
dott. Domenico Orlando
dott.ssa Concetta Piccone
Sig.ra Emanuela Guaraladi

Foto copertina: Punta Aderci - Vasto
Archivio fotografico Cogecstre

PRESENTAZIONE

I recenti studi sul sistema climatico hanno messo in evidenza che il clima del nostro pianeta sta subendo, soprattutto in questi ultimi decenni, alcuni cambiamenti che potrebbero portare, se le attuali tendenze di sviluppo socio-economico e di uso delle risorse naturali non venissero modificate, a variazioni profonde ed irreversibili sia dell'ambiente che della stessa società umana nei prossimi 50-100 anni.

Tutti, istituzioni, comunità locali, imprese, singoli cittadini, sono chiamati a porre in essere ogni azione utile ad invertire la tendenza adottando comportamenti responsabili nell'uso delle risorse e diminuendo le emissioni di gas serra.

La Regione Abruzzo è rivolta ad esercitare le proprie responsabilità a livello locale per affrontare tali problematiche e per questo ha avviato un rapporto di collaborazione con l'ENEA (Ente Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente) diretto ad approfondire i possibili effetti che le variazioni climatiche, fenomeno globale, potrebbero avere sul proprio territorio ed ottenere, quindi, tutte le informazioni utili per programmare interventi specifici a vantaggio delle diverse componenti economiche, sociali ed ambientali..

Un primo studio, che ha interessato l'intero territorio, ha focalizzato alcune problematiche legate ai vari settori del territorio abruzzese suscettibili di approfondimento. Tra questi, quelli di maggiore interesse sono risultati quelli connessi direttamente e indirettamente al sollevamento del livello marino.

Si è pertanto deciso di approfondire lo studio di un settore di primaria importanza per l'amministrazione regionale quale è la fascia costiera abruzzese, per comprenderne meglio la vulnerabilità rispetto ai fenomeni naturali e ai cambiamenti climatici.

D'intesa con l'ENEA (Ente Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente), è stato predisposto un programma di lavoro che, partendo dal censimento e analisi dei dati territoriali, portasse alla elaborazione di un modello di futuro assetto fisiografico e altimetrico dell'area costiera, con prospettazione degli scenari previsti a breve, medio e lungo termine (2013, 2020, 2050 e 2100).

I risultati di tale studio, condensati nella relazione finale oggetto della presente pubblicazione, indicano una suscettibilità alla sommersione limitata ad alcuni settori di spiaggia ed aree prospicienti le foci fluviali, e forniscono utili informazioni per la programmazione degli interventi in difesa della fascia costiera.

L'Assessore Regionale all'Ambiente
Daniela Stati

Valutazione dei possibili scenari di risalita del livello marino sulla fascia costiera abruzzese e strumenti di supporto alla gestione del territorio della regione Abruzzo

Indice

1. Introduzione *pag. 1*
2. Le previsioni di RSLR per la fascia costiera abruzzese *pag. 2*
2.1. Componenti globali
2.2. Componenti locali
2.2.1. Tettonica Regionale
2.2.1.1. Acquisizione del dato
2.2.1.2. Elaborazione del dato
2.2.2. Glacio-idro-isostasia
2.3 Risultante delle componenti
3. 3. Modello Digitale del Terreno (DEM) *pag. 13*
3.1. Analisi dei dati
3.2. Generazione del modello digitale del terreno
3.3. Elaborazione delle aree suscettibili alla sommersione per Relative Sea Level Rise (RSLR)
4. Valutazione degli impatti: areale di territorio suscettibile a Sommersione *pag. 19*
4.1. Casi di sommersione della fascia di retro-spiaggia
5. Considerazioni conclusive *pag. 25*
Bibliografia *pag. 26*

VALUTAZIONE DEI POSSIBILI SCENARI DI RISALITA DEL LIVELLO MARINO SULLA FASCIA COSTIERA ABRUZZESE E STRUMENTI DI SUPPORTO ALLA GESTIONE DEL TERRITORIO DELLA REGIONE ABRUZZO.

* Di Palo C., *Antonioli F., **Parlagreco L., **Silenzi S., **Devoti S., **Leoni G.
* ENEA, Dipartimento Ambiente
** ISPRA, Unità Cambiamenti Climatici e Studi Costieri

1. Introduzione

Il lavoro descritto in questa pubblicazione è la conseguenza logica dello studio commissionato nel 2005 dalla Regione Abruzzo all'ENEA (Progetto di fattibilità per la valutazione della vulnerabilità e degli impatti delle variazioni climatiche sulla Regione Abruzzo ed ipotesi d'adattamento) in cui è stato definito, per il settore costiero, con la collaborazione dell'ICRAM un complesso percorso metodologico con lo scopo di fornire alla pubblica amministrazione un supporto scientifico valido per la valutazione delle criticità ambientali, connesse direttamente e indirettamente al sollevamento del livello marino relativo.

I principali punti su cui si è strutturato l'approccio metodologico proposto nel 2005 sono:

- la valutazione del contributo geologico locale ai futuri scenari di sollevamento del livello marino (valutazione del Relative Sea Level Rise, RSLR);
- la modellizzazione della risposta costiera agli scenari di RSLR.

In un'ottica di gestione costiera di lungo periodo, questa tipologia di analisi può essere utilizzata per calibrare gli scenari previsionali di variazione del livello marino, tenendo in considerazione anche le peculiarità tettoniche dei margini costieri.

Infatti una corretta gestione costiera dovrebbe tenere in considerazione sia le previsioni delle variazioni globali di sollevamento marino (Sea Level Rise - SLR), sia le componenti geologiche locali che ne possono modificare, anche sensibilmente, le entità.

Le stesse interazioni tra dinamiche globali e locali hanno contribuito, durante gli ultimi 10.000 anni, a modificare la morfologia della fascia costiera abruzzese e a delinearne l'attuale conformazione.

Nel quarto rapporto IPCC è stato indicato come le variazioni del livello marino nel Mediterraneo siano notevolmente svincolate dalle tendenze globali, essendo sensibilmente legate alle caratteristiche climatiche regionali e geologiche.

Le previsioni globali pubblicate da IPPC nel 2007 danno un range di sollevamento dei mari atteso per il prossimo secolo compreso tra 18 e 59 centimetri.

Più recentemente tali previsioni sembrano essere ancora più negative, infatti come evidenziato dal New Scientist (2009) e da Nature Geoscinces (Roholing et al., 2009) sono attesi per il prossimo secolo sollevamenti intorno al metro e per i prossimi 3 millenni intorno ai 24 metri.

Questi dati sono intesi a livello globale ma se entriamo nello specifico del Mediterraneo e dei mari Italiani, le cose cambiano, e possono cambiare in negativo (innalzamenti più alti) o in positivo (innalzamenti più bassi) questo dipende da altri movimenti non legati allo scioglimento dei ghiacci, i movimenti isostatici e quelli tettonici.

A tale proposito il progetto "Valutazione dei possibili scenari di risalita del livello marino sulla fascia costiera abruzzese e strumenti di supporto alla gestione del territorio della Regione Abruzzo" si pone come primo obiettivo l'analisi delle comportamenti locali che hanno determinato le fasi

evolutive della fascia costiera abruzzese (durante gli ultimi 10.000 anni), fornendo importanti informazioni sulle entità di movimentazioni verticali della superficie terrestre.

La collaborazione ENEA-Regione Abruzzo, ha reso possibile la conoscenza di questi parametri, non noti per le coste abruzzesi, rendendo possibile una più sicura previsione su quanto potrà accadere alle coste abruzzesi nel 2100.

I siti utilizzati per tali finalità si collocano nella porzione settentrionale e centrale del litorale, ovvero Alba Adriatica e Giulianova (provincia di Teramo) e Pescara. Nella precedente convenzione ENEA-Regione Abruzzo è stato analizzato il comportamento tettonico della porzione meridionale del litorale (Foce del Sangro).

Per quanto riguarda il risvolto applicativo del progetto "Valutazione dei possibili scenari di risalita del livello marino sulla fascia costiera abruzzese e strumenti di supporto alla gestione del territorio della Regione Abruzzo" si è tradotto nell'elaborazione e valutazione degli scenari di sommersione della fascia costiera abruzzese per gli anni 2015/2025/2050/2100 e nel computo degli areali di territorio costiero potenzialmente soggetti a sommersione nell'anno 2100 come risultato dell'interazione tra i fattori geologici locali e gli scenari previsionali IPCC 2007.

2. Le previsioni di RSLR per la fascia costiera abruzzese

In connessione alle variazioni dei parametri orbitali terrestri la quantità di irradiazione solare che raggiunge la superficie terrestre subisce importanti oscillazioni.

Durante l'ultimo milione di anni, questo fenomeno ha causato l'alternanza di fasi "fredde" e fasi "calde" ogni centomila anni (circa).

Con riferimento al nostro emisfero, nei periodi glaciali (fase fredda) la riduzione dell'insolazione estiva ha favorito l'aumento del volume di acqua intrappolata nelle calotte polari, producendo una riduzione del volume delle masse oceaniche e conseguenti abbassamenti del livello marino.

Basti pensare che, durante l'ultimo ciclo glaciale il livello del mare si è posizionato a -120 m rispetto l'attuale. Nei periodi interglaciali (fase calda), al contrario, l'aumento della fusione delle coltri glaciali ha causato (e probabilmente sta causando) la risalita del livello marino.

Il complesso meccanismo che regola, in funzione degli eventi glaciali e interglaciali, la variazione globale del livello del mare è noto come *glacio-eustatismo*. L'*eustatismo* esprime in generale le variazioni di quota assoluta del livello del mare.

In funzione di queste variazioni il settore costiero subisce importanti trasformazioni morfologiche ed ambientali.

La complessa evoluzione della costa però, non dipende esclusivamente dalle variazioni assolute del livello marino (livello eustatico) ma dipende dall'interazione tra tassi di variazione eustatica (o glacio-eustatica), tassi di sollevamento/abbassamento del substrato.

L'applicazione delle stime di sollevamento del livello marino ai processi di gestione della fascia costiera è funzione, quindi, della localizzazione geografica (e quindi geologica) del sito di interesse, dell'arco temporale di riferimento (gestione nel breve, medio o lungo termine) e della tolleranza del rischio, ovvero della soglia minima dei "danni che si è disposti ad accettare" in funzione di un determinato scenario di impatto.

In questo quadro concettuale, l'utilizzo di scenari previsionali di sollevamento del livello marino "poco probabili" ma "altamente impattanti" fornisce una valutazione del rischio "conservativa", ovvero una valutazione del rischio che, qualora applicata alla pianificazione costiera, possa assicurare una bassa tolleranza di rischio in un lungo periodo previsionale e per scenari molto impattanti.

2.1. Componenti globali

Le stime di surriscaldamento globale per il prossimo secolo, e di conseguenza le stime di aumento di volume delle masse oceaniche, sono basate sulle previsioni di emissione dei gas serra nell'atmosfera.

Gli SRES dell'IPCC (Special Report on Emission Scenarios dell'Intergovernmental Panel on Climate Change) forniscono i risultati delle simulazioni dell'aumento di temperatura globale in funzione di scenari di emissione di CO_2 nell'atmosfera (fig. 1).

