

## INDICE

### **RELAZIONE SEDI MENTOLOGICA**

ISOLA DI ISCHIA

OPERAZIONI DI CAMPAGNA

ISOLA DI PROCIDA

Unità fisiografica "Marina Grande"

Unità fisiografica "Corricella" .....

Unità fisiografica "Ciraccio" .....

*UNITÀ FISIOGRAFICA "POZZO VECCHIO"*

COSTA CONTINENTALE (Litorale di Lago Patria) .....

Unità fisiografica Lago Patria .....

*SUB UNITÀ FISIOGRAFICA "ISCHITELLA"*

*SUB UNITÀ FISIOGRAFICA "LICOLA"*

*SUB UNITÀ FISIOGRAFICA "CUMA"*

*SUB UNITÀ FISIOGRAFICA "FUSARO"*

COSTA CONTINENTALE (Litorale dei Campi Flegrei) .....

*SUB UNITÀ FISIOGRAFICA "MILISCOLA"*

*SUB UNITÀ FISIOGRAFICA "LUCRINO"*

ELABORAZIONE DATI

RISULTATI

ISOLA DI PROCIDA .....

*Unità fisiografica "Marina Grande" .....*

*Unità fisiografica "Corricella" .....*

*Unità fisiografica "Ciraccio" .....*

*Unità fisiografica "Pozzo Vecchio" .....*

COSTA CONTINENTALE (Litorale di Lago Patria) .....

Unità fisiografica "Lago Patria" .....

*Sub Unità fisiografica "Pineta Mare" .....*

Sub Unità fisiografica “Ischitella” .....	
Sub Unità fisiografica “Licola” .....	
Sub Unità fisiografica “Cuma” .....	
Sub Unità fisiografica “Fusaro” .....	
COSTA CONTINENTALE (Litorale dei Campi Flegrei) .....	
Sub Unità fisiografica “Miliscola” .....	
Sub Unità fisiografica “Lucrino” .....	

## RELAZIONE GEOLOGICA

<b>1. PREMESSA</b> .....	
1.1 METODOLOGIA DI STUDIO.....	
<b>2. ISOLA D’ISCHIA</b> .....	
<b>3. ISOLA DI PROCIDA</b> .....	
3.1 CARTA-INVENTARIO DEI FENOMENI FRANOSI.....	
3.2 CARTA DEI PROCESSI MORFODINAMICI COSTIERI.....	
3.3 CARTA DELLA SUSCETTIBILITÀ/PERICOLOSITÀ RELATIVA DA FRANA.....	
3.3.1 Carta della suscettibilità all’innescio da frana.....	
3.3.2 Carta della pericolosità relativa da frana.....	
<b>4. CAPO POSILLIPO</b> .....	
4.1 CARTA-INVENTARIO DEI FENOMENI FRANOSI.....	
4.2 CARTA DEI PROCESSI MORFODINAMICI COSTIERI.....	
3.3 CARTA DELLA SUSCETTIBILITÀ/PERICOLOSITÀ DA FRANA.....	
3.3.1 Carta della suscettibilità all’innescio da frana.....	
4.3.2 Carta della pericolosità relativa da frana.....	
<b>5. MONTE DI PROCIDA</b> .....	
5.1 CARTA-INVENTARIO DEI FENOMENI FRANOSI.....	
5.2 CARTA DEI PROCESSI MORFODINAMICI COSTIERI.....	

---

5.3 CARTA DELLA SUSCETTIBILITÀ/ PERICOLOSITÀ DA FRANA.....	
5.3.1 <i>Carta della suscettibilità all'innesco da frana.....</i>	
5.3.2 <i>Carta della pericolosità relativa da frana.....</i>	
<b>6. STUDI DI DETTAGLIO.....</b>	
6.1 FALESIA IN LOCALITÀ CHIAIA, PROCIDA.....	
6.1.1 <i>Carta geolitologica .....</i>	
6.1.2. <i>Carta geomorfologica.....</i>	
6.1.3 <i>Carta geostrutturale.....</i>	
6.1.4 <i>Condizioni di stabilità della parete.....</i>	
6.2 FALESIA DI CAPO POSILLIPO, NAPOLI .....	
6.2.1 <i>Carta geolitologica .....</i>	
6.2.2 <i>Carta geomorfologica.....</i>	
6.2.3. <i>Carta geostrutturale .....</i>	
6.2.4. <i>Condizioni di stabilità della parete.....</i>	
<b>7. CONCLUSIONI .....</b>	

---

## **I SOLA DI ISCHIA**

### **METODOLOGIE DI INDAGINI**

#### **Coste basse depositive**

Lungo le U.F. a costa bassa depositiva sono state eseguite le seguenti operazioni di campo:

- rilievo topografico, mediante distanziometro elettronico, della linea di riva e della spiaggia emersa attraverso sezioni trasversali ad interasse di 50 m tra il livello medio mare e le prime strutture antropiche presenti sulla spiaggia emersa
- rilievo dei fondali attraverso sezioni batimetriche trasversali ad interasse di 250 m circa, fino alla distanza massima di 500 m dalla riva
- prelievo ed analisi di campioni di sedimento di spiaggia emersa, di battigia e di spiaggia sommersa, entro la distanza massima di 400 m dalla riva.

In particolare:

- per l'U. F. "Maronti", sono state eseguite n. 38 sezioni topografiche, n. 8 sezioni batimetriche e sono stati prelevati n. 73 campioni di sedimento.
- per le U. F. "Punta Molino"-"San Pietro", sono state eseguite n. 39 sezioni topografiche, n. 9 sezioni batimetriche e sono stati prelevati n. 52 campioni di sedimento.
- per l'U. F. Bagnitiello, sono state eseguite n. 6 sezioni batimetriche, e sono stati prelevati n. 39 campioni di sedimento
- per l'U. F. "San Montano", sono state eseguite n. 5 sezioni topografiche, n. 2 sezioni batimetriche, e sono stati prelevati n. 20 campioni di sedimento
- per l'U. F. "San Francesco", sono state eseguite n. 14 sezioni topografiche, n. 6 sezioni batimetriche, e sono stati prelevati n. 55 campioni di sedimento

- per l'U. F. "Citara", sono state eseguite n. 39 sezioni topografiche, n. 7 sezioni batimetriche, e sono stati prelevati n. 69 campioni di sedimento.

**In totale sono state eseguite 135 sezioni topografiche, 38 sezioni batimetriche e prelevati ed analizzati 308 campioni di sedimento.**

### **Coste alte**

I tratti di costa alta dell'isola d'Ischia, come tutte le coste alte, rappresentano superfici prevalentemente di erosione che si sono sviluppate nel tempo a seguito di eventi a scala globale, regionale e locale riferibili qui a vulcanismo, tettonica, eustatismo e cambiamenti climatici.

Esse, insieme ai versanti retrostanti ed ai fondali antistanti, rappresentano *necessariamente*, in un dato momento, forme transitorie, risultanti dalla complessa interazione tra la geologia, la geomorfologia e gli aspetti geomeccanici (tralasciando altri aspetti, sia naturali che legati alle attività dell'uomo) dell'isola ed il mare. Sono quindi mutevoli ed "instabili" per loro natura, anche se le velocità di variazione di forma possono essere enormemente variabili. Si può ragionevolmente affermare che la tipologia di fenomeni che più contribuisce alle variazioni di forma delle coste alte è quella di frana, tenendo comunque sempre presenti le particolarità (rispetto alle frane "continentali") della frane costiere, legate alle azioni del mare.

I tratti di costa alta dell'isola d'Ischia presentano una notevolissima articolazione e complessità, in ragione della complessità dell'evoluzione vulcano-tettonica e geomorfologica dell'isola stessa, durante la quale si evidenziano peraltro anche importanti fenomeni di frana.

Al fine di identificare le aree oggetto del presente studio, è utile riportare la definizione di "**falesia**" -*cliff* nella letteratura anglosassone- (Castiglioni, 1979; Strahler, 1984; Sunamura, 1992; Carobene, 2004; Pranzini, 2004): essa costituisce il risultato dell'erosione da parte del moto ondoso di rocce da semicoerenti a coerenti, rappresentando quindi una **parete rocciosa immergente verso mare con elevata inclinazione**.

Una falesia può essere considerata *attiva* o *inattiva*, in ragione della possibilità di riconoscimento del fatto che il moto ondoso possa erodere direttamente il suo piede: naturalmente, il confine tra i due stati non può essere considerato netto.

Generalmente una falesia costituisce una superficie di affioramento di roccia libera da coperture ma, a seguito di frane, falesie attive possono trasformarsi in inattive (evoluzione in termini di *slope replacement*, nell'ambito della quale detrito ed altri depositi si accumulano, laddove la morfologia dei fondali e l'azione del moto ondoso e delle correnti sottocosta lo permettono, al piede della falesia, almeno per un dato periodo di tempo).

Naturalmente sia la forma ad un dato momento che l'evoluzione dell'intera superficie di una falesia si devono principalmente all'azione demolitrice del mare al piede, attraverso fenomeni di scalzamento e conseguenti fenomeni di deformazione-fratturazione-rottura e franamento, ma, anche indipendentemente dal mare, frane legate ad altre cause ed altre azioni erosive subaeree contribuiscono ad esse (Fig. 1).

E' opportuno far presente che la costa a falesia attiva dell'isola d'Ischia è stata demarcata **con criterio geomorfologico**, necessariamente soggettivo, nel quale assume **importanza rilevante la prima o la più marcata diminuzione di pendenza risalendo dalla linea di riva**: sono stati perciò esclusi i tratti di versante costiero a più debole pendenza così come, naturalmente, i tratti di falesia "morta" (inattiva). Sono inoltre stati esclusi anche i tratti, originariamente di falesia attiva, modificati significativamente (a luoghi non necessariamente in termini di stabilizzazione) da opere dell'uomo. Sono stati viceversa inclusi nella costa a falesia alcuni tratti di falesia non propriamente attiva, ma "riattivabile", perché ricoperti da depositi di frana recenti o perché difesi da opere poco efficaci.

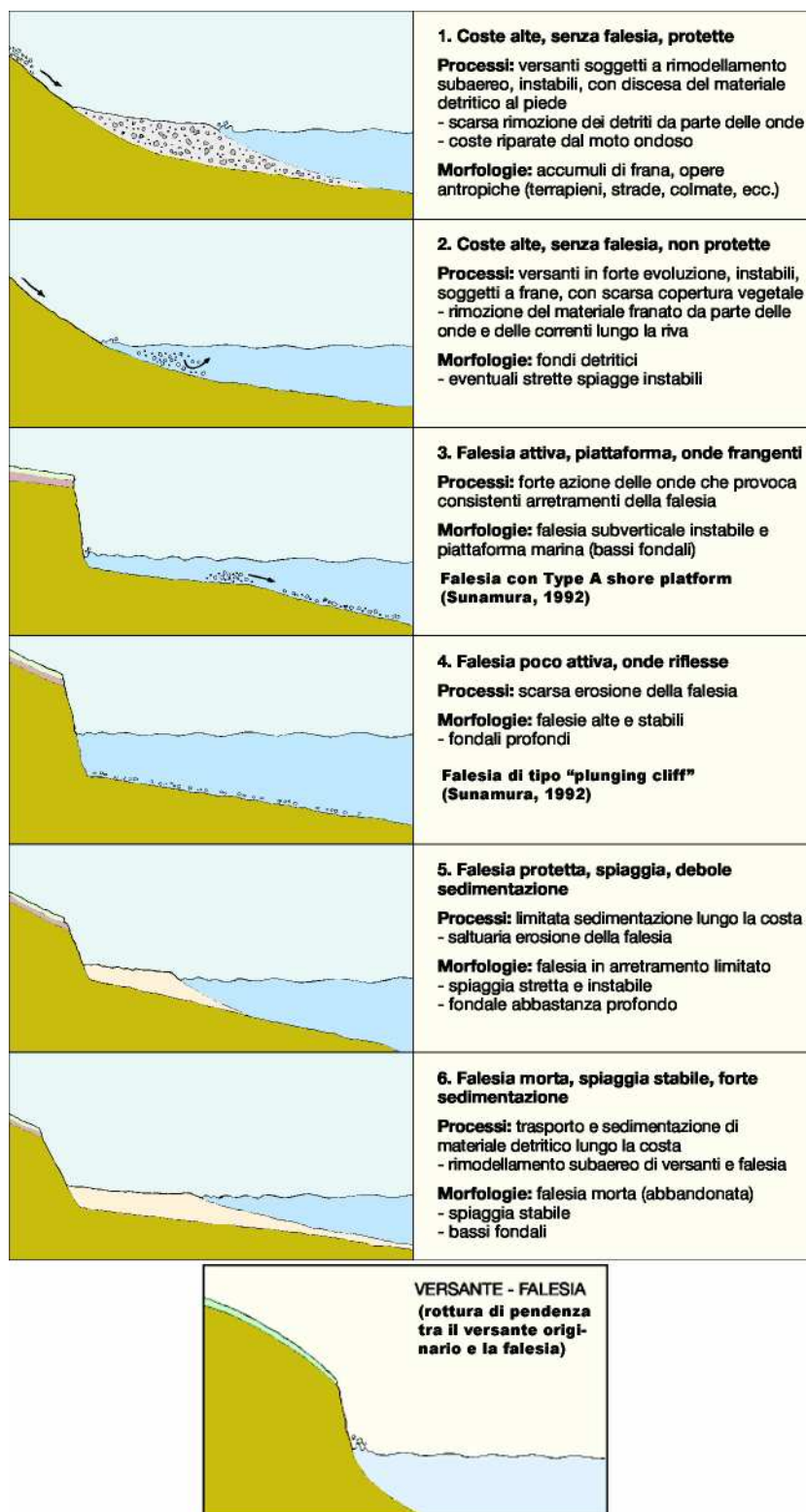


Fig. 1 – Alcune tipologie di costa alta (da Carobene, 2004, modificata)

Quasi tutti gli ammassi rocciosi costituenti la costa a falesia dell'isola possono essere raggruppati in tre grandi famiglie (Del Prete e Mele, 1999): lave, depositi piroclastici ed ammassi detritici. Sia le lave che gli ammassi detritici sono riconducibili, dal punto di vista del comportamento meccanico alla scala dei problemi in esame, ad un mezzo continuo equivalente (Hoek e Brown, 1997), vista la distribuzione non regolare delle fratture nella lave e la caoticità degli ammassi detritici.

Anche i depositi piroclastici, nonostante la loro evidente stratificazione, possono essere ricondotti, ai fini del presente studio, ad un mezzo continuo, a causa del fatto che la loro fratturazione secondaria non presenta caratteri di regolarità.

Le falesie dell'isola incombenti su spiagge o su tratti di mare comunque fruibili, se coinvolte in fenomeni di instabilità, sono state e potranno ancora essere causa di gravi rischi per la pubblica incolumità. Tali condizioni di rischio possono anche essere connesse, d'altra parte, alla presenza di strutture ed infrastrutture ubicate in prossimità dei cigli delle falesie, soggetti ad una naturale, più o meno rapida e progressiva retrogressione.

Entrambe le condizioni a cui si è appena fatto cenno risultano essere molto frequenti lungo la fascia costiera dell'isola d'Ischia; il rischio derivante dall'evoluzione delle falesie è associato sia alla presenza di zone attrezzate per attività turistico-balneari poste anche al loro piede sia, in alto, alla elevata ed indiscriminata urbanizzazione che ormai si è spinta fino al loro ciglio.

All'interno del contesto territoriale in esame si è quindi effettuato uno studio teso alla caratterizzazione della suscettibilità all'innescio di frane e della pericolosità spaziale da frana nell'ambito della "costa a falesia", al fine di evidenziarne le differenti caratteristiche spaziali, da porre alla base delle valutazioni di rischio da frana.

Lo studio è stato articolato seguendo le fasi di lavoro, di seguito brevemente riassunte:



- Individuazione dei principali fattori litologico-strutturali. Sono stati evidenziati sia i litotipi che, per differenti caratteristiche, contribuiscono a controllare e condizionare l'evoluzione della falesia, sia gli elementi geomorfologici significativi di una dinamica litoranea pregressa (falesie, paleofalesie, terrazzi marini, etc.), nonché quelli utili alla valutazione della loro possibile evoluzione per frana.

- Individuazione delle forme denudazionali (erosionali e/o gravitative) e deposizionali. Sono state riconosciute le forme denudazionali (erosionali e/o gravitative) e deposizionali legate alla evoluzione recente del paesaggio ed i processi che ne determinano il modellamento attuale, attraverso l'analisi dei fattori predisponenti e delle cause scatenanti principali che hanno condotto all'attuale quadro morfologico e che concorrono all'innesco ed alla evoluzione dei processi in atto.

- Elaborazione della Carta di Suscettibilità all'innesco di frane. La necessità di caratterizzare la suscettibilità all'innesco di frane nell'ambito della costa a falesia ha imposto un approfondito studio della letteratura esistente, che ha portato a concludere che, pur in presenza di linee di ricerca estremamente interessanti -basate essenzialmente sulla geometria della falesia, sulle caratteristiche dei relativi ammassi rocciosi e su quelle del moto ondoso- (ad esempio Maracchione *et al.* 2001; Rombenchi & Tarchiani 2001; Budetta *et al.* 2000; Budetta *et al.* 2006) esistono poche procedure codificate, peraltro in ambiti costieri con relativa omogeneità geologica, geotecnica e geomorfologica.

E' stato perciò sviluppato, al fine di soddisfare con criterio scientifico l'esigenza pratica di pianificazione dell'Autorità di Bacino Nord-Occidentale, un metodo euristico basato:

- sulle modalità morfo-evolutive per frana riscontrate e probabili per il futuro nell'ambito della costa a falesia studiata;

- sulla morfologia e pendenza della costa a falesia, da esprimersi oggettivamente sulla base di un modello digitale del terreno il più dettagliato possibile;
- sulla valutazione dello *Geological Strength Index* (GSI: Hoek, 1994; Hoek & Brown, 1997; Hoek, Marinos & Benissi, 1998; Hoek & Marinos, 2000; Marinos & Hoek, 2001; Marinos, Marinos & Hoek, 2005) degli ammassi rocciosi costituenti la costa a falesia;
- sulla definizione e costituzione di differenti “Classi di Instabilità” della costa a falesia (per definizione, non esiste falesia attiva incondizionatamente stabile)

**La carta della Suscettibilità all'innesco di frane della costa a falesia** risulta quindi dall'applicazione del metodo, mediante un complesso di operazioni che possono essere così sintetizzate:

- Acquisizione della cartografia numerica più dettagliata disponibile per l'Isola d'Ischia (**C.I.S.I. - Consorzio Intercomunale Servizi Ischia, scala di 1:2.000, edizione anno 2000**). Si è scelto di utilizzare questa cartografia di base per la costruzione del modello digitale del terreno (v. seguito) sia per il maggior dettaglio rispetto alla cartografia ufficiale in scala 1:5.000, sia perché quest'ultima non forniva, proprio di molti tratti di costa a falesia, alcuna rappresentazione della morfologia;
- Prima individuazione dei tratti di costa a falesia, attraverso l'analisi geomorfologica ed indipendentemente dagli interventi antropici;
- Costruzione del *DTM* (modello digitale del terreno) dell'intera isola, sulla base della cartografia scala 1:2.000 di cui sopra, con grid a maglie quadrate di 10m x 10m e 5m x 5m, a seconda degli scopi;
- Scelta delle classi di pendenza significative e rappresentazione sul DTM delle relative isolinee;

- Perimetrazione delle zone di costa a falesia, con criterio essenzialmente geomorfologico, e loro adattamento alla realtà ed alla possibilità di rappresentazione sulla cartografia ufficiale in scala 1:5.000, in funzione anche degli interventi antropici;
  - Rilevamento delle forme e dei depositi di frana pregressi nell'ambito della costa a falesia;
  - Costruzione *della carta delle pendenze* della costa a falesia e delle relative classi topologiche;
  - Rilevamento dal mare degli ammassi rocciosi costituenti la costa a falesia, sulla base anche della carta geolitologica esistente dell'AdB NW, ed assegnazione degli *Geological Strength Indexes* GSI;
  - Costruzione della *carta litotecnica* della costa a falesia e delle relative classi topologiche;
  - Costituzione, attraverso operazioni di *map algebra/overlaying*, di una serie di *classi di instabilità della costa a falesia*, sulla base della sua geometria, forma e pendenza, del GSI e delle relative tendenze morfvoevolutive passate e presenti;
  - Screening aerofotointerpretativo e mediante controlli sul campo della rappresentatività delle classi così costituite e relative correzioni;
  - Accorpamento delle classi di instabilità in tre classi di suscettibilità (alta, media e bassa) all'innesco di frane.
- Elaborazione della Carta della Pericolosità Spaziale (Suscettibilità all'innesco, transito ed invasione) da frana. Come per tutte le coste a falesia, nell'ambito della costa a falesia dell'isola d'Ischia il problema delle distanze che i materiali di frana possono percorrere, quindi della determinazione delle potenziali aree d'invasione, è estremamente semplificato. Risulta pressoché certa, come testimoniato dalle frane costiere passate, la terminazione in mare delle frane che si distaccano nell'ambito delle falesie. Da ciò deriva che, nella costa a falesia, il passaggio dalla suscettibilità all'innesco di frane alla pericolosità

spaziale da frana può consistere nella assegnazione, tratto per tratto, della classe di pericolosità sulla base della semplice trasposizione verso mare del massimo valore riscontrato di suscettibilità all'innescamento. Ciò è stato fatto, a vantaggio di sicurezza, fino alla linea di riva.

La Carta della Pericolosità Spaziale (Suscettibilità all'innescamento, transito ed invasione) da frana esplicita quindi la probabile tendenza morfoevolutiva per frana della costa a falesia, sulla base della sua suscettibilità all'innescamento di frane e della sua morfologia. Anch'essa si articola in tre classi: alta, media e bassa.

E' da tenere presente che nella carta vengono prese in considerazione esclusivamente le frane che possono innescarsi nell'ambito stesso della costa a falesia: restano quindi escluse dalla valutazione della pericolosità spaziale eventuali frane che, distaccandosi da aree esterne a quelle di costa a falesia considerate, vadano poi ad invaderle.

## **ANALISI TESSITURALI DEI SEDIMENTI DI SPIAGGIA EMERSA E SOMMERSA**

I campioni di sedimento prelevati sulla spiaggia emersa e sommersa, dopo opportuna preparazione effettuata presso il Laboratorio di Sedimentologia del Dip. di Scienze della Terra, sono stati analizzati con l'ausilio di un setacciatore meccanico multidimensionale adoperando una serie di setacci a  $\frac{1}{2}$  phi (dove phi è dato dal logaritmo negativo in base 2 del diametro della particella espresso in mm).

I dati granulometrici sono stati quindi elaborati con apposito software per la determinazione completa degli indici e parametri sedimentologici (V. allegato). Tra questi i più importanti, al fine di determinare le caratteristiche dinamiche dell'ambiente costiero, risultano essere i valori di tendenza centrale e di classazione.

## DI SCUSSIONE DEI DATI

### SETTORE MERIDIONALE: Unità Fisiografiche “Chiarito”, ”Maronti” e “Scarrupata di Barano” (da Punta Imperatore a Punta S.Pancrazio)

E' rappresentato quasi esclusivamente da coste alte che configurano una serie ininterrotta di falcature più o meno ampie tra le quali spicca, nella zona centrale, il “Litorale dei Maronti”. Le coste alte si impostano in materiali lavici (ad es. Centri eruttivi di P. Imperatore e dello Scarrupo di Panza), in materiali tufacei ben stratificati (ad es. tufi della Formazione di Citara e del Faro di P. Imperatore), in materiali detritici da *debris flow* (falesia dei Maronti).

#### Coste alte

Le coste a falesia delle U.F. “Chiarito” e “Scarrupata di Barano” presentano altezze comprese tra 30 e 200 m e una pendenza generalmente superiore a 45°; possono essere classificate come falesie attive ad alta suscettibilità a frane di roccia e/o di detrito/terra.

Per l'U.F. “Chiarito” sono state individuate (Del Prete & Mele, op.cit.) tre principali famiglie di fratture confermate anche dal *contouring* dei dati cui si associano fenomeni di *toppling*; in particolare i versanti esposti a SW fanno registrare i valori più alti dell'angolo di sicurezza (75-79°) e ad essi sono associati fenomeni di *sliding*.

#### Coste depositate

##### U.F. n. 13 “Maronti”

#### Premessa

L'U. F. “Maronti” è costituita da fascia litorale ad andamento semicircolare estesa per circa 2 km, limitata ad W dalla falesia della Penisola di S. Angelo (Punta S. Angelo) e del promontorio su cui insiste parte dell'abitato di S. Angelo, per una estensione di circa 1 km ad orientamento N-S, e ad E dalla falesia di Punta della Signora-Capo Grosso, per una estensione di circa 900 m ad orientamento E-W. L'U.F. ha sofferto negli ultimi decenni una esasperata

urbanizzazione con una serie di interventi “a terra” (muri di contenimento dei versanti, costruzione di alberghi e *residences* a ridosso della falesia) ed “a mare” (prolungamento del molo di sopraflutto del porticciolo di S. Angelo, opere di difesa puntuali e di vario tipo) che, riducendo da un lato il rifornimento detritico alle spiagge e modificando dall’altro il regime litoraneo, hanno comportato una progressiva crisi erosiva specialmente nel tratto occidentale fino alla pressoché completa scomparsa dell’arenile, nell’area prossima a S. Angelo (loc. Fumarole), dopo la violenta mareggiata del dicembre 1999.

Nel maggio 2002 l’assetto geoambientale dell’intera unità fisiografica è stato completamente modificato in conseguenza di un ripascimento artificiale con sabbie prelevate dai fondali limitrofi: 630.000 m<sup>3</sup> di materiali versati hanno prodotto una spiaggia ampia da 40 ad 80 m nel settore occidentale (zona S. Angelo, Fumarole), un avanzamento della linea di riva di circa 20-30 m nel settore centrale (zona Cavascura, Vallone Olmitello) e di circa 10 m nel settore orientale (Marina dei Maronti). Il ripascimento è stato completato con la realizzazione di un piccolo pennello in parte emerso e in parte sommerso, all’estremità orientale del settore, presso Punta della Signora, senza ulteriori opere di contenimento del materiale versato. Sui tornanti di P. della Signora è stata posizionata una webcam con riprese del litorale orientate verso S. Angelo.

## **La fascia litorale**

### Caratteri geoambientali e morfosedimentologici

La fascia litorale dei Maronti può essere suddivisa in due tratti con caratteri alquanto differenziati; la zona di separazione tra di essi, ubicata allo sbocco del V.ne Acquara, estesa qualche centinaio di metri e praticamente stabile nel tempo, coincide con una linea tettonica ad andamento meridiano, la quale partendo dal V.ne Acquara (Olmitello) prosegue nella parte sommersa, come è evidenziato dalla presenza di testate di *canyons* sottomarini a modesta

distanza dalla costa. Da rimarcare la presenza di due ordini di terrazzi di abrasione marina in sinistra e destra del V.ne Acquara, rispettivamente alle quote di 25 e 50 m. In particolare Il terrazzo di 25 m, attribuibile all'epoca romana per la presenza di sabbie marine con associati resti rimaneggiati di laterizi dell'età imperiale, tende a diventare meno ampio procedendo verso S. Angelo fino a scomparire in corrispondenza della località Cava Scura a causa della continua erosione della falesia il cui ciglio adesso coincide con il bordo del terrazzo più alto (di quota 50 m). I terrazzi sembrano legati a motivi strutturali lungo linee tettoniche ad andamento E-W.

Il settore occidentale (Fig. 1 e 2 dell'All. fotografico) si estende tra l'abitato di S. Angelo ed il V.ne Acquara, con spiagge limitate verso l'interno da falesie incise negli imponenti accumuli di materiali ignimbrici del M. Epomeo presenti sotto forma di colate di fango. Proprio in quest'area anni or sono ebbe a verificarsi una imponente frana con tragiche conseguenze. Questo tratto, sicuramente il più rinomato dal punto di vista turistico termale, ha sofferto negli ultimi decenni una urbanizzazione piuttosto spinta, con sbancamenti e carichi differenziati.

La spiaggia emersa (Fig. 3 e 4 All. fotog.) presenta attualmente un'ampiezza variabile da 30 a 15 m procedendo da S. Angelo verso Fumarole e Cavascura con acclività rispettivamente del 6÷20%; i fondali (Sezioni n. 13, 14 e 15 – All. Sezioni) entro la profondità di circa 5 m alla distanza di circa 200 m dalla battigia, sono caratterizzati dalla presenza di un accumulo di sedimenti (materiali verosimilmente erosi dalla spiaggia emersa) che configurano una sorta di barra con pendenza compresa tra 1,7 e 2,1%, seguono fondali uniformi con pendenza del 2,6÷3,7% fino alla profondità massima raggiunta di 13,5 m. Nell'area di Cavascura (Sez. 16-17) ad una spiaggia emersa di ampiezza ridotta a poche decine di metri con pendenza molto elevata (20÷25%) fanno seguito fondali con pendenza elevata (fino al 10%) fino alla profondità di 2÷3,5 m entro una distanza massima di 100 m dalla riva e quindi fondali uniformi con pendenza del 2,5% fino alla massima profondità indagata



di 14 m. In queste aree la riva è limitata da una scarpa di erosione subverticale alta oltre 2 m (Fig. 4).

Il settore orientale (Fig. 5 e 6) è caratterizzato da spiagge ampie da poche decine di metri fino a oltre 60 m con acclività del  $6\div 8\%$ , limitate verso l'interno da aree a debole acclività comprese entro la quota di 20 m quindi dagli acclivi versanti di località Testaccio. I fondali (Sez. 18, 19 e 20) entro la profondità di 3,5 m ad una distanza di circa 100 m dalla riva, presentano pendenza simile alla spiaggia emersa ( $6\div 9\%$ ); seguono fondali uniformi con pendenza compresa tra 2 e 6% fino alla massima profondità indagata di 16 m. Il rifornimento di materiale clastico avveniva in passato attraverso le maggiori incisioni in concomitanza con periodi di maggiore piovosità nonché per il crollo delle falesie a seguito dello scalzamento al piede operato dal moto ondoso. Attualmente il rifornimento è da ritenersi estremamente ridotto a causa della realizzazione di numerose opere di regimazione degli impluvi e di stabilizzazione dei versanti e demandato quasi esclusivamente alla degradazione meteorica dei tratti di falesie non stabilizzate.

I sedimenti sulla spiaggia emersa e sommersa entro la profondità di 2 m variano da ghiaie e sabbie molto grossolane -da poco a moderatamente ben classate da quasi simmetriche ad asimmetriche grossolane o fini- a sabbie grossolane entro i -5 m ed infine a sabbie medie entro la profondità massima indagata di 10 m. Arealmente i sedimenti presentano una distribuzione (v. Tavv. relative) alquanto complessa individuando tre distinte zone procedendo da W verso E; nella zona occidentale, tra S. Angelo e Cavascura, i sedimenti sono disposti in tre fasce granulometriche (dalle sabbie molto grossolane con a luoghi ghiaie, alle sabbie grossolane quindi alle sabbie medie) parallele alla spiaggia, a diametro decrescente da "terra" verso le maggiori profondità; nella zona centrale si rinvenivano solo sabbie grossolane tra la spiaggia e la massima profondità raggiunta; infine all' estremità orientale si riscontrano su tutta la spiaggia emersa e in una larga fascia di quella sommersa entro la profondità di

5 m, sabbie molto grossolane talora con ghiaie passanti verso le maggiori profondità a sabbie grossolane.

### Caratteri morfodinamici

#### *Dinamica sedimentaria*

La mobilitazione delle sabbie molto grossolane-ghiaie avviene prevalentemente ad opera del getto di riva e della long shore current con vettori che si dirigono da W verso E con un significativo trasferimento di materiale sedimentario nell'area di Marina di Maronti. Le sabbie grossolane si spostano prevalentemente in senso trasversale come sembra suggerire la diminuzione costante del valore del diametro medio, pur nell'ambito della classe di appartenenza. Le sabbie medie si mobilitano dall'area centrale dell'U.F. verso il porto di S. Angelo secondo un importante vettore di transito con direttrice NE-SW.

