

Sviluppo di un sistema informativo per la gestione della costa della regione Campania

**Gemellaggio Regione Emilia-Romagna – Regione Campania
(Settori Difesa Suolo e della Costa)**

STABILITA' DELLE FALESIE COSTIERE IN CAMPANIA: STATO E TENDENZE

**Responsabile scientifico:
Prof. Geol. Paolo Budetta
Dipartimento di Ingegneria Geotecnica, sez. Geologia Applicata
Facoltà di Ingegneria – Università "Federico II", Napoli.**

GLI OBIETTIVI DEL PROGETTO

- Analisi delle criticità (stabilità delle coste alte);
- Sviluppo di un sistema informativo per la gestione della costa campana;
- Pianificazione delle attività di monitoraggio;
- Programmazione degli interventi di difesa della costa;
- Supporto alle attività svolte da altri settori regionali competenti in ambito costiero.

QUALCHE DATO PER COMPRENDERE L'IMPORTANZA DELL'ARGOMENTO

- Nel Mediterraneo, su un totale di circa 46.000 km di costa 20.000 km sono in varia misura urbanizzati;
- Su 20.000 km insistono 584 città, 750 porti turistici e 286 commerciali, 13 impianti di produzione di gas, 55 raffinerie, 180 centrali termoelettriche, 112 aeroporti, 238 dissalatori.
- Nel 1950 si contavano 318 città costiere; nel 1995 erano 584;
- Nel 1950 la densità abitativa era di 580 abitanti x km di costa; nel 2000 era di 1.530 abitanti x km; nel 2025 si prevede di arrivare a 1.970 abitanti x km costa;
- I 196 comuni italiani dislocati lungo gli 8.000 km di costa rappresentano, da soli, quasi 1/3 di tutti i territori urbanizzati del Mediterraneo;
- Ogni anno, nel Mediterraneo, vengono erosi dai 30 cm ai 10 m di litorale sabbioso;
- La maggiore erosione costiera interessa Italia, Spagna e Grecia.

Fonte: Corriere della Sera del 22/05/07

IL SISTEMA COSTIERO

(Qualche definizione)

"Ambito costiero" un litorale caratterizzato dall'affioramento di differenti unità geologiche tali da formare coste basse ed alte, continue o alternate, con caratteristiche di esposizione al moto ondoso sostanzialmente omogenee.

"Costa bassa" litorale formato, del tutto o parzialmente, da sedimenti sciolti che possono subire movimenti per azione del moto ondoso.

"Costa alta" litorale formato da rocce lapidee omogenee e/o eterogenee che originano falesie e versanti, generalmente ripidi, privi di spiaggia al piede o di ampiezza ridotta.

Costa alta

(Una definizione più "geologica")

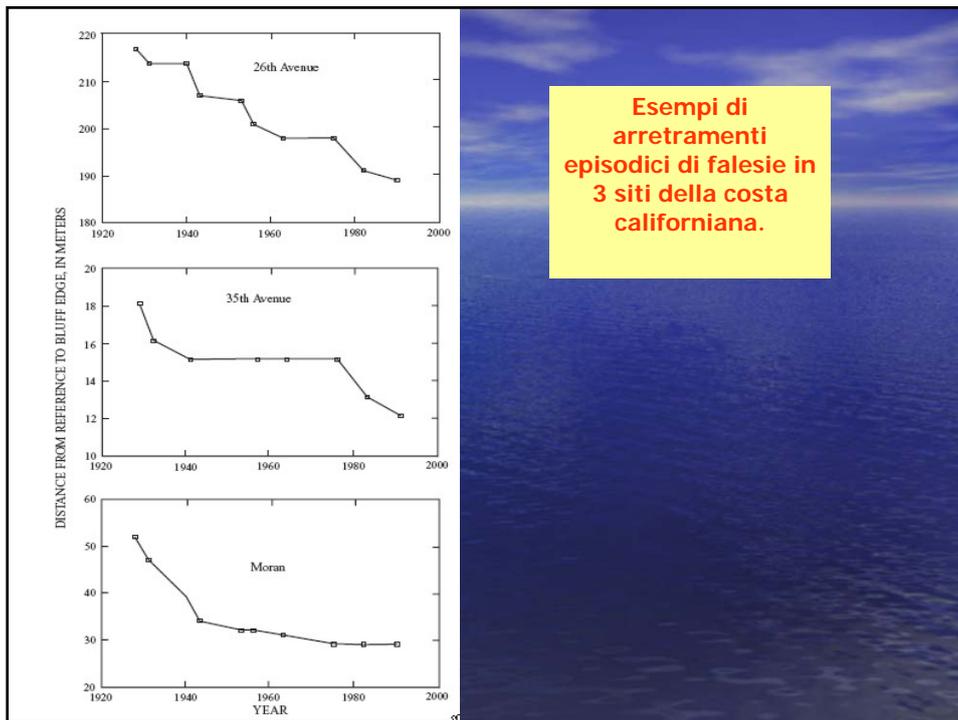
Comprende falesie e pendii acclivi, formati a causa di processi di ingressione marina dovuti, principalmente, all'innalzamento del livello del mare. Altre cause sono riconducibili a fenomeni tettonici (formazione di scarpate di faglia) e gravitativi (scarpate per frana).



Tale definizione è indipendente dall'assetto litologico del materiale formante la scarpata, dalla sua altezza ed inclinazione. I processi erosivi possono dar origine ad una falesia in tempi relativamente rapidi (se il materiale interessato è sufficientemente erodibile).

La comprensione dei processi che portano alla formazione delle falesie è ostacolato da fattori, quali:

- l'evoluzione lenta del processo erosivo;
- il carattere temporalmente e spazialmente episodico di tale processo;
- la difficoltà di misurare con precisione l'energia del moto ondoso.



Formazione ed evoluzione delle falesie

La maggior parte delle falesie perimediterranee è relativamente recente, essendosi formate soprattutto nel Pleistocene a seguito delle glaciazioni.

Lo scioglimento delle calotte polari causò un innalzamento del livello marino stimato in circa 120 m.

L'innalzamento, tra 21000 e 5000 anni fa, è avvenuto ad una velocità media di circa 1 cm/anno.

Di poi, esso ha rallentato sebbene il livello degli oceani ha continuato a crescere ad una velocità di circa 2 mm/anno.

Formazione ed evoluzione delle falesie

La formazione delle falesie è dovuta a processi di **ingressione marina** e a **processi gravitativi** subaerei. La forma può essere il risultato dell'interazione tra i due fenomeni geomorfologici.

Emery & Kuhn (1982) distinguono il processo dominante e lo stato di attività di una falesia dal suo profilo.

- Un profilo acclive, privo di vegetazione e con poco detrito alla base, indicherebbe un processo di ritiro relativamente rapido con dominanza del fattore marino (es. scalzamento al piede).
- Un profilo convesso con una cresta arrotondata e molto detrito alla base, indicherebbe la prevalenza del processo gravitativo.
- Profili compositi, con alternanze di tratti verticali e tratti convessi, indicherebbero alternanze di processi marini e gravitativi.

Formazione ed evoluzione delle falesie

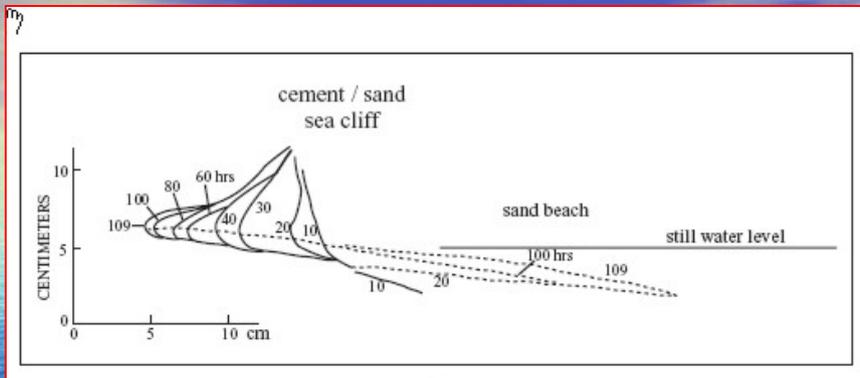
Il processo erosivo può essere schematizzato in quattro fasi:

- 1) distacco di massi, lastre o frammenti dalla falesia;
- 2) trasporto delle volumetrie lungo il versante;
- 3) deposito alla base della scarpata;
- 4) rimozione del detrito ad opera del moto ondoso.

Ne consegue erosione alla base, creazione di un solco di battigia e formazione di pareti aggettanti.

