



# COMUNE GIARDINI NAXOS

( Provincia di Messina )

**OPERE A SALVAGUARDIA DELL'ABITATO E LUNGOMARE DI GIARDINI NAXOS  
RIPASCIMENTO DELL'AREA A RISCHIO EROSIONE COSTIERA  
ANTISTANTE IL LUNGOMARE TISANDROS-NAXOS**



TAVOLA

**1**

## RELAZIONE TECNICA ILLUSTRATIVA

AGGIORNAMENTO OTTOBRE 2014

scala

data  
Ottobre 2014

Amministrazione  
Comunale

Progettisti

R.T.P. :

Dott. Ing. Adolfo Veroux (capogruppo)

Geom. Bonsignore Mario (componente)

Geom. Gualtieri Salvatore (componente)



## **COMUNE DI GIARDINI NAXOS**

(Provincia di Messina)

### **OPERE A SALVAGUARDIA DELL'ABITATO E LUNGOMARE DI GIARDINI NAXOS- RIPASCIMENTO DELL'AREA A RISCHIO EROSIONE COSTIERA ANTISTANTE IL LUNGOMARE TISANDROS-NAXOS**

(manutenzione, a seguito di monitoraggio, delle opere eseguite con il primo stralcio del progetto di ricostruzione e difesa delle spiagge finalizzata al riequilibrio del litorale lungo la fascia costiera comunale).

### **PROGETTO ESECUTIVO**

---

## **RELAZIONE TECNICA ILLUSTRATIVA**

---

### **PREMESSE**

Il Comune di Giardini Naxos, nell'ambito della propria programmazione atta alla salvaguardia dell'abitato e del lungomare Tisandros-Naxos interessato da fenomeni di erosione costiera, ha indetto una procedura negoziata per l'affidamento dell'incarico relativo alla progettazione esecutiva, direzione lavori, misura e contabilità, coordinamento della sicurezza in fase di progettazione ed esecuzione per le **“OPERE A SALVAGUARDIA DELL'ABITATO E LUNGOMARE DI GIARDINI NAXOS-RIPASCIMENTO DELL'AREA A RISCHIO EROSIONE COSTIERA ANTISTANTE IL LUNGOMARE TISANDROS-NAXOS”**.

A seguito di gara di progettazione del 11/12/2012, con determina dirigenziale n° 1 del 07/01/2013 veniva aggiudicato l'appalto del servizio di progettazione alla R.T.P composta da i seguenti professionisti:

- **Dott. Ing. Adolfo Veroux**, nato a Catania il 04/06/1960, con studio tecnico in S.Agata li Battiati (CT) in via Umberto n° 5/a, C.F. VRXDLF 60H04 C351P - P. IVA 01497600831, iscritto all'ordine professionale degli Ingegneri della provincia di Catania al n° A5660 - **CAPOGRUPPO**.
- **Geom. Bonsignore Mario**, nato a Messina il 21/06/1983, con studio tecnico in Letojanni (ME) in vico Sardòn° 1, - C.F. BNS MRA 83H21 F158L - P.I. 02842300838, iscritto al Collegio dei Geometri della provincia di Messina al n° 3160 - **COMPONENTE**.
- **Geom. Salvatore Gualtieri**, nato a Taormina il 11/09/1986, con studio tecnico in Giardini Naxos (ME) in via Vittorio Emanuele n° 126/i - C.F. GLT SVT 86P11 L042H - P.I. 03181630835, iscritto al Collegio dei Geometri della provincia di Messina al n° 3403 - **COMPONENTE**.

In data 22/03/2013 veniva aggiudicato l'incarico per la redazione della relazione Geologica allo Studio Associato **“GEOLOGICA TOSCANA”** con sede in viale Marconi n° 106 - Poggibonsi (SI).

Per la redazione del progetto esecutivo si sono eseguite le seguenti indagini e studi preliminari:

- Rilievo batimetrico affidato dalla RTP alla P3A Engineering srl;
- Studio geologico affidato dall'Amministrazione alla Geologica Toscana;
- Studio su modello numerico bidimensionale del clima ondoso-campi di corrente-evoluzione morfologica dei fondali affidato dalla RTP alla P3A Engineering srl.

Il lavoro di progettazione esecutiva, delle consulenze specialistiche è stato coordinato nelle varie fasi dal responsabile unico del procedimento Geom. Basilio Gugliotta.

Con riferimento al disciplinare d'incarico del 03/05/2013, delle indicazioni fornite dal RUP ed alle risultanze degli studi specialistici è stato redatto il presente progetto esecutivo del quale la seguente relazione è parte integrante.

La baia di Giardini Naxos è situata nel settore settentrionale della costa ionica siciliana tra le città di Messina e di Catania, delimitata da Capo di Taormina a Nord e da Capo Schisò a Sud. Essa costituisce un'unità fisiografica a se stante, geometricamente ben definita con orientamento SE/E; tale isolamento è stato ulteriormente incrementato dalla realizzazione e dal successivo prolungamento del molo di Schisò che ha completamente chiuso la baia verso Sud.

La particolare conformazione del litorale, chiuso a nord dal Capo Taormina e a sud dal Capo Schisò (con l'accentuazione del molo del porticciolo) e l'esposizione prevalente ai venti dominanti da est e da nord-est, determina i più violenti fenomeni erosivi nel settore centrale della baia, mentre il trasporto dei sedimenti erosi avviene verso sud, con i susseguenti problemi di insabbiamento del porto di Schisò.

Il diffuso fenomeno erosivo del litorale, dovuto anche ad una serie di interventi antropici effettuati lungo il bacino del fiume Alcantara, lungo la costa e direttamente a mare (il porto), hanno determinato una serie di interventi di urgenza variamente localizzati nella baia, alcuni dei quali hanno avuto successo mentre altri hanno costituito solo una barriera ad efficacia limitata.

Già nel 2002 l'Amministrazione comunale, nella volontà di porre un rimedio definitivo al fenomeno, si dotava di un corposo studio conoscitivo mirato alla elaborazione di un modello matematico evolutivo del litorale e dei fondali della baia propedeutico al fine di acquisire tutti i dati di analisi e di studio necessari per la redazione di un progetto generale esecutivo di intervento realmente efficace.

Il suddetto studio ha permesso la redazione di un PROGETTO GENERALE DI MASSIMA DI RICOSTRUZIONE E DIFESA DELLE SPIAGGE FINALIZZATO AL RIEQUILIBRIO DEL LITORALE LUNGO LA FASCIA COSTIERA COMUNALE e successivamente la redazione del progetto esecutivo di due stralci funzionali.

E' stato realizzato un primo intervento di ripascimento, completato nel dicembre 2004, con sabbie marine protetto da una barriera artificiale sommersa (reef barrier), di circa 250 metri utilizzando 65.000 mc di materiale prelevati nell'area sommersa individuata nella parte sud della baia dove si è riscontrato un accumulo in prossimità della zona portuale.

Il progetto generale sopra richiamato è munito dei seguenti pareri:

- **Giudizio positivo di compatibilità ambientale (Decreto Assessoriale V.I.A. n° 668 del 23/08/2002);**
- **Parere favorevole dell'Azienda U.S.L. n° 5 di Messina – Distretto di Taormina, giusta nota n° 2692 del 03/05/2001;**
- **Parere favorevole della Soprintendenza con nota n° 9091/cc del 29/10/2002;**
- **Approvazione in linea tecnica ai sensi dell'art. 12 della ex L.R. 21/85 del Dirigente Tecnico del Genio Civile di Messina, con provvedimento prot. 12456 del 04/05/2010;**

**Gli stralci funzionali che si sono succeduti**, redatti in conformità alle previsioni del progetto generale e agli studi specialistici ed ai monitoraggi ad esso associati, oltre all'approvazione in linea tecnica rilasciata dall'Ufficio Tecnico del Comune di Giardini Naxos e i relativi verbali di validazione, **riportano per validi ed efficaci i precedenti pareri.**

**Poiché i lavori in oggetto non sono altro che INTERVENTI DI MANUTENZIONE A SEGUITO DEL PRESCRITTO MONITORAGGIO DELLE OPERE ESEGUITE CON IL PRIMO STRALCIO funzionale del progetto generale di ricostruzione e difesa delle spiagge finalizzata al riequilibrio del litorale sopra richiamato, è lo stesso progetto è un'opera conforme al progetto già autorizzato con i pareri sopra riportati, GLI STESSI SI RITENGONO VALIDI ANCHE PER IL PROGETTO DI CUI IN EPIGRAFE.**

#### **IL SITO:**

La fascia costiera del comune di Giardini Naxos ospita una consistente parte dell'abitato, risorse economiche locali, infrastrutture varie ed attività turistiche.

L'interfaccia terra – mare costituisce una delle zone più soggette a degrado ambientale, sia per gli interessi conflittuali che vi si accentrano, sia per la fragilità tipica di ogni ambiente di transizione, fragilità che trova la sua espressione più eclatante nell'erosione delle spiagge.

Tale fenomeno generalizzato si riscontra anche in prossimità del settore interno della soffolta antistante il lungomare Tisandros-Naxos, zona oggetto dell'intervento proposto, dove la costa risulta sotto erosione, anche se in parte limitata nella sua estensione dalla presenza delle opere di protezione.

Gli interventi di difesa del litorale adottati negli anni dal Comune di Giardini Naxos, sono stati principalmente effettuati con l'utilizzo di scogliere sommerse, sia parallele che ortogonali alla riva, in modo da ridurre l'impatto visivo delle difese e per intervenire in modo meno violento sulla dinamica della spiaggia.

E' indirizzo progettuale comune utilizzare per gli interventi di difesa costiera consistenti ripascimenti artificiali, realizzati con o senza la costruzione di strutture di contenimento, accettando quindi le perdite verso il largo e lungo riva dei sedimenti versati.

Inoltre ogni progetto viene seguito per anni da rilievi topografici della spiaggia emersa e sommersa e dall'analisi granulometrica dei sedimenti di un ampio tratto costiero. Laddove vengono realizzati ripascimenti artificiali, il controllo si estende alle biocenosi marine e, se i materiali derivano dal dragaggio dei fondali, anche l'area di prelievo viene monitorata con grande attenzione.

Il progetto di difesa costiera oggetto della presente relazione tecnica, è stato pensato seguendo questi ultimi orientamenti, realizzando, con adeguate misure progettuali e appropriate misure di mitigazione, un intervento che comporterà modeste alterazioni sulle diverse componenti ambientali e paesaggistiche di un'ampia zona di litorale posto all'interno della barriera soffolta.

Appare del tutto evidente che con le opere progettate, oltre alla salvaguardia del litorale , si renderà nuovamente fruibile il tratto di spiaggia anche dal punto di vista turistico, oggi fortemente limitato dalla mancanza dell'arenile, incrementando così una delle principali risorse economiche del territorio.

## **ASPETTI GENERALI CONNESSI AL TRASPORTO SOLIDO COSTIERO**

### ***Premesse***

Il primo passo da compiere per lo studio di un intervento mirato alla protezione e/o alla salvaguardia di un litorale consiste nell'individuare i fenomeni evolutivi che hanno determinato lo "status quo" del litorale e che probabilmente ne condizioneranno l'evoluzione futura. L'individuazione di tali fenomeni e la conseguente formulazione di uno schema generale di evoluzione del litorale, del quale ci si servirà per identificare la tipologia degli interventi che andranno eseguiti, costituisce sicuramente la parte più delicata dello studio perché da essa dipendono gran parte delle scelte progettuali future. L'impostazione e l'esecuzione di uno studio di questo tipo non può prescindere dalla conoscenza dei fenomeni fisici che determinano il trasporto dei sedimenti. Nel presente capitolo viene fornita una descrizione qualitativa di tali fenomeni con l'obiettivo di pervenire ad una schematizzazione dei processi applicabile per uno studio di evoluzione dei litorali.

### ***Fenomenologia***

**Morfodinamica:** Con il termine morfodinamica si intende l'evoluzione spazio-temporale di una forma morfologica. Si possono individuare tre fasi fondamentali di uno studio rivolto alla modifica dei fondali:

- idrodinamica;
- trasporto solido iniziale,
- morfodinamica.

