

Il Progetto “NEWS”

IL MONITORAGGIO E LA GESTIONE DEI RISCHI COSTIERI

Criteria per l'Analisi della Stabilità di Coste Alte

Francesco Castelli



Facoltà di Ingegneria e Architettura - Università di Enna “Kore”

29 Gennaio 2021 - Fondazione Ordine degli Ingegneria di Catania

Coste Alte e Pareti Rocciose

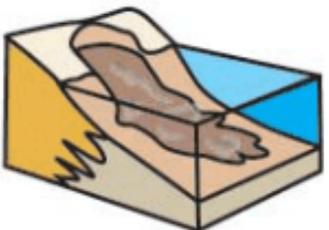
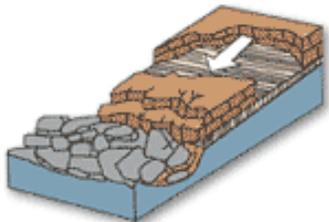
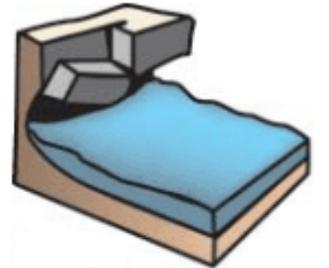
- Nel caso delle **coste alte** rocciose occorre distinguere tra:
 - ✓ situazioni più direttamente connesse alla potenziale franosità dei versanti costieri, connaturata alla natura stessa dei corpi rocciosi e detritici;
 - ✓ situazioni più chiaramente correlate all’azione dinamica del moto ondoso.

Nel **primo caso** le dinamiche evolutive dei fronti rocciosi sono legate alle proprietà meccaniche degli ammassi, alla condizione strutturale, ed alle forme di alterazione.

Nel **secondo caso** è l’azione idrodinamica del moto ondoso a determinarne la modellazione.

Tra questi meccanismi si possono verificare più **legami di interconnessione**.

- Non sempre questi legami sono presi in considerazione, di conseguenza ci si può trovare in situazioni in cui la presenza di tratti di costa a media/elevata pericolosità **sono ignorati negli strumenti pianificatori**, ed altri con vincoli e limiti di utilizzo che **potrebbero essere eliminati** se adeguatamente studiati.



Coste Alte e Pareti Rocciose

COSTE ALTE

**Analisi delle
Criticità**

**Indagini e
Prove**

Monitoraggio

**Strategie di
Intervento**



Coste Alte e Pareti Rocciose

COSTE ALTE

Analisi delle Criticità

Indagini e Prove

Monitoraggio

Strategie di Intervento

- La morfologia costiera è correlata all’interazione di processi gravitativi e marini che agiscono sulle litologie affioranti, ma è difficile definire con certezza in quale misura i fattori scatenanti influiscano nel sistema.
- I movimenti franosi sono i principali agenti di modellazione dei versanti costieri.
- I crolli che si verificano lungo le coste alte sono episodici, discontinui nel tempo e si verificano soprattutto negli ammassi rocciosi molto fratturati in concomitanza di forti mareggiate.
- Gli eventi erosionali sono prevalentemente generati dall’azione meccanica delle acque dilavanti (precipitazioni intense) e dall’interazione del moto ondoso con la falesia.
- Questi processi sono influenzati dalla degradazione fisico-meccanica delle rocce.

Coste Alte e Pareti Rocciose

COSTE ALTE

Analisi delle Criticità

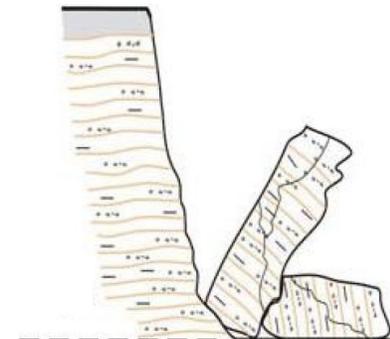
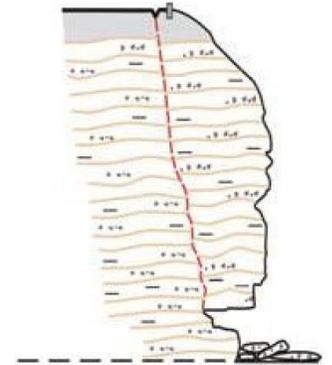
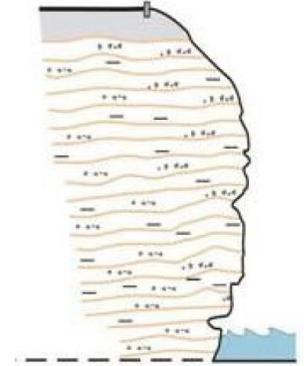
Indagini e Prove