Il detrito formatosi alla base della falesia, la protegge temporaneamente fino alla sua rimozione ad opera del moto ondoso. Il processo è ciclico

Formazione ed evoluzione delle falesie

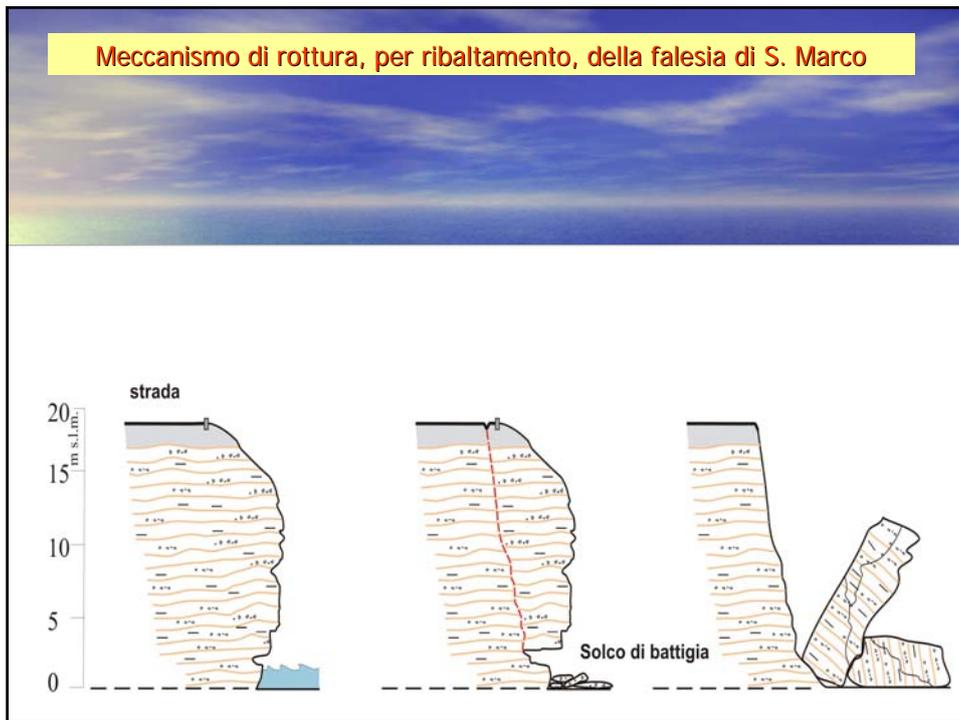


Formazione di un solco di battigia in un modello di falesia formato da sabbia e cemento. Lo sviluppo della "spiaggia" alla base (a seguito del rilascio della sabbia) riduce nel tempo la capacità erosiva delle "onde". (Sunamura 1992).

Solco di battigia



Meccanismo di rottura, per ribaltamento, della falesia di S. Marco



Formazione ed evoluzione delle falesie

Fattori dominanti

- le onde
- i materiali che costituiscono la parete

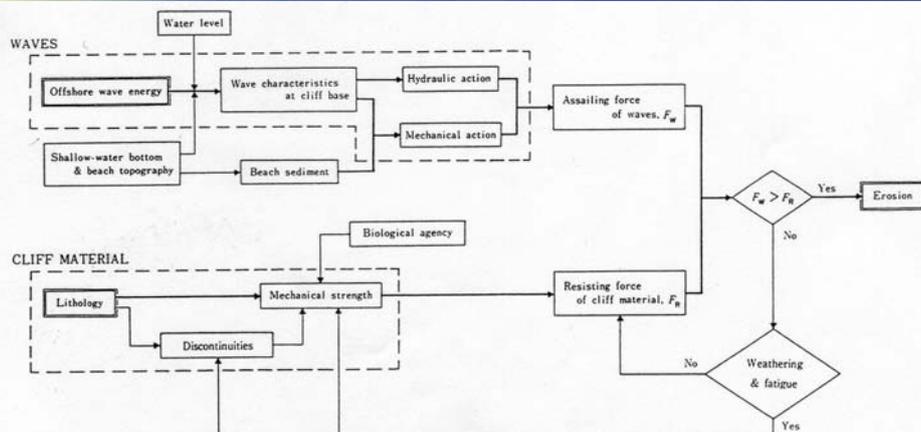


figura 15: I fattori che interessano l'erosione, dovuta alle onde, della base della parete

Condizioni necessarie per la recessione della falesia

Sunamura nelle sue prove di laboratorio...



$$F_w = A \rho g h$$

$$F_r = B c$$

A, B
costanti empiriche adimensionali

Se $F_w > F_r$

rottura della parete

Se $F_w < F_r$

decadimento delle caratteristiche di resistenza...

Tipologie di dissesto delle falesie

L'erosione della base delle pareti riveste un ruolo fondamentale per l'instabilità e, in alcuni casi, si può arrivare ad eventi franosi.

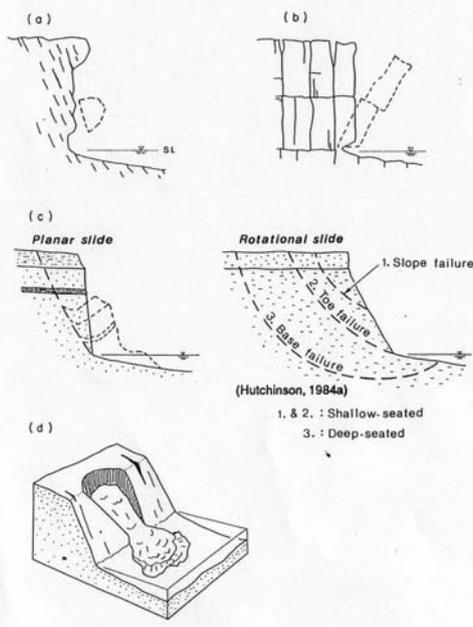


figura 23 : Movimenti di massa: (a) crolli, (b) ribaltamenti, (c) scorrimenti, (d) colate