E' importante sottolineare che il passaggio dal trasporto solido iniziale alla morfodinamica costituisce tuttora una delle frontiere della ricerca che opera nel settore. Una delle principali difficoltà che si incontrano nello studio della morfodinamica dei fondali è causata dall'elevato grado di non linearità dei processi fisici coinvolti. Conseguentemente modesti errori nella definizione delle condizioni al contorno possono amplificarsi nel tempo causando il divergere della soluzione prevista (calcolata) da quella reale.

E' evidente che la riproduzione completa su modello, matematico o fisico, dei processi legati alla morfodinamica dei fondali richiede quindi una completa descrizione dell'idrodinamica, delle proprietà del materiale di fondo e dei fenomeni di interazione tra matrice fluida e solida.

**Idrodinamica:** Lo studio della morfodinamica dei litorali si differenzia da quella fluviale principalmente per la parte idrodinamica, che costituisce "il motore" del processo "trasporto solido".

Prendendo in esame la circolazione media (media lungo la verticale e nel tempo) che si instaura lungo un litorale soggetto all'azione di un moto ondoso incidente da largo si evidenzia quanto di seguito.

Prima della zona dei frangenti e in assenza di correnti di base pre-esistenti, le onde di oscillazione sono caratterizzate da un trasporto di massa (corrente) estremamente modesto

(dell'ordine di pochi centimetri al secondo). Questo trasporto è così modesto che per le applicazioni di ingegneria viene generalmente trascurato. Tuttavia le onde di oscillazione trasportano nella loro propagazione energia (cinetica + potenziale, complessivamente proporzionale al quadrato dell'altezza d'onda). Quando il rapporto tra l'altezza d'onda e il tirante idrico locale assume valori prossimi all'unità, avviene il frangimento delle onde. Il frangimento determina una sostanziale modifica delle caratteristiche delle onde che da onde di oscillazione diventano onde di traslazione alle quali risulta associato un elevato trasporto di massa. All'interno della zona dei frangenti le correnti generate dalle onde possono facilmente raggiungere e superare il metro al secondo. Al frangimento delle onde è associata la produzione di una elevata turbolenza nella corrente fluida che determina, tra l'altro, la dissipazione di energia delle onde.

Inoltre questa turbolenza determina la messa in sospensione del materiale di fondo il quale viene trasportato dalla stessa corrente generata dalle onde frangenti. Gran parte del trasporto solido litoraneo risulta quindi compreso tra la zona dei frangenti e la linea di costa.

La "fascia" o "zona" costiera dove avviene il trasporto solido litoraneo prende il nome di "zona attiva". L'estensione verso il largo della zona attiva dipende dalla posizione della linea dei frangenti. Generalmente nei nostri mari questa zona è compresa tra la linea di battigia e la batimetrica -10/-15 m s.l.m.m.

Lungo un litorale possono essere distinti due sistemi di correnti: un sistema longitudinale (longshore - parallela alla costa) ed un sistema trasversale (rip - ortogonale alla costa). L'intensità della corrente longitudinale dipende principalmente dai seguenti fattori:

- altezza delle onde al frangimento;
- angolo formato tra la direzione di propagazione delle onde e la normale alla linea di costa.

Evidentemente sia l'altezza delle onde che la loro direzione al frangimento dipendono dai fenomeni evolutivi subiti dalle onde nella loro propagazione da largo verso riva e che sono essenzialmente i seguenti:

- rifrazione;
- shoaling;
- diffrazione.

In alcuni casi (presenza di una piattaforma continentale molto estesa) l'evoluzione delle onde nella zona costiera può essere influenzata dal processo generativo dovuto al vento e dalle dissipazioni di energia per attrito sul fondo.

Finora si è posta l'attenzione sulla circolazione costiera mediata lungo la verticale (asse z). Tuttavia, prendendo in esame il profilo verticale della corrente in un qualsiasi punto posto all'interno della zona dei frangenti si osserva una sensibile variabilità della corrente fluida lungo l'asse z. In particolare si osserva che lungo la direzione normale alla linea di battigia il campo di velocità è diretto in superficie (nella zona compresa tra la cresta e il cavo delle onde frange) verso la costa mentre in profondità è diretto verso il largo. La corrente diretta verso il largo prende il nome di corrente di ritorno (undertow). La corrente di ritorno compensa il flusso di massa diretto verso terra localizzato tra

la cresta e il cavo delle onde frante.

In conclusione si può affermare che la circolazione costiera è causata prevalentemente dal moto ondoso frangente. I campi di velocità medi (nel tempo) integrati lungo la verticale permettono di distinguere un sistema di corrente diretto parallelamente alla linea di costa interrotto da correnti trasversali, dirette verso il largo, che si localizzano in corrispondenza a manufatti costieri, quali ad esempio i pennelli, o ad avvallamenti sottomarini. Inoltre i profili verticali di velocità mostrano la presenza di una corrente di ritorno, localizzata al di sotto dei cavi delle onde frangenti, che tende ad esaurirsi velocemente al di fuori della zona dei frangenti.

Per completare il quadro di riferimento sulla circolazione costiera occorre menzionare le correnti di marea che in alcuni casi possono influire sul trasporto dei sedimenti. Tuttavia in Italia esistono pochissime località dove le correnti di marea assumono entità tale da causare il trasporto dei sedimenti. Per contro in corrispondenza delle foci fluviali e delle bocche lagunari la circolazione costiera è influenzata dalle correnti di efflusso dei corsi d'acqua e dalle correnti di flusso e riflusso presenti nelle bocche lagunari.

**Trasporto solido:** Come si può intuire da quanto esposto nel paragrafo precedente, lo studio del trasporto solido costiero risulta particolarmente complesso perché è complessa l'idrodinamica che lo governa. Infatti, il moto oscillatorio delle particelle fluide, indotto dalle onde di superficie, risulta accoppiato alla turbolenza e alla circolazione generale indotta dalle onde frangenti che presenta una struttura spiccatamente tridimensionale. Tuttavia, allo scopo di pervenire ad una valutazione quantitativa delle variazioni del fondo marino, si è soliti suddividere il trasporto solido costiero in due componenti principali individuate sulla base delle direzioni dominanti assunte dal trasporto stesso:

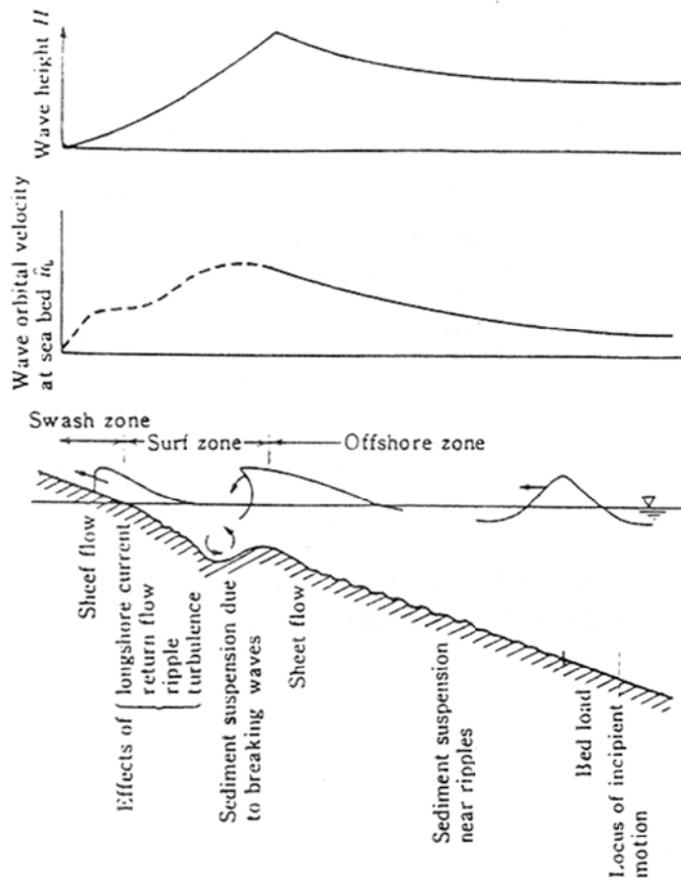
- trasporto solido trasversale alla linea di battigia (cross-shore);
- trasporto solido longitudinale parallelo alla linea di battigia (longshore).

Il trasporto solido trasversale è causato principalmente dalla velocità orbitale delle particelle idriche indotta dalle onde di oscillazione e dalla corrente di ritorno, mentre il trasporto solido longitudinale è causato dalla corrente longitudinale indotta dalle onde frangenti.

Da un punto di vista applicativo la stima del trasporto solido longitudinale risulta più semplice rispetto alla stima del trasporto trasversale. Per il trasporto longitudinale sono state elaborate delle formule empiriche che permettono di esprimere l'entità di tale trasporto in funzione del prodotto di un "fattore di energia associato alle onde frangenti" (una funzione che caratterizza la mobilitazione dei sedimenti ai fini del loro trasporto) e la velocità di trasporto dei sedimenti che viene normalmente assunta proporzionale alla corrente longitudinale.

Le difficoltà che si incontrano nella stima del trasporto solido trasversale sono principalmente dovute al fatto che il "trasporto netto" nella direzione trasversale è il risultato della somma di piccole differenze tra valori elevati di trasporto diretto sia verso la costa (onshore) che verso il largo (offshore) entrambi causati dal moto oscillatorio delle particelle idriche. Quindi per ottenere una corretta stima quantitativa del trasporto trasversale è necessario valutare accuratamente in ogni istante sia la

direzione che l'entità dei trasporti ed inoltre occorre tener conto degli effetti delle forme di fondo (ad es. ripples) che interferiscono con questi parametri. Per la valutazione dei trasporti solidi trasversale la regione costiera viene usualmente suddivisa in tre zone, come evidenziato nella figura seguente.



*Variazione delle modalità di trasporto solido lungo una sezione trasversale di una spiaggia (tratto da K. Horikawa, 1988, Nearshore Dynamics and Coastal Processes).*

La zona di largo (offshore zone) si estende dalla linea dei frangenti al mare aperto. Il trasporto solido in questa zona è dominato dal moto orbitale delle particelle idriche indotto dalle onde di oscillazione di superficie. La zona dei frangenti (surf zone) è compresa tra la linea dei frangenti e la linea di battigia (intersezione tra il livello medio marino e la costa). Nella zona dei frangenti il movimento dei sedimenti è causato dall'effetto combinato della turbolenza e delle correnti indotte dalle onde che frangendo diventano onde di traslazione. La zona di riva (swash zone) è localizzata tra la linea di riva e la quota massima raggiunta dalle onde sulla duna costiera.

La figura precedente mostra schematicamente la trasformazione delle onde, delle velocità orbitali delle particelle idriche sul fondo e le corrispondenti modalità di trasporto solido nelle tre zone precedentemente descritte.

A causa del fenomeno di shoaling (diminuzione della lunghezza e aumento dell'altezza delle onde), l'altezza delle onde tende ad aumentare al diminuire della profondità fino a raggiungere una condizione di instabilità che determina il frangimento delle onde in corrispondenza a tiranti idrici dello

stesso ordine di grandezza della loro altezza. Nella zona dei frangenti l'altezza d'onda diminuisce a causa delle dissipazioni di energia dovute alla turbolenza presente nelle onde frange.

La variazione di altezza d'onda al diminuire della profondità è accompagnata da corrispondenti variazioni delle velocità orbitali delle particelle idriche sul fondo che raggiungono un valore massimo in corrispondenza della linea dei frangenti. In condizioni di acqua profonda la velocità delle particelle idriche sul fondo è pressochè nulla e quindi non è in grado di muovere i sedimenti. In acqua bassa all'aumentare della velocità orbitale delle particelle sul fondo si osserva progressivamente:

1. trasporto solido di fondo (bed load);
2. trasporto solido in sospensione (sediment suspension) in prossimità delle forme di fondo tipo "ripples";
3. trasporto solido laminare (sheet flow) e scomparsa delle forme di fondo.

Nella zona dei frangenti l'elevata turbolenza indotta dalle onde frangenti aumenta notevolmente il trasporto solido in sospensione. Nella zona di riva il trasporto solido è di tipo laminare. La complessa interazione tra i sedimenti e il fluido è causata, oltre che dal moto oscillatorio delle particelle idriche, anche da altri fattori secondari quali ad esempio le variazioni del livello medio marino indotte dalla marea, dall'azione del vento (wind set-up) e dalle onde frangenti (wave set-up), l'effetto delle onde stazionarie (causate da fenomeni di riflessione), delle onde di lungo periodo e della pendenza locale del fondale che influisce sulla stabilità dei sedimenti.

