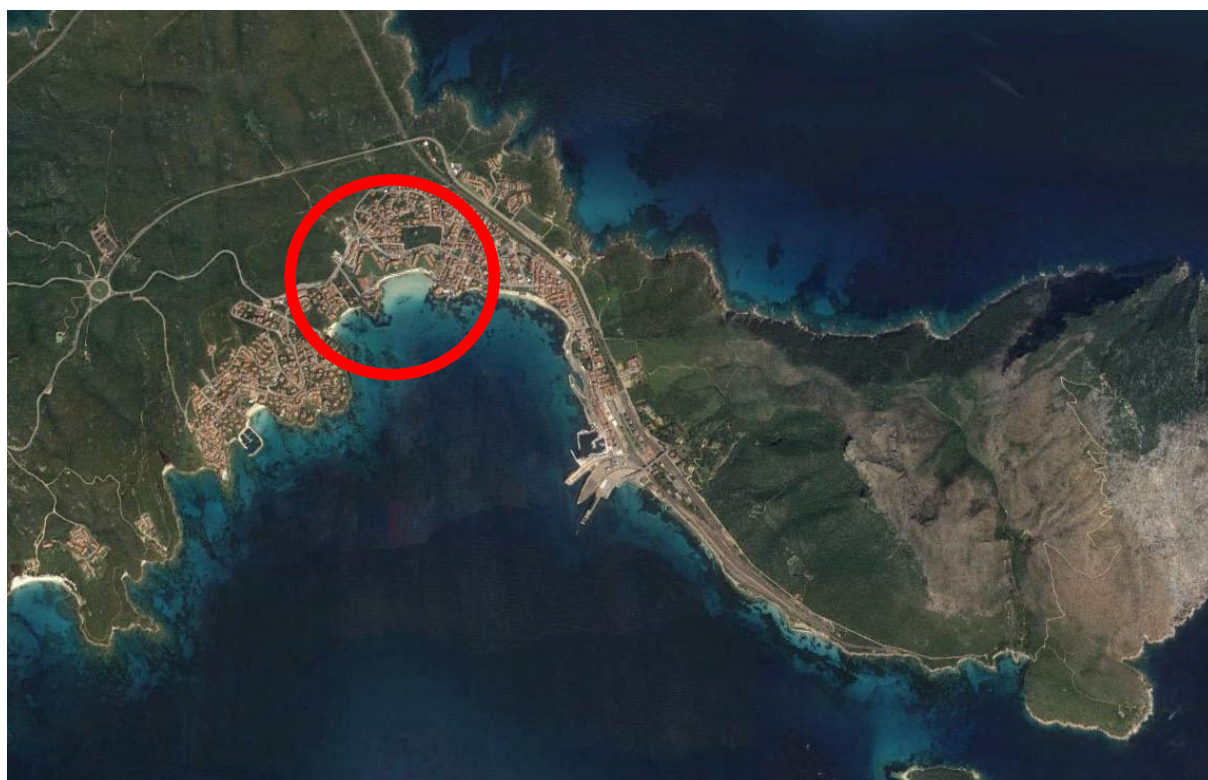




Comune di Golfo Aranci  
**PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA**  
**Opere di ripristino morfologico della Terza Spiaggia in comune di Golfo Aranci**

**B1 - RELAZIONE GEOLOGICA**



**Dicembre 2017**

COMMITTENTE:

*Del Giudice Giuseppe e Claudio s.n.c.*

IL TECNICO

*Dott. Geol. Giovanni Tilocca*



*Giovanni Tilocca*

## OPERE DI RIPRISTINO MORFOLOGICO DELLA TERZA SPIAGGIA DI GOLFO ARANCI (SS)

### RELAZIONE GEOLOGICA

#### PREMESSA

La presente Relazione Geologica è parte integrante del progetto denominato *Opere di ripristino morfologico della Terza Spiaggia di Golfo Aranci (SS)*, redatto al fine di assicurare alla stessa un assetto geomorfologico tale da garantire, per quanto possibile nel tempo, il ripristino di una battigia a distanza compatibile con l'esercizio delle attività in concessione demaniale marittima, ovvero in condizioni di bassa vulnerabilità, rispetto agli effetti delle dinamiche erosive che vi si determinano da alcuni anni.

Le attuali criticità parrebbero inserirsi in più ampio nonché diffuso quadro locale di dissesto idrogeologico, a carico del bacino idrografico sotteso alla spiaggia, in gran parte conseguente ad incongrue ed infelici scelte insediative.

In tale contesto, la spiaggia, soffre oramai stabilmente di un deficit sedimentario innescato dalle trasformazioni d'uso, in particolare dagli impatti che l'edificazione ha determinato sul Demanio Marittimo e sull'area umida un tempo ad esso retrostante. A tale deficit si fa corrispondere una maggiore ricorrenza di eventi critici di ondatazione da SudEst, peraltro non corrispondenti a mareggiate.

Va detto che già nel 2004 il compendio è stato oggetto d'interesse ai fini della mitigazione del suo presunto o reale dissesto idrogeologico, con menzione all'interno di un progetto preliminare che concorreva a finanziamenti del POR Sardegna misura 1.3 (Dissesto idrogeologico). L'area tuttavia, non è mai stata oggetto d'intervento in quanto già in fase definitiva nel progetto si stralciò la possibilità d'intervenire sulla spiaggia; ciò proprio in base ai dubbi tecnici esposti da chi scrive all'epoca circa il suo effettivo stato erosivo e, soprattutto alle incertezze sussistenti nel formulare ipotesi progettuali di protezione o difesa, diverse quindi da semplici interventi manutentivi, seppur straordinari.

La collaborazione nel presente progetto da parte del geologo scrivente, dunque riconfermando nelle premesse sostanziali una buona parte delle considerazioni a suo tempo formulate nei riguardi della possibilità di opere strutturali, è fortemente orientata a sostenere proprio la necessità di un semplice intervento di *manutenzione straordinaria* della spiaggia o, più precisamente, del profilo di spiaggia, piuttosto che un improbabile e a sé stante intervento comprendente più onerose opere di difesa, di dubbio esito e più impattanti.

Peraltro, poiché la stessa **manutenzione ordinaria** sul Demanio Marittimo, non è attualmente contemplata dalla RAS né sembra essere, nell'immediato, nelle intenzioni della stessa, malgrado la stesura delle recenti ***Linee Guida Nazionali per la difesa della costa dai fenomeni di erosione e dagli effetti dei cambiamenti climatici*** (MATTM; 2016) pp. 312) abbia registrato la sua partecipazione ed il suo apporto è auspicabile che l'approccio seguito dal presente progetto rispetto alla problematica che s'illustrerà a breve, possa essere esteso alle spiagge del territorio regionale, proprio al fine di privilegiare l'ottica gestionale piuttosto che quella interventistica, assai più incerta e costosa.

#### 1. LOCALIZZAZIONE DEL PROGETTO E DELLO STUDIO

Il progetto riguarda la spiaggia urbana di Golfo Aranci (SS) localmente denominata *Terza spiaggia*, sita nel comune di Golfo Aranci (SS) e individuabile, nelle seguenti cartografie topografiche ufficiali:

- Tav. 428 Il Porto Rotondo dell'I.G.M.I. in scala 1:25.000 (confronta con Tav. 169-IIISE-Isola Mortorio);
- DB 10 K -CTR 428160.

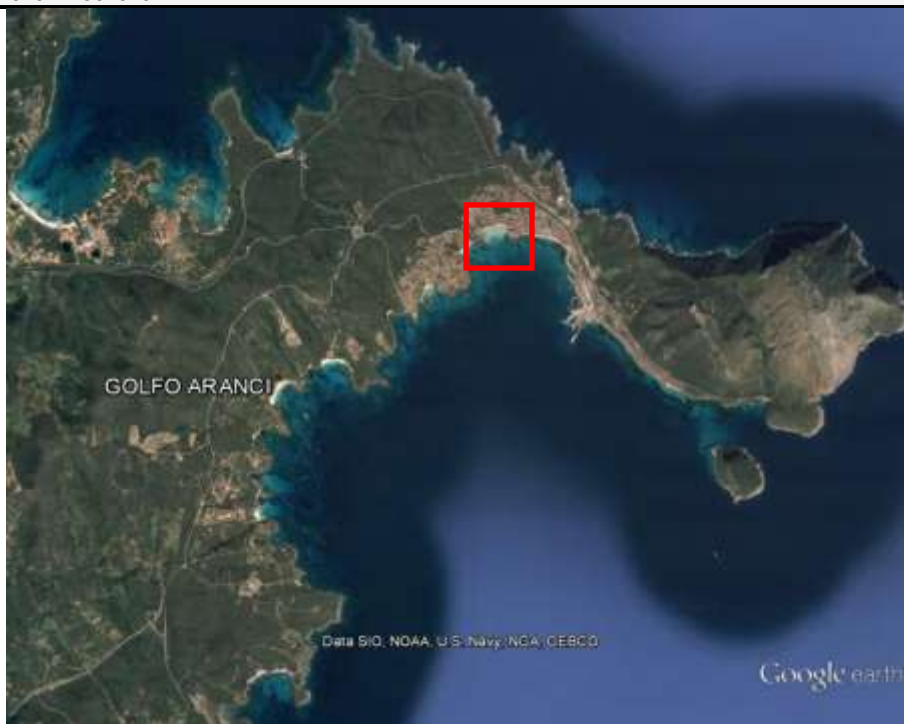


Fig. 1 - Inquadramento orto fotografico (Google earth)

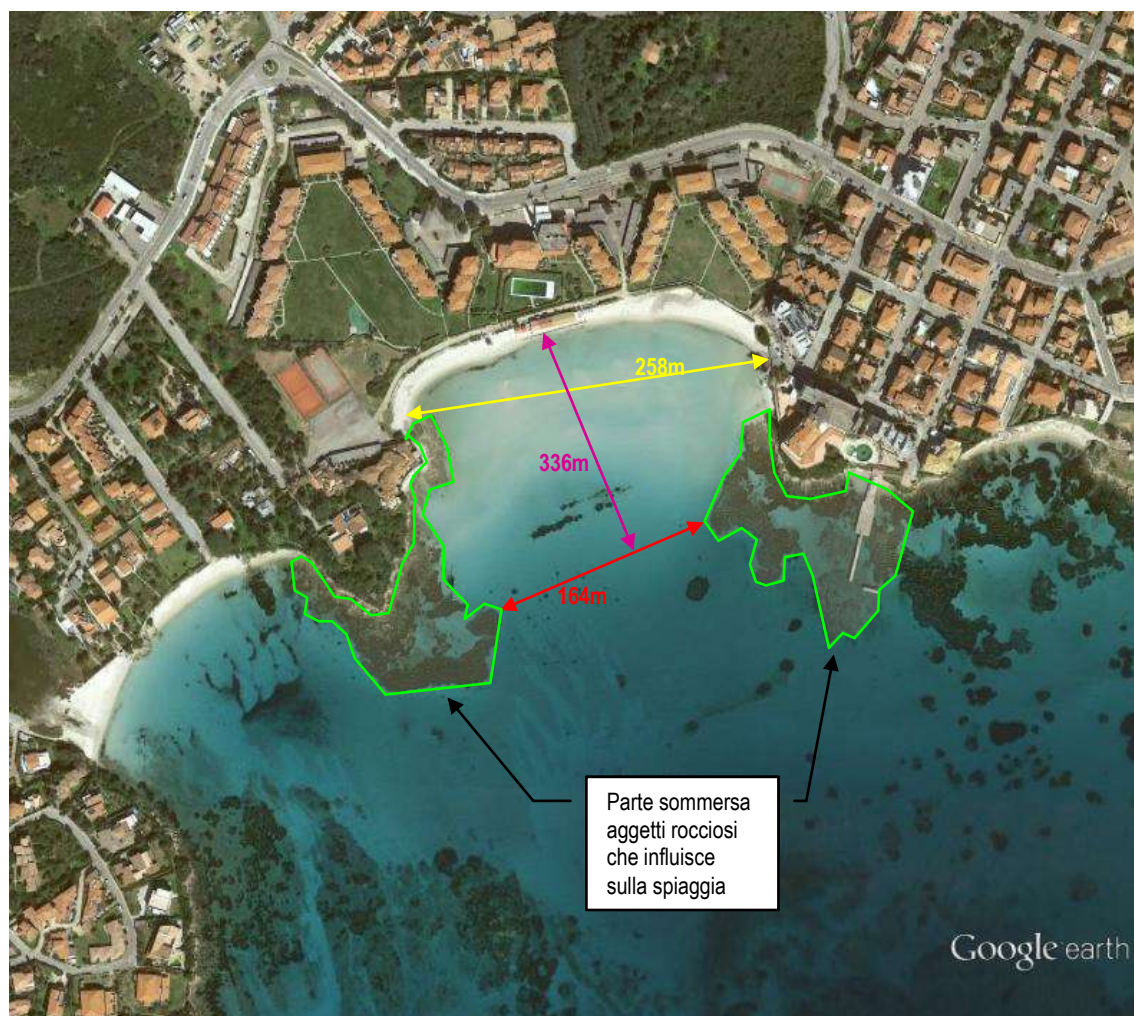


Fig. 2 - Terza Spiaggia. Condizione di spiaggia a tasca. In evidenza i principali elementi della geometria della spiaggia confinata dagli aggetti rocciosi in ambito sommerso





Fig. 3 - Stralcio della Cartografia regionale in scala origine 1:10.000

Le figure successive mettono in evidenza il settore sulle carte topografiche IGM di due epoche diverse; da esse si desumono i profondi mutamenti subiti nel settore a monte della spiaggia, in particolare nello stagno retrodunale.