Crolli



Ribaltamenti



Distacchi per rilascio tensionale



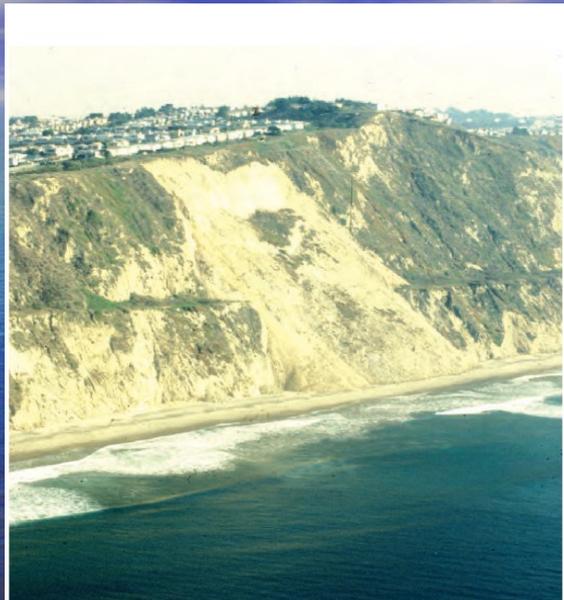
Scorrimento rotazionale



Scorrimento rotazionale



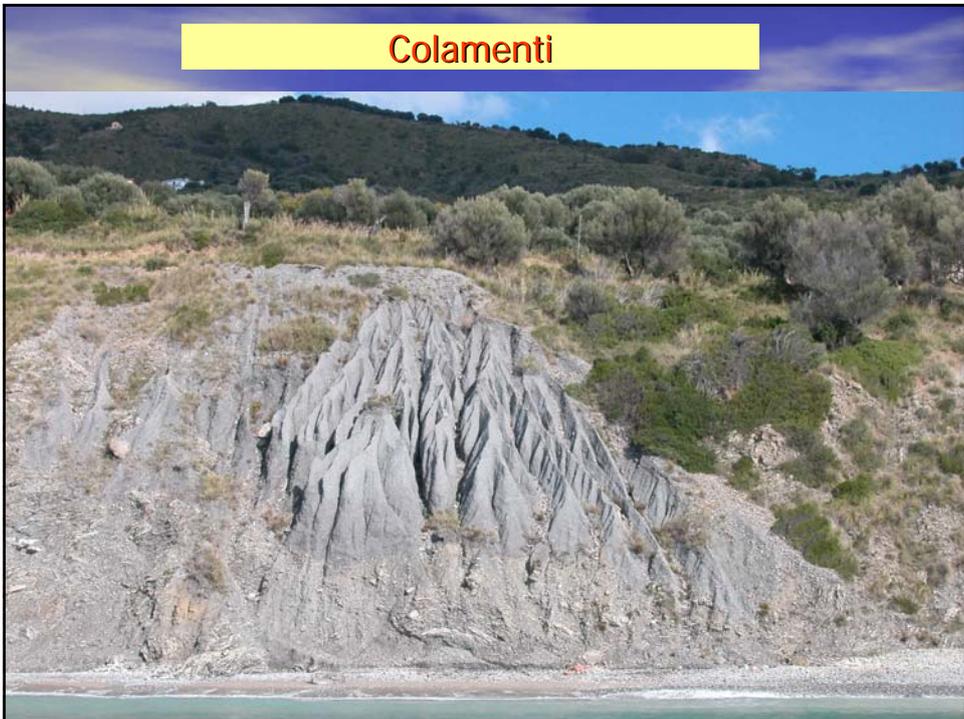
Scorrimenti traslativi



Colamenti



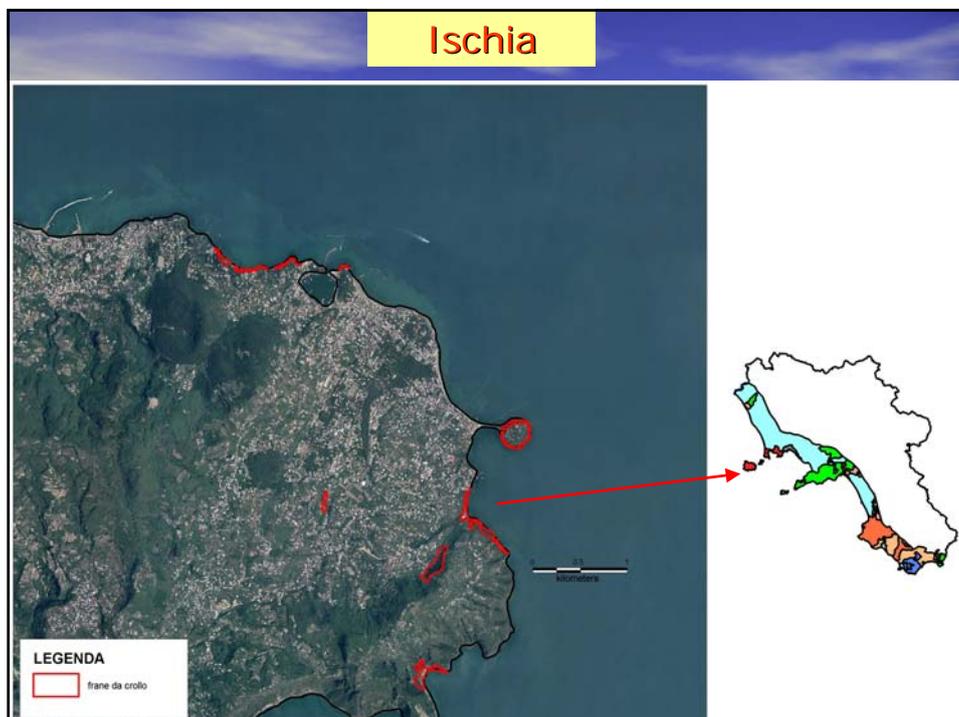
Colamenti



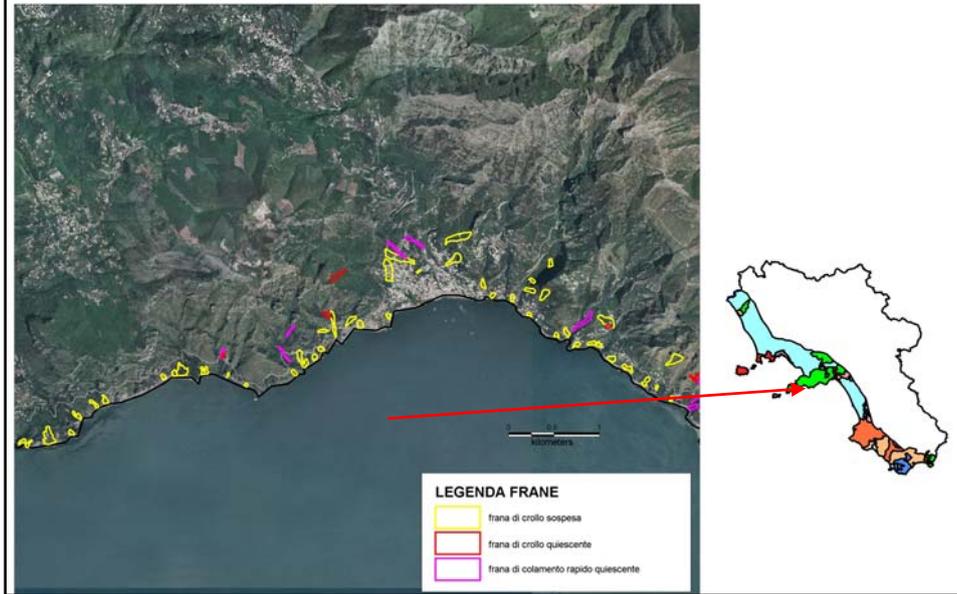
Assetto geologico della costa campana



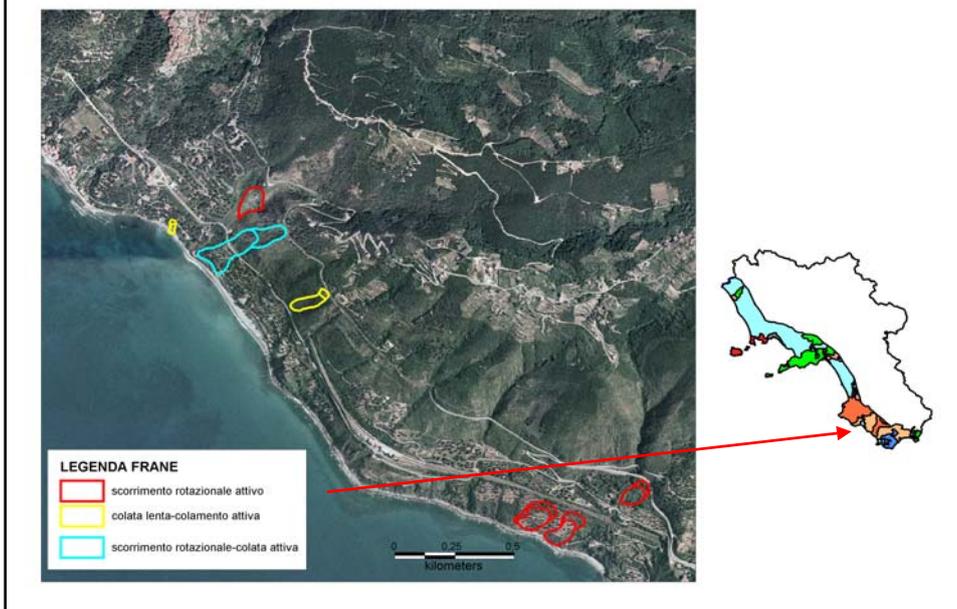
Ischia



Positano



Pisciotta



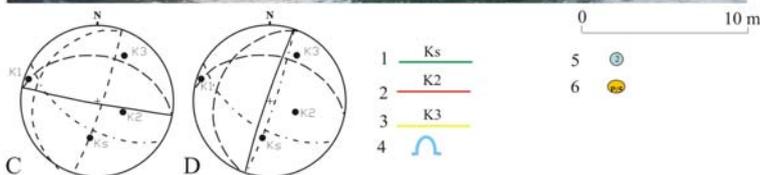
Esempi di falesie instabili



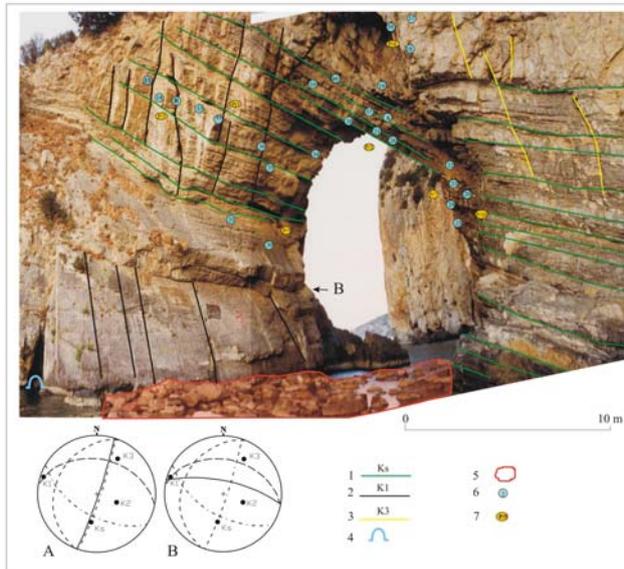
Il promontorio di Agropoli



L'Arco naturale di Palinuro: lato Palinuro



L'Arco naturale di Palinuro: lato Camerota

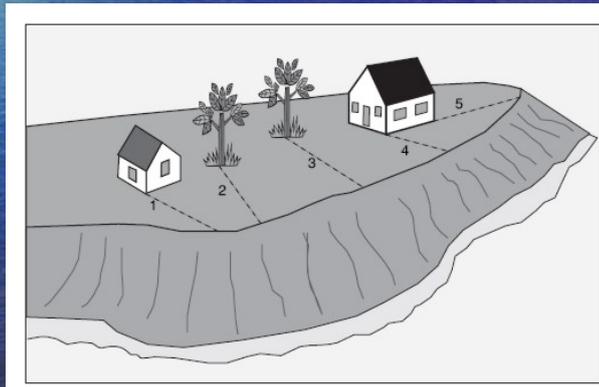


Rilievi geomeccanici sull'ammasso carbonatico dell'Arco

La misura dell'arretramento delle falesie

L'aspetto morfologico che meglio rappresenta la variazione nel tempo di una falesia è la base del pendio, la prima significativa rottura di pendenza oppure la cresta.

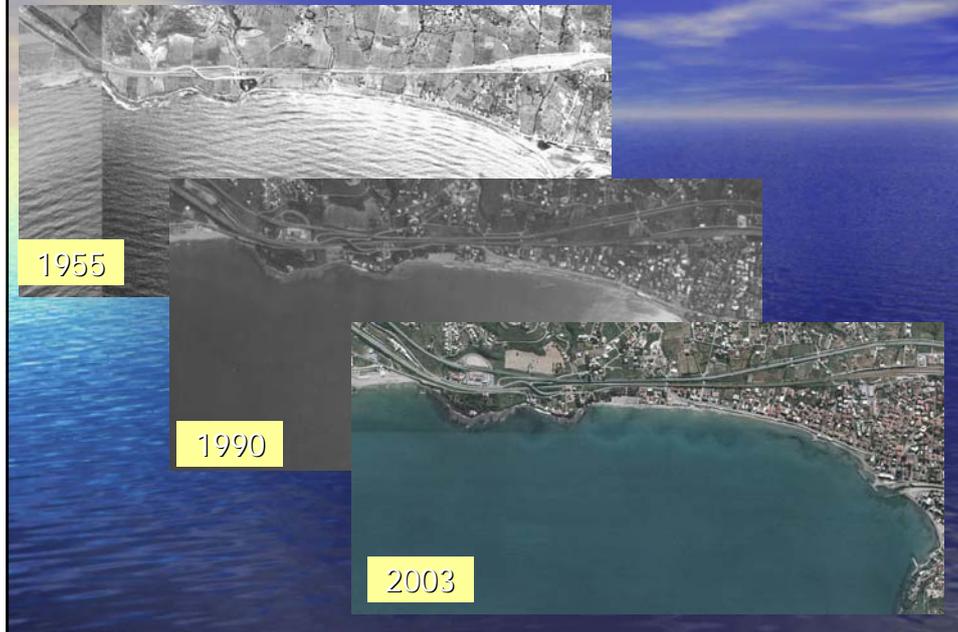
I metodi classici di campagna utilizzano la misura, ripetuta nel tempo, della distanza della cresta della falesia da predeterminati punti fissi (quali strade, case o alberi).



- L'uso della **cartografia storica** è comune, data la sua semplicità, ma l'errore può essere molto elevato (fino ad 8 - 15 metri).

- L'uso di **foto aeree** fornisce buoni risultati sebbene esse abbiano distorsioni **intrinseche** (es. le "ottiche" - le lenti attuali hanno distorsioni radiali fino ad oltre 0,110 mm) ed esterne al sistema fotografico adoperato (posizione della fotocamera rispetto al terreno).

EVOLUZIONE DELLA COSTA DI AGROPOLI DA FOTO AEREE



Mediante la ortorettificazione delle immagini è possibile rimuovere le distorsioni con procedimenti costosi e lunghi.

Alcuni autori hanno sviluppato metodi di parziale ortorettificazione delle immagini che diminuiscono gli errori ma non li rimuovono del tutto.

Negli ultimi decenni, i migliori risultati sono stati ottenuti mediante la **fotogrammetria digitale** ed il **LIDAR** (Light Detection and Ranging) integrati mediante l'uso di tecniche GIS.

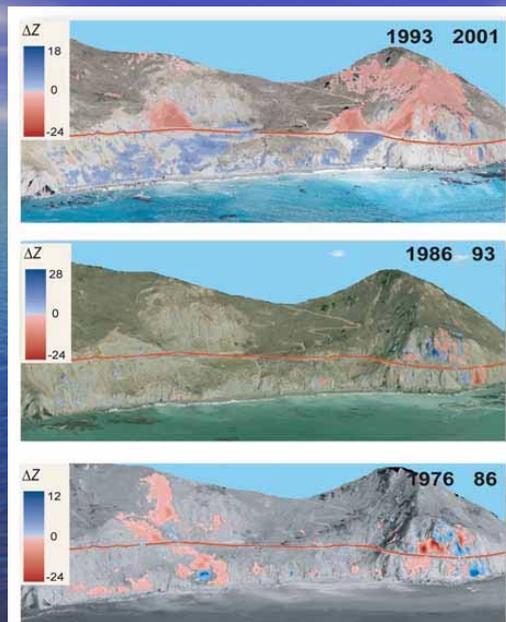