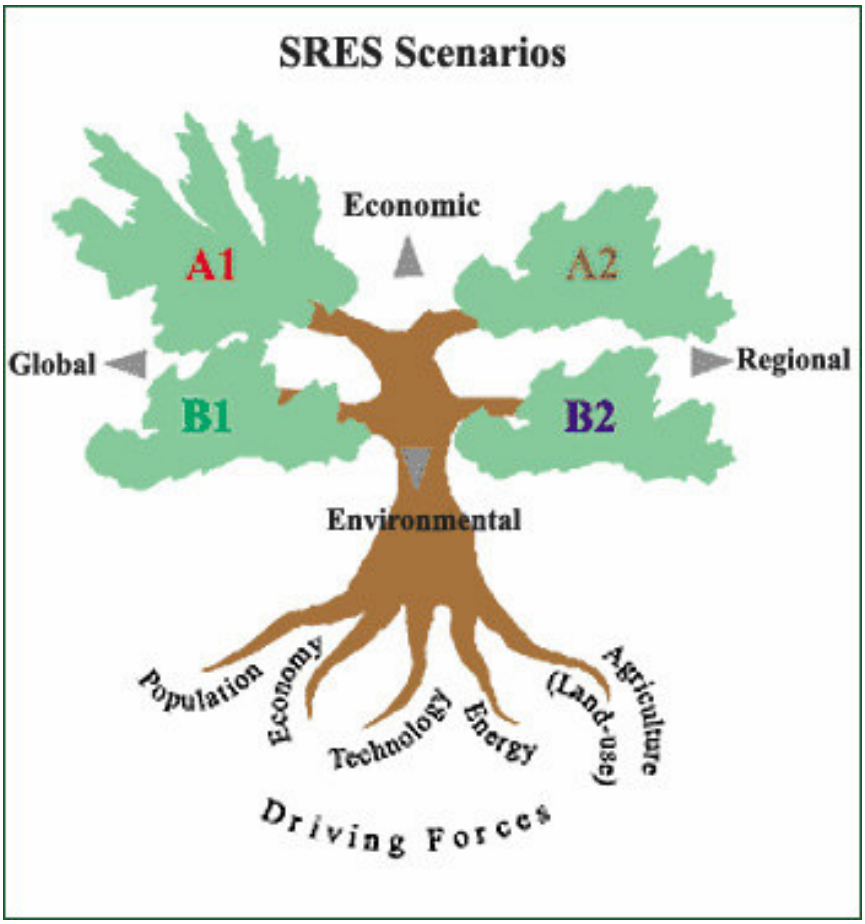

Figura 1. - Input e output degli SRES.

Gli scenari di emissione dei gas serra si basano sulla previsione dei fattori che ne possono caratterizzare (direttamente e indirettamente) le tendenze:

- trend di crescita della popolazione mondiale;
- trend di sviluppo socio-economico;
- trend di fabbisogno energetico e sviluppo tecnologico;
- trend di emissione di CO_2 in funzione delle politiche agricole e delle previsioni di cambio di destinazione dell'uso del suolo.

I quattro gruppi di scenari riportati in figura 1 sono di seguito sintetizzati (Nakicenovic et al., 2000):

- parametri forzanti del modello A1: rapida crescita economica, crescita della popolazione contraddistinta da un picco a metà del secolo e successivo declino, rapida introduzione di nuove e più efficienti tecnologie;

Il gruppo di scenari A1 viene ulteriormente suddiviso in tre sottoclassi, in funzione dello sviluppo tecnologico ed energetico:

- A1FI: consumo energetico di carburanti fossili;
- A1T: consumo di energie non-fossili;
- A1B: consumo energetico bilanciato, utilizzo di varie fonti energetiche.

- parametri forzanti del modello A2: aumento continuo della popolazione mondiale, sviluppo economico regionalizzato (non globale);
- parametri forzanti del modello B1: crescita della popolazione simile al A1, sviluppo economico e tecnologico indirizzato ad una maggiore sostenibilità;
- parametri forzanti del modello B2: grande enfasi alla sostenibilità, crescita della popolazione continua (inferiore al A2), sviluppo economico intermedio.

In figura 2 è riportato l'andamento della concentrazione di CO_2 nell'atmosfera negli ultimi 50 anni. Il valore medio di riferimento attuale ammonta a circa 389 ppm.

Le stime di SLR fornite dall'IPCC si basano, conseguentemente, sulle previsioni degli SRES.

Attualmente, le previsioni del quarto rapporto AR4 IPCC 2007 indicano per il XXI secolo un progressivo aumento del livello marino compreso tra un minimo di 18 cm ed un massimo di 59 cm (fig. 3).

L'approccio adottato fornisce un risultato sintetico e facilmente interpretabile nel momento della programmazione.

Con questo obiettivo, quindi, sono stati scelti due scenari di SLR (Tab. 1):

1. uno "scenario di minimo", statisticamente più probabile ma caratterizzato da una "modesta" entità di sollevamento del livello marino (conservativo dal punto di vista della probabilità di occorrenza);
2. uno "scenario di massimo", statisticamente meno probabile ma caratterizzato da una "elevata" entità di sollevamento del livello marino (conservativo dal punto di vista dell'entità degli impatti potenziali).

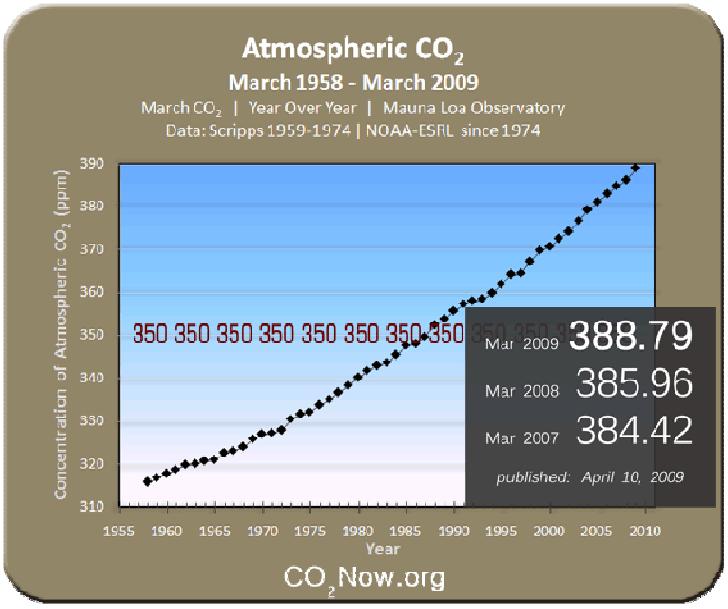

Figura 2. – Andamento della concentrazione di CO_2 nell'atmosfera negli ultimi 50 anni e valore di CO_2 atmosferico al Marzo 2009. *Da www.co2now.org.*

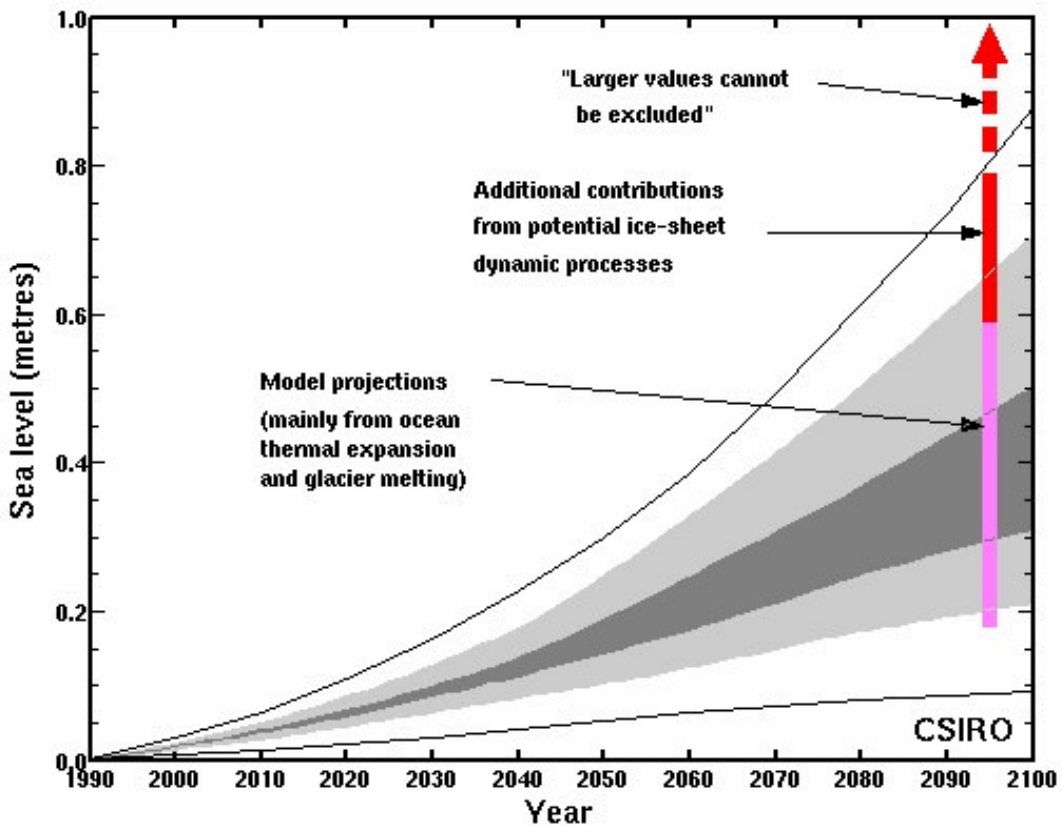

Figura 3. – Previsioni di SLR per il XXI secolo (TAR IPCC 2001). La barra rosa rappresenta il range di valori previsti dai modelli AR4 IPCC 2007. Le barre rosse riportano i valori massimi calcolati per contributi addizionali dovuti alle dinamiche di fusione delle maggiori calotte glaciali (CSRIO, 2008).

Tale assunzione fornisce, nel momento decisionale, un approccio gestionale di tipo dinamico, ovvero uno strumento utile per la valutazione, in funzione di previsioni sensibilmente differenti, dei *danni potenziali* connessi a diversi scenari di *vulnerabilità* (approccio multi-scenario).

Tabella 1. – Scenari di SLR utilizzati nel presente studio. Fonte del dato Mote et alii (2008).

Scenario di emissione CO^2	Quantitativo di CO^2 emessa	Scenario di SLR correlato		
		valore + incertezza	valor minimo	Valor massimo
B1	600 ppm	2,8 ± 1 mm/an.	1,8 mm/anno	3,8 mm/anno
A1FI	1550 ppm	4,25 ± 1,65mm/an.	2,6 mm/anno	5,9 mm/anno

Le proiezioni di SLR derivanti dagli scenari di emissione prescelti sono riportate in Tabella 2.

Tabella 2. - Scenari di SLR per il prossimo secolo utilizzati nel presente studio. Il computo del SLR risulta dal prodotto del tasso (mm/anno) per l'intervallo previsionale, partendo dal 2009.

Anno	IPCC 2007 - AR4			
	Scenario	Mm/anno	SLR mm	SLR cm
2015	**B1 min**	**1,8**	**10,8**	**1,08**
	A1FI max	**5,9**	**35,4**	**3,54**
2025	**B1 min**	**1,8**	**28,8**	**2,88**
	A1FI max	**5,9**	**94,4**	**9,44**
2050	**B1 min**	**1,8**	**73,8**	**7,38**
	A1FI max	**5,9**	**241,9**	**24,19**
2100	**B1 min**	**1,8**	**163,8**	**16,38**
	A1FI max	**5,9**	**536,9**	**53,69**

2.2 Componenti locali

In relazione alla mobilità delle placche litosferiche la superfice terrestre viene interessata da una serie di movimenti verticali (e orizzontali) la cui natura e velocità sono strettamente dipendenti sia dell'intervallo temporale che si prende in considerazione, sia della storia geologica locale.

La neotettonica costiera valuta i movimenti tettonici che sono occorsi a partire dal Pleistocene superiore tramite l'utilizzo di *marker* geomorfologici attribuiti al MIS 5.5 (stadio isotopico 5e, denominato Tirreniano e datato a 125.000 anni) e relativi a paleostazionamenti del livello marino (Conato & Dai Pra, 1980; Dai Pra & Hearty, 1988; Cosentino & Gliozzi, 1988; Carobene & Dai Pra, 1990, 1991; Westaway, 1993; Antonioli & Silenzi, 1998; Zazo et al., 1999; Nisi et al., 2003).

Misurando l'attuale quota bati/altimetrica dei markers, e rapportandola a quella eustatica tirreniana (pari a 7 ± 1 m sul livello del mare attuale), si calcola quantitativamente, e con buona precisione, l'entità media della componente verticale delle dislocazioni degli ultimi 125 mila anni. (Antonioli et al., 2000; Nisi et al., 2003; Ferranti et al., 2006).

Analogamente, considerando che durante l'ultimo periodo interglaciale il livello marino eustatico non ha mai superato quello attuale, si possono utilizzare i marker geomorfologici olocenici come *datum* di riferimento (Antonioli et alii, 2009).