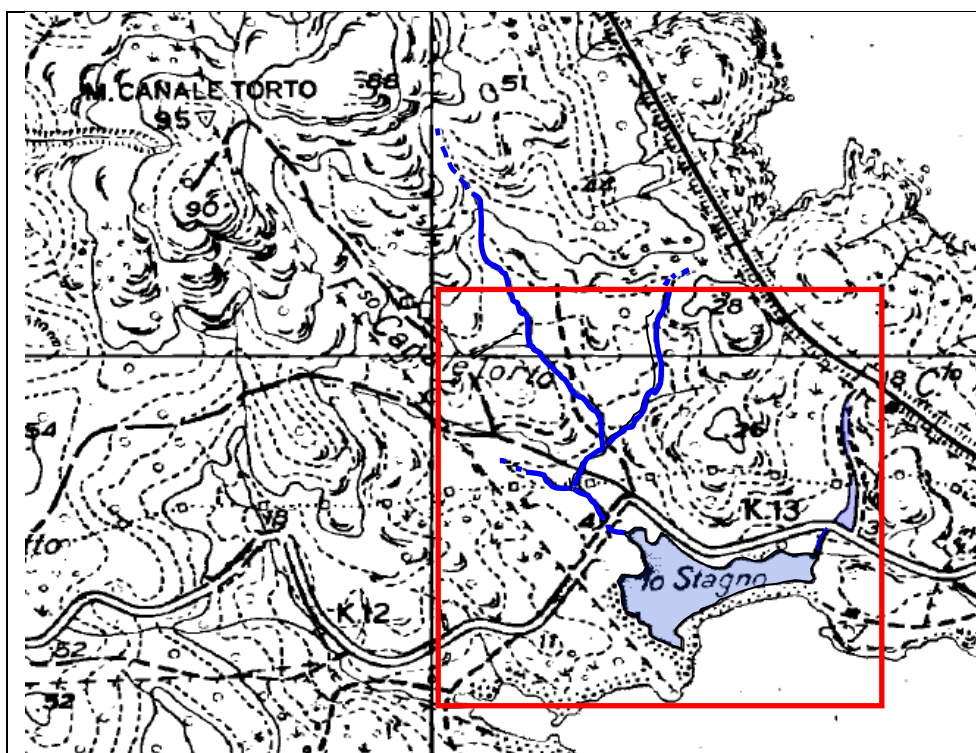
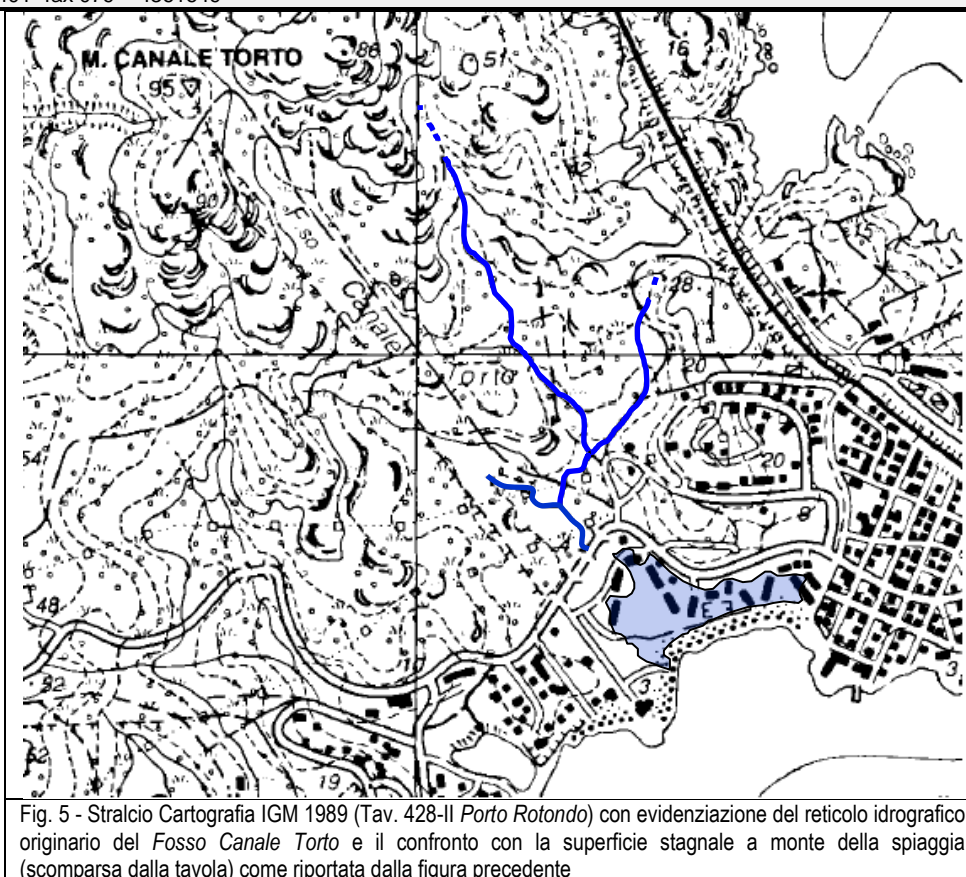


Fig. 4- Stralcio Cartografia IGM 1958 (Tav.169-IIIE-Isola Mortorio), con evidenziazione del reticolo idrografico originario del Fosso Canale Torto e dello stagno



### 3. CENNI AL SETTORE DI TRAVERSIA E AL FETCH

La spiaggia beneficia di ridosso dai venti dominanti del I e del IV quadrante. Data la configurazione del paraggio, per definire le direzioni da cui possono provenire le agitazioni ondose, non basta il solo settore di traversia principale. Questo è ricompreso infatti in uno stretto arco di circonferenza ottenuto tracciando le tangenti a Capo Ceraso ad Ovest e Punta della Mandria di Tavolara, ad Est, (considerando quindi "trasparente" il promontorio di *Spalmatore di fuori* dell'isola e i relativi bassifondi. Il fetch massimo reale è comunque di 10 MN da N158° (linea centrale di Fig. 6). I restanti efficaci sono minori. Il più ampio è smorzato dallo *Spalmatore di Tavolara*.



Fig. 6 – Settore di traversia principale

#### 4. CONOSCENZA UFFICIALE DELLA PROBLEMATICHE DA PARTE DELLA RAS

Nel 2013 l'Assessorato della Difesa dell'Ambiente della RAS fa rientrare la Terza Spiaggia nello studio delle coste basse del Programma Azione Coste della Sardegna.

La *Scheda di base delle Unità di Litorale e delle spiagge* del PAC, a cui si rimanda per ogni ulteriore dettaglio, riporta che *l'analisi dei fotogrammi evidenzia un sostanziale equilibrio della linea di costa. La qualità delle immagini non consente, tuttavia, di poter definire con esattezza eventuali criticità.*

La *Valutazione preliminare della criticità* all'interno della scheda definisce la spiaggia a *Bassa criticità* pur aggiungendo con nota che nel caso della UF n.13 *Le spiagge, fortemente antropizzate, hanno perso i loro connotati originari. La presenza di edifici e strutture nei settori di avanspiaggia determina un irrigidimento del sistema con conseguenti interferenze sui naturali processi evolutivi dei litorali.*

Di conseguenza la spiaggia poiché classificata ***In stato di equilibrio o in avanzamento*** non è ricompresa nel nutrito elenco delle spiagge ***ad elevata criticità*** dello stesso PAC Sardegna (2013) . Vi viene inoltre precisato che relativamente allo ***Stato di conservazione ed evoluzione del limite superiore della prateria di Posidonia oceanica*** l'ambito sommerso si trova ***in stato di equilibrio e conservazione*** mentre nel settore emerso il dato relativo alla conservazione del sistema dunale viene definito *non rilevabile*.

Nel presente studio si dimostrerà che le *criticità* esistono e che possono essere affrontate mediante interventi di manutenzione ad impatto nullo. Questi sarebbero *ordinari* qualora la prassi di *Manutenzione ordinaria sul Demanio Marittimo* fosse procedura contemplata dalla RAS ma nei fatti risultano *straordinari* in quanto non vengono eseguiti periodicamente. La Manutenzione Ordinaria del DM non è infatti un'azione normata al momento attuale in ambito RAS, né d'altro canto è stata postulata dal PAC 2013 nell'ambito delle schede d'intervento.

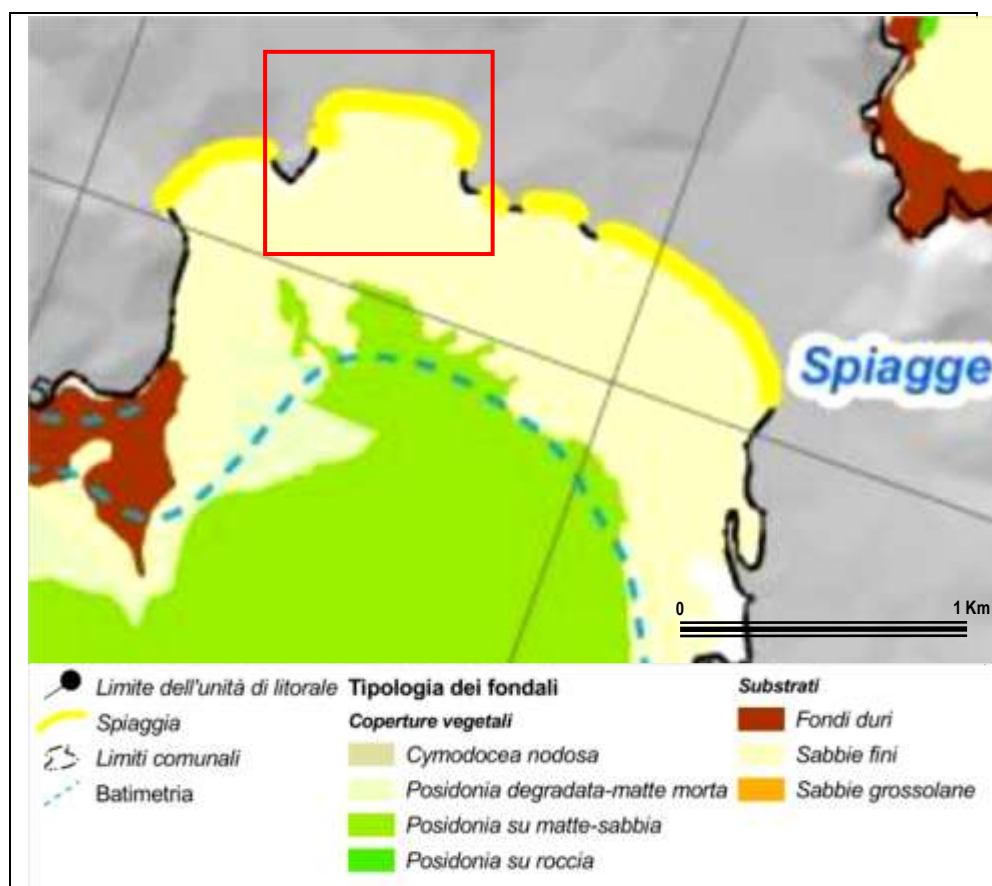


Fig. 7 - Stralcio dell'Unità Fisiografica n. 13 Capo Coda Cavallo-Capo Figari tratta dal PAC (Programma Azione Coste Sardegna -2013).



## 5. GENERALITÀ SULLO STATO DI DISSESTO SEGNALATO

Quantunque non rilevato nel PAC, nella *Terza Spiaggia* di Golfo Aranci, da una quindicina d'anni a questa parte sono periodicamente segnalati, soprattutto dall'autunno e nella stagione invernale e primaverile, dissesti di natura erosiva che mettono in evidenza la vulnerabilità attuale di storiche strutture in concessione sul Demanio Marittimo, andando a alterare in negativo il suo valore e le sue funzioni. Nella sostanza in questi anni, sul compendio sabbioso si è progressivamente manifestato un lento quanto inesorabile arretramento complessivo della battigia, ossia delle linee di riva e dell'altezza di chiusura nei vari stati di mare e di marea che, a dispetto delle condizioni geomorfologiche naturali di **spiaggia a tasca** (o di **fondo baia**; **Pocket Beach**), rischia di comprometterne progressivamente l'uso per le finalità turistico ricreative, che allo stato attuale risultano in concessione.

Più in dettaglio tali criticità si manifestano in tratti specifici della falcata sabbiosa, in corrispondenza della sua porzione centrale e del margine orientale. Di queste possibilità riscontra la Fig.8 (A e B) ma si darà ulteriore conto in apposita sezione

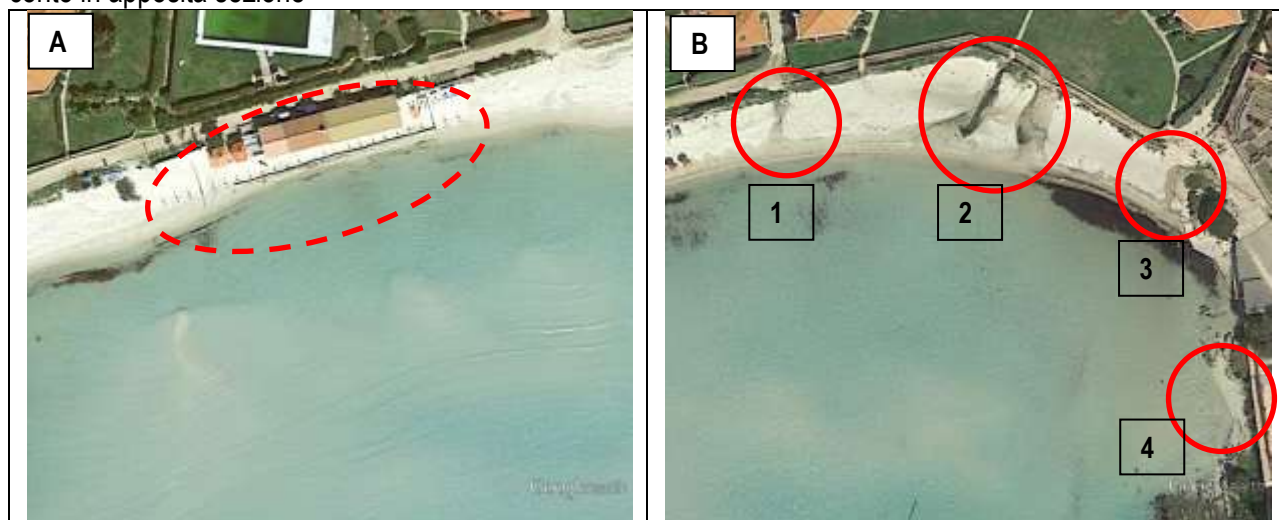


Fig. 8 - Punti critici della spiaggia (su immagini aeree del 7/04/2014; ore 10:30; marea +0,2m): a sx settore del Ristorante Terza Spiaggia; a dx settori di spiaggia più ad Est (all'estremità, concessione *Gabbiano Azzurro*). In A le criticità sono determinati dall'arretramento della battigia a discapito della struttura storica in concessione e da fenomeni di ruscellamento che si determinano a partire dall'incanalamento dei deflussi nello stradino a tergo della spiaggia. In B si scontano gli effetti sulla spiaggia del ruscellamento da monte indotto da opere artificiali e dei manufatti posizionati sopra di essa che accentuano localmente protessi riflettenti che riducono i volumi emersi.

### 5.1 Sintesi diagnosi geomorfologica

Le evidenze del presente studio suggeriscono che il dissesto segnalato sulla *Terza spiaggia* consegua principalmente da uno stato di progressivo depauperamento di sedimenti prodottosi nel tempo in seguito al venir meno artificiale di alcuni determinanti elementi geomorfologici all'interno e al contorno emerso e sommerso della falcata sabbiosa e al riposizionamento, nonché riadattamento morfologico dei volumi in ambito subacqueo oltre che subaereo. Questo fatto ha decisamente abbattuto lo stock volumetrico della stessa porzione emersa e si evidenzia particolarmente con l'abbassamento stesso della berma. Detto riequilibrio, pur in una continua dinamica superficiale, ha dato luogo a:

- un pronunciato irrobustimento della "barra" sommersa, e dunque della parte sommersa della spiaggia stessa, a discapito di quella emersa
- un progressivo e relativo sollevamento del fondo per aggradazione dei sedimenti a cui consegue una lenta progradazione verso *shoreface*
- una conseguente riduzione della profondità,
- un arretramento della battigia, di per sé poco inclinata per ragioni granulometriche e dunque già piuttosto vulnerabile geometricamente in condizioni di alta marea sizigiale (come si vedrà, con un'escursione positiva di pochi decimetri, l'arretramento della linea di riva può superare i 2m)
- Una maggiore frequenza degli eventi critici che oggi si presentano anche con modeste ondate da Scirocco o con diffrazioni da Tramontana/Grecale (di solito a maggior lunghezza)

A tutto ciò, più di rado, si aggiungono periodici dissesti della spiaggia emersa ad opera dei deflussi idrici che, in caso di piogge intense, vi si riversano concentrati in conseguenza della drastica alterazione della rete di drenaggio (ossia dell'*invarianza idraulica*; si noti infatti che al giorno d'oggi questo caso verrebbe ricompreso dalla RAS in quelli da assoggettare al rispetto del principio dell'*Invarianza idraulica*) a tergo della depressione un tempo ospitante lo stagno (oggi bonificata, colmata e occupata da insediamenti) e della spiaggia stessa, laddove circondata da ripe rocciose (ciò si verifica nel suo settore orientale).

