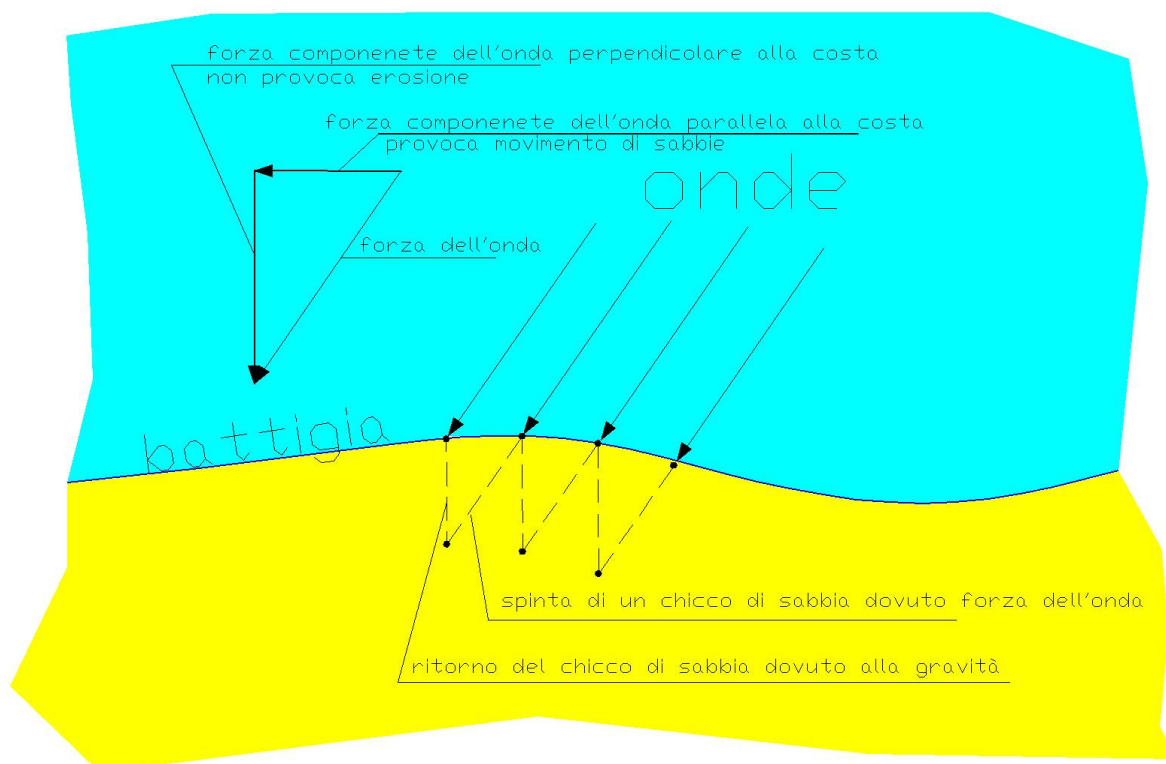


**OSSERVAZIONI SULLE CORRENTI DI FONDO E
SUL TRASPORTO SOLIDO**

Sulla base delle attuali conoscenze il trasporto solido avviene per effetto del moto ondoso. Tale modello prevede lo spostamento del materiale sabbioso secondo una traiettoria a “dente di sega” determinato dalle onde che, con una certa inclinazione rispetto la spiaggia, trasportano la sabbia obliquamente in direzione della battigia e successivamente ad opera della corrente di ritorno, perpendicolarmente alla costa, verso mare.

La direzione e la quantità di materiale spostato sono funzione rispettivamente dell'inclinazione delle onde rispetto alla spiaggia e dell'energia cinetica delle stesse.

1) SCHEMA TRASPORTO PER EFFETTO DEL MOTO ONDOSO



Per contrastare le erosioni delle spiagge, sulla base di questo principio generale, si sono sviluppati modelli matematici che permettono di tenere conto delle riflessioni e rifrazioni del moto ondoso in presenza di ostacoli e prevedere i conseguenti effetti sulla battigia e sui fondali. Questo principio, ha ispirato ed ispira tuttora, la progettazione con interventi finalizzati alla riduzione dell'energia cinetica delle onde; a tale scopo vengono normalmente utilizzate barriere soffolte o emerse o a ridurre direttamente il trasporto sulla battigia contrastandolo con pennelli trasversali ortogonali.

Da rilievi personalmente condotti in oltre venti anni di attività svolta nei comuni della Riviera Romagnola, è emerso che **la maggiore responsabile del trasporto solido è una corrente di fondo parallela alla costa.**

Tale ipotesi deriva dall'esperienza di monitoraggio su di alcuni Comuni della costa Romagnola.

Il monitoraggio, che continua tuttora, consiste in rilievi batimetrici ogni sei mesi sull'intera fascia comunale.