In questo lavoro, data la mancanza di markers tirreniani lungo le coste abruzzesi (fig. 4), è stata utilizzata la metodologia di analisi riportata in Antonioli et alii (2009).

2.2.1. Tettonica regionale

Come logica prosecuzione della precedente convenzione ('*Progetto di fattibilità per la valutazione della vulnerabilità e degli impatti delle variazioni climatiche sulla Regione Abruzzo ed ipotesi d'adattamento*') è stato allargato il campo di analisi all'intera costa abruzzese.

In particolare, considerando la natura degli studi condotti, sono state definite due macro-aree di campionamento: la costa teramana e la costa pescarese. La porzione meridionale è stata, appunto, oggetto della scorsa convenzione (costa teatina).

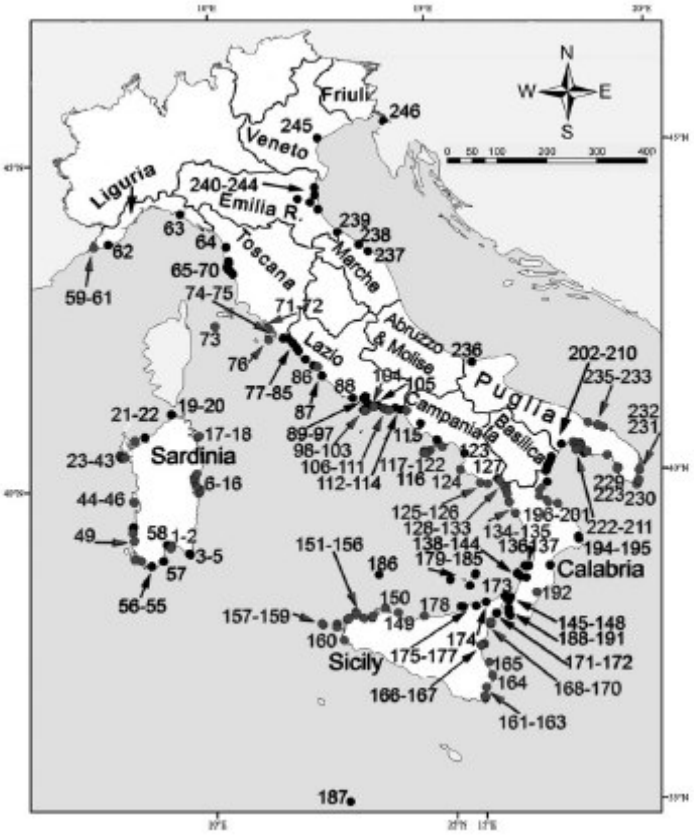

Figura 4. – Distribuzione dei markers tirreniani lungo le coste italiane. Da Ferranti et al, (2006).

2.2.1.1. Acquisizione del dato

Sono stati analizzati tre sondaggi geognostici effettuati lungo la fascia costiera abruzzese.

L'ubicazione dei sondaggi è stata vincolata dalla necessità di carotare almeno per alcune decine di metri i depositi tardo-quaternari e olocenici, e di rinvenire livelli "sedimentari" databili e indicanti un paleo-livello marino (*still standing*), tali da consentire una datazione delle fasi ingressive e regressive susseguitesi nel bacino Adriatico centrale.

La metodologia di perforazione prescelta, con carotiere semplice a rotazione, ha fornito una percentuale di recupero compresa tra il 70 e il 100 % in funzione delle litologie perforate.

Durante la perforazione il foro è stato rivestito da camicia di 180mm di diametro.

<u>Sondaggio "Stadio Adriatico di Pescara" - I4M</u>

Il sondaggio è stato effettuato presso la "Curva Sud" dello Stadio (fig. 5, 6 e 7), ad una distanza di circa 600 m dalla linea di riva e a circa 1.5km a SE dell'alveo del Pescara.

In particolare il bocca pozzo ha le seguenti coordinate: Long. 14.22998, Lat. 42.45423, quota 1.5 mslm.

La successione stratigrafica perforata è costituita da un'alternanza di depositi che segnano l'alternanza di ambienti de posizionali associati a sistemi fluvio-deltizio, marino-marginale e di spiaggia.

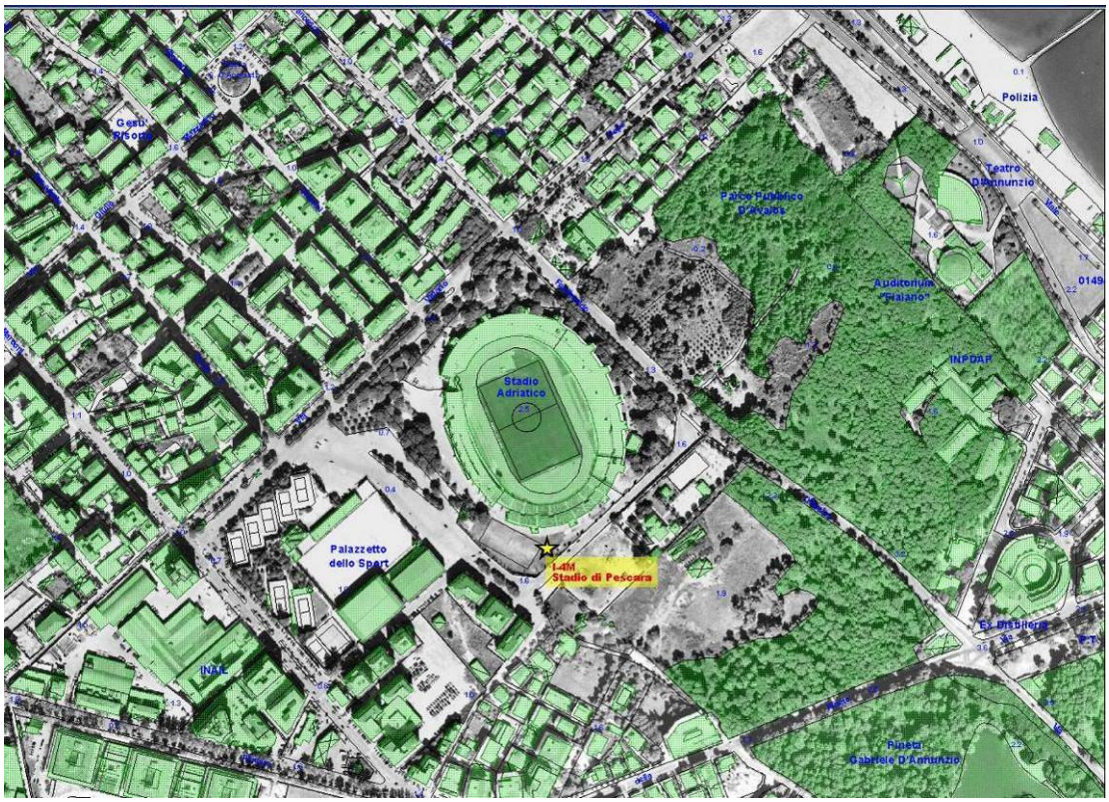

Figura 5. - Ubicazione del sondaggio I4M.

In particolare, procedendo dal basso della successione stratigrafica, sono stati rinvenuti:

- (19/13.2 m dal piano campagna) 6 metri di ghiaie etero metriche ed etero formi in matrice sabbioso limosa grigia, localmente limi sabbiosi con elevato contenuto di materiale vegetale e resti lignei;

- (13.2/9.3 m dal piano campagna) 4 metri di limi grigi localmente limo-sabbioso con frequenti livelli di materiale vegetale (foglie) e resti di molluschi (bivalvi e gasteropodi);

  (9.3/7 m dal piano campagna) 2.5 metri di ghiaia fine e granuli in matrice sabbiosa grigia, localmente livelli più limoso-sabbiosi con inclusi frammenti di gusci calcarei;

- (7/0 m dal piano campagna) 7 metri di sabbie medie ocracee con ciottoli sparsi, frequenti frammenti di gusci di bivalvi.

<u>Sondaggio "Alba Adriatica"- I5M</u>

Il sondaggio è stato effettuato presso il campo sportivo comunale di Via degli Oleandri (fig. 8), ad una distanza di circa 500 m dalla linea di riva e a circa 2.2km a SE dell'alveo del Vibrata.

In particolare il bocca pozzo ha le seguenti coordinate: Long. 13.93241, Lat. 42. 81856, quota 3.2 mslm.

La successione stratigrafica perforata è costituita da una successione sabbioso e sabbioso-ghiaiosa dello spessore di 11.5 m che poggia in disconformità sulle argille sovra consolidate plioceniche.

Figura 6. – Esecuzione del sondaggio I4M.

Figura 7. – Esecuzione del sondaggio I4M.

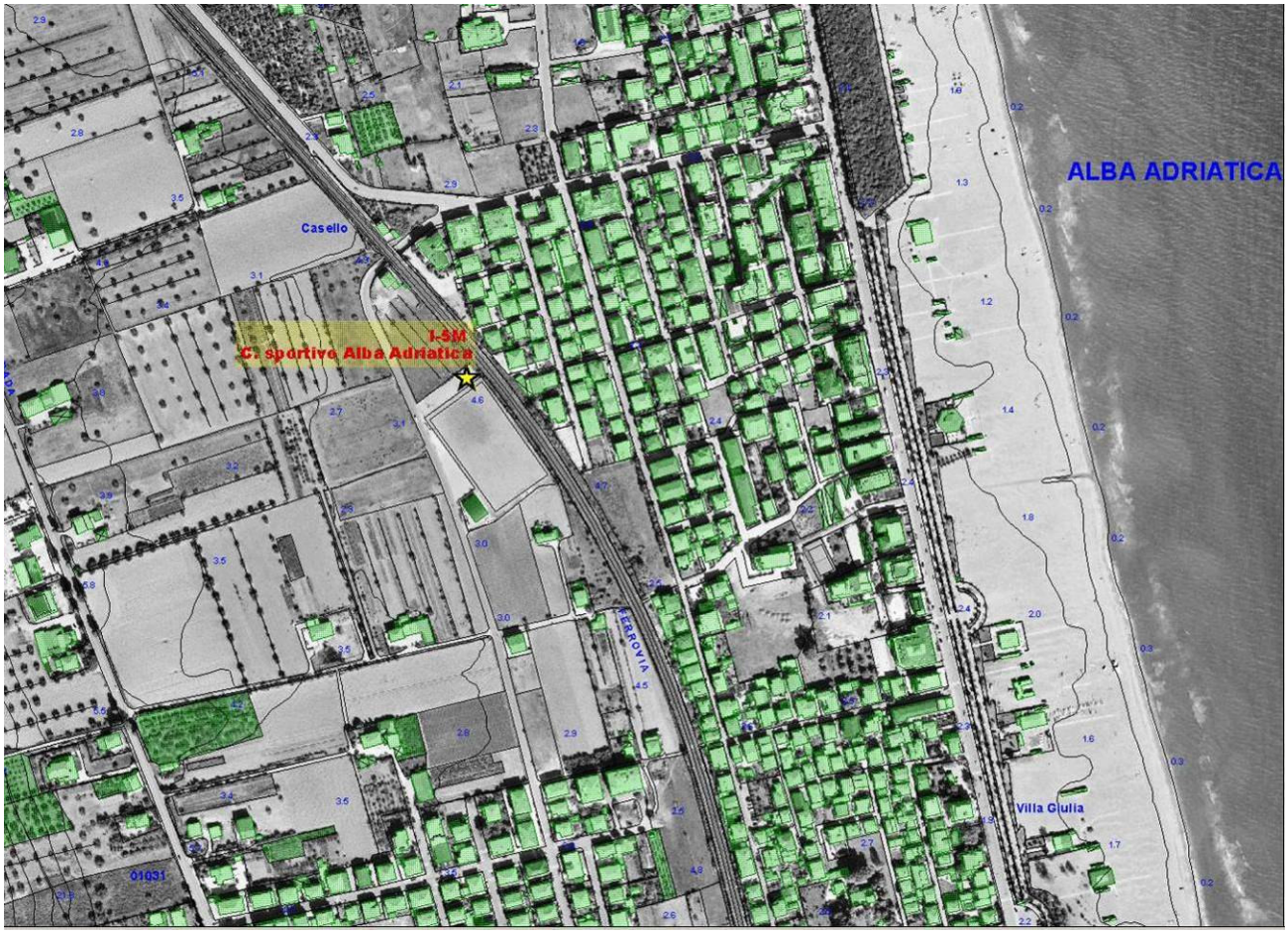

Figura 8. - Ubicazione del sondaggio I5M.