### ***Schema generale per l'impostazione e l'esecuzione di uno studio sulla dinamica di un litorale***

#### Fase 1: Analisi preliminare

- Reperimento della cartografia attuale e pregressa e analisi storica del litorale e della batimetria costiera;
- Reperimento di studi già eseguiti sul litorale;
- Reperimento dei dati esistenti sulle caratteristiche meteomarine e sedimentologiche del litorale;
- Individuazione dell'unità fisiografica;
- Individuazione dei morfotipi costieri;
- Individuazione delle sorgenti di afflusso e di perdita di materiale solido
- Osservazioni visive;
- Individuazione di possibili elementi per la calibrazione di un modello di evoluzione costiera;
- Individuazione della necessità di eseguire eventuali campagne di misura in campo.

#### Fase 2: Analisi delle caratteristiche meteomarine e sedimentologiche del litorale

- Esecuzione di eventuali campagne di misura in campo per il reperimento di dati integrativi sulle caratteristiche meteomarine e sedimentologiche del litorale e per la calibrazione di un modello di evoluzione costiera;
- Regime dei venti,

- Variazione dei livelli idrici;
- Correnti costiere di origine mareale;
- Regime dei moto ondoso (clima) e statistica degli eventi estremi,
- Caratteristiche sedimentologiche;
- Apporti solidi fluviali,
- Movimentazione dei sedimenti per via eolica.

**Fase 3: Formulazione di uno schema evolutivo dei litorale**

- Valutazione della direzione dei flusso di energia medio longitudinale per alcune sezioni del litorale;
- Valutazione dei bilancio globale dei sedimenti nella zona di interesse;
- Calibrazione di un modello di evoluzione costiera
- Applicazione dei modello di evoluzione per la ricostruzione dell'evoluzione storica dei litorale.

**Fase 4: Individuazione della tipologia degli interventi da eseguire**

- Analisi critica delle possibili tipologie di intervento;
- Applicazione/i dei modello di evoluzione in presenza delle tipologie di intervento selezionate per la previsione dell'evoluzione futura dei litorale;
- Scelta delle tipologie di intervento;
- Individuazione della sequenza temporale ottimale per la realizzazione delle opere;
- Individuazione di un programma di monitoraggio del litorale.

**Fase 5: Progettazione esecutiva degli interventi.**

**Riferimenti bibliografici**

AIPCN-PIANC (1997). Atti del “Corso di aggiornamento su regime e protezione dei litorali”.  
(Ing. Paolo De Girolamo)

## **CARATTERIZZAZIONE DELL'UNITA' FISIOGRAFICA**

### ***Introduzione – nomenclatura delle spiagge***

I litorali sono denominati coste se alti e rocciosi, spiagge se bassi e "granulari". Le spiagge sono poi classificate in psammitiche se di ghiaia e ciottoli, psammitiche se di sabbia, pelitiche se limo-argillose. Anche le coste alte possono essere costituite da materiali coesivi e sono denominate falesie. In Italia lo sviluppo complessivo dei litorali (bene demaniale dello Stato) è di circa 7500 km, dei quali il 55% di coste ed il 45% di spiagge, soprattutto sabbiose, in particolare nell'Adriatico centrosettentrionale.

Ripide spiagge di ghiaia sono invece tipiche della Liguria, Calabria, Sicilia e Sardegna, dove sono anche frequenti le piccole spiagge "alveolari" (pocket beaches) confinate tra vicini promontori rocciosi. Quasi inesistenti in Italia sono le spiagge pelitiche, a debolissima pendenza, che oggi hanno assunto una importanza ecologica, legata in particolare alle cosiddette "aree umide" ricoperte di vegetazione che costituiscono zone di sosta della fauna avicola.

Le coste rocciose hanno morfologia molto varia in relazione alla loro origine geologica ma hanno un interesse trascurabile per l'ingegnere data la loro sostanziale inalterabilità in tempi confrontabili con la durata della vita umana.

Le spiagge, presenti in natura con forme planimetriche varie e particolari (es. lingue, tomboli, cuspidi), sono classificate in base alle caratteristiche sedimentologiche (mineralogiche e granulometriche) e topobatimetriche, ricavate in base ad opportune indagini, come indicato nel seguito.

Il profilo trasversale di una spiaggia presenta fasce e morfotipi caratteristici: la spiaggia propriamente detta è la fascia compresa tra il livello di bassa marea ed il primo brusco cambiamento geomorfologico terrestre (es. la duna), ma in senso lato essa abbraccia anche il profilo sommerso. L'elemento distintivo più rilevante è forse la linea di spiaggia o di riva o di battigia, confine sempre mutevole tra terra e mare, compreso nella fascia di "bagnasciuga" tra il livello di bassa marea e la quota di massima risalita dell'onda. La linea di spiaggia è infatti soggetta a variazioni temporali che vanno dal periodo di un'onda (pochi secondi) alle ere geologiche.

Dal punto di vista dell'evoluzione a medio-lungo termine del litorale, essa riveste il maggiore interesse. È quindi necessaria l'analisi della cartografia storica ed attuale (basata su affidabili rilievi planimetrici) estesa per tratti di lunghezza finita, distinti secondo i criteri di seguito descritti.

Un utile contributo è oggi fornito dai nuovi sistemi di telerilevamento e di mappatura informatizzata (GIS).

### ***Definizione dell'unità fisiografica.***

I litorali sono contraddistinti da una successione di tratti più o meno lunghi, denominati "unità fisiografiche", ove i sedimenti che formano o contribuiscono a formare la spiaggia presentano movimenti "confinati" all'interno di ciascuna unità, poiché gli scambi con le spiagge limitrofe sono nulli o comunque caratterizzati da quantitativi di flusso trascurabili. Dal punto di vista ingegneristico essa comprende in pratica la zona di influenza di ogni intervento realizzato al suo interno.

L'individuazione dell'unità fisiografica deriva dalla necessità di definire i limiti (in generale non invariabili) all'interno dei quali sviluppare gli studi degli effetti evolutivi della dinamica costiera. L'identificazione dell'unità fisiografica viene condotta sulla base dei seguenti fattori che consentono di investigare le cause e gli effetti del trasporto solido:

- individuazione delle zone di erosione e di deposito attraverso rilievi topografici, batimetrici ed aerofotogrammetrici;
- caratteristiche sedimentologiche della fascia costiera;
- analisi degli apporti solidi fluviali;
- analisi dei regimi delle maree e della variazione nel tempo della escursione del livello medio marino;
- esposizione del paraggio al moto ondoso;
- analisi d'insieme dei fenomeni di trasporto solido litoraneo;
- elementi antropici di impatto sul litorale.

È importante definire le dimensioni spazio-temporali in cui confinare la porzione di litorale oggetto delle indagini sopraelencate e quindi, in funzione dell'obiettivo dello studio, il limite temporale ed il passo di discretizzazione ottimali. A titolo di esempio uno studio di dinamica costiera relativo ai fenomeni di evoluzione a breve termine richiede un limitato passo di discretizzazione dei tempi (analisi dei fenomeni giornalieri sino a coprire il periodo stagionale in esame). Per uno studio dei fenomeni di evoluzione a lungo termine è invece necessario un passo temporale più ampio (analisi dei fenomeni stagionali relativi ad almeno un decennio). Di seguito si riassume la sequenza delle indagini che è necessario condurre in uno studio di evoluzione a lungo termine.

La prima caratterizzazione dell'unità fisiografica è condotta in funzione della morfologia costiera. Si procede in prima fase al confronto di cartografie storiche individuando così gli ambienti litoranei "storicamente" stabili che costituiscono i limiti estremi dell'area da investigare. Successivamente viene condotta l'analisi di rilievi topografici o aerofotogrammetrici recenti; esaminando l'andamento della linea di riva e la sua variazione negli anni è possibile evidenziare: dissimmetrie nelle spiagge concorrenti ad un capo roccioso; forme evolutive delle foci fluviali in *flèches* (prevalenza di flusso in una direzione) o cuspidi (divergenza del flusso); ampie falcate concave (al cui centro tende a convergere il flusso solido riducendosi, gradualmente); accumuli-erosioni in prossimità di manufatti costieri.

I rilievi topografici vanno integrati con rilievi batimetrici tracciando così una serie di profili trasversali lungo la fascia costiera. L'analisi d'insieme della documentazione cartografica consente di valutare la tipologia del morfotipo costiero, emerso e sommerso, individuandone gli elementi di equilibrio a breve e lungo termine. I rilievi topografici vanno successivamente correlati alle caratteristiche tessiturali dei sedimenti, la cui distribuzione fornisce un'ulteriore caratterizzazione dell'unità fisiografica.

I sedimenti che costituiscono la spiaggia sono condizionati dalla dinamica litoranea in quanto, lungo gli assi di transito longitudinali e trasversali, le componenti granulometriche tendono a convergere verso il fondale in cui si trovano mediamente in equilibrio sotto l'azione del moto ondoso.

Il prelievo di campioni di sedimenti lungo la fascia costiera emersa e sommersa e la successiva analisi granulometrica e sedimentologica consentono di valutare gli effetti di questa selezione.

E' possibile così definire la distribuzione trasversale ed areale dei sedimenti (riferite generalmente al D50) individuando la tendenza selettiva dei sedimenti.

E' anche opportuna la caratterizzazione dell'unità fisiografica in funzione del regime delle onde e delle correnti.

**Rilievi topografico-batimetrici:** La caratterizzazione topografica della spiaggia emersa e sommersa è fondamentale per la verifica della evoluzione morfologica e dovrebbe essere eseguita ad intervalli periodici, possibilmente nello stesso periodo dell'anno, per evitare l'influenza della variabilità stagionale del profilo d'equilibrio.

Il rilievo topografico "asciutto" va condotto su di una fascia di larghezza di almeno 50 m dalla linea di costa o fino ad incontrare opere e recinzioni, appoggiandosi ai punti trigonometrici.

L'indagine batimetrica viene normalmente eseguita su transetti intervallati di 50-100 m fino alla batimetrica -10 m circa con opportuni infittimenti nelle zone di elevato gradiente del fondale e sezioni diagonali di controllo. I profili batimetrici sono rilevati, per profondità superiori a 1.5 m, con ecoscandaglio di precisione avente un trasduttore a cono di emissione non più ampio di 10'. Le misure di profondità vanno comunque corrette per tener conto delle escursioni di marea. Il sistema di posizionamento planimetrico del battello è in genere di tipo ottico con accoppiamento automatico in tempo reale alle corrispondenti misure ecografiche. La zona di profilo sommerso con fondali minori di 1.5 m viene generalmente rilevata con metodo tacheometrico. Il rilievo viene poi restituito in scala 1:1000 o superiore, con il tracciamento interpolare delle linee batimetriche ogni 0.5 o 1 m.

I rilievi possono anche essere eseguiti con nuove tecniche aerofotografiche per fondali limitati « 10 m se l'acqua è trasparente.

**Analisi sedimentologica:** La definizione delle caratteristiche morfologiche e tessiturali dei sedimenti di una spiaggia può fornire utili indicazioni sulla loro origine e sulle tendenze evolutive. L'analisi delle composizioni petrografiche può infatti consentire l'individuazione delle possibili fonti di alimentazione della matrice detritica.

Le analisi vanno eseguite su campioni superficiali di almeno 50 gr prelevati sulla spiaggia ed opportunamente etichettate su supporto plastico non deteriorabile riportando il luogo, la data, l'ora e la posizione sulla spiaggia. L'ubicazione dei punti di prelievo deve essere prescelta in rapporto alla morfologia del sito su sezioni trasversali poste ad intervalli di 100-300 m ed in corrispondenza di fasce tipiche del morfotipo trasversale quali:

- al piede del cordone dunale lungo l'eventuale scarpata di incisione
- in corrispondenza della linea di riva
- lungo il truogolo
- alla sommità ed al piede della barra ovvero a diverse quote prestabilite (es. +1, 0, -2, -5 m s.m.).

Tra le caratteristiche sedimentologiche la principale è la granulometria, ossia la misura delle dimensioni dei granuli e la loro distribuzione statistica. Hanno peraltro interesse anche altri parametri distintivi dell'ammasso di granelli quali: il colore, l'orientamento (preferenziale secondo le linee del campo di forze idrauliche e gravitazionali); la morfologia superficiale (aspetto e impianto strutturale); la forma ed il grado di arrotondamento.