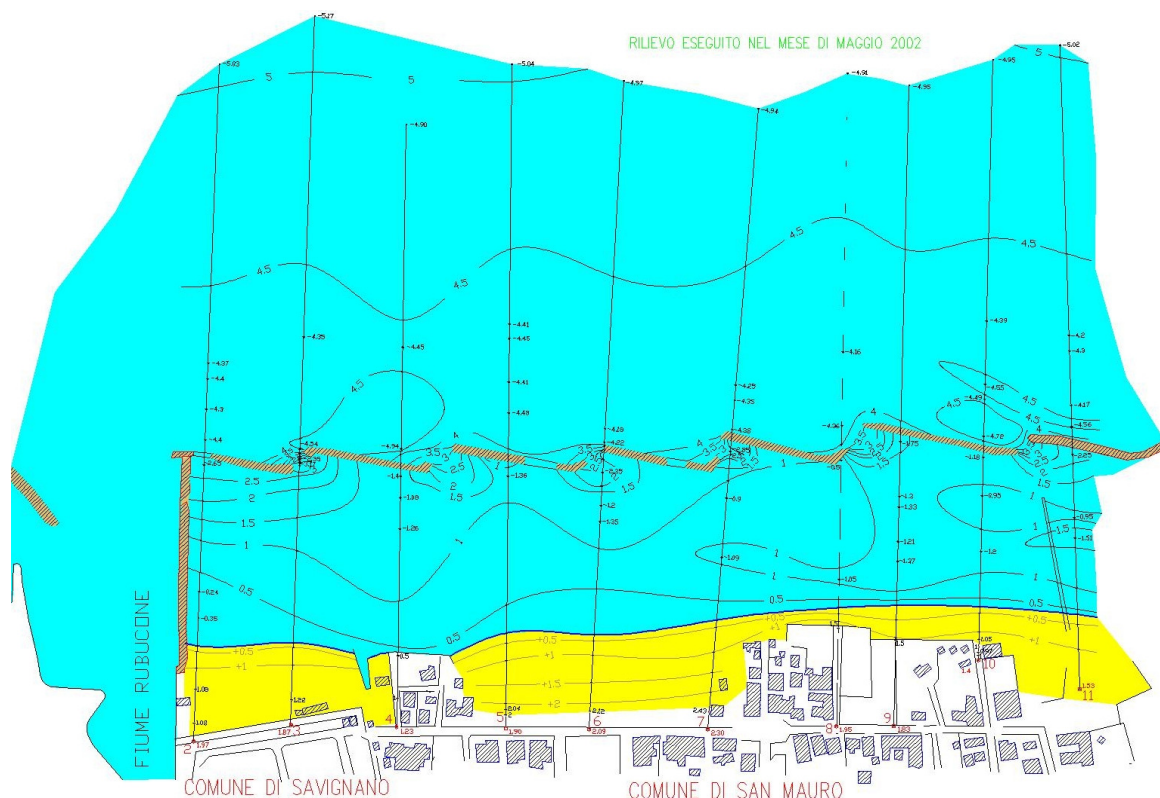
Un rilievo viene eseguito in più fasi:

- rilievo a terra con strumento topografico integrato (teodolite+distanziometro) con partenza da caposaldi (debitamente quotati) fino al primo metro di profondità in acqua, rilevando un numero di punti necessario per evidenziare l'andamento del profilo;
- rilievo al largo, con l'utilizzo di un'imbarcazione equipaggiata con computer di bordo a cui è interfacciato l'ecoscandaglio di precisione e il GPS differenziale, per la registrazione dei dati.

I profili eseguiti con l'ausilio dell'imbarcazione sono depurati degli errori derivanti dalle maree, le quali sono misurate durante l'arco di tempo delle operazioni in mare.

Si riproduce una carta batimetrica con i fondali quotati con delle isobate e delle isoipse. Tale carta può già, se vista con una certa ottica, evidenziare dove passano le correnti che trasportano le sabbie. La direzione di tale corrente nella riviera romagnola va, normalmente, da Sud a Nord.

2) ESEMPIO CARTA BATIMETRICA

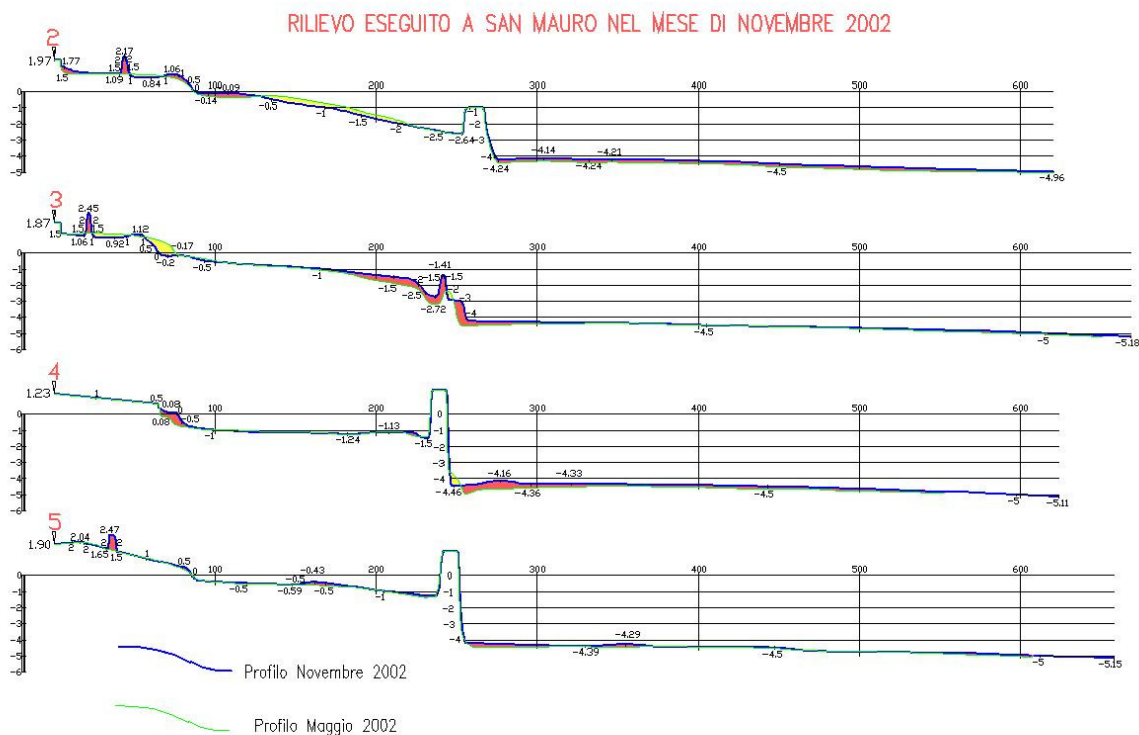


Si riproduce inoltre, compreso nel monitoraggio, la Carta delle Sezioni che mostra le sezioni eseguite. Dalla seconda campagna batimetrica è possibile sovrapporre evidenziandone i

cambiamenti. Colorando di rosso i depositi e di giallo le erosioni, si evidenziano le modifiche che normalmente si presentano più marcati vicino alla battigia e sempre più blandi man mano che andiamo fuori, dove la profondità dei fondali producono sempre meno energia.