La fotogrammetria digitale richiede che le foto aeree siano prima convertite in formato digitale mediante **scanner** ad alta risoluzione in modo tale da preservare le relazioni spaziali tra gli oggetti

Sallenger ed altri (2002) hanno utilizzato profili ricavati da dati LIDAR per correlarli all'arretramento delle falesie. I vantaggi sono rappresentati dal gran numero di misure ed informazioni topografiche che si possono raccogliere su settori estesi di costa.

Sia la fotogrammetria digitale che il LIDAR possono fornire modelli in 3-D della costa che possono poi essere incorporati in un GIS per condurre numerose analisi spaziali e temporali.

Si ricorda infine che misure terrestri accurate possono essere condotte mediante tecniche GPS che restituiscono precisioni millimetriche.

Variazione, nel tempo, dell'erosione e del deposito



Vantaggi e svantaggi delle tecniche di misura comunemente adoperate

<i>Tecnica</i>	<i>Vantaggi</i>	<i>Svantaggi</i>
Rilievi terrestri	Molto accurati, facilmente ripetibili.	Copertura spaziale e temporale limitata; tempi lunghi.
Confronto di carte topografiche	Economico, ampiamente disponibile, intervalli temporali notevoli.	Scarsa precisione, posizione indeterminata della cresta e del piede della falesia.
Foto aeree non rettificate	Economico, ampiamente disponibile, intervalli temporali notevoli.	Scarsa precisione, posizione indeterminata della cresta e del piede della falesia (bidimensionale).
Foto aeree parzialmente rettificate	Ampiamente disponibile, intervalli temporali notevoli; migliore precisione rispetto alle non rettificate	Posizione indeterminata della cresta e del piede della falesia; software ed hardware costosi.
Foto aeree rettificate	Ampiamente disponibile, intervalli temporali notevoli; buona copertura spaziale, elevata precisione, le falesie possono essere digitalizzate in 3-D.	Tempi lunghi per il processamento delle immagini, software ed hardware costosi
LIDAR	Buona copertura spaziale, elevata precisione	Costoso, intervalli temporali limitati.

L'approccio geomeccanico allo studio delle falesie

E' molto recente e basato sulle significative esperienze di Sunamura

Vengono seguiti approcci differenti, a seconda che si ritenga più o meno secondario l'effetto dell'energia esercitata dalle onde, rispetto all'assetto litologico ed alla resistenza meccanica degli ammassi.