Monitoraggio

Strategie di Intervento

ASPETTI DELLO STUDIO :

- **Analisi Geomorfologica**
- **Indagini e Prove** per la caratterizzazione delle coste alte
- **Definizione del Rapporto Causa - Effetto:** Interventi antropici e processi erosivi
- **Individuazione delle Criticità Costiere :** Valutazione della stabilità di coste alte
- **Monitoraggio** di pareti rocciose ed opere costiere
- **Analisi delle Criticità :** **Azioni/Misure** per il contrasto all'erosione delle coste alte rocciose



COSTE ALTE

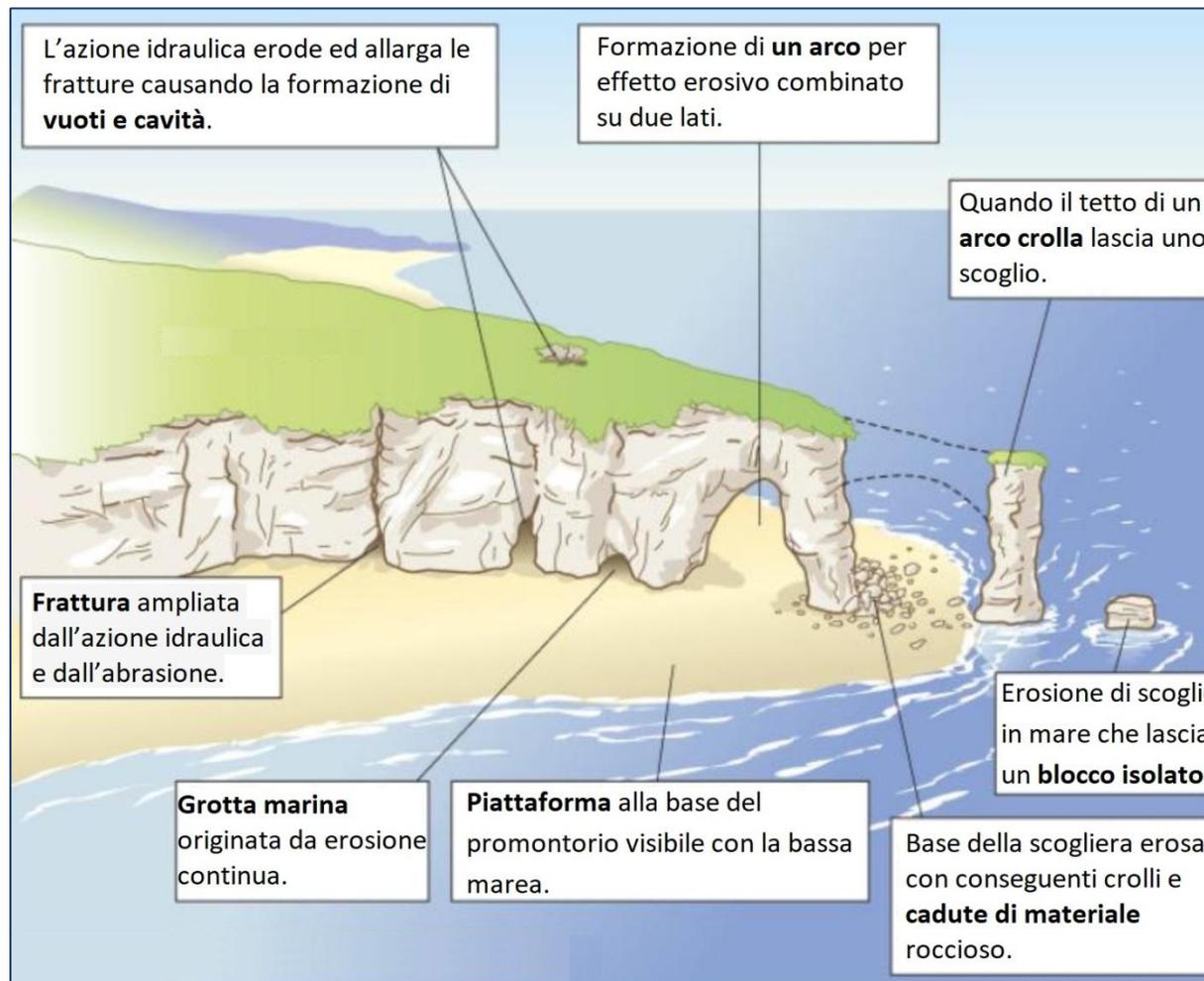
**Analisi delle
Criticità**

**Indagini e
Prove**

Monitoraggio

**Strategie di
Intervento**

Caratteristiche Morfologiche di una Costa Alta in Erosione



(GCSE - Geography - Revision Guide Coasts, 2010, modificata)