Nella carta delle sezioni oltre a colorare i cambiamenti se ne quantificano misurandone le superfici e gli spessori lungo tutte le sezioni.

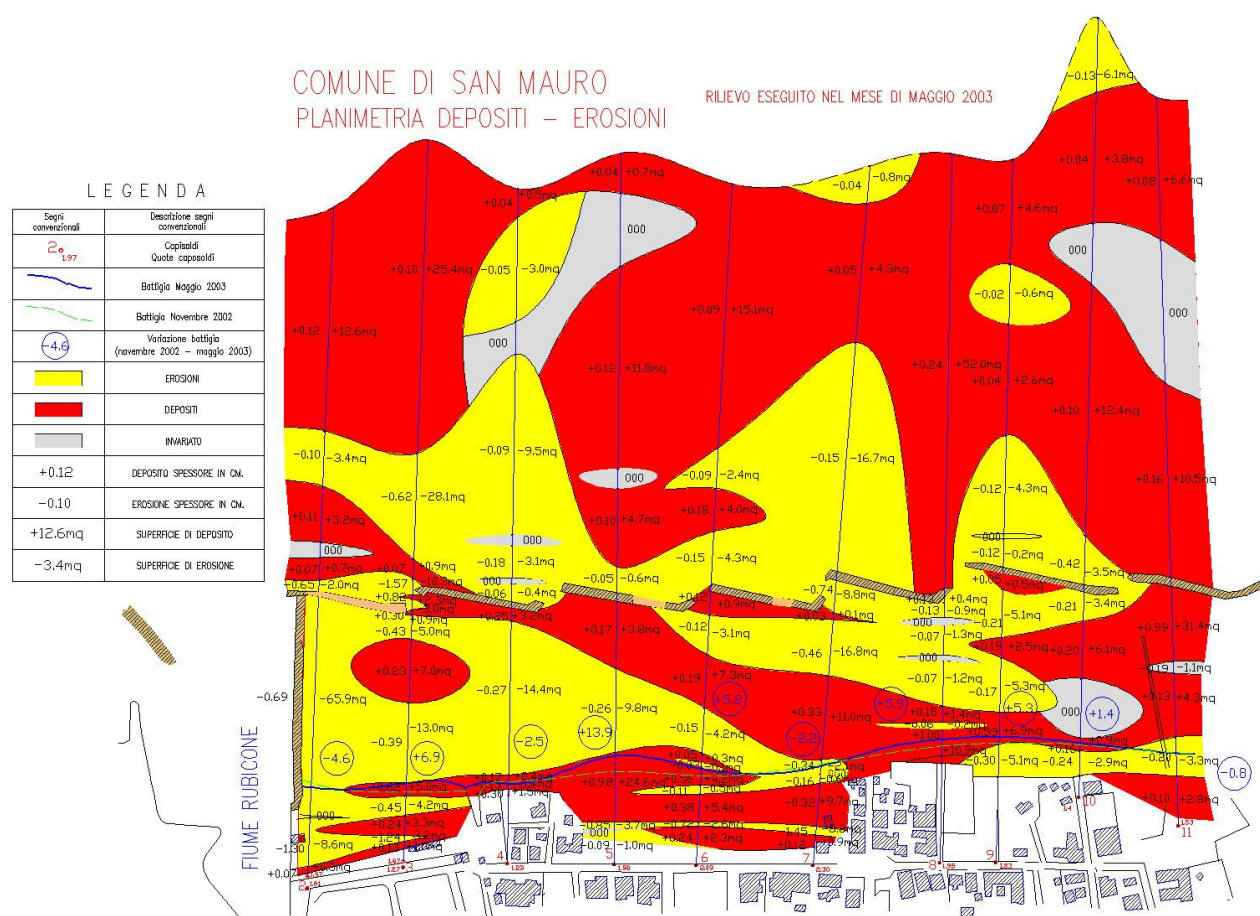
3) ESEMPIO DI SEZIONI



Infine si produce la Carta depositi-erosioni che consiste nel rappresentare in pianta ciò che è già stato raffigurato in sezione. Tale carta rappresenta la visione degli spostamenti che si sono verificati tra i due rilievi batimetrici tramite colorazione e con la quotatura si rileva in maniera precisa i cambiamenti, di norma ogni sei mesi.

Dall'osservazione di numerose situazioni si evidenzia che per la maggior parte le carte mostrano forme erosive ben localizzate che si manifestano parallele alla spiaggia, tali forme erosive assumono spesso figure che fanno pensare all'erosione di un fiume all'interno del mare da qui l'idea delle correnti di fondo

4) ESEMPIO DELLA CARTA DEPOSITI-EROSIONI



Se ipotizziamo che il trasporto solido avvenga per la maggior parte da queste correnti di fondo si apre una nuova e ben più ampia prospettiva di lavoro: dove è possibile dare un'interpretazione a fenomeni attualmente difficilmente spiegabili e dove non si ha più l'effetto diretto onde – erosione, ma avremo come causa ad esempio una strozzatura e come conseguenza una velocizzazione della c.d.f. ed un'erosione che potrebbe manifestarsi a distanza, anche di 600-800 metri.