Approccio euristico, semiquantitativo

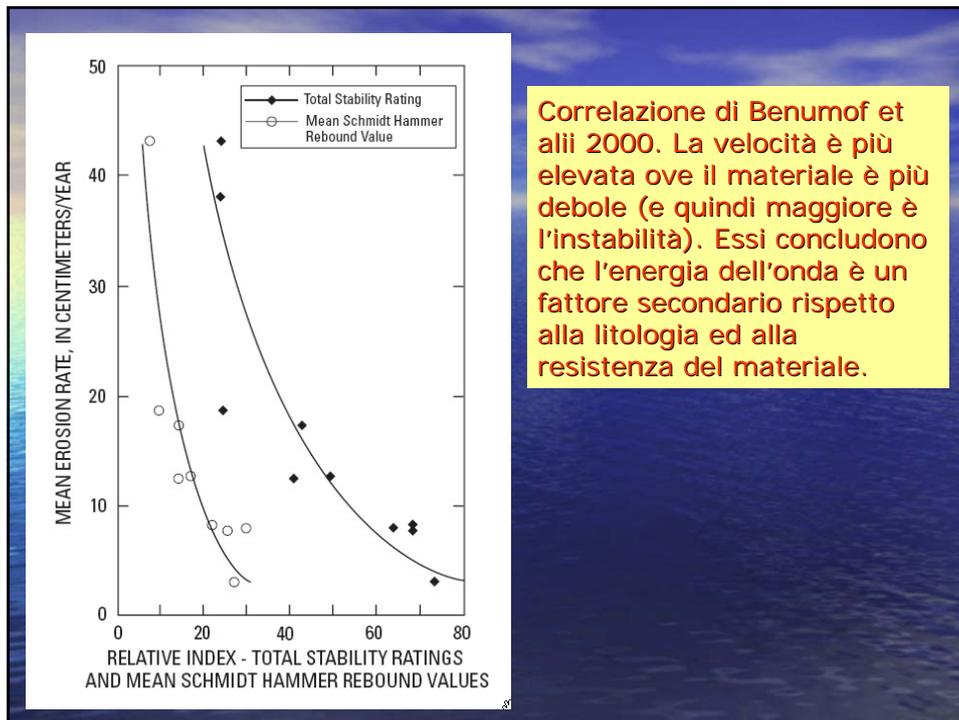
Benumof ed altri 2000, propongono un metodo basato sul confronto della velocità di arretramento con la resistenza a compressione del materiale

Essi hanno trovato una correlazione inversa tra la velocità di arretramento, la resistenza a compressione e le condizioni di stabilità di falesie lungo un tratto di costa della California dove le proprietà del materiale sono molto variabili.

Classificazione semiquantitativa della stabilità delle falesie, sviluppata da Benumof & Griggs (1999). Il punteggio totale indica il grado di stabilità della falesia.

Parametro	Definizione					
	Molto resistente (>25)	Resistente (25 - 20)	Moderata (20 - 15)	Debole (15 - 10)	Molto debole (10 - 0)	Pseudocoerente
Res. roccia intatta (*)						
Rating	20	18	14	10	5	0
Alterazione roccia	Inalterata	Debolmente	Moderatamente	Altamente	Completamente	Completamente
Rating	10	9	7	5	3	0
Spaziatura fratture	> 3 m	3 - 1 m	1 - 0,3 m	300 - 50 mm	< 50 mm	infinita
Rating	30	28	21	15	8	5,5
Orientazione fratture	Molto fav., immerge nel pendio, fratture indentate	Favorevole, debolmente immergente nel pendio	Media, orizzontale o quasi verticale (solo per rocce dure)	Sfavorevole, debolmente immergente verso il pendio	Molto sfavorevole, molto inclinata verso il pendio	Estremamente sfavorevole
Rating	20	18	14	9	5	3
Apertura fratture	< 0,1 mm	0,1 - 1 mm	1 - 5 mm	5 - 20 mm	> 20 mm	Pseudocoerente
Rating	7	6	5	4	2	1
Continuità fratture	Non continue o ben cementate	Poco continue o parzialmente cementate	Continue, senza materiali di riempimento	Continue, sottili riempimenti	Continue, potenti riempimenti	Continue
Rating	7	6	5	4	1	1
Acque sotterranee	Assenti	Tracce, isolati stillicidi	Moderata, parete umida con pochi stillicidi puntuali	Moderata, molti stillicidi con acqua fluente	Molta acqua sorgente	-
Rating	6	5	4	3	1	0
Punteggio totale	100 - 91	90 - 71	70 - 51	50 - 26	< 26	< 10

(*) La resistenza della roccia intatta viene misurata mediante il martello di Schmidt. I valori tra parentesi rappresentano il numero di rimbalzo (N) dello sclerometro da roccia.



Un altro metodo euristico è quello proposto da Budetta et alii (2004) per l'individuazione e la perimetrazione della suscettibilità a franare delle falesie ricadenti nel territorio dell'A.d.B. Sinistra Sele

Viene utilizzato il metodo di Hudson, 1992 (metodo RES - Rock Engineering System).

Esso permette di indicizzare una serie di parametri ritenuti essenziali per l'instabilità e di ricavare un "INDICE DI INSTABILITA'".

Questo indice esprime la suscettibilità a franare delle falesie, in termini quantitativi ed in misura percentuale variabile da 1 a 100.

Il passo successivo è quello di attribuire, ai singoli parametri, i codici numerici degli attributi rilevati in campagna.

I valori dei codici sono:
 0 = neutrale;
 1 = contributorio;
 2 = essenziale per l'instabilità.

Esempio dei valori dei codici attribuiti ai parametri per le falesie in roccia

Altezza della falesia		Inclinazione della falesia		Esposizione della falesia	
Descrizione	Rating	Descrizione	Rating	Descrizione	Rating
< 5 m	0	< 30°	0	NW, N, NE	0
5 - 20 m	1	30° - 70°	1	E e W	1
> 20 m	2	> 70°	2	SW, S, SE	2

Giacitura degli strati		Fratturazione		Copertura vegetale	
Descrizione	Rating	Descrizione	Rating	Descrizione	Rating
Reggipoggio o Caotica	0	Assente	0	Assente	0
Traversopoggio	1	Media	1	Apparati radicali superficiali	1
Franapoggio	2	Intensa	2	Apparati radicali profondi	2

Intensità di pioggia attesa		Acque sotterranee		Moto ondoso	
Descrizione	Rating	Descrizione	Rating	Descrizione	Rating
0 mm/h	0	Assenti o non filtrate	0	Assente	0
fino a 20 mm/h	1	Umido	1	Occasionale	1
maggiore di 20 mm/h	2	Sorgenti	2	Persistente	2

Precedenti instabilità		Interventi antropici	
Descrizione	Rating	Descrizione	Rating
Stabile	0	Idonei	0
Quiescenti	1	Insufficienti	1
Frane attive	2	Assenti o inadeguati	2

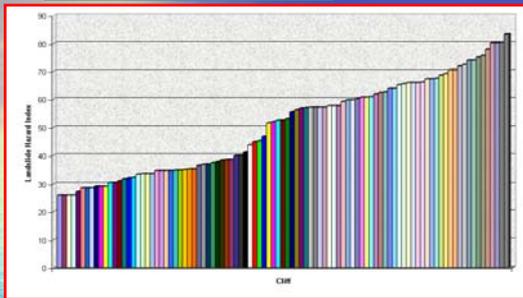
Classi di valori e relativi codici per ciascun parametro utilizzato per lo studio della stabilità delle falesie in roccia

L'indice di instabilità viene calcolato, a questo punto, in base alla seguente formula:

$$I.I. j = \sum_i (a_i * P_{ij})$$

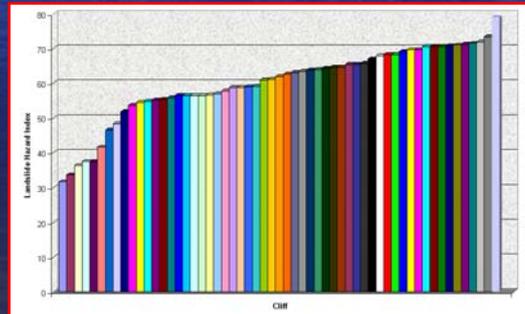
dove: i si riferisce ai parametri (da 1 a 11 o 12); j si riferisce alle falesie studiate (da 1 a n); a_i è il valore scalato C+E per ciascun parametro; P_{ij} è il codice assegnato a differenti classi di valori dei parametri ed è diverso per differenti falesie (i esima falesia).