Quest'ultimo parametro è definito con vari indici geometrici "di sfericità" o "di piatezza" (es. rapporto tra la somma dei due assi maggiori dell'ellissoide che rappresenta il granello ed il doppio dell'asse minore) che evidenziano il comportamento idraulico dei sedimenti ed il loro meccanismo di abrasione e di deposito.

Nel caso di riuso balneare di sabbie di ripascimento sono inoltre richieste specifiche analisi chimiche dei campioni per accertare la presenza di sostanze tossiche ed inquinanti.

**Analisi granulometrica:** La caratterizzazione dimensionale dei sedimenti può essere di tipo idraulico o geometrico. La prima si basa sul principio della velocità di caduta dei granuli in acqua, proporzionale al diametro ed al peso specifico delle particelle, oltrechè funzione della loro forma. Ricavata con prove di laboratorio l'equazione di caduta per le comuni particelle di quarzo (peso specifico costante di 2.65 t/mc) aventi forma sferica e diametro variabile, si confronta il comportamento dei granelli naturali, ottenendo per essi il "diametro equivalente". Questo metodo ricostruisce in modo più fedele il reale processo fisico di deposizione, ma risulta abbastanza laborioso ed adatto soprattutto per i sedimenti coesivi più fini.

SCALA UDDEN-WENTWORTH			Unità	Classifica zione gene rica del sedimento
N°	Dimensioni D (mm)	Classe granulometrica	$\frac{D}{2}$	
1	> 256	masso ("boulder")	< -8	
2	256+128	ciottolo molto grossolano ("coarse cobble")	-8/-7	
3	128+ 64	ciottolo grossolano	-7/-6	
4	64+ 32	ciottolo medio-grossolano	-6/-5	
5	32+ 16	ciottolo medio	-5/-4	Psammico
6	16+ 8	ciottolo medio-fine	-4/-3	
7	8+ 4	ciottolo fine	-3/-2	
8	4+ 2	granula	-2/-1	
9	2+ 1	sabbia molto grossolana	-1/ 0	
10	1+1/2	sabbie grossolane	0/ 1	
11	1/2+1/4	sabbia media	1/ 2	Psammico
12	1/4+1/8	sabbia fina	2/ 3	
13	1/8+1/16	sabbia finissima	3/ 4	
14	1/16+1/32	silte grossolano	4/ 5	
15	1/32+1/64	silte medio	5/ 6	
16	1/64+1/128	silte fina	6/ 7	Pellico
17	1/128+1/256	silte finissimo	7/ 8	
18	< 1/256	argilla	> 8	

Per le consuete spiagge incoerenti è comunemente utilizzata la classificazione geometrica, eseguita per vibrazione su setacci standardizzati in serie, ricavando le percentuali in peso dei granuli di diverso diametro (D) passanti attraverso i fori di dimensioni decrescenti (curva granulometrica). Poichè lo "spettro dimensionale" è molto ampio (da un micron per granuli d'argilla fino ad un metro per i massi più grandi) la scala lineare o aritmetica non risulta adatta.

Si preferisce la scala geometrica, basata su rapporti e non su incrementi costanti tra le classi, così che queste siano più ampie per i materiali grossolani e più ristrette per quelli fini. La scala granulometrica più nota è quella di Udden-Wentworth con progressione geometrica di ragione 2.

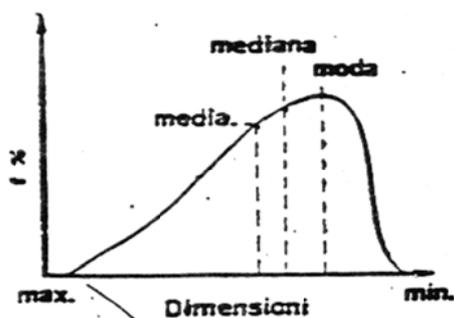
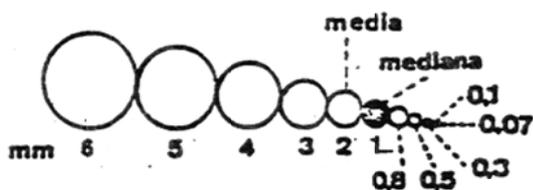
Si preferisce distinguere le classi, piuttosto che con il valore del diametro  $D$  (in mm), in base al valore del parametro  $fi = -\log_2 D$ , in modo da avere intervalli uguali, valori interi ed una scala lineare per le rappresentazioni grafiche. Le ghiaie hanno  $D > 2$  mm ( $fi < 0$ ), mentre le sabbie hanno  $D = 0,06-2$  mm ( $fi$  compreso tra  $-1$  e  $4$ ). Il segno meno davanti al logaritmo è legato a ragioni di praticità, in quanto la maggioranza delle spiagge è costituita da sabbie fini ( $fi > 0$ ).

L'analisi della distribuzione di frequenza delle varie classi granulometriche di un campione di sedimento può produrre una rappresentazione discontinua (istogramma) o continua (spettro), in genere in forma cumulative, con l'indicazione di alcuni percentili (frequenze percentuali di superamento) significativi:  $1^\circ$ ,  $5^\circ$ ,  $16^\circ$ ,  $25^\circ$ ,  $50^\circ$ ,  $75^\circ$ ,  $84^\circ$ ,  $95^\circ$ ,  $99^\circ$  (in corsivo i "quartili").

L'analisi statistica della distribuzione conduce quindi alla definizione dei principali indici granulometrici, che in una distribuzione chiusa alle estremità corrispondono ai momenti statistici ricavabili analiticamente:

- 1) il valore di "tendenza centrale". (media, mediana o moda)
- 2) la deviazione standard (o assortimento, dispersione, cernita, "sorting")
- 3) l'asimmetria ("skewness")
- 4) l'appuntimento ("kurtosis")

La figura successiva aiuta a comprendere la differenza tra il diametro medio ("centro di gravità" della distribuzione), il mediano (passante al  $50\% = D_{50}$  e "centro geometrico" che suddivide lo spettro in due aree equivalenti) e la moda (valore di massima frequenza): se i tre parametri coincidono la distribuzione è di tipo normale.



Il valore di tendenza centrale è indicatore della capacità di trasporto dell'agente ed è proporzionale alla velocità media della corrente, mentre il diametro massimo ( $1^\circ$ ) indica la velocità massima. Normalmente il diametro medio diminuisce nel verso del trasporto.

L'assortimento (deviazione standard  $s$ ) rappresenta invece la variabilità della distribuzione intorno al valor medio ed è un importante indice della selezione ("classazione") subita dal sedimento nell'azione di trasporto. Ancora usato è il semplice coefficiente di cernita di Trask:  $so = (D_{25}/D_{75})^{0.5}$  che indica sedimenti ben classati per valori minori di 2,5 e mai cerniti per valori maggiori di 4,5. Le sabbie meglio

classate (più monogranulari) sono quelle con diametro mediano tra 0,1 e 0,2 mm. Tipicamente le spiagge presentano sedimenti più classati di quelli fluviali per la forte azione selettiva del mare.

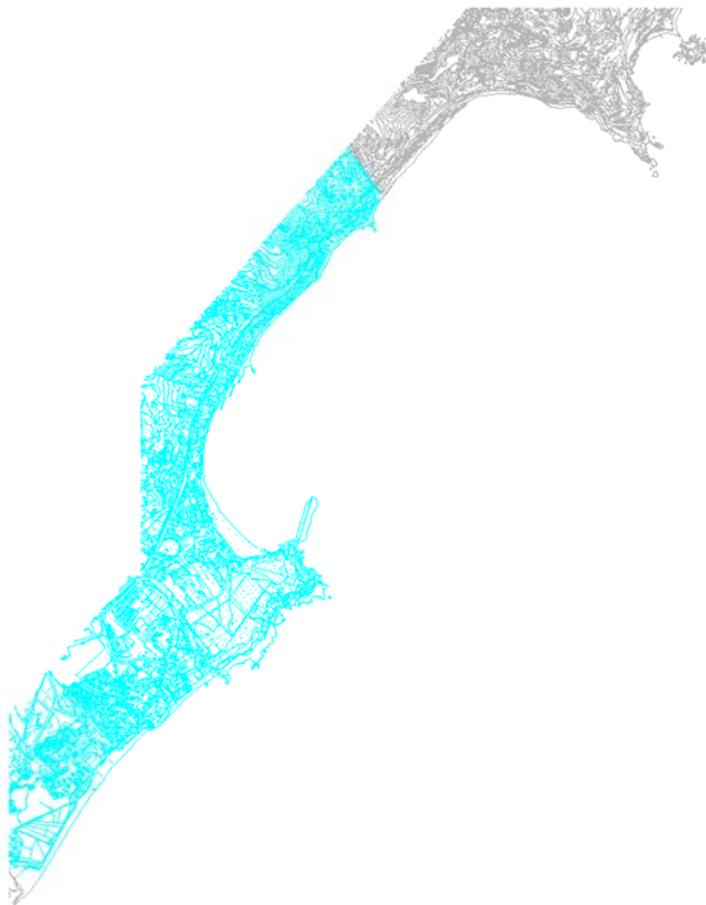
L'asimmetria rappresenta un eccesso unilaterale rispetto alla moda che produce quindi uno scostamento tra media e mediana ed è dovuto a processi successivi di aggiunta o rimozione di alcune classi granulometriche. Il coefficiente di asimmetria è negativo se la coda è grossolana (spesso indice di ambiente a moderata energia e di tendenza deposizionale), positivo se è fine (indice di erosione in ambiente ad alta energia).

Il coefficiente di appuntimento confronta la cernita presso gli estremi della distribuzione con quella nella parte centrale, indicandone il grado di "modalità" (leptocurtica se molto appuntita, platicurtica viceversa). Valori elevati di curtosi sono anch'essi indicatori di un ambiente di elevata energia.

Le spiagge più comuni hanno sabbie medio-fini ( $D = 0,2-0,3$  mm) che si riducono al largo; una distribuzione generalmente unimodale, una modesta variabilità intorno al diametro medio ("ben classate"), asimmetria quasi nulla sulla riva e marcata verso il largo ed un indice di vuoti pari al 30-40%. Generalmente le spiagge costituite da materiali più grossolani presentano pendenze trasversali più elevate.

### **Unità fisiografica Baia di Giardini Naxos-Taormina (Capo Schisò-Capo Taormina)**

La Baia di Giardini-Naxos-Taormina costituisce una unità fisiografica a se stante, geometricamente ben definita con orientamento a Sud-Est / Est.



La Baia è delimitata tra il Capo Schisò a Sud e Capo Taormina a Nord e la distanza tra i Capi è di circa tre chilometri; la fascia costiera del Comune di Giardini Naxos si estende procedendo da Nord verso Sud, all'interno della Baia dalla foce del torrente Sirina sino a Capo Schisò ed all'esterno della Baia da Capo Schisò alla foce del fiume Alcantara.

Il bilancio sedimentologico non prevede sostanzialmente rilevanti apporti di materiale via mare dall'esterno della Baia ma solo dall'entroterra in particolare tramite il torrente Sirina; gli unici apporti esterni alla Baia si limitano al materiale in sospensione

proveniente, durante le mareggiate di SUD/SUD-EST, dalla foce dell'Alcantara.

La spiaggia, nella zona centrale di Giardini Naxos all'interno della Baia (Macine-San Pancrazio-San Giovanni), aveva originariamente un'ampia riserva di oscillazione dell'ordine delle decine di metri che consentiva il trasferimento stagionale spiaggia emersa-fondale e spostamenti longitudinali di sabbia in destra e sinistra, con minima dispersione di materiale fino in mare aperto.

Appare evidente come si sia innescato nella Baia un fenomeno irreversibile di accumulo nella zona Sud e di erosione di spiaggia sia emersa che subacquea nella zona centrale del Comune di Giardini che, data la notevole dissimetria del fenomeno, renderà sempre più vulnerabile all'attacco del moto ondoso la zona centrale stessa.