La diagnosi di tali dinamiche, meglio illustrate più avanti, in base all'approccio metodologico e al punto di vista geomorfologico, ha condotto ad accreditare la necessità di un intervento di Manutenzione Ordinaria sulla gestione dello stock volumetrico di sedimenti a disposizione della Pocket Beach e la sistemazione di una rete di tubi di dreno. Questi ultimi, in caso di piogge concentrate, avrebbero lo scopo di raccogliere i deflussi provenienti da monte senza provocare gli effetti di ruscellamento sull'arenile consistenti essenzialmente in erosioni incanalate (Fig. 8). Tali processi determinano inoltre la dispersione di detriti più grossolani da un lato e lo spostamento di sedimenti in ambito sommerso con conseguente degrado delle condizioni tessiturali e cromatiche naturali della spiaggia stessa non che il trasferimento in ambito sommerso di aliquote sabbiose di solito disposte in ambiente emerso.

## 6. CENNI AL PROGETTO

Il progetto definitivo di cui la presente relazione è parte integrante ed a cui si rimanda per i dettagli quantitativi, consiste nel ricollocare nella spiaggia emersa e in una specifica porzione di quella sommersa ad essa più prospiciente, la parte dei volumi mancanti per un totale di circa 3000mc al fine di determinare una progradazione di circa 5,00m della battigia. Allo scopo, l'intervento intende ricorrere al riporto della sabbia con medesime caratteristiche prelevata dalla superficie della spiaggia sommersa a partire da circa 2,00m di profondità (sabbia che si ritiene fin d'ora quindi del tutto compatibile con quella del settore emerso, in quanto da questo sottratta dalle dinamiche naturali e non) mediante impiego di pompe aspiranti e refluenti e, dunque, senza alcun apporto di materiali sabbiosi geomorfologicamente e litologicamente alloctoni.

Si tratta dunque di un semplice intervento di manutenzione straordinaria del profilo di spiaggia. Se la fattispecie venisse contemplata dalla RAS fra gli interventi eseguibili con ciclicità periodica, si tratterebbe come in altre regioni già accade, di semplice intervento di **Manutenzione Ordinaria del Demanio Marittimo**, da eseguirsi tanto per finalità turistico-ricreative quanto al fine di mantenere inalterato il ruolo della spiaggia come presidio a tutela della costa stessa e scongiurare il ricorso ad interventi strutturali che al momento soffrono di particolare grado d'incertezza a causa del cronico deficit di dati statistici a mare.

## 7. MODELLO GEOLOGICO

### 7.1 Inquadramento geologico e geomorfologico del bacino sotteso alla spiaggia con particolare riguardo al bacino del Riu Canale Torto (Finujalzu)

Per potere in ogni caso dare spiegazione esauriente sia delle valutazioni diagnostiche delle criticità della spiaggia che delle sue ipotesi terapeutiche, l'intera problematica ha avuto la necessità di essere affrontata tanto sul fronte delle implicazioni per così dire *a monte* (**bacino idrografico versante**) quanto sulle corrispondenti *di valle* (**spiaggia sommersa, cella sedimentaria e unità fisiografica**), ferma restando la localizzazione del dissesto erosivo sul compendio sabbioso demaniale marittimo, di per sé soggetto a periodici eventi innescanti rappresentati da "mareggiate"<sup>1</sup> di scirocco. Detto dissesto sarà pertanto considerato in primo luogo nell'ambito delle controverse dinamiche che interessano il sistema idrografico sotteso alla spiaggia, comprese le sue interazioni complessive con la spiaggia stessa, ed in secondo luogo nell'ambito della specifica morfodinamica di spiaggia, intendendo con questo termine tanto la parte emersa quanto quella sommersa all'interno della più vasta cella sedimentaria.

Pertanto una volta posto esposto l'inquadramento geolitologico, nella prima parte della trattazione successiva, si darà conto del **sistema idrografico recapitante** alla *Terza Spiaggia* anche alla luce di sue criticità e di

<sup>1</sup> In ambito Mediterraneo si suole indicare in 1,5m la soglia critica ( $h_{crit}$ ) che deve essere superata dall'altezza significativa ( $H_s$ ) dell'onda nel corso di una successione di stati di mare della durata temporale par superiore ad almeno 12 ore, definibile appunto, come *mareggiata*.



scenari calamitosi determinatisi di recente Nella seconda s'illustreranno i principali e più significativi **elementi geologico marittimi** che caratterizzano la spiaggia e la cella che la comprende.

## 7.2 Inquadramento Geologico

I tratti geologici salienti del Bacino del Riu Finujalzu sono riassunti dallo stralcio del Foglio Geologico 428-Arzachena della Carta Geologica d'Italia scala 1:50.000 (RAS-APAT- progetto Carg).

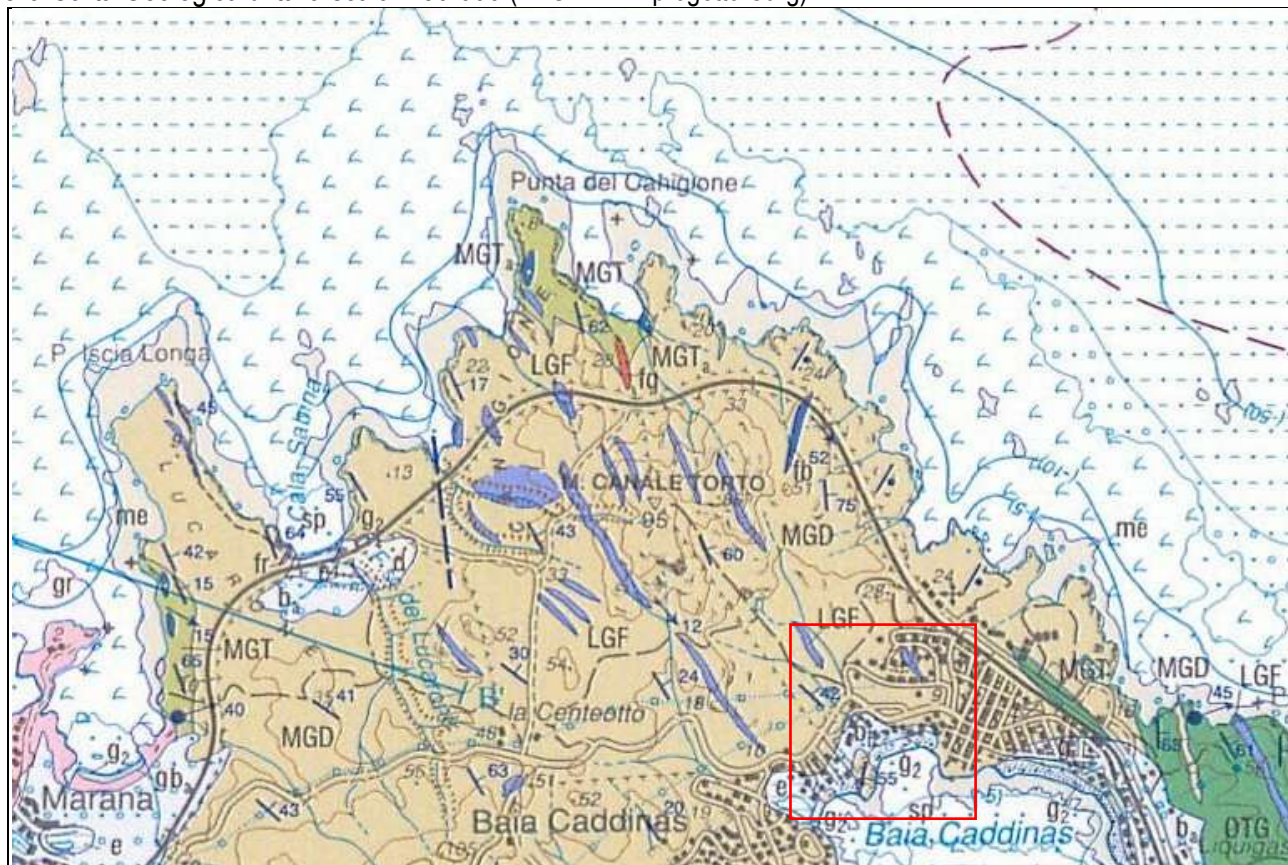


Fig.9- Stralcio del Foglio Geologico 428-Arzachena della Carta Geologica d'Italia scala 1:50.000 con la localizzazione della Terza spiaggia e delle sue pertinenze, nel riquadro

Vi prevalgono dal basso stratigrafico verso l'alto:

- LGF** Leucograniti foliati a muscovite di Punta Ischia Longa
- OTG** Ortogneiss di Golfo Aranci
- MGD** Diatessiti pre-cambriche del Complesso metamorfico Paleozoico di Alto Grado
- LGF** Leucograniti a giacitura allungata del Complesso metamorfico Paleozoico di Alto Grado
- d** Depositi eolici residuali olocenici
- g<sub>2</sub>** Depositi di spiaggia litorali olocenici
- e** Depositi di stagni, lagune e paludi costiere
- ba** Depositi dei letti fluviali e dei terrazzi alluvionali
- sp** Sabbie silicoclastiche dell'area marina

Come indicato anche nella cartografia di Fig. 9, il sostrato roccioso della *Terza spiaggia* intesa come compendio comprensivo della cella sedimentaria entro cui ricade, è dunque formato da **Diatessiti (MGD)**, ossia da rocce migmatitiche coesive, assai affini macroscopicamente agli Gneiss a composizione granitica. Tali rocce si ritengono costituite almeno in parte da una frazione derivante dalla cristallizzazione di un fuso silicatico granitoidale; si tratta dunque di rocce anatettiche fra le più diffuse. In questo contesto, il litotipo più ricorrente in affioramento è costituito da migmatiti stromatiche che a tratti possono sfumare in *nebuliti* di aspetto granitoidale. La paragenesi fondamentale è a Feldspato alcalino, Plagioclasio, Quarzo, Biotite a cui si

unisce abbondante Muscovite tardiva<sup>2</sup>. Al microscopio si evidenzia la struttura gneissica con orientazione preferenziale dei fillosilicati. Gli ammassi, di colore da bruno chiaro a rossiccio, a verde scuro, sono fortemente modellati sulle strutture tettoniche e sono intensamente fratturati secondo diversi ordini di discontinuità. Si rinvencono nell'intorno della rada anche in ambito sommerso (Fig. 5).

Stratigraficamente soprastante, nella porzione sommersa assiale della spiaggia, a circa 120m dalla battigia è stato localizzato (vedi paragrafo rilievi subacquei) l'affioramento di una formazione rocciosa conglomeratica a cemento carbonatico tipica del contorno sommerso della Sardegna (*Beach rock*), poggiante sul sostrato in migmatiti con immersione a SudEst e soggetta a smantellamento della frazione ciottolosa. Quest'ultima si rinviene in parte dispersa sui corpi sabbiosi attuali soprastanti e mobili su di essa.

Dal quadro complessivo locale emerge che, se si escludono le formazioni costiere, si deve sottolineare la scarsa rilevanza delle coperture detritiche sul basamento roccioso, onde per cui occorre considerare le sabbie attualmente costituenti le spiagge soprattutto come il risultato di una lunga selezione di corpi già depositi e variamente riesumati nel corso, quanto meno, dell'Olocene. A ciò si unisce la selezione dei detriti attuali provenienti dall'erosione del sostrato, vuoi torrentizia sul bacino, vuoi marina sui promontori.



Fig. 10 A - Morfostrutture del sostrato a Diatessiti, affioranti sul bordo occidentale della Terza spiaggia



Fig. 10 B - Foce intubata del Riu Canale Torto

### 7.3 Cenni geomorfologici sul bacino

Lo spartiacque del bacino sotteso alla *Terza spiaggia* corre interamente su migmatiti, lungo altitudini collinari molto modeste con culminazione a 95 m s.l.m.m. in corrispondenza di *Monte Canale Torto* (90-95-85m). Le morfologie delle colline ricadenti nel bacino del Riu (Fosso) Canale Torto (o Riu Finujalzu), hanno basse pendenze sostanziali ed appaiono connesse con gli assetti strutturali del substrato geologico, prevalentemente disposti secondo assi e direttrici NordNordOvest-SudSudEst che orientano i corridoi idrografici, dunque i deflussi e che quindi sono indirettamente responsabili dell'allineamento trasversale delle spiagge che li delimitano e della esposizione a SudEst dei paraggi. Un'ulteriore conseguenza strutturale è rappresentata da versanti a debole acclività, con scarsa presenza di gradienti morfologici locali e di cornici. In un tale quadro scarseggiano, tuttavia, le superfici piate e tabulari vere e proprie, essendo il paesaggio morfostrutturale orientato a monoclinale verso SudEst. Non di meno, le incisioni degli alvei nella porzione "montana" del bacino appaiono relativamente profonde se poste in rapporto alla sua scarsa altitudine ed estensione; esse infatti risentono in misura relativa anche degli effetti degli approfondimenti del livello del mare in epoca pleistocenica che portando il livello di stazionamento a -135m nel corso del massimo abbassamento glacio-esustatico (LGM = *Last Glacial Maximum*= circa 21,5 Ka), hanno incrementato l'energia del rilievo e l'azione retrogressiva delle testate fluviali.

Le depressioni retrodunari in tali contesti sono sistematicamente presenti e testimoniano dell'instaurarsi assai recente dei cordoni dunali come effetto morfologico-sedimentologico del livello di stazionamento marittimo a

<sup>2</sup> La Muscovite è molto ben conservata nelle sabbie di spiaggia a riprova di una componente locale della sua composizione

partire da 2-4 Ky. Lo specchio acqueo che un tempo sottendeva il bacino del Riu Finujalzu è stato tuttavia totalmente obliterato dagli insediamenti e privato del deflusso idrico che è stato intubato e deviato al margine SudOvest della conca stagnale. Contemporaneamente è venuta meno la sua funzione laminatrice ed è stata praticamente depreda la duna che sino all'inizio degli anni settanta era localizzata sul bordo interno del cordone litoraneo e che, secondo le testimonianze documentali dell'epoca, aveva altezze superiori ai 3 m s.l.m.

#### 7.4 La costa di sommersione a rias

Una costa di sommersione a *Rias*, assai tipica nel settore granitico e migmatitico della Sardegna Nord Orientale, si è definita sul sostrato cristallino, inciso in conseguenza del condizionamento strutturale (fattore predisponente la geometria), sulle tracce idrografiche del ritiro eustatico pleistocenico e della successiva ultima risalita eustatica post-glaciale che ha affogato le precedenti valli pleistoceniche. Il profilo marittimo con le coste a Rias documenta in tal modo di testate di basso ordine gerarchico, di valli torrentizie e compluvi in gran parte guidate da allineamenti strutturali, sovraescavatisi col ritiro massimo del livello marino (LGM; circa 21,5 Ka) durante la glaciazione wurmiana (-125m/135m dal l.m.m. attuale; Fig. 11).