Tutte le falesie in roccia



Vengono quindi costruiti degli istogrammi che rappresentano la variazione dei valori degli indici di instabilità per le falesie studiate

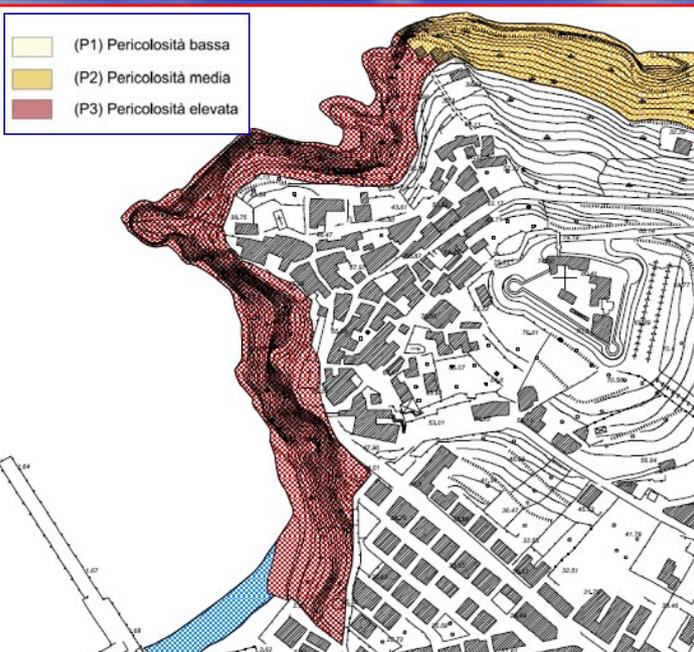
Tutte le falesie in flysch



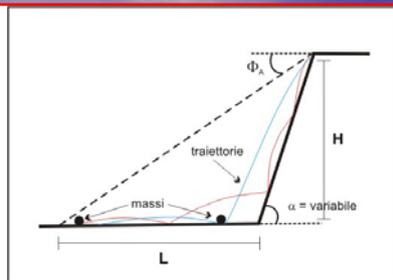
Ed infine sono definiti intervalli dei valori degli indici di instabilità, associandoli a 3 classi di pericolosità (suscettibilità a franare)

- **Classe P1:** Aree a moderata suscettibilità da frana, con indici di instabilità (I.I.) compresi tra 26 e 40 % nei complessi lapidei (calcari, dolomie, calcari dolomitici, arenarie cementate) e tra 32 e 40 % in quelli terrigeni (flysch mesozoico – terziari).
- **Classe P2:** Aree a media suscettibilità da frana, con indici di instabilità (I.I.) compresi tra 41 e 60 % sia nei complessi lapidei che in quelli terrigeni.
- **Classe P3:** Aree ad elevata suscettibilità da frana, con indici di instabilità (I.I.) compresi tra 61 e 83 % nei complessi lapidei (calcari, dolomie, calcari dolomitici, arenarie cementate) e tra 61 e 79 % in quelli terrigeni (flysch mesozoico – terziari).

ESEMPIO DI STRALCIO DELLA CARTA DELLA PERICOLOSITA'



Per una corretta perimetrazione, occorre tener conto non solo della maggiore o minore suscettibilità a franare delle falesie, ma anche delle zone al piede delle pareti che possono essere invase dai cumuli di frana e di possibili fenomeni retrogressivi che comportano l'arretramento del ciglio delle pareti stesse

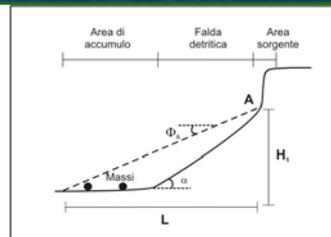


Schema di calcolo utilizzato per la stima della massima distanza di propagazione dei massi, nel caso di falesie senza depositi alla base. Legenda: H = altezza della falesia; L = distanza di propagazione; Φ_0 = angolo massimo di proiezione.

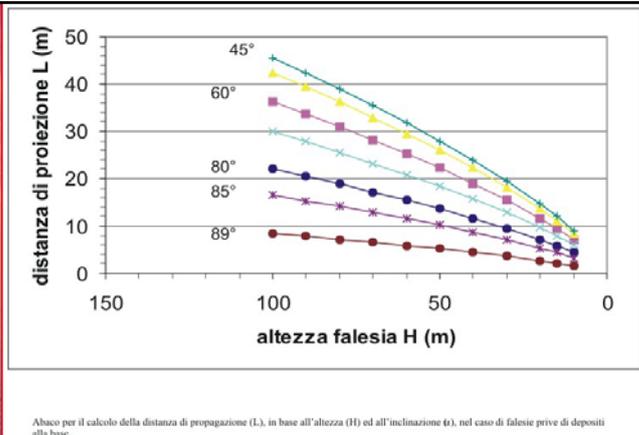
Primo modello

Per individuare l'estensione dell'area al piede delle falesie, che può essere invasa dai massi, possono essere utilizzati vari approcci tralettografici. Accanto si riportano due modelli, rappresentativi delle aree studiate

Secondo modello



Schema di calcolo utilizzato per la stima della massima distanza di propagazione dei massi, nel caso di falesie con depositi alla base. Legenda: H₁ = altezza del cono detritico; L = distanza di propagazione dall'apice del cono; A = apice del cono; Φ_0 = angolo massimo di proiezione.

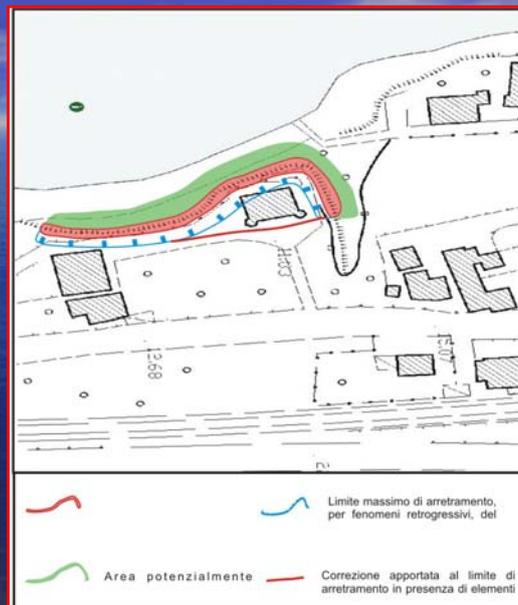


Nel caso del primo modello, è stato utilizzato l'approccio suggerito da Finlay et al. (1999). Per calcolare l'estensione dell'area di invasione (L) in funzione dell'altezza della parete (H) e della sua inclinazione (°), viene adoperata la seguente espressione:

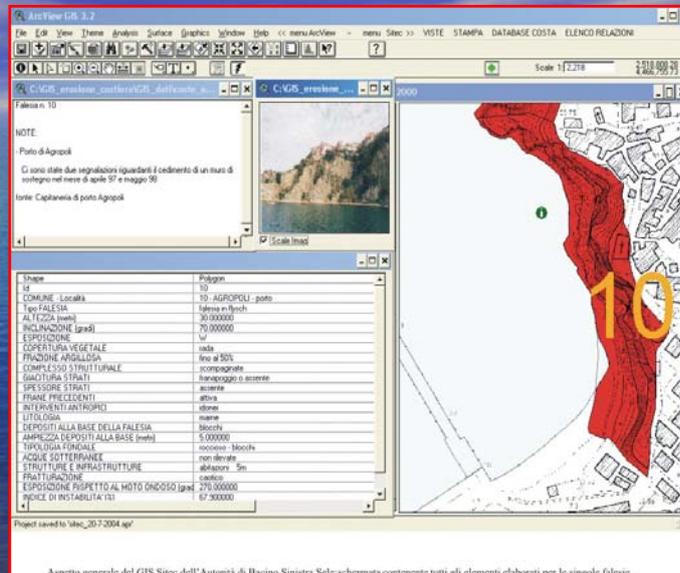
$$\text{Log } L = 0.253 + 0.703 \text{ Log } H - 0.417 \text{ Log } (\tan \alpha)$$

Per il secondo modello, è stato stimato un valore minimo dell'angolo di proiezione pari a 27.5°, sulla base dell'esperienza maturata e su dati di letteratura. (Lied, 1977).

La pericolosità, viene quindi estesa sia alle aree al piede delle falesie (che possono essere invase da massi) sia a quelle retrostanti il ciglio della falesia (che possono essere interessate da processi retrogressivi).



Tutti i dati di pericolosità, relativi alle falesie, alle aree di possibile invasione ed a quelle suscettibili di coinvolgimento per fenomeni retrogressivi, possono essere implementati opportunamente in un GIS. Aggiornati, di volta in volta, corretti, etc.