<u>Sondaggio "Giulianova"- I6M</u>

Il sondaggio è stato effettuato presso un cantiere edile sito nel proseguimento di via Parini (fig. 9), ad una distanza di circa 700 m dalla linea di riva e a circa 2.7km a SE dell'alveo del Salinello.

In particolare il bocca pozzo ha le seguenti coordinate: Long. 13.95983, Lat. 42.75699, quota 2.3 mslm.

La successione stratigrafica perforata è costituita da circa nove metri di ghiaie in matrice sabbiosa e sabbie, che poggiano in disconformità sulle argille plioceniche

2.2.1.2. Elaborazione del dato

La tipologia di analisi utilizzata (analisi paleo-ambientale e paleo-eustatica) ha permesso di ricostruire una curva della variazione relativa del livello marino che ha agito lungo la fascia costiera abruzzese durante l'Olocene (Parlagreco et alii, 2009).

Successivamente è stata valutata la relazione tra i dati analizzati nel presente studio e le curve di Lambeck et al. (2004) elaborate per la regione italiana (tra cui il margine costiero abruzzese).

Da tale confronto è risulta che i tassi di sollevamento tettonico variano nel tempo, con valori molto prossimi alla stabilità tettonica (0 mm/anno).

Dal punto di vista applicativo, ed in un'ottica di gestione della fascia costiera di lungo periodo, le future variazioni del livello marino saranno maggiormente influenzate dalle dinamiche eustatiche (sia naturali che indotte dal cambiamento climatico).

Figura 9. - Ubicazione del sondaggio I6M..

2.2.2. Glacio - Idro – Isostasia

Il fenomeno dell'espansione e del ritiro delle calotte glaciali connesse alle variazioni climatiche ha ripetutamente influenzato sia la storia geologica della Terra.

La crosta terrestre infatti tende a raggiungere una situazione di equilibrio isostatico, ovvero un equilibrio tra le forze verticali e orizzontali che agiscono su un'unità di volume rispetto ad una superficie neutra.

Di conseguenza le variazioni di peso dovute all'espansione o al ritiro delle coltri glaciali ne inducono movimenti verticali di riequilibrio, la *glacio-isostasia.*

I movimenti glacio-isostatici saranno tanto maggiori quanto maggiori sono state le variazioni del peso dei ghiacci.

Per lo stesso principio fisico, e in relazione all'effetto che le variazioni di volume dei ghiacci polari hanno sulle variazioni di volume delle masse d'acqua oceaniche, la variazione del peso della colonna d'acqua gravante sul fondale marino inducono su questo un movimento di riequilibrio *idro-isostatico*.

In questo quadro Lambeck et al. (2004) spiegano come nel Mediterraneo i bacini oceanici siano interessati da maggiori tassi di "sprofondamento" rispetto i settori costieri.

Il contributo complessivo della *glacio-idro-isostasia* alle variazioni del livello marino, inteso in termini di tassi di sollevamento o abbassamento, è funzione della distanza dalle calotte glaciali e della natura litologica della crosta terrestre che, non essendo omogenea, risponde alle variazioni di carico glacio-isostatico o idro-isostatico con velocità differenti.

Per questi motivi l'entità della risposta *glacio-idro-isostatica* lungo la nostra penisola varia da Nord a Sud .

Le curve di predizione di Lambeck et al. (2004) e i recenti dati scaturiti dalle ultime calibrazioni del modello Glacio-Idro-Isostatico per la regione mediterranea, indicano che il settore Adriatico centrale è interessato, e lo sarà nel prossimo secolo, da movimenti di riequilibrio isostatici stimati in circa 0,5 mm/anno.

2.3. Risultante delle componenti

I valori di RSLR definiti per la costa abruzzese sono riportati nella seguente tabella, e risultano dalla combinazione delle tabelle 1, 2.

Tabella 3. – Scenari di RSLR per la fascia costiera abruzzese.

Anno	*IPCC 2007 - AR4*				*Tettonica*		*Glacio-Idro-Isostasia*			*RSLR*	
	Scenario	SLR			mm/a	mm	mm/a	mm	cm	**mm**	**cm**
		mm/a	mm	cm							
2015	B1 min	1,8	10,8	1,08	0	0	0,5	3	0,3	13,8	**1,38**
	A1FI max	5,9	35,4	3,54	0	0	0,5	3	0,3	38,4	**3,84**
2025	B1 min	1,8	28,8	2,88	0	0	0,5	8	0,8	36,8	**3,68**
	A1FI max	5,9	94,4	9,44	0	0	0,5	8	0,8	102,4	**10,24**
2050	B1 min	1,8	73,8	7,38	0	0	0,5	20,5	2,05	94,3	**9,43**
	A1FI max	5,9	241,9	24,19	0	0	0,5	20,5	2,05	262,4	**26,24**
2100	B1 min	1,8	163,8	16,38	0	0	0,5	45,5	4,55	209,3	**20,93**
	A1FI max	5,9	536,9	53,69	0	0	0,5	45,5	4,55	582,4	**58,24**

La figura 10 mostra le differenze tra i scenari di minimo e massimo RSLR e le singole componenti.

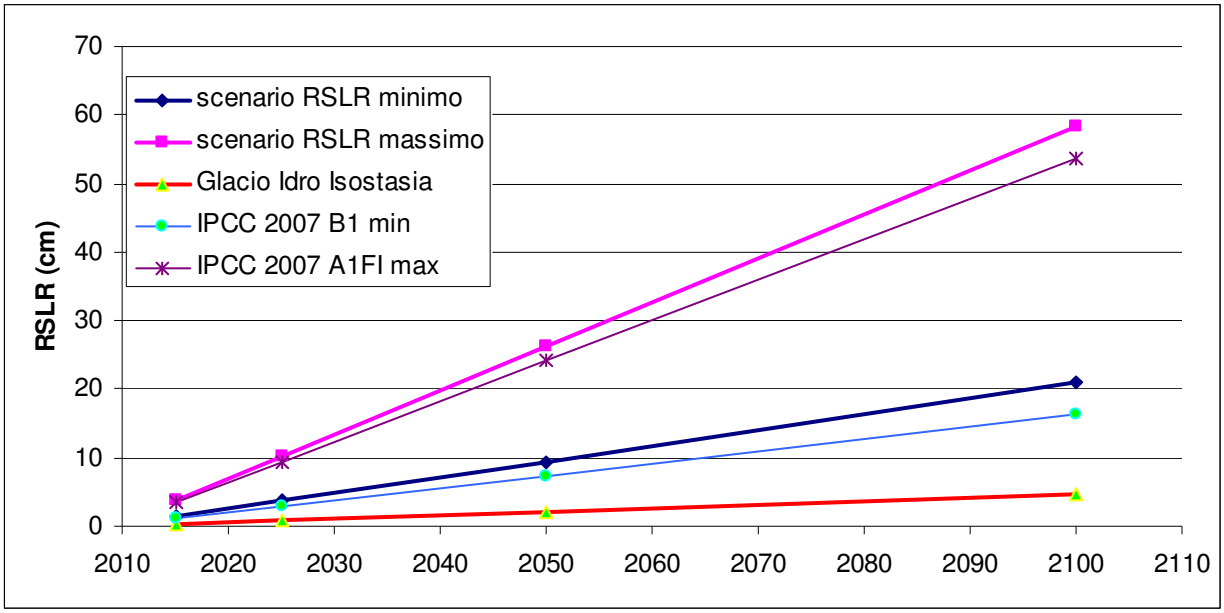

Figura 10. – Confronto tra i scenari di RSLR (minimo e massimo) e le singole componenti.

3. Modello digitale del terreno

Per la determinazione delle aree suscettibili a sommersione in funzione di diversi scenari di RSLR per il prossimo secolo è stato elaborato, in ambiente GIS (Geographic Information System), un modello digitale del terreno (DEM) dell'area costiera.

L'analisi di dettaglio dei dati ha permesso di riconoscere sufficiente coerenza geometrica fra la *Carta Tecnica Regionale Numerica* (CTRN) e *Ortofoto Regione Abruzzo (2002-2005)*, unici riferimenti impiegati nel seguito delle elaborazioni.

3.1. Analisi dei dati

L'analisi comparata dei dati forniti dalla Regione Abruzzo ha permesso di distinguerli in funzione della scala di dettaglio utile.

Per definire l'area di studio utile in primo luogo è stato mosaicato il DEM (cella 40 metri, originariamente diviso in 89 sezioni) e da esso sono state ricavate le isoipse di quota 5 e 10 metri s.l.m. attuale.

Sebbene né il dettaglio né l'aggiornamento del DEM sia paragonabile alla Carta Tecnica Regionale Numerica (CTRN, scala 1:5.000), tali quote hanno permesso di evidenziare con buona approssimazione l'andamento delle principali piane fluviali e delle fasce costiere comprese fra esse.

Per garantire una migliore attendibilità è stata considerata un'area di studio estesa almeno 200 metri verso l'interno a partire dalla isoipsa 10 m. Successivamente è stato regolarizzato il tratto manualmente per rappresentare in modo utile le aree di pertinenza della fascia costiera (fig. 11).
L'area di studio così ricavata è quella indagata nelle successive elaborazioni; essa misura circa 120 km di lunghezza per 250 kmq di estensione areale.

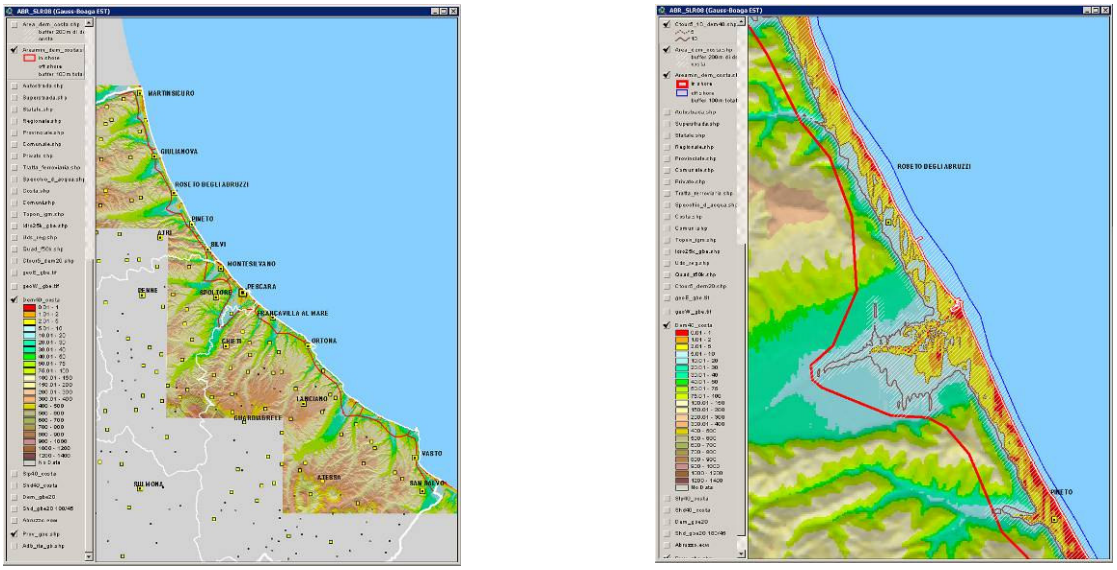

Figura 11. - Vista d'insieme (sinistra) e di dettaglio (destra) dell'area di studio.

Dopo aver definito l'area di studio l'analisi si è volta all'elaborazione della CTRN con la selezione, mosaicatura e analisi delle 76 sezioni in scala 1:5.000, suddivise in 11 Fogli in scala 1:50.000 (fig. 12).