#### *Dinamica morfologica*

L'analisi delle variazioni della linea di riva precedentemente alla realizzazione del ripascimento, avvenuto nell'anno 2002, registra per il settore occidentale, a partire dal 1965, un arretramento medio intorno a 1.5 m/anno. In concomitanza con gli eventi meteomarini più gravosi la spiaggia stessa scompare talché le falesie vengono attaccate violentemente dai marosi con conseguente franamento per scalzamento al piede. Da rimarcare nel periodo 1987-98 il notevole arretramento tra le Fumarole e Cavascura, con scomparsa pressoché totale dell'arenile.

Il settore orientale presenta nei vari periodi esaminati un'evoluzione articolata con protendimenti ed arretramenti della linea di riva dell'ordine di varie decine di metri senza mai riscontrare la scomparsa dell'arenile nemmeno in concomitanza con mareggiate eccezionali (ad es. 1979/80 e 1987). In particolare tra il 1987 ed il 1998 il settore è rimasto pressoché invariato

mostrando un leggero arretramento (meno di 10 m) solo nell'estrema porzione orientale al limite con la costa alta e rocciosa.

**Il rilievo della spiaggia eseguito nell'anno 2004 mette in evidenza rispetto all'anno 2002 (post ripascimento), un arretramento generalizzato della linea di riva per gran parte dell'U.F. con valori decrescenti procedendo dall'abitato di S. Angelo (40 m) verso Cavascura (20 m) fino alla Marina dei Maronti dove si registra un accrescimento via via crescente verso Punta della Signora da 0 ad un massimo di 10 m. In particolare l'erosione verificatasi presso la loc. Fumarole ha fatto riemergere le vecchie opere di difesa (cfr. Fig.3) seppellite, al momento del ripascimento, dalla sabbia di refluento.**

#### *Classificazione morfodinamica*

Le spiagge dominate dalle onde possono essere classificate (Short, 1999) in base al valore assunto da  $\Omega$  "velocità di caduta adimensionale" usando i seguenti parametri: altezza d'onda al frangimento ( $H_b$ ), periodo dell'onda ( $T$ ) e diametro medio del sedimento (inteso come velocità di caduta,  $W_s$ ), secondo la formula  $\Omega = H_b / W_s T$ . Per  $\Omega < 1$  le spiagge tendono ad essere "riflettenti" (alta acclività, assenza di barre), per  $\Omega > 6$  esse tendono ad essere "dissipative" (bassa acclività, molti ordini di barre) ed infine per  $\Omega = 2 \div 5$  risultano di tipo "intermedio" (uno o due ordini di barre).

Un parametro simile (Sunamura, 1984):  $K = H_b^2 / g T^2 D_{50}$ , indica la *stabilità della linea di riva*. In condizioni di mare calmo si verifica trasporto verso riva con accrescimento della spiaggia e formazione di una berma, quindi profilo senza barre ( $K < 10$ ); con mare mosso si verifica trasporto verso il largo con erosione della spiaggia e formazione di una barra ( $K > 10$ ).  $K = 10$  separa le spiagge con barre da quelle senza barre.

Per i sistemi multi-barre, Short & Aagaard (1993) hanno introdotto un *parametro di barra*: ( $B^* = x_s / g \tan \beta T^2$ ), dove  $x_s$  è la distanza dalla linea di riva del punto finale del profilo di spiaggia verso il largo, per spiegare la presenza

ed il numero delle barre nell'ambiente di spiaggia microtidale. Secondo questi Autori il numero di barre aumenta al diminuire del gradiente o del periodo dell'onda: per un dato gradiente, onde di piccolo periodo producono più ordini di barre poco spaziate, mentre onde di grande periodo producono poche barre, più spaziate. Questo parametro si basa sulla premessa che onde stazionarie a bassa frequenza (*standing infragravity waves*) siano responsabili della formazione delle barre.

Le caratteristiche della zona di frangimento, in termini di tipologia di frangenti, possono essere espresse dai parametri *surf scaling* (Guza & Inman, 1975) e *surf similarity* (Battjes, 1974) secondo le rispettive formule:  $\xi = a_b \omega^2 / g \tan^2 \beta$ ,  $\Sigma = \tan \beta / (H_b / L_0)^{0.5}$  dove  $\tan \beta$  è la pendenza della spiaggia,  $H_b$ ,  $a_b$ ,  $L_0$  ed  $\omega^2$  sono rispettivamente l'altezza, l'ampiezza dell'onda al frangimento ( $H_b/2$ ), la lunghezza dell'onda in acque profonde e la frequenza angolare dell'onda ( $2\pi T$ ),  $g$  l'accelerazione di gravità. Il tipo di frangente dipende principalmente dalla pendenza della spiaggia e dalla ripidità dell'onda: il frangente a defluimento-*spilling*, si verifica per valori di  $\xi$  compresi tra  $20 \div 200$  e di  $\Sigma < 0,23$ , il frangente a cascata-*plunging* per valori di  $\xi$  compresi tra  $2,5 \div 20$  e di  $\Sigma$  tra  $1 \div 0,23$ , il frangente ad espansione-*surging*, per valori di  $\xi$  compresi tra  $0,1 \div 2,5$  e di  $\Sigma > 1$ .

Per ognuno dei profili di spiaggia sommersa dell'U.F. "Maronti", è stato definito lo "stato morfodinamico": i parametri  $\Omega$ ,  $K$  e  $B^*$  indicano uno stato prevalentemente intermedio (transizionale) ( $K$  dissipativo solo per i profili 16-17), mentre i parametri  $\xi$  e  $\Sigma$  indicano un frangimento di tipo *spilling*.

### La costa alta

**La costa a falesia** della Penisola di S. Angelo (limite occidentale dell'U.F.) ha un' estensione di circa 300 m, un'altezza di 70 m e una pendenza

generalmente superiore a 45°; può essere classificata come falesia attiva ad alta suscettibilità a frane di roccia e/o di detrito/terra.

**La costa a falesia** su cui insiste l'abitato di S. Angelo, ha un'estensione di circa 200 m, un'altezza di 40 m e pendenza generalmente superiore a 45°; la porzione meridionale della falesia può essere classificata come falesia attiva ad alta suscettibilità a frane di roccia e/o di detrito/terra, mentre la porzione settentrionale, a causa della ripascimento realizzato nel 2002, incombe attualmente su un arenile in rapido arretramento e pertanto può essere classificata come falesia quiescente ad alta suscettibilità a frane di roccia e/o di detrito/terra.

**La costa a falesia di Punta della Signora** (limite orientale dell'U.F.) ha un'estensione di circa 300 m con altezza di circa 100 m e pendenze generalmente superiori a 45°. Può essere classificata come falesia attiva ad alta suscettibilità a frane di roccia e di detrito/terra.

**La costa a falesia** a tergo della fascia litorale di Cavascura e Cava Acquara a causa della ripascimento realizzato nel 2002 incombe attualmente su un arenile in rapido arretramento e pertanto può essere classificata generalmente come falesia quiescente ad alta suscettibilità a frane di roccia e/o di detrito/terra ed a luoghi come falesia riattivata.

## **SETTORE ORIENTALE E NORD-ORIENTALE: Unità fisiografiche “San Pancrazio”, “Grotta di Terra”, “Centoremi”, “Carta Romana”, “Punta Molino” e “San Pietro” (da Punta San Pancrazio a Ischia Porto)**

Il settore orientale e nord-orientale, da P. San Pancrazio ad Ischia Porto, presenta, come già detto, per un primo tratto fino al Castello Aragonese, coste alte bordate talvolta da esigue spiagge alla base, quindi per un secondo tratto, fino a Ischia Porto, è rappresentato da coste basse in roccia o depositi, limitate verso l'entroterra dalle terminazioni laviche della colata dell'Arso.

Le coste alte si impostano prevalentemente sui depositi lavici dei centri eruttivi del M. di Vezzi e di S. Anna sormontati da depositi piroclastici e sono classificabili come falesie attive ad alta suscettibilità a frane di roccia e di detrito/terra. In particolare per l'U.F. “Carta Romana” sono state registrate (Del Prete & Mele, op. cit.) tre famiglie principali di fratture, quasi subverticali, immergenti a SE, NNW e S. Oltre il 70% delle fratture presenta valori di persistenza “medio alta”, mentre i valori di apertura dei giunti risultano per il 50% compresi nell'intervallo 1-10 cm.

### **U.F. n. 19 “Punta Molina” e n. 20 “Bagnitiello”**

#### **Premessa**

Le U.F. di questo settore presentano caratteri di stretta interdipendenza essendo costituite da esili fasce sabbiose interrotte, nell'area di Punta Molina, dalle microfalesie rocciose incise nelle propaggini terminali della colata lavica dell'Arso.

Si ritiene opportuno pertanto considerarle in un unico contesto morfodinamico.

#### **La fascia litorale**

##### Caratteri geoambientali e morfo-sedimentologici

L'assetto geoambientale costiero è dominato dalla presenza pressoché ininterrotta di opere di difesa a varia tipologia: procedendo da NW verso SE

(da Ischia Porto verso Ischia Ponte) si rileva, la presenza di 3 scogliere foranee, disposte ad andamento semicircolare in continuazione del pennello realizzato prima degli anni '50 (Cocco *et al.* 1993), di 12 isole in pietrame, posizionate tra -2 e -4 m ad una distanza dalla riva compresa tra poche decine di metri e 100 oltre ad isolate opere radenti e piccoli pennelli.

*Spiaggia di San Pietro* (Fig. 7 e 8). Presenta un'estensione di 650 m circa con andamento grosso modo NW-SE (v. Tav. relativa al rilievo topografico) : l'ampiezza della spiaggia emersa varia tra 5 e 50 con quota massima di 1,7 m; i fondali (Sez. 21..23) presentano entro la profondità di 6 m, ad una distanza dalla riva di 200÷300 m, una pendenza del 2%, seguono fondali pressoché piatti con terrazze di posidonie o fondali rocciosi a forte pendenza (5%) nell'area prossima a P. Molina. I sedimenti (v. Tavv. relative) dalla spiaggia emersa fino al gradino di battigia, posizionato intorno a -1 m, sono rappresentati prevalentemente da sabbie medie talvolta grossolane moderatamente classate, asimmetriche grossolane, quindi entro la profondità di 6 m circa da sabbie fini da moderatamente a ben classate, quasi simmetriche; oltre tale profondità è presente un'ampia e continua prateria di posidonie e cymodocee associata talvolta a banchi rocciosi isolati o a larghe tasche di materiali costituiti da granuli e sabbie.

*Spiaggia di P. Molina* (Fig. 9 e 10). Ampia molte decine di metri fino agli anni '80, risulta praticamente oggi inesistente tant'è che le terminazioni laviche della Colata dell'Arso sono direttamente lambite dal mare; i fondali (Sez. 24..27) presentano entro la profondità di 6÷7 m, ad una distanza di circa 100 m dalla riva, una pendenza del 3,7÷5,5%; procedendo verso il largo fino alla profondità indagata di 16 m ad una distanza di circa 200 m dalla riva, la pendenza è compresa tra 8÷16%; i sedimenti (v. Tavv. relative) sono costituiti entro la profondità di circa 6 m esclusivamente da sabbie fini da moderatamente a ben classate, asimmetriche grossolane; seguono ciuffi e chiazze di posidonie associati a banchi rocciosi isolati o a larghe tasche di materiali costituiti da granuli e sabbie.

*Spiaggia dei Pescatori* (Fig. 11 e 12). Costituisce un'esile fascia sabbiosa ( v. Tav. relativa al rilievo topografico) estesa circa 350 m con pendenza del  $6 \div 12\%$ , a ridosso delle abitazioni dell'antico borgo di Ischia Ponte (prima della trasformazione da parte dei Borbone nel 1853-54 del cratere-lago di Lago di Bagno nell'attuale Porto d'Ischia, l'abitato era rappresentato appunto dal nucleo storico di Ponte). La spiaggia sommersa (Sez. 28-29) presenta una pendenza del  $3 \div 4\%$  entro la profondità di 5 m ad una distanza di 150-200 m dalla riva, quindi i fondali configurano una piattaforma ampia fino a 350 m con pendenza del  $1 \div 1,5\%$ , occupata pressoché esclusivamente dalle terrazze di posidonie, seguono fondali rocciosi a pendenza più elevata ( $12\%$ ). I sedimenti (v. Tavv. relative) fino alla profondità di 5 m sono rappresentati da sabbie medie moderatamente classate quasi simmetriche o asimmetriche grossolane nella spiaggia emersa ed in battigia e da sabbie fini e molto fini moderatamente classate o ben classate quasi simmetriche nella spiaggia sottomarina.

### Caratteri morfodinamici

#### Dinamica sedimentaria

Per quanto riguarda la mobilitazione dei sedimenti tra la battigia e la profondità di  $5 \div 6$  m, oltre la quale -come già detto- sono presenti vasti affioramenti di posidonia, alcune importanti evidenze morfologiche quali il progressivo aumento di ampiezza della spiaggia procedendo da SE verso NW e la configurazione asimmetrica della linea di riva nei pressi di alcuni pennelli presenti lungo la costa, consentono di ipotizzare che le sabbie medie si spostino, in battigia e fino alla profondità di 1 - 2 m, con assi di transito paralleli alla costa diretti da SE verso NW, da correlare alla presenza di componenti longitudinali del flusso di massa al frangimento. Per le sabbie fini la dinamica è più articolata: a SE di *P. Molina* si possono ipotizzare vettori di transito prevalentemente trasversali che allontanano il materiale verso il largo fin dalla profondità di 2 m, da correlare alle correnti di compensazione; a NW



di *P. Molina* invece si possono ipotizzare, confinati tra -2 e -6 m, vettori di transito longitudinali diretti verso Ischia Porto e vettori trasversali diretti verso il largo.

#### Dinamica morfologica

Il confronto cartografico per il periodo 1965/74 evidenzia che sia la spiaggia dei Pescatori sia quella di *P. Molina* sono interessate da variazioni significative della linea di riva con valori positivi o negativi praticamente bilanciati: la spiaggia dei Pescatori si presenta più arretrata nel settore di SE e più avanzata in quello di NW, di un pari valore intorno ad un massimo di circa 20 m, la spiaggia di *P. Molina* si protende maggiormente verso mare nel settore di SE, mentre scompare quasi del tutto nel settore di NW.

Lungo la spiaggia di S. Pietro non si riscontrano apprezzabili variazioni tranne che nell'area centrale dove la sostituzione di una barriera longitudinale con un pennello trasversale otteneva un avanzamento di una decina di metri.

Nel 1980 fu intrapresa la realizzazione di un progetto organico di difesa dell'intero litorale ricadente nel territorio Comunale di Ischia (Cocco *et al.*, 1993) attraverso la costruzione di una barriera frangiflutti a NW della diga foranea del Porto di Ischia, per rendere più agevole l'accesso al porto stesso durante le mareggiate provenienti da WNW, lo smantellamento delle barriere e del pennello trasversale preesistenti ed il loro posizionamento più a largo. Il pennello situato a NW del lido di San Pietro fu aperto per permettere un ricambio dell'acqua e conservare un equilibrio nei due sensi del litorale. Infine, al largo di Punta Molino, furono posizionate nel 1982/83 cinque isole di massi in pietrame allo scopo di difendere la costa e di ricostituire la spiaggia, letteralmente scomparsa a seguito di ripetute mareggiate, come riportato ampiamente dalla cronaca locale. Tra il 1987 ed il 1998 si registra un netto miglioramento della situazione evolutiva per la spiaggia dei Pescatori ampliata verso l'estremità sud orientale e per la spiaggia di San Pietro ampliata

notevolmente verso l'estremità nord occidentale, mentre non si registrano variazioni per l'area di P. Molina.

**Il rilievo della spiaggia eseguito nell'anno 2004** mette in evidenza una sostanziale stabilità della linea di riva delle spiagge di San Pietro e dei Pescatori rispetto al 1998. Per quest'ultima spiaggia in maggior dettaglio si riscontra un deciso avanzamento della linea di riva a tergo della barriera longitudinale presente all'estremità settentrionale della spiaggia con valore massimo pari a 10 m.

**Considerando l'intervallo 1965/2004 la tendenza evolutiva è di tipo progradazionale, fatta eccezione per la porzione meridionale della Spiaggia dei Pescatori, in sostanziale stabilità.**

#### Classificazione morfodinamica

Per tutti i profili relativi all'U.F. in esame i parametri  $\Omega$  e  $K$  indicano uno stato dissipativo mentre i parametri  $\xi$  e  $\Sigma$  indicano un frangimento di tipo *spilling*; da rilevare che il parametro  $B^*$  per le spiagge di San Pietro e Pescatori indica uno stato intermedio.

**SETTORE SETTENTRIONALE: Unità Fisiografiche n. 21 “Bagnitiello”, n. 22 “Casamicciola” e n. 23 “San Montano” (da Ischia Porto a Punta Cornacchia)**

Questo settore presenta un tratto centro-orientale, compreso tra Ischia Porto e P. La Scrofa, costituito da coste alte e rocciose incise nelle terminazioni settentrionali degli apparati vulcanici di Montagnone (q 250 m) e M. Rotaro (q 266 m) bordate da esili e discontinue spiagge, un tratto centrale completamente urbanizzato ricadente nei Comuni di Casamicciola Terme e Lacco Ameno, non preso in considerazione ai fini del presente studio, ed un tratto nord-occidentale caratterizzato da una classica “*pocket beach*” (Baia di S.Montano) limitata dalle falesie dei promontori di Monte Vico e di Punta Cornacchia.

**Unità Fisiografica n. 21 “Bagnitiello”**

**La fascia litorale**

Caratteri geoambientali e morfosedimentologici

L’U.F. “Bagnitiello”, tra Ischia Porto e Punta La Scrofa (Fig. 13..16) , è costituita da coste alte incise nei materiali lavici o vulcanoclastici collegati ai centri eruttivi di Porto d’Ischia, Cafieri e Montagnone o negli accumuli di colate fangose costituite da frammenti di Tufo Verde e di siltiti della Formazione di Colle Jetto. La costa si sviluppa da E ad W definendo ampie falcature ad andamento semicircolare bordate da esili e discontinue spiagge (Spiagge degli Inglesi, di Cafieri e di Bagnitiello).

L’intero tratto è soggetto a intensi fenomeni franosi che si manifestano con crolli ripetuti per scalzamento al piede o per rilassamento in alto dei materiali per mancanza di contrasto laterale (ad es. zona di Punta Scrofa) e che conducono ad un rapido arretramento dei costoni.

L’assetto geoambientale, in special modo nell’area di Castiglione-Bagnitiello, è attualmente dominato dalla presenza di numerose opere a varia tipologia;

procedendo da W verso E si incontrano infatti una estesa barriera aderente a difesa del costone di P. Scrofa, un pennello trasversale lungo 60 m radicato nella propaggine rocciosa che limita verso E la spiaggia di Bagnitiello, una barriera parallela soffolta estesa oltre 100 m e altri piccoli opere trasversali, infine recentemente sono state realizzate importanti opere di consolidamento del costone limitrofo alla Spiaggia degli Inglesi.

I fondali (Sez. 1..6) presentano una morfologia articolata: sottoriva, per una distanza non superiore a 100 m, si riscontra una pendenza di  $2,5 \div 5\%$ , segue quindi una zona ampia fino a 250 m con pendenza compresa tra 1,6 e 3% ed infine fondali rocciosi pressoché suborizzontali.

Anche la distribuzione dei sedimenti di fondo (v. Tav. relative) è alquanto articolata per la presenza di un'ampia fascia presso riva di materiali molto grossolani, scogli isolati e banchi rocciosi di diretta provenienza dall'alterazione fisica operata dagli agenti meteorici e dal moto ondoso al piede della falesia; in maggior dettaglio per la Spiaggia degli Inglesi (e limitrofa area di Cafieri) e per la Spiaggia di Bagnitiello, si evidenziano sottoriva sabbie medie da poco a moderatamente ben classate quasi simmetriche o asimmetriche grossolane, quindi sabbie fini moderatamente ben classate quasi simmetriche tra le profondità di 4 e 8 m ed infine gli affioramenti di posidonie. Per la zona di Castiglione si evidenzia un'ampia fascia di sabbie grossolane e molto grossolane da poco a moderatamente ben classate quasi simmetriche o asimmetriche grossolane, generalmente associate a tasche di sedimenti nei terrazzi a posidonie (*mattes*).

### Caratteri morfodinamici

#### Dinamica sedimentaria

Anche in questo tratto, così come per il precedente, la dinamica dei sedimenti risulta confinata tra la riva e la profondità di  $4 \div 8$  m a causa della presenza della posidonia e dei fondali rocciosi. L'andamento della linea di riva dedotto dalle varie levate aerofotografiche farebbe supporre una mobilitazione, per

getto di riva, da W ad E dei sedimenti di battigia, come confermato dal debole accrescimento dell'arenile ad W (sopraflutto) del piccolo pennello sito nella baia di Castiglione. La distribuzione dei sedimenti confermerebbe una deriva longitudinale verso E delle sabbie medie e fini nell'area orientale mentre per la spiaggia di Bagnitiello si individuano assi di transito sedimentario diretti prevalentemente verso il largo.

#### Dinamica morfologica

La ricostruzione degli eventi evolutivi su basi cartografiche risulta piuttosto problematica trattandosi di coste alte orlate da esigue spiagge; in particolare ci si può riferire soprattutto alla spiaggia di Bagnitiello, soggetta negli ultimi decenni a intensi fenomeni erosivi i quali hanno prodotto la pressoché totale scomparsa della esigua fascia di arenile storicamente presente. E' verosimile ritenere che tali fenomeni siano da imputare oltre che all'azione del moto ondoso con incidenza prevalentemente ortogonale, anche alla realizzazione di varie opere a servizio dello stabilimento balneare ivi esistente (in special modo un imponente muro di contenimento del versante) e a salvaguardia della soprastante strada statale (una massiccia scogliera radente al piede del costone di P. Scrofa e un pennello lungo circa 60 m presso lo sperone roccioso che limita ad E il lido Bagnitiello).

#### Classificazione morfodinamica

Per la Spiaggia degli Inglesi (profili P1-2) i parametri  $\Omega$  e  $K$  indicano uno stato dissipativo mentre i parametri  $\xi$  e  $\Sigma$  indicano un frangimento di tipo *spilling*; per la Spiagge di Castiglione e Bagnitiello (profili P3..6) i parametri  $\Omega$ ,  $K$  e  $B^*$  indicano uno stato intermedio (transizionale) mentre i parametri  $\xi$  e  $\Sigma$  indicano un frangimento di tipo *spilling*.

## **COSTA ALTA**

**La costa alta a falesia** dell'U.F. in esame ha un estensione di circa 1,7 km con altezze compresa tra 10 e 70 m e pendenze comprese tra 30 e oltre 45°. In particolare la falesia della località Castiglione può essere classificata come falesia attiva ad alta suscettibilità a frane di roccia e/o di detrito/terra.

### **Unità Fisiografica n. 23 “San Montano**

#### **La fascia litorale**

##### Caratteri geoambientali e morfosedimentologici

La spiaggia di San Montano (Fig. 17..20) costituisce una tipica “spiaggia di fondo di Baia” (*pocket beach*) a forma di “U” profonda circa 250 m tra i promontori lavici di M. Vico e di M. Zaro. Estesa circa 200 m con direzione W-E (v. Tav. relativa al rilievo topografico), la spiaggia emersa presenta un tratto interno ampio 30÷40 m con pendenza del 1,5÷2,5% ed un secondo tratto prossimo alla battigia, ampio meno di 10 m con pendenza del 16÷20%. La spiaggia è limitata ad E dalla propaggine occidentale del centro eruttivo di M. Vico, che si protende verso mare con alte pareti dritte e subverticali per circa 250 m, e ad W dai contrafforti orientali del centro eruttivo di M. Zaro, i quali si protendono verso mare con andamento sinuoso per oltre 600 m fino a Punta della Cornacchia.

Nella spiaggia sottomarina (Sez. 30-31) si distinguono 2 settori a caratteri morfosedimentologici differenziati: il settore orientale presenta entro la profondità di circa 5 m un accumulo di sedimenti che configura una sorta di barra con pendenza del 2% tra battigia e -1,5 m e del 4 % tra -1,5÷5,5 m; seguono, fino alla profondità di 15 m, fondali a pendenza via via crescente da 2,4 a 16% (pendenza media del 5,4%). Il settore occidentale presenta fondali uniformi a pendenza del 2,6% entro -4 m, del 3,7% fino a -11,5 m e del 2,3% fino a -15 m.

I sedimenti (v. Tavv. relative) sono costituiti nella spiaggia emersa da sabbie grossolane da moderatamente a ben classate quasi simmetriche; nella spiaggia sommersa, fino alla profondità indagata di circa 10 m, la distribuzione dei sedimenti riflette a pieno il differente andamento morfologico con sabbie medie -da moderatamente a ben classate asimmetriche grossolane- nella parte orientale, a maggiore pendenza, e sabbie fini -moderatamente ben classate quasi simmetriche- nella parte occidentale, a pendenza minore. Da rilevare che le sabbie fini ricadono tutte nella subpopolazione compresa tra 0,245 e 0,198 mm.

#### Caratteri morfodinamici

##### Dinamica sedimentaria

La distribuzione dei sedimenti evidenzia per le sabbie grossolane sulla battigia e sul suo gradino una mobilitazione per getto di riva, con una componente di tipo longitudinale sia verso W che verso E, mentre per le sabbie medie e fini la deriva risulta nettamente di tipo trasversale come è testimoniato dalla diminuzione del diametro delle sabbie pur nell'ambito della stessa classe; la presenza di sabbie fini nella porzione occidentale della baia farebbe supporre la presenza di una componente longitudinale verso W.

##### Dinamica morfologica

Il confronto cartografico nel periodo 1965-1974 mette in evidenza per la spiaggia di San Montano un arretramento generalizzato della linea di riva pari a  $3 \div 4$  m ( $0,3 \div 0,4$  m/anno), fatta eccezione per una modesta porzione centrale dove si registra un avanzamento medio di 2 m ( $0,22$  m/anno).

Tra il 1974 ed il 1998 si assiste ad un avanzamento generalizzato della linea di riva con valore medio di 3 m da mettere in relazione ad un versamento artificiale con materiali proveniente da cave terrestri operato dai proprietari del "Negombo" nel 1992.

**Il rilievo della spiaggia eseguito nell'anno 2004 evidenzia un notevole ampliamento dell'arenile rispetto al 1998, circa 25 m, da mettere in relazione ad un secondo ripascimento effettuato nel 2002 con materiali prelevati dai fondali dell'U.F. "Maronti".**

#### Classificazione morfodinamica

Lo stato morfodinamico della spiaggia di San Montano può essere definito in base al parametro adimensionale  $\delta' = S_l^2 / 100 C_l H_b$  ("embayment scaling" di Martens *et al.* in Short 1999), specifico per le spiagge di fondo di baia (*pocket beach*) che esprime il grado di influenza dei promontori sulla circolazione nella zona di frangimento:  $\delta' = S_l^2 / 100 C_l H_b$  dove  $S_l$  e  $C_l$  sono rispettivamente il perimetro e la larghezza della spiaggia (intesa come distanza tra i promontori). Il valore assunto da  $\delta'$  evidenzia una "**circolazione transizionale**" con una *surf zone* di tipo dissipativo caratterizzata dalla presenza nella baia di componenti *longshore* che fluiscono verso i promontori e ritornano verso il largo sotto forma di *rip currents* (talvolta "*mega rip*"), mentre al largo dei promontori si sviluppa una "normale" circolazione di spiaggia.

#### **COSTA ALTA**

**La costa a falesia di P. Cornacchia** (limite W dell'U.F.) ha un estensione di circa 900 m con altezza compresa tra 20 e 30 m con pendenze generalmente superiore a 30°; questo tratto può essere classificato come falesia attiva a suscettibilità a frane di roccia da media a bassa.

**La costa a falesia di M. Vico** (limite E dell'U.F.) ha un estensione di circa 800 m con altezza compresa tra 25 e 50 m. e pendenze comprese tra 50°-80°; questo tratto può essere classificato come falesia attiva ad alta suscettibilità a frane di roccia.



**SETTORE OCCIDENTALE (da Punta Cornacchia a Punta Imperatore):**  
**Unità fisiografiche”, n. 25 “San Francesco”, n. 26 “Punta del Soccorso”**  
**e n. 27 “Citara”**

**Premessa**

Questo settore, compreso tra i promontori di Punta Cornacchia e Punta Imperatore, presenta due ampie insenature -separate dal promontorio di Punta del Soccorso- orlate da coste basse impostate su una serie di potenti accumuli a conformazione lobata, di frane di crollo e di scoscendimento a blocchi di Tufo Verde che dalle pendici di M. Epomeo degradano dolcemente fino a mare.

**Unità fisiografica n. 25 “San Francesco”**

**La fascia litorale**

Caratteri geoambientali e morfosedimentologici

Compresa tra Punta Caruso e Punta del Soccorso con estensione superiore a 5 km in direzione NNE-SSW, l'U.F. in esame può essere suddivisa, in tre tratti dalle caratteristiche morfoevolutive alquanto differenziate (v. Tav. relativa al rilievo topografico e Fig. 21):

- la spiaggia di San Francesco, bassa e sabbiosa (Fig. 22, 23 e 24) si estende per 400 m nella porzione settentrionale con ampiezza ridotta ad una decina di metri; la spiaggia è limitata verso l'interno da una scarpa subverticale incisa nei materiali di riporto di un ampio parcheggio per auto, da strutture turistiche realizzate sull'arenile e quindi dallo stesso abitato. Da notare che nei mesi successivi al rilievo della linea di riva effettuato nel novembre 2004 è stata posizionata una massiccia barriera aderente in massi lavici a difesa di una delle strutture prima citate.
- la spiaggia del Fortino, praticamente priva di arenile ai giorni nostri, si estende per 300 m nella porzione centrale (Fig. 24 e 25); la spiaggia nel passato, seppur esigua, era limitata verso l'interno da microfalesie incise in un potente accumulo di frane di crollo o di scoscendimento a blocchi

di Tufo Verde che configura nell'area un modesto promontorio collinare. Queste microfalesie risultano oggi bordate da scogliere radenti e da imponenti muri di contenimento, a difesa di una stradina litoranea e dello stesso abitato.

- la spiaggia di Chiaia, infine si estende nella porzione meridionale bassa e sabbiosa per 500 m (Fig. 25 e 26), con ampiezza crescente da pochi metri fino ad un massimo di 50 m nei pressi del molo di sottoflutto del porto di Forio. La spiaggia, con una pendenza di poco inferiore al 5%, è limitata verso l'interno da strutture turistico-residenziali e da un esteso muro di contenimento della strada principale.

L'assetto ambientale dell'Unità è dominato dalla presenza, oltre che del Porto di Forio, di 10 barriere longitudinali di cui 4 rettilinee e 6 disposte ad arco ad assecondare il profilo originario della costa nella zona prospiciente la spiaggia del Fortino, poste a distanza di circa 100 m dalla battigia, ciascuna della estensione di 75 m con varchi di ampiezza compresa tra 25 e 40 m. Da rilevare che all'estremità settentrionale dell'unità, tra l'ultima barriera ed i contrafforti lavici di P. Caruso, la spiaggia configura un'ampia falcatura di erosione interpretabile come un'area di sottoflutto delle opere di difesa.

L'apporto detritico, relativamente modesto, è attualmente connesso con i processi dinamici che interessano la falesia di P. Caruso e con la demolizione dei depositi di frana dell'area del Fortino.

L'andamento morfosedimentologico dei fondali risulta fortemente differenziato a causa della presenza delle opere marittime e delle diverse caratteristiche geostrutturali delle aree emerse che li sottendono.