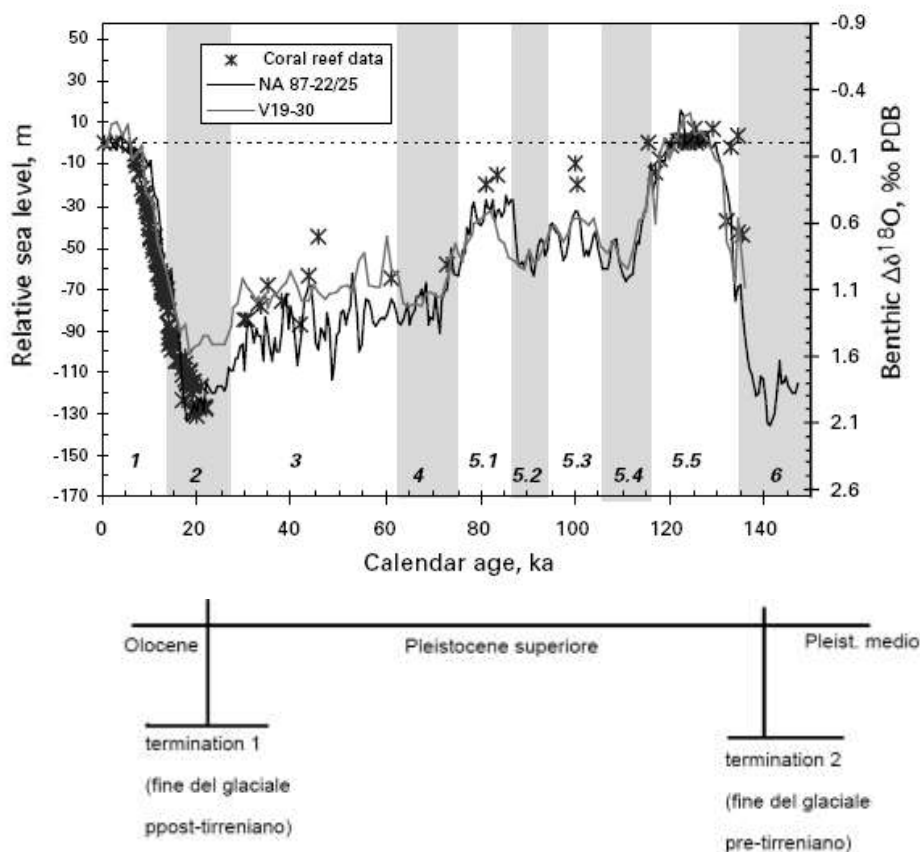


Fig. 11- Stima dei Livelli Relativi di stazionamento del mare fra Pleistocene e Olocene

Per quanto attiene all'evoluzione del sistema idrografico (in seguito sommerso dal mare), si ammette in sintesi che l'intera idrografia della regione sia attualmente il relitto di monte ("testata") di una più ampia paleo-idrografia sviluppata nel corso della glaciazione **Wurmiana** (70.000-13.000 y. B.P). Questa idrografia, stanti gli elementi batimetrici e paleo-batimetrici in possesso (cfr. Fig. 12), doveva necessariamente essere sottesa all'asta principale di un sistema torrentizio ben più ampio e idrograficamente gerarchizzato di oggi, ovvero con foci ben più a valle dell'attuale linea di costa (si consideri che il LGM ammette come detto una profondità a -135 m s.l.m. attuale). Tale sistema può farsi corrispondere ad un Paleo Padrogiano a sua volta connesso col Canyon di Molarà (Fig.8). I fiumi di oggi nel momento di massimo approfondimento del livello marino (circa 20 ka), infatti non erano altro che testate di un'idrografia a carattere montano di affluenti di un sistema che scaricava verso E in direzione del Tirreno centrale ad almeno una trentina di Km dalla costa odierna. L'assetto



attuale è il risultato ultimo di un livello non del tutto stazionario (si noti infatti che in letteratura gli studiosi ammettono un innalzamento relativo di circa 1mm/anno negli ultimi 2000 anni) posteriore a circa 4 ka, in base alla ricostruzione di Fig.12.

Tali caratteristiche morfometriche sono assai meno individuabili nella fascia altimetrica inferiore ai 100 m s.l.m, dove invece la rete solcante il sostrato in migmatiti appare decisamente più elementare.

Ai vari stadi di stazionamento del ritiro wurmiano (70.000 y b.p. -13.000 y b.p.), tramite gli apporti continentali (*onlap costiero*), si sono generati ambienti con prodotti in ambiente sia marino (*Beach rocks*) che continentale (alluvioni ed eolianiti) che hanno costituito anche ai vari stadi di risalita olocenica del livello glacio-eustatico, gli stocks di volta in volta rielaborabili e rielaborati per varie generazioni di sedimenti (spiagge e dune).

Buona parte dei sistemi idrografici minori sono sbarrati da cordoni litorali e confluiscono in stagni costieri. I sistemi maggiori defluiscono di solito in lagune tramite strutture foci a delta; tuttavia malgrado l'intercettazione del recapito solido ordinario e diretto da parte di stagni e lagune, il ripascimento naturale efficace si deve soprattutto all'abbondanza della rete idrografica ed al trasporto solido che si generano nel corso con gli eventi idrologici più rilevanti (maggiori portate e velocità).

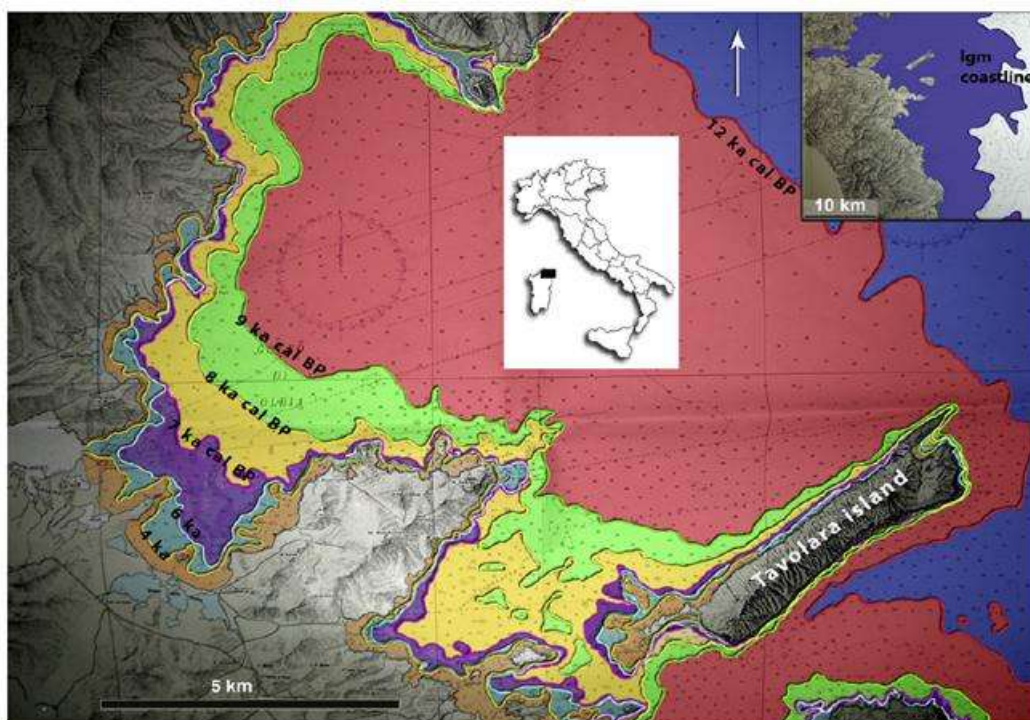


Fig. 12 - Ricostruzione delle paleo linee di riva dall'Olocene nelle aree costiere a Nord e a Sud del Golfo di Olbia [cfr. 29]

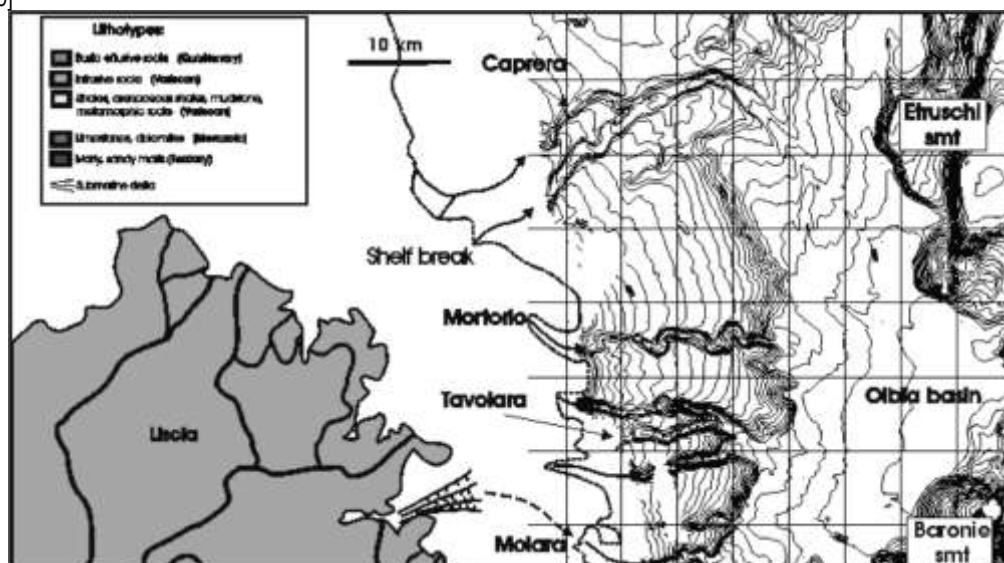


Fig.13 - Schema batimetrico del cosiddetto *bacino di Olbia* elaborato da rilievi multibeam; tratto da Dalla Valle G. [2007]; [19]

## 7.5 Il Torrente *Fosso Canale Torto*

Il corso d'acqua nel suo tratto terminale a monte della SP 36 scorre assai prossimo all'estremità occidentale del centro abitato ma da diversi decenni non defluisce più all'interno della depressione stagnale poiché questa è occupata da un singolare insediamento turistico, localizzatosi all'interno dell'area di espansione. Il torrente, a valle della SP, è stato tombato e deviato verso Ovest e tramite una tubazione in cemento sfocia in mare sul margine Ovest della Terza spiaggia (Fig10 B), in prossimità degli affioramenti del sostrato roccioso in migmatiti (Fig. 10 A).

L'obliterazione dell'area di espansione stagnale retrodunale denominata sulle carte IGMI "*lo Stagno*", è documentabile dai confronti multi temporali in foto aerea e fra foto aeree e cartografia.. E' di tutta evidenza che ciò è da porre in relazione alla realizzazione degli edifici residenziali che attualmente occupano l'originaria depressione. Per garantire sufficienti condizioni di sicurezza ed igienico-sanitarie dei luoghi, le acque sono state allontanate dalla loro sede mediante un'opera di canalizzazione ed intubamento riscontrabile presso lo sbocco a mare sull'estremità occidentale della spiaggia.

Il tentativo di localizzare con esattezza il corso d'acqua nell'area "a cavallo" della S.P. n. 36 ha documentato la presenza di manufatti atti a garantire il deflusso.

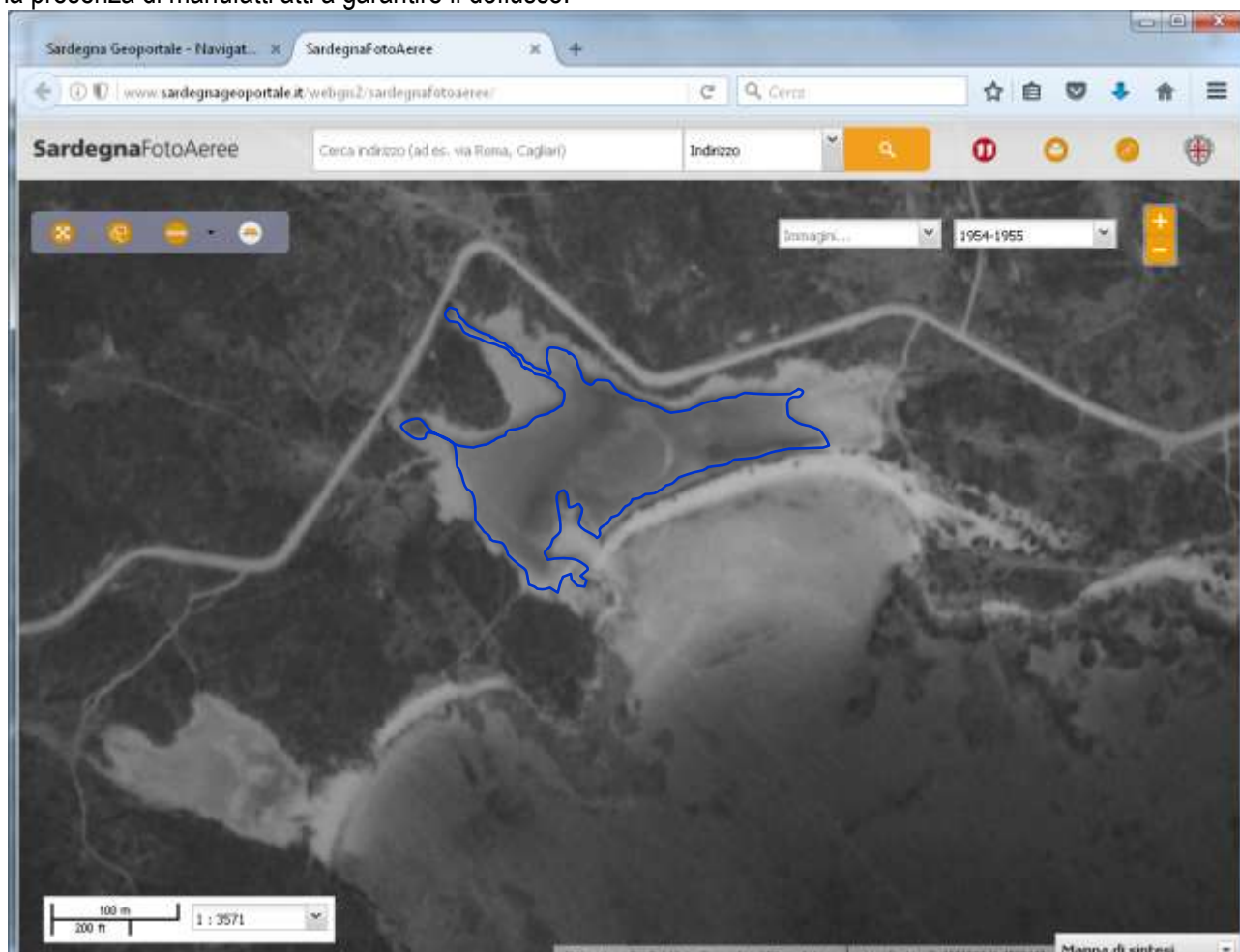


Fig. 14 . Foto aerea orto rettificata del 1954 Stato di naturalità dei compendi demaniali stagnali e marittimi e dell'entroterra non urbanizzato

Sempre l'analisi multi temporale (Par. 7.5) consente di evidenziare una ulteriore drastica modificazione dell'assetto idrogeologico del Riu Canale Torto nel settore prospiciente l'abitato di Golfo Aranci compreso fra Via E. Lussu e la stessa SP n. 36. Lo stato di artificializzazione della porzione di bacino idrografico consiste in:

1. Abbancamenti e accumuli di materiali di risulta provenienti da scavi alloctoni;

2. escavazioni in roccia;
3. accumuli di materiali autoctoni derivanti da escavazioni locali;
4. colmate (ovvero rimodellamenti topografici di abbancamenti e accumuli operati con mezzo meccanico)

Esso è così rilevante da determinare una strutturale perturbazione della rete di drenaggio originale ben al di là delle soluzioni progettuali imposte con l'urbanizzazione. E' stata infatti posta in essere un'**alterazione dell'assetto idro-geomorfologico del torrente** in assenza di contromisure idonee a mitigare o neutralizzare al suo interno l'effetto perturbativo lungo l'alveo. Ne consegue che ad ogni evento intenso si verificano più o meno importanti esondazioni con allagamenti delle vie circostanti (via Lussu), a cui segue una serie di ulteriori fenomeni calamitosi ben documentati nelle più strette pertinenze (allagamenti scantinati; danni alla viabilità). Tali allagamenti sono dunque la conseguenza diretta della fuoriuscita dalla sede naturale di deflusso di acque originariamente destinate a laminare nella depressione stagnale o, in casi più critici, a defluire in mare tramite la periodica bocca che si apriva sul settore occidentale della spiaggia (Fig. 14).