Interazione di processi "marini" e "terrestri" che determinano più condizioni di instabilità

COSTE ALTE

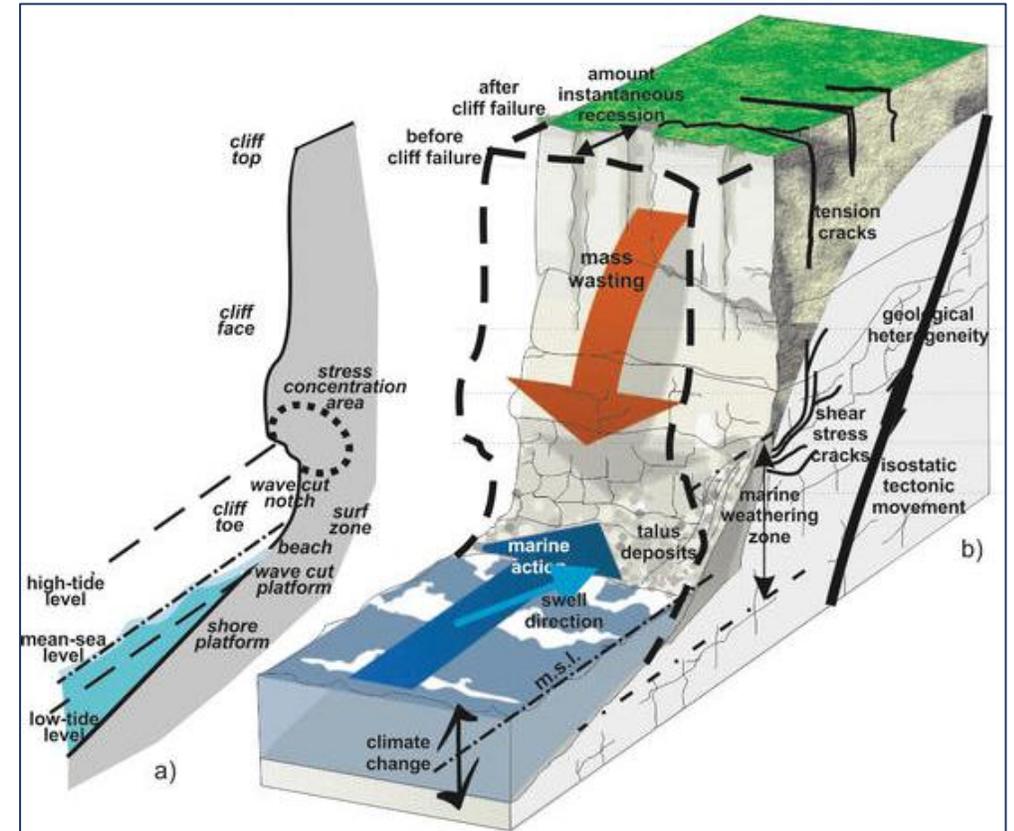
Analisi delle
Criticità

Indagini e
Prove

Monitoraggio

Strategie di
Intervento

- **Forme di alterazione** indotte dallo spray marino, dagli agenti atmosferici, dalle acque di dilavamento, dall'azione idrodinamica del moto ondoso.
- **Dinamiche evolutive** legate alle proprietà meccaniche degli ammassi, alla condizione strutturale, alla giacitura delle discontinuità, al grado di fratturazione.
- ✓ situazioni più direttamente connesse alla potenziale "naturale" franosità dei corpi rocciosi e detritici;
- ✓ situazioni più chiaramente correlate all'**azione dinamica del moto ondoso**.