Nell'area di San Francesco la spiaggia sottomarina (Sez. 7) presenta un sistema barra/truogolo ben sviluppato con la cresta della barra posizionata alla profondità di 2,7 m ad una distanza dalla riva di circa 150 m e truogolo posizionato alla profondità di 4,4 m ad una distanza di 75 m dalla riva. Dal piede esterno della barra, posizionato alla profondità di circa 5 m ad una distanza di 250 m dalla riva, i fondali proseguono verso il largo con andamento

uniforme. La pendenza della zona a barre è del 2%, quella dei fondali “di largo” è del 2,5%, la pendenza generale della spiaggia è del 2,2%. I sedimenti, dalla spiaggia emersa fino al gradino di battigia, sono rappresentati da sabbie grossolane moderatamente classate, quasi simmetriche, segue una fascia di scogli fino alla profondità di 4,5 m, quindi da sabbie medie moderatamente ben classate quasi simmetriche o asimmetriche grossolane, fino alla profondità indagata di poco superiore a 8 m; il corpo della barra è costituito da una subpopolazione granulometrica di diametro leggermente superiore ( $0,5 \div 0,35$  mm) rispetto ai fondali di largo ( $0,35 \div 0,25$  mm).

Nell'area centrale (*Spiaggia del Fortino*, Sez. 8..10) i fondali fino alla profondità di 8 m sono caratterizzati dalla presenza diffusa di scogli emersi e sommersi inoltre quelli contigui alle barriere sul lato a mare presentano una pendenza inferiore (1%) sia rispetto ai fondali ubicati a tergo delle barriere stesse (3%), sia rispetto a quelli “di largo” a profondità superiore a 8 m (2%); la pendenza generale della spiaggia è del 2,3%.

I sedimenti sono rappresentati da sabbie medie subordinatamente grossolane e molto grossolane, da poco a moderatamente ben classate quasi simmetriche; da rilevare che le sabbie grossolane e molto grossolane affiorano in asse alla Sez. 10 in battigia e sulla spiaggia emersa e in asse alla Sez. 8, tra le profondità di 5 e 8 m, in corrispondenza di scogli sommersi diffusi, inoltre a tergo delle barriere si riscontrano prevalentemente massi e scogli affioranti e sommersi con ampie tasche di sabbie medie.

Nell'area meridionale (*Spiaggia di Chiaia*, Sez. 11-12) i fondali sono caratterizzati entro la profondità di 4 m da un sistema barra/truogolo appena accennato con cresta della barra posizionata alla profondità di 2,1 m ad una distanza di circa 150 m dalla riva e truogolo alla profondità di 3 m ad una distanza di circa 100 m dalla riva. Dal piede esterno della barra, posizionato alla profondità di 4,5 m ad una distanza di 220 m dalla riva, i fondali proseguono verso il largo con andamento uniforme. La pendenza della zona a barre è del 2%, quella dei fondali “di largo” è del 2,5%, la pendenza generale

della spiaggia è del 2,2%. Da rilevare che in prossimità del molo secondario del Porto di Forio (Sez. 11) , i fondali configurano entro la profondità di 3 m una zona di accumulo sedimentario, in accordo con la massima ampiezza riscontrata nella spiaggia emersa. I sedimenti sono rappresentati quasi esclusivamente da sabbie medie moderatamente ben classate quasi simmetriche, fino alla profondità indagata di 10 m; da rilevare che nelle zone a tergo delle barriere i sedimenti sono costituiti da una subpopolazione granulometrica di diametro leggermente superiore ( $0,5 \div 0,35$  mm) rispetto ai fondali di largo ( $0,35 \div 0,25$  mm).

#### Caratteri morfodinamici

##### Dinamica sedimentaria

Per l'area in esame, si può ipotizzare uno schema di circolazione alquanto complesso a causa della presenza del porto di Forio e delle barriere parallele distaccate presenti sulla quasi totalità dell'U.F., inoltre riveste un notevole interesse, ai fini della mobilitazione dei sedimenti, il fatto che la porzione settentrionale della Spiaggia di San Francesco, risulti "scoperta" rispetto alle opere di difesa parallele.

La distribuzione del diametro medio dei sedimenti evidenzia, in accordo con l'approccio pressoché ortogonale delle ondatazioni più frequenti, una dinamica prevalentemente di tipo trasversale specialmente all'estremità settentrionale dell'U.F. dove è possibile ipotizzare la presenza di una cella litoranea molto attiva con componenti longitudinali dirette da S verso N, tra l'ultima barriera ed il promontorio che limita il paraggio. Nell'area a S della Spiaggia del Fortino la diminuzione costante del valore del diametro medio, pur nell'ambito della medesima classe delle sabbie medie, rileva una componente longitudinale del trasporto sedimentario da N verso S, come è anche confermato dalla presenza di evidenti accumuli di materiale tra la prima barriera ed il molo di sottoflutto del Porto di Forio.

### Dinamica morfologica

Per quanto attiene alle variazioni della linea di riva, il confronto cartografico nel periodo 1965-1974 mette in evidenza per le spiagge di S. Francesco e Chiaia, una generalizzata fase di arretramento con valori medi prossimi ad 1 m/anno ed una fase di sostanziale equilibrio per la spiaggia del Fortino. Per la spiaggia di Chiaia risultano già realizzate 5 barriere longitudinali distaccate ed altre modeste opere sottriva (un piccolo pennello e alcune scogliere parallele). Tra il 1974 ed il 1998 si assiste ad una evoluzione differenziata: la spiaggia di S. Francesco risulta soggetta ad un arretramento medio di poco superiore a 0,8 m/a, mentre la spiaggia di Chiaia risulta soggetta ad un avanzamento medio pari a 0.75 m/a, verosimilmente da mettere in relazione alla realizzazione di altre 5 barriere longitudinali. **La spiaggia del Fortino praticamente scompare.**

**Il rilievo della spiaggia eseguito nell'anno 2004** conferma l'evoluzione a carattere recessivo per la spiaggia di S. Francesco (0,8 m/a di arretramento medio rispetto al 1998) e per la spiaggia del Fortino dove permane l'assenza dell'arenile.

**Considerando l'intervallo 1965/ 2004 la tendenza evolutiva è di tipo recessivo.**

**Per la spiaggia di Chiaia il rilievo 2004** evidenzia rispetto al 1998 una dinamica evolutiva complessa con un netto arretramento della linea di riva (18 m in media, pari a 3 m/a) per gran parte della spiaggia –è scomparsa anche l'esigua fascia di arenile presente nel 1998 a tergo della quinta e sesta barriera- compensato in parte dalla creazione di un vistoso lobo di protendimento (mediamente 20 m, pari a 3,3 m/a) nell'area compresa tra il molo di sottoflutto del porto di Forio e la prima barriera longitudinale.

**Considerando l'intervallo 1965/ 2004 la tendenza evolutiva è di tipo recessivo fatta eccezione per l'area limitrofa al molo di sottoflutto del Porto di Forio, in progradazione.**

#### Classificazione morfodinamica

Tutte le spiagge in esame mostrano uno stato dissipativo con un frangimento di tipo *spilling*; da rilevare che per la Spiaggia di Chiaia (Sez. 10/12) il parametro  $B^*$  indica uno stato intermedio (transizionale).

#### **COSTA ALTA**

**La costa a falesia** di P. Caruso (limite N dell'U.F.) ha un estensione di circa 900 m con altezza compresa tra 30 e 50 m e pendenze generalmente superiori a 30°. La costa può essere classificata come falesia attiva a suscettibilità a frane di roccia da media a bassa, a luoghi alta.

#### **Unità fisiografica n. 26 “Punta del Soccorso”**

Il promontorio di Punta del Soccorso rappresenta l'area frontale di un antico (II-III sec. d.C., Del Prete & Mele op.cit.) corpo di frana da *debris flow* a forma lobata costituito prevalentemente da inclusi di Tufo Verde con dimensioni comprese tra i ciottoli ed i massi; in particolare grossi massi con volume di molte migliaia di m<sup>3</sup>; orlano per estesi tratti le basse falesie del promontorio.

La costa del promontorio può essere classificata come falesia attiva a bassa suscettibilità a frane di roccia, mentre nel tratto meridionale, prossimo a Cava dell'Isola, può essere classificata come falesia attiva ad alta suscettibilità.

#### **-Unità fisiografica n. 27 “Citara”**

#### **La fascia litorale**

##### Caratteri geoambientali e morfosedimentologici

Questa U.F. presenta nella porzione meridionale (v. Tav. relativa al rilievo topografico) le spiagge di *Cava dell'Isola* e di *Citara* separate da un piccolo affioramento roccioso, le Pietre Rosse.

*La spiaggia di Cava dell'Isola*, estesa circa 400 m, è limitata verso N dalle basse falesie vulcanoclastiche che si raccordano a P. del Soccorso e verso l'interno dai versanti ad alta acclività delle colate detritiche del Tufo verde del M. Epomeo. La sua ampiezza varia da 6 a 50 m con pendenza rispettivamente del 24 e del 7%. *La spiaggia di Citara*, ampia circa 1200 m, occupa l'orlo costiero di una piccola piana, oggi completamente urbanizzata, limitata verso l'interno da una paleofalesia incisa in materiali tufacei e verso S dall'imponente falesia lavico-piroclastica di P. Imperatore. La spiaggia di Citara inoltre è interrotta, nella porzione centrale, da una miriade di scogli affioranti e sommersi, anche di notevoli dimensioni, disposti trasversalmente alla costa (Pietre del Cavallone, relitti tufacei dei potenti accumuli di movimenti di massa avvenuti prevalentemente in epoca greco-romana, Mele & Del Prete, 1998), a tergo dei quali è presente una accentuata cuspide di protendimento (oltre 30 m di ampiezza). La spiaggia termina, verso S, con un complesso termale di rinomata bellezza (Giardini di Poseidon), a ridosso dei contrafforti di P. Imperatore. In questa zona l'ampiezza si riduce ad una decina di metri e la spiaggia è limitata da una scarpa subverticale.

L'alimentazione di materiale detritico alle spiagge, relativamente modesta, garantita per il passato dalla demolizione, ad opera degli agenti esogeni e del moto ondoso, delle "terrazze coltivate" che bordavano la spiaggia (Delizia, 1990), è demandata attualmente ai processi dinamici che interessano il versante che incombe su Cava dell'Isola e, in misura minore, alla demolizione della falesia di P. Imperatore.

I fondali sottoriva sono caratterizzati (Sez. 32..38) dalla presenza di 1 o 2 sistemi di barra-truogolo con cresta della barra più prossima alla riva (barra interna) posizionata a profondità di circa 2 m ad una distanza dalla riva compresa tra 100 e 150 m e truogolo posizionato intorno a -4÷5 m ad una distanza di 220 m circa; la cresta della barra esterna si posiziona ad una distanza dalla riva intorno a 300 m alla profondità di circa 4 m, il suo piede intorno a 350 m alla profondità di 6 m. Alla "zona a barre" fanno seguito,

procedendo verso il largo, fondali sabbiosi a pendenza uniforme quindi fondali rocciosi. La pendenza della “zona a barre” è di poco inferiore al 2%. I sedimenti variano da sabbie grossolane o molto grossolane a sabbie medie procedendo dalla spiaggia emersa fino alla profondità indagata di 8 m. In maggior dettaglio, dalla spiaggia emersa fino alla profondità di 2÷3 m, sono presenti sabbie grossolane, talvolta molto grossolane (porzione meridionale della spiaggia di Citara), da moderatamente classate a ben classate, quasi simmetriche, seguono quindi sabbie medie moderatamente ben classate a ben classate, quasi simmetriche, fino alla profondità di 8÷9 m dove si posiziona generalmente il limite con i banchi rocciosi.

### Caratteri morfodinamici

#### Dinamica sedimentaria

Per l'area in esame, si può ipotizzare (Cocco *et al.*, 2003) uno schema di circolazione a celle litoranee le quali inducono una configurazione della linea di riva “ondulata” (ritmica) con ampi lobi verso mare e profonde rientranze verso terra generalmente in opposizione di fase con le ondulazioni della barra crescente. La spiaggia sottomarina in esame configura una sorta di sistema chiuso limitato a S dal promontorio di P. Imperatore e a N e verso il largo da fondali rocciosi che a luoghi si elevano come una barriera subverticale dalla profondità di 12 m fin quasi alla riva.

#### Dinamica morfologica

La fascia costiera ha subito notevoli variazioni dovute sia a fattori naturali (ad es. il bradisismo, che ha interessato l'intera isola fin dall'antichità) che antropici (ad es. l'urbanizzazione recente della fascia costiera). Proprio in conseguenza del bradisismo, secondo Niola-Buchner (1965), si sarebbe verificata una sommersione di circa 2 m tra il 1590 ed il 1890 documentabile dal confronto tra la configurazione della costa delineata da Magini e Iasolino nel 1590 (Mazzetti, 1972) e quella osservabile nella carta topografica I.G.M.



del 1890; secondo Niola-Buchner, appunto, l'antica linea di riva coinciderebbe con l'isobata dei 2 m del 1890. Si ricorda a questo proposito che le ricerche condotte nell'ambito del P. F. "Geodinamica" del C.N.R. hanno evidenziato, nell'area centro-meridionale, deformazioni negative del suolo fino ad un massimo di 300 mm nel periodo 1913-1979.

Il confronto cartografico nel periodo 1965-1974 mette in evidenza una fase di contenuto arretramento, con valori puntuali superiori a 10. A partire dal 1982 si evidenzia una certa tendenza al riequilibrio costiero marcata, tra il 1992 ed il 1998, da una parziale ricostituzione (con un recupero di superficie di circa 5.000 m<sup>2</sup>) della cuspidi di protendimento a tergo degli scogli del Cavallone e dell'arenile presso il costone roccioso di P. Imperatore dove i due grandi scogli che prima erano semisommersi, presentavano un'ampia spiaggia a fronte mare.

**Il rilievo della spiaggia eseguito nell'anno 2004 mette in evidenza una evoluzione differenziata per le due spiagge:** per la spiaggia di Cava dell'Isola il confronto delle linee di riva 1998-2004 indica un arretramento generalizzato del settore settentrionale, con valori mediamente intorno a 10 m (1,5 m per anno); considerando l'intervallo 1965/2004 la tendenza evolutiva è di tipo recessivo. Il settore meridionale non mostra apprezzabili variazioni, pur permanendo una situazione di estrema pericolosità per la presenza dei versanti fortemente degradati, nonostante sia stata posta in alcuni punti una rete di protezione; **considerando l'intervallo 1965/ 2004 la tendenza evolutiva è di sostanziale stabilità.**

**Per la spiaggia di Citara, la linea di riva del 2004 risulta per gran tratto arretrata** rispetto a quella del 1998, con valori mediamente intorno a 10 m (2,5 m per anno). Nell'estremo settore meridionale tratti in sostanziale equilibrio si alternano a tratti in leggero avanzamento. **Considerando l'intervallo 1965/ 2004 la tendenza evolutiva è di tipo prevalentemente recessivo con sostanziale stabilità per il tratto meridionale di Giardini Poseidon.**

### Classificazione morfodinamica

Lo “stato morfodinamico” del litorale, è di tipo dissipativo ed intermedio (dissipativo/riflettente) a “barra e spiaggia ritmica” e “a barra e *rip* trasversali” (Cocco *et al.* 2003), in particolare i profili caratterizzati da un solo ordine di barre presentano uno stato intermedio, mentre quelli caratterizzati da un doppio ordine di barre, presentano uno stato dissipativo-intermedio, con la barra esterna sempre a carattere dissipativi e la barra interna a carattere dissipativo-intermedio; i parametri  $\xi$  e  $\Sigma$  indicano un frangimento di tipo *spilling*.

### COSTA ALTA

**La costa alta a falesia di Cava dell'Isola** ha un estensione di circa 700 m con altezza di 30 m.e pendenza comprese tra 30° e oltre 45°. Può essere classificata come falesia attiva ad alta/bassa suscettibilità a frane di roccia e/o di detrito/terra.

**La costa alta a falesia di P. Imperatore** ha un estensione di circa 1,1 km con altezza compresa tra 100 e 150 m e pendenze comprese tra 30° e oltre 45°; la falesia può essere classificata attiva ad alta suscettibilità a frane di roccia e/o di detrito/terra.

## ISOLA DI PROCIDA

### *Unità fisiografica "Marina Grande"*

- Rilievo della linea di riva mediante GPS differenziale e Rilievo morfosedimentologico dei fondali entro la profondità di 12 m attraverso l'esecuzione di n. 2 sezioni batimetriche trasversali ad interasse di 250 m circa, il prelievo e l'analisi di n. 5 campioni di sedimento di spiaggia emersa e sommersa

### *Unità fisiografica "Corricella"*

- Rilievo della linea di riva mediante GPS differenziale e Rilievo morfosedimentologico dei fondali entro la profondità di 23 m attraverso l'esecuzione di n. 3 sezioni batimetriche trasversali ad interasse di 250 m circa, il prelievo e l'analisi di n. 20 campioni di sedimento di spiaggia emersa e sommersa.

### *Unità fisiografica "Ciraccio"*

- Rilievo della linea di riva e della spiaggia emersa mediante distanziometro elettronico con esecuzione di 14 sezioni topografiche trasversali ad interasse di 100 m circa tra il livello medio mare e le prime strutture antropiche presenti sulla spiaggia emersa
- Rilievo morfosedimentologico dei fondali entro la profondità di 14 m attraverso l'esecuzione di n. 6 sezioni batimetriche trasversali ad interasse di 250 m circa, il prelievo e l'analisi di n. 54 campioni di sedimento di spiaggia emersa e sommersa

### *Unità fisiografica "Pozzo Vecchio"*

- Rilievo della linea di riva e della spiaggia emersa mediante distanziometro elettronico con esecuzione di n. 3 sezioni topografiche trasversali ad interasse di 50 m circa tra il livello medio mare e la falesia retrostante
- Rilievo morfosedimentologico dei fondali entro la profondità di 12 m attraverso l'esecuzione di n. 2 sezioni batimetriche trasversali ad interasse di 250 m

circa, il prelievo e l'analisi di n. 12 campioni di sedimento di spiaggia emersa e sommersa

### ***COSTA CONTINENTALE (Litorale di Lago Patria)***

#### ***Unità fisiografica Lago Patria***

##### ***Sub Unità fisiografica "Ischitella"***

- Rilievo della linea di riva mediante GPS differenziale e Rilievo morfosedimentologico dei fondali entro la profondità di 6 m attraverso l'esecuzione di n. 4 sezioni batimetriche trasversali ad interasse compreso tra 750 e 1000 m circa, il prelievo e l'analisi di n. 41 campioni di sedimento di spiaggia emersa e sommersa

##### ***Sub Unità fisiografica "Licola"***

- Rilievo della linea di riva mediante GPS differenziale e Rilievo morfosedimentologico dei fondali entro la profondità di 6 m attraverso l'esecuzione di n. 5 sezioni batimetriche trasversali ad interasse compreso tra 750 e 1200 m circa, il prelievo e l'analisi di n. 52 campioni di sedimento di spiaggia emersa e sommersa

##### ***Sub Unità fisiografica "Cuma"***

- Rilievo della linea di riva mediante GPS differenziale e Rilievo morfosedimentologico dei fondali entro la profondità di 6 m attraverso l'esecuzione di n. 4 sezioni batimetriche trasversali ad interasse compreso tra 750 e 1000 m circa, il prelievo e l'analisi di n. 41 campioni di sedimento di spiaggia emersa e sommersa

##### ***Sub Unità fisiografica "Fusaro"***

- Rilievo della linea di riva mediante GPS differenziale e distanziometro elettronico con esecuzione di n. 17 sezioni topografiche trasversali ad interasse di 50 m di cui 4 tra il livello medio mare e le prime strutture antropiche presenti sulla spiaggia emersa
- Rilievo morfosedimentologico dei fondali entro la profondità di 7 m attraverso l'esecuzione di n. 3 sezioni batimetriche trasversali ad interasse

compreso tra 750 e 1000 m circa, il prelievo e l'analisi di n. 37 campioni di sedimento di spiaggia emersa e sommersa

### ***COSTA CONTINENTALE (Litorale dei Campi Flegrei)***

#### ***Sub Unità fisiografica "Miliscola"***

- Rilievo della linea di riva e della spiaggia emersa mediante distanziometro elettronico con esecuzione di n. 8 sezioni topografiche trasversali ad interasse di 250 m circa tra il livello medio mare e le prime strutture antropiche presenti sulla spiaggia emersa
- Rilievo morfosedimentologico dei fondali entro la profondità di 14 m attraverso l'esecuzione di n. 7 sezioni batimetriche trasversali ad interasse di 250 m circa, il prelievo e l'analisi di n. 62 campioni di sedimento di spiaggia emersa e sommersa

#### ***Sub Unità fisiografica "Lucrino"***

- Rilievo della linea di riva e della spiaggia emersa mediante distanziometro elettronico con esecuzione di n. 6 sezioni topografiche trasversali ad interasse di 200 m circa tra il livello medio mare e le prime strutture antropiche presenti sulla spiaggia emersa
- Rilievo morfosedimentologico dei fondali entro la profondità di 11 m attraverso l'esecuzioni di n. 4 sezioni batimetriche trasversali ad interasse di 250 m circa, il prelievo e l'analisi di n. 35 campioni di sedimento di spiaggia emersa e sommersa

### **ELABORAZIONE DATI**

L'elaborazione dei dati ha consentito di approntare i seguenti allegati:

- **n. 10 planimetrie** georeferenziate riportanti la linea di riva 2005 e la posizione con relativa profondità dei punti di rilievo batimetrico, un punto ogni 25 m dalla battigia fino alla distanza massima di 500 m dalla riva, lungo i transetti trasversali eseguiti

- **n. 40 sezioni “Terra-mare”**, dal limite interno della spiaggia emersa fino alla massima profondità raggiunta alla distanza di 500 m dalla riva
- **n. 10 planimetrie** georeferenziate riportanti la posizione dei punti di prelievo dei campioni, uno ogni 50 m dalla spiaggia emersa fino alla distanza massima di 400 m dalla riva, lungo i transetti trasversali eseguiti
- **n. 6 tabelle** riepilogative di tutti i parametri ed indici granulometrici e della classificazione di ogni singolo campione
- **n. 10 planimetrie** georeferenziate riportanti la distribuzione areale del diametro medio dei sedimenti

## RISULTATI

### ***ISOLA DI PROCIDA***

#### **Premessa**

L'Isola di Procida trae origine, nel quadro della storia vulcanologica dell'area Campana, dall'attività dei centri eruttivi risalente a circa 50.000 anni fa (pertanto coeva con l'attività vulcanica dei Campi Flegrei). L'Isola risulta costituita essenzialmente dai prodotti di sei vulcani, o complessi vulcanici locali più o meno addossati: il più antico di essi -il cratere di Vivara- ed il più recente -il cratere di Solchiaro- corrispondono ad edifici vulcanici subacquei costituiti da ialoclastiti trachibasaltiche; i prodotti subaerei degli altri vulcani vanno da latitici a trachitici. In particolare al Vulcano di Solchiaro si deve la formazione della parte meridionale dell'Isola; i prodotti di tale vulcano si depositarono anche nella parte emersa settentrionale conferendole l'attuale morfologia pianeggiante. Nell'area presso Ciraccio, è ben osservabile una sezione geologica dei prodotti di Solchiaro rappresentata alla base da una breccia con abbondante matrice cineritica passante verso l'alto a cineriti grossolane, con frammenti litici e pisoliti, le quali mostrano una caratteristica stratificazione ondulata e/o planare. Presente un livello di lapilli della potenza di circa 40 cm. Da rilevare che i materiali più recenti presenti sull'Isola sono costituiti dai prodotti dei Fondi di Baia (serie dei Campi Flegrei).

Dal punto di vista geomorfologico l'Isola, caratterizzata da baie semicircolari alcune delle quali rappresentano parti di crateri collassati, presenta una forma articolata riconducibile ad un quadrilatero con lati di circa 4 Km (in direzione NE-SW) per 2 Km (NW-SE); la parte centrale è occupata da un esteso altopiano con quote comprese tra 13 e 65 m, mentre la quota più elevata (91 m) è data dal vulcano di Terra Murata, nel settore orientale.

### *Unità fisiografica "Marina Grande"*

#### **Caratteri geoambientali e morfosedimentologici**

Estesa per circa 5 km tra P. Pioppeto e P. della Lingua nel settore settentrionale dell'Isola, questa U.F. risulta dominata, dal punto di vista geoambientale, dalle strutture del Porto commerciale e del Porto turistico. Le indagini hanno riguardato l'ampia falcatura occidentale compresa tra P. Pioppeto ed il molo principale del Porto Commerciale dove si sviluppano esili spiagge addossate alla falesia. Da rilevare che nell'U.F. è presente un altro piccolo lembo di spiaggia nell'area orientale contigua al molo di sottoflutto del Porto Turistico.

In maggior dettaglio nell'area indagata (Figg. 1..6) è possibile distinguere un tratto a costa alta caratterizzato da ripidi versanti soggetti ad attivi processi morfodinamici ed un tratto di costa bassa esteso 250 m circa, contiguo al molo principale del porto Commerciale (arenile "Grotte"). Qui l'ampiezza della spiaggia emersa è contenuta entro una decina di metri, mentre la morfologia della spiaggia sommersa è molto irregolare per la presenza di massi e scogli diffusi quasi a partire dalla riva e di una vasta prateria di posidonie, continua o a macchie, impiantata su matte (V. Sezz. allegate). La pendenza è compresa tra 2 e 3%. Seguono fino alla profondità massima indagata di 14 m, fondali rocciosi. I materiali della battigia sono costituiti da sabbie grossolane e medie da poco a moderatamente classate; nella spiaggia sommersa è stato possibile prelevare solo un campione di sedimento a -1 m, classificabile come sabbia media (V. Tavv. allegate).



## Morfodinamica delle spiagge

### *Dinamica sedimentaria*

La mobilitazione dei sedimenti avviene esclusivamente entro una fascia ampia un centinaio di metri, tra la battigia ed i fondali rocciosi a posidonia, secondo uno schema di circolazione a cella, frequente nelle tipiche *pocket beaches* di limitata estensione, con componenti *long shore* che fluiscono verso il promontorio di P. Pioppeto e verso il Porto Commerciale dove si instaurano componenti trasversali verso il largo sotto forma di *rip currents*. In particolare la componente diretta verso il Porto Commerciale è testimoniata dalla configurazione della linea di riva e dalla diminuzione del diametro medio dei sedimenti di battigia.

### *Dinamica morfologica*

Prendendo in esame il confronto cartografico del periodo 1965-1987 si osserva un arretramento generalizzato della spiaggia con valori crescenti da 0,3 m/a a 0,7 m/a procedendo da NE verso SW.

Il confronto 1987/98 conferma l'arretramento nel tratto di spiaggia NE con valore di 0,45 m/a, mentre il tratto a SW risulta sostanzialmente stabile.

**Il rilievo della spiaggia eseguito nell'ambito della presente Convenzione** mette in evidenza rispetto all'anno 1998 un avanzamento medio pari a 3,8 m (0,5 m/a) per un tratto di estensione pari a circa 200 m compreso tra il molo del porto ed il cumulo di frana dove la spiaggia risulta praticamente inesistente.

**Considerando l'intervallo 1965/2004 la tendenza evolutiva è di tipo chiaramente recessivo per l'estrema porzione centrale dell'Unità, attualmente priva di arenile; procedendo verso il Porto la spiaggia risulta praticamente stabile o in leggera progradazione (a ridosso del molo).**

### *Classificazione morfodinamica*

Lo stato morfodinamico della spiaggia di Marina Grande può essere definito in base al parametro adimensionale  $\delta' = S_l^2 / 100 C_l H_b$  ("*embayment scaling*" di Martens *et al.* in Short 1999), specifico per le spiagge di fondo di baia (*pocket beach*), che

esprime il grado di influenza dei promontori sulla circolazione nella zona di frangimento.  $S_i$  e  $C_i$  sono rispettivamente il perimetro e la larghezza della spiaggia (intesa come distanza tra i promontori).

Il valore assunto da  $\delta'$  (10,7) evidenzia una “**circolazione transizionale**” con una *surf zone* di tipo dissipativo caratterizzata dalla presenza nella baia di componenti *longshore* e componenti trasversali verso il largo sotto forma di *rip currents* (talvolta “*mega rip*”).

### *Unità fisiografica "Corricella"*

#### **Caratteri geoambientali e morfosedimentologici**

L' U.F. "Corricella", è rappresentata da una baia conformata ad U capovolta, limitata dai promontori di P. Pizzaco a SW e di P. dei Monaci a NE (Figg. 7..12). All'interno di tale baia si individuano le falcature della Spiaggia di Chiaia, un'esile fascia sabbiosa addossata ad un'alta falesia incisa nei depositi vulcanici, e di Marina di Corricella, antico borgo marinaro dell'Isola di Procida, oggi praticamente "isolato" dal contesto dinamico dell' U.F. dalla presenza di una serie di barriere longitudinali distaccate.

La Spiaggia di Chiaia, lungo la quale sono state condotte le indagini oggetto della presente convenzione, si estende per circa 1 km con orientamento SSW-NE; l'ampiezza è molto ridotta a causa della presenza, alle spalle, di un'alta falesia.

Il rifornimento di materiali clastici è piuttosto modesto, legato esclusivamente alla degradazione dei materiali vulcanici operata dagli agenti meteorici e al crollo della falesia per scalzamento al piede operata dal moto ondoso. Proprio ripetuti fenomeni di crollo hanno interessato nel passato alcuni settori talchè si è reso necessario realizzare sia opere di contenimento puntuale, sia scogliere di protezione. In particolare nel tratto nord orientale della spiaggia, al confine con l'insenatura della Corricella, sono attualmente presenti tre scogliere parallele emerse ed una serie disorganizzata ed ormai quasi sommersa di blocchi di calcestruzzo di forma quadrangolare che sembrano assolvere una funzione protettiva abbastanza limitata. Da ricordare che nell'area limitrofa all'ultima scogliera, guardando verso Chiaia, si sono verificati fenomeni erosivi molto intensi con totale scomparsa dell'arenile e parziale distruzione del muro di contenimento della falesia.

La spiaggia sommersa, presenta fondali morfologicamente differenziati: nell'area orientale (Sez. n. 5), si individua un sistema barra -truogolo molto tozzo con cresta-truogolo posizionati a  $-1,1 \div -1,6$  m a circa 50 m dalla riva, mentre il piede si posiziona intorno alla profondità di 5,3 m a distanza di 160 m dalla riva. La pendenza della "zona a barre" è del 3,5%. Seguono fondali suborizzontali fino ad

una distanza di 500 m dalla riva, caratterizzati da terrazzi di posidonia con “scarpate” subverticali di altezze comprese tra 2 e 7 m.

Nell’area centrale (Sez. n. 6) la “zona a barre” presenta una configurazione meno “tozza”, con cresta-truogolo intorno alla profondità di 1 m, praticamente saldate alla riva mentre il piede si posiziona alla profondità di 4,3 m a distanza di 150 m dalla riva. La pendenza della zona a barre è del 2,8%. Seguono fondali ad acclività elevata (oltre l’8%) fino alla massima profondità indagata di 23 m alla distanza di 500 m dalla riva.

Nell’area occidentale infine (Sez. n. 7) la “zona a barre” è assente ed i fondali presentano pendenza uniforme del 2,1% fino alla profondità di 8 m alla distanza di 375 m dalla riva, seguono fondali a più alta acclività fino alla massima profondità indagata di 17 m alla distanza di 500 m dalla riva (pendenza del 7%).

I sedimenti entro la profondità di 5÷7 m sono rappresentati prevalentemente da sabbie medie e fini moderatamente classate, in particolare nel settore centro orientale predominano le sabbie medie mentre nel settore occidentale predominano le sabbie fini (V. Tavv. allegate). Oltre la profondità di 5÷7 m sono presenti in tutta l’area in esame vaste praterie di posidonie con tasche di sabbie da grossolane a fini.