L'alto valore paesaggistico-naturalistico della Baia di Giardini Naxos-Taormina (Capo Schisò-Capo Taormina) unitamente al notevole valore economico sia diretto che indiretto degli investimenti abitativo-turistico-alberghieri impone una soluzione progettuale di difesa costiera che non abbia il carattere della provvisorietà salvaguardando contemporaneamente le esigenze ambientali del sito; nei capitoli successivi verrà illustrata e verificata la proposta d'intervento adottata.

### ***Riferimenti bibliografici***

AIPCN-PIANC (1997). Atti del "Corso di aggiornamento su regime e protezione dei litorali".(Prof. Leopoldo Franco)

Caputo C.,D'Alessandro L., La IVI-onica G.B., Landini là., Lupia Palmieri E. 1991. "Present erosion and dynamics of Italian beaches"

Z.Geomorph.N.F.'Supp.13d.81, pp.31-39.

CNR (1984) Atlante delle spiagge italiane, Ed, SELCA, Firenze.

Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (1991) Istruzioni Tecniche per la progettazione e la esecuzione di opere di protezione delle coste in erosione, Giornale del Genio Civile n. 10-11-12.

Horikawa K. (1988) Nearshore Dynamics- and coastal processes. University Of Tokyo Press.

## **ASPETTI GENERALI DELLE OPERE DI DIFESA COSTIERA**

### ***Aspetti fondamentali dei problemi di erosione***

Si possono distinguere due tipi principali di problemi erosivi:

- l'erosione "a breve termine" (o "temporanea") di tipo reversibile prodotta dal trasporto trasversale verso il largo associato alle mareggiate (o con periodicità stagionale)
- l'erosione "a lungo termine" (o "strutturale") tipicamente irreversibile, se non con interventi artificiali, dovuta tipicamente al gradiente positivo della portata solida longitudinale  $S$  lungo la spiaggia. La prima è anche definita (Stive e al. 1991) come "evoluzione costiera a piccola scala" (SSCE), mentre la seconda è classificata come modifica "a media scala" (MSCE); si possono anche distinguere i fenomeni "a grande scala" (LSCE) come l'erosione associata all'adattamento del profilo conseguente all'innalzamento globale del livello marino.

Nel primo caso, anche per effetto del sovrizzo di livello associato alla mareggiata, si verifica sostanzialmente una temporanea redistribuzione dei sedimenti lungo il profilo di spiaggia, che migrano dalla fascia emersa e dalla duna verso la fascia sommersa. Il recupero delle condizioni originarie avviene in tempi più lunghi, ma risulta completo se la costa è intrinsecamente stabile.

Un esempio del secondo e più grave tipo di erosione "strutturale" (progressiva e permanente) è dato dalla discontinuità della linea costiera provocata dai moli portuali aggettanti su un litorale soggetto ad un sensibile trasporto solido longitudinale.

Esiste in realtà anche la possibilità di una perdita continua di sedimenti in direzione trasversale, ma normalmente il materiale trascinato al largo della fascia di controllo viene poi rimosso dal gradiente del trasporto solido longitudinale agente in acqua più profonda, che resta quindi il meccanismo primario responsabile dell'erosione "strutturale" o cronica (soltanto coadiuvata dal meccanismo di redistribuzione trasversale).

Qualora invece il processo di migrazione progressiva di sabbia verso il largo conduca ad un deposito stabile nella parte più profonda del profilo si raggiungerà prima o poi un nuovo profilo di equilibrio di minor pendenza. L'erosione trasversale sistematica può così avvenire solo per modifiche a lungo termine delle condizioni meteomarine, quali l'innalzamento globale del livello marino, la subsidenza del territorio costiero od un peggioramento sistematico del clima ondoso.

Gli effetti dei due principali tipi di erosione su eventuali costruzioni prossime alla battigia saranno analoghi, ma i due fenomeni vanno affrontati con interventi diversi di protezione. Prima di esaminare i criteri di scelta di tali interventi è opportuno descrivere sinteticamente le tipologie principali, rimandando più avanti l'esame di dettaglio dei criteri progettuali.

### ***Tipologie degli interventi per la difesa dei litorali.***

Per contrastare l'erosione delle spiagge si possono utilizzare diversi sistemi di protezione, che possono genericamente suddividersi in difese "passive" ed "attive", nel senso che le prime assicurano una mera protezione diretta del territorio costiero, mentre le seconde producono direttamente o indirettamente un incremento localizzato della spiaggia. Le difese attive possono ulteriormente essere classificate in

opere rigide, morbide e miste, in relazione alla loro "deformabilità" per azione del mare, mentre le protezioni passive sono tipicamente di tipo rigido.

Le opere sono poi distinte per le caratteristiche geometrico-funzionali in continue e discontinue, permeabili e non.

Alla categoria dei sistemi passivi-rigidi appartengono le opere aderenti o radenti, disposte parallelamente alla riva nella parte emersa della spiaggia (spesso sulla duna) a diretta difesa di abitazioni, strade e ferrovie lungomare. Sono realizzate con semplici rivestimenti a scogliera, con massi a volte cementati con bitume o con piastre di calcestruzzo interconnesse, con gabbioni o materassi articolati ovvero con muri e pareti verticali a palancola, a paratia o a gravità, eventualmente concavi o a gradoni per una migliore dissipazione dell'energia ondosa.

Queste strutture sono spesso utilizzate per interventi d'emergenza e di breve durata, data l'economicità, la rapidità d'esecuzione e l'immediata protezione garantita dall'opera. Peraltro esse non forniscono alcuna protezione alla spiaggia antistante, la quale viene anzi danneggiata dalla maggior riflessione del moto ondoso che può accelerare l'escavazione al piede dell'opera causandone il crollo. È quindi opportuno limitarne l'uso a situazioni particolari, curando comunque la protezione (es. con pietrame) al piede della parete e la capacità assorbente ed antiriflettente della stessa.

Una particolare tipologia di opere aderenti di tipo "attivo e semi-morbido" è poi costituita dai sistemi di consolidamento delle dune, realizzati tipicamente con reti o staccionate di legno e con trapianto di vegetazione resistente all'ambiente secco e salino della spiaggia. La funzione "attiva" è peraltro esplicata non dal mare, ma dal vento che accumula la sabbia intorno ai suddetti ostacoli naturali o artificiali.

Esiste invero anche una analoga soluzione aderente-morbida di tipo subacqueo costituita dalle alghe artificiali, fasci di nastri di polipropilene agganciati a reti metalliche che simulano le funzioni di smorzamento idrodinamico e di fissaggio del fondale tipiche delle praterie di posidonie (seppur con effetti piuttosto modesti).

Tra le opere di difesa di tipo rigido ma con effetti ripascitivi (attive) sono comprese sia quelle pressoché parallele alla riva, sia quelle ad essa ortogonali, con ben diversi principi di funzionamento.

Le prime, note come barriere frangiflutti distaccate vengono costruite parallelamente ai fronti d'onda incidenti, ad una distanza dalla costa dell'ordine della loro lunghezza (mediamente circa 100 m), in genere con una serie di scogliere poco emergenti o addirittura sommerse, e in questo caso anche senza discontinuità. La profondità d'imbasamento (-4,-5 m. s.m.) coincide all'incirca con quella della barra naturale che si forma durante le mareggiate più frequenti ed intense.

Il coronamento delle scogliere può raggiungere la quota di +1,5 m.s.l.m.m. ed avere una larghezza di 4-5 m.

L'opera è quindi tracimabile dalle onde, che depositano nella zona d'ombra a tergo di essa i sedimenti in sospensione catturati al largo ed ai lati della barriera formando un'estroflessione della spiaggia che può congiungersi alla barriera creando un "tombolo". Questo incremento di spiaggia, e soprattutto di battigia, può però avere dannose ripercussioni sulle spiagge vicine, depauperate in

parte dell'alimentazione sedimentaria. Esiste anche il pericolo di erosione del fondale al piede esterno della struttura, che può essere ridotto adottando dolci pendenze del paramento lato mare (almeno 1/2) e mettendo in opera unghie di pietrame o filtri sintetici.

Se emergenti, le barriere distaccate sono in genere disposte in serie intervallate da varchi di circa 20-30 m così da formare degli alveoli semicircolari per la modellazione delle onde difratte.

Oltre ad inconvenienti di carattere estetico, esse possono presentare quindi problemi igienici a causa del ristagnare delle acque negli alveoli, specie durante i mesi estivi e quando come nei nostri mari sia trascurabile il naturale ricambio della marea. Tale inconveniente è eliminato nel caso di barriere sommerse, che in generale non abbisognano di varchi. Queste però possono creare pericoli alla navigazione costiera ed ai bagnanti, dato che risultano efficaci solo se poco sommerse e di sufficiente larghezza. Peraltro è proprio la modesta escursione di marea che ha favorito lo sviluppo delle barriere distaccate (emerse e sommerse) lungo le spiagge mediterranee.

Costruttivamente sono stati usati oltre agli scogli anche sacchetti di sabbia (vulnerabili), palancole, blocchi speciali di calcestruzzo, pali a stella permeabili ed altri sistemi.

Lungo i litorali in erosione con forte trasporto solido longitudinale sono spesso usati i pennelli, strutture più o meno permeabili ortogonali alla riva, che trattengono parte dei materiali in transito, creando in genere un'avanzamento della spiaggia sopraflutto ed il corrispondente arretramento sottoflutto. Per evitare di "inseguire" l'erosione è quindi raccomandabile, così come per i sistemi di barriere parallele, iniziare la costruzione del primo pennello a valle dell'unità fisiografica procedendo in verso opposto alla deriva litoranea. Perché non sia aggirato dai sedimenti il pennello si estende comunemente dal retrospiaggia fino alla prima linea dei frangenti (in genere a -2, -3 m.s.m.)

All'estremità foranea può a volte presentare un allargamento (a forma di T) così da ridurre l'effetto delle correnti di ritorno concentrate lungo l'opera e le conseguenti perdite di materiale e divenendo un tipo ibrido con lo schema delle barriere distaccate. I pennelli possono essere costruiti a scogliera o con fascine, legname, gabbie d'acciaio, elementi di calcestruzzo. Nel caso più frequente di pennello a scogliera la larghezza è legata alle modalità esecutive "via terra". L'altezza e la permeabilità del pennello possono variare in relazione all'efficacia richiesta.

Alla categoria degli interventi attivi di tipo morbido appartengono invece i ripascimenti artificiali, versamenti diretti di sabbia di opportuna granulometria estratta da cave di prestito in mare o a terra. La sabbia prelevata al largo, su fondali di oltre 15-20 m, è di norma più economica di quella terrestre, ma spesso risulta troppo fina e presenta anch'essa delicati aspetti di impatto ambientale. Lo scopo dell'intervento di ripascimento può essere quello di stabilizzare od ampliare una spiaggia in erosione, ovvero di realizzare una nuova spiaggia (che costituisce normalmente la migliore e più economica difesa costiera). Il sistema "morbido" ha il vantaggio di creare un immediato (ma non perenne) avanzamento del litorale senza dannose conseguenze per quelli vicini, a parte una temporanea torbidità delle acque costiere. I limiti dell'intervento sono legati alla disponibilità, a costi accettabili, di materiali idonei per il ripascimento spesso necessari in enorme quantità ed a più riprese.

La granulometria del materiale di riporto va studiata attentamente: il diametro medio deve essere in generale uguale o maggiore di quello originario e con assortimento preferibilmente minore pur dovendo comunque prevedere cospicue perdite dei sedimenti più fini del fuso e quindi maggiorare i quantitativi di apporto secondo opportuni "fattori di riempimento" (da 1.5 fino a 10 volte il volume necessario) ricavati da metodi teorici come quelli di Krumbein-James e Dean. Il deposito di alimentazione viene di regola effettuato presso l'estremità sopraflutto del litorale in modo da essere poi ridistribuito naturalmente dalle onde.

A volte viene utilizzato per il ripascimento il materiale dragato dai porti (purché di qualità accettabile) sia in fase di costruzione che di esercizio. In questo secondo caso si risolve contemporaneamente il problema dell'interrimento portuale realizzando un cosiddetto sistema di by-pass delle sabbie, che vengono pompate attraverso tubazioni a valle del porto (sottoflutto) da draghe e/o da impianti fissi a terra ripristinando la naturale deriva litoranea.

Per limitare gli interventi periodici di manutenzione di una spiaggia artificiale riducendo le perdite di sedimenti, si possono combinare i versamenti di materiale con opere di contenimento, sia aderenti che distaccate, sia trasversali che longitudinali (ripascimenti protetti o controllati). I pennelli vengono a volte prolungati sott'acqua e collegati a barriere longitudinali sommerse, così da formare celle semichiuse a pianta rettangolare.