La dinamica di deflusso del ramo principale del Riu Finujalzu ricostruita in dettaglio dallo scrivente nel corso della elaborazione degli atti di pianificazione idrogeologica comunale, in particolare rispetto alle evidenze osservate nell'evento calamitoso del 2008 (successivamente confermata in quello del 2015), è riassunta nelle Figg. 17 e 21.

In particolare si osserva:

- a. Il flusso risultante dall'accumulo idrico converge nel settore idrografico dinanzi all'incrocio fra via E. Lussu e Via G. Carducci (vedi aree rosse bordate di bianco di Fig.21) mentre in condizioni del tutto naturali avrebbe dovuto convergere verso l'interno (cioè vero Sud), mediante la traiettoria indicata in Fig. 21;
- b. è stato dapprima trattenuto in escavo;
- c. è tracimato dallo scavo;
- d. è stato deviato, sia per via sub-superficiale che superficiale (cioè anche in assenza di precipitazione), in direzione SudEst, cioè verso l'incrocio via Lussu-via Carducci;
- e. agli effetti di tale tracimazione si è aggiunto il flusso in parte artificializzato proveniente dal ramo orientale (in rosso in Fig. 9) che corre radente a meno di 3 m da Via Lussu ed a quote poco più basse (-0,80/-1 m) dal manto stradale;
- f. l'incontro dei due flussi ha prodotto un volume idrico con pelo libero a quote superiori a quelle dell'orlo stradale in corrispondenza del vertice N dell'incrocio fra via Lussu e Via Carducci;
- g. da qui la corrente idrica, corrispondente ad un'aliquota del deflusso idrico totale (una parte come detto si è dispersa in altre direzioni per via sotterranea) ha teso a tracimare oltre il rilevato stradale (Fig. 9);
- h. di conseguenza, in ragione della maggiore pendenza, il deflusso conseguente si è indirizzato dapprima lungo il tratto occidentale della cunetta, poi diagonalmente ha investito la strada diffondendosi fino al bordo orientale;
- i. poco oltre si è riversata nei locali seminterrati di via E.Lussu.

L'insieme delle perturbazioni geomorfologiche (escavi, abbancamenti, parziali colmate) presenti nel relativamente ampio settore a monte della SP n.36 delimitato da via Lussu, allo stato attuale determina anche soltanto in condizioni "ordinarie" di evento di piena un effetto di laminazione dei volumi di deflusso che, superata una certa soglia, tracimano in via Lussu.

Si osservi che tali volumi idrici, ove invece la situazione fosse naturale, defluirebbero naturalmente verso lo stagno laminando all'interno della depressione e nel corso degli eventi più intensi rigurgiterebbero lungo soglie più depresse del cordone di spiaggia, corrispondenti in genere (si vedano le foto aeree e i confronti multitemporali) al suo margine Ovest. Tali fenomeni i, periodicamente agenti sul sistema stagno-duna-spiaggia, hanno garantito per anni alla parte emersa del sistema (spiaggia emersa) e a quella sommersa un puntuale processo di rifornimento da tergo con la presa in carico dei materiali sabbiosi stockati sulla duna o entro lo stesso stagno; essi hanno dunque rappresentato il principale fattore del suo equilibrio morfodinamico. Ciò è tanto più vero trattandosi di una Pocket Beach piuttosto stretta ed incassata dove le correnti trasversali da ponente-maestrale, non sono in grado di determinare significativi vettori morfodinamici laterali *longshore* in grado a loro volta di spostare volumi in senso longitudinale ossia di recare deformazioni durature.



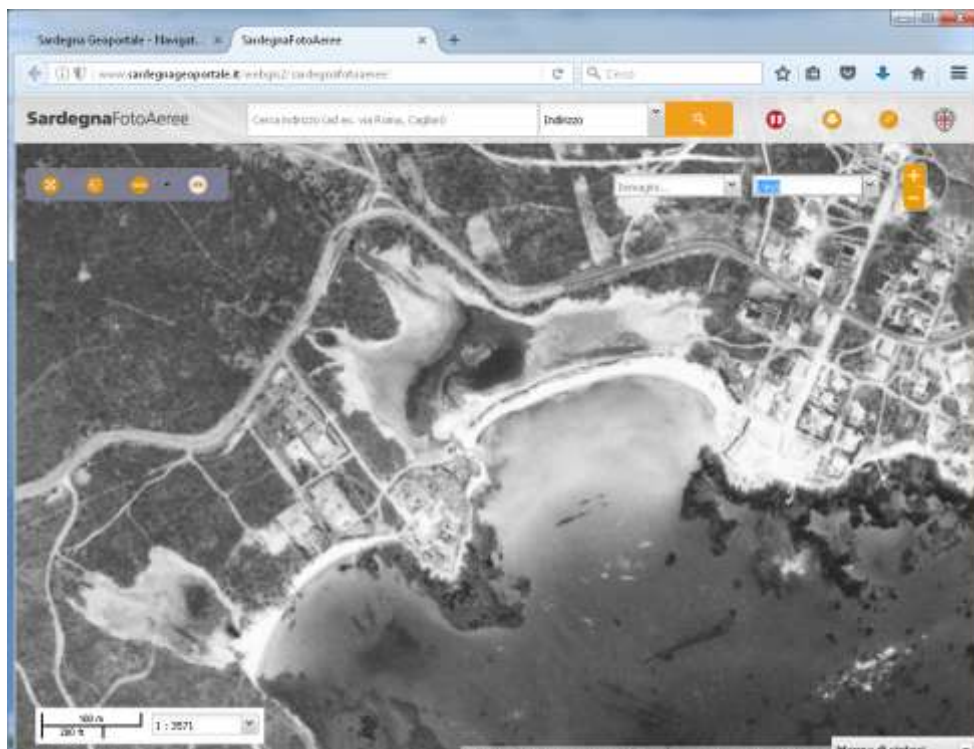


Fig. 15 - Foto aerea orto rettificata del 1968. Stato di sostanziale naturalità dei compendi demaniali stagnali e marittimi, con una certa manifesta stabilità della spiaggia emersa ed instabilità di quella sommersa

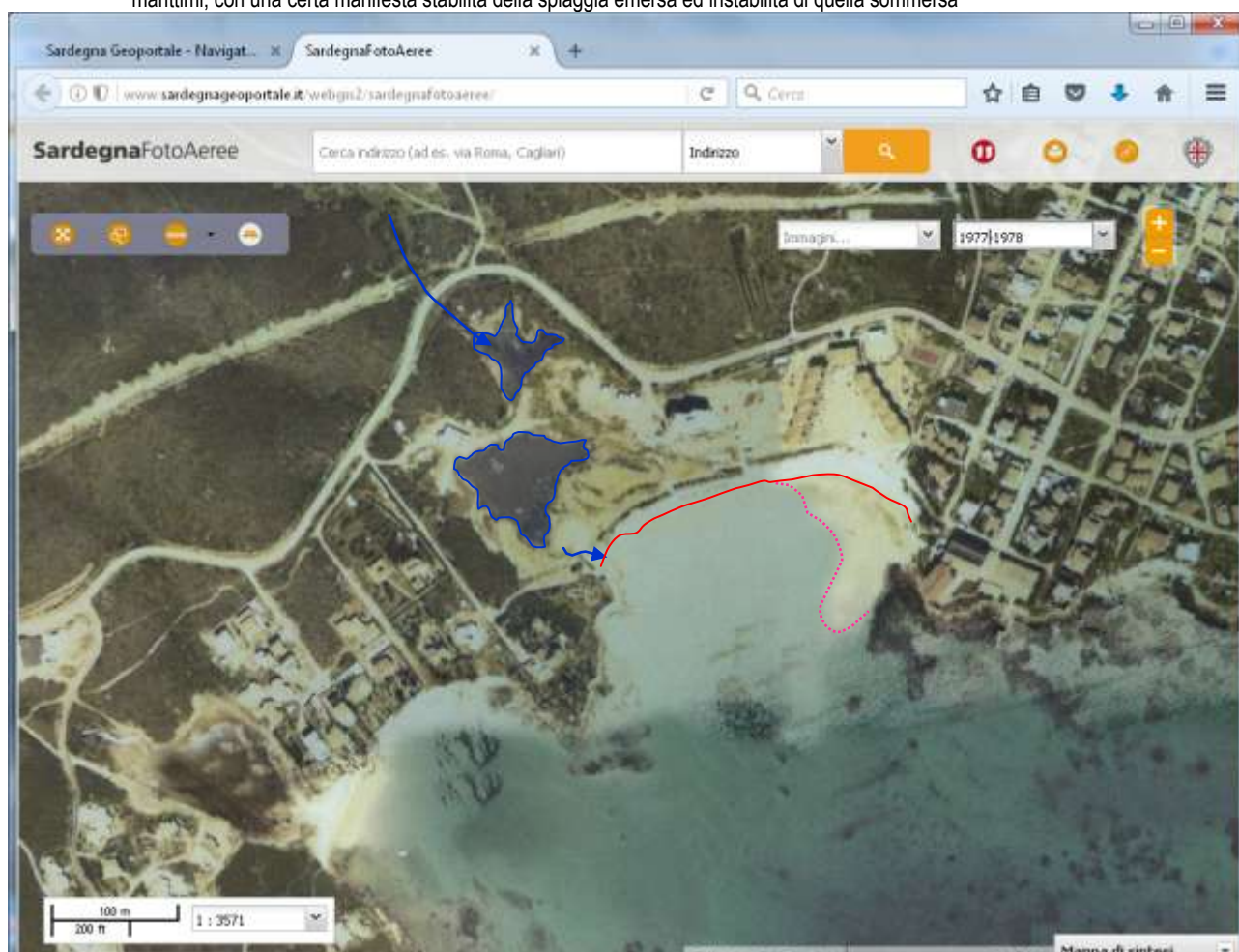


Fig. 16- Foto aerea orto rettificata del 1977. Lo stagno retrodunale viene interessato dalla realizzazione di un insediamento turistico sulla porzione orientale. Metà della superficie dello stagno viene sottratta alla espansione dei deflussi idrici provenienti dal bacino del Riu Canale Torto. La parte più orientale della spiaggia sommersa è interessata da notevole incremento volumetrico e da progradazione della battigia. .

L'azione morfodinamica all'interno della megabarra ospitata nella parte sommersa della Pocket Beach appare infatti limitata alle sole porzioni più superficiali, complessivamente progradanti (al netto della sottrazione di volumi nel compendio descritta su base storica).

In sostanza, il venir meno per ragioni artificiali (ossia deliberate sottrazioni), delle dune negli anni '70 e la più o meno simultanea regimazione dei deflussi idrici, hanno accentuato la drastica modificazione degli equilibri morfodinamici di origine, per così dire, "terrestre", risultanti ancor che sovrapposti a quelli di carattere geomorfologico connessi con l'attuale livello di stazionamento glacio-eustatico. Pertanto, **il nuovo assetto complessivo strutturatosi fra gli anni '70 e '90 riguardante a monte il corso d'acqua e più a valle lo stagno retrodunale e lo stesso cordone dunale, annullando la frequenza degli eventi idrologici da un lato ed abbattendo drasticamente i volumi di riserva necessari al periodico rifornimento della spiaggia sia da terra (eventi idrologici) che da mare (mareggiate), è alla base (condizione predisponente) dell'arretramento dell'area di battigia sulla Terza spiaggia poiché ha ridotto irreversibilmente lo spessore dei suoi volumi, in particolare quelli presenti sulla berma.**

Quest'ultima mostra drastiche perdite volumetriche dell'ordine in media di **25cm-30cm** (cfr. Fig. 18) che fanno ammettere un deficit di sabbie di non meno di 1000mc sulla spiaggia emersa (considerando una superficie di circa 4000mq, al netto della perdita della duna e delle ulteriori perdite dovute gli attuali scorretti metodi di gestione dei depositi a resti di *Posidonia oceanica*).

In questo nuovo assetto, già deficitario per la drastica sottrazione artificiale di sabbie di duna, una quota aggiuntiva relativamente importante di volumi sabbiosi (da 1 a 2 x 10<sup>3</sup>mc), si è morfodinamicamente riposizionata in ambiente sommerso, in equilibrio morfologico dinamico, andando ad approvvigionare la barra che contraddistingue la spiaggia sommersa della *Terza Spiaggia*. Come vedremo meglio in seguito, queste sabbie sono molto dinamiche in superficie in ragione soprattutto della granulometria, in quanto si tratta di sabbie fini di ambiente dunale che risentono anche delle azioni di corrente longitudinale causata dai venti dominanti.

Gli spessori in spiaggia emersa non sono stati misurati con indagine geognostica tuttavia una valutazione attenta su base morfologica del compendio sabbioso fa ritenere che essi, molto ridotti rispetto al passato, siano al più dell'ordine del metro nella parte assiale del compendio emerso.

## 7.5 Cenni Meteorologici

Se si prende a riferimento storico il pluviometro di Olbia, l'andamento del regime delle precipitazioni mostra come il mese più ricco di afflussi sia Dicembre, seguito in genere da Novembre, Ottobre, Gennaio e Febbraio. Ulteriori informazioni sono sintetizzate nella seguente tabella:

Piovosità media 1922/1992	593,55 mm
Piovosità media 1922/2001	581,81 mm
Piovosità media 1982/1992	426,96 mm
Piovosità media 1993/2001	489,18 mm
Riduzione Percentuale 1922/2001-1993/2001	15,9 %
Riduzione Percentuale 1922/1992-1982/1992	28 %

Tab.1 - Elaborazioni statistiche sulle serie storiche dei dati del pluviometro di Olbia

Si tratta in sostanza di valori medi fra i più bassi in Sardegna.