## **Morfodinamica delle spiagge**

### *Dinamica sedimentaria*

La mobilitazione dei sedimenti nell'area in esame risulta confinata tra la battigia e la profondità di 5÷7 m -a largo di tale profondità il fondale è caratterizzato dalla prateria di posidonia- inoltre tale mobilitazione è sicuramente condizionata dalla numerose barriere longitudinali distaccate presenti nell'area orientale. In particolare la diminuzione del diametro medio dei sedimenti individua uno schema di circolazione a celle con una componente longitudinale diretta da SW verso NE ed una componente trasversale diretta verso il largo all'estremità SW dell'area marcata dalla presenza diffusa di materiali a granulometria più fine.

La componente longitudinale da SW a NE è confermata d'altra parte dalla severa erosione che interessa l'area a NE delle barriere longitudinali, che assume pertanto il ruolo di "area di sottoflutto".

### *Dinamica morfologica*

Per quanto attiene alle variazioni della linea di riva, il confronto cartografico per il periodo 1965/1987 evidenzia un avanzamento generalizzato con valore medio pari a 0,3 m/a.

Per il periodo 1987/1998 si registra una evoluzione differenziata con piccoli tratti soggetti a stabilità alternati a piccoli tratti soggetti ad arretramento (0,3÷0,7 m/a) o avanzamento (0,3÷0,5 m/a).

**Il rilievo della spiaggia eseguito nell'ambito della presente Convenzione** evidenzia rispetto al 1998 una generale tendenza all'arretramento con valori compresi tra 0,5 e 0,75 m/a. Da rilevare che anche il tratto difeso dalle barriere è soggetto ad un arretramento pari a 0,37 m/a.

**Considerando l'intero intervallo 1965/ 2005 si registrano settori in debole erosione che si alternano, da S a N, ad ampi tratti stabili, mentre l'estremo tratto settentrionale risulta parzialmente stabilizzato dalla opere di difesa.**

### *Classificazione morfodinamica*

Come già riferito nella relazione finale sulle indagini condotte nell'Isola d'Ischia, cui si rimanda per maggiori dettagli, le spiagge dominate dalle onde, quali sono le spiagge oggetto del presente studio, possono essere classificate dal punto di vista morfodinamico in base ai seguenti parametri:

- $\Omega$  "velocità di caduta adimensionale" (Short, 1999) secondo la formula  $\Omega = H_b/W_s T$  dove ( $H_b$ ) è l'altezza d'onda al frangimento, ( $T$ ) è il periodo dell'onda e  $W_s$  è il diametro medio del sedimento (inteso come velocità di caduta). Per  $\Omega < 1$  le spiagge tendono ad essere "riflettenti" (alta acclività, assenza di barre), per  $\Omega > 6$  esse tendono ad essere "dissipative" (bassa acclività, molti ordini di barre) ed infine per  $\Omega = 2 \div 5$  risultano di tipo "intermedio" (uno o due ordini di barre).
- $K$  stabilità della linea di riva (Sunamura, 1987) secondo la formula  $K = H_b^2/gT^2D_{50}$ . In condizioni di mare calmo si verifica trasporto verso riva con accrescimento della spiaggia e formazione di una berma, quindi profilo senza barre ( $K < 10$ ); con mare mosso si verifica trasporto verso il largo con erosione della spiaggia e formazione di una barra ( $K > 10$ ).  $K = 10$  separa le spiagge con barre da quelle senza barre.
- $B^*$  parametro di barra (Short & Aagaard (1993) secondo la formula  $B^* = x_s/g \tan \beta T^2$ , dove  $x_s$  è la distanza dalla linea di riva del punto finale del profilo di spiaggia verso il largo. Secondo questi Autori nell'ambiente di spiaggia microtidale il numero di barre aumenta al diminuire del gradiente o del periodo dell'onda: per un dato gradiente, onde di piccolo periodo producono più ordini di barre poco spaziate, mentre onde di grande periodo producono poche barre, più spaziate. Questo parametro si basa sulla premessa che onde stazionarie a bassa frequenza (*standing infragravity waves*) siano responsabili della formazione delle barre.

Le caratteristiche della zona di frangimento, in termini di tipologia di frangenti, possono essere espresse dai parametri *surf scaling* (Guza & Inman, 1975) e *surf similarity* (Battjes, 1974) secondo le rispettive formule:  $\xi = a_b \omega^2/g \tan^2 \beta$ ,  $\Sigma = \tan \beta / (H_b/L_0)^{0.5}$  dove  $\tan \beta$  è la pendenza della spiaggia,  $H_b$ ,  $a_b$ ,  $L_0$  ed  $\omega^2$  sono rispettivamente l'altezza, l'ampiezza dell'onda al frangimento ( $H_b/2$ ), la lunghezza dell'onda in acque profonde e la frequenza angolare dell'onda ( $2\pi T$ ),  $g$  l'accelerazione di gravità. Il tipo di frangente dipende principalmente dalla

pendenza della spiaggia e dalla ripidità dell'onda: il frangente a defluimento-*spilling*, si verifica per valori di  $\xi$  compresi tra  $20 \div 200$  e di  $\Sigma < 0,23$ , il frangente a cascata-*plunging* per valori di  $\xi$  compresi tra  $2,5 \div 20$  e di  $\Sigma$  tra  $1 \div 0,23$ , il frangente ad espansione-*surging*, per valori di  $\xi$  compresi tra  $0,1 \div 2,5$  e di  $\Sigma > 1$ .

Per ognuna delle sezioni di spiaggia sommersa dell'U.F. "Corricella", è stato definito lo "stato morfodinamico" usando i valori mediati delle grandezze presenti nelle varie formule, attribuendo alle caratteristiche ondose valori della letteratura scientifica e valori desunti da ricerche scientifiche personali, in attesa che siano disponibili i dati specifici forniti dal gruppo di lavoro afferente all'Autorità di Bacino. I parametri  $\Omega$ ,  $K$  e  $B^*$  indicano per le Sez. 5 e 6 uno stato intermedio (transizionale), per la Sez. 7 uno stato dissipativo; i parametri  $\xi$  e  $\Sigma$  indicano un frangimento di tipo *spilling*.

### *Unità fisiografica "Ciraccio"*

#### **Caratteri geoambientali e morfosedimentologici**

L'U.F. in esame (Figg. 13..20) si sviluppa per circa 1500 m, tra l'isolotto di Vivara e P. Serra, comprende la spiaggia di Chiaiolella a SW e la spiaggia di Ciraccio a NE, separate tra loro da una falesia subverticale lambita dal mare. In questi ultimi decenni due grandi blocchi rocciosi staccatisi dalla falesia risultano completamente circondati dal mare andando a costituire un classico esempio di formazione di faraglioni.

La spiaggia di Chiaiolella estesa circa 600 m, si raccorda verso S alle propaggini del promontorio di S. Margherita -costituente la porzione nord-orientale del vulcano di Vivara ma legato morfologicamente a Procida attraverso una estesa lingua di sabbia- mentre ad est confina direttamente col muro di contenimento della Via Cristoforo Colombo e con varie strutture residenziali e turistiche. L'ampiezza della spiaggia emersa è compresa tra 12 e 20 m, la pendenza è intorno al 10%.

La spiaggia di Ciraccio estesa circa 800 m, è limitata verso l'entroterra da una falesia subverticale alta una ventina di metri incisa nei depositi vulcanoclastici della formazione di Solchiaro. La spiaggia stretta e sabbiosa, di ampiezza non superiore a 15 m, si raccorda verso nord al promontorio di P. Serra, costituente la porzione meridionale del cratere di Pozzo Vecchio.

Il rifornimento di materiali clastici alle spiagge è molto modesto, legato esclusivamente alla degradazione dei materiali vulcanici operata dagli agenti meteorici e al crollo della falesia. Ripetuti fenomeni di crollo hanno appunto interessato in passato ed interessano attualmente il costone.

La spiaggia sommersa presenta un andamento morfologico alquanto articolato (Sezz. 15..20): presso la riva è presente una prima zona a barre e truogoli ampia 200/250 m, seguita da una seconda zona, estesa 200/500 m fino alla profondità di -10 m, con fondali a pendenza uniforme (tra 2 e 2.5%) e quindi da una terza fascia di ampiezza compresa tra 350 e 450 m fino alla profondità di 20 m, caratterizzata da terrazzetti a posidonie (mattes) e banchi rocciosi (pendenza tra 2 e 3%).



Seguono fondali rocciosi ad acclività compresa tra 2 - 3% (area settentrionale presso P. Serra) e oltre il 10% (area meridionale prospiciente la spiaggia di Chiaiolella).

In maggior dettaglio la “zona a barre” si caratterizza per la presenza di un sistema barra-bassofondo con cresta piatta e truogolo appena accennato entro la profondità di circa 2 m ad una distanza di 100÷150 m dalla battigia e di un sistema barra-truogolo ben individuato con cresta alla profondità di 2,5 m a distanza di 175 m dalla riva e truogolo alla profondità di -3,0÷3,5 m a distanza di 100÷125 m dalla riva.

I sedimenti sono rappresentati prevalentemente da sabbie medie e fini, subordinatamente da sabbie grossolane da moderatamente classate a ben classate (V. Tavv. allegate). Queste ultime affiorano esclusivamente nell'area di Ciraccio tra la battigia e la profondità di 1 m. Le sabbie medie si dispongono secondo una fascia parallela alla costa di ampiezza e profondità decrescenti procedendo da N verso S. In particolare all'estremità settentrionale l'intero fondale investigato, fino alla profondità di 9 m ad una distanza di 400 m dalla riva, è costituito da sabbie medie (sottoclasse A tra -1,0 e -2,0 m, sottoclasse B oltre quest'ultima profondità), mentre procedendo verso sud il limite di affioramento passa dalla profondità di 5 m ad una distanza di 250 m dalla riva, alla profondità di 1,5 m ad una distanza di 75 m dalla riva. Le sabbie fini si dispongono al contrario secondo una fascia parallela alla costa di ampiezza e profondità crescenti procedendo da N verso S. Praticamente assenti in corrispondenza della sezione di campionamento più settentrionale, affiorano quasi già presso la riva nell'area più meridionale.

## **Morfodinamica delle spiagge**

### *Dinamica sedimentaria*

La distribuzione dei sedimenti secondo fasce grosso modo parallele alla costa può essere interpretata come un indice del modellamento trasversale della spiaggia sommersa con trasporto dei sedimenti prevalentemente di tipo "on - off".

Contemporaneamente la diminuzione del diametro medio evidenzia la presenza di componenti longitudinali dirette da NE verso SW.

La zona di Ciraccio, dai faraglioni al limite settentrionale del settore, viene rifornita in modo alquanto vistoso dalla disgregazione della falesia: le sabbie grossolane e medie ad opera del getto di riva in battigia e della *long shore current* entro  $-1 \div 2$  m, mentre le sabbie fini vengono allontanate decisamente verso il largo dalle correnti di ritorno (*undertow* e *rip currents*).

### *Dinamica morfologica*

Prendendo in esame il confronto cartografico del periodo 1965-1987 si osserva che la spiaggia di Chiaiolella non mostra significative variazioni, mentre la spiaggia di Ciraccio è soggetta ad arretramento generalizzato, fatta eccezione per l'estrema porzione del settore al raccordo con il promontorio di P. Serra, dove zone in debole avanzamento si alternano a zone in debole arretramento.

Dall'analisi della cartografia si deduce inoltre che nel 1965 la falesia, al passaggio tra la spiaggia di Chiaiolella e quella di Ciraccio, è ancora integra, vale a dire i faraglioni non si erano ancora formati, mentre nel 1987 è raffigurato uno solo di tali faraglioni, quello meridionale.

Nel periodo 1987/1998 elemento peculiare di tutto il paraggio è costituito dall'arretramento della falesia nel settore di Ciraccio dove, oltre a provocare il distacco del secondo faraglione, rende addirittura "pensile" il balcone di una abitazione realizzata sulla sommità stessa del costone (Figg. 19 e 20). Nel settore di Chiaiolella, persiste l'attacco da parte del moto ondoso alle strutture che limitano la spiaggia verso l'entroterra, talchè si è dovuto ricorrere al posizionamento puntuale di difese aderenti.

**Il rilievo della spiaggia eseguito nell'ambito della presente Convenzione** mette in evidenza rispetto all'anno 1998 una sostanziale stabilità della linea di riva anzi all'estremità SW si osserva un leggero protendimento.

Da rilevare che nel 2002 è stato appaltato, a cura dell'Amm.ne Comunale di Procida, un intervento di difesa dall'erosione basato su un sistema di drenaggio

della linea di riva (BMS: Beach management system). Tale intervento, che avrebbe dovuto consentire una ricostituzione dell'arenile pari a 8 m nell'arco di un anno, non ha raggiunto l'obiettivo a causa della "particolarità del luogo di installazione": il sistema BMS è stato applicato per la prima volta in ambito mediterraneo su una spiaggia insulare priva di apporti fluviali, come si apprende dal sito ufficiale "*bmsonline*".

**Considerando l'intervallo 1965/ 2004 la tendenza evolutiva per l'intera U.F. è di tipo recessivo, in particolare per il settore di Ciraccio si riscontra un arretramento medio di 11 m (circa 0,3 m/ anno) mentre per il settore di Chiaiolella si riscontra un arretramento medio di 5 m pari a 0,1 m/ anno.**

### *Classificazione morfodinamica*

I parametri  $\Omega$ ,  $K$  e  $B^*$  indicano uno stato dissipativo fatta eccezione per la Sez. n. 20 (intermedio -transizionale), mentre i parametri  $\xi$  e  $\Sigma$  indicano un frangimento di tipo *spilling*.

### *Unità fisiografica "Pozzo Vecchio"*

#### **Caratteri geoambientali e morfosedimentologici**

Questa U.F. è costituita morfologicamente da una parte SW, conformata a semicerchio, dove è presente una esile spiaggia addossata alla falesia subverticale - Spiaggia di Pozzo Vecchio, oggetto di indagini- e da una parte NE, con coste alte, ad andamento più rettilineo, fino a Capo Bove che rappresenta il limite naturale dell'unità. A SW è presente il promontorio di P. Serra, il quale limita a sua volta la contigua subunità di Ciraccio.

La spiaggia di Pozzo Vecchio (Figg. 21..26), con orientamento SW-NE, presenta un'estensione di circa 350 m ed un'ampiezza compresa tra 15 e 20 m. I materiali sono costituiti da sabbie medie nel tratto a SW del Cimitero e da sabbie grossolane- molto grossolane nel tratto a NE. Nella porzione centrale la spiaggia è caratterizzata dalla presenza di una massiccia opera di contenimento del versante sul quale insiste il Cimitero comunale. Ripetuti fenomeni di crollo hanno interessato nel passato alcuni settori talchè grandi blocchi rocciosi sono ancora oggi visibili ai piedi del costone.

Il rifornimento di materiali clastici è piuttosto modesto, legato esclusivamente alla degradazione dei materiali vulcanici operata dagli agenti meteorici e al crollo della falesia per scalzamento al piede operata dal moto ondoso.

La spiaggia sommersa (Sezz. 21 e 22) presenta un'ampiezza di 125÷175 m a profondità compresa tra 2,5 e 6 m ed è limitata verso il largo da affioramenti rocciosi e terrazzi di posidonia fino alla massima profondità indagata di 12 m a distanza di 500 m dalla riva. I sedimenti (V. Tavv. allegate) sono costituiti da sabbie medie da moderatamente a ben classate (area a SW del Cimitero) o da sabbie grossolane e molto grossolane poco classate (area a NE) .

#### **Morfodinamica delle spiagge**

##### *Dinamica sedimentaria*

La mobilitazione dei sedimenti avviene esclusivamente entro una fascia ampia un centinaio di metri, tra la battigia ed i fondali rocciosi a posidonia, secondo uno

schema di circolazione a cella, frequente nelle tipiche pocket beaches di limitata estensione con componenti *longshore* che fluiscono verso il promontorio di P. Serra dove si instaurano componenti trasversali verso il largo sotto forma di *rip currents* (“mega rip”). La componente *long shore* diretta da NE verso SW è testimoniata dalla diminuzione del diametro medio dei sedimenti.

### *Dinamica morfologica*

Prendendo in esame il confronto cartografico del periodo 1965-1987 si osserva un arretramento generalizzato della spiaggia con valori crescenti da 0,3 m/a a 0,7 m/a procedendo da NE verso SW.

Il confronto 1987-98 conferma l’arretramento nel tratto di spiaggia NE con valore di 0,45 m/a, mentre il tratto a SW risulta sostanzialmente stabile.

**Il rilievo della spiaggia eseguito nell’ambito della presente Convenzione** mette in evidenza rispetto all’anno 1998 un avanzamento notevole (4,4 m in media, pari a 0,6 m/a) per il tratto compreso tra il Cimitero ed il cumulo di frana, di estensione pari a circa 150 m. Il tratto terminale a SW, così come il tratto a NE del Cimitero risultano praticamente stabili.

**Considerando l’intervallo 1965/ 2004 la tendenza evolutiva è di tipo recessivo con valore medio di 8 m (circa 0,2 m/ anno).**

### *Classificazione morfodinamica*

Lo stato morfodinamico della spiaggia di Pozzo Vecchio può essere definito in base al parametro adimensionale  $\delta' = S_l^2 / 100 C_l H_b$  (“*embayment scaling*” di Martens *et al.* in Short 1999), specifico per le spiagge di fondo di baia (*pocket beach*), che esprime il grado di influenza dei promontori sulla circolazione nella zona di frangivento.  $S_l$  e  $C_l$  sono rispettivamente il perimetro e la larghezza della spiaggia (intesa come distanza tra i promontori).

Il valore assunto da  $\delta'(11,1)$  evidenzia una “**circolazione transizionale**” con una *surf zone* di tipo dissipativo caratterizzata dalla presenza nella baia di componenti *longshore* e componenti trasversali verso il largo sotto forma di *rip currents* (talvolta “*mega rip*”).

## ***COSTA CONTINENTALE (Litorale di Lago Patria)***

### ***Unità fisiografica “Lago Patria”***

#### **Premessa**

Il settore in esame rappresenta la spiaggia impostata sull'ala sinistra del F. Volturno, per una estensione di circa 20 km dalla foce dei regi Lagni fino ai contrafforti vulcanoclastici del Monte di Procida (Campi Flegrei).

Le spiagge basse e sabbiose sono limitate verso l'interno da cordoni dunari, in parte allo stato naturale ed in parte fortemente antropizzati, cui fanno seguito, a volte laghi costieri (Lago di Patria, Lago del Fusaro), a volte vaste aree acquitrinose bonificate nel secolo scorso (“Mazzoni, Lago di Licola”). Il basso profilo della costa è interrotto nella parte meridionale dal promontorio di Cuma, sede dell'antica acropoli di epoca romana (nulla, o quasi, rimane della città greca, la più antica d'Italia - Vallet, 1990).

L'U.F. “Lago Patria” può essere opportunamente suddivisa, in base alle differenti caratteristiche evolutive, in cinque sub unità.



### *Sub Unità fisiografica "Pineta Mare"*

Lungo questa sub Unità, a causa delle complesse problematiche geoambientali presenti, non sono state condotte indagini sul campo. Si ritiene comunque opportuno tracciare un quadro dinamico evolutivo sulla base degli approfonditi studi condotti negli ultimi decenni.

L'intero complesso di foce del F. Volturno è stato soggetto negli ultimi 2.000 anni ad una notevole progradazione, come è testimoniato dalla ubicazione dell'antica *Volturnum*, una colonia marittima romana risalente al 194 a.C., a circa 2 km all'interno rispetto all'attuale linea di costa. L'area in esame in particolare manifesta un avanzamento della linea di riva valutabile in 4 m/anno nel periodo 1809/1954 ed in 3 m/anno nel periodo 1954/1974.

A seguito della realizzazione del porticciolo turistico di Pineta Mare, il regime idrodinamico del settore viene completamente sconvolto: i materiali trasportati dalla zona di Foce Volturno verso SE ad opera delle correnti litoranee vengono intercettati dal molo foraneo del porticciolo causando nel volgere di tre anni un ripascimento di oltre 30 m, nell'area a NW del molo di sopraflutto. Nel contempo le spiagge a SE del molo -di sottoflutto- entrano rapidamente in crisi erosiva con una perdita di arenile valutabile in 20.000 m<sup>2</sup> (periodo 1974-1977). La necessità di salvaguardare l'integrità del lungomare e delle abitazioni prossime alla riva, spinge i responsabili del Comprensorio di Pineta Mare alla realizzazione, tra il 1978 ed il 1979, di 14 pennelli trasversali di cui 4 a T, per una estensione di 2 km dal molo di sottoflutto. Negli anni successivi risultano del tutto evidenti i benefici delle opere di difesa: i processi erosivi si arrestano e si ricostituiscono gli arenili nei vari settori costieri compresi tra i pennelli. Nel contempo però una profonda crisi erosiva si instaura nelle aree contigue SW –"di sottoflutto"- nel territorio di Ischitella.

### *Sub Unità fisiografica "Ischitella"*

#### **Caratteri geoambientali e morfosedimentologici**

Estesa circa 5 km con orientamento NW-SE, proprio a partire dalle ultime opere di difesa del Villaggio Pineta Mare (Figg. 27..32), l'area in esame risulta completamente occupata da strutture balneari, fatta eccezione per l'estremo tratto

SW presso la foce di Lago Patria, a carattere ancora naturale, dove è possibile osservare una spiaggia ampia 40/70 m, limitata verso l'interno da un alto cordone dunare.

La spiaggia sommersa (Sezz. 37..40) presenta entro la profondità di 5 m vari sistemi di barre/truogoli: in particolare presso la riva le barre hanno uno sviluppo molto irregolare (barre a festoni) con creste ubicate intorno a -2 m ad una distanza compresa tra 100 e 200 m dalla riva, verso il largo al contrario la barra ("barra esterna") presenta un andamento più regolare (rettilineo) con cresta ubicata intorno a -2,5 m ad una distanza di circa 250 m dalla riva e truogolo ubicato a profondità di 4÷5 m. Seguono fondali a debole acclività (circa 1%). A luoghi (Sez. n. 40) è presente una terza barra con cresta poco sviluppata alla profondità di circa 5 m.

I sedimenti sono costituiti da sabbie medie da moderatamente a ben classate, tra la battigia e -1,5÷3,0 m, quindi da sabbie fini da moderatamente a moderatamente ben classate, tra -3,0 m e la massima profondità indagata di -6,0 m alla distanza di 500 m dalla riva (V. Tavv. allegate). In particolare è stato possibile, nell'ambito delle sabbie fini, distinguere due subpopolazioni comprese rispettivamente tra 0,250÷0,175 mm (subpopolazione "A") e tra 0,175÷0,125 mm (subpopolazione "B") il cui limite si pone generalmente intorno a -4,0÷5,0 m ad una distanza di 300÷400 m dalla riva.

## **Morfodinamica delle spiagge**

### *Dinamica sedimentaria*

Per l'area in esame, si può ipotizzare uno schema di circolazione a celle litorali in accordo con l'approccio delle ondazioni più frequenti e con la configurazione ritmica della linea di riva. Le componenti trasversali del flusso di massa generato nella zona dei frangenti sono evidenziate dalla diminuzione del diametro medio dei sedimenti procedendo dalla battigia verso le maggiori profondità. Le componenti longitudinali sono evidenziate dalla profonda falcatura di erosione presente a valle dell'ultima

opera di difesa all'estremità nord occidentale della U.F.; esse nel tratto compreso tra Pineta Mare e Foce Patria risultano dirette prevalentemente da NW verso SE.

### *Dinamica morfologica*

Per quanto attiene alle variazioni della linea di riva, il confronto cartografico nel periodo 1965-1987 mette in evidenza una evoluzione differenziata: l'estremo settore NW, al confine con le opere di difesa di Pineta Mare, è soggetto ad arretramento medio di 7,5 m pari a 0,4 m/a; procedendo da Ischitella verso SE il litorale è soggetto a progradazione con valore medio crescente da 25 a 30 m pari a 1,3-1,5 m/a.

Tra il 1987 ed il 1998 si assiste ad una evoluzione differenziata: il tratto NW, corrispondente all'area intensamente antropizzata di Ischitella –area di sottoflutto rispetto alle opere di difesa di Pineta Mare, è soggetto ad arretramento generalizzato con valore medio di 10 m pari a 0,7 m/a; per il tratto SE fino a Foce Patria la tendenza generale è di relativa stabilità con estesi settori in equilibrio che si alternano a piccoli settori in debole arretramento.

**Il rilievo della spiaggia eseguito nell'ambito della presente Convenzione** conferma, rispetto al 1998, l'arretramento generalizzato con valori compresi tra 10 e 30 m ( $1 \div 4$  m/a) del tratto NW ed una sostanziale stabilità del tratto SE fino a Foce Patria.

**Considerando l'intervallo 1965/2004 la tendenza evolutiva è di tipo recessivo per il tratto NW con valori di arretramento decrescenti da 1 a 0,3 m/a, di tipo progradazionale per il tratto SE con valori di avanzamento compresi tra 0,5 e 1 m/a.**

### *Classificazione morfodinamica*

I parametri  $\Omega$ ,  $K$  e  $B^*$  indicano uno stato dissipativo, mentre i parametri  $\xi$  e  $\Sigma$  indicano un frangimento di tipo *spilling*.

### *Sub Unità fisiografica "Licola"*

#### **Caratteri geoambientali e morfosedimentologici**

Esteso per circa 5 km tra Foce Patria e Licola Mare (Figg. 33..36) questo settore risulta estremamente antropizzato per la presenza ininterrotta di strutture balneari e di strutture residenziali (Marina di Licola), queste ultime per una estensione di molte centinaia di m verso l'interno. La spiaggia emersa presenta un'ampiezza costantemente superiore a 50 m con pendenza intorno al 5% (Sezz. 32..36). La spiaggia sommersa presenta 2 sistemi di barre entro la profondità di 4,0 m ad una distanza di circa 300 m dalla riva; la barra "interna" risulta praticamente saldata alla riva, mentre quella esterna presenta una cresta ubicata intorno a -2,0 m ad una distanza di circa 200 m dalla riva ed un truogolo ubicato intorno alla profondità di 4,0 m ad una distanza di 150 m dalla riva. I sedimenti sono rappresentati prevalentemente da sabbie fini (V. Tavv. allegate): la subpopolazione "A", ben classata, a profondità comprese tra 1÷2 m e 4,5÷5 m, la subpopolazione "B", moderatamente classata o moderatamente ben classata, oltre quest'ultima profondità in corrispondenza della barra esterna. In battigia ed entro 1÷2 m sono presenti sabbie medie moderatamente ben classata, o sabbie fini moderatamente o ben classate.

#### **Morfodinamica delle spiagge**

##### *Dinamica sedimentaria*

Per l'area in esame, analogamente a quella precedente, si può ipotizzare uno schema di circolazione a celle litorali in accordo con l'approccio delle ondatazioni più frequenti e con la configurazione ritmica della linea di riva. Le componenti trasversali sono evidenziate dalla diminuzione del diametro medio dei sedimenti procedendo dalla battigia verso le maggiori profondità. Le componenti longitudinali sono evidenziate dalla diminuzione del diametro medio dei sedimenti di battigia procedendo verso SE.

##### *Dinamica morfologica*

Per quanto attiene alle variazioni della linea di riva, il confronto cartografico del periodo 1965-1987 mette in evidenza una evoluzione differenziata: il tratto a NW, per una estensione di circa 2,5 km, è soggetto ad un avanzamento generalizzato con valore medio compreso tra 0,3 e 0,8 m/a, mentre il tratto a SE, per una estensione di circa 2,5 km, è soggetto ad arretramento con valori medi decrescenti da 0,7 a 0,2 m/a.

Per il periodo 1987-1998 si assiste ad un avanzamento generalizzato con valori medi crescenti da 0,7 a 1,6 m/a.

**Il rilievo della spiaggia eseguito nell'ambito della presente Convenzione** conferma, rispetto al 1998, una sostanziale stabilità del tratto NW ed una netta tendenza all'avanzamento del tratto SE, con valori compresi tra pochi metri e 20 m (circa 3 m/a).

**Considerando l'intervallo 1965/ 2004 la tendenza evolutiva prevalente è di tipo progradazionale con valori di avanzamento compresi tra 0,4 e 0,7 m/ a; da rilevare che per un tratto in sinistra Foce Patria dello sviluppo di circa 700 m si registra una sostanziale stabilità.**

#### *Classificazione morfodinamica*

I parametri  $\Omega$ ,  $K$  e  $B^*$  indicano uno stato dissipativo, mentre i parametri  $\xi$  e  $\Sigma$  indicano un frangimento di tipo *spilling*; da rilevare che per la Sez. 32 il parametro  $B^*$  indica uno stato intermedio (transizionale).

### *Sub Unità fisiografica "Cuma"*

#### **Caratteri geoambientali e morfosedimentologici**

Esteso per circa 4 km con orientamento N-S tra il Canale di Licola Mare ed il Lago di Fusaro (Figg. 37..40), questo settore presenta spiagge ampie tra 40 e 80 m limitate verso l'interno da cordoni dunari allo stato naturale. Il profilo della costa è interrotto nella parte centrale dal promontorio di Cuma. Si ricorda che nell'area immediatamente a S del Promontorio di Cuma era posizionato secondo l'ipotesi di Paget (1968) l'antico porto oggi oblitterato da colluvioni e da materiale vulcanico; recenti indagini (Vecchi *et al.*, 2000) tendono ad ubicare il porto nella parte settentrionale del promontorio, in corrispondenza del Lago di Licola, oggi bonificato. La spiaggia sottomarina (Sezz. 28..31) presenta, entro la profondità di 5 m, uno o due sistemi di barra-truogolo, il più interno dei quali risulta festonato e collegato alle ondulazioni ritmiche della linea di riva mentre quello esterno è di tipo rettilineo, ad una distanza di oltre 200 m dalla battigia con la cresta barra ad una profondità di 3,5 m. La pendenza generale dei fondali è pari all'1,3 %; oltre l'isobata 4÷4,5 m le pendenze si addolciscono (1% circa). I sedimenti sono rappresentati prevalentemente da sabbie fini: la subpopolazione "A", moderatamente ben classata e ben classata, a profondità comprese tra 1÷2 m e 4,5÷5 m, la subpopolazione "B", moderatamente ben classata, oltre quest'ultima profondità in corrispondenza della barra esterna. In battigia ed entro 1÷2 m sono presenti sabbie medie o fini moderatamente ben classate o ben classate.

## **Morfodinamica delle spiagge**

### *Dinamica sedimentaria*

Per l'area in esame, analogamente a quella precedente, si può ipotizzare uno schema di circolazione che prevede componenti trasversali e longitudinali del flusso di massa idrico al frangimento. Le componenti trasversali sono evidenziate dalla diminuzione del diametro medio dei sedimenti procedendo dalla battigia verso le maggiori profondità, le componenti longitudinali sono evidenziate dalla diminuzione del diametro medio dei sedimenti di battigia procedendo verso SE e dalla configurazione ritmica della linea di riva. Da rilevare che il trasporto longitudinale sembrerebbe piuttosto debole considerando la lieve dissimmetria della linea di riva ai due lati delle varie foci armate presenti lungo il tratto in esame. Inoltre tale dissimmetria individuerrebbe una vasta cella di circolazione litorale, con trasporto longitudinale sia verso N che verso S, all'estremità meridionale della sub Unità, tra la foce armata del Collettore di Cuma e quella del Canale del Lago Fusaro.

### *Dinamica morfologica*

Per quanto attiene alle variazioni della linea di riva, il confronto cartografico nel periodo 1965-1987 mette in evidenza una evoluzione differenziata: il tratto a N, area di Licola Mare ancora urbanizzata, è soggetto ad un arretramento pari a 0,4 m/a; il tratto a S mostra un avanzamento via via crescente da 0,5 a 0,7 m/a.

Tra il 1987 ed il 1998 per il tratto a N fino al Promontorio di Cuma si assiste ad un generalizzato avanzamento con valore medio di 1,4 m/a, per il tratto a S si registra al contrario ad un arretramento generalizzato pari a 0,5÷0,6 m/a.