In generale c'è oggi la tendenza verso un sistema di protezione integrato che fa appunto un uso combinato dei suddetti sistemi in modo da distribuire su una fascia costiera più ampia l'azione di attenuazione ondosa e di protezione morfologica, assicurando al contempo, insieme ad una maggiore flessibilità e durabilità, anche il soddisfacimento dei moderni requisiti paesaggistici, ricreazionali ed ecologici.

### ***Strategie contro l'erosione costiera***

I problemi di erosione possono essere risolti con due diversi tipi di soluzioni:

- a) cercando di neutralizzare la causa del problema erosivo;
- b) neutralizzando gli effetti dell'erosione.

Per quanto riguarda l'erosione strutturale il primo approccio è in pratica piuttosto difficile da realizzare. Esso consiste infatti nella riduzione del gradiente del trasporto solido longitudinale ad un valore trascurabile, mediante opportune contromisure. Queste devono dunque interferire con i processi di trasporto esistenti. È noto che questo meccanismo conduce ad una traslazione longitudinale del processo erosivo ed al conseguente tipico "inseguimento" con successive difese del litorale sottoflutto.

Peraltro la costruzione di opere aderenti sarebbe inefficace alla risoluzione del problema "strutturale". Infatti, pur prevenendo l'erosione della retrospiaggia, esse non rimuoverebbero la causa e la rimozione di sedimenti in direzione longitudinale continuerebbe a progredire nella restante fascia attiva del profilo, specie nella zona sommersa. Il conseguente approfondimento dei fondali davanti alle opere radenti (accentuato anche dalla riflessione delle strutture) favorirebbe l'attacco di onde sempre più alte e lo scalzamento al piede indurrebbe alla progressiva demolizione delle opere.

Il secondo approccio (neutralizzazione degli effetti) viene semplicemente conseguito con l'applicazione dei ripascimenti artificiali. In pratica è preferibile eseguire il ripascimento con periodicità pluriennale (5-10 anni), tenendo anche conto che l'avanzamento artificiale della spiaggia provocherà esso stesso un iniziale incremento delle perdite sedimentarie rispetto al rateo preesistente (sia per ragioni granulometriche che topografiche). In sostanza le cause del problema erosivo non vengono affatto rimosse e l'erosione continuerà. Anche se l'intervento protettivo di ripascimento va ripetuto periodicamente, il suo costo è confrontabile con quello degli altri sistemi rigidi (conteggiando i costi di investimento ed ammortamento delle opere).

Per quanto riguarda poi l'erosione trasversale, bisogna anche distinguere l'obiettivo della difesa: il rinforzo della duna come argine contro le inondazioni del territorio costiero retrostante, ovvero la protezione di proprietà e manufatti costruiti troppo vicino al mare.

In ambedue i casi il primo approccio, ossia la rimozione delle cause, è sempre problematico. Tra le condizioni al contorno, il sovrizzo di tempesta associato alla mareggiata è quasi impossibile da contenere, mentre la riduzione dell'altezza d'onda può ottenersi con una barriera distaccata.

Più agevole risulta invece la seconda soluzione di neutralizzazione degli effetti. Il sistema più immediato può essere quello di una protezione aderente, che va però studiato con molta attenzione per evitare i problemi di erosione localizzata al piede. Esso è efficace solo nel caso di litorale intrinsecamente stabile (assenza di erosione strutturale).

L'altro possibile approccio di "cura dei sintomi" è ancora quello del ripascimento artificiale. Sempre nell'ipotesi che l'erosione strutturale sia assente o affrontata con altri sistemi di difesa, il ripascimento della duna è un'operazione che viene allora eseguita solo una volta.

**Indicazioni per la scelta del tipo di opera di difesa:** Oltre ad i criteri "strategici" di base sopradescritti, legati alle cause e finalità dell'intervento di protezione, si possono distinguere i seguenti fattori condizionanti la scelta della soluzione ottimale dal punto di vista prettamente tecnico, cioè in base agli aspetti economici, idraulici e morfologici (Consiglio Superiore LL.PP., 1991)

- l'urgenza;
- il regime di trasporto litoraneo;
- l'importanza della marea;
- la stabilità morfologica

L'urgenza porta a scegliere opere che possono essere attuate in tempi brevi, senza studi approfonditi e con impegno limitato di risorse (piccoli volumi di materiale e costi contenuti). Essa non deve comunque giustificare interventi con palesi controindicazioni e che poi richiedano difese definitive di costo superiore ad un terzo circa del valore dei beni difesi dall'erosione che potrebbe manifestarsi nel lasso di tempo necessario per progettare e realizzare un intervento più meditato.

Si può distinguere:

- a) un'urgenza "estrema" (intervento entro 15 giorni senza un formale progetto),
- b) "media" (entro 1 anno con supporto di indagini parziali) e
- c) "generica" (in tempi compatibili con l'esecuzione di tutti i necessari studi).

Come tipi di regime di trasporto litoraneo sono stati schematicamente individuati i seguenti:

- d) trasporto longitudinale assente o trascurabile rispetto a quello trasversale;
- e) trasporto longitudinale netto nullo o insignificante rispetto a quello lordo;
- f) trasporto longitudinale netto modesto ma ben definito;
- g) trasporto longitudinale importante ma con risultante mai definita;
- h) trasporto longitudinale importante con risultante ben definita;

Per quanto riguarda l'influenza della marea sulla risposta funzionale delle opere si distinguono:

- i) insignificante (escursione sizigiale inferiore a 0,5 m)
- l) importante (escursione superiore a 0,5 m con possibilità di sovralti totali di oltre 1,0 m).

Infine l'instabilità morfologica del sito, proporzionale all'erosibilità della costa ed inversamente alle dimensioni spaziali delle forme di spiaggia, può orientare il progettista verso la scelta di strutture con costo iniziale e vita presunta limitati. Si distinguono tre categorie:

- m) insignificante (es. falesie);
- n) modesta (es. spiagge sottili e "a tasca");
- o) importante (es. cuspidi focali, piccole unità fisiografiche con forti trasporti).

In conclusione possono comunque ricavarsi le seguenti indicazioni di carattere generale :

- i pennelli sono ben impiegati dove il trasporto longitudinale netto è ben definito, ma non assicurano la protezione diretta del territorio costiero;
- le barriere distaccate trovano applicazione, in paraggi con escursioni di marea e ratei di trasporto longitudinale modesti, ma hanno effetti negativi sul paesaggio e qualità dell'acqua (se emergenti);
- le difese aderenti sono generalmente sconsigliabili, ad eccezione di casi d'estrema urgenza o di opere di modesto rilievo poste a quote raramente raggiunte dal mare;
- le opere a sviluppo longitudinale in generale sono poco adatte in litorali con conformazione rapidamente variabile;
- i ripascimenti artificiali presentano notevoli vantaggi ambientali e sono preferibili soprattutto dove il trasporto solido è modesto; se il trasporto è notevole il ripascimento può essere abbinato ad opere di contenimento per ridurre gli oneri di manutenzione.

### **Riferimenti bibliografici**

AIPCN-PIANC (1997). Atti del "Corso di aggiornamento su regime e protezione dei litorali".(Prof. Leopoldo Franco)

Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (1991) Istruzioni Tecniche per la progettazione e la esecuzione di opere di protezione delle coste in erosione, Giornale dei Genio Civile n. 10-11-12

Franco L.(1987).Behaviour of detached breakwaters. Offshore & Marine Engineering 1

Franco L. (1992) Nuove tecnologie per la difesa dei litorali, in La Difesa dei Litorali in Italia, ed. P.Aminti e E.Pranzini, Edizioni delle Autonomie n. 38

Franco L., Marconi R. (1995), Porti Turistici, guida alla progettazione e costruzione, Maggioli Editore

Noli A. (1988) Difendere la spiaggia rispettando l'ambiente. VIA n.8

Pylarczyk K. (1994) Design philosophy and design criteria for coastal protection, an overview (comunicazione personale)

Silvester R., Hsu J. (1993) Coastal Stabilization- innovative concepts. Prentice Hall

Stive M.J.F., Nicholls R.J., De Vriend H.J.(1991) Sea-level rise and shore nourishment: a discussion. Coastal Engineering 16, pp.147-163

van de Graaff J., Niemeyer H., van Overeem J. (1991) Beach nourishment, philosophy and coastal protection policy. Coastal Engineering

## **INTERVENTO PROGETTUALE**

### ***Premessa***

Nel paragrafo precedente si è illustrato lo spettro delle opzioni progettuali in tema di opere di difesa di coste basse, introducendo una classificazione tipologica e una strategia per la selezione dell'intervento ottimale.

Si intendono ora affrontare le tematiche afferenti l'intervento progettuale relativamente alla fascia costiera del Comune di Giardini Naxos all'interno della baia e in prossimità con il lungomare Tisandros-Naxos, con l'approccio che è scaturito dallo Studio Generale.

Per una opportuna visione d'insieme, "integrata" su tutto l'intervento, sembra utile esplicitare l'intero iter realizzativo di un'opera di difesa costiera, includendo anche i momenti pre-progettuali, esecutivi (sia pur in via sintetica) e gestionali.

In buona sostanza, la "scaletta procedurale" può essere così riassunta:

- definizione degli obiettivi progettuali (strettamente tecnici e non);
- individuazione delle condizioni al contorno e dei vincoli operanti sulla progettazione,
- esecuzione degli studi di base (definizione dello stato dell'ambiente costiero);
- individuazione delle possibili opzioni progettuali in conformità con i già definiti obiettivi, condizioni al contorno e vincoli;
- studio delle differenti opzioni e loro eventuale ottimizzazione (con l'ausilio della modellistica);
- confronto tra le differenti opzioni e scelta (sulla base di una valutazione "costi-benefici" che implementi anche gli aspetti turistico-baineari, sociali, ambientali e paesaggistici);
- progettazione esecutiva delle opere e redazione del programma di manutenzione (con l'ausilio della modellistica);
- costruzione (e monitoraggio in corso d'opera);
- collaudo e successiva gestione (intesa come sfruttamento dei beni, con associato monitoraggio delle opere e manutenzione delle stesse, in conformità a quanto preventivamente stabilito).

### ***Intervento progettuale***

Dalla interazione fisica tra le opere di difesa costiera e la dinamica del moto ondoso della fascia costiera "attiva", sono prodotti molteplici fenomeni che occorre accuratamente valutare. Al fine di raggiungere il desiderato riequilibrio del tratto di litorale in erosione, bisogna canalizzare la progettazione verso l'obiettivo di perseguire una soddisfacente soluzione ingegneristica integrata dalle fenomenologie fisiche scaturite dalla citata interazione, come di seguito illustrato.

Come definito in precedenza si distinguono i casi di opere "rigide" (distinte in "attive", quali le barriere distaccate ed i pennelli, e "passive", quali le difese aderenti) e di opere "morbide" (ripascimenti con materiale granulare sabbioso e/o ghiaioso), ricordando come spesso entrambe le tipologie convivano (opere "miste"), nel caso dei ripascimenti protetti.

Nel caso particolare oggetto del presente progetto, sulla scorta dei risultati delle indagini, studi e rilievi effettuati, l'intervento progettuale relativo alla **“SALVAGUARDIA DELL'ABITATO E LUNGOMARE DI GIARDINI NAXOS-RIPASCIMENTO DELL'AREA A RISCHIO EROSIONE COSTIERA ANTISTANTE IL LUNGOMARE TISANDROS-NAXOS”** consiste essenzialmente in un'opera **“morbida”** quale il **ripascimento artificiale**, , naturale completamento dell'opera **“rigida”** quale la barriera soffolta già realizzata.