Azione del moto ondoso alla base di una falesia:
(a) concentrazione di sforzi, (b) crolli e cadute di materiale
(Castedo et al., 2017)

COSTE ALTE

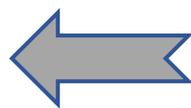
Analisi delle Criticità

Indagini e Prove

Monitoraggio

Strategie di Intervento

Il modello di indagine deve essere includere la tipologia di indagine in funzione delle caratteristiche e dei parametri da rilevare ed i relativi prodotti attesi



Indagini e Prodotti Attesi

Caratteristiche	Tipologia di Indagine	Prodotto Atteso
Dati Esistenti	<i>Analisi ed integrazione dei dati esistenti</i>	Geodatabase e modelli cartografici
Morfologiche	<i>Remote Sensing, Rilievi Batimetrici</i>	DTM parte emersa e morfologia parte sommersa
Analisi multitemporale	<i>Analisi delle foto aeree</i>	Modello della variazione della linea di costa
Geologico-Strutturali	<i>Rilievi di campo, Remote Sensing, Foto-analisi</i>	Modello Geologico Strutturale
Geomorfologiche	<i>Rilievi di campo, Remote Sensing, Foto-analisi, Rilievi in immersione</i>	Modello Geomorfologico
Geomeccaniche	<i>Rilievi sul campo, Remote Sensing, Foto-analisi, Analisi in situ e di laboratorio</i>	Modello Geomeccanico
Geotecniche	<i>Analisi in situ e di laboratorio</i>	Modello Geotecnico
Idrogeologiche	<i>Rilievi di campo, Remote Sensing</i>	Modello Idrogeologico
Climatiche	<i>Analisi pluviometriche delle serie storiche</i>	Soglie Pluviometriche
Moto Ondoso	<i>Misure dirette e indirette</i>	Caratterizzazione energetica del moto ondoso

COSTE ALTE

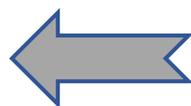
Analisi delle Criticità

Indagini e Prove

Monitoraggio

Strategie di Intervento

La fase di indagine deve valutare gli elementi ed i parametri essenziali per la definizione delle caratteristiche geomeccaniche degli ammassi rocciosi



Rilevamento dell'Ammasso

Oggetto	Metodi	Strumenti
<p><u>Natura delle discontinuità:</u> <i>stratificazione, faglie, fratture, diaclasi, foliazione, clivaggio, giunti da raffreddamento</i></p>	<p>Rilevamento geomeccanico diretto e indiretto (Fotogrammetria, Laser Scanner, Foto-analisi, Termografia ad infrarosso)</p>	<p>Misure dirette (sclerometro) e indirette tramite <i>remote sensing</i> (UAV, laser scanner, stereovisori, fotocamere digitali e termocamere), Software modellazione 3D, ecc.</p>
<p><u>Geometria delle discontinuità:</u> <i>direzione, immersione, inclinazione</i></p>		
<p><u>Caratteristiche delle discontinuità:</u> <i>spaziatura, JRC, persistenza, apertura, ampiezza, riempimento, alterazione, condizioni idrauliche, resistenza a compressione delle pareti, alterazione</i></p>		
<p><u>Proprietà fisiche:</u> <i>peso di volume, porosità, coefficiente di imbibizione, grado di compattezza</i></p>	<p>Analisi di Laboratorio</p>	<p>Bilancia idrostatica, porosimetro, ecc.</p>
<p><u>Proprietà meccaniche:</u> <i>resistenza a compressione monoassiale, resistenza alla trazione, resistenza alla flessione, moduli di elasticità</i></p>		<p>Point Load Test, compressione monoassiale, prove di taglio diretto e triassiale, slake durability, tilt test, ecc.</p>

COSTE ALTE

Analisi delle Criticità

Indagini e Prove

Monitoraggio

Strategie di Intervento

Lo studio del comportamento di una costa rocciosa all’azione delle onde del mare risulta molto complesso poiché sono numerose le variabili in gioco.

Le incertezze derivano:

- dalla stima dell’energia posseduta dalle onde **prima dell’impatto** contro l’ammasso roccioso;
- dalla stima della resistenza strutturale **dell’ammasso stesso**.