In pratica la causa dell'erosione di un tratto di arenile potrebbe nascere non necessariamente nella stessa zona di dove agiscono le onde ma derivare da una causa distante dalla zona erosa.

Tale corrente, nella costa romagnola, si presenta ben localizzata e viaggia parallela alla linea di costa da Sud a Nord. E' sempre presente, infatti essa agisce, anche se con minore intensità, pure nel periodo estivo, con condizioni di mare calmo.

In occasione di mareggiate tale debole corrente assume notevole consistenza e si trasforma in un vero e proprio fiume impetuoso con velocità capaci di trasportare il materiale sabbioso.

Il moto ondoso rimaneggia la sabbia nelle vicinanze della battigia e fa sì che essa venga prelevata e trasportata, ad opera della corrente di ritorno, nella fascia di azione della corrente di fondo che provvede ad allontanarla verso Nord.

Si genera un equilibrio dinamico tra erosione e deposito nell'ambito del quale si ha una continua evoluzione della morfologia dei fondali.

Normalmente, in zone senza opere di protezione, questa corrente di fondo è localizzata tra le secche ed essa fa parte di un equilibrio ben preciso che modella il fondale portando ed asportando sabbia.

La forma dei fondali e la posizione della secca sono determinanti nell'equilibrio dinamico del sistema infatti la secca nei mesi estivi tende ad avvicinarsi a riva mentre nei mesi invernali tende a spostarsi verso mare.

Ipotizziamo una forte mareggiata la corrente di fondo, che viaggia nella sua sede e cioè tra la secca a la riva, aumenta notevolmente la sua velocità e incomincia a trasportare la sabbia; la secca spinta verso il largo dalla corrente apre uno spazio maggiore aumentando la superficie idraulica e permettendole di decelerare trasportando conseguentemente meno sabbia.

Pertanto lo spostamento dei fondali e delle secche fanno parte di un equilibrio dinamico dove la mobilità delle strutture tendono a trovare un' equilibrio con spostamenti ridotti di sabbie. Con la costruzione di qualsiasi barriera rigida si tende a fissare o limitare notevolmente questo equilibrio portando il sistema da dinamico a statico.

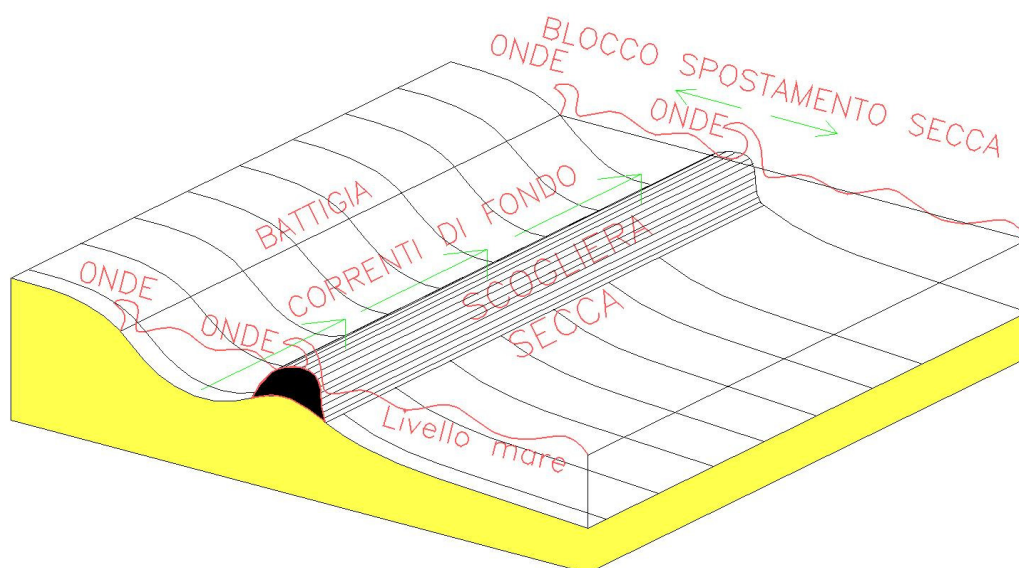
Un sistema statico da origine ad un ben preciso equilibrio e accetta solo limitati cambiamenti, per esempio volendo aumentare la spiaggia artificialmente essa ha una grande probabilità di essere erosa. Diversamente i fondali e le dune se sono libere di muoversi (sistema dinamico) esse tenderanno ad assestarsi per adeguarsi al nuovo equilibrio con maggiore probabilità di mantenimento della nuova spiaggia artificiale.

Come esempio di un diverso punto di vista tra la bibliografia marina tradizionale e le mie osservazioni porto la costruzione di una barriera sommersa parallela alla spiaggia: normalmente usate per fermare l'energia cinetica del moto ondoso e di conseguenza di limitare il trasporto solido lungo la battigia; con le osservazioni ricavate dalle correnti di fondo avremo sì una diminuzione dell'energia cinetica del moto ondoso ma anche la sede della corrente limitata dalla barriera sommersa con conseguente accelerazione e asportazione di materiale sabbioso per effetto.

Si è creato una barriera antiersiva che in realtà è causa di erosione.

5)SCHEMA RAPPORTO TRA SPOSTAMENTO DELLA DUNA SOMMERSA E CAPACITA' EROSIVA

EQUILIBRIO NON DINAMICO CON SCOGLIERA SULLA SECCA



Il moto ondoso ha come unico effetto negativo quello di aggredire la spiaggia, rimaneggiandola ma esso è anche il responsabile del trasporto della sabbia verso terra. Infatti sono le onde che con la loro energia permettono al materiale, che tende ad andare verso il largo, di tornare verso terra, prova ne è l'insabbiamento dei porti canali e delle foci dei fiumi durante le mareggiate.