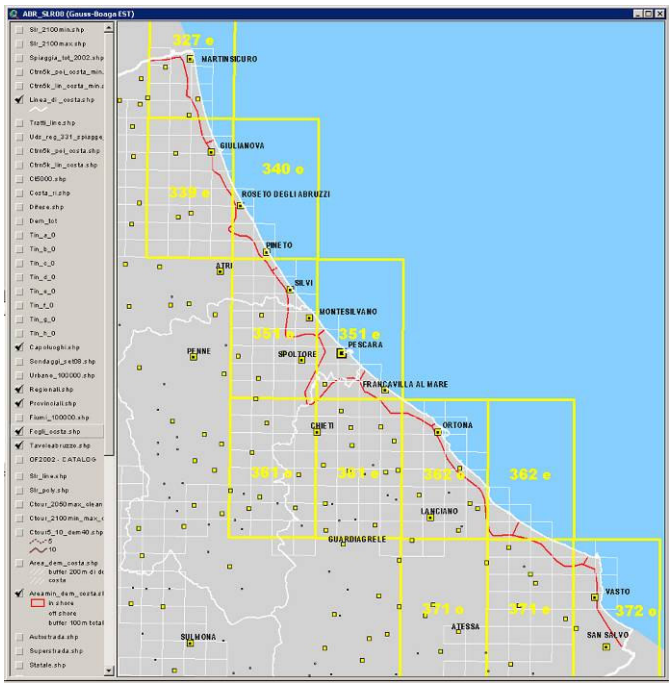

Figura 12. - Quadro d'unione dei Fogli (giallo) e delle Sezioni (bianco) di CTRN dell'area di studio (rosso).

In seguito alla mosaicatura degli shapefile relativi a punti, linee e poligoni della CTRN sono stati analizzati sistematicamente gli elementi topografici in funzione della loro classificazione di legenda e del loro possibile impiego per la generazione del modello digitale del terreno (tab. 4).

Tabella 4. - Lista delle classi di leggenda della CTRN e loro significatività per la generazione del DEM.

Layer	Line Point	Descrizione	Impiego per il DEM	Layer	Line Point	Descrizione	Impiego per il DEM
12010	L	Linea di Roccia	sì	22120	L	Costa di Mare	sì
12020	L	Curva di Livello Direttrice	sì	22130	L	Costa Laguna	sì
12021	L	Curva Livello Direttrice Invisibile	sì	22140	L	Costa Artificiale, Banchina, Molo, Pontile	sì
12030	L	Curva di Livello Intermedia	sì	22150	L	Diga Foranea, Barriera Frangiflutti	sì
12031	L	Curva Livello Intermedia Invisibile	sì	22160	L	Canale Lagunare, Canale Subacqueo	no
12040	L	Curva di Livello Ausiliaria	sì	22170	L	Acquedotto	no
12041	L	Curva Livello Ausiliaria Invisibile	sì	22180	L	Costa di Mare Sabbiosa	sì
12050	L	Curva Livello Direttrice di Determinazione Incerta	sì	23010	P	Simbolo di Vasca,Abbeveratoio,Cisterna,Piscina	sì
12060	L	Curva Livello Intermedia di Determinazione Incerta	sì	23020	P	Fontana	sì
12070	L	Scarpata (ciglio)	sì	23030	P	Sorgente Perenne	sì
12080	L	Scarpata (piede)	sì	23040	P	Pozzo	sì
12090	L	Scarpata Rivestita (Ciglio)	sì	23050	P	Palude	sì
12100	L	Limite di Scarpata (Piede)	sì	23060	P	Freccia Direzione Acque	no
12110	L	Calanco, Frana	sì	23090	P	Fanale, Boa Luminosa	no
12120	L	Linea di Rottura del Terreno	sì	32010	L	Limite Bosco Tagliata	no
12121	L	Linea di rottura del terreno invisibile	sì	32020	L	Limite Coltura Agraria	no
13010	P	Segno di Depressione	no	32030	L	Limite Bosco con Sottobosco	no
13040	P	Punto Quotato di Origine Fotogrammetrica	sì	32040	L	Filare di Alberi	no
13041	P	Punto Quotato (?)	sì	32050	L	Filare di Viti	no
13051	P	Quota Ausiliaria	sì	32060	L	Filare di Viti e Alberi	no

Layer	Line Point	Descrizione	Impiego per il DEM	Layer	Line Point	Descrizione	Impiego per il DEM
22010	L	Riva di Fiume con Larghezza del Letto Rappresent.	sì	32070	L	Limite Prato, Pascolo, Magreto, Macchia, Brughiera	sì
22011	L	Riva Fiume/Corso Acqua Perenne Letto Rappr. Inv.	sì	33010	P	Albero Isolato	no
22020	L	Fiume / Corso Acqua Perenne Larg. Letto Non Rappr.	sì	33020	P	Vite	no
22021	L	Fiume/Corso Acqua Perenne Letto Non Rappr. Inv.	sì	33030	P	Latifoglia	no
22030	L	Riva Canale con Larghezza Letto Rappr.	sì	33050	P	Ceduo	no
22031	L	Riva Canale con Larghezza Letto Rappr.	sì	33060	P	Pioppo	no
22040	L	Canale con Larghezza del Letto Non Rappresentabile	sì	33070	P	Olivo	no
22041	L	Canale con Larghezza del Letto Non Rappr. Inv.	sì	33080	P	Simbolo di Frutteto	no
22050	L	Canale Irriguo Sopraelevato	sì	33090	P	Cespuglio	no
22051	L	Canale Irriguo Sopraelevato Inv.	sì	33100	P	Abete	no
22060	L	Scolina	sì	33110	P	Pino Mugo	no
22061	L	Scolina Inv.	sì	33120	P	Faggio	no
22070	L	Riva Ben Definita di Specchio Acqua o di Lago	sì	33130	P	Pino, Altra Conifera	no
22080	L	Riva Non Ben Defi. di Specchio Acqua,Lago o Palude	sì	33140	P	Simbolo Prato, Pascolo, Magreto	no
22090	L	Bordo Cascata, Rapida, Pescaia, Briglia	sì	33150	P	Simbolo Canneto	no
22100	L	Bordo di Diga	no	33160	P	Simbolo Risaia	no
22110	L	Vasca, Abbeveratoio, Cisterna, Piscina	sì	42010	L	Rudere	no
22115	L	Lumeggiamento Pozzo, Vasca, Piscina	no	42020	L	Delimitazione Interna di Portico	no
43110	P	Quota di Piede	no	42030	L	Rudere di Trinceramento o di Linea Fortificazione	no
43120	P	Quota di Gronda	no	42040	L	Bastione, Mura	no
43130	P	Croce Chiesa	no	42050	L	Tratto di Descrizione Continuo	no
43140	P	Simbolo Faro	no	42060	L	Tratto di Descrizione Tratteggiato	no
43160	P	Saetta	no	42070	L	Divisione Architettonica	no
43170	P	Istruzione (Scuole, UniversitÓ, etc.)	no	42080	L	Impianto Sportivo (Piste, Campi Da Gioco)	sì
43180	P	Uffici Postali	no	43010	P	Ciminiera, Forno	no
43200	P	Impianto Sportivo	no	43020	P	Silo	no
43210	P	(Ospedali , Pronto Soccorso Ecc.)	no	43030	P	Simbolo di Monumento	no
43220	P	Forze dell'ordine	no	43050	P	Croce Isolata	no
52010	L	Bordo Autostrada	sì	43060	P	Tabernacolo	no
52011	L	Bordo Autostrada Inv.	sì	43070	P	Simbolo di Sede Comunale	no
52018	L	Bordo Autostrada con Muro In Calce	sì	43080	P	Simbolo Cimitero	no
52019	L	Bordo Autostrada con Muro di Sostegno	sì	43090	P	Stazione di Rifornimento	no
52020	L	Bordo di Strada Principale a Fondo Artificiale	sì	43100	P	Simbolo Campeggio	no
52021	L	Bordo Strada Princ. Fondo Artific. Inv.	sì	52230	L	Galleria Stradale O Ferroviaria	no
52028	L	Bordo di Strada Principale Con Muri	sì	52240	L	Passaggio Acqua Canalizzato, Tombino	no
52029	L	Bordo di Strada Principale Con Muri di Sostegno	sì	53010	P	Cippo Chilometrico	no
52030	L	Bordo di Strada Secondaria A Fondo Artificiale	sì	62010	L	Oleodotto	no
52031	L	Bordo Strada Secondaria A Fondo Artific. Inv.	sì	62020	L	Metanodotto	no
52038	L	Bordo Strada Sec. A Fondo Artific. con Muro Calce	sì	62030	L	Elettrodotto	no
52039	L	Bordo Strada Sec. A Fondo Artific. con Muro Sost.	sì	62040	L	Teleferica Stabile per Materiali	no
52040	L	Spartitraffico o Mezzeria	sì	62060	L	Imbocco Galleria per Opere Varie	no
52050	L	Bordo di Rotabile A Fondo Naturale	sì	62070	L	Galleria per Opere Varie	no
52051	L	Bordo Rotabile Fondo Naturale Inv.	sì	62080	L	Condotta Forzata	no
52058	L	Bordo Rotabile Fondo Naturale con Muro Calce	sì	63020	P	Palo di Linea Elettrica, Pilone	no
52059	L	Bordo Rotabile Fondo Naturale con Muro Sost.	sì	63030	P	Traliccio	no

Layer	Line Point	Descrizione	Impiego per il DEM	Layer	Line Point	Descrizione	Impiego per il DEM
52060	L	Bordo Rotabile Fondo Naturale	sì	63040	P	Antenna per Telecomunicazioni	no
52070	L	Mulattiera	sì	63050	P	Impianto di Servizio di Reti Energetiche	no
52080	L	Sentiero	sì	72010	L	Muro in Muratura	sì
52090	L	Bordo di Strada In Costruzione	no	72020	L	Muro A Secco	sì
52100	L	Marciapiede	sì	72030	L	Muro di Sostegno	sì
52110	L	Aiuola Spartitraffico	sì	72040	L	Palizzata, Cancellata, Staccionata, Filo Spinato	sì
52120	L	Ponte, Viadotto	sì	72050	L	Siepe	sì
52130	L	Passerella	sì	72060	L	Limite generico pertinenziale	no
52140	L	Ferrovia A Scartamento Ordinario	sì	72061	L	Limite generico pertinenziale Inv.	no
52141	L	Ferrovia A Scartamento Ordinario Inv.	sì	82010	L	Limite Comune	no
52150	L	Ferrovia In Costruzione	no	82020	L	Limite Provincia	no
52160	L	Ferrovia In disarmo O Abbandono	no	82030	L	Limite di Regione	no
52170	L	Bordo di Sede Ferroviaria	sì	93100	P	Elemento geodetico	sì
52171	L	Bordo Sede Ferroviaria Inv.	sì	52180	L	Tranvia e Ferrovia A Scartamento Ridotto	sì
52190	L	Tranvia A Cremagliera, Funicolare	sì	52210	L	Banchina Stazione Ferroviaria	sì
					L	Imbocco Galleria Stradale O Ferroviaria	sì

Dalla CTRN è stata ricavata anche la linea di costa che delimita l'area di studio.

Tale linea di costa, considerata nel seguito del progetto, è stata regolarizzata escludendo le opere di difesa costiere sostanzialmente distaccate dalla riva; inoltre, per assicurare la necessaria coerenza topologica, sono state collegate le sponde dei fiumi areali e le bocche dei porti.

La scelta di trarre la linea di costa dalla CTRN, piuttosto che da altri rilievi, deriva dalla necessità di omogeneità fra elementi topografici impiegati per la generazione del DEM ed il confine rappresentato verso mare da tale linea "di progetto" e verso terra dall'area di studio precedentemente descritta.

L'analisi di dettaglio dei dati ha permesso di riconoscere sufficiente coerenza geometrica fra "CTRN" e "Ortofoto Regione Abruzzo (2002-2005)", che sono stati gli unici riferimenti impiegati nel seguito delle elaborazioni; i dati della "Carta della Linea di Costa (rilievo GPS, rilievo CTRN)" invece sono risultati relativamente discordanti rispetto all'ortofoto, e quindi il loro impiego risulterebbe subordinato ad una campagna di verifica "a terra", che, sebbene auspicabile, esula dai limiti del progetto presente.