**Il rilievo della spiaggia eseguito nell'ambito della presente Convenzione** conferma, rispetto al 1998, una sostanziale stabilità del tratto settentrionale per uno sviluppo di circa 1,2 km ed una netta tendenza all'avanzamento del tratto meridionale con valori compresi tra pochi metri e 20 m (circa 3 m/a).

**Considerando l'intervallo 1965/ 2004 la tendenza evolutiva prevalente è di tipo progradazionale con valori di avanzamento compresi tra 0,5 e 0,6 m/ a.**

### *Classificazione morfodinamica*

I parametri  $\Omega$ ,  $K$  e  $B^*$  indicano uno stato dissipativo, mentre i parametri  $\xi$  e  $\Sigma$  indicano un frangimento di tipo *spilling*; da rilevare che per la Sez. 29 il parametro  $B^*$  indica uno stato intermedio (transizionale).



### *SubUnità fisiografica "Fusaro"*

#### **Caratteri geoambientali e morfosedimentologici**

Esteso per circa 2,5 km con orientamento N-S tra il Lago di Fusaro e la propaggine N del promontorio di M. di Procida (Figg. 41..44), questo settore presenta spiagge ampie tra 30 e 60 m completamente urbanizzate.

La spiaggia sottomarina (Sezz. 25..27) presenta un esteso bassofondo tra la battigia e la profondità di 1 m a distanza di 125 m dalla riva; la pendenza generale dei fondali è pari all'1,3 %. All'estremità N della sub Unità (Sez. 27) a tale bassofondo fa seguito, intorno alla profondità di 3,5÷4,0 m alla distanza di 200÷300 m dalla riva, un sistema barra/truogolo ben individuato. Tra -4 m e -6,6 m (massima profondità raggiunta alla distanza di 500 m dalla riva) i fondali proseguono con pendenza uniforme intorno a 1%. I sedimenti sono rappresentati prevalentemente da sabbie fini (V. Tavv. allegate): la subpopolazione "A", ben classata, dalla battigia fino alla profondità di circa 4 m, la subpopolazione "B", moderatamente ben classata o ben classata, oltre quest'ultima profondità in corrispondenza del piede della barra-bassofondo o della barra esterna.

#### **Morfodinamica delle spiagge**

##### *Dinamica sedimentaria*

Per l'area in esame, analogamente a quella precedente, si può ipotizzare uno schema di circolazione che prevede componenti trasversali e longitudinali del flusso di massa idrico al frangimento. Le componenti trasversali sono evidenziate dalla diminuzione del diametro medio dei sedimenti procedendo dalla battigia verso le maggiori profondità, le componenti longitudinali sono evidenziate dalla configurazione fortemente ritmica della linea di riva (cfr. Fig. 41) e dalla presenza dei bassi fondali presso riva. Da rilevare che la lieve dissimmetria della linea di riva in corrispondenza della foce armata del Canale centrale del Lago di Fusaro indicherebbe un trasporto longitudinale da S verso N, come confermato inoltre dalla tendenza evolutiva di tipo recessivo riscontrata.

### *Dinamica morfologica*

Per quanto attiene alle variazioni della linea di riva, il confronto cartografico nel periodo 1965-1987 mette in evidenza una evoluzione differenziata: il settore a N, fino al Canale centrale del Lago di Fusaro, è soggetto ad un avanzamento pari a 0,6 m/a, il settore a S risulta sostanzialmente stabile.

Tra il 1987 ed il 1998 per il settore a N, fino al Canale centrale del Lago di Fusaro, si assiste ad un arretramento generalizzato con valore crescente da 0,8 a 2,2 m/a, per il settore a S del Canale, aree in arretramento con valori compresi tra 0,9 e 1,8 m/a si alternano ad aree in avanzamento con valori compresi tra 0,7 e 1 m/a.

**Il rilievo della spiaggia eseguito nell'ambito della presente Convenzione** conferma, rispetto al 1998, una sostanziale stabilità dell'intero tratto in esame.

**Considerando l'intervallo 1965/ 2004 la tendenza evolutiva prevalente è di sostanziale stabilità con alternanza di tratti in debole avanzamento ( $0,15 \div 0,17$  m/ a) o debole arretramento ( $0,21$  m/ a).**

### *Classificazione morfodinamica*

I parametri  $\Omega$ ,  $K$  e  $B^*$  indicano uno stato dissipativo, mentre i parametri  $\xi$  e  $\Sigma$  indicano un frangimento di tipo *spilling*.

### ***COSTA CONTINENTALE (Litorale dei Campi Flegrei)***

#### **Premessa**

I Campi Flegrei costituiscono un'area vulcanica tra le più famose nel mondo. Formatasi nel corso degli ultimi 50.000 attraverso numerosi centri eruttivi che le hanno conferito la caratteristica morfologia di un campo vulcanico, l'area è ritenuta attiva sebbene sia stata registrata una sola manifestazione in epoca storica: l'eruzione del M. Nuovo nel 1538. L'attività endogena non sopita è segnalata dalle frequenti inversioni del moto del suolo (bradisismo), dalla sismicità che accompagna le crisi bradisismiche e dalle intense manifestazioni termali. L'evoluzione del fenomeno bradisismico dall'epoca romana ad oggi non è stata ancora ben delineata a causa della natura e della complessità dei fenomeni; gli studi più recenti indicano che la maggiore sommersione si è verificata in epoca alto medioevale superando i 17-18 m dei quali solo 6-7 sono stati recuperati in seguito alle successive fasi ascensionali (la testimonianza di uno sprofondamento così vistoso è data dalla presenza di ruderi romani fino alla profondità di 16 m nell'area di Baia e Miseno).

### *Sub Unità fisiografica "Miliscola"*

#### **Caratteri geoambientali e morfosedimentologici**

La sub Unità in esame si estende per circa 2 km con orientamento W-E tra i promontori di M. di Procida e di Capo Miseno (Figg. 45..51) ed è limitata verso l'interno da un lago costiero (lago di Miseno-Maremorto). Il tratto occidentale è caratterizzato da una serie di opere marittime a varia tipologia (piattaforme-isole, scogliere aderenti, pennelli) mentre quello orientale configura una profonda falcatura con una spiaggia emersa ampia fino a 70 m con pendenza del 3%.

L'assetto morfologico della spiaggia sommersa (Sezz. 8..14) risulta fortemente condizionato dalla presenza delle piattaforme-isole posizionate intorno a -3 m ad una distanza di circa 100 m dalla riva. Laddove esse mancano (Sez. n. 8 e 9) la spiaggia sommersa presenta un sistema di barra-bassofondo o barra-truogolo entro la profondità di 3 m a distanza di 150 m dalla riva, seguono fondali a pendenza uniforme (1,5%). Laddove esse sono presenti (Sez. n.10..13), i fondali "di largo", tra -3 m e la massima profondità raggiunta di 9,2 m a distanza di 500 m dalla riva, si presentano "uniformi" con pendenza compresa tra 1,0 e 2,0%; a tergo delle piattaforme i fondali presentano tomboli più o meno accentuati.

Da rilevare che all'estremità W della sub unità in corrispondenza della spiaggetta compresa tra i due pennelli (Sez. n.14), è presente tra la battigia e la profondità di 4 m, una sorta di barra-bassofondo, seguita da due superfici terrazzate intorno alle profondità di 5 e 8 m.

I sedimenti di spiaggia emersa e di battigia sono costituiti prevalentemente da sabbie medie poco o moderatamente classate, subordinatamente da sabbie fini moderatamente classate o moderatamente ben classate e da sabbie molto grossolane poco classate (V. Tavv. allegate). A partire dal piede di battigia, posizionato intorno a -1 m, e fino alla massima profondità indagata di 7,9 m alla distanza di 400 m dalla riva, sono presenti esclusivamente sabbie fini moderatamente ben classate, fatta eccezione per l'estremità E della sub unità dove si rinvencono a partire dalla profondità di 5 m sabbie molto fini moderatamente classate o moderatamente ben classate. Da rilevare che, nell'area ad E delle

piattaforme e nella spiaggetta compresa tra i pennelli all'estremità W, nell'ambito delle sabbie fini è stato possibile distinguere due sub-popolazioni granulometriche la "più grossolana" delle quali (0,250-0,180 mm) marca la zona a "barre" sottoriva.

## **Morfodinamica delle spiagge**

### *Dinamica sedimentaria*

La mobilitazione dei sedimenti avviene secondo uno schema complesso, con componenti longitudinali e trasversali, suggerito da un lato dalla distribuzione del diametro medio dei sedimenti e dall'altro dalla dinamica morfoevolutiva della linea di riva degli ultimi decenni.

La diminuzione del diametro medio dei sedimenti procedendo dalla riva verso il largo può essere interpretata come un indice del modellamento trasversale della spiaggia sommersa. La componente longitudinale è confermata da una parte dalla falcatura di erosione presente nell'area immediatamente a E delle piattaforme-isole, che assume pertanto il ruolo di "area di sottoflutto" e dall'altra dalla presenza dei bassi fondali sottoriva -secondo una configurazione di tipo "deposizionale"- all'estremità E della sub unità.

### *Dinamica morfologica*

La spiaggia di Miliscola costituiva, fin dall'epoca romana, il limite meridionale dei due bacini portuali della flotta Augustea: il bacino interno -Maremorto- fungeva da cantiere navale, quello esterno -la baia di Miseno- costituiva il porto vero e proprio. Il nome della spiaggia deriva da "*Militium Schola*", cioè il campo di esercitazione e di addestramento delle reclute, ricordata come "*Schola Armaturarum*" in una iscrizione del IV sec. d.C. ivi rinvenuta. Da rilevare che, secondo Cinque *et al.* 1991, anche quest'area è stata soggetta a movimenti bradisismici, come testimoniato dalla successione stratigrafica dei terreni che seppelliscono i resti del complesso termale di *Misenum* della prima metà del II sec. d. C., posti all'estremità sud orientale della spiaggia di Miliscola. L'area misenate avrebbe registrato, tra la fine del VII sec. ed il IX-X sec. d. C., un abbassamento di circa 11-12 m. Attualmente i

ricercatori tendono a circoscrivere i fenomeni bradisismici alla sola area del Golfo di Pozzuoli.

L'equilibrio dinamico della spiaggia in esame (Cocco *et al.* 2003) ha incominciato ad alterarsi allorquando negli anni '50/60 si è proceduto al prolungamento del canale di comunicazione tra il bacino di Maremorto (Lago Miseno) ed il mare: tale canale, fungendo da pennello, ha provocato un repentino arretramento (13 m nel periodo 1965/74) dell'arenile di sottoflutto, posto ad E. Sul litorale in erosione si abbate nel 1976 una violenta mareggiata talché si procede alla realizzazione di un progetto organico di difesa attraverso la messa in opera di barriere radenti e di 8 piattaforme-isole tra il 1980 ed il 1988. Il progetto originale, mai ultimato, prevedeva la realizzazione di una nona piattaforma-isola e di due pennelli collegati alla piattaforme più esterne, la prima e la nona.

Il confronto cartografico ha messo in evidenza, per il periodo 1978/84, un'accentuata ricostituzione della spiaggia nell'area "protetta" dalle opere di difesa, con valori medi di avanzamento pari a 3 m per anno; ad est delle opere (zona di sottoflutto) la riva configura una repentina falcatura di erosione quindi, procedendo verso C. Miseno (Grotta Dragonara), si osserva una debole tendenza alla progradazione.

Nel periodo 1987-98 la posizione della linea di riva a tergo delle piattaforme-isole è rimasta sostanzialmente immutata, eccezion fatta per l'area a tergo delle ultime due piattaforme -posizionate proprio tra il 1986 ed il 1988- dove si verifica un notevole ripascimento (5 m/a). Nella parte orientale del settore (verso C. Miseno), dove tali opere sono assenti, si instaura una tendenza di tipo erosionale con valori di arretramento nell'ordine di 0,5 m/a.

**Il rilievo della spiaggia eseguito nell'ambito della presente Convenzione** evidenzia rispetto al 1998 una sostanziale stabilità del tratto a tergo delle piattaforme-isole e un arretramento generalizzato del tratto a E delle opere di difesa con valori medi crescenti da 5 a 15 m (pari a  $0,7 \div 2,2$  m/a) procedendo verso il promontorio di C. Miseno.

**Considerando l'intervallo 1987/2005 (quindi dopo la realizzazione delle opere di difesa) si evidenzia per il tratto a E delle piattaforme-isole una tendenza evolutiva di tipo recessivo; a tergo delle opere di difesa il litorale può ritenersi stabilizzato.**

#### *Classificazione morfodinamica*

I parametri  $\Omega$ ,  $K$  e  $B^*$  indicano uno stato dissipativo, mentre i parametri  $\xi$  e  $\Sigma$  indicano un frangimento di tipo *spilling*.

### *Sub Unità fisiografica "Lucrino"*

#### **Premessa**

Esteso per oltre 9 km, il Golfo di Pozzuoli configura due ampie falcature semicircolari ad andamento E-W (il litorale di Lucrino-Pozzuoli ed il litorale di Bagnoli-Coroglio) separate dalla falesia di Rione Terra (centro storico di Pozzuoli); la costa si presenta alta e rocciosa alternata a spiagge basse e sabbiose limitate talvolta verso l'interno da laghi costieri (Lucrino). Dall'osservazione dei rilievi aerofotogrammetrici relativi agli ultimi 50 anni si evidenzia la progressiva e totale antropizzazione della fascia costiera: lungo il tratto occidentale del Golfo (Stufe di Nerone - Porto di Pozzuoli) la linea di riva si presenta frazionata in tante curve spezzate, limitate da opere di difesa trasversali; il settore centrale risulta caratterizzato dalla presenza, quasi ininterrotta, di barriere emerse, talché il lungomare di Pozzuoli e la strada litoranea verso Bagnoli risultano separate dal mare a mezzo di una continua scogliera aderente e di ripetute colmate in cemento; la fascia orientale (La Pietra - Coroglio) presenta lunghi pontili ed ampie piattaforme artificiali, legati agli stabilimenti industriali.

La costa flegrea (Golfo di Pozzuoli) negli ultimi due millenni è stata oggetto di ripetute sommersioni da parte del mare a causa dei moti bradisismici con forti modificazioni della topografia costiera (Fig. 52). Grazie allo studio condotto sui fori di litodomi riscontrate sulle colonne del Serapeo di Pozzuoli è stato stabilito che l'area flegrea sia iniziata a sprofondare già dal I-II secolo d.C. (v. anche Fig. 56); questa fase di moto discendente sarebbe continuata fino al X secolo d.C. superando i 17-18 m dei quali solo 6-7 sono stati recuperati in seguito alle successive fasi ascensionali.



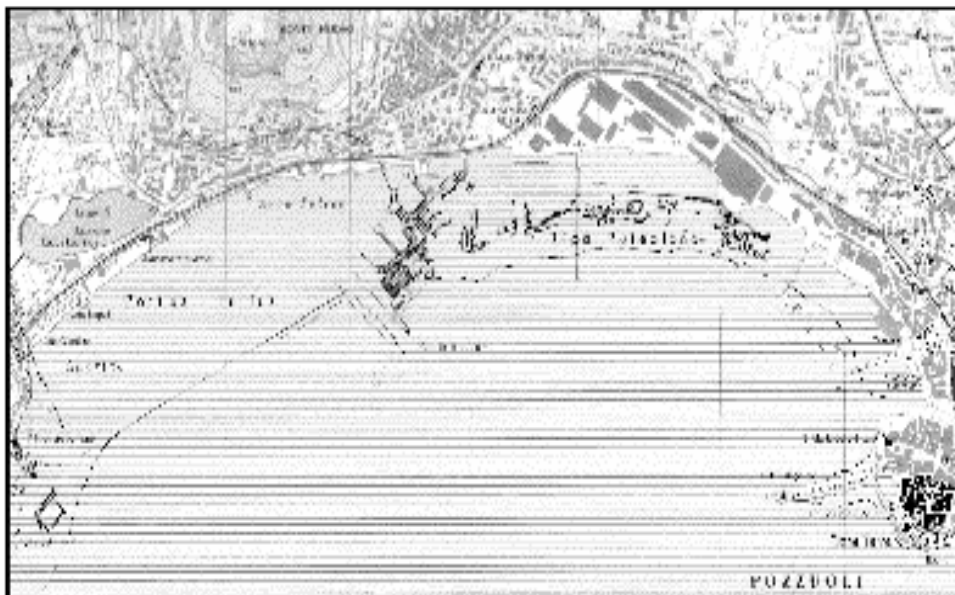


Fig. 52 - Configurazione della costa flegrea in epoca romana con il *Portus Iulius* e la *Ripa Puteolana*.

Dopo un periodo di stasi, sarebbe seguito, dall' XI fino al XVI secolo, un innalzamento culminato con l'eruzione del Monte Nuovo nel 1538 la quale dovette apportare profonde modifiche alla morfologia della costa il cui bordo era costituito verosimilmente dalla falesia della località "la Starza". Il Lucrino a quel tempo non era un lago, mentre il lago d'Averno era aperto verso il mare da cui era limitato mediante una imponente diga foranea (v. Fig. 52).

A partire dal XVII secolo si è assistito ad un lento abbassamento del suolo fino alle crisi bradisismiche del 1970-1972 e 1982-1987, caratterizzate da rapidi e vistosi sollevamenti. Proprio la dinamica delle due ultime crisi fa supporre, anche sulla base delle documentazioni storiche, che la sommersione di epoca medioevale sia imputabile ad un rapido sprofondamento piuttosto che ad un lento e secolare abbassamento. Queste crisi non hanno comportato variazioni planimetriche delle spiagge poste ai limiti occidentale ed orientale del Golfo, come è testimoniato dal confronto delle numerose carte topografiche e levate aeree a disposizione per il periodo 1981/1991: in particolare il confronto 1981/84 indica una sorprendente

stabilità della linea di riva in special modo nell'area delle Stufe di Nerone. L'area interessata dal sollevamento presenta una forma circolare con raggio di circa 6 km con centro nella zona del Porto dove gli spostamenti verticali raggiungono massima entità (330 cm), mentre vanno via via decrescendo (40 - 20 cm) procedendo verso W (Stufe di Nerone) e verso E (Bagnoli-Coroglio).

### **Caratteri geoambientali e morfosedimentologici**

Il litorale di Lucrino, esteso per circa 1 km con orientamento WSW-ENE, tra le località Stufe di Nerone ed Arco Felice, risulta completamente urbanizzato da una serie ininterrotta di stabilimenti balneari e di opere di difesa trasversali (Figg. 53..56). Le spiagge di ampiezza compresa tra 7,5 e 30 m, sono limitate verso l'interno da importanti infrastrutture (Ferrovia Cumana, S.P. Arco Felice-Baia) e quindi dal Lago Lucrino.

La spiaggia sommersa presenta un andamento morfologico alquanto articolato: nell'area centro occidentale (Sezz. 1..3) è presente una prima zona a barre e truogoli ampia 250 m circa, seguita da una seconda zona alla profondità massima indagata di -11,4 m, anch'essa ampia 250 m circa, con fondali a pendenza uniforme tra 1 e 2%; nell'area orientale (Sez. n. 4) è presente una sorta di bassofondo fino alla profondità di 1,5 m a distanza di 60 m dalla riva, seguono fondali a pendenza uniforme del 2,4% fino alla profondità di 7,5 m ed infine fondali pressoché piatti fino alla profondità massima indagata di 8 m da correlare verosimilmente alle antiche spiagge di epoca romana già segnalate in letteratura.

In maggior dettaglio la "zona a barre" si caratterizza per la presenza di un sistema ben individuato con cresta a profondità di 1÷1,6 m a distanza di circa 150 m dalla riva, truogolo intorno alla profondità di 2 m a distanza di circa 100 m e piede alla profondità di circa 4 m a distanza di circa 200 m dalla riva.

I sedimenti della spiaggia emersa sono costituiti da sabbie grossolane e medie moderatamente ben classate, i sedimenti della spiaggia sommersa prevalentemente da sabbie fini subordinatamente da sabbie medie (V. Tavv. allegate). In particolare tra la battigia e la profondità di 1,4/6,0 m si rinvencono sabbie fini della sottoclasse

“A” ( $0,250 \div 0,180$  mm), moderatamente classate o moderatamente ben classate, quindi sabbie fini della sottoclasse “B” ( $0,180 \div 0,125$  mm) moderatamente ben classate. Da rilevare la presenza di sabbie medie moderatamente o ben classate, nell’area occidentale a marcare i sistemi di barre.

## **Morfodinamica delle spiagge**

### *Dinamica sedimentaria*

La configurazione asimmetrica della linea di riva nei pressi dei numerosi pennelli presenti nell’area di Lucrino nonché la netta diminuzione del diametro medio dei sedimenti di battigia, indicano che sottoriva la mobilitazione dei sedimenti grossolani e medi avviene prevalentemente per *long shore current* da E verso W. Per le sabbie fini la distribuzione del diametro medio dei sedimenti evidenzia una dinamica prevalentemente di tipo trasversale, sicuramente condizionata dalla presenza di antiche spiagge sommerse di epoca romana entro la profondità di 10 m.

### *Dinamica morfologica*

Fino al 1880 i Campi Flegrei erano ancora incontaminati, immersi nel verde e circondati da un mare ancora pescoso e cristallino (Giamminelli, 1987). Oltre alla pesca, il termalismo con le annesse attività ricreative ed alberghiere, era una delle fonti primarie dell’economia flegrea, tant’è che fu ideato da Lamont Young (Alisio, 1987) un grandioso progetto che prevedeva l’utilizzazione dell’arenile per la balneazione, la costruzione di grandi alberghi, di palazzi per esposizioni e, ovviamente, di abitazioni disposte in maniera molto elegante e separate, di tanto in tanto, da canali alimentati dal mare. Questo progetto non fu mai realizzato, anzi, l’economia puteolana fu parzialmente trasformata, nel 1886, dall’installazione dello Stabilimento metallurgico Armstrong che occupò quasi completamente il litorale tra Pozzuoli ed Arco Felice, dando così inizio al progressivo degrado ambientale ed all’alterazione del paesaggio costiero che nei decenni successivi, con il procedere dell’industrializzazione (ad es. ILVA di Bagnoli), interessarono tutto il Golfo.

Per quanto attiene alle variazioni della linea di riva, **Il rilievo della spiaggia eseguito nell'ambito della presente Convenzione** evidenzia una tendenza generalizzata all'arretramento con valori compresi tra 0,1 e 0,7 m/a.

**Considerando l'intervallo 1965/2004 la tendenza evolutiva è di tipo recessivo con un valore medio di arretramento di 7,4 m pari a 0,2 m/a.**

#### *Classificazione morfodinamica*

I parametri  $\Omega$ ,  $K$  e  $B^*$  indicano uno stato dissipativo, mentre i parametri  $\xi$  e  $\Sigma$  indicano un frangimento di tipo *spilling*.

## Bibliografia

- Battjes J. A. 1974 – *Surf similarity*. Proceedings 14<sup>th</sup> International Conference on Coastal Engineering. ASCE, 569-587.
- Budetta P., Calabrese M. & Pianese D. (2006) - *Approcci metodologici per la valutazione della pericolosità da erosione costiera e dell'apporto solido ai litorali*. Univ. "Federico II" – Napoli.
- Budetta P., Galiotta G. & Santo A. (2000) *A methodology for the study of the relation between coastal cliff erosion and the mechanical strength of soils and rock masses*. Engineering Geology, 56, pp. 243–256
- Carobene L. (2004) - *Morfologia, processi e dinamica*, in: Coste marine rocciose, Quaderni Habitat, Museo friulano di Storia Naturale, Udine, pp. 7-31
- Castiglioni G.B. (1984) - *Geomorfologia*. UTET, Torino, 436 pp.
- Cocco E. 2002 – *La fascia costiera*. In "L'ambiente geologico della Campania" a cura di Vallario A., Ed. Cuen, Napoli, 149-164.
- Cocco E., de Magistris M.A., Iacono Y., 1995, *Caratteri geoambientali, erosione e degrado delle coste dell'Isola d'Ischia*. Memorie Geografiche, n.s., 1, 199-209.
- Cocco E., de Magistris M.A., De Pippo T., 1987, *Fenomeni erosivi del litorale dei Maronti nell'Isola d'Ischia (Campania)*. Mem. Soc. Geol. It., 37, 459-469.
- Cocco E., Iacono Y. & Iuliano S. 2001 - *Dinamica evolutiva delle spiagge di Cava dell'Isola-Citara (Isola d'Ischia, Campania)*. Atti Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia, , 14: 291-302.
- Cocco E & Iuliano S. 2002 – *Primi risultati delle ricerche sui sistemi costieri Italiani (Prin 1998): casi studio lungo le coste dell'Isola d'Ischia (Campania)*. Mem. Soc. Geol. It., 57 (2002), 509-515.
- Cocco E., Iuliano S. & Musella F. 2003 – *Caratterizzazione morfodinamica della spiaggia sottomarina di Cava dell'Isola-Citara (Isola d'Ischia)*. Atti Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia, 16, 79-92.

- Del Prete S., Mele R., (1999) - *L'influenza dei fenomeni d'instabilità di versante nel quadro morfoevolutivo della costa dell'isola d'Ischia*. Boll. Soc. Geol. It., 118, pp. 339-360
- Hoek E. (1994) - *Strength of rock and rock masses*. ISRM News Journal, 2(2), pp. 4-16
- Hoek E., Brown E.T. (1997) - *Practical estimates of rock mass strength*. Int. J. Rock Mech. & Min. Sci., 34(8), pp. 1165-1186
- Hoek E., Marinos P. (2000) - *GSI: a geologically friendly tool for rock mass strength estimation*, in: Proc. GeoEng2000, Int. Conf. on geotech. and geol. engineering, Melbourne AU, Technomic publishers, Lancaster USA, pp. 1422-1446
- Hoek E., Marinos P., Benissi M. (1998) - *Applicability of the geological strength index (GSI) classification for weak and sheared rock masses*. Bull. Eng. Geol. Env. 57(2), pp.151-160
- Hoek E., Marinos P., Marinos V. (2005) - *Characterization and engineering properties of tectonically undisturbed but lithologically varied sedimentary rock masses*. Int. J. Rock Mech. & Min. Sci., 42(2), pp. 277-285
- Guza R. T. & Inman D. L. 1975 - *Edge waves and beach cusps*. Journal of Geophysical Research, 80, 4133-4137.
- Maracchione M.I., Mastronuzzi G., Sansò P., Sergio A. & Walsh N. (2001) - *Approccio semiquantitativo alla dinamica della coste rocciose: l'area campione fra Monopoli e Mola di Bari (Puglia Adriatica)*. Studi Costieri, 2001- 4:3-17
- Marinos P., Hoek E. (2001) - *Estimating the geotechnical properties of heterogeneous rock masses such as flysch*. Bull. Eng. Geol. Env. 60, pp. 82-92
- Marinos V., Marinos P., Hoek E. (2005) - *The geological strength index: applications and limitations*. Bull. Eng. Geol. Env. 64, pp. 55-65

Mele R. & Del Prete S. (1999) – *L'influenza dei fenomeni di instabilità di versante nel quadro morfoevolutivo della costa dell'Isola d'Ischia*. Boll. Soc. geol. It., 118 (1999), 339-360

Pranzini, E. (2004) - *La forma delle coste: geomorfologia costiera, impatto antropico e difesa dei litorali*. Zanichelli, Bologna, 245 pp.

Rombenchi G. & Tarchiani U. (2001) – *Un metodo per la valutazione della propensione all'erosione delle falesie costiere: l'esempio dell'Argentario (GR)*. Mem. Soc. Geol. It., 56 (2001), 333-337

Short A. D. 1999 - *Wave-dominated beaches*. In "Handbook of beach and shoreface morphodynamics", Short A.D. Ed., 173-203, J. Wiley & Son, England.

Short A. D. & Aagaard 1993. *Single and multi-bar beach change models*. *Journal of Coastal Research*, Special Issue 15, 141-157.

Sunamura, T. 1984. *Onshore-offshore sediment transport rate in the swash zone of laboratory beaches*. *Coastal Engineering in Japan*, 27, 205-212.

Sunamura, T. (1992) - *Geomorphology of Rocky Coasts*. J. Wiley and sons, Chichester UK, 302 pp.

Strahler, A.N. (1984) *Geografia fisica*. Piccin, Padova, 643 pp.

## PREMESSA

Lo studio delle falesie costiere è stato eseguito attraverso rilevamenti geologico-geomorfologici e sopralluoghi effettuati anche da mare, utilizzando basi topografiche in scala 1:2000 per le aree di Monte di Procida, Capo Posillipo e per l'isola di Procida; per la restante porzione dell'area costiera flegrea continentale è stata utilizzata la base topografica in scala 1:5000,

Su due “siti campione” ubicati nell'Isola di Procida e a Capo Posillipo sono stati effettuati, inoltre, studi geomorfologici e geostrutturali puntuali che hanno consentito la valutazione della stabilità di specifici tratti di falesia. In questo caso sono state utilizzate fotogrammetrie frontali (messe a disposizione dall'AdB), fotomosaici e basi topografiche in scala 1:1000/1:500.

Nella prima parte della relazione sono descritte le metodologie adottate ed i risultati conseguiti per lo studio del perimetro costiero dell'Isola di Procida e delle coste alte flegree. Successivamente si illustrano le analisi condotte sui siti campione per le singole falesie costiere.

## 1. METODOLOGIE DI STUDIO

Le frane e/o gli areali interessati da fenomeni gravitativi sono stati distinti in funzione delle diverse tipologie di movimento, secondo la classificazione di Cruden & Varnes (1996), come ripreso dalla Comunità tecnico-scientifica nazionale ed in particolare dal Progetto I.F.F.I. (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia).

E' stato implementato il censimento svolto per il vigente PAI (2002) con alle frane rilevate *ex novo*, il risultato di questo studio e l'elaborazione della *Carta-Inventario dei Fenomeni Franosi*.

Oltre al rilievo dei fenomeni franosi, è stato eseguito uno studio geologico/geomorfologico finalizzato al riconoscimento degli elementi ritenuti più significativi per la franosità. Negli ambiti costieri sono state distinte le falesie attive o inattive e sono state rilevate e cartografate le forme antropiche, tra le quali le opere di sistemazione che hanno interessato i versanti e le scogliere poste in aderenza alle falesie.

Questo studio è stato il primo passo per la redazione della *Carta dei Processi*



*Morfodinamici Costieri*, elaborato che sovrappone diversi tematismi di base e sintetizza la propensione a franare delle diverse tipologie di falesie.

I tematismi analizzati per la redazione di questo elaborato sono:

- litologia
- acclività
- frane
- stato di attività delle falesie
- fenomeni erosivi al piede delle falesie
- presenza di cavità
- presenza di opere di sistemazione.

Tali informazioni sono state quindi raggruppate in Fattori Geomorfologici, Ambiti Geomorfologici ed Elementi Antropici.

Gli Ambiti Geomorfologici sono stati individuati tenendo conto di due fattori principali, quali la litologia e l'acclività dei versanti. Per quanto riguarda la litologia si è fatta distinzione tra versanti costituiti in prevalenza da formazioni litoidi (es.: depositi tufacei) e da terreni da sciolti ad addensati (es.: piroclastiti incoerenti).

Per quanto riguarda l'acclività il primo passo è stato quello di individuare un valore di acclività discriminante, rispetto ai fenomeni franosi. Si è deciso di adottare un valore di 40°, in quanto la maggior parte delle frane rilevate, lungo i settori di Monte di Procida, Capo Posillipo e per l'isola di Procida, si sono innescate da settori di falesia con acclività maggiore di 40°. Questo dato è stato determinato sovrapponendo la Carta delle frane alla Carta delle acclività, quest'ultima appositamente redatta in ambiente GIS.

Le due Carte geotematiche (Carta-Inventario dei Fenomeni Franosi e Carta dei Processi Morfodinamici Costieri) sono state infine incrociate ed hanno permesso di definire i diversi gradi pericolosità/suscettibilità da frana.