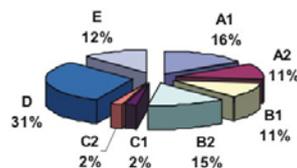
L'intero perimetro costiero di competenza ha una lunghezza di circa 118 km. Di questi, circa il 54 % è rappresentato da coste alte a falesie o versanti acclivi; il resto è formato da coste sabbiose e ciottolose o *pocket beach*.

Lo studio geomorfologico e geologico è stato svolto alla scala 1/5000.

Per le falesie, invece, il rilievo ha richiesto un dettaglio molto maggiore (1/2000) e la raccolta di dati geostrutturali e geomeccanici.

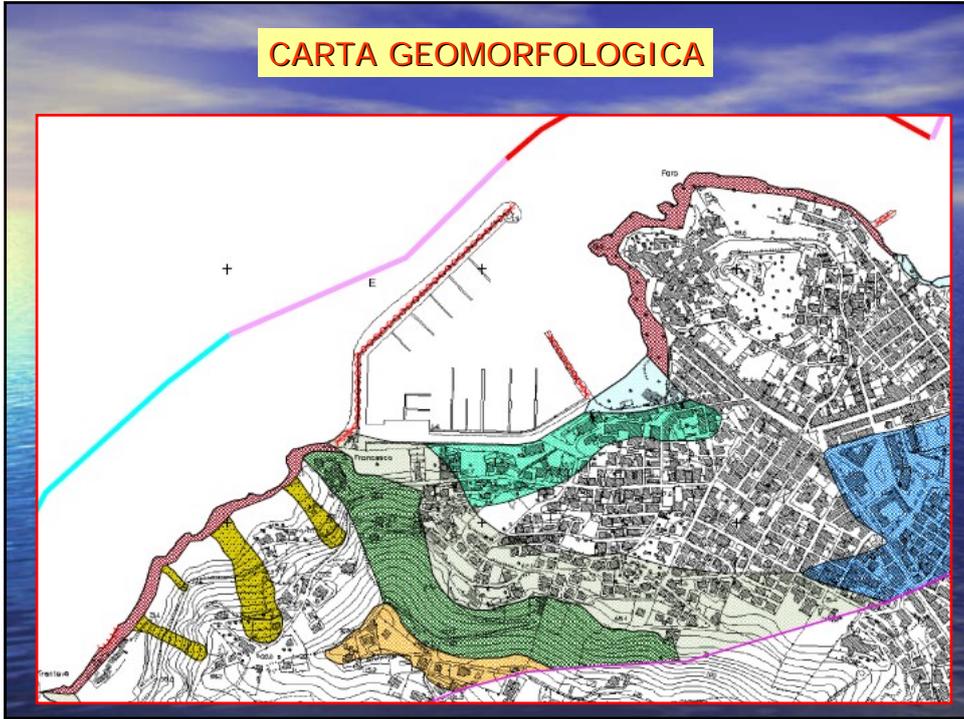
Distribuzione percentuale delle tipologie di costa

Lunghezza totale km 117,75

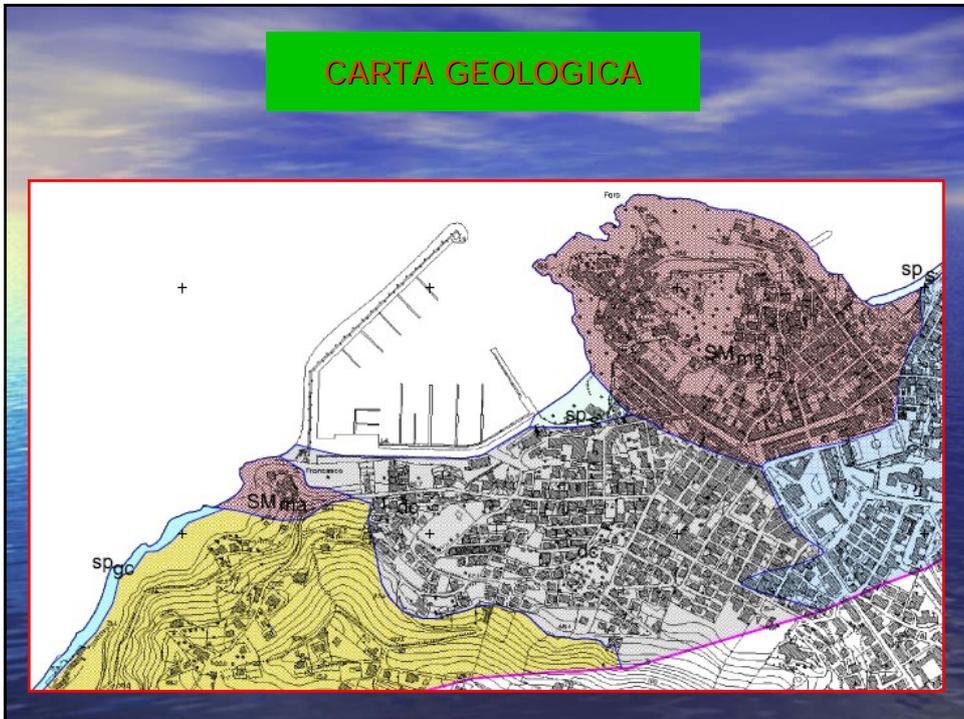


Distribuzione percentuale delle tipologie di costa presenti nel territorio di competenza dell'Autorità di Bacino Sinistra Sele. Legenda: A1 = Costa a falesia priva di depositi alla base; A2 = Costa a falesia con depositi alla base; B1 = Costa a falesia priva di depositi alla base; B2 = Costa a falesia con depositi alla base; C1 = Pocket beach con falesia fossile retrorstante; C2 = Pocket beach con falesia attiva; D = Costa sabbiosa e ciottolosa; E = Costa antropizzata (porti, barriere e scogliere).

CARTA GEOMORFOLOGICA



CARTA GEOLOGICA



Questi approcci euristici hanno il vantaggio di essere applicabili su aree vaste (per scopi di pianificazione territoriale).

I limiti sono dati dal fatto che essi sono soggettivi (affidati all'esperienza dei rilevatori) e semiquantitativi.

Per studi di dettaglio (su falesie singole) essi possono essere utilizzati solo in via preliminare e in previsione di studi di maggior dettaglio.

Questi ultimi devono essere condotti sulla base di accurati dati meteomarinari, geologici, geomorfologici e geotecnici.

Un esempio è offerto da Budetta et alii (2000)

Lo spunto è ancora una volta suggerito da Sunamura, secondo il quale:

$$F_w = A \rho g h$$

$$F_r = B \sigma_c$$

F_w = energia dell'onda alla base della falesia

F_r = resistenza meccanica del materiale

A, B
costanti empiriche adimensionali

F_r è sostituito dall'RMi (Palmstrom, 1995), in quanto concettualmente simile. Questo è un approccio essenzialmente geomeccanico che viene condotto in sito sulla base di rilievi geostrutturali di dettaglio

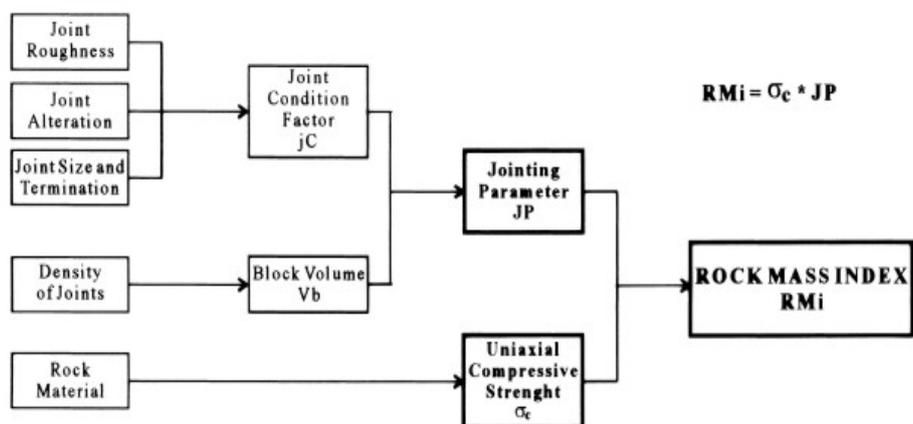


Fig. 2. The principle of the RMi characterising the material properties of a rock mass. [modified after Palmstrom (1995)].

L'obiettivo è quello di calcolare l'energia dell'onda incidente (F_w) in grado di innescare erosione sulla falesia.