E' grazie al moto ondoso che la sabbia si trova localizzata a ridosso dei litorali e andando verso al largo si hanno progressivamente sabbie sempre più fini fino a trovare dopo circa 1÷1.5 Km dalla costa, quasi esclusivamente fanghi e limi.

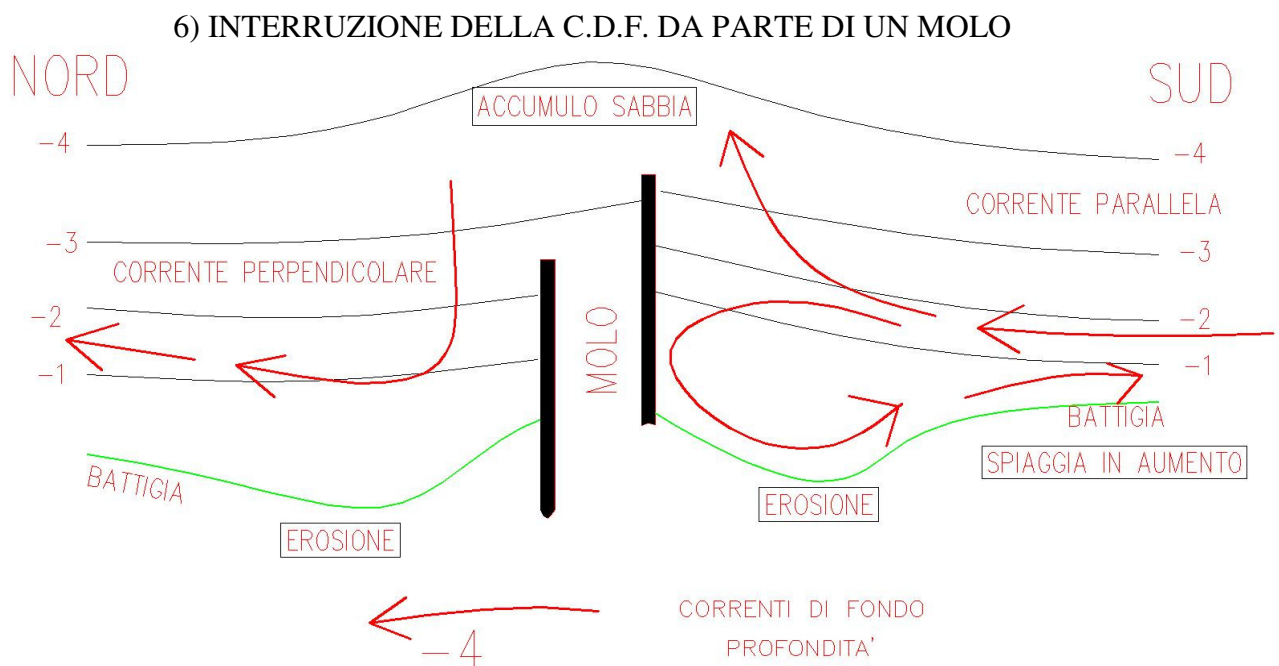
Nell'equilibrio energetico il mare trasporta i materiali più grossolani sabbie e ghiaie esclusivamente dove l'energia ne permette il movimento e cioè vicino alla battigia e a bassi fondali, mentre con l'aumentare delle profondità le energie diminuiscono ed è possibile solo il trasporto di materiali sempre più fini.

Il mare dunque ha un suo naturale equilibrio e la geometria dei fondali e della battigia è il risultato finale delle forze in gioco dovute al moto ondoso e alla corrente di fondo.

I moli e le opere eseguite in mare modificano questi equilibri e generano anomalie nelle correnti di fondo.

La costruzione di un molo interrompe la corrente di fondo determinando un deposito. In alcuni casi, solo a seguito di forti mareggiate e con difficoltà la corrente riesce a superare l'ostacolo. Tuttavia il trasporto solido non è garantito a causa delle profondità e dell'aumento della sezione idraulica causato dalla fuoriuscita della corrente dalla sua sede naturale.