## **1. ISOLA D'ISCHIA**

L'Isola d'Ischia, situata nella porzione nord occidentale del Golfo di Napoli, presenta uno sviluppo costiero di circa 50 km, dei quali il 70% circa è costituito da coste alte rocciose, il 15% da coste basse depositate ghiaioso-sabbiose ed il 15% da

coste stabilizzate.

La particolare configurazione morfologica consente di suddividere la fascia costiera in diversi settori che differiscono per caratteri fisici e dinamici ma che sono accomunati da una analoga tendenza evolutiva all'erosione ed al degrado (Cocco 2002, Cocco & Iuliano 2002, Cocco *et al.* 1987, 1993, 1995, 2001, 2003).

Il settore meridionale, da Punta Imperatore a Punta S. Pancrazio, con direzione dapprima NW-SE, quindi W-E per uno sviluppo di circa 16 km, è rappresentato quasi esclusivamente da coste alte che configurano una serie ininterrotta di falcature più o meno ampie tra le quali spicca, nella zona centrale, il “Litorale dei Maronti”, oggetto di un recente intervento di ripascimento con ingenti quantità di sabbie prelevate dai fondali limitrofi, preso in considerazione ai fini del presente studio (Unità Fisiografica n.13).

Il settore orientale e nord-orientale, da P. San Pancrazio ad Ischia Porto, presenta per un primo tratto, con direzione S-N per uno sviluppo di circa 7 km fino al Castello Aragonese, coste alte bordate talvolta da esigue spiagge alla base, quindi per un secondo tratto, con direzione SE- NW per uno sviluppo di circa 6 km fino a Ischia Porto, è rappresentato da spiagge basse limitate verso l'entroterra dalle terminazioni rocciose della colata lavica dell'Arso, ultima manifestazione vulcanica dell'Isola d'Ischia (1308 a.D.). In questo settore sono state prese in considerazione le U.F. n.19 “Punta Molino” e n. 20 “San Pietro”.

Il settore settentrionale, da Ischia Porto a Punta Cornacchia, con direzione ESE-WNW per uno sviluppo di 12 km, presenta coste piuttosto basse, altamente urbanizzate (“stabilizzate”), alternate a coste alte rappresentate a luoghi da imponenti promontori lavici. In questo settore sono state prese in considerazione l'U.F. n. 21 “Bagnitiello”, caratterizzata da coste alte con a luoghi spiagge addossate, e l'U.F. n. 23 “San Montano”, una classica spiaggia di fondo di baia (“*pocket beach*”).

Il settore occidentale tra P. Cornacchia e Punta Imperatore, con direzione N-S per uno sviluppo di 10,4 km, comprende le U.F. n. 25 “Citara” e n. 27 “S. Francesco”, con caratteri fisici alquanto simili, ma ad evoluzione morfodinamica nettamente differenziata, così come scaturito dalle indagini svolte.

La tendenza evolutiva delle coste dell'Isola d'Ischia negli ultimi 40 anni è

generalmente di **“tipo erosivo”**.

Nei tratti di costa alta (“costa a falesia”) impostati in ammassi rocciosi a comportamento fragile (lave, tufi ed alcune facies degli accumuli detritici da debris flow) si registrano prevalentemente fenomeni di crollo dovuti principalmente a “scalzamento al piede” oppure a “rilassamento in alto dei materiali per mancanza di contrasto laterale” (Cocco et. al. 1995). In questo caso la fratturazione gioca un ruolo importante nell’innescare dei fenomeni franosi, contribuendo ad isolare blocchi in precarie condizioni di equilibrio. Ricerche specifiche effettuate lungo le principali “falesie” dell’isola (Del Prete & Mele, 1999), hanno permesso di individuare le principali famiglie di discontinuità che concorrono a generare fenomeni di crollo, scivolamento e ribaltamento (“falling”, “sliding e toppling”). In particolare per le falesie in depositi tufacei la fratturazione risulta costituita essenzialmente da “scarpine” e fratture di neoformazione progressiva da rottura locale al piede, disposte parallelamente e perpendicolarmente alla falesia stessa, che contribuiscono ad isolare blocchi con dimensioni anche prossime a quelle dell’intera altezza della falesia. Nel caso delle lave, invece, gli ammassi presentano una elevata e disordinata frequenza delle fratture (da raffreddamento e di neoformazione), che tendono ad isolare prevalentemente massi di ridotte dimensioni.

In alcuni tratti di falesia di ridotta altezza, impostati in ammassi lapidei teneri (depositi da debris flow, depositi marini ed alcune piroclastiti), si osserva anche una morfoevoluzione per frane da scorrimento rotazionale.

Inoltre, in alcuni tratti di falesia ripida impostati in ammassi francamente lapidei, sono stati riscontrati fenomeni di scivolamento-colata di modesti spessori, quasi sempre non cartografabili, di materiali sciolti di origine piroclastica, variamente pedogenizzati: ciò, in particolare, nei tratti di falesia esposti prevalentemente a Nord.

Da non sottovalutare infine l’azione di sbancamento e carico differenziale operata sui costoni stessi per la costruzione di strutture residenziali e turistiche.

Nei tratti di costa bassa i fenomeni erosivi sono legati in primo luogo alla mancanza pressochè totale di apporto sedimentario da parte dei corsi d’acqua che sono stati regimati (ad es. Cava Scura e V.ne Acquara per la spiaggia dei Maronti, nel settore meridionale) o trasformati parzialmente o totalmente in strade (ad es. la Lava, l’attuale Corso Garibaldi, C.so V. Emanuele, nel settore settentrionale e

occidentale). Tale apporto si configurava comunque nel passato di entità relativamente modesta a causa della limitata estensione dei bacini idrografici.

Un ulteriore fattore di crisi è da ricercare nella realizzazione di opere di difesa che hanno compromesso il regime idrodinamico (ad es. zona di Punta Molina nell'area nord orientale e zona di S. Francesco in quella occidentale).

## 2. I SOLA DI PROCIDA

Lo studio geologico-geomorfologico della fascia costiera di Procida è stato svolto con il rilevamento di campagna e la ricognizione via mare, congiuntamente alla Capitaneria di Porto dell'isola di Procida. Inoltre sono stati consultati, per le parti d'interesse, alcuni progetti di sistemazione che hanno interessato tre siti dell'Isola di Procida (due realizzati ed uno in via di completamento).

Lo studio è stato accompagnato dalla documentazione fotografica restituita sia in forma di fotomosaico che di dettaglio.

La base conoscitiva acquisita grazie alla documentazione fornita dall'AdB, nonché ai rilievi diretti ed alla documentazione fotografica, ha consentito l'allestimento di tre elaborati di sintesi (scala 1:2000):

- **Carta-Inventario dei Fenomeni Franosi**
- **Carta dei Processi Morfodinamici Costieri**
- **Carta della suscettibilità/ pericolosità da frana**

I dati sono stati digitalizzati su base cartografica in scala 1:5000 riportando i rilievi di campagna eseguiti su base cartografica in scala 1:2000, la restituzione finale dei dati è stata fatta in scala 1: 2500.

## 2.1 Carta-Inventario dei Fenomeni Franosi

La *Carta-Inventario dei Fenomeni Franosi* riporta tutte le frane e/o gli areali interessati da fenomeni gravitativi, distinti per le diverse tipologie di movimento (fig.3). Oltre alle frane rilevate *ex novo*, sono state riportate anche le frane censite in occasione del vigente PAI (2002). Queste ultime, sia per le loro dimensioni ridotte che per la scala di restituzione cartografica utilizzata all'epoca (1:5000), erano state riportate come frane puntuali, distinte per tipologia ed attività. Poiché in questa sede si è potuto disporre di una Carta topografica di maggiore dettaglio, buona parte delle frane indicate sul PAI 2002 come puntuali, se ancora visibili, sono state rappresentate con il loro areale effettivo (forma poligonale).

In tutti i casi in cui, invece, le frane non erano più riconoscibili, si è preferito indicare degli areali più o meno ampi in cui si sono riscontrati fenomeni gravitativi diffusi, peraltro seguendo in tal senso le indicazioni del Progetto IFFI.

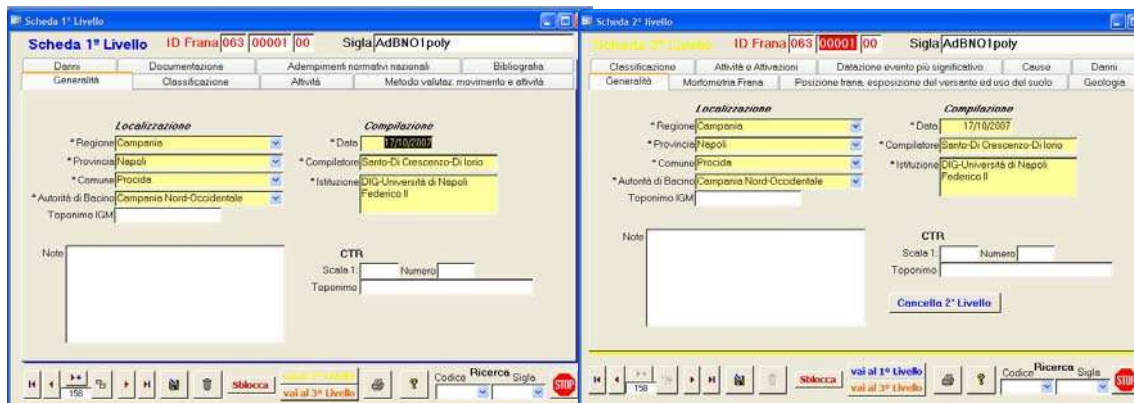
Sono stati inoltre riconosciuti e cartografati alcuni diedri tufacei di dimensioni considerevoli, isolati da

fratture ad alta persistenza, da ritenere in condizioni di incipiente instabilità. Per ogni frana riportata in Carta è stata allestita una scheda predisposta secondo lo standard IFFI (Fig. 1). In tal senso, come anche concertato con la Regione Campania, Settore Difesa Suolo, per tutte le frane sono state redatte schede di 1° livello IFFI, raggiungendo il 2° livello (Fig. 2) per quei fenomeni per cui si disponeva di maggiori elementi conoscitivi in quanto rilevati *ex novo* mediante sopralluogo. In tali schede, ove possibile, è stata poi annotata in apposito campo la coincidenza o la prossimità tra le frane censite in questa sede e quelle a vario titolo già riconosciute in precedenti elaborati ufficiali (PAI 2002, cartografia Progetto IFFI). Sulla stessa Carta sono stati riportati gli interventi di sistemazione che hanno interessato alcuni tratti costieri



Figura 1: Schermata iniziale del software dedicato alla compilazione delle schede di censimento dei fenomeni franosi secondo il protocollo I.F.F.I., predisposto dal Dipartimento Difesa del Suolo - Servizio Geologico d'Italia.

dell'Isola di Procida.



**Scheda 1° Livello** ID Frana 063 00001 00 Sigla AdBNO1poly

Danni Documentazione Adempimenti normativi nazionali Bibliografia  
 Generalità Classificazione Attività Metodo valutaz. movimento e attività

**Localizzazione**

- \* Regione Campania
- \* Provincia Napoli
- \* Comune Procida
- \* Autorità di Bacino Campania Nord-Occidentale

**Compilatione**

- \* Data 17/10/2007
- \* Compilatore Santo Di Crescenzo Di Iorio
- \* Istituzione OIG-Università di Napoli Federico II

Note

CTR  
 Scala 1: Numero  
 Toponimo

**Scheda 2° Livello** ID Frana 063 00001 00 Sigla AdBNO1poly

Classificazione Attività o Attivazioni Datazione evento più significativo Causa Danni  
 Generalità Morfometria Frana Posizione frana, esposizione del versante ed uso del suolo Geologia

**Localizzazione**

- \* Regione Campania
- \* Provincia Napoli
- \* Comune Procida
- \* Autorità di Bacino Campania Nord-Occidentale

**Compilatione**

- \* Data 17/10/2007
- \* Compilatore Santo Di Crescenzo Di Iorio
- \* Istituzione OIG-Università di Napoli Federico II

Note

CTR  
 Scala 1: Numero  
 Toponimo

val al 1° Livello val al 3° Livello

Figura 2: Esempi di schede di 1° e 2° livello del Progetto IFFI compilate per l'isola di Procida.

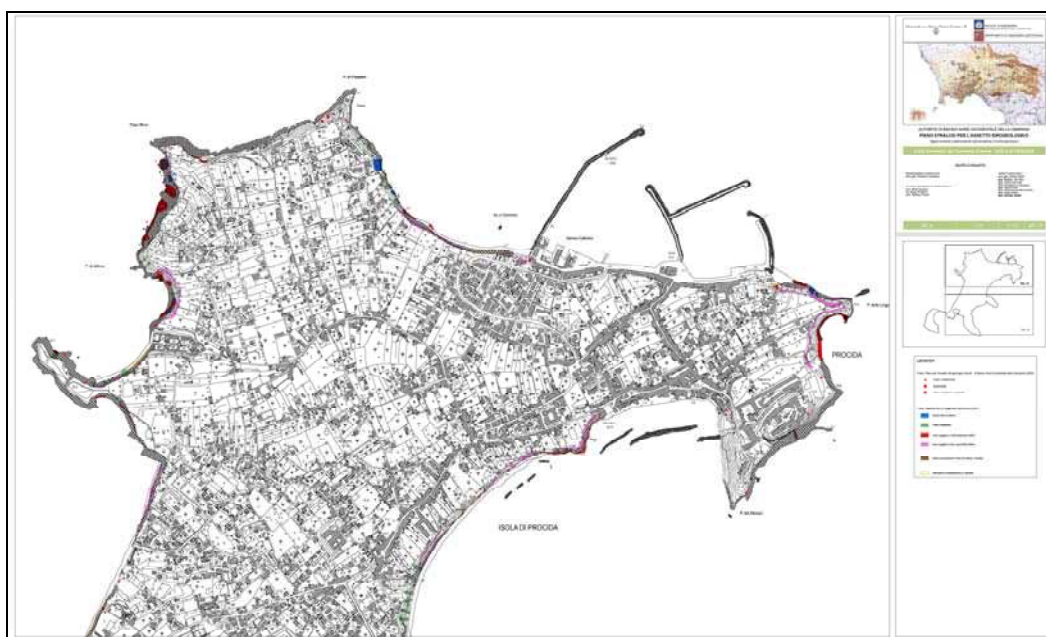


Figura 3- Carta-Inventario dei Fenomeni Franosi

### 3.2 Carta dei Processi Morfodinamici Costieri

La Carta dei Processi Morfodinamici Costieri (Fig. 4), come già accennato, è un elaborato contenente numerose informazioni suddivise in *fattori geomorfologici*, *ambiti geomorfologici* ed *elementi antropici*.



Gli elementi discriminati hanno consentito di suddividere il perimetro costiero in cinque ambiti geomorfologici principali:

- Falesia in depositi vulcanoclastici da sciolti ad addensati con acclività maggiore di 40°, attiva o riattivabile;
- Falesia in depositi vulcanoclastici da sciolti ad addensati con acclività minore di 40°, attiva o riattivabile;
- Falesia in materiali vulcanoclastici prevalentemente litoidi con acclività maggiore di 40°, attiva o riattivabile;
- Falesia in materiali vulcanoclastici prevalentemente litoidi con acclività minori di 40°, attiva o riattivabile;
- Falesia non riattivabile per la presenza di opera di sistemazione.

L'indicazione in merito allo stato di attività delle falesie si riferisce esclusivamente alla morfodinamica costiera, per quanto riguarda invece lo stato di attività delle frane, si deve fare riferimento alla *Carta-Inventario dei Fenomeni Franosi*.

Le falesie dell'Isola di Procida risultano quasi tutte attive o riattivabili, in quanto le spiagge che caratterizzano la costa di Procida sono di modesta ampiezza e pertanto non capaci di opporre un'adeguata protezione alle retrostanti falesie rispetto al moto ondoso. Sono stati pertanto ritenuti non riattivabili solo quei settori di falesie già interessati da specifici interventi di sistemazione/protezione, dovendosi in tal senso ritenere tali aree ragionevolmente stabilizzate in relazione all'azione del mare.

Su ognuno degli ambiti distinti sono stati "incrociati" i fattori geomorfologici ritenuti più significativi rispetto alle dinamiche evolutive quali:

- forme gravitative;
- cavità naturali al piede delle falesie;
- aree in erosione per scalzamento al piede.

Sono stati presi in considerazione, infine, oltre alle opere di sistemazione, altri elementi antropici degni di nota come le aree portuali, quelle antropizzate e le scogliere radenti.

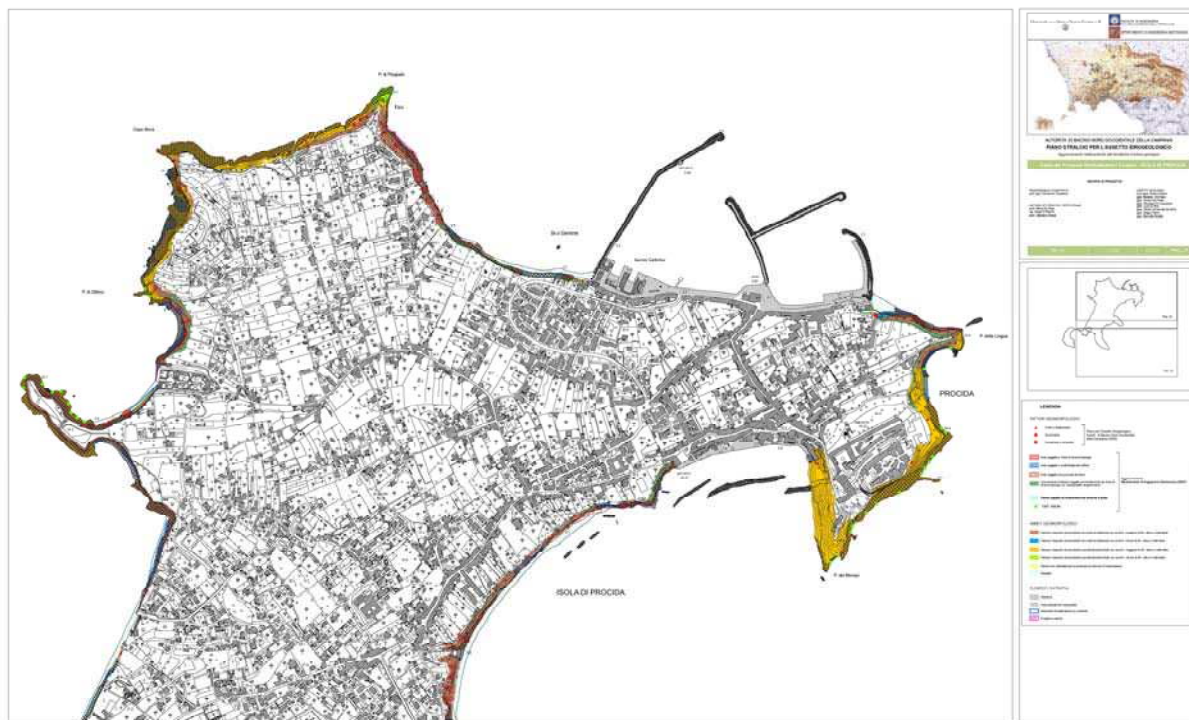


Figura 4: Carta dei Processi Morfodinamici dell'Isola di Procida.

### 3.3 Carta della Suscettibilità/ Pericolosità Relativa da Frana

Le due carte geotematiche di base (Carta-Inventario dei Fenomeni Franosi e Carta dei Processi Morfodinamici Costieri) sono essenziali per la successiva definizione dei livelli di pericolosità/suscettibilità da frana.

Di seguito si illustra la metodologia adottata per la redazione delle Carte geotematiche derivate dalle precedenti, ovvero la Carta della Suscettibilità all'Innesco da Frana e la Carta della Pericolosità Relativa da Frana. Nella prima, sono state evidenziate e differenziate su tre livelli (come da PAI) le aree predisposte all'innescio di fenomeni franosi. La seconda carta, invece, considera anche le zone che possono essere percorse o investite dai corpi di frana (zone di transito e/o invasione).

#### 3.3.1 Carta della Suscettibilità all'Innesco da Frana

La Carta della Suscettibilità da Frana dell'Isola di Procida è il risultato della sovrapposizione di due Carte tematiche, (Carta-Inventario dei Fenomeni Franosi, Carta dei Processi Morfodinamici Costieri).

Nella Carta-Inventario (Fig. 5) sono state riportate tutte le frane e/o gli areali



interessati da fenomeni gravitativi (rilievi inediti, PAI 2002).

Nella Carta dei Processi Morfodinamici Costieri (Fig. 6), invece, sono state riportate informazioni, sia geologiche che geomorfologiche, utili a descrivere le problematiche di stabilità associate ad ogni settore di costa, mettendone in evidenza lo stato attuale e la possibile evoluzione futura. Le informazioni e gli elementi utilizzati per la redazione di questo elaborato sono stati: litologia, acclività, frane, stato di attività delle falesie, fenomeni erosivi al piede delle falesie, presenza di cavità, presenza di opere di sistemazione.

Sovrapponendo le due Carte si è pervenuti alla Carta della Suscettibilità all'Innesco di Frane, in cui sono state identificate tre classi di suscettibilità (alta, media, bassa), seguendo in tal senso l'impostazione del vigente P.A.I.. Le classi di suscettibilità sono state definite tenendo conto della presenza/assenza di frane sui versanti, della velocità/intensità delle frane, della litologia del versante (rocce prevalentemente lapidee o sciolte) e, più in generale, delle indicazioni sui processi morfodinamici segnalati nella Carta dei Processi Morfodinamici Costieri.

L'esame congiunto della franosità storica ed attuale e degli ambiti morfologici riportati nella Carta dei Processi Morfodinamici Costieri ha pertanto permesso di individuare, in primo luogo, tutti i settori costieri che presentano problematiche connesse all'innescio di frane. Successivamente sono stati riconosciuti quei tratti di falesia che, pur non caratterizzati da fenomeni in atto o pregressi, hanno caratteristiche litologiche e geomorfologiche confrontabili con quelli interessati da frane.

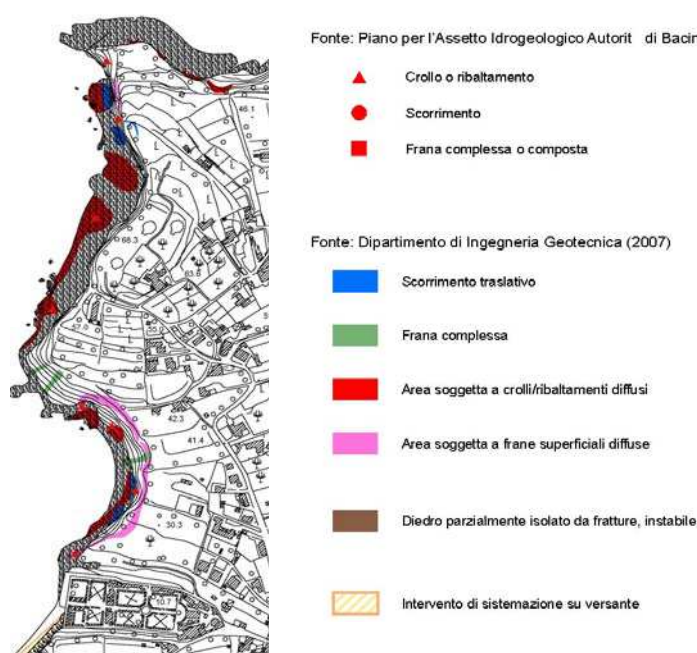


Figura 5: Stralcio della Carta-Inventario dei Fenomeni Franosi e relativa legenda.

Il perimetro costiero dell'Isola di Procida è rappresentato per la maggior parte della sua estensione da falesie attive o riattivabili, ai cui piedi gli arenili, quando presenti, mostrano un'ampiezza inferiore ai 20 metri.

L'analisi geomorfologica dell'Isola ha evidenziato che lunghi tratti dei cigli delle falesie mostrano segni di arretramento per fenomeni gravitativi, il che, a sua volta, potrebbe rappresentare una seria minaccia per infrastrutture ed insediamenti ubicate in prossimità dei cigli stessi.

Tale situazione ha reso necessario approfondimenti tesi alla valutazione del potenziale arretramento dei cigli delle falesie impostate nei diversi litotipi (depositi vulcanoclastici da semilitoidi a litoidi e da sciolti ad addensati).

L'analisi di numerose frane che hanno interessato sia depositi tufacei che piroclastiti sciolte, nonché l'osservazione di foto aeree storiche, ha permesso di riconoscere, in molti casi, arretramenti recenti legati ad inneschi di frane dell'ordine di 5-6 m per i tufi ed anche di 10 m nel caso di piroclastiti sciolte.

Sulla base di tali evidenze ed adottando un criterio cautelativo (Fig. 7), si è ritenuto di estendere nelle aree suscettibili a franare un *buffer* di 10 m a monte del ciglio di falesie in rocce lapidee e di 20 m nel caso di falesie in rocce sciolte, per le quali gli arretramenti devono ritenersi caratterizzati da velocità maggiori.

Pertanto, come si evince dalla Carta della Suscettibilità da Frana, sono state cartografate come aree suscettibili all'innesco anche quelle poste a ridosso del ciglio delle falesie o di versanti molto acclivi (acclività maggiore di 40°).

Questa procedura ha portato all'individuazione delle tre classi (come da PAI), delle quali:

1. la classe "a suscettibilità alta all'innesco di frana" comprende i settori territoriali che presentano fattori morfodinamici attivi quali: frane, fenomeni di arretramento del ciglio ed aree soggette a scalzamento al piede ad opera del mare. Sono state cartografate in questa classe, inoltre, tutti gli ambiti geomorfologici che presentano acclività maggiore di 40° in rocce sia tenere che lapidee. In questi ambiti, infatti, è stata accertata la presenza di numerose frane, storiche e recenti, dotate di elevata velocità/intensità, costituite per lo più da crolli e scorrimenti-colate rapide.

2. Le "Aree a suscettibilità media all'innesco di frana" comprendono tutti i settori di falesia con acclività minore di 40° sia in materiali litoidi che sciolti, per i quali si sono rilevati i segni e gli indizi di dissesti potenziali riconducibili per lo più a frane da scorrimento e/o scorrimento-colata, non necessariamente veloci e, per tale motivo, dotate di minore intensità.

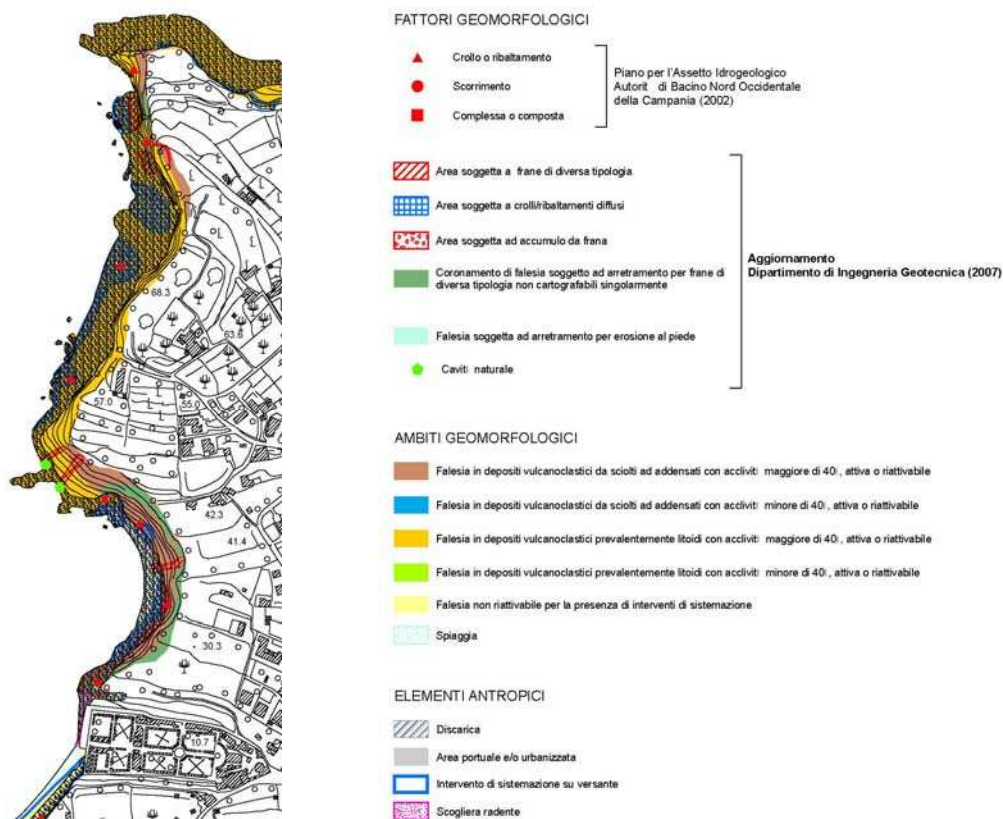


Figura 6: Stralcio della Carta dei Processi Morfodinamici Costieri e relativa legenda.

3. La classe “a suscettibilità bassa all’innescio di frana” comprende quei settori ad acclività contenuta ( $15^{\circ}$ - $25^{\circ}$ ) che si rinvencono a monte del ciglio delle falesie con acclività maggiore di  $40^{\circ}$ , sia in materiali prevalentemente litoidi che in materiali sciolti o addensati.



Figura 7: Schema esemplificativo adottato per l'analisi dell'arretramento del ciglio delle falesie.

Nella cartografia sono stati riportati, sulla base dei rilievi di campagna, i principali interventi di sistemazione (con aggiornamento di quelli realizzati successivamente alla redazione del PAI) su versante che hanno interessato le falesie dell'Isola di Procida.

In Tabella 1 sono riportati i diversi livelli di suscettibilità all'innescio in funzione dei vari ambiti morfologici riconosciuti a Procida e degli specifici fenomeni di instabilità.

Tabella 1: Livelli di suscettibilità all'innesco di frane in relazione agli ambiti geomorfologici dell'isola di Procida.

AMBITO MORFOLOGICO	FATTORI GEOMORFOLOGICI FAVOREVOLI ALL'INNESCO DI FRANE	SUSCETTIBILITA' ALL'INNESCO
Area interessata da opere di sistemazione	Aree coinvolte da fenomeni gravitativi pregressi, le cui tracce sono state eliminate a seguito della realizzazione di interventi	Non determinabile
Porzione sommitale di falesia con acclività compresa tra 15° e 25°	Assenza di frane	Bassa
Falesia in depositi vulcanoclastici sciolti e/o addensati con acclività < 40°	Assenza di frane	Media
Falesia in depositi vulcanoclastici da semilitoidi a litoidi con acclività < 40°	Assenza di frane	Media

Falesia in depositi vulcanoclastici sciolti e/o addensati con acclività < 40°	Presenza di frane e/o di fenomeni di scalzamento al piede e/o ciglio in arretramento	Alta
Falesia in depositi vulcanoclastici da semilitoidi a litoidi con acclività < 40°	Presenza di frane e/o di fenomeni di scalzamento al piede e/o ciglio in arretramento	Alta
Falesia in depositi vulcanoclastici sciolti e/o addensati con acclività > 40°	Assenza di frane	Alta
Falesia in depositi vulcanoclastici sciolti e/o addensati con acclività > 40°	Presenza di frane e/o di fenomeni di scalzamento al piede e/o ciglio in arretramento	Alta
Falesia in depositi vulcanoclastici da semilitoidi a litoidi con acclività > 40°	Assenza di frane	Alta
Falesia in depositi vulcanoclastici da semilitoidi a litoidi con acclività > 40°	Presenza di frane e/o di fenomeni di scalzamento al piede e/o ciglio in arretramento	Alta

Il risultato finale di tale studio è stato riportato nella Carta della Suscettibilità all'Innesco di Frane (Fig. 8) che comprende aree a diversa predisposizione, localizzate sia sulle falesie che sul ciglio sovrastante.