3.2. Generazione del Modello Digitale del Terreno (DEM)

Per la generazione del Modello Digitale del Terreno, in quanto relativo alla superficie topografica, sono stati selezionati i soli elementi riferiti al piano campagna ed esclusi quelli relativi a manufatti, limiti amministrativi, etc.

Nella valutazione dell'attendibilità degli elementi topografici è stato analizzato inoltre il valore di quota proprio di ciascuno oggetto e sono stati scartati gli elementi che presentano anomalie altimetriche non compatibili con il modello tridimensionale della zona costiera (fig. 13).

Il passo successivo è consistito nell'elaborazione del DEM con gli elementi individuati: i punti e le linee della CTRN come elementi altimetrici e l'area di studio del progetto come confine del modello.

Figura 13. - Dettaglio di CTRN dell'area limitrofa al sondaggio I-6M (Giulianova). Sono evidenziati (in giallo) gli elementi lineari, ed etichettati (testo in rosso) gi elementi puntuali impiegati per la generazione del DEM.

Tale DEM è stato ricavato, tramite gli strumenti del GIS Arcview, nel formato TIN-ESRI che garantisce la conservazione del massimo dettaglio (fig. 14); per motivi tecnici l'elaborazione è stata condotta suddividendo l'area di studio in 8 zone.

Figura 14. - Dettaglio di CTRN e relativo DEM (ottenuto in formato TIN) dell'area limitrofa al sondaggio I-6M.

3.3. Elaborazione delle aree suscettibili alla sommersione per Relative Sea Level Rise (RSLR)

Per quanto il modello TIN sia il più adatto a descrivere la morfologia del terreno, in presenza di dati non abbastanza fitti, come ad esempio le spiagge più ampie, esso rappresenta la superficie tramite interpolazione puramente lineare fra gli elementi quotati adiacenti.

Ciò comporta, nelle zone pianeggianti e povere di elementi topografici una schematizzazione eccessivamente geometrica del rilievo.

Quindi, per ottenere un modello più rappresentativo del rilievo il DEM in formato TIN è stato convertito in formato raster (ESRI-GRID, cella di 2 metri) e da quest'ultimo sono state ricavate le isoipse relative agli scenari di RSLR previsti dal progetto per l'anno 2100: 20,93 cm per lo scenario minimo e 58,24 cm per lo scenario massimo.

Per gli scenari relativi a tempi più brevi è stata effettuata un'analisi a campione volta a stimare l'entità relativa dell'effetto, in quanto il dettaglio del modello, ricavato da cartografia in scala 1:5.000, non permette una risoluzione adeguata alla misura di RSLR di pochi centimetri.

Inoltre, nonostante l'analisi abbia permesso di individuare gli elementi utili alla rappresentazione, il dataset altimetrico resta affetto da qualche dato errato o mancante. Per questi motivi si è reso necessario provvedere alla validazione del DEM attraverso il confronto fra la superficie ottenuta e la realtà del territorio, rappresentata dall'ortofoto.

Tale operazione è stata condotta lungo tutta la costa a scala di estremo dettaglio (1:1.000) (fig. 15).

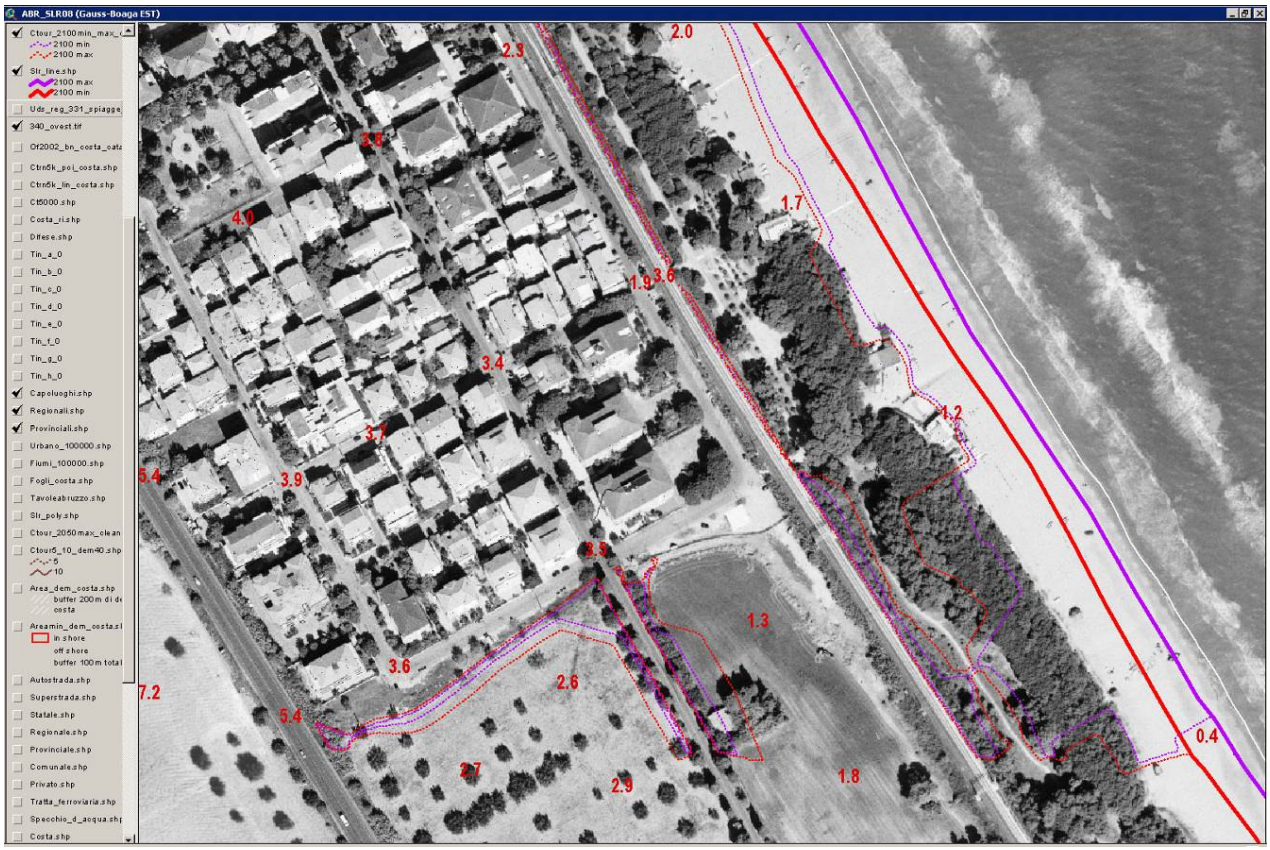

Figura 15.- Isoipse corrispondenti allo scenario di RSLR 2100 (viola=minimo, rosso=massimo). A tratteggio le isoipse originali ricavate dal DEM, a tratto continuo quelle validate rispetto all'ortofoto. Nel dettaglio relativo alla zona sud di Pineto, le due aree apparentemente depresse, quella interna e quella in corrispondenza della pineta, derivano dalla presenza di curve di livello della CTRN con quota nulla errata, mentre i punti quotati evidenziano, più verosimilmente, quote sempre superiori ad 1 metro..

Contestualmente alla correzione delle isoipse per gli scenari previsti, è stata rilevato ex-novo, sull'ortofoto, il limite interno della spiaggia attuale.

Le isoipse relative agli scenari di RSLR, così corrette, ed il limite della spiaggia sono state combinate con la linea di costa per ottenere, rispettivamente, le aree suscettibili alla sommersione e l'estensione della spiaggia attuale (fig. 16).

Dalla spazializzazione della condizione attuale della costa e degli scenari previsti sono state ricavate le tavole che rappresentano il fenomeno di risalita relativa del livello del mare lungo tutta la costa abruzzese, rispettivamente: "Carta dell'ampiezza di spiaggia (riferimento: anno 2002)", e "Carta della risalita del livello del mare (RSLR): scenari *2100 minimo* e *2100 massimo*".

4. Valutazione degli impatti: areale di territorio suscettibile a sommersione

Le valutazioni di suscettibilità alla sommersione per il territorio costiero abruzzese sono relative al confronto tra scenari previsionali 2100 e la "situazione 2002" desunta dalla digitalizzazione delle aereo-foto regionali del 2002.

L'areale totale di arenile regionale ammonta a 4.876.257 mq, con una larghezza media di 30,6 metri.

Per facilitare l'integrazione dei dati prodotti in questo studio con quelli del progetto S.I.CO.R.A, si è scelto di suddividere la fascia costiera negli stessi tratti individuati nel lavoro "Analisi del Rischio Morfologico e Socioeconomico della Fascia Costiera Abruzzese".

Figura 16. - Scenari di RSLR per l'anno 2100: minimo (viola), massimo (rosso); estensione della spiaggia attuale (blu). Dettaglio dell'area sud di Pineto.

Va tuttavia specificato che, sebbene l'individuazione originaria di questi tratti omogenei di costa sia stata funzionale all'ottimizzazione della trasposizione geografica della serie ondametrica della boa di Ortona sul litorale abruzzese, nel presente lavoro la medesima zonazione ha fornito buoni risultati nel processo di discretizzazione degli impatti della sommersione da RSLR.

In figura 17 si mostra l'andamento medio del parametro "ampiezza spiaggia" e "areale di spiaggia", ed in tabella 5 tali dati sono esplicitati per ogni singolo tratto.

L'ampiezza media, computata per ogni tratto, ricalca l'andamento morfologico della fascia costiera, caratterizzata da spiagge ampie nella porzione settentrionale e da esili spiagge bordanti le falesie nella porzione meridionale.

Definiti i valori medi di ampiezza dell'arenile è stato computato, per ogni settore, l'areale di spiaggia che potenzialmente si attesterà a quote prossime e/o inferiori al livello marino per i seguenti scenari (tab. 6 e 7, figure 18, 19 e 20):

- 2100 minimo (RSLR derivante dallo scenario IPCC B1);
- 2100 massimo (RSLR derivante dallo scenario IPCC A1FI).

La differenza di RSLR tra lo scenario "RSLR 2050 massimo" e "RSLR 2100 minimo", risultando minore di 5 cm, induce una differenza degli areali di sommersione difficilmente risolvibile dalla griglia di interpolazione con cui è stato strutturato il DEM.

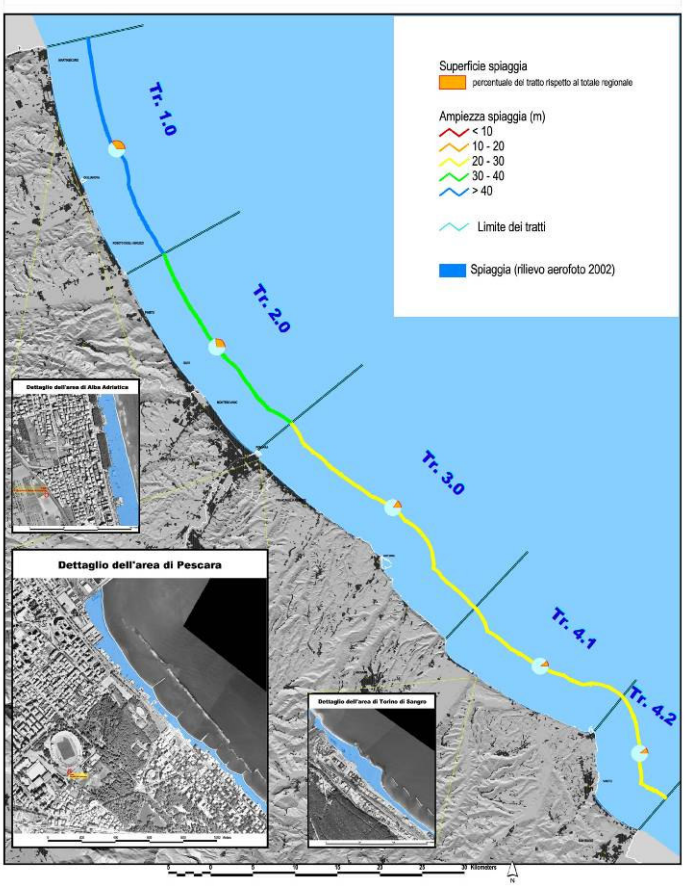

Figura 17. – Andamento dei parametri "ampiezza spiaggia" e "areale di spiaggia" nei 5 settori caratteristici del litorale abruzzese. L'areale di spiaggia rappresenta la percentuale di areale di un determinato tratto sul totale regionale.