La scelta di questa soluzione discende dalle seguenti motivazioni:

- le caratteristiche eccezionali del sito Baia di Giardini Naxos e Taormina impongono una scelta progettuale che, risolvendo il problema della difesa costiera, privilegi l'inserimento ambientale della stessa
- la scelta del **“ripascimento”** è obbligata perchè in uno con la difesa costiera, e cioè la salvaguardia del patrimonio costituito dagli insediamenti abitativi-turistico-alberghieri-lungomare, occorre ripristinare le condizioni ambientali-paesaggistiche originarie che hanno qualificato e caratterizzato la Baia di Giardini Naxos e Taormina in passato richiamando gli insediamenti stessi; tali condizioni sono rappresentate appunto dalla vasta falcata di spiaggia che si estendeva nell'intero territorio comunale che affaccia sulla Baia”
- la scelta del **“ripascimento”** se da un lato è obbligata per motivi ambientali lo è maggiormente obbligata da un punto di vista idraulico-ingegneristico; occorre ripristinare la riserva di oscillazione di spiaggia dell'ordine delle decine di metri che consentiva originariamente il trasferimento stagionale spiaggia emersa-fondale
- la tecnica del **“ripascimento”**, tenuto conto della particolare geometria dell'unità fisiografica, è agevolata dalla condizione d) trasporto longitudinale assente o trascurabile rispetto a quello trasversale (Istruzioni Tecniche Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (1991))
- la soluzione idraulico-ingegneristico della barriera soffolta già realizzata per 500 m. su 1000 m. previsti nel progetto generale permette il crearsi di una fascia di baia protetta larga oltre 150 m ricreando le condizioni ambientali tipiche delle zone di mare protette dalle barriere coralline, dal **“reef”**; il termine tecnico inglese di tale opera è infatti **“reef-breakwater”** che permette di rettificare ed uniformare la direzione del moto ondoso incidente ridotto nella fascia di Baia protetta; la spiaggia di ripascimento non **“si accorge”** della direzione di provenienza della mareggiata **“al largo”**.
- da un punto di vista di impatto ambientale la barriera soffolta esistente trasmette un'altezza d'onda residua drasticamente abbattuta che rende compatibile per la spiaggia di ripascimento un materiale con D50 di apporto prossimo a quello esistente; si garantisce così la possibilità di ricreare le condizioni originarie della spiaggia e contemporaneamente la qualità tattile di fruizione delle stesse

Si fanno ora delle considerazioni sulla tipologia di opera (**Opere morbide** con o senza opere rigide di contenimento trasversali e/o longitudinali) progettata.

**Stabilità dinamica dell'opera:** Occorre assicurare una soddisfacente stabilità dinamica al versamento di materiale granulare sulla spiaggia emersa e sommersa, che costituisce il ripascimento. Si definisce una stabilità dinamica trasversale e longitudinale:

- la prima è legata alla presenza di un potenziale profilo di equilibrio compatibile con la morfologia della spiaggia sommersa preesistente e con i prefissati requisiti progettuali (tra i quali, l'avanzamento medio della linea di battigia). Le caratteristiche sedimentologiche dei

materiale granulare di apporto con la presenza di una scogliera sommersa di contenimento influenzano l'assetto trasversale della spiaggia ricostruita;

- la seconda è legata alla presenza di una configurazione planimetrica finale in sostanziale stabilità temporale, risultato di una modellazione d'insieme (ad opera del trasporto longitudinale) che conduca ad una disposizione della linea di battigia il più possibile ortogonale alla direzione statistica media del vettore risultante dell'energia dei moto ondosi incidente; da ciò, infatti, deriva un abbattimento del valore numerico del trasporto longitudinale e del suo gradiente.

**Contenimento delle perdite.** Definizione del programma di manutenzione.

Pur in presenza di una sostanziale stabilità dinamica d'insieme del ripascimento, è inevitabile che l'opera ammetta delle perdite (depauperamento di materiale granulare nell'unità di controllo), come risultato della sovrapposizione spaziale degli effetti delle dinamiche litoranee sopra individuate (altre cause producenti perdite sono l'azione eolica e, evidentemente, locali escavi).

Nel nostro caso, la presenza della barriera soffolta opera un sensibile contributo all'abbattimento delle perdite, così come il modello matematico di evoluzione costiera a "una linea" è utile strumento per provvedere alla ottimizzazione della configurazione progettuale al fine della minimazione delle perdite.

In ogni caso costituisce un primario obiettivo della progettazione integrata delle opere prevedere un contestuale piano di monitoraggio e manutenzione dell'opera, in linea peraltro con le recenti disposizioni di legge in materia di appalti di lavori pubblici. Il monitoraggio avrà il preciso scopo di verificare su prototipo la fondatezza delle previsioni fornite dal modello matematico, al fine di porre in essere le eventuali "correzioni di tiro" rispetto al preventivato programma di manutenzione.

**Ulteriori obiettivi della progettazione.** Le condizioni al contorno

Si sono descritti nel precedente paragrafo gli obiettivi strettamente tecnici della progettazione di un'opera di difesa costiera. E' ormai pratica consolidata, nella corrente attività progettuale, l'adozione di un approccio "integrato" ai molteplici aspetti sottesi a questo tipo di intervento. Occorre soddisfare, infatti, ulteriori requisiti di fondamentale importanza se si intende condurre la progettazione dell'opera oltre lo stretto recinto costituito dal rispetto degli obiettivi meramente ingegneristici (strutturali e funzionali). Si possono ricondurre a questo secondo "gruppo" di obiettivi i seguenti aspetti:

- il rispetto dell'ecosistema costiero (con particolare riferimento alla salvaguardia della fauna marina);
- la conformità della progettazione tecnica con l'esigenza di pubblica fruizione (in chiave turistico-balneare e igienico-sanitaria) della costa oggetto d'intervento;
- il rispetto (o il miglioramento, se possibile) degli aspetti paesaggistico-ambientali dei luoghi;
- i vincoli sul territorio imposti dalla pianificazione urbanistica, ambientale e paesaggistica;
- il quadro normativo tecnico-amministrativo in materia;

- l'esistenza di una fattibilità tecnico-economica dell'intervento (reperimento del materiale da costruzione a costi accettabili e in sufficiente quantità; presenza di idonei vettori di trasporto; rispetto dei budget di spesa e dei tempi previsti).

### **La gestione dell'opera di difesa costiera.**

Si è già detto sui tre momenti, successivi al collaudo, che caratterizzano la gestione dell'opera durante il periodo di vita tecnica della stessa:

- lo sfruttamento del bene (nel senso economico, sociale e turisticobalneare);
- il monitoraggio del tratto di costa in esame e di quello sottoflutto;
- il piano di manutenzione già programmato in fase progettuale.

Si sofferma l'attenzione sugli ultimi due aspetti.

**Il monitoraggio:** Si espone il nostro caso di ripascimento protetto, in quanto in esso convivono le problematiche proprie delle opere "rigide" e di quelle "morbide".

Distinguiamo una fase di indagini di campagna, da ripetere con periodicità assegnata, e una fase parallela (ad essa collegata) di studi a "tavolino".

Le indagini di campagna sono solitamente così concepite:

- rilevamento delle caratteristiche del moto ondoso mediante installazione e gestione di un ondometro direzionale (attività in continuo). Questa importante attività (che sarebbe opportuno cominciare in corso d'opera così da poter disporre di un più significativo periodo temporale di misura) fornisce informazioni sul clima e sugli eventi estremi del moto ondoso, permettendo utili correlazioni con le concomitanti modificazioni della spiaggia e consentendo di aggiornare la definizione del clima del moto ondoso posto a base del modello matematico di evoluzione costiera utilizzato in fase progettuale;
- periodici rilievi topo-batimetrici della spiaggia emersa e sommersa e delle opere "rigide", estesi al tratto sottoflutto ed alla spiaggia sommersa posta al largo dell'intervento (fino alla profondità di chiusura). I rilievi producono la nuova posizione della linea di battigia (confrontata con le precedenti); i profili trasversali di spiaggia e delle opere "rigide" ad interasse prestabilito (confrontati con i precedenti per l'individuazione delle perdite volumetriche del materiale granulare e delle variazioni di sagoma delle opere "rigide", dovute a dislocamenti e/o cedimenti delle stesse);
- periodici prelievi su profili trasversali del materiale granulare superficiale della spiaggia emersa e sommersa (al fine di porre in essere utili correlazioni con le caratteristiche morfologiche evidenziate dai rilievi);

Gli studi a "tavolino" consistono nella sintesi ragionata dei risultati salienti di ogni campagna. Le previsioni su modello della fase sperimentale vanno verificate con i risultati del prototipo. Da ciò ne può scaturire una nuova taratura del modello matematico a "una linea", al fine di fornire una nuova previsione di evoluzione temporale.

Laddove i risultati si scostassero sensibilmente dalle previsioni, occorre modificare il piano di manutenzione dell'opera (presenza di tassi medi annui di perdita del materiale di apporto diversi da quelli preventivati, ad esempio). In aggiunta, possono ipotizzarsi (sempre con il modello matematico) interventi di integrazione/ottimizzazione delle opere realizzate (con particolare riferimento alle opere

"rigide"), individuando l'effetto netto delle stesse nel tempo (confronto tra l'evoluzione temporale con e senza opere di integrazione/ottimizzazione).

**La manutenzione:** Si è già affrontata la problematica della stretta (e imprescindibile) interrelazione esistente tra il progetto e la manutenzione, così come si è appena detto del fondamentale ruolo del monitoraggio nell'individuare le eventuali "correzioni di tiro" nel programma di manutenzione.

Nel caso delle opere "morbide", l'intervento di manutenzione si concreta come un versamento di materiale granulare, solitamente in corrispondenza dell'estremità dell'opera in deficit detritico. In tal modo, la corrente longitudinale può utilmente operare il trasferimento e la distribuzione del materiale granulare di ricarica lungo tutto l'intervento.

### **INTERVENTO DI RIPASCIMENTO**

Per **ripascimento** in geomorfologia ed in geologia si intende il fenomeno naturale di riporto lungo i fiumi, i laghi e le coste marine di quantità di sabbia per l'azione dello scorrere delle acque lungo i fiumi ed in mare per l'azione delle onde e delle correnti.

Il ripascimento costiero è un argomento che ha assunto una grande importanza per la necessità del ripristino artificiale delle condizioni preesistenti o ideali di tratti sabbiosi marini, quasi sempre utilizzati a fini turistici presso località balneari, attraverso l'azione di riporto di volumi di sabbia con le stesse caratteristiche peculiari del sito interessato, quindi dello stesso colore, granulometria e tipologia del materiale.

I sistemi di riporto della sabbia sono molteplici, uno dei più semplici è quello di riportare la sabbia dai fondali adiacenti la linea di battigia attraverso ruspe o altri mezzi meccanici di movimento terra o con elettro/motopompe aspiratrici azionate da operatori subacquei. Un altro metodo molto utilizzato negli ultimi anni è quello di aspirare la sabbia da siti denominati così "cave di sabbia marina", in pratica fondali distanti dalla linea di costa e profondi, attraverso mezzi navali dotati di sistemi di aspirazione molto potenti in grado di riversare attraverso lunghe tubazioni enormi quantità di sabbia presso le spiagge interessate dagli interventi. L'azione finale è quella del relativo spianamento e livellamento anche con l'ausilio di sistemi laser.

Altro problema importante, spesso non tenuto nella dovuta considerazione è il ripresentarsi della successiva rierosione dei litorali soggetti a ripascimento artificiale, poiché i fattori che hanno determinato le condizioni di erosione rimangono in essere e/o non sono state intraprese azioni correttive o risolutive efficaci.

***Il progetto di difesa costiera consiste nella ricostruzione del tratto di arenile sottostante il lungomare Tisandros compreso tra i due pennelli trasversali emersi tramite intervento di manutenzione a seguito di monitoraggio di precedenti opere.***

Dall'esame della relazione geologica allegata si evince che nell'area in esame “...in origine affioravano le Argille scagliose, che a causa dei fenomeni erosivi marini sono state asportate e conseguentemente sono state riportate in superficie le arenarie del Flysch di Capo d'Orlando, che in questa zona affiorano in mare, mentre sono ricoperte sul litorale dai depositi attuali di spiaggia. Pertanto nell'area d'intervento si verificano attualmente importanti fenomeni erosivi, con conseguente riduzione o completa assenza della spiaggia, mentre il basamento arenaceo sul quale giacciono, o in certi casi giacevano, le sabbie della spiaggia attuale, presenta caratteristiche di elevata resistenza meccanica e quindi è debolmente interessato dall'azione erosiva del mare...”



La presenza nell'area in esame della barriera soffolta realizzata con altro intervento, rende di fatto il mare di fronte alla spiaggia da ricostruire come un bacino chiuso, dove l'azione erosiva del mare è di gran lunga meno intensa rispetto alla zona a nord del pennello esistente in parte soffolto.