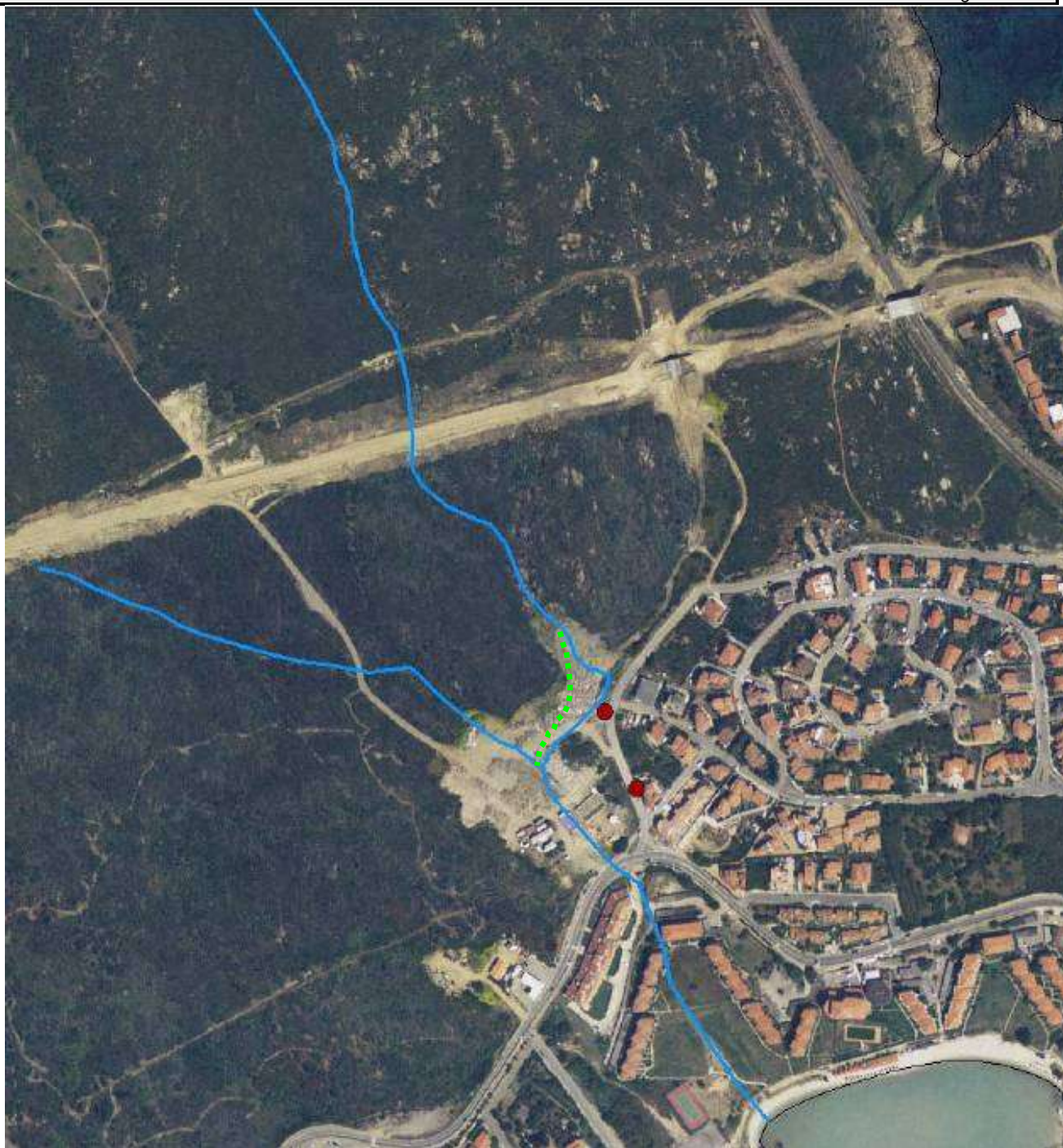


Fig. 17 – Sovrapposizione della idrografia ricostruibile su base digitale e la ortofoto. In tratteggiato il segmento idrografico pre-artificializzazione. I cerchi rappresentano il punto di rigurgito principale (alto) e i punti più vulnerabili. La foto soprastante riscontra la sovrapposizione dell'idrografia derivata dalla Carta Tecnica Regionale-DB10 K Sez. 428160 con la ortofotocarta





Fig. 18 - Lo stato di esumazione delle radici di un lentisco e di un ginepro, posizionati oggi intorno ai 10 m dalla battigia in quel che resta della duna, pochi metri ad Ovest delle strutture fisse della concessione Del Giudice- Tali essenze arboree attestano di un relitto terminale di apparato dunare

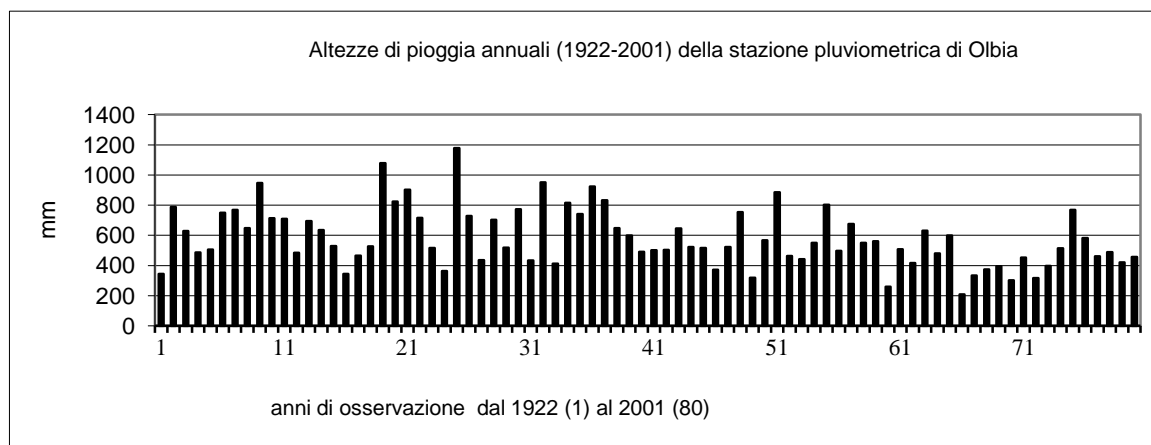


Fig.19 - Altezze di pioggia annuali (1922-2001) nel pluviometro di Olbia

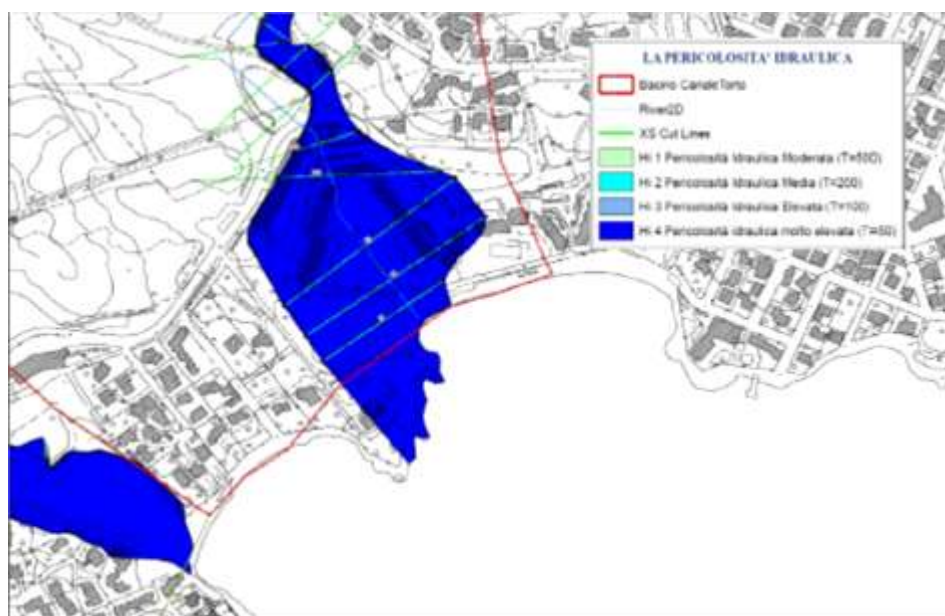


Fig. 20 - Stralcio della carta della pericolosità idraulica Studio dii compatibilità idraulica ex art. 8 comma 2 adeguamento PUC a PPR e PAI

## 7.6 Pericolosità ai sensi del PAI del Riu Canale Torto

Il Riu Canale Torto, è stato oggetto di perimetrazione della pericolosità ai sensi del PAI da parte dell'Amministrazione comunale. La precedente Fig. 20 riscontra della problematica in termini di classificazione e di estensione, mentre la Fig. 21 dà conto delle singole criticità idrogeologiche.



Fig.21- I principali elementi che ricostruiscono lo scenario attuale di un evento intenso di piena. La traccia idrografica in celeste è tuttavia quella teorica ricostruita su modello. In realtà a valle della SP. N.36 l'alveo è intercettato da una tubazione che sposta la foce all'estremità Ovest della falcata.

## 7.7 Caratterizzazione Idrogeologica

Il *Fosso Canale Torto* (o Riu Finjalzu) è il principale corpo idrico drenante sulla Terza spiaggia. Si tratta di un corso d'acqua a carattere torrentizio, con deflussi limitati al periodo autunnale e invernale che può andare incontro ad aumenti improvvisi di portata legati a precipitazioni intense. Attraverso tre rami principali (si noti come le cartografie di riferimento nazionale e regionale siano difformi nei tratti a monte ma sostanzialmente conformi in quelli a valle) esso risulta drenante un bacino di dimensioni molto modeste (Fig. 22) con superficie



<1Kmq pari a 0,73Kmq e sviluppo dello spartiacque pari a 3,5Km. Esso come visto è parte di un sistema piuttosto tipico della fisiografia della costa di sommersione fra Golfo Aranci e Olbia, condizionata dall'assetto tettonico del substrato geologico in rocce migmatitiche e dagli effetti geomorfologici complessivi posteriori alla fase erosiva di circa 20 ky spintasi fino a livelli di stazionamento glacio-eustatici di -135m al di sotto del l.m.m. odierno

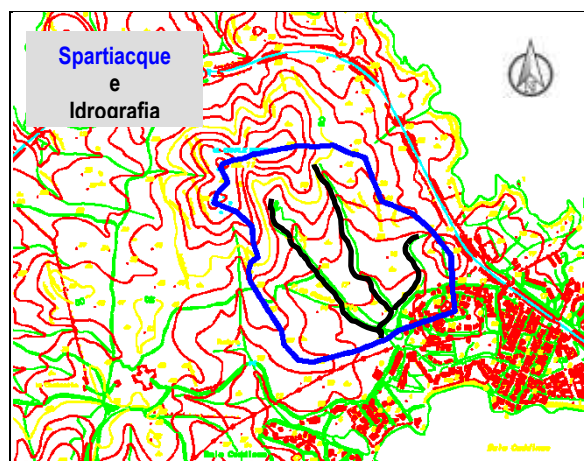


Fig.22 - Stralcio della CTR -420160 della R.A.S., con indicazione di spartiacque e rete di deflusso

Dal punto di vista idrogeologico il sostrato litologico dell'area viene assegnato a terreni con *permeabilità bassa per fessurazione* dalla cartografia idrogeologica dell'Università di Sassari [8]. Più in dettaglio, il bacino sotteso alla sezione a monte della S.P. n.36 possiede caratteri di permeabilità estremamente bassa in quanto incentrato su di un rocce migmatitiche con esigue coperture permeabili, per lo più regolitiche, presenti nelle porzioni terminali vallive, nelle quali possono concentrarsi circuiti effimeri sotterranei poco significativi durante i periodi piovosi. Date, quindi, le condizioni di sviluppo areale e la bassa conducibilità idrogeologica del substrato, il coefficiente di deflusso (rapporto fra volumi di Deflusso torrentizio e di Afflusso meteorico) deve ritenersi pari a 1. Ciò significa che è lecito attendersi che tutta la precipitazione di norma si trasformi in deflusso idrico ovvero tenda a concentrarsi sulla sezione di riferimento, in particolare negli eventi intensi e che i tempi di corrvazione siano rapidissimi, dell'ordine di qualche minuto nel corso degli stessi.

Le Figg. 14, 15 e 16 riscontrano la presenza di una relativamente ampia zona di espansione idraulica a monte della *Terza Spiaggia* associata ad un cordone sabbioso sottendente lo stesso stagno retrodunare. La Fig. 4 mostra con una certa chiarezza che i sistemi idrografici che si immettono nello stagno, sono in realtà 3, di cui quello centrale, denominato *Fosso Canale Torto*, è il più importante, mentre i due restanti sono secondari. La fotografia 1954 riscontra una depressione stagnale intatta e l'assenza di qualunque forma di modificazione del compendio sabbioso, in cui si può estrapolare la robustezza, duna compresa.

## 7.8 Geomorfologia e morfodinamica della spiaggia

La *Terza spiaggia* di Golfo Aranci è una spiaggia sabbiosa di 330 m di sviluppo in emersione, profonda dai 10m a 13 mt in media, con massimo a 22m-23m nel semiarco orientale in profilo di bel tempo e in bassa marea, ma con estremità sempre orientale a 3m. La spiaggia è ben incassata entro una baia orientata secondo le morfostrutture migmatitiche e generata dalla sommersione di una testata idrografica minore nel corso della risalita Olocenica posteriore al glacio-eustatismo pleistocenico. Il sostrato che la contiene, fatta salva la possibilità di residuali formazioni note come spiagge fossili o *Beach Rock*, al contatto coi terreni di base, è del tutto roccioso ed affiora nettamente sui margini Ovest ed Est della spiaggia stessa e sugli oggetti rocciosi che la definiscono ai bordi e nel sottofondo.

### 7.8.1 FENOMENI EROSIVI DETERMINATI DALLE CONDIZIONI DI ARTIFICIALITÀ IMMEDIATAMENTE A MONTE DELLA SPIAGGIA

Con riferimento alle Figure 8A e 8B ed a quelle successive, si illustrano le criticità che si reperiscono nella *Terza Spiaggia*. In Fig. 8A esse conseguono dall'arretramento della battigia a discapito della struttura storica



in concessione e da fenomeni di ruscellamento che si determinano a partire dall'incanalamento dei deflussi nello stradino a tergo della spiaggia. In Fig. 8B si scontano sulla spiaggia gli effetti del ruscellamento idrico da monte, generato da piogge intense ma accentuato dalle opere viarie artificiali e in 8B<sub>4</sub> dai manufatti posizionati sopra di essa che accentuano localmente processi riflettenti a discapito dei volumi emersi.

Le immagini tratte dallo scrivente nei giorni seguenti l'evento intenso dell'Ottobre 2015 (Figg.25, 26 e 27) consentono una maggiore schematizzazione. Gran parte del dissesto documentato deriva dalle condizioni a monte del demanio marittimo, determinate da antropizzazione spinta delle superfici in sua stretta pertinenza.



Fig. 23- **Parte centrale della spiaggia** Stato della berma e della battigia il 13 Luglio 2017, ore 13:17, marea +0,15m



Fig. 24 - Stato della berma e della battigia il 16 Novembre 2017, ore 14:19, marea +0,15m. In evidenza le soluzioni provvisorie di drenaggio adottate a prevenzione di danneggiamenti e lo spessore (circa 15cm al sostegno) della sezione volumetrica sottratta tempo per ondazione rispetto al profilo di bel nel corso di eventi sciroccali del mese di Ottobre.



Fig. 25 -Erosione incanalata a tergo della spiaggia nel suo settore Orientale (caso 3 di Fig. 8B). La realizzazione recente di un complesso edilizio tende ad incanalare i deflussi sulla spiaggia e apportandovi detriti d'erosione e materiali artificiali di cantiere, e rimuovendo le sabbie, sia pure pro tempore, ne altera progressivamente le caratteristiche naturali ambientali ossia, tessitura e cromatismo oltre che assetto volumetrico. Notare come la depressione che si crea a seguito del ruscellamento venga poi parzialmente riempita da sedimenti vegetali e resti di *Posidonia oceanica*.