Le valutazioni sono in genere finalizzate all’analisi dei processi legati alla meccanica delle rocce, dovrebbero ulteriormente considerare:

- l’interazione della costa con il moto ondoso (che richiede specifiche analisi ed indagini mirate) e soprattutto le dinamiche dell’ambiente sommerso, anche con l’ausilio di indagini integrate multidisciplinari, che considerino gli ambienti emerso e sommerso in un unico sistema (di dinamiche evolutive).

NEWS

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale
European Regional Development Fund

COSTE ALTE

Analisi delle Criticità

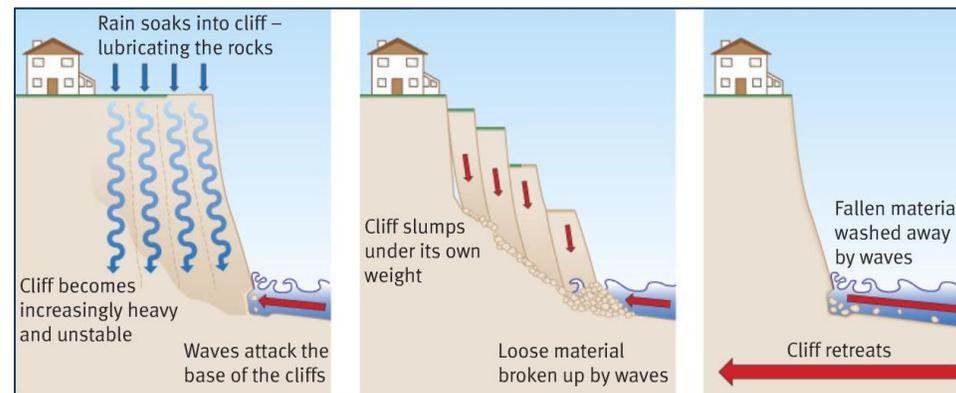
Indagini e Prove

Monitoraggio

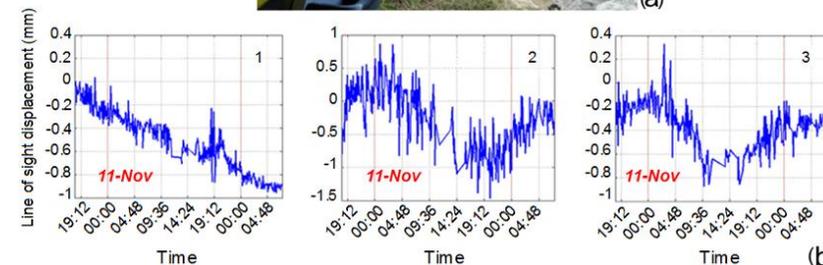
Strategie di Intervento

La conduzione delle **fasi precedenti** può essere accompagnata dai risultati delle **misure** provenienti da **sistemi di monitoraggio**, che oltre a fornire in **tempo quasi reale** le condizioni del sistema naturale o delle opere che vi insistono, permettono l'acquisizione di informazioni utili **ad alimentare**