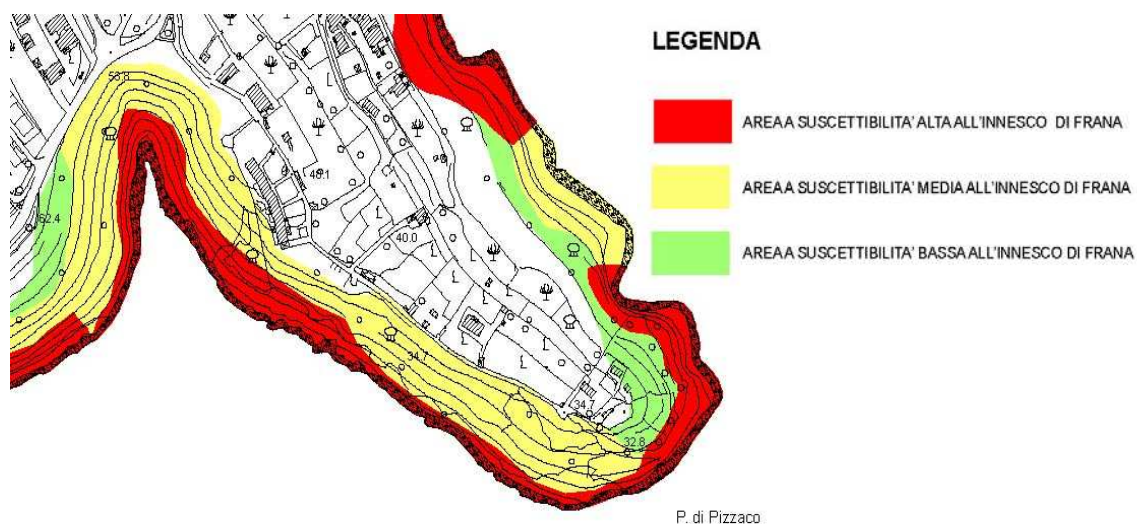


Figura 8: Stralcio della Carta di Suscettibilità all'Innesco di Frana e relativa legenda.



### 3.3.2 Carta della pericolosità relativa da frana



In questa Carta sono stati evidenziati i settori costieri suscettibili all'innesco di frane e quelli sede di possibile transito o invasione da frana (Fig. 9). In accordo con il vigente PAI, le classi di pericolosità sono tre (P1-P2-P3) la cui attribuzione deriva dal livello indicato nella Carta della Suscettibilità all'Innesco.

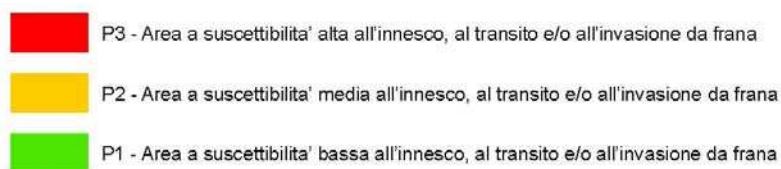


Figura 9: Stralcio della Carta della Pericolosità Relativa da Frana e legenda.

Anche ai fini della valutazione della suscettibilità all'invasione si è proceduto ad uno studio integrato, basato su rilievi di campo e fotointerpretazione. Si è così constatato che, per la particolare conformazione del perimetro costiero di Procida caratterizzato da alte falesie con arenili poco sviluppati, le possibili zone di invasione da frana ricadono o direttamente in mare o sulle spiagge, sino a raggiungere il mare (Fig. 10); i cumuli di frane (antiche e recenti) hanno infatti quasi sempre raggiunto e superato la linea di costa (Fig. 11). Per tale motivo tutte le spiagge, localizzate alla

base di falesie con propensione all'innesco, sono da ritenersi suscettibili a possibili invasioni.



Figura 10: Località Ciraccio. In evidenza numerosi cumuli di frana al piede della falesia.

Anche nella Carta di Pericolosità Relativa sono stati riportati i principali interventi di sistemazione di versante che hanno interessato il perimetro costiero di Procida. A tale riguardo, è necessario precisare che, se la realizzazione di un intervento comporta la mitigazione, fino alla totale eliminazione, del pericolo connesso all'insorgere di una frana, lo stesso intervento non può ritenersi dotato di un'efficacia perenne. In altri termini, è indispensabile che, al pari di qualsiasi altra opera, anche un intervento di sistemazione di versante deve essere soggetto a manutenzione e controllo, pertanto i tratti di falesia sede di interventi di sistemazione sono stati considerati come "aree di alta attenzione" e quindi suscettibili di apposita regolamentazione nell'ambito delle Norme di Attuazione del PAI.

---

## 4. CAPO POSILLIPO

Per l'unità fisiografica di Capo Posillipo i rilievi di campagna sono stati svolti utilizzando una base cartografica in scala 1:2000. Tale studio ha permesso di cartografare tutte le frane recenti ed eseguire una prima distinzione delle principali tipologie di ambiti costieri (falesia attiva o inattiva, con spiaggia ecc.).

Lo studio è corredato di documentazione fotografica che, in aggiunta alla documentazione già esistente ha permesso la realizzazione di tre elaborati di sintesi (scala 1:2500):

- **Carta-Inventario dei Fenomeni Franosi**
- **Carta dei Processi Morfodinamici Costieri**
- **Carta della Suscettibilità/ Pericolosità da frana**

I dati raccolti sono stati digitalizzati su una base cartografica in scala 1:5000 tuttavia, a causa delle ridotte dimensioni dei versanti costieri di Capo Posillipo e per non perdere il dettaglio degli elaborati, la restituzione cartografica è in scala 1:2500.

### 4.1 Carta-Inventario dei Fenomeni Franosi

La Carta-Inventario dei fenomeni franosi (fig.12) riporta tutte le frane e/o gli areali interessati da fenomeni gravitativi, distinti per tipologia di movimento; oltre alle frane rilevate *ex novo*, sono state riportate anche le frane censite in occasione del vigente PAI (2002).

Seguendo le indicazioni del Progetto IFFI, sono stati indicati degli areali più o meno ampi con fenomeni franosi diffusi e, pertanto, non agevolmente individuabili singolarmente, inoltre sono stati rappresentati i diedri tufacei di grandi dimensioni in condizioni di stabilità precaria.

Le frane indicate sulla Carta-Inventario sono accompagnate da schede predisposte secondo lo standard IFFI (1° livello - Fig. 1); per quei fenomeni per i quali si disponeva di una maggiore quantità di dati, è stato possibile compilare schede di 2° livello di classificazione (Fig. 2).

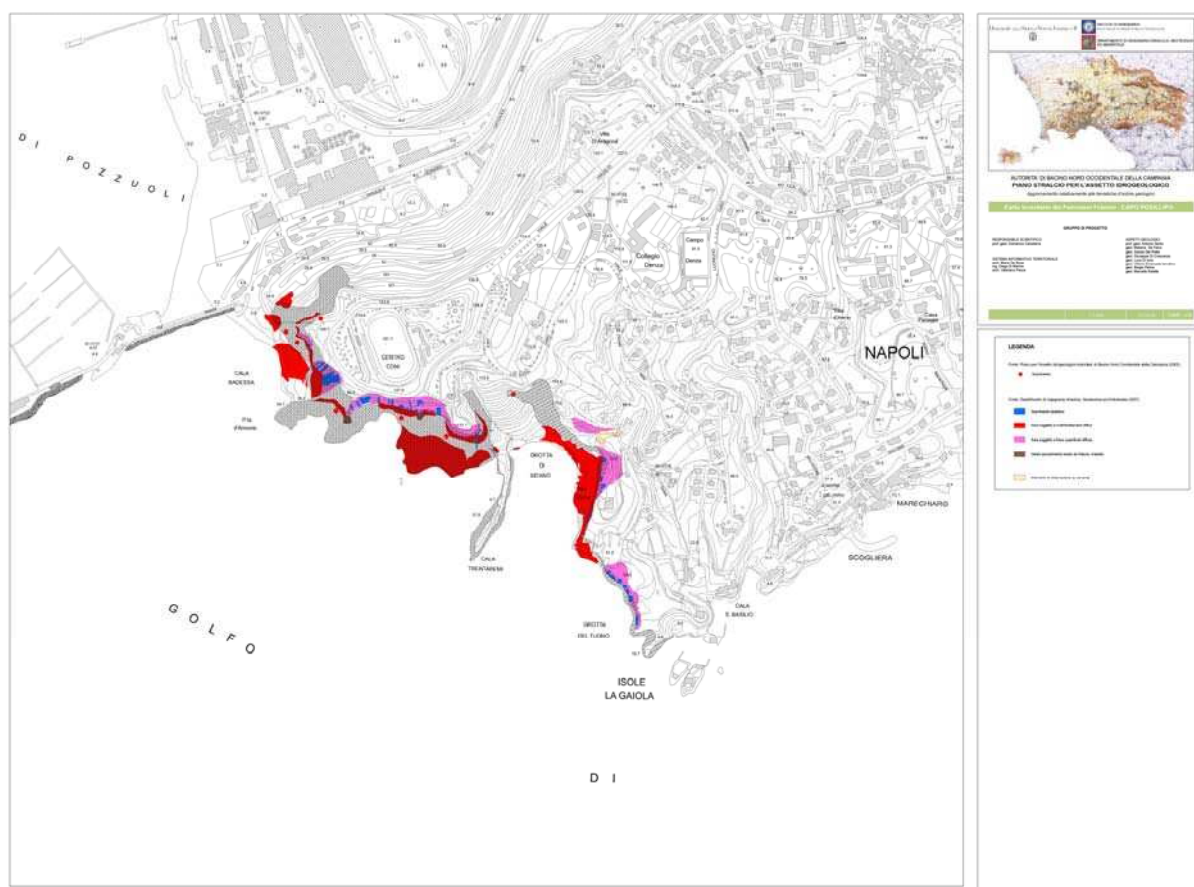


Figura 12. Carta-Inventario dei fenomeni franosi di capo Posillipo.

## 4.2 Carta dei Processi Morfodinamici Costieri

Il criterio utilizzato per la redazione della Carta dei Processi Morfodinamici Costieri è organizzato su tre raggruppamenti: Fattori Geomorfologici, Ambiti Geomorfologici ed Elementi Antropici.

- I Fattori Geomorfologici contemplano sostanzialmente tutti i fenomeni gravitativi censiti sulla Carta Inventario, differenziati in funzione dell'origine del dato, cui sono state aggiunte le cavità naturali (in particolare quelle poste al piede delle falesie) e le falesie in arretramento per erosione al piede.
- Gli Ambiti Geomorfologici sono stati individuati a Capo Posillipo sulla base delle caratteristiche litologiche dei fronti e sulle relative

caratteristiche clivometriche elaborate mediante la realizzazione di una Carta delle Acclività. In particolare, da un punto di vista litologico, sono state distinte due diverse tipologie di depositi vulcanoclastici: da sciolti ad addensati (per es. Tufiti Biancastre Stratificate) e prevalentemente litoidi (per es. Tufo Giallo Napoletano). Le aree con le suddette caratteristiche geolitologiche sono state poi ulteriormente distinte mediante tecniche di incrocio (*map overlay*) con una Clivometrica basata su due classi di acclività, rispettivamente inferiore e superiore a 40°. Infine, considerata l'estrema articolazione del fronte e la sua notevole altezza rispetto al livello del mare, si sono differenziati i tratti di falesia attiva o riattivabile da quelli inattivi.

Il perimetro costiero è stato suddiviso in:

- Falesia in depositi vulcanoclastici da sciolti ad addensati con acclività maggiore di 40°, attiva o riattivabile;
- Falesia in depositi vulcanoclastici da sciolti ad addensati con acclività maggiore di 40°, inattiva;
- Falesia in depositi vulcanoclastici da sciolti ad addensati con acclività minore di 40°, attiva o riattivabile;
- Falesia in depositi vulcanoclastici da sciolti ad addensati con acclività minore di 40°, inattiva;
- Falesia in materiali vulcanoclastici prevalentemente litoidi con acclività maggiore di 40°, attiva o riattivabile;
- Falesia in materiali vulcanoclastici prevalentemente litoidi con acclività maggiore di 40°, inattiva;
- Falesia in materiali vulcanoclastici prevalentemente litoidi con acclività minori di 40°, attiva o riattivabile;
- Falesia in materiali vulcanoclastici prevalentemente litoidi con acclività minori di 40°, inattiva.

Su tale elaborato è stata differenziata una superficie di aggradazione piroclastica a debole acclività, presente al *top* della falesia di Capo Posillipo e costituita da depositi piroclastici sciolti correlabili all'attività più recente del sistema vulcanico dei Campi Flegrei.



- Riguardo agli elementi antropici, non sono state individuate in tale area opere di sistemazione, quanto piuttosto una discarica (Località Grotta di Seiano) ed una cava inattiva, originariamente destinata all'estrazione della pozzolana.

- 

### **3.3 Carta della suscettibilità/ pericolosità da frana**

#### **3.3.1 Carta della suscettibilità all'innesco da frana**

La Carta della Suscettibilità da Frana di Capo Posiilipo deriva dall'incrocio delle due precedenti Carte (Carta-Inventario dei Fenomeni Franosi, Carta dei Processi Morfodinamici Costieri) ed individua tre classi di suscettibilità (alta, media, bassa), seguendo in tal senso l'impostazione del vigente PAI, secondo le metodologie già esposte al § 3.2.1.

Il tratto costiero di interesse è caratterizzato da falesie o settori di falesie sia attive o riattivabili che inattive, ai cui piedi solo in pochi casi si riscontrano arenili od aree di accumulo di frane con un'ampiezza inferiore ai 30 m (Cala Badessa, Grotta di Seiano).

L'analisi geomorfologica delle pareti rocciose ha evidenziato che la maggior parte dei cigli impostati per lo più in materiale piroclastico sciolto mostrano segni di arretramento per fenomeni gravitativi, il che potrebbe rappresentare una seria minaccia per infrastrutture ed insediamenti ubicati a monte.

La valutazione dell'avanzamento massimo raggiunto in tale zone dalle numerose frane censite ha reso necessario, cartografare come aree suscettibili all'innesco anche quelle poste a ridosso del ciglio delle falesie o di versanti molto acclivi (acclività maggiore di 40°). Tecnicamente tale risultato è stato ottenuto considerando un *buffer* di massima pari a 20 m (Fig. 7) a partire dal ciglio, *buffer* opportunamente adattato in funzione delle caratteristiche geomorfologiche riscontrate nei vari settori.

Nella fascia costiera esaminata non sono state riscontrate aree a suscettibilità bassa da frana. Risulta invece caratterizzata da suscettibilità alta quasi tutta la fascia ricadente sul ciglio della falesia impostata in depositi piroclastici sciolti dove, nonostante i valori di pendenza non molto elevati, si riscontra un'alta incidenza di

frane del tipo scorrimento-colata rapida. Figurano inoltre in condizioni di alta suscettibilità all'innesco anche le aree di affioramento del Tufo Giallo Napoletano, in ragione degli elevati valori di acclività, della fratturazione dell'ammasso e dell'incidenza di frane da crollo.

Le "Aree a suscettibilità media all'innesco di frana" comprendono tutti i settori di falesia con acclività minore di  $40^\circ$  sia in materiali litoidi che sciolti, per i quali si sono rilevati i segni e gli indizi di dissesti potenziali riconducibili per lo più a frane da scorrimento e/o scorrimento-colata, non necessariamente veloci e, per tale motivo, dotate di minore intensità.

Lo schema riassuntivo per la valutazione dei diversi livelli di suscettibilità utilizzato per Capo Posillipo è simile a quello utilizzato per Procida (Tab. 1).

Il risultato finale di tale studio è stato riportato nella Carta della Suscettibilità all'Innesco di Frane (Fig.14).

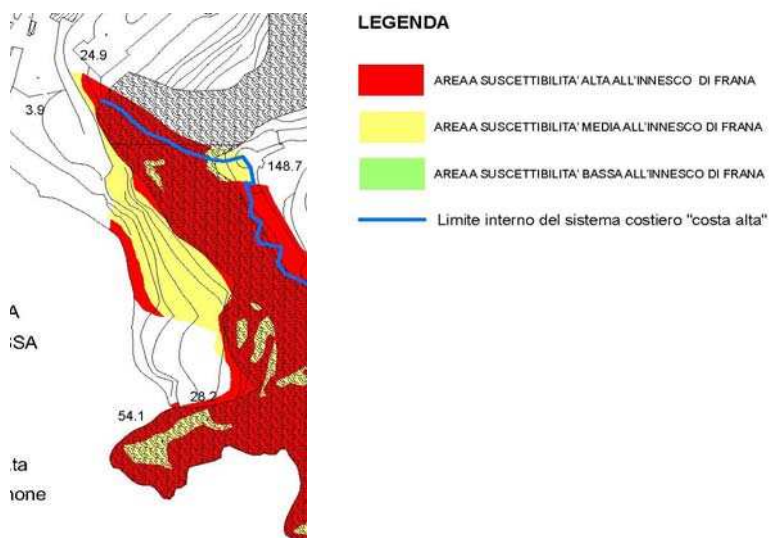


Figura 14 - Stralcio della Carta di suscettibilità all'innesco di frana e relativa legenda.

#### 4.3.2 Carta della Pericolosità Relativa da Frana

In questo elaborato sono stati evidenziati i settori costieri suscettibili all'innesco

di frane e quelli sede di possibile transito o invasione da frana (Fig. 15), individuando tre classi di pericolosità (P1-P2-P3) in accordo con il PAI.

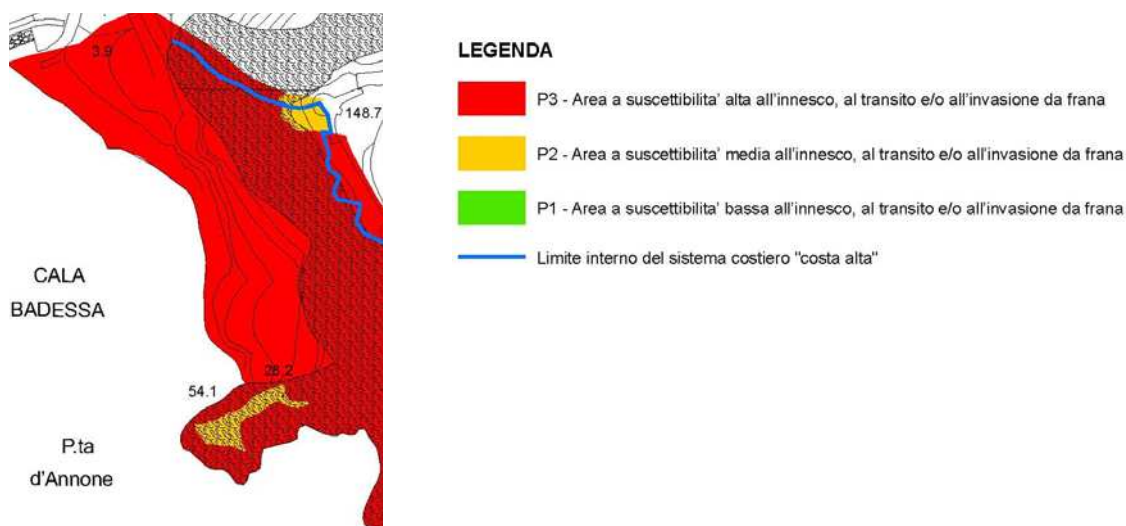


Figura 15: Stralcio della Carta della Pericolosità Relativa da Frana e legenda.

La valutazione della suscettibilità all'invasione, effettuata tramite rilievi di campo e fotointerpretazione, ha portato a constatare che i cumuli di frana hanno raggiunto quasi sempre il mare. Ciò accade in quanto la maggior parte delle falesie sono aggettanti direttamente in mare o su aree con pendenze più basse (antichi cumuli di frane) e solo in minima parte su arenili, peraltro poco sviluppati. Per tale motivo tutte le zone, localizzate alla base di falesie con propensione all'innesco, sono da ritenersi suscettibili a possibili invasione da frana.

## 5. MONTE DI PROCIDA

In questo caso il lavoro di campo è stato notevolmente facilitato per la presenza alla base della falesia di un esteso arenile che ha consentito di rilevare con buon dettaglio l'intera area e di produrre anche un fotomosaico.

L'approccio metodologico adottato ha previsto, un'iniziale fase di studio tesa a differenziare tipologicamente gli ambiti costieri esistenti; è quindi seguita un'ulteriore fase in cui sono stati cartografati tutti gli elementi geomorfologici riconosciuti e



ritenuti significativi per la redazione delle Carte di base e delle Carte di suscettibilità/pericolosità.

I dati raccolti hanno consentito di redigere tre elaborati di sintesi (scala 1:1000):

- **Carta-Inventario dei Fenomeni Franosi**
- **Carta dei Processi Morfodinamici Costieri**
- **Carta della Suscettibilità/ Pericolosità da Frana**

In questo caso le Carte topografiche di base utilizzate sono in scala 1:2000, ma, a causa delle ridotte dimensioni dei versanti costieri di Monte di Procida, si è deciso di restituire le Carte, in fase di *layout* di stampa, in scala 1:1000.

### **5.1 Carta-Inventario dei Fenomeni Franosi**

Sulla base cartografica 1:1000 cartografate tutte le frane recenti (successive alla redazione del PAI), prevalentemente di tipo crolli o ribaltamenti, scorrimenti traslativi e frane complesse (Fig. 17). Le zone in cui si è riscontrata l'oggettiva impossibilità di indicare i singoli fenomeni franosi si è delimitato l'intero areale ritenuto in frana. Alla base della falesia è stato sovente rilevato un accumulo di materiale detritico-colluviale, spesso vegetato, in cui non è stato possibile distinguere il contributo dei fenomeni gravitativi. Un deposito simile è stato inoltre rilevato su piccoli ripiani disposti a diverse altezze lungo i versanti, costituito almeno in parte da cumuli di frane non differenziabili.

I dati raccolti sulle frane della Carta Inventario dei Fenomeni Franosi (fig.16) sono confluiti su apposite schede redatte secondo lo standard IFFI (Fig. 1).



Figura 16- Carta-Inventario dei Fenomeni Franosi di Monte di Procida



Figura 17: Frana complessa rilevata lungo la falesia di Monte di Procida.

## **5.2 Carta dei Processi Morfodinamici Costieri**

Nella Carta dei Processi Morfodinamici Costieri di Monte di Procida (Fig. 18) i fattori geomorfologici comprendono i fenomeni gravitativi di diversa tipologia, la fascia posta in prossimità del coronamento della falesia soggetta ad arretramento per fenomeni franosi non cartografabili singolarmente, i depositi da accumulo posti sia lungo il versante che alla base dello stesso, ed i solchi di erosione.

Gli Ambiti Geomorfologici sono stati differenziati sulla base delle caratteristiche litologiche dei fronti e sulle relative caratteristiche clivometriche. Da un punto di vista litologico la falesia di Monte di Procida è costituita da depositi vulcanoclastici da sciolti ad addensati ed in subordine pseudolitoidi, presenta acclività quasi sempre maggiori di 40°, che solo per limitati settori scende a valori inferiori.

L'intera falesia è da ritenersi inattiva per la presenza di un ampio ed esteso arenile distribuito lungo tutto il limite dell'area investigata.

Sulla base di queste considerazioni il tratto in esame è stato distinto in:

- Falesia in depositi vulcanoclastici da sciolti ad addensati con acclività maggiore di 40°, inattiva;
- Falesia in depositi vulcanoclastici da sciolti ad addensati con acclività minore di 40°, inattiva;
- Falesia in materiali vulcanoclastici pseudolitoidi con acclività maggiore di 40°, inattiva.

Riguardo agli elementi antropici, non sono state individuate in tale area opere di sistemazione, bensì riporti, scogliere ed uno specchio d'acqua probabilmente dovuto a sbarramenti artificiali.

## **5.3 Carta della Suscettibilità/ Pericolosità da Frana**

### **5.3.1 Carta della Suscettibilità all'Innesco da Frana**

La Carta della Suscettibilità da Frana di Monte di Procida deriva dall'incrocio delle due precedenti carte (Carta-Inventario dei Fenomeni Franosi, Carta dei Processi Morfodinamici Costieri) ed individua, secondo le metodologie già esposte solo due

delle tre classi di suscettibilità (alta, media, bassa) indicate nel vigente PAI.

Il tratto costiero di interesse è caratterizzato da falesie o settori di falesie inattive con alla base arenili naturali ed artificiali molto ampi (compresi tra 20 e 120 m) e per la quasi totalità della loro estensione protetti da una scogliera radente.

L'analisi geomorfologica delle pareti ha evidenziato che il ciglio superiore della falesia è in arretramento per fenomeni gravitativi. Pertanto, come per le due precedenti aree di studio, si è cartografata come area suscettibile all'innesco anche quella posta a monte del ciglio. Tecnicamente tale risultato è stato ottenuto considerando un *buffer* di rispetto pari 20 m (Fig. 7) dal ciglio verso l'entroterra. Risulta al contempo a suscettibilità alta all'innesco di frane tutta la porzione di falesia con acclività maggiore di 40°, ovvero la quasi totalità della falesia stessa, indipendentemente dalla litologia.

Nella fascia costiera esaminata non sono state riscontrate aree a suscettibilità bassa da frana, mentre è presente un limitato tratto a suscettibilità media.

Lo schema riassuntivo per la valutazione dei diversi livelli di suscettibilità utilizzato per Monte di Procida è simile a quello applicato per Procida (Tab. 1).

Il risultato finale di tale studio è stato riportato nella Carta della Suscettibilità all'Innesco di Frane (Fig.19).

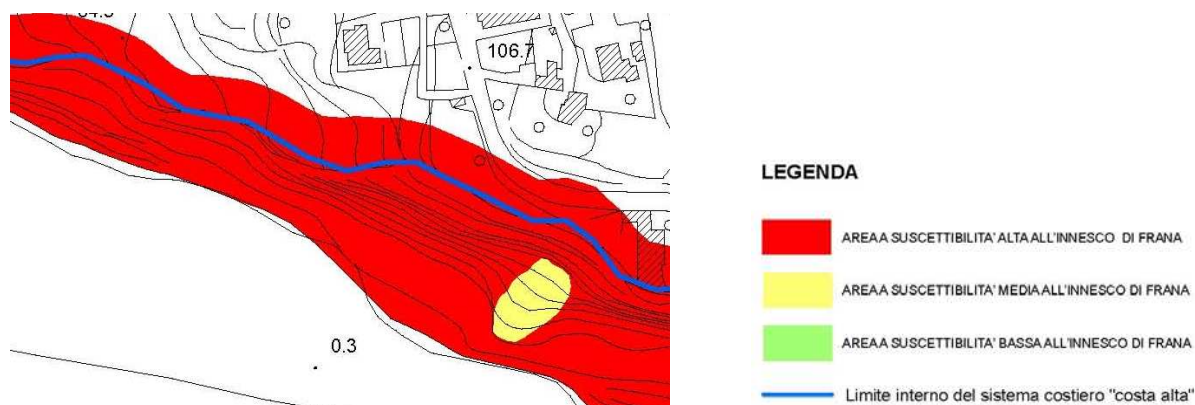


Figura 19: Stralcio della Carta di Suscettibilità all'Innesco di Frana e relativa legenda.

### 5.3.2 Carta della Pericolosità Relativa da Frana

In questo elaborato sono stati evidenziati i settori costieri suscettibili all'innescò e quelli sede di possibile transito o invasione da frana (Fig. 20), con tre classi di pericolosità (P1-P2-P3) in accordo con l'impianto del vigente P.A.I..

La valutazione della suscettibilità all'invasione, effettuata tramite rilievi di campo e fotointerpretazione, ha portato a constatare che la linea di massima invasione delle frane rilevate si localizza a poche decine di metri dal piede della falesia. Tale linea corrisponde in buona parte con la fascia dei depositi detritico-colluviali indicati sulla Carta dei Processi Morfodinamici.

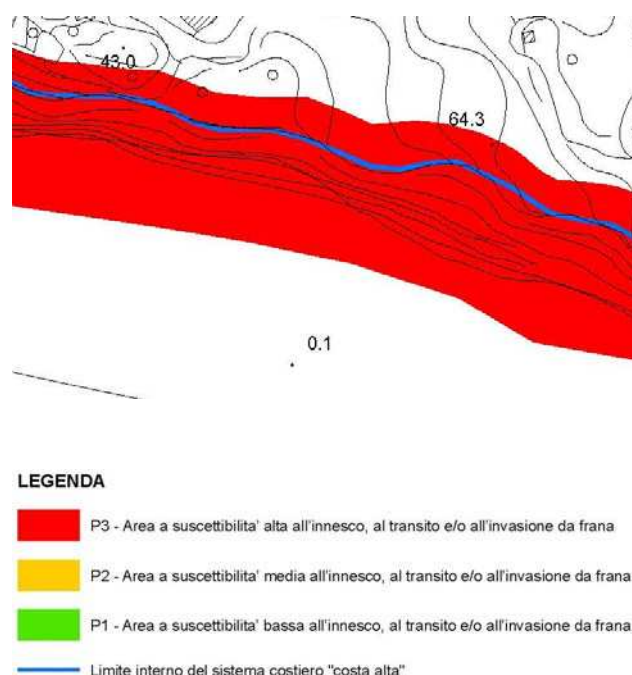


Figura 20: Stralcio della Carta della Pericolosità Relativa da Frana e legenda.

## 6. STUDI DI DETTAGLIO

Sono stati svolti due studi finalizzati alla verifica delle condizioni di stabilità di singoli tratti di falesia. Il primo studio riguarda l'Isola di Procida e può ritenersi significativo per falesie caratterizzate dall'affioramento di terreni poco coerenti (cineriti, tufi poco addensati, piroclastiti sciolte), il secondo riguarda invece Capo Posillipo ed è

rappresentativo di falesie in tufi lapidei fratturati.

Le metodologie adottate sono state quindi diverse, anche se basate, in entrambi i casi, su rilievi geologici, geomorfologici e geostrutturali di estremo dettaglio; tali rilievi sono stati diversificati in funzione della litologia affiorante e della conformazione geomorfologica della falesia. Per la parete di Procida i dati sono stati inoltre riportati su un rilievo fotogrammetrico frontale ottenuto con *laser-scanner*. Per Capo Posillipo si è invece utilizzato un fotomosaico effettuato da mare a distanza ravvicinata.

Gli elaborati prodotti hanno la peculiarità di essere delle Carte “frontali” (Carta Geolitologica, Carta Geomorfologica, Carta Geostrutturale) che riportano i dati salienti rilevati in parete. Dette Carte nell'insieme mostrano le situazioni di maggiore propensione al distacco di frane.

### **6.1 Falesia in località Chiaia, Procida**

Lo studio di questa falesia è stato effettuato mediante rilievi geologici e geostrutturali in sito, sulla parete ed alla sua base e attraverso ricognizioni da mare. Lo studio è stato corredato da un'accurata documentazione fotografica restituita sia in forma di fotomosaico (visioni di insieme) che di dettaglio (punti singolari).

I dati geologici, geostrutturali e geomorfologici raccolti sono stati riportati su una base fotogrammetrica frontale in scala 1:100 fornita dall'AdB.

#### **6.1.1 Carta Geolitologica**

Sulla Carta Geolitologica (Fig. 21) sono state riportate le diverse litologie riscontrate sulla parete. I terreni affioranti sono costituiti prevalentemente da depositi recenti di copertura poggianti sulla formazione vulcanica di Solchiaro.

Partendo dai depositi più recenti, è stata cartografata la spiaggia costituita da sabbia di origine vulcanica, al piede della parete ed in sovrapposizione all'arenile è stato riconosciuto un deposito detritico-colluviale costituito da materiale eroso dalla parete sovrastante e nel quale è stato evidenziato un cumulo di frana recente costituito da massi del volume di alcuni m<sup>3</sup>.

Un deposito simile a quello rinvenuto alla base della parete è stato cartografato anche sul versante, in corrispondenza di piccoli ripiani. Si tratta di materiale legato

sia all'erosione delle rocce vulcaniche sovrastanti, che a piccole frane non cartografabili singolarmente.