Pertanto la scelta di operare in questa parte di litorale è scaturita dal fatto che il ripascimento della spiaggia sarà sicuramente più efficace e duraturo e permetterà di utilizzare i fondi a disposizione per ricostruire totalmente la spiaggia da quella tuttora esistente fino al pennello in parte soffolto.

Per la realizzazione del progetto di ripascimento, si prevedono due fasi esecutive:

- ***PRIMA FASE ESECUTIVA - Dragaggio dell'area portuale***
- ***SECONDA FASE ESECUTIVA - Ripascimento nel tratto protetto dalla barriera soffolta con materiale proveniente da cava e dal dragaggio***

### ***PRIMA FASE ESECUTIVA - Dragaggio dell'area portuale***

Come sopra evidenziato la particolare conformazione della baia di Giardini Naxos e l'esposizione prevalente ai venti dominanti da Est e da Nord-Est, determina il trasporto dei sedimenti erosi verso sud con il problema di insabbiamento della zona centrale del porto di Schisò, come evidenziato dal rilievo batimetrico.

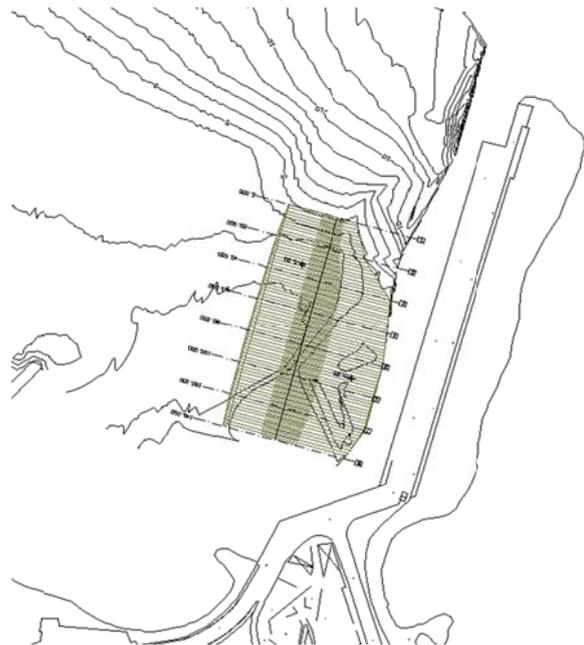
Quando si pone il problema del ripascimento delle coste, il punto più ecologico e naturale di captazione del materiale sabbioso è situato ai limiti della zona attiva di trasporto longitudinale, che nel caso di Giardini Naxos è rappresentato proprio dall'area del porticciolo di Schisò.

### ***La prima fase del progetto prevede quindi il dragaggio di parte del fondale del porto fino ad una profondità media di -5,00 m.***

Si è scelto di prelevare la sabbia da tale sito perché dalla consultazione dei dati contenuti nel progetto per la realizzazione della barriera soffolta sita di fronte l'area oggetto del rinascimento, redatto nel 2003 per conto dell'Amministrazione Comunale di Giardini, si evince testualmente (cfr relazione geologica del Prof. Randazzo) che *"...i materiali prelevati nella zona del porto di Schisò risultano stabili e con un buon tasso di ripascimento, .....Questo materiale si trova quindi in condizioni ottimali per il suo riutilizzo nel ripascimento della baia di Giardini"*.

Tale affermazione ha trovato riscontro nelle risultanze del monitoraggio del ripascimento che è stato effettuato con l'utilizzo di circa 65.000 mc. di materiale prelevati nell'area sommersa in prossimità della zona portuale. La spiaggia così realizzata subito dopo la prima mareggiata presentava un'acqua eccezionalmente trasparente, a testimonianza che nel materiale di prestito immesso nel sistema la componente fine era pressoché assente.

***In base a tali considerazioni e precedenti esperienze si ritiene che il prelievo di materiale all'interno dell'area portuale sia idoneo per il ripascimento oggetto del presente progetto.***



Comunque nell'area di dragaggio dove è previsto di prelevare la sabbia per il ripascimento, è da eseguire preliminarmente una campagna di indagini con prelievo di campioni, propedeutica ai lavori di ripascimento, finalizzata a confermare l'idoneità dei sedimenti da utilizzare per il successivo rinascimento. L'esecuzione del dragaggio e del successivo ripascimento con i sedimenti provenienti dalla zona individuata dal progetto, resta comunque condizionato dall'esito delle analisi di

caratterizzazione dei sedimenti da dragare e potranno essere utilizzati solo nel caso di una loro idoneità ai sensi delle normative. Qualora le risultanze della caratterizzazione escludessero la possibilità di utilizzare i sedimenti caratterizzati, il dragaggio potrà avvenire in altra zona da individuare.

**Il progetto prevede un dragaggio teorico pari a 17.293,60 mc.**

**Ipotizzando una resa dell'85%, il materiale che verrà riversato nel sito scelto per il ripascimento è pari a mc. 14699,56.**

### ***SECONDA FASE ESECUTIVA - Ripascimento nel tratto protetto dalla barriera soffolta con materiale proveniente da cava e dal dragaggio***

L'obiettivo progettuale di un intervento di ripascimento e quello di garantire, in fase di "esercizio" della fascia costiera, un avanzamento minima  $Y$  della linea di riva rispetto alla posizione ante-operam.

La definizione del valore di  $Y$  può rispondere a due diverse esigenze di "operatività" del litorale: assicurare un prefissato grado di protezione per il retrospiaggia dall'azione delle mareggiate più intense e mantenere una larghezza della spiaggia emersa sufficiente per la fruizione e per le attività turistiche balneari.

Nella definizione del volume di ripascimento  $V$ , necessario per realizzare l'avanzamento  $Y$  di progetto, e necessario tenere conto dei fenomeni di perdita dei sedimenti legati essenzialmente a due fattori:

- a) La naturale tendenza evolutiva del litorale contraddistinta da una redistribuzione dei sedimenti di ripascimento lungo la fascia costiera per effetto delle componenti longitudinali del moto ondoso - flusso longitudinale - e per la deriva dei sedimenti all'esterno della fascia attiva - flusso trasversale -;
- b) La sabbia estratta da cave, viene prelevata da una condizione sedimentaria stabile da tempi geologici e posta in una fascia particolarmente attiva sottoposta a continue azioni idrodinamiche del moto ondoso; tale circostanza comporta una naturale azione di rifelezione granulometrica - e talvolta mineralogica - del materiale di apporto, consentendo l'effettiva sedimentazione di una parte sola della stesso materiale.

E' da evidenziare l'impossibilità di porre in opera i volumi di ripascimento secondo il "profilo di equilibrio" che contraddistingue la fascia costiera.

La sagoma di versamento della sabbia di ripascimento è destinata ad essere modellata dall'azione diretta del moto ondoso e delle correnti; nel breve e medio termine si ha una drastica migrazione dei sedimenti in senso trasversale, essenzialmente verso il largo, con la tendenza a sagomare un profilo trasversale di equilibrio sino alla "profondità di chiusura" della fascia costiera o, se presenti, sino alle opere di contenimento al piede.

Solitamente è necessario aspettare almeno un ciclo climatico annuale affinché, ad opera del moto ondoso e delle correnti, i volumi delle sabbie di ripascimento conformino il profilo di equilibrio.

Per la definizione del profilo di versamento si è quindi tenuto conto di quattro tipi di perdite:

- *P1) Perdite immediate al versamento:* Riguardano la percentuale più fina del materiale di ripascimento che, al momento della posa in opera, entra in sospensione e comunque non sedimenta in sito; queste perdite non sono computate nei profili di progetto ma vengono considerate solo come una maggiore percentuale di carico -  $P1 = 10\%$  circa - che la draga - o i camion - devono prelevare dalla cava per garantire la consegna netta di progetto sul litorale.
- *P2) Perdite per overflow:* Sono quelle che si verificano quando la distribuzione granulometrica del materiale di apporto non coincide con quella del materiale in sito, si produce una integrazione del fuso granulometrico del materiale mescolato con riduzione dei volumi effettivi; tale perdita è apprezzabile in maniera significativa solo tramite la conoscenza in dettaglio delle curve granulometriche del materiale di apporto, dato che risulterà disponibile solo all'atto esecutivo. Se le granulometrie evidenziate nelle analisi effettuate nelle cave saranno particolarmente affini a quelle autoctone potrebbe teoricamente ipotizzarsi  $P2 = 0$ . L'ipotesi possibile allo stato attuale valuta tale perdita pari a circa  $P2 = 5\%$ .
- *P3) Perdita stagionale:* Questa perdita è di natura essenzialmente trasversale - trasporto a largo e perdita dei sedimenti per la formazione e l'alimentazione delle berme - e si manifesta nel corso del primo ciclo stagionale; tale perdita è stata stimata pari a circa  $P3 = 5\%$ .
- *P4) Perdite a regime:* Queste perdite sono dovute alle componenti longitudinali che il moto ondoso prevalente ha nei confronti del litorale - non perpendicolarità delle traiettorie delle onde rispetto alla costa -; tale circostanza comporta una risultante non nulla nella traslazione lungo costa dei sedimenti ed il fenomeno, se non controbilanciato da un apporto esterno di altri sedimenti, si manifesta con una perdita di materiale ed un arretramento della costa; queste perdite vengono valutate sulla base dei confronti dei profili rilevati negli anni - monitoraggio - e sono state stimate in previsione tramite il modello matematico pari a circa  $P4 = 20\%$ .

Il tratto di spiaggia da ripascere allo stato attuale presenta un forte arretramento della battigia che in alcuni punti risulta essere a ridosso dei massi a protezione del piede del muro di contenimento del lungomare Tisandros.

L'intervento mira a creare una spiaggia avente profondità media pari a 37,00 mediante l'apporto dei materiali dragati dal fondale del porto e con l'integrazione di idoneo materiale proveniente da cave di prestito avente opportuna granulometria.

Per l'attuazione della prima fase dell'intervento di ripascimento, atto a creare il profilo di spiaggia secondo le sezioni di progetto (ripascimento fase 1), **richiede il versamento teorico di complessivi 24.609,98 mc. di sabbia. Al fine di ottenere tale quantitativo teorico, necessitano mc.**

**14.699,56 provenienti dal dragaggio e mc. 11658,98 proveniente da cava.**



A seguito della naturale perdita di materiale dovuto ai fenomeni sopra descritti, i volumi delle sabbie di ripascimento si conformeranno al profilo di equilibrio secondo le sezioni (teoriche) di progetto (ripascimento fase 2).

**La perdita di materiale è stimato in 6537,26 mc. pari a circa il 27% del volume teorico iniziale.**

### **CONCLUSIONI**

L'importo delle opere previste nel presente progetto esecutivo funzionale ammonta complessivamente a **€ 700.000,00 dei quali € 223.650,58 per somme a disposizione dell'Amministrazione e € 476.349,42 per lavori.**

**Di questi ultimi € 444.071,95 per lavori a base d'asta, € 8.443,20 per oneri della sicurezza non soggetti a ribasso d'asta, € 23.834,27 per costi della monopera non soggetti a ribasso d'asta.**

I prezzi delle singole categorie di lavoro sono stati desunti dal Prezziario Generale OO.PP. – Sicilia 2013, in vigore al momento della stesura del presente progetto. Per le categorie di opere non presenti nel suddetto prezziario, i relativi prezzi sono stati ottenuti attraverso analisi prezzi.

I lavori relativi al dragaggio essendo effettuati in ambito portuale, non sono soggetti all'imposta sul valore aggiunto ai sensi dell'art. 3 , comma 13 del D.L. n° 90 del 27/04/1990 convertito con modificazioni nella legge n° 165 del 26/04/1990.

Tutte le opere previste in progetto saranno realizzate in conformità alle vigenti normative con riferimento alla sicurezza, igienico-sanitarie ed a quanto altro previsto dalle normative che regolano la materia.

Per quanto involontariamente non descritto si rimanda agli elaborati grafici e tecnici allegati al progetto di cui la presente relazione tecnica illustrative è parte integrante.

#### **Il progettista**

Raggruppamento temporaneo di professionisti  
Dott. Ing. Adolfo Veroux (capogruppo)

Geom. Mario Bonsignore

Geom. Salvatore Gualtieri