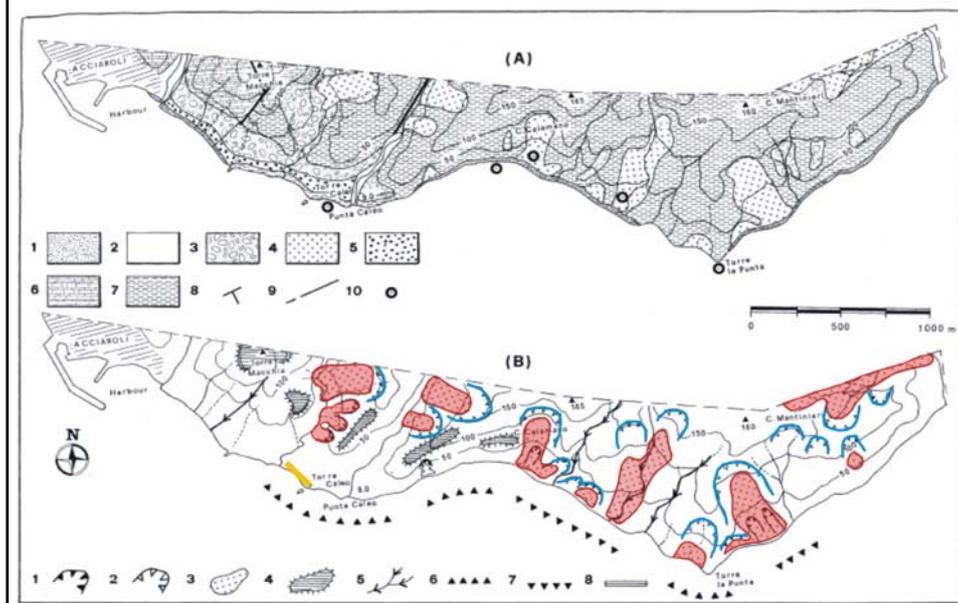
F_w viene calcolata, indirettamente, posto:

$$R = K \ln(F_w / F_r)$$

dove K è una costante con le dimensioni fisiche di una velocità.

Si tratta quindi di una relazione lineare, semilogaritmica, tra la velocità di erosione (R) – nota perché misurata – l'energia dell'onda (F_w) – **incognita** - e la resistenza a compressione dell'ammasso (F_r) – nota perché misurata.

L'area studiata è quella di Acciaroli dove affiorano terreni flyschoidi e strutture antropiche (difese radenti).



Le caratteristiche meteomarine del paraggio (al largo) sono note.

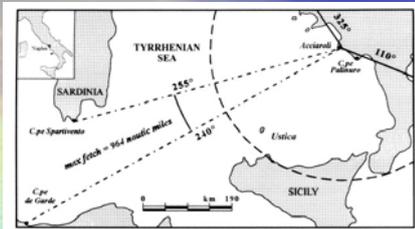


Fig. 3. The location of the study area showing the sectors of maximum fetch and its maximum geographical length.

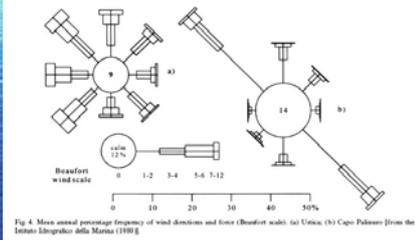


Fig. 4. Mean annual percentage frequency of wind directions and force (Beaufort scale). (a) Ustica; (b) Capo Palosani [from the Istituto Idrografico della Marina (1989)].

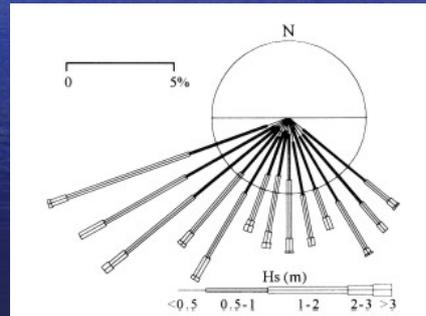


Fig. 7. Rose diagram for wave conditions in deep water and the relative mean annual percentage frequencies of the significant wave heights (H_s) [Aeronautica Militare Italiana (1990)].

Le velocità di arretramento (R) viene stimata in base al confronto tra foto aeree e misurando gli effetti del moto ondoso su terreni e strutture antropiche di cui si conosce l'epoca di realizzazione (difese radenti)



Fig. 10. Landslide debris related to rotational landslide triggered by foot erosion near Capo Calamano.

Arretramento del cumulo di frana, nel tempo

Solco di erosione sul calcestruzzo del muro



Fig. 15. Eighteen year old concrete sea wall at Torre Calce with a 50 cm head notch.

Effetti dell'erosione su strutture antropiche

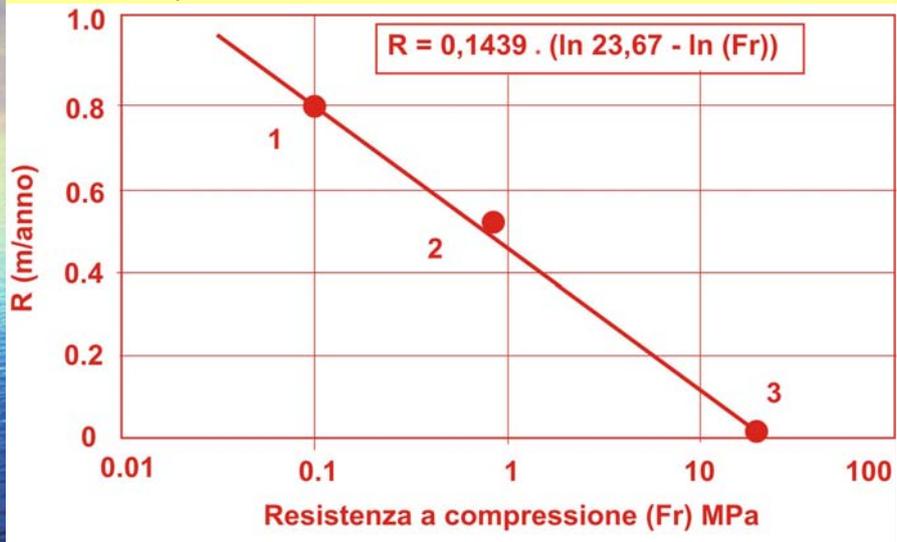


I valori della resistenza a compressione dell'ammasso (flysch marnoso delle "Crete Nere") vengono ricavati mediante rilievi geomeccanici in sito, sulla base del metodo suggerito da Palmstrom.

Table 4
RMi and constants in the Hoek and Brown failure criterion values for the siltstones of the 'Crete Nere Formation', uniaxial compressive strength of the rock (σ_c)=80 MPa

J_p	RMi (MPa)	m_i -factor (for intact rock)	s -value	m_b -value (for undisturbed rock mass)
0.0025	0.20	9.60	1×10^{-5}	0.21
0.0099	0.79	9.60	1×10^{-4}	0.50
0.0570	4.56	9.60	3.2×10^{-3}	1.53

La correlazione lineare tra resistenza a compressione dell'ammasso e velocità di arretramento, permette di ricavare F_w (ca 24 MPa)



1 = cumuli di frana; 2 = flysch "Crete Nere"; 3 = calcestruzzo

L'energia media dell'onda sotto costa ($F_w = 24 \text{ MPa}$), in grado di produrre erosione (arretramento), è in realtà il prodotto del valore medio della pressione idraulica esercitata nel tempo (circa 20 anni) x una costante (A) – incognita –

Questa costante tiene conto dell'effetto abrasivo (corrasione) dei sedimenti sabbioso – ciottolosi proiettati dalle onde sulla roccia

L'approccio adoperato ha validità locale e i risultati non possono essere estrapolati ad altre aree, ove il regime del moto ondoso può essere del tutto differente.

CONCLUSIONI

Lo studio dei processi erosivi sulle falesie (genericamente sulle coste alte) è ancora ai primi passi.

Esistono ancora molte incertezze dovute alle tante variabili da prendere in considerazione.

Le difficoltà maggiori dipendono dalla scarsa conoscenza del regime meteomarinico (energia delle onde sottocosta) e dalle incertezze circa la caratterizzazione geomeccanica della roccia.

Poiché gli approcci geomeccanici sono ancora "rudimentali", si preferisce di gran lunga lo studio geomorfologico.

Malgrado le incertezze, è necessario approfondire la ricerca soprattutto per poter fornire risposte soddisfacenti alle richieste sempre più pressanti di definizione dello stato di pericolosità e rischio della costa, in vista della programmazione di idonei interventi.