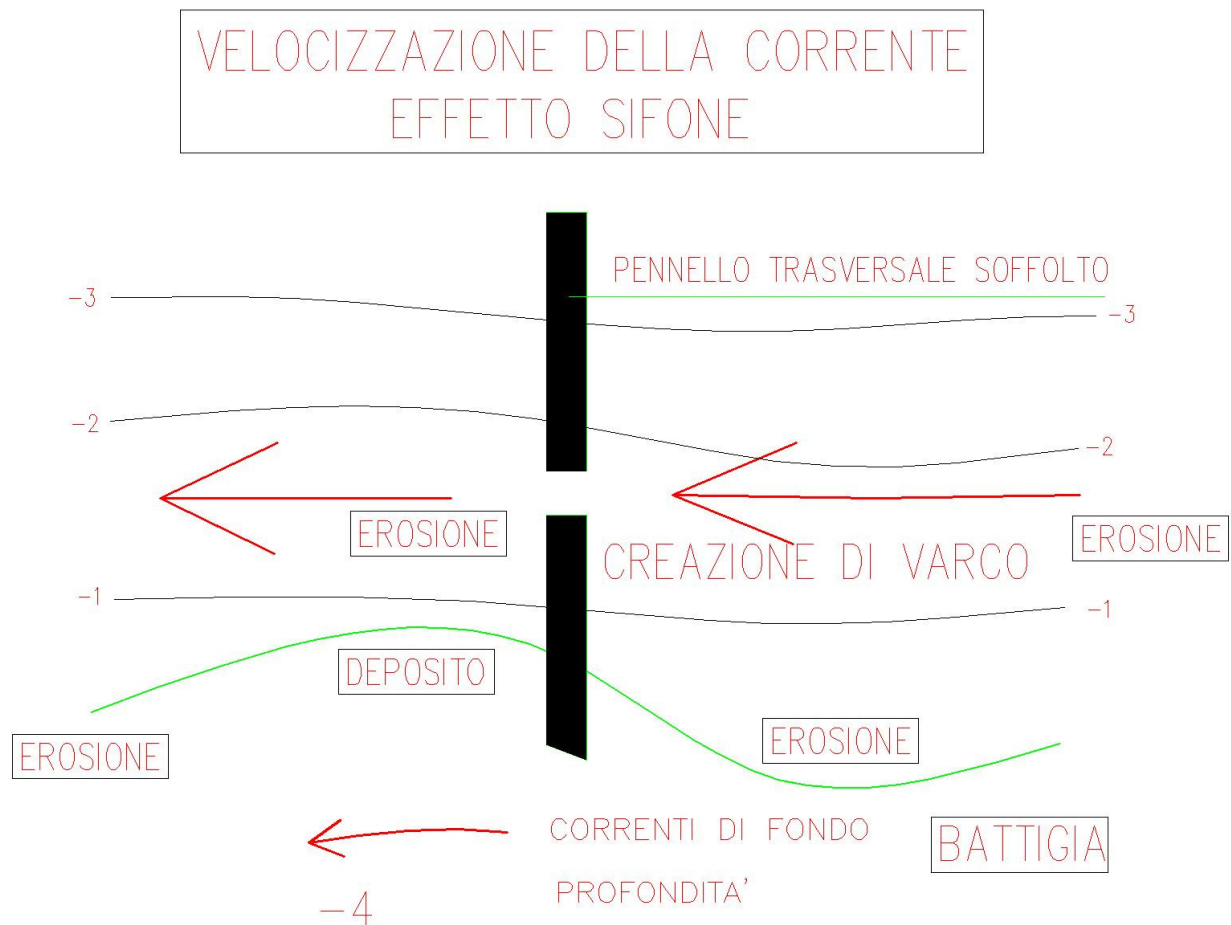
Come conseguenza dell'interruzione della corrente di fondo, a Nord dell'ostacolo sembra generarsi un gradiente che determina un flusso dal largo verso la battigia, a ridosso del molo, con un moto perpendicolarmente alla spiaggia e non parallelo, come sarebbe avvenuto in assenza di interruzioni. Ciò dà luogo ad un avvicinamento delle correnti alla battigia con conseguenti forti erosioni.



La realizzazione di barriere perpendicolari a ridosso della spiaggia che intercettano queste correnti, o producono un effetto simile a quello di un molo nel caso di interruzione totale della corrente di fondo, oppure si determinerà la formazione di varco, di dimensioni sempre più ampie, con forti accelerazioni delle correnti di fondo e con le seguenti conseguenze negative:

- velocizzazione delle correnti di fondo a Nord;
- aspirazione del materiale sabbioso a Sud;
- grosse erosioni a ridosso della scogliera.

7) INFLUENZA DI PENNELLO TRASVERSALE SULLE C.D.F.



Un'eccessiva protezione della spiaggia con scogliere tende sì a ridurre il fenomeno erosivo ma produce come effetto negativo un ricambio di acqua insufficiente, specialmente nei periodi estivi, creando notevoli problemi alla balneazione (fondali fangosi e acqua putrida).

Le c.d.f. che per loro definizione creano una circolazione di acque sotto costa sono, pertanto, le maggiori responsabili del cambio di acqua. Ogni volta che creiamo un'area troppo protetta dalle scogliere si avrà l'equivalente di una piscina senza filtri e di conseguenza una balneazione compromessa da acque stagnanti proprio durante il periodo estivo favorita dall'aumento della temperatura e dalla mancanza di mareggiate.

RISULTATI DI ESPERIMENTAZIONE CON L'UTILIZZO DELLE OSSERVAZIONI DELLE CORRENTI DI FONDO A SAN MAURO

Una applicazione delle osservazioni fin qui descritte è l'esempio di un intervento eseguiti nel Comune di San Mauro Pascoli e di Savignano sul Rubicone, su studi eseguiti in accordo con il distaccamento di Cesena del Servizio Circondariale Difesa del Suolo, Risorse Idriche e Forestali di Forlì Ing. Franco Mastromarco e con il Sindaco di San Mauro Luciana Garbuglia.

Si è introdotto un innovativo concetto di progettazione di opere per la difesa della costa. Progettazione legata principalmente alla corrente di fondo e non esclusivamente al moto ondoso, così come avviene attualmente.

Motivo fondante dell'incarico era dato dalla presenza di fanghi all'interno delle scogliere. Presenza che comprometteva la balneazione e quindi il buon esito della stagione turistica. L'acqua nel periodo estivo era stagnante al limite dei permessi di balneazione.