Modelli di Previsione



Azione del moto ondoso sulla falesia



Esempio di monitoraggio di una falesia

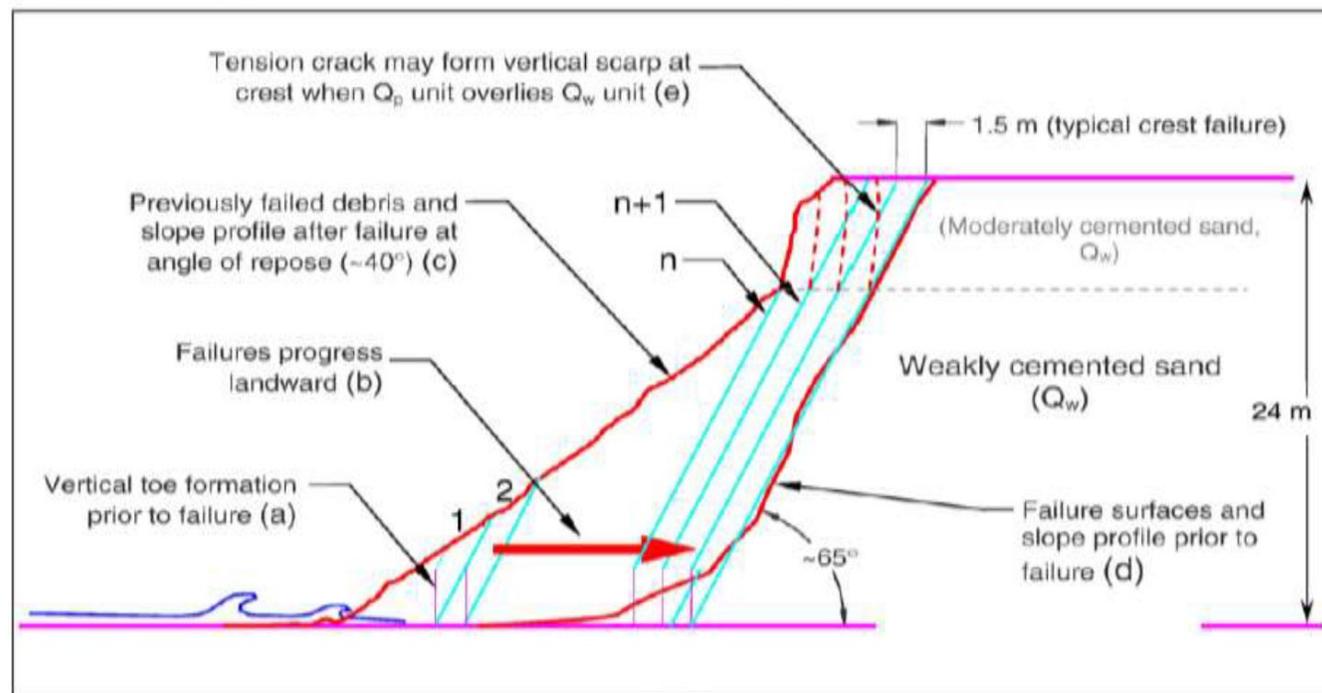
NEWS

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale
European Regional Development Fund

✓ Negli ultimi anni, grazie alle tecniche di telerilevamento, alla fotogrammetria digitale, al LIDAR (Light Detection and Ranging), anche integrati con l'uso di tecniche GIS, si sono **sviluppate metodologie di indagine** che analizzano nel dettaglio le **frane sulle coste alte rocciose**.

✓ Alcuni di questi studi più recenti correlano tra loro:

- **l'interazione del moto ondoso con la suscettività da frana;**
- **il tasso di erosione;**
- **la resistenza dell'ammasso roccioso.**

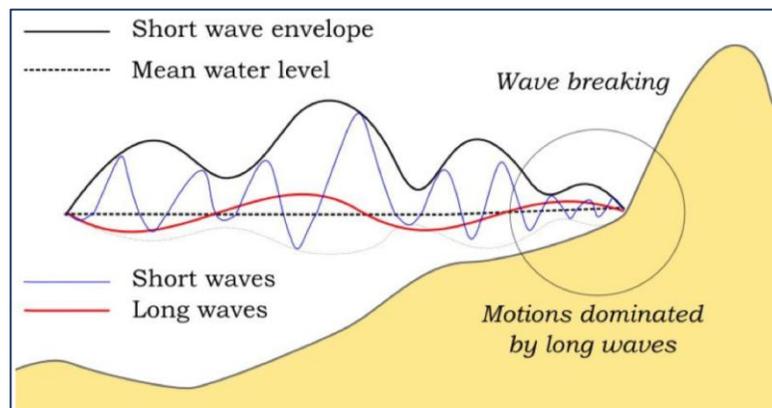
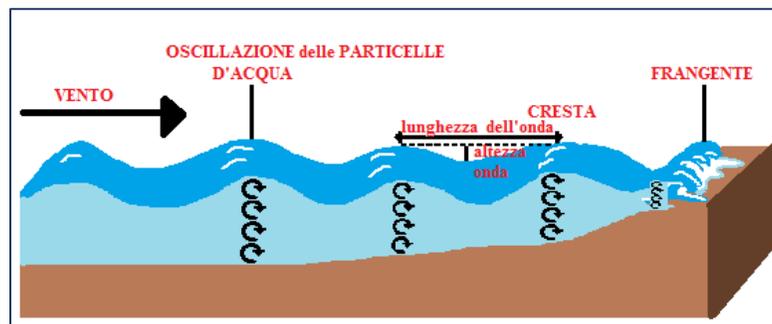


Modello di arretramento di una falesia indotto dall'azione del moto ondoso su dati LIDAR (Collins & Sitar, 2008).