Tabella 5. – Scenario di riferimento 2002: ampiezza di spiaggia e areale percentuale mediato per ogni tratto omogeneo.

ID settore	Area (mq)	% di area su totale regionale	Lunghezza (m)	Larghezza (m)	Dev. St. della larghezza.
Tr. 1.0	1691806,2876	34,69	27007	49,4875	24,9208
Tr. 2.0	1380133,8575	28,30	25898	37,575	27,7454
Tr. 3.0	740355,0994	15,18	22366	26,3944	17,3957
Tr. 4.1	543307,9613	11,14	19176	25,1545	13,5326
Tr. 4.2	520654,1424	10,67	10086	23,3167	22,7531

Per ovviare a tale limite, gli areali suscettibili a sommersione per lo scenario "RSLR 2050 massimo" sono stati valutati in via empirica:

1) in fase di elaborazione sono stati computati, per entrambe gli scenari, gli areali di aree suscettibili alla sommersione;

2) da un loro confronto, è stato possibile stimare un fattore di conversione tra le aree suscettibili a sommersione per lo scenario "RSLR 2050 massimo" e quelle per lo scenario "RSLR 2100 minimo"; tale fattore è pari a 1,34.

Se, quindi, lo scenario "RSLR 2100 minimo" induce 1 m di arretramento su un determinato segmento costiero, lo scenario "RSLR 2050 massimo" induce, sullo stesso tratto costiero, un arretramento pari a 1,34 volte lo scenario "2100 massimo" ovvero, 1,34 m.

Non sono stati inclusi gli scenari RSLR 2015, 2025 e 2050 minimo per un problema di risoluzione spaziale del fenomeno sommersione ovvero, per aliquote di RSLR inferiori al decimetro la superficie di arenile potenzialmente inondabile non è risolvibile dal modello digitale del terreno.

I valori di RSLR di questi ultimi scenari (tab. 3) sono comunque fondamentali e utili nelle fasi di progettazione delle opere di ingegneria costiera.

Tabella 6. – Scenario RSLR 2100 minimo : ampiezza di spiaggia e areale percentuale mediato per ogni tratto omogeneo.

ID settore	Area di spiaggia sommersa (mq)	% di area sommersa su areale del tratto al 2002	Larghezza spiaggia sommersa (m)	Dev. St. della larghezza.
Tr. 1.0	196490,5878	11,61	5,5	3,3
Tr. 2.0	159322,4026	11,54	3,8	2,4
Tr. 3.0	56043,337	7,57	3,9	2,5
Tr. 4.1	56191,5139	10,34	5,8	10,6
Tr. 4.2	59858,2475	11,49	2,5	2,1

Tabella 7. – Scenario RSLR 2100 massimo : ampiezza di spiaggia e areale percentuale mediato per ogni tratto omogeneo.

ID settore	Area di spiaggia sommersa (mq)	% di area sommersa su areale del tratto al 2002	Larghezza spiaggia sommersa (m)	Dev. St. della larghezza.
Tr. 1.0	510806,571	30,19	16,7	9,1
Tr. 2.0	443367,266	32,12	12,2	6,9
Tr. 3.0	203935,106	27,54	10,0	7,1
Tr. 4.1	166508,002	30,64	10,4	7,6
Tr. 4.2	171387,234	32,91	7,0	6,5

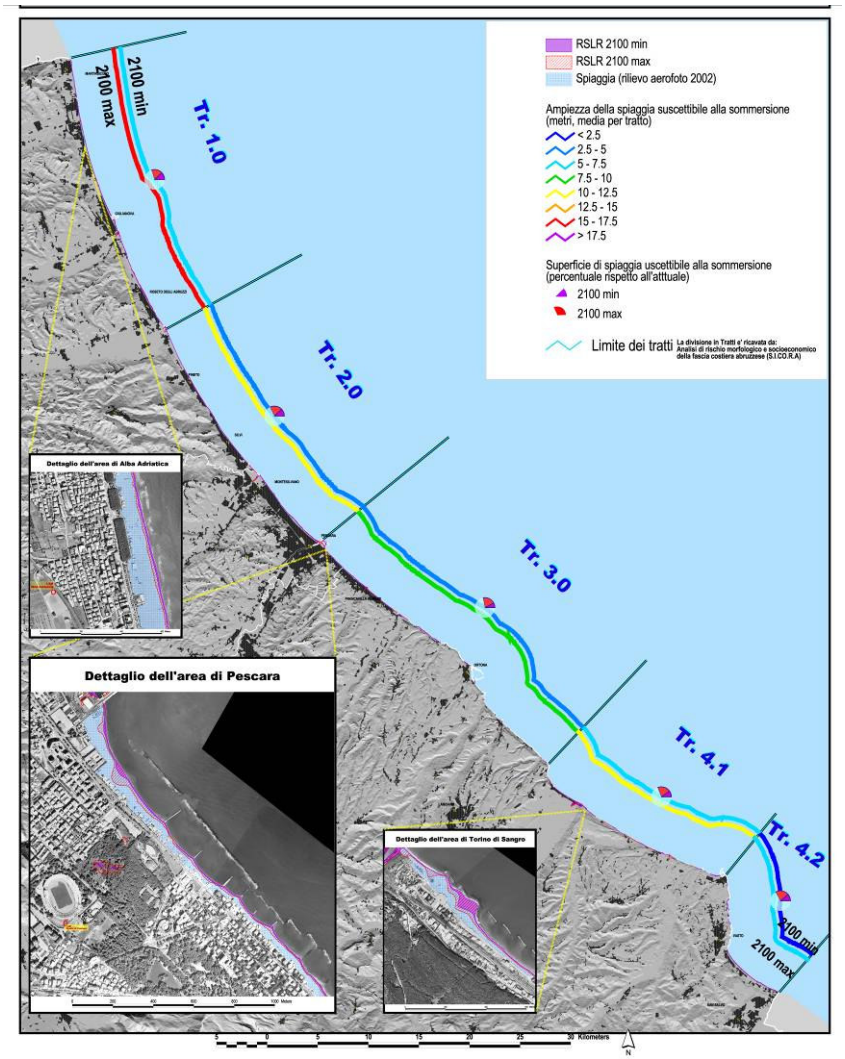

Figura 18. – Scenari di sommersione RSLR 2100 minimo e massimo lungo la fascia costiera abruzzese.

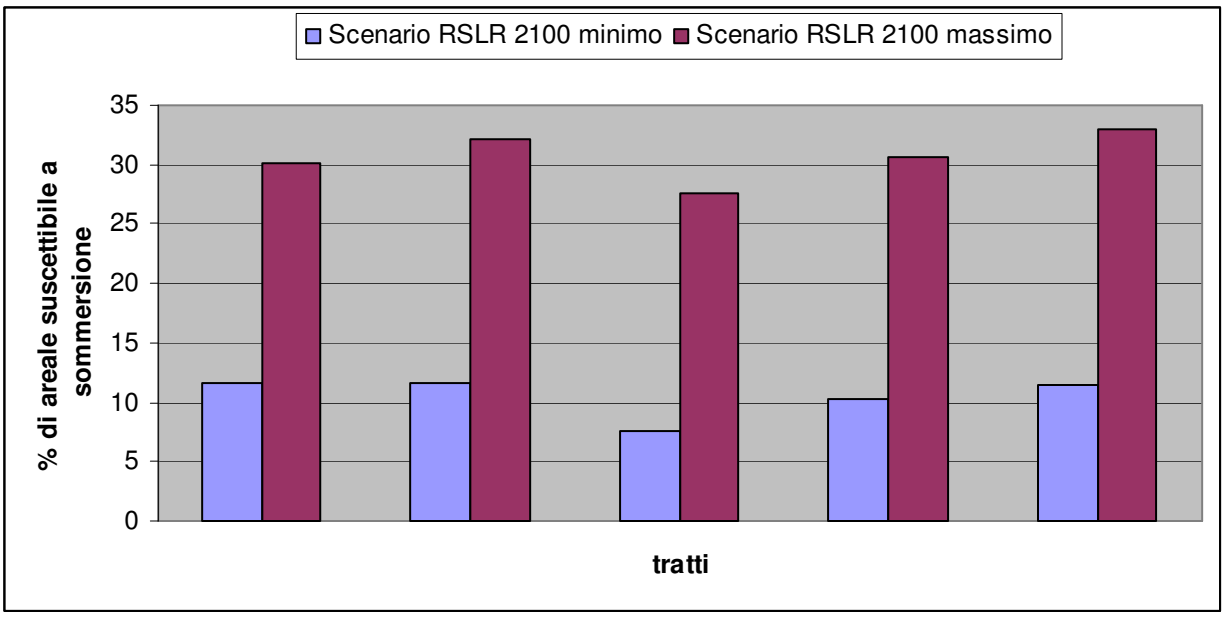

Figura 19. – Valore mediato per ogni tratto della percentuale di spiaggia suscettibile alla sommersione (riferimento 2002).

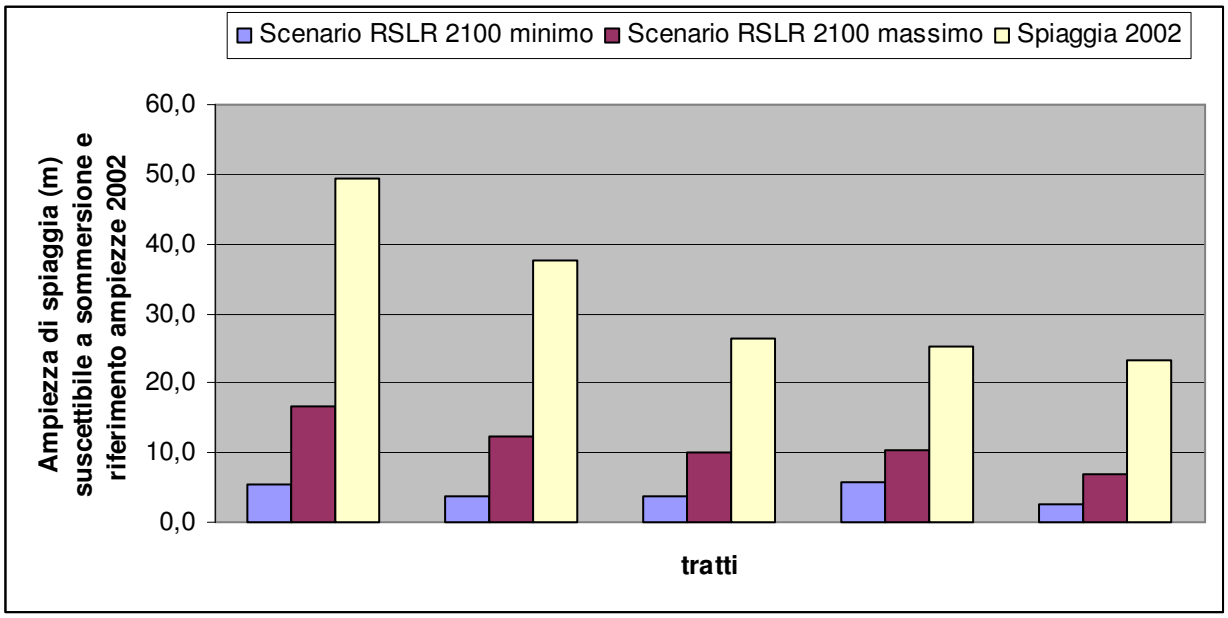

Figura 20. – Valore mediato per ogni tratto di ampiezza di arenile suscettibile alla sommersione.

4.1. Casi di sommersione della fascia di retro-spiaggia

Date la morfologia delle spiagge abruzzesi, caratterizzate da elevate pendenze della spiaggia sommersa superiore, le evidenze di potenziali sommersioni sono ristrette alla sola fascia di arenile.

Le uniche evidenze di una potenziale sommersione dei settori retrostanti l'arenile sono localizzati esclusivamente nelle vicinanze delle foci fluviali.

L'area attorno alla foce del Fiume Tordino è caratterizzata da quote prossime allo zero (attuale) e, lo scenario "2100 massimo" indica un'are di 0,16 kmq potenzialmente soggetta a sommersione permanente (fig. 21).