La porzione sommitale della parete è caratterizzata da depositi vulcanoclastici in giacitura primaria, costituiti da cineriti sabbioso-limose prevalentemente sciolte, in cui è stata differenziata la parte più superficiale: quest'ultima si presenta sotto forma di piroclastiti per lo più rimaneggiate e pedogenizzate

Al di sotto delle piroclastiti sciolte è stato rinvenuto uno strato sabbioso-limoso di colore marrone, di origine vulcanica, posto al tetto della Formazione di Solchiaro. Quest'ultima è costituita da materiale vulcanoclastico addensato con un'alternanza di strati decimetrici di ceneri e lapilli scoriacei. La presenza di sottili livelli sabbiosi o, in alternativa, di blocchi lavici e scoriacei ha permesso di suddividere in due parti la formazione di Solchiaro, che si spinge, con molta probabilità, fino alla base della parete, dove non è più visibile in quanto ricoperta dai depositi detritico-colluviali.

#### **6.1.2. Carta Geomorfologica**

Il rilievo geomorfologico è stato indirizzato al riconoscimento dei fattori più significativi ai fini della valutazione della franosità (Fig. 22).

In primo luogo sono stati cartografati tutti i coronamenti delle frane rilevate e, laddove possibile, i cumuli ad esse associati. Le frane sono state differenziate in funzione della loro tipologia.

Tra le forme erosionali sono state rilevate, nella Formazione di Solchiaro, alcuni settori caratterizzati dalla presenza di "carie" più o meno profonde spesso strette ed allungate. Si tratta di forme di erosione eolica (*tafoni*) che si impostano nei terreni meno addensati ed a maggiore erodibilità.

Per quanto riguarda le forme di accumulo, è stata rappresentata la falda detritico-colluviale localizzata alla base della parete e ricoperta dal manto vegetale. In questa zona non è stato possibile distinguere i cumuli legati a frane di piccola dimensione, fatta eccezione per un caso (frana recente), in cui è stato possibile rappresentare non solo l'area di distacco ed il relativo coronamento, ma anche il cumulo costituito da blocchi di notevoli dimensioni (alcuni m<sup>3</sup>).

Localmente, soprattutto a monte dei tafoni, sono stati riconosciuti volumi



La spiaggia, infine, stretta ed allungata, borda quasi completamente la pendice della falesia ed è limitata verso mare, in sinistra orografica, da una barriera frangiflutti.

Figura 22: Carta Geomorfológica “frontale” della falesia in localita' Chiaia.



### 5.1.3 Carta Geostrutturale

Sulla parete posta in località Chiaia a Procida è stata effettuata un'analisi mesostrutturale tesa ad evidenziare le discontinuità più significative. Tra esse prevalgono quelle di origine stratigrafica, anche perché i terreni affioranti, per lo più addensati ma non del tutto lapidei, sono di fatto poco fratturati.

La giacitura dei piani di stratificazione è suborizzontale, mentre quella delle fratture in termini di azimuth di immersione è molto variabile, anche se è possibile individuare delle orientazioni preferenziali con giacitura di  $020^{\circ}/80^{\circ}$  e  $100^{\circ}/80^{\circ}$ .

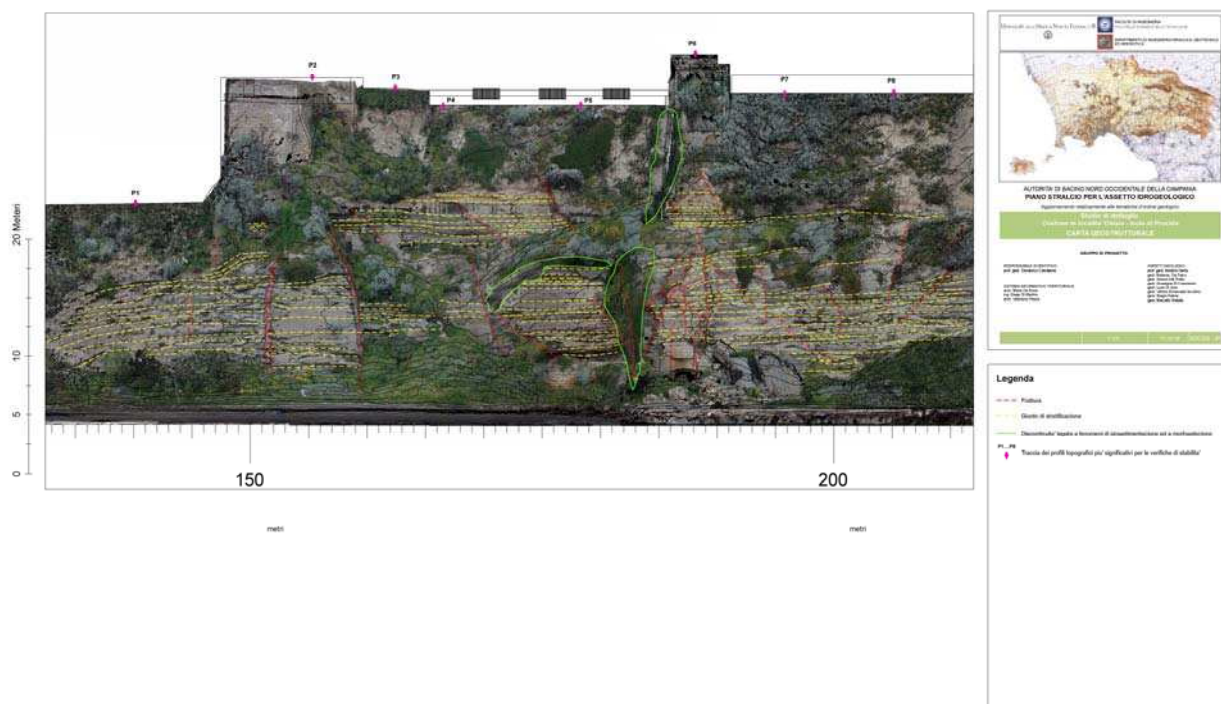


Figura 23: Carta Geostrutturale “frontale” della falesia in localita’ Chiaia.



Figura 24: Tratto di falesia in località Chiaia oggetto dello studio di dettaglio.

#### **6.1.4 Condizioni di stabilità della parete**

I dati geologici, geomorfologici e geostrutturali hanno evidenziato una generale instabilità della parete di Chiaia. I terreni affioranti sono poco addensati e quindi molto sensibili ai fenomeni erosivi legati alle acque dilavanti ma soprattutto al moto ondoso. L'arenile infatti è poco sviluppato in larghezza e quindi frequentemente in erosione per le mareggiate.

L'intero settore di falesia oggetto di studio mostra una pericolosità da frana elevata, in particolare sono stati individuati dei tratti che presentano fattori che li rendono maggiormente suscettibili al distacco di blocchi o di porzioni di piroclastiti sciolte; si tratta dei settori corrispondenti a “mensole” o a “corpi aggettanti” e ad aree già interessate da frane segnalate nella Carta Geomorfologica. Ai fini di un'efficace mitigazione del rischio da frana, gli interventi di sistemazione dovrebbero

essere rivolti soprattutto al settore più alto della parete, dove sono maggiormente presenti depositi piroclastici sciolti, più sensibili all'erosione e a frane. Ulteriori interventi dovrebbero essere previsti nelle zone dove maggiore è la frequenza delle discontinuità, con particolare riguardo per quei tratti dove fratture beanti possono isolare porzioni talora anche cospicue della falesia.

## **6.2 Falesia di Capo Posillipo, Napoli**

### **6.2.1 Carta Geolitologica**

Lo studio ha riguardato un settore della Collina di Posillipo ed in particolare quella ricadente in prossimità di Cala Trentaremi e di Punta del Cavallo (Fig. 25). I dati geologici, geomorfologici e geostrutturali sono stati riportati su un fotomosaico di dettaglio eseguito da mare (Fig. 26). I terreni affioranti sono tutti riconducibili a piroclastiti del distretto vulcanico flegreo, ed in particolare a terreni vulcanoclastici delle diverse "Unità piroclastiche flegree". Su queste ultime poggiano i "Depositi clastici di copertura", costituiti da cumuli di frana e detrito di versante, che peraltro ricoprono in modo discontinuo la base del costone (Fig. 27).

Rientrano nelle Unità piroclastiche flegree i prodotti piroclastici (da *flow* e da *fall*) di eruzioni flegree sia precedenti che successive alla messa in posto del Tufo Giallo Napoletano, inquadrabili in un intervallo cronostratigrafico compreso tra circa 40.000 anni ed i tempi storici.

I terreni più antichi riscontrati nell'area di studio sono rappresentati da due unità vulcanoclastiche pre-Tufo Giallo Napoletano. La prima, più antica, è l'Unità pomiceo-scoriaceo-cineritica pre-Tufo Giallo Napoletano che affiora nel settore di interesse così come a Cala Trentaremi. E' ben evidente come tali terreni presentino un tetto caratterizzato da due alti morfologici ed una depressione nella quale si sono deposte, successivamente, le Unità cineritiche pre-Tufo Giallo Napoletano prima ed il Tufo Giallo Napoletano poi. Nell'area di Trentaremi, in particolare, l'Unità pomiceo-scoriaceo-cineritica presenta una notevole inclinazione degli strati (circa 45°) ed è caratterizzata da alternanze di cineriti biancastre pisolitiche e livelli di pomici bianche. Nella parte basale si riscontrano spesso blocchi, scorie e grandi pomici bianco-grigiastre, aventi diametro max sino a 20 cm. Nella parte alta della successione,



l'Unità pomiceo-scoriaceo-cineritica passa gradualmente a piroclastiti più fini, quali cineriti grigio-biancastre, spesso pisolitiche, frammiste a pomici, con frequenti intercalazioni di livelli pomicei grossolani (alcuni cm di diametro). Nel complesso tali depositi presentano tessitura pseudostratificata piano-parallela, talora clinostratificata o debolmente ondulata.

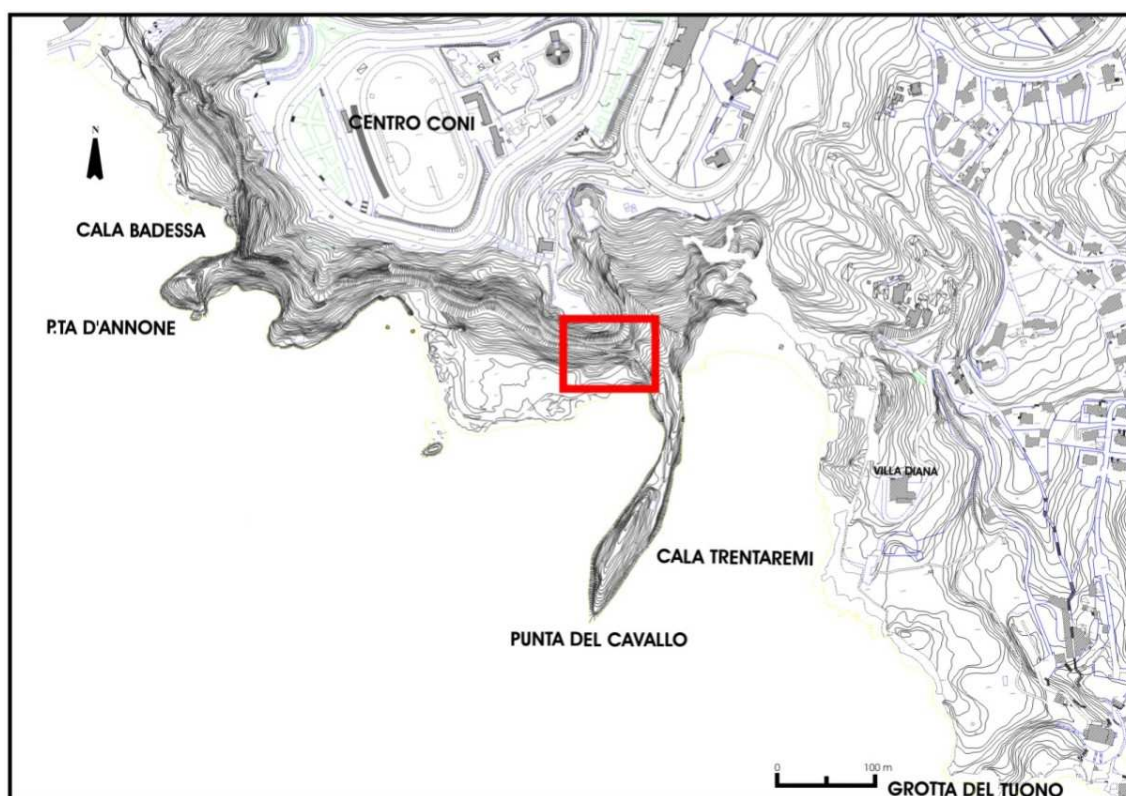


Fig. 25: Ubicazione della porzione della falesia di Capo Posillipo oggetto dello studio di dettaglio.

L'Unità cineritica pre-Tufo Giallo Napoletano ha colmato la parte più bassa della depressione ed affiora nell'area studiata per circa 30 m di spessore.

Le osservazioni stratigrafiche di dettaglio hanno permesso di riconoscere diversi intervalli cineritici generalmente a stratificazione sub-orizzontale, talora alternati a livelli scoriacei e cineritici con stratificazione ondulata. Nel complesso, tali intervalli sembrano avere caratteristiche riconducibili a meccanismi da caduta e, per tale motivo, si differenziano notevolmente, per le caratteristiche sedimentologiche-stratigrafiche, dalla soprastante Unità del *Tufo Giallo Napoletano*.

L'età di questa Unità, che non risulta sia segnalata in letteratura (in genere è accorpata al Tufo Giallo Napoletano) deve inquadrarsi in un *range* cronostratigrafico compreso tra i 39.000 ed i 12.000 anni.



Figura 26: Fotomosaico della falesia di Capo Posillipo, oggetto dello studio di dettaglio.

Il Tufo Giallo Napoletano affiora a Punta D'Annone e gli spessori raggiungono valori massimi prossimi a 100 m. Tale litotipo si presenta come una piroclastite litificata costituita da pomici, litici e scorie (per lo più di dimensioni centimetriche) di colore in prevalenza giallo-verdastro, immersi in una matrice cineritica anch'essa giallastra. La tessitura della formazione è per lo più massiva (tipica dei prodotti da flusso) e solo localmente è possibile apprezzare sottili stratificazioni. Il Tufo Giallo poggia sia sull'Unità pomiceo-scoriaceo-cineritica che su quella "cineritica"; il tetto del TGN è marcato da una superficie di erosione a debole pendenza.

Il rilievo geologico di dettaglio ha consentito di differenziare nell'ambito del Tufo Giallo Napoletano lapideo alcuni settori prevalentemente cineritici non litificati,

anche se ben addensati che passano lateralmente alla *facies* lapidea seguendo piani ad alto angolo. Uno di questi contatti è ben evidente lungo la parete di studio, dove è possibile apprezzare un graduale passaggio tra cineriti bianche e pomici poco coerenti e tufo giallo via via più compatto e litoide. La stratificazione si mantiene costante procedendo lateralmente lungo lo stesso contatto.

In letteratura non è molto chiara al momento la genesi di queste *facies* non litificate; è possibile che la notevole articolazione del paesaggio su cui si è depositato il tufo (versanti ad elevata acclività) abbia condizionato le modalità del processo di zeolitizzazione.

Le Piroclastiti sciolte post-Tufo Giallo Napoletano comprendono i prodotti da caduta di diverse eruzioni vulcaniche flegree successive alla messa in posto del TGN, sii tratta di alternanze di livelli di pochi decimetri di cineriti e sabbie vulcaniche a cui si intercalano livelli centimetrici di pomici bianche grossolane. Talora è possibile riconoscere alcuni paleosuoli che testimoniano momenti di pedogenesi tra le varie eruzioni vulcaniche.

La base poggia su una superficie di erosione ed è spesso marcata da paleosuoli; il tetto presenta una morfologia sub-orizzontale tipica dei prodotti da caduta più recenti.

Questa Unità, al pari del Tufo Giallo, presenta nell'area di studio spessori significativi, con valori osservati in affioramento che variano da un minimo di 10-15 m ad un massimo di circa 40 m.

I depositi clastici di copertura sono infine costituiti da pochi metri di detrito di falda, da colluvioni e soprattutto da cumuli di frana dello spessore massimo di circa 30 m. Essi sono connessi a diverse generazioni di frane da crollo, alcune delle quali sicuramente molto recenti, come evidenziato dalla scarsa presenza di vegetazione sui cumuli e dalla limitata erosione operata dall'azione marina sui depositi che costituiscono i suddetti cumuli. Nell'insieme, i depositi di copertura sono costituiti da cineriti rimaneggiate, inglobanti blocchi di tufo di varia volumetria (dimensioni talora di alcuni m<sup>3</sup>).



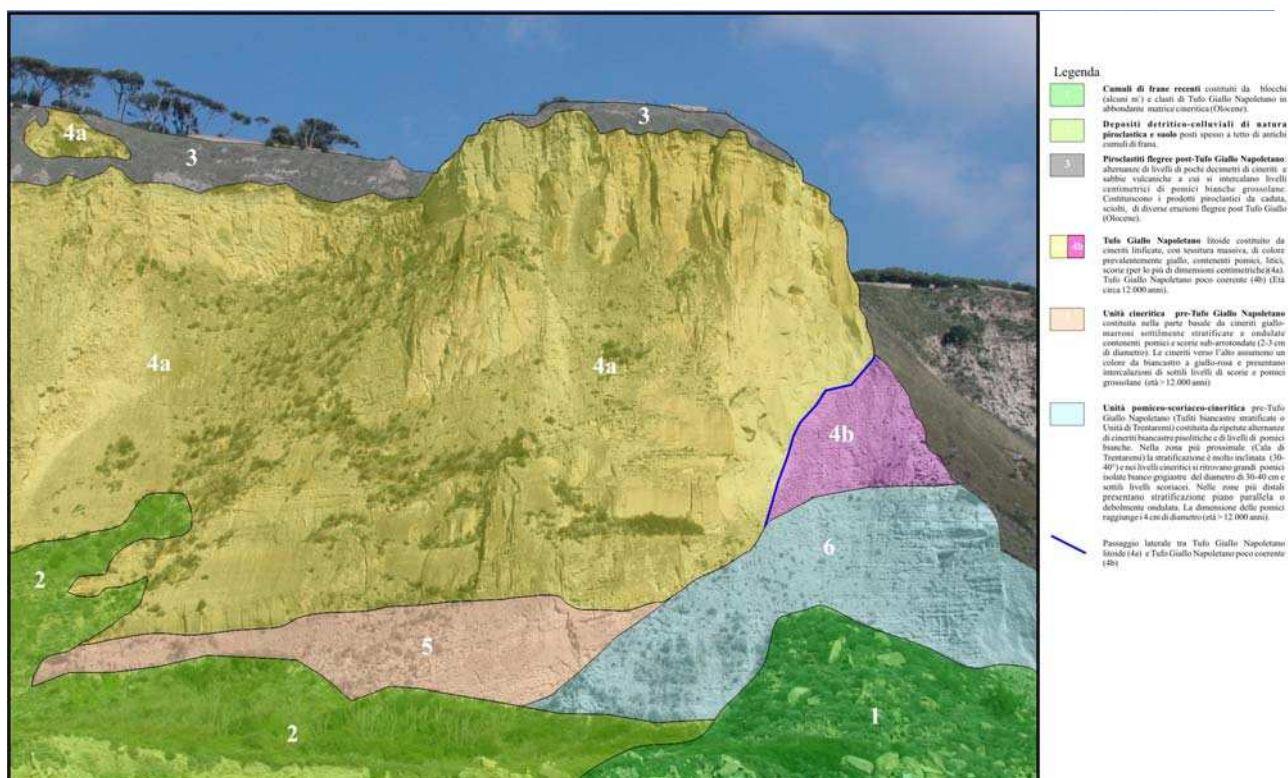


Figura 27: Carta Geolitologica “frontale” della falesia di Capo Posillipo oggetto dello studio di dettaglio.

### 6.2.2 Carta Geomorfologica

La falesia in esame presenta in generale versanti con una netta tendenza all'arretramento per l'influenza di fattori geologici e geomorfologici, che possono essere riassunti in:

- a) alte energie di rilievo collegabili a fattori strutturali vulcano-tettonici
- b) presenza di cineriti poco coerenti e tufi fratturati.

Il rilievo geomorfologico è stato finalizzato al riconoscimento dei fattori più significativi per la valutazione della franosità (Fig. 28). Sono state cartografate infatti tutte le frane rilevate, differenziate per tipologia, e sono stati delimitati i cumuli ad esse associati. Tale studio ha consentito di distinguere, lungo le alte pareti del promontorio, un settore medio-alto impostato nelle piroclastiti sciolte ed interessato da frane da scorrimento-crollo, e quello caratterizzato da alte pareti in Tufo Giallo Napoletano: queste ultime, a seconda del grado di fratturazione, presentano una

maggior concentrazione di frane da crollo.

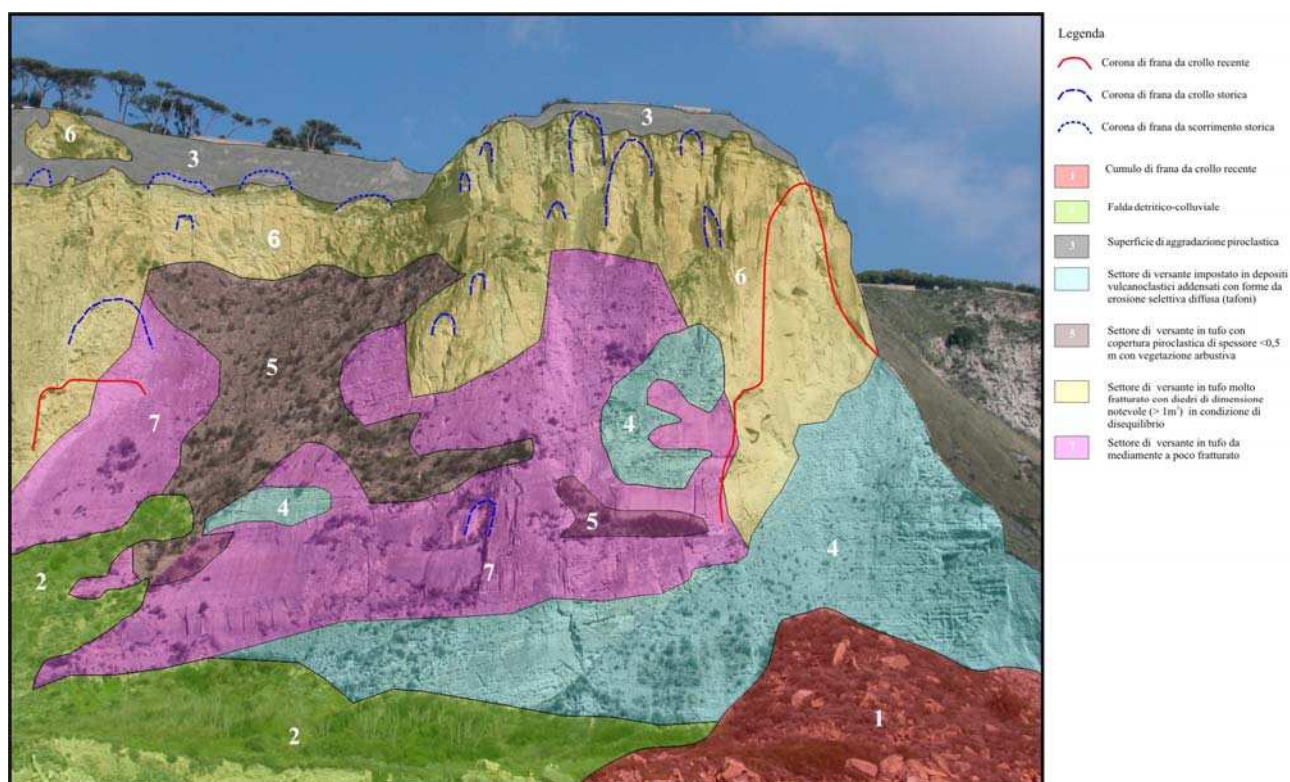


Figura 28: Carta geomorfologica “frontale” della falesia di Capo Posillipo oggetto dello studio di dettaglio.

Nell'ambito dell'area di affioramento del Tufo Giallo Napoletano, infatti, è stato individuato un settore, generalmente localizzato nella parte stratigraficamente più alta, intensamente fratturato e caratterizzato da tipiche morfologie a risega, indotte da numerosi e frequenti distacchi di blocchi. In tale area sono presenti diedri, pilastri e diverse fratture beanti che determinano situazioni di particolare pericolosità. Il censimento delle aree di distacco da frana ha permesso di stimare l'ordine di grandezza dei volumi mobilizzati (mediamente di alcune centinaia di m<sup>3</sup>).

Nell'Unità pomiceo-scoriacea-cineritica pre-Tufo Giallo Napoletano e nella *facies*



poco coerente del T.G.N. sono ben evidenti i settori in erosione superficiale: essi sono infatti marcati dalla presenza di carie di 1-2 m di diametro e della profondità di alcuni decimetri. Anche in questo caso si tratta di forme di erosione eolica (tafoni) che si impostano sugli orizzonti litologici dotati di maggiore erodibilità.

Per quanto riguarda le forme di accumulo, le principali sono riconducibili a corpi di frana ed a materiale detritico-colluviale.

### 6.2.3. Carta Geostrutturale

Lo studio geostrutturale è stato compiuto alla mesoscala e sono pertanto state individuate sul campo le discontinuità principali, intese sia come piani di stratificazione che come fratture (Fig. 29). Ciò ha consentito di individuare fino a cinque sistemi principali di discontinuità, ed in particolare 4 nella macroarea A e 5 in B. La giacitura di queste famiglie è riportata in Tabella 2.

Tabella 2: Giacitura dei principali sistemi di discontinuità riconosciuti a Capo Posillipo.

Famiglia	Azimuth di immersione (°)	Immersione (°)
K1	310	85
K2	250	85
K3	080	85
K4	110	70
S	200	20

In entrambe le macroaree è stato osservato un notevole stato di fratturazione ed in particolare nella macroarea B si individuano spesso blocchi e diedri di roccia tufacea in condizione di equilibrio precario.

I valori medi di azimuth di immersione e di immersione della stratificazione e del fronte nonché quelli delle principali famiglie di *joint* individuate mettono in evidenza un quadro fessurativo che può indurre a distacchi di blocchi secondo sistemi prevalentemente verticali (crolli e ribaltamenti). Tali discontinuità isolano spesso

diedri e pinnacoli rocciosi di volume pari ad alcune centinaia di  $m^3$ , questi valori sembrano confermati anche dalle dimensioni sia delle aree di distacco di frana (che in alcuni casi raggiungono i  $500 m^3$ ) che dei blocchi ritrovati nei cumuli di frana (volumi spesso superiori ai  $10 m^3$ ).

#### **6.2.4. Condizioni di stabilità della parete**

I dati geologici, geomorfologici e geostrutturali hanno evidenziato una generale instabilità della parete di Capo Posillipo. Si può fare tuttavia una distinzione tra il settore più alto caratterizzato dall'affioramento di depositi piroclastici sciolti, interessati da frane di limitate dimensioni del tipo scorrimento-colata, e quello in cui affiorano i tufi lapidei caratterizzati da distacchi di diedri e volumi colonnari delle dimensioni anche di diversi  $m^3$ . In quest'ultimo caso le frane potranno interessare i settori più fratturati, con tipologie assimilabili a ribaltamenti frontali.

Pertanto, la mitigazione del rischio da frana nel settore studiato, dovrà essere prevista con interventi di sistemazione diversificati in funzione della diversa natura dei terreni presenti lungo la falesia.

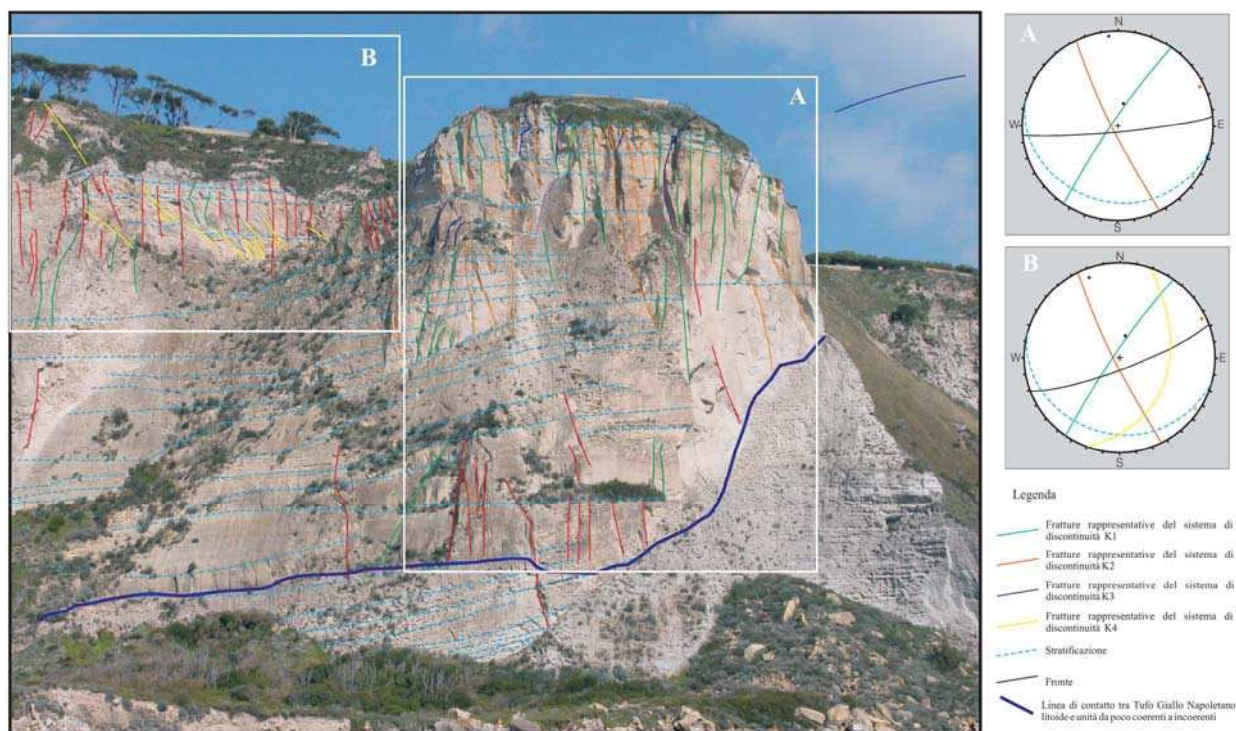


Figura 29: Carta Geostrutturale “frontale” della falesia di Capo Posillipo oggetto dello studio di dettaglio.

## 7. CONCLUSIONI

Gli studi di approfondimento sulle aree di falesia attiva o riattivabile sono stati eseguiti adottando diverse metodologie e scale.

In particolare, per l'intero perimetro dell'Isola di Procida e per il tratto costiero compreso tra Mergellina e Torregaveta sono state redatte Carte della suscettibilità e della pericolosità a franare in scala 1:5000. Sono stati inoltre condotti studi di maggiore dettaglio su singole falesie, mettendo a punto una metodologia d'indagine geologico-geomorfologica adatta ad affrontare falesie impostate sia su depositi poco addensati che su rocce lapidee. Con riferimento alla prima tipologia, si è esaminato un tratto di falesia in località Chiaia a Procida, mentre per il secondo tipo di falesia si è scelto il settore di Capo Posillipo a Napoli.

Gli studi su area vasta e quelli di maggior dettaglio hanno evidenziato che una

notevole percentuale del tratto costiero indagato è caratterizzato da falesie attive, lungo le quali si sono state riconosciute evidenze di pregressa instabilità gravitativa. Per tale motivo, gran parte delle falesie studiate rientrano nelle classi ad alta suscettibilità a franare. Tale circostanza rende evidente la necessità di prevedere opportuni interventi di sistemazione dei versanti costieri, finalizzati alla mitigazione del rischio da frana e quindi anche al conseguente recupero della fruizione degli arenili sottesi.