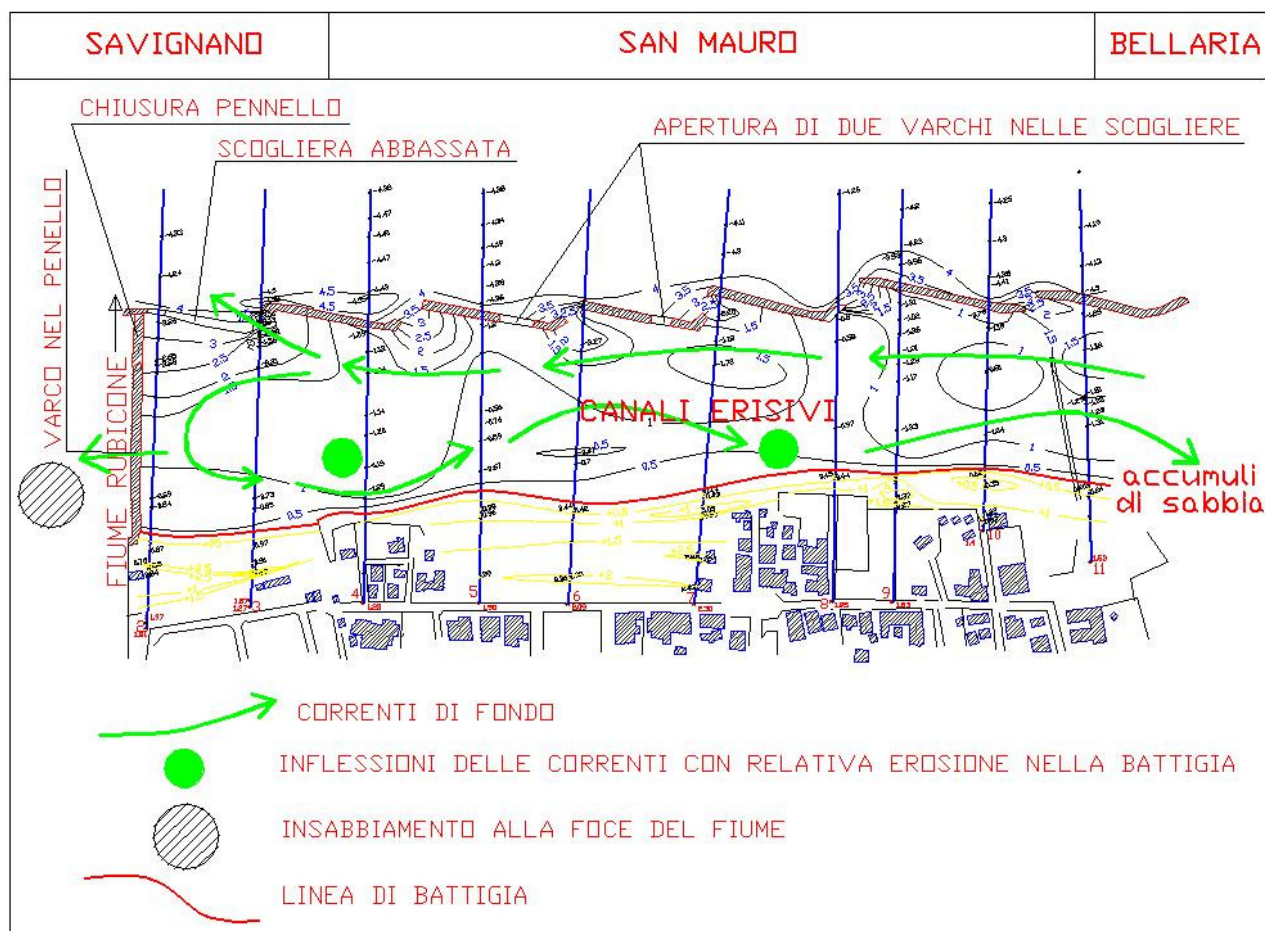
In quella fase, infatti, il problema dell'erosione non era considerato come prioritario. La problematica dei fanghi è risultata già dalle prime azioni in quanto la presenza di decine di centimetri di melma rendeva difficoltoso il rilievo.

Da rilievi è emerso fin da subito che le scogliere chiudevano in modo eccessivo il litorale e non essendoci sufficiente circolazione di acqua si venivano a creare le condizioni per cui il materiale limoso, invece di venire allontanato al largo, tendeva a depositarsi all'interno delle scogliere. Si è quindi desunto che la situazione di stagnazione rilevata all'interno delle scogliere in questione derivava dalla mancanza di un adeguato ricambio di acqua.

I monitoraggi, le analisi e le valutazioni eseguite durante i primi due anni di attività hanno condotto, nel 1998, alla decisione di creare un varco all'interno di una delle scogliere. Ciò ha comportato fin dall'immediato visibili benefici sulla qualità delle acque e dei fondali in quanto l'apertura praticata ha dato origine a nuove correnti che hanno portato ad un aumento della circolazione delle acque e alla conseguente diminuzione dei fanghi. Sulla base di questi importanti risultati è stato deciso di aprire un ulteriore varco in una seconda scogliera. Con le aperture effettuate su due scogliere la circolazione delle correnti è ulteriormente aumentata migliorando la qualità delle acque e facendo diminuire sensibilmente le quantità dei fanghi presenti sui fondali.

Assicurati ampi margini alla balneazione è stato rilevato, quale effetto collaterale all'aumento della circolazione delle correnti, la presenza di fenomeni erosivi in alcuni punti della battigia.

Dallo studio delle carte dei fondali e delle carte deposito-erosione, che evidenziavano i cambiamenti deposizionali in ogni periodo in cui sono stati effettuati i rilievi, è stato elaborato il seguente schema di circolazione delle correnti di fondo:



La corrente proveniente da Sud, che passava radente alle scogliere con direzione Nord (corrente di fondo riscontrata normalmente all'interno delle scogliere anche in altre zone) trova l'ostacolo del "Pennello del Rubicone" invertendo la rotta e creando un vero e proprio meandro con erosioni all'esterno e deposito all'interno. Fenomeno testimoniato dalla presenza, al centro dell'area di inversione della corrente, di un'isola di sabbia - visibile solo in bassa marea - situata in corrispondenza di Savignano sul Rubicone.

La corrente continua, con direzione opposta a seguito dell'inversione, passando radente la battigia originava una serie di insenature - dovute a "flessioni" della corrente - e depositava il carico di sabbie raccolto a circa 900÷1000 metri a Sud del Pennello del Rubicone, nei pressi del Centro Velico di Bellaria. Che perciò si trovava continuamente insabbiato, fenomeno che rendeva difficoltoso il varo e l'approdo delle imbarcazioni.