Fig. 26 - Erosione incanalata (caso 2 di Fig. 8B). vista frontale dalla spiaggia. Il processo interessa la spiaggia e la base artificiale dello stradello che la contorna





Fig. 27 - Dissesti sulla spiaggia (caso 2 di Fig. 8B) causati dalle acque incanalate lungo lo stradello a tergo della spiaggia e provenienti dalla monte (vista verso Est)



Fig. 28 – Foto 16 Novembre 2017. Vasto allagamento della spiaggia con formazione di conca di acqua (caso 1 e 2 di Fig. 8B). Vista da Ovest

### 7.9 Resoconto dei rilievi subacquei eseguiti nella terza spiaggia di golfo aranci

Nella giornata del 30 Giugno 2017 dalle ore 13:50 alle ore 14.40, con livello di marea sizigiale + 0,20m, vento da Ponente unito a debole ondazione ed associata corrente con direzione longitudinale alla linea di spiaggia, lo scrivente ha effettuato un rilievo geologico in ambiente marino in località Terza Spiaggia, in Comune di Golfo Aranci. Scopi del rilievo erano i seguenti:

- la definizione del profilo morfobatimetrico
- la definizione del profilo geolitologico
- la definizione morfologica della barra sabbiosa,
- l'individuazione delle caratteristiche qualitative di tessitura del fondo sommerso
- la valutazione dei volumi di sedimenti nelle varie porzioni sommerse
- il campionamento di sabbie in ambito sommerso in uno o più punti sufficientemente rappresentativi



La spiaggia si presentava presso che deserta a causa delle condizioni meteorologiche.

L'indagine, previo accordo col titolare, ha avuto inizio a partire dalla Concessione denominata "Terza Spiaggia". Attualmente in sua corrispondenza si determina il maggior rischio conseguente da arretramento della battigia e, per tale ragione, beneficerebbe per prima della progettazione mirante al ripristino delle caratteristiche morfologiche necessarie al mantenimento della spiaggia e ad una sua più corretta gestione.



Fig. 29 - Geolitologia locale su ortofoto

Il rilievo subacqueo aveva lo scopo di pervenire, per quanto possibile in assenza di sofisticate strumentazioni dedicate (ecografia single beam; multibeam), ad un quadro conoscitivo di maggior dettaglio da associare alle conoscenze fin qui assunte da terra, sugli gli elementi geologici, litostratigrafici, geomorfologici, sedimentologici e su quelli morfo-batimetrici che governano il dinamismo della locale micro-cella sedimentaria e, in particolare, **la relativa mobilità dei volumi sabbiosi** in essa ospitati, se non altro di quelli più superficiali. E' infatti proprio, questo processo, che al di là di tutto deve considerarsi causa innescante nonché principale dell'attuale fase di arretramento della spiaggia emersa, fermo restando l'insieme delle cause predisponenti di cui si è detto. Lo stato di fatto quindi, stanti così le cose, pone un problema di conservazione della risorsa in generale e, nello specifico, delle condizioni geometriche alla base dell'esercizio delle concessioni demaniali assentite dall'Assessorato degli EE. LL. FF. UU. della RAS e dal Comune di Golfo Aranci.

In tale contesto di vulnerabilità, possono in aggiunta manifestarsi effetti "erosivi" associati al **drenaggio concentrato e scorretto** delle acque urbane di monte. Queste seguendo la viabilità minore e le depressioni relative associate agli insediamenti, colpiscono la spiaggia e le sue strutture nel corso di eventi idrologici più intensi. Esse tuttavia possono essere considerate al più una condizione aggravante della criticità ma non certo il principale fattore alla sua origine. Infatti le acque di ruscellamento sulla spiaggia, incanalandosi ulteriormente, si spingono a tergo della concessione *Terza Spiaggia*, attraverso il sentiero retrostante il compendio sabbioso, fino a danneggiarla. In termini geomorfologici locali, esse possono al massimo allontanare pro tempore in ambiente sommerso parte dei volumi sabbiosi emersi (cosa questa che dalla parte emersa di fatto si traduce in una perdita sul breve, poiché le sabbie non sono allontanate ma traslate). Questi

ultimi, dal canto loro in virtù delle relitte condizioni geomorfologiche della spiaggia stessa, sono con tutta probabilità particolarmente fini, essendo di fatto attinenti ad un sistema un tempo dominato da duna.

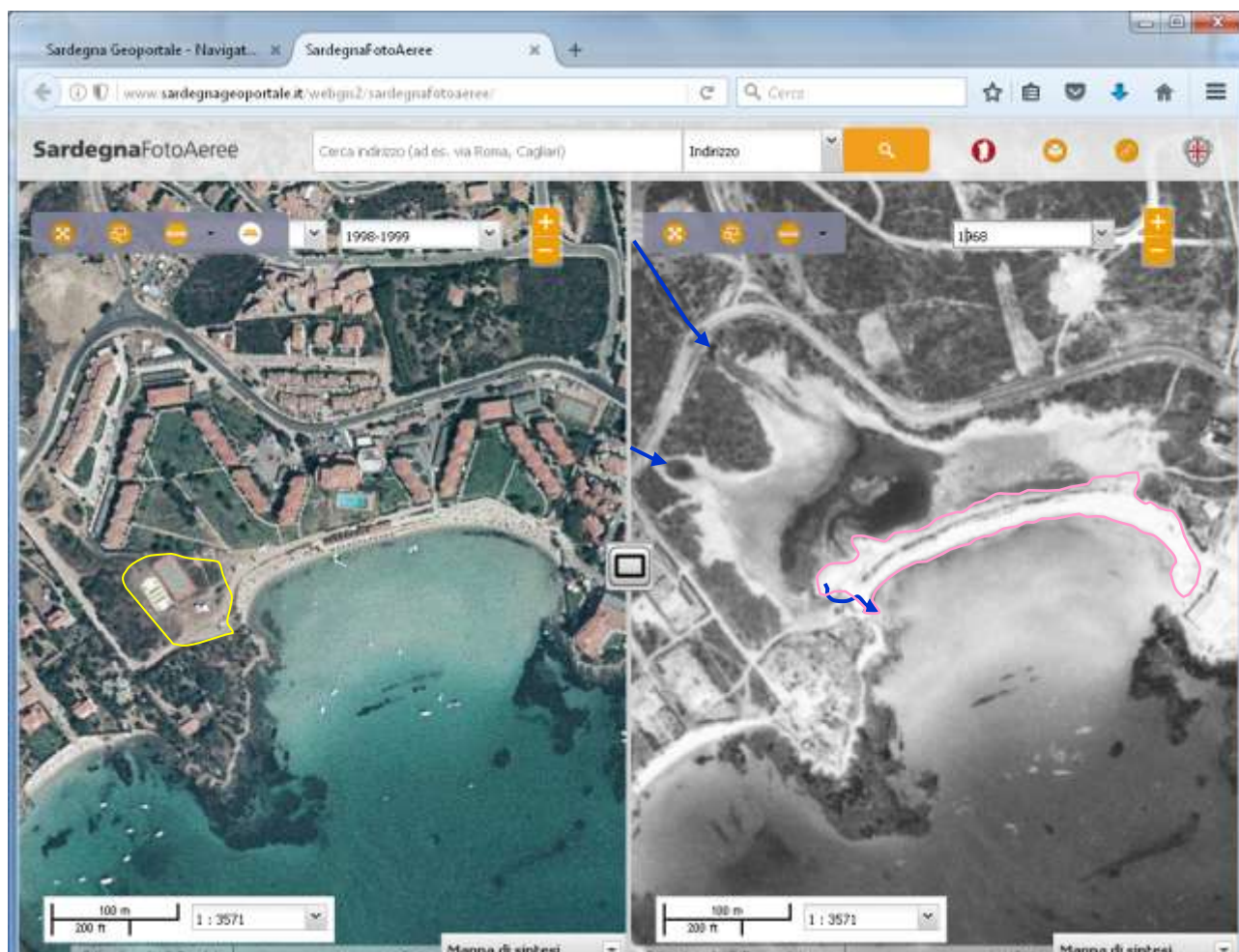


Fig. 30 - Confronto diacronico 1998 (Sx) – 1968 (Dx)

### 7.10 Profilo interpretativo geomorfologico e litostratigrafico della spiaggia sommersa

La spiaggia sommersa è stata perlustrata a nuoto ed esplorata con rilievo geologico subacqueo avente a riferimento due coppie di transetti fra loro ortogonali a maglia quadra di circa 70m, due trasversali (*cross shore*) in andata e in rientro di circa 140m e due longitudinali (*long shore*) di circa 130m (secondo le tracce di Fig. 31). A questi rilievi sono state associate ulteriori varie osservazioni di dettaglio ai due lati estremi della spiaggia sommersa, al limite del suo fronte pertinente al fondo roccioso, sia in condizioni di bassa che di alta marea. Il rilievo è stato completato da un campionamento di sabbie C2 in spiaggia sommersa, prelevate nel punto di coordinate  $41^{\circ} 0'9.75''N$  e  $9^{\circ}36'41.49''E$  ai fini della determinazione granulometrica e dell'analisi al microscopio binoculare (un secondo campione C1 è stato prelevato in data 16/11/2017 per l'analisi granulometrica, nel punto di coordinate  $[41^{\circ} 0'13.34''N]$   $[9^{\circ}36'45.14''E]$  in spiaggia emersa (Fig. 31).

Il profilo è stato illustrato in Fig. 34 ed è ricavato sulla traccia AB di Fig. 31.

A partire dal lato ad occidente delle strutture posizionate sulla concessione denominata *Terza Spiaggia*, il rilievo mette in evidenza un truogolo di dimensioni piuttosto ridotte (circa **0,55m** di profondità e circa **1,5m** di ampiezza trasversale sulla zona di risacca), a cui succede una rampa che solleva la superficie sabbiosa del fondo a circa 0,40m. Sul traverso, verso mare, nel segmento compreso fra 40m e circa 80m dalla battigia, la profondità, pur con superficie ad ampie ondulazioni, si stabilizza sui 0,60m per poi gradualmente discendere a **-1,70m**, raggiunta a circa 110m dalla battigia, ossia all'altezza della delimitazione con gavitelli dello specchio acqueo concesso. A 120m dalla battigia la profondità raggiunge i **-2,00m** sull'affioramento di testate di *Beach rocks* che tendono a disporsi poco all'interno della linea di congiunzione ideale dei due promontori che delimitano la cella e si sviluppano per 80m in senso longitudinale e per 15m in senso trasversale.



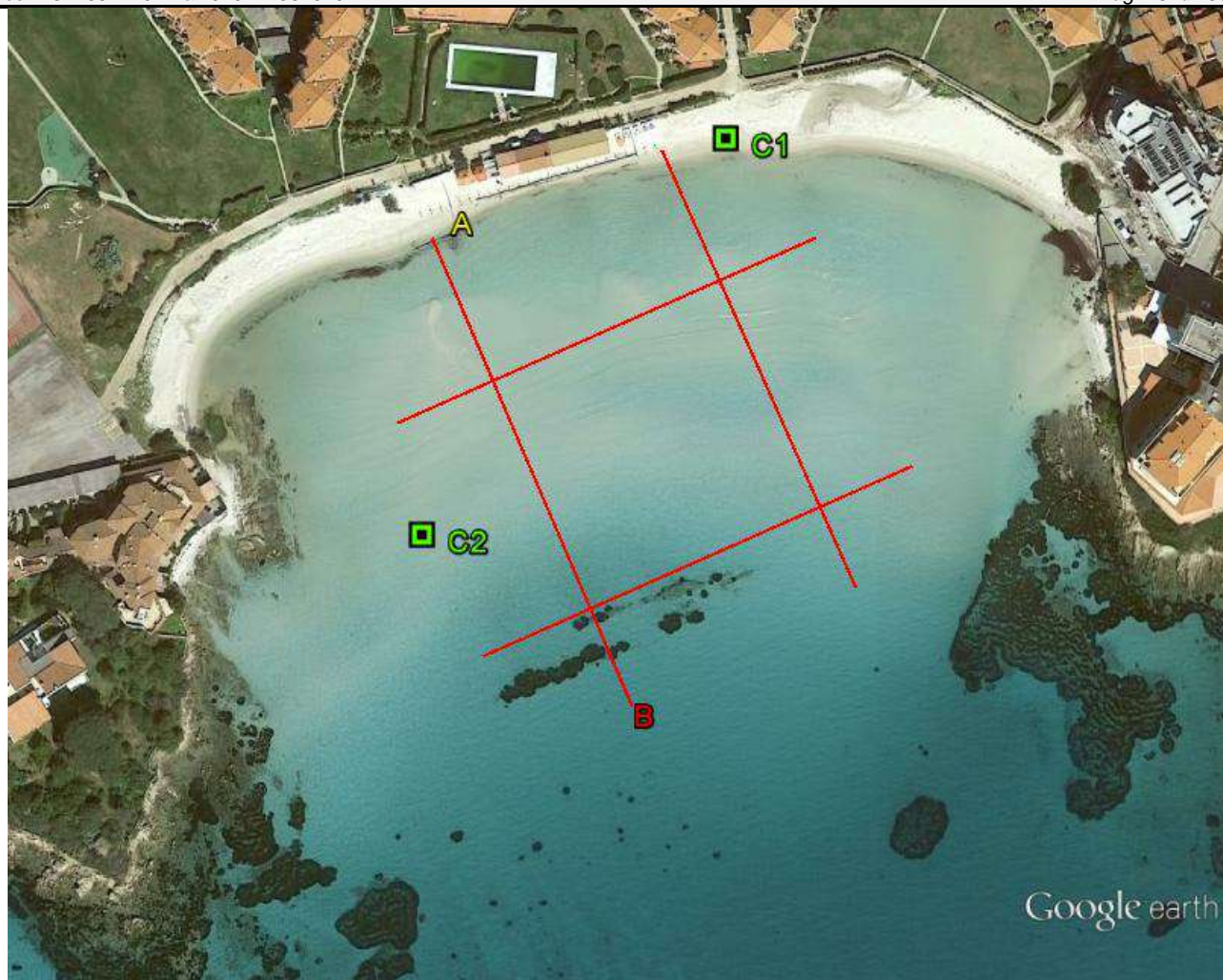


Fig.31 - Traccia dei transetti di rilievo su ortofoto e localizzazione dei punti di campionamento di C1 per sola analisi granulometrica [41° 0'13.34"N] [9°36'45.14"E] e del campione C2 [41°0'9.75"N] [9°36'41.49"E] per analisi granulometrica e microscopica e del campione

La presenza di questo sostrato duro è segnalata a 100m dalla riva, a partire dalla batimetria -1,50m. Infatti a questa profondità compaiono via via sul fondo diffusi ciottoli arrotondati di migmatiti; materiali questi che costituiscono lo scheletro della *Beach rock* emergente a -2,00m, dalla cui demolizione inevitabilmente derivano (Fig. 31). Nella sostanza dunque in questa porzione si ha una riduzione della volumetria di sabbia tale da non determinare il totale ricoprimento dello stesso strato di rimaneggiamento dei ciottoli della *Beach rock*. Verso il largo la sabbia ricopre la *Beach rock*; cosa questa che giustifica l'assetto giaciturale verso il largo (SudEst) assegnato nel profilo. Inoltre il ciottolame disseminato più all'interno scompare, suggerendo che lo spessore delle sabbie sia leggermente maggiore verso il largo senza tuttavia né eguagliare né superare tanto meno quello massimo rilevato in corrispondenza della barra. Sostanzialmente non mutano né i caratteri granulometrici complessivi delle sabbie né la presenza di biofaune a molluschi. Più verso il largo tuttavia subentrano isolati substrati con matte di *Posidonia oceanica* a ciuffi, ossia particolarmente diradata. Dalle osservazioni sul campo è stato ricavato il profilo morfologico modale e quello geolitologico di spiaggia di Fig. 34 e la seguente sintesi analitica:

- I sedimenti sabbiosi sono in gran parte ospitati entro la mega barra sabbiosa che staziona mutando assetto superficiale entro la cella.
- Detta barra è limitata a Sud da *Beach rock* poggiata su sostrato roccioso cristallino in migmatiti.
- Una parte dei di cui è formata la *Beach rock* tende a distaccarsi dalla formazione madre, generando un corpo detritico nelle pertinenze, sia verso la spiaggia che verso il largo.