NEWS

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale
European Regional Development Fund

- ✓ L'azione erosiva è influenzata dalla:
 - direzione di provenienza del moto ondoso;
 - esposizione ed inclinazione della parete rocciosa.
- ✓ L'arretramento della falesia si verifica quando la forza agente del moto ondoso è **superiore** alla resistenza della roccia.
- ✓ Se l'energia del moto ondoso è **inferiore** alla resistenza della roccia, si determina l'**alterazione della falesia** ad opera degli agenti subaerei, quali pioggia, vento, aerosol salato, aloclastismo e termoclastismo (Sunamura, 1992).



COSTE ALTE

Analisi delle
Criticità

Indagini e
Prove

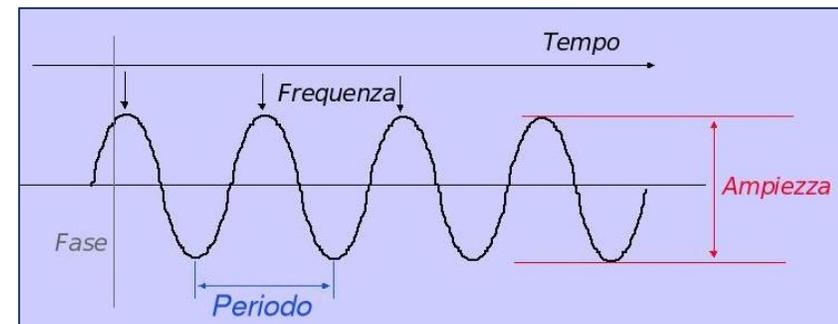
Monitoraggio

Strategie di
Intervento

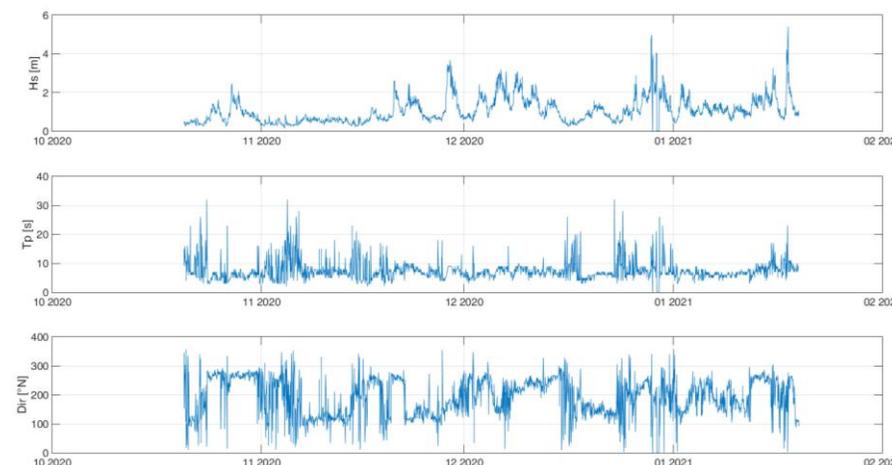
Parametri monitoraggio costituiti da:

- altezza d'onda significativa (H_{m0})
- periodo di picco dell'onda (T_p)
- periodo medio dell'onda (T_m)
- direzione media di provenienza del moto ondoso (Dir).

Questi parametri descrittivi derivano dall'osservazione in continuo della variazione della superficie del mare attraverso boe ondametriche direzionali vengono elaborati ad intervalli di tempo regolari.



Parametri del moto ondoso



Esempio di registrazioni - Boa Pozzallo (RG)

NEWS

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale
European Regional Development Fund

- ✓ Un metodo basato sulla correlazione tra tasso di erosione, resistenza della massa rocciosa ed effetti del moto ondoso è proposto da *Lucchetti et al.* (2014).
- ✓ Il metodo trae origine dalla nota classificazione geomeccanica fondata sull'indice "Slope Mass Rating" (SMR) (Romana, 1985; 1993).
- ✓ A partire dall'indice SMR l'approccio utilizza una classificazione modificata basata sull'indice "Sea Cliff Mass Rating" (SCMR), che permette di valutare gli aspetti dinamici mediante un parametro che tiene conto dell'azione del moto ondoso.
- ✓ L'azione del moto ondoso dipende dall'energia che l'onda esercita sulla parete rocciosa, dalle caratteristiche delle onde e dalla profondità del fondale.