Pertanto la battigia subiva due grosse aggressioni da parte della corrente, corrispondenti ai due punti di massima erosione: una subito dopo l'inversione della corrente - in prossimità dell'abitato prospiciente in mare al confine tra San Mauro Mare e Savignano sul Rubicone - e un'altra al centro di San Mauro Mare nel tratto in cui gli edifici più si avvicinano alla spiaggia (vedi pallini verdi nel disegno).

Inoltre i sopraccitati canali erosivi della corrente, che in inverno asportavano le sabbie, in estate, con il mare calmo e una debole circolazione, depositavano fanghi sul fondo. Infatti oltre alla nascita di punti di erosione lungo la battigia anche il fondali presentava un andamento irregolare. Il canale erosivo, molto vicino alla battigia aveva creato una fossa della larghezza di circa 10 metri e di oltre un metro di profondità nella quale, durante la stagione estiva, si depositava fango. La situazione, pertanto, pur nettamente migliorata dal

punto di vista della qualità delle acque, non aveva migliorato la fruibilità del tratto di mare in questione da parte dei turisti che, per raggiungere il fondale sabbioso, dovevano attraversare tale fossa.

L'equilibrio che si era venuto a creare non era quello che volevamo per la spiaggia e avendo ben presente l'andamento delle correnti si è pensato in accordo con il Sindaco di San Mauro, Sig.ra Luciana Garbuglia e l'ing. Franco Mastromarco della Regione Emilia Romagna, del Servizio Tecnico di Bacino di Cesena di abbassare, rendendo soffolta l'ultima scogliera a Nord davanti Savignano sul Rubicone.

Subito dopo l'abbassamento della scogliera, nel 2002, la Regione Emilia Romagna ha provveduto al ripascimento, con l'apporto di sabbie prelevate da un sito sottomarino, che ha allungato la spiaggia in questione di circa 30 metri su tutta la linea di riva.

Lo scopo dell'abbassamento della scogliera è quello di poter far passare parte della corrente fuori dalla scogliera, mantenendo al massimo il carico delle sabbie, visto che l'acqua che fuoriesce è quella superficiale e le sabbie viaggiano rotolando o saltellando sul fondo della scogliera.

La corrente che prima sbatteva sul pennello del Rubicone creava una inversione di marcia, con una curva antioraria, e prima che decelerasse depositando il carico di sabbie era necessario oltre 1 Km portando le sabbie fuori dal Comune e creando non pochi danni all'intera spiaggia. Ora parte della corrente fuoriesce dalle scogliere mentre la corrente principale continua come prima a invertire la marcia ma essendo più debole invece di erodere deposita in modo quasi omogeneo sull'intero litorale comunale.

A sette anni di distanza gli studi effettuati e gli interventi realizzati hanno dimostrato la loro efficacia. Si è infatti assistito ad una stabilizzazione della linea di battigia con flessioni massime di 3-5 metri. L'acqua risulta pulita e il fondale totalmente sabbioso e solido.

Il fondale antistante Savignano sul Rubicone, dove è stata abbassata la scogliera, ha subito un approfondimento di circa mezzo metro che ha reso la balneazione molto più apprezzabile. Si è verificata una stabilizzazione della linea di battigia: precedentemente il fondale si presentava per circa 70 metri dalla battigia, sulla spiaggia del Rubicone, con una decina di centimetri sotto il livello del mare; ragion per cui piccoli insabbiamenti o limitate erosioni davano luogo a grosse escursioni della linea di battigia rendendo questa area né di terra né di mare e in pratica non usufruibile dalla balneazione.

Dagli ultimi rilievi risulta un notevole insabbiamento dell'intera fascia che va dalla battigia alle scogliere e ciò può comportare una velocizzazione delle correnti con una relativa perdita di sabbia fuori dalle scogliere e una potenziale erosione sulla battigia e pertanto attualmente si prospetterebbe l'ipotesi di una asportazione, con mezzi meccanici, delle sabbie in eccesso e con lo scopo di riaprire le sedi delle correnti e pertanto rallentarle ulteriormente mentre la sabbia asportata potrebbe essere utilizzata per migliorare ulteriormente la battigia e la spiaggia emersa.

Ciò che è avvenuto da qualche anno sulla spiaggia di San Mauro Pascoli e Savignano sul Rubicone può essere preso come esempio per un nuovo modo di lavorare in mare che tiene conto non solo, come avviene attualmente, del moto ondoso rappresentato da complessi elaborazioni matematiche, ma anche dalle correnti di fondo che a mio avviso sono le principali responsabili degli spostamenti di sabbie lungo i bassi litorali sabbiosi.



Scogliera abbassata



La spiaggia arrivava al muro bianco che una volta era protetto da una scogliera radente.



Spiaggia centrale di San Mauro (allungata dopo l'intervento di circa 30 metri)



Il bagno di legno è stato costruito su una spiaggia creata dopo l'intervento.



Foto dall'alto di Savignano sul Rubicone e San Mauro.



Foto dall'alto.



Foto dall'alto. Il pontile segna il confine tra San Mauro e Bellaria.

CONCLUSIONI

Applicazione delle correnti di fondo sono state eseguite in altri punti del litorale Romagnolo e Marchigiano anche se si limitano a interventi di piccole dimensioni che però hanno sempre dato risultati aspettati. In pratica gli interventi che si possono eseguire con le c.d.f. avranno numerose possibilità di risolvere le più svariate problematiche: dall'insabbiamento dei porti canali alla sistemazione di aree particolarmente erose.

Dott. Geol. Giancarlo Faina

Geologo marino – libero professionista