Proseguendo verso Sud, la zona prossima allo "Stadio Adriatico" di Pescara evidenzia, per lo scenario "2100 massimo" una certa suscettibilità alla sommersione (fig. 22).

Presso la Foce del Sangro, sia per lo scenario " RSLR 2100 minimo" che per lo scenario "RSLR 2100 massimo", si evidenzia un settore a potenziale sommersione con una superficie di 0.032 kmq (fig. 23).

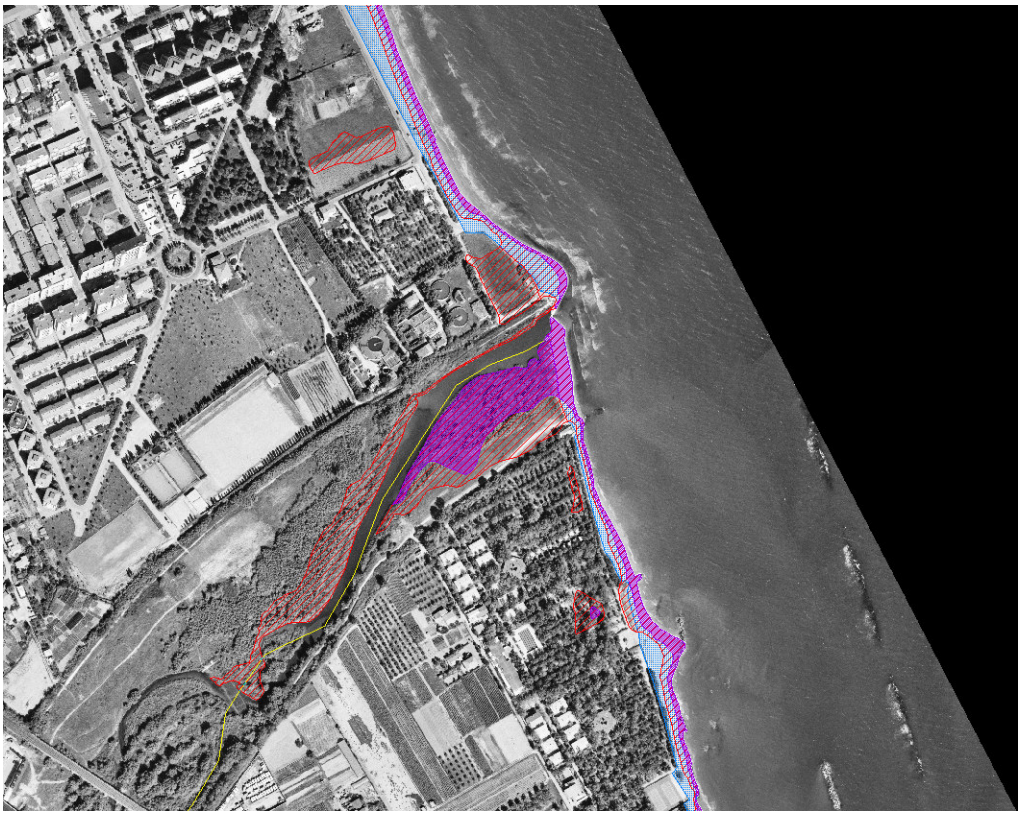

Figura 21. – Zone depresse e potenzialmente soggette a sommersione permanente per gli scenari di RSLR 2100 minimo e 2100 massimo. Foce del Tordino

Figura 22. - Zone depresse e potenzialmente soggette a sommersione permanente per gli scenari di RSLR 2100 minimo e 2100 massimo. Area "Stadio Adriatico" di Pescara.

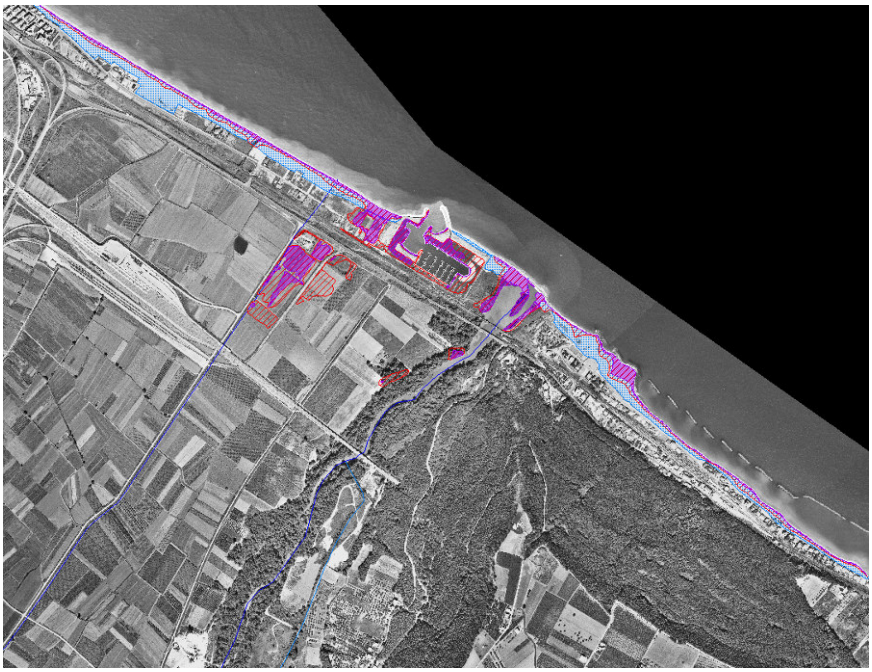

Figura 23. - Zone depresse e potenzialmente soggette a sommersione permanente per gli scenari di RSLR 2100 minimo e 2100 massimo. Foce del Sangro.

5. Considerazioni conclusive

L'obiettivo primario del progetto "*Valutazione dei possibili scenari di risalita del livello marino sulla fascia costiera abruzzese e strumenti di supporto alla gestione del territorio della Regione Abruzzo*" è stato l'analisi delle tre componenti (tettonica, isostasia ed eustatismo) che hanno contribuito alla variazioni relative del livello marino durante gli ultimi 10.000 anni.

Le previsioni di RSLR per il prossimo secolo (2015, 2025, 2050, 2100) sono state valutate, quindi, tenendo in considerazione l'interazione dei movimenti geologici locali della fascia costiera abruzzese (tettonica e glacio-idro-isostasia) con le previsioni IPCC 2007 di SLR globale.

L'applicazione al territorio di due scenari previsionali fornisce una stima delle aree suscettibili a sommersione nel 2100, tenendo in considerazione un contributo di surriscaldamento globale di massimo (scenario A1FI) ed uno di minimo (scenario B1).

I risultati indicano che, data la morfologia media della fascia costiera abruzzese, la suscettibilità alla sommersione è limitata ai soli settori di spiaggia e ad alcune aree prospicienti le foci fluviali.

Le percentuali di areali a rischio, in entrambi gli scenari, oscillano tra il 25% e il 35% dell'areale di riferimento (situazione 2002), con un valore di arretramento massimo di circa 20 metri (su un'ampiezza media di 50 metri) nel fascia costiera teramana (Tr. 1.0.).

Seppur lo studio condotto abbia evidenziato una bassa propensione morfologica della costa abruzzese all'ingressione marina, l'attuale gestione del fenomeno erosivo deve essere comunque contestualizzato in un quadro globale, in cui la frequenza e l'entità degli eventi meteo-marini sta cambiando sensibilmente.

Bibliografia

ANTONIOLI F. & SILENZI S. (1998) - Rassegna dello stato dell'arte sulle ricerche delle variazioni del livello del mare relativo all'ultimo semiciclo climatico e sul concetto di stabilità tettonica. Il Quaternario, 11, 5-18.

ANTONIOLI F., DAI PRA G., LEONI G., NISI M.F. & SILENZI S. (2000) - Mobilità tettonica costiera desunta dalla quota della massima trasgressione eutirreniana nella zona compresa tra le piane della Versilia e del Garigliano. Comunicazioni del Convegno AIQUA "L'Eemiano e il Tirreniano in Italia", Verona 12-13 Settembre 2000, 30-33.

ANTONIOLI F., FERRANTI L., FONTANA A., AMOROSI A, BONDESAN A., BRAITENBERG C., DUTTON A., FONTOLAN G, FURLANI S., LAMBECK K., MASTRONUZZI G., MONACO C., SPADA G, STOCCHI P. (2009) - Holocene relative sea-level changes and vertical movements along the Italian and Istrian coastlines. Quaternary International, 206, 102–133.

CAROBENE L. & DAI PRA G. (1991) - Middle and upper Pleistocene sea livel highstands along the Tyrrhenian coast of Basilicata (Southern Italy). Il Quaternario, 4 (1a), 173-202.

CONATO V. & DAI PRA G. (1980) - Livelli marini pleistocenici e neotettonica fra Civitavecchia e Tarquinia (Italia Centrale). Geologica Romana, 19, 181-194, Roma.

COSENTINO D. & GLIOZZI E. (1988) - Considerazioni sulla velocità di sollevamento di depositi eutirreniani dell'Italia meridionale e della Sicilia. Mem. Soc. Geol. Ital., 41, 653-665.

CSIRO (2008) - http://www.cmar.csiro.au/sealevel/sl_proj_21st.html#21C_ts

DAI PRA G. & HEARTY P.J. (1988) - I livelli marini pleistocenici del Golfo di Taranto. Sintesi geocronostratigrafica e tettonica. Mem. Soc. Geol. Ital., 41, 637-644.

FERRANTI L. , ANTONIOLI F., MAUZ B., AMOROSI A., DAI PRA' G., MASTRONUZZI G., MONACO C., ORRU' P., PAPPALARDO M., RADTKE U., RENDA P., ROMANO P., SANSO' P. & VERRUBBI V. (2006) - Markers of the last interglacial sea-level high stand along the coast of Italy: Tectonic implications. Quaternary International, 145/146, 30–54.

IPCC (2007) - Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

LAMBECK K., ANTONIOLI F., PURCELL A. & SILENZI S. (2004) - Sea-level change along the Italian coast for the past 10,000 yr. Quat. Sci. Rev., 23, 1567-1598.

MOTE P., PETERSEN A., REEDER S., SHIPMAN H. & WHITELY BINDER L. (2008) - Sea Level Rise in the Coastal Waters of Washington State. A report by The University of Washington Climate Imapcts Group and the Washiongton Department of Ecology.

NAKICENOVIC, N. ET AL (2000). SPECIAL REPORT ON EMISSIONS SCENARIOS: A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 599 pp. Available online at: http://www.grida.no/climate/ipcc/emission/index.htm

NISI M.F., ANTONIOLI F., DAI PRA G., LEONI G. & SILENZI S. (2003) - Coastal Deformation between the Versilia and the Garigliano plains (Italy) derived from elevation of Last Interglacial Transgression data. J. Quat. Sci., 18, 1-15.

PARLAGRECO L., MICCADEI E., MASCIOLI F., DEVOTI S., SILENZI S., ANTONIOLI F., DI PALO C. (2009) - Application of Relative Sea Level Rise scenarios to coastal management policy: the case of the Abruzzo Region. GEOITALIA 2009, VII forum italiano di Scienze della Terra, Rimini 9-11 Settembre 2009.

ROHLING E.J., GRANT K., BOLSHAW M., ROBERTS A.P., SIDDALL M., HEMLEBEN CH., KUCERA M. (2009) - Antartic temperature and global sea level closely coupled over the past five glacial cycles. Nature, geoscience, Letters. DOI: 10.1038/NGEO557.

SRES IPCC 2001 - http://www.grida.no/publications/other/ipcc_sr/?src=/climate/ipcc/emission/

WESTAWAY R., (1993) - Quaternary uplift of southern Italy. Journal of Geophysical Research, 98, n° B 12, 21.741-21.772.

ZAZO C., SILVA P.G., GOY J.L., HILLAIRE-MARCEL C., GHALEB B., LARIO J., BARDAJI T. & GONZALEZ A., (1999) - Coastal uplift in the continental collision plate boundaries: data from the Last Interglacial marine terraces of the Gibraltar Strait area (south Spain). Tectonophysics, 301, 95-109.