PARAMETRI	INTERVALLI VALORI				
	> 250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa
resist. compress. R1: valori parametro	15	12	7	4	2
R.Q.D. (%)	90-100	75-90	50-75	25-50	<25
R2: valori parametro	20	17	13	8	3
spaziatura discontinuità R3: valori parametro	> 2 m	0,6-2,0 m	0,2-0,6 m	0,06-0,2 m	< 0,06 m
persistenza/continuità R4: valori parametro	< 1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	>20 m
apertura delle discontinuità R4: valori parametro	nessuna	<0,1 mm	0,1-1,0 mm	1-5 mm	> 5 mm
rugosità del giunto R4: valori parametro	6	5	4	1	0
tipo di riempimento R4: valori parametro	molto rugoso	rugoso	leggerm.rugoso	liscio	levigato
alterazione del giunto R4: valori parametro	6	5	3	1	0
condizioni idrauliche R5: valori parametro	nessuno	duro < 5 mm	duro > 5 mm	mollo < 5 mm	mollo > 5 mm
	6	4	2	2	0
	non alterato	legger. alterato	moderat.alterato	molto alterato	degradato
	6	5	3	1	0
	asciutto	umido	bagnato	stillicidio	venute d'acqua
	15	10	7	4	0
FATTORI PER GIUNTI	INTERVALLI VALORI				
rottura planare/cuneo ($\alpha_j - \alpha_f$) ribaltamento ($\alpha_j - \alpha_f - 180$) F1	> 30°	30° - 20°	20° - 10°	10° - 5°	< 5°
	0,15	0,4	0,7	0,85	1
rottura planare/cuneo (β_j) F2 piano/cuneo F2 ribaltamento	< 20°	20° - 30°	30° - 35°	35° - 45°	> 45°
	0,15	0,4	0,7	0,85	1
rottura planare/cuneo ($\beta_j - \beta_f$) ribaltamento ($\beta_j + \beta_f$) F3	> 10°	10° - 0°	0°	0° - (-10°)	< -10°
	< 110°	110° - 120°	> 120°	#	#
	0	-6	-25	-50	-60
condizioni falesia F4 _m	pendio naturale	interventi minimi	interventi di media entità	interventi di grande entità	tagliato artificialmente/cave
	15	10	8	5	0
energia dell'onda (M1) punteggio	onde frante E<30	onde frante E>30	onde frangenti E<15	onde frangenti 15<E<30	onde frangenti E>30
	1	2	4	6	8
energia parete (M2) punteggio	0-30	30-55	55-70	70-90	90
	0	1	3	5	7
θ moto ondoso (M3) punteggio	0-25	25-50	50-70	70-90	90
	0	3	5	8	10
Totale (M)	1	6	12	19	25

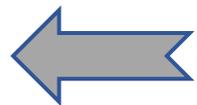
Classificazione Sea Cliff Mass Rating (SCMR) (Lucchetti et al., 2014)

Strategie di Intervento

Le strategie di intervento devono essere principalmente finalizzate:

- ✓ all’analisi dei dissesti al fine di individuare le scelte più adeguate per la soluzione delle criticità rilevate;
- ✓ a mitigare la possibilità del verificarsi di fenomeni di crollo mediante interventi conservativi di tipo attivo e/o passivo;
- ✓ a distinguere tra le situazioni più direttamente connesse alla franosità dei versanti connaturata alla natura degli ammassi rocciosi ed agli effetti atmosferici e quelle più chiaramente correlate all’azione del moto ondoso.

Poiché tra queste situazioni si possono verificare meccanismi di interconnessione, la scelta della **strategia di intervento** non potrà prescindere dall’accertare preventivamente se le soluzioni da mettere in atto possano essere limitate al solo ambito terrestre o se non sia necessario comprendere anche quello marino.



COSTE ALTE

**Analisi delle
Criticità**

**Indagini e
Prove**

Monitoraggio

**Strategie di
Intervento**