- Sussiste un rapporto specifico fra posizionamento, consolidamento della barra, localizzazione e distanza dei promontori aggettanti in ambito sommerso e localizzazione della struttura in *Beach rock*. Sommersa; lo spazio circoscritto da tali elementi si comporta da vera trappola sedimentaria.
- La potenza relativa dei sedimenti sabbiosi sovrastanti il basamento roccioso è relativamente scarsa (dell'ordine di alcuni decimetri, al più del metro).
- Nel tratto circoscritto dalla *Beach rock* e dagli aggetti del sostrato gli spessori della sabbia, in prima approssimazione sembrano non poter superare **1,50m** ( $\leq$ ); eventuali trappole morfologiche del sostrato roccioso in migmatiti potrebbero in via ipotetica ospitare potenze fino ai 2.00m.
- La barra sommersa ha una superficie a profondità molto scarsa che in condizioni di alta marea media (+0,20m) si attesta intorno a -0,60m.
- Ciò favorisce un **assetto morfodinamico dissipativo** rispetto al frangimento ma, nel contempo, di ciò risente la morfodinamica della superficie della barra.
- Verso il largo, oltre l'affioramento sul fondo in *Beach rock*, le condizioni geolitologiche non si discostano dal quadro della parte interna ma le potenze dei volumi di sedimenti sabbiosi, peraltro su batimetria crescente dai 3m ai 4m, non sembrano incrementare e semmai potrebbero essere persino più limitate.
- Le estremità NordEst e SudOvest della spiaggia sono quelle che nel tempo, rispetto alla morfodinamica sommersa naturale, tendono ad essere più conservative e relativamente più stabili quantunque, a causa dell'affioramento del sostrato roccioso. non necessariamente ospitano i maggiori volumi di sabbie.
- La presenza di manufatti rigidi sull'estremità Est-NordEst amplifica localmente l'effetto riflettente e dunque l'allontanamento di un surplus di sedimenti che induce a sua volta una relativa retrocessione della battigia, anche in condizione di ondazione diffratta (Fig. 32).
- A dispetto della ristrettezza della cella, la dinamica longitudinale il cui vettore prevalente è orientato da Ovest ad Est, in conseguenza del vento dominante, non è trascurabile ed è responsabile della creazione di strutture superficiali minori sulla barra, disposte parallelamente all'asse della spiaggia o dell'inarcamento di quelle disposte longitudinalmente ad essa.
- Le sabbie sono fini sia in ambito sommerso che emerso; in ambito sommerso il loro prelievo mette sempre in evidenza la presenza di una certa frazione nera di origine organica, attestata dal tipico odore.
- In ambito emerso, sulla berma, le sezioni escavate a mano (20cm) evidenziano livelli a sabbie grossolane e ghiaie fini a -15cm, derivanti da erosione del sostrato.
- Il dinamismo sommerso pregiudica la stabilità della linea di riva.



Fig. 32 - Estremità Est-NordEst della falcata sabbiosa con lo strutturale stato di arretramento della battigia in prossimità di sostrato roccioso affiorante e di strutture rigide dell'albergo

- Una delle più ricorrenti configurazioni è quella che si determina a scapito della parte centrale che dunque appare la più vulnerabile per via naturale all'arretramento indotto dalla dinamica sommersa.
- L'esame *de visu* dei sedimenti reperibili alle estremità NordEst e SudOvest della spiaggia sommersa fa propendere per una granulometria lievemente superiore e meno selezionata della restante spiaggia sommersa.
- I ripple marks sul fondo sono particolarmente paralleli, poco pronunciati (1-1,5cm) e piuttosto ravvicinati (5-7cm); da ciò si ricava che la cella non è stata soggetta di recente ad elevate energie.
- Si reperisce ciottolame sciolto di sottostanti rocce migmatitiche all'estremità della barra sabbiosa principale, limitata a Sud dalla Beach rock,
- Detto ciottolame deriva dal progressivo deterioramento della *Beach rock* in ambiente sommerso.
- Considerando che in tutte le immagini aeree dal 1954 la struttura rocciosa della Beach rock è sempre evidente se ne deduce che essa non venga mai ricoperta dalla sabbia. Ciò porterebbe a due conclusioni probabilmente concomitanti:
  - ❖ Le condizioni di dinamismo prevalente sono tutte interne alla cella delimitata dagli aggetti rocciosi e dal sostrato descritto
  - ❖ La disponibilità di volumi sabbiosi più al largo non è tale da consentirne il seppellimento.

Riassumendo, la stratigrafia accertata lungo il profilo della spiaggia è la seguente dal basso verso l'alto stratigrafico:

1. Migmatiti (Diatessiti di Golfo Aranci) del Pre Paleozoico
2. Conglomerati di spiaggia fossile (*Beach Rock*) dell'Olocene
3. Sabbie attuali del sistema spiaggia-duna
4. Ciottolami sparsi provenienti dal deterioramento e dalla disgregazione superficiale naturale del sostrato fossile in *Beach Rock*

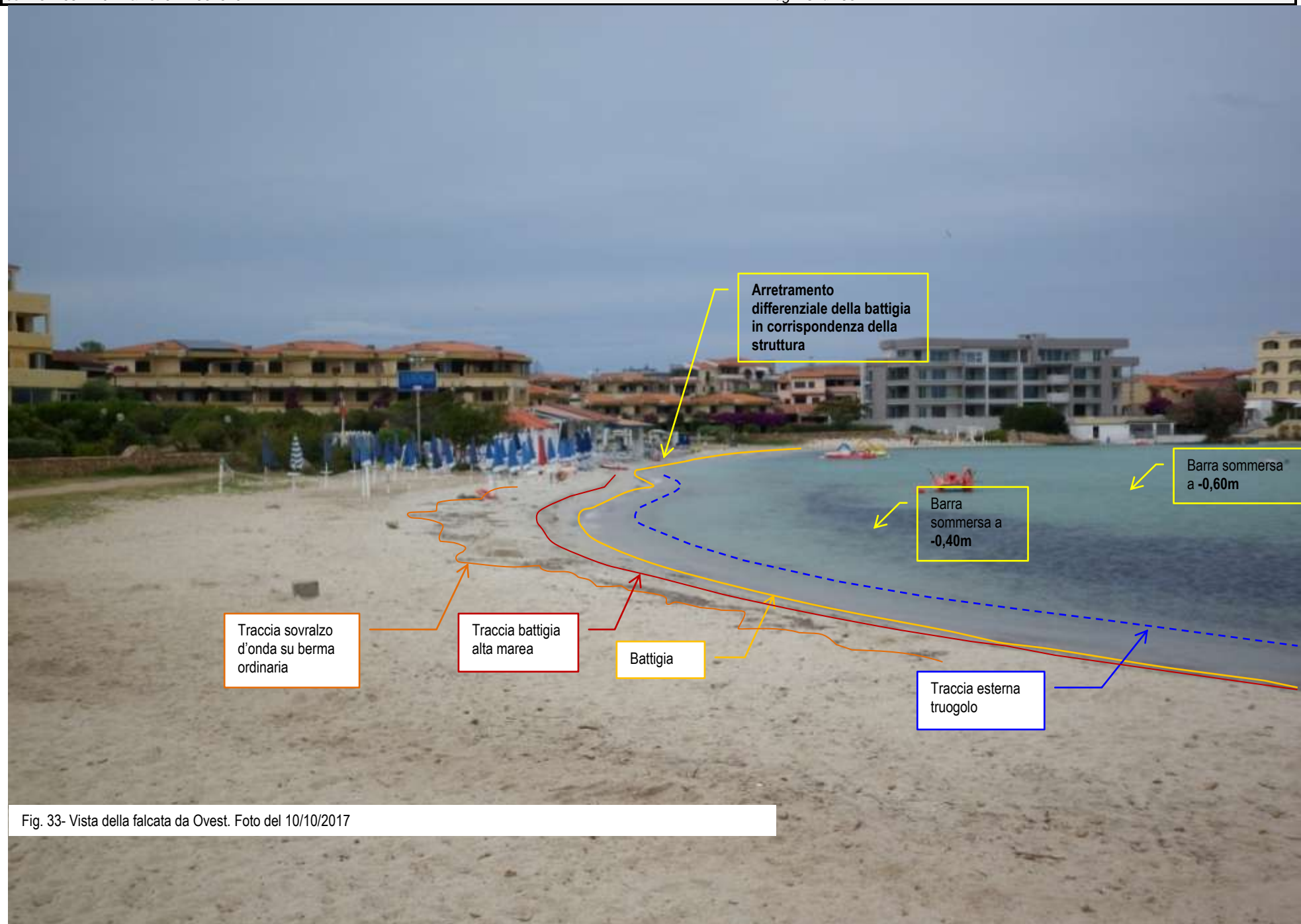


Fig. 33- Vista della falcata da Ovest. Foto del 10/10/2017



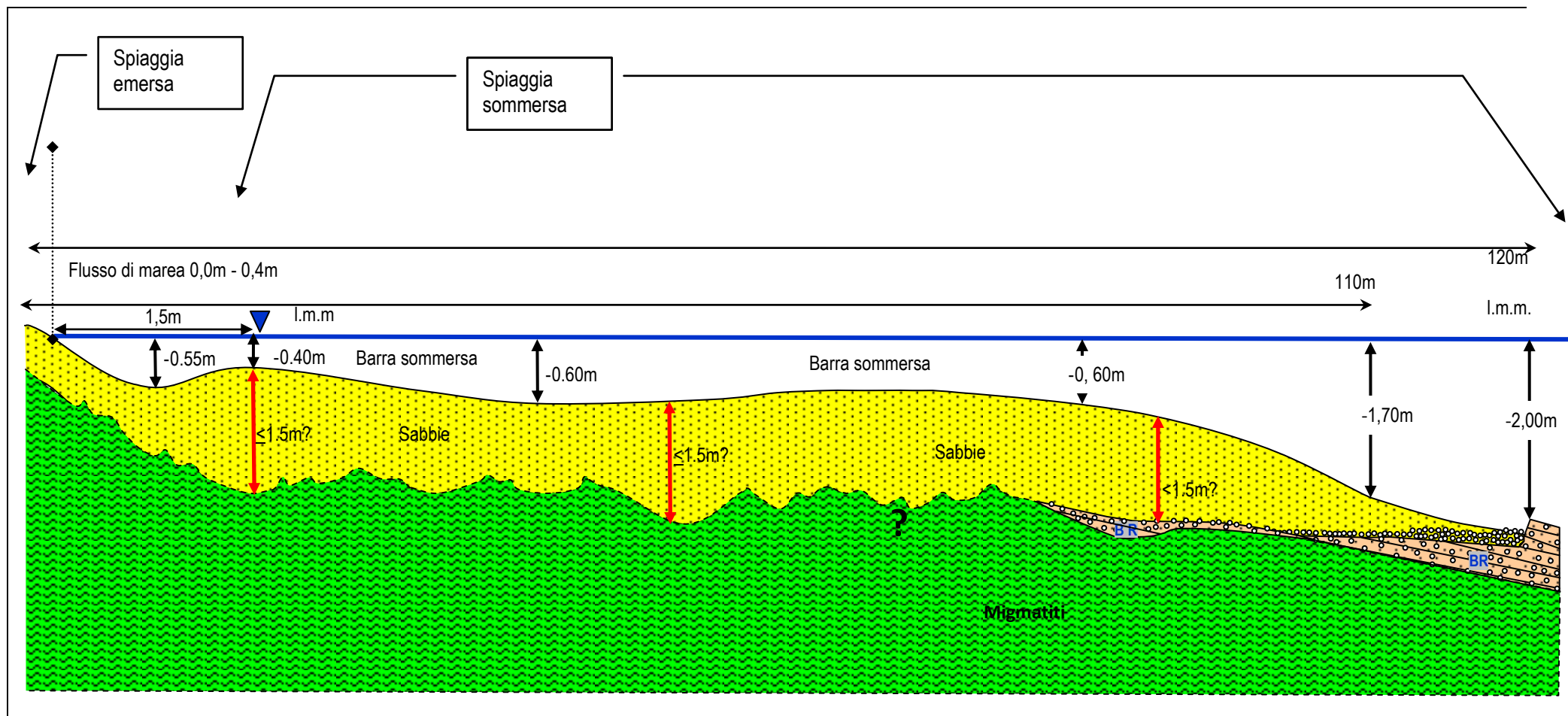


Fig. 34 - Profilo geolitologico sulla traccia AB di Fig. 31 (BR = *Beach Rock*)

Ulteriori rilievi di controllo sulla spiaggia emersa e sommersa sono stati compiuti nelle seguenti giornate:

- ⊕ 13/07/2017 (ore 11:00-15:15; marea a +0,20m alle ore 12:00)
- ⊕ 10/10/2017 (ore 18:30-20:00; marea a +0,20m alle ore 20:00)
- ⊕ 17/10/2017 (ore 14:30-16:30; marea a + 0,20m alle ore 16:00)
- ⊕ 16/11/2017 (ore 13:30-14:30; marea a + 0,15m alle ore 14:20)

## 7.11 Altri rilievi morfologici

Nella giornata del 10/10/2017 sono stati misurati gli angoli di inclinazione della superficie di battigia in n.63 sezioni, ripartite in n. 5 (A, B, C, D, E, F) settori da Ovest verso Est, al fine di caratterizzare l'inclinazione ( $\beta$ ) dell'area tidale. Il resoconto è inserito in Tab. 2

A (°)	B (°)	C (°)	D (°)	E (°)
10/8,4/6,3/7/8,3/8,7/ 9/9/8,2/8,4/10/10,3/ 11/8,8/	8,5/9/9,5/9/9,1/8/8,3/ /8,5	7,5/7,4/8,4/8,6/6,8/ 6,8/8/7,2/8,2/8/7/7,3/ 7,6/8,1/7,1	8/9,1/8,5/7,5/7,4/10/1 0,7/9,3/8,5/9,5/12,6	6,4/6,9/7/7,8/7,7/7, 1/6,6/7/7,3/6,5/7,7
$\beta$ Media 8,6°	$\beta$ Media 8,7°	$\beta$ Media 7,6°	$\beta$ Media 9,2°	$\beta$ Media 7,1°

Tab. 2 – Misure di inclinazione della battigia della Terza spiaggia

In base ai dati medi di inclinazione della battigia, assimilando la sezione di riferimento ad un triangolo rettangolo ed applicando semplici teoremi trigonometrici (T. dei seni) si può passare a quantificare, settore per settore, la retrocessione che può determinarsi per il solo effetto delle oscillazioni di marea sizigiale (Ms):

Ms	A	B	C	D	E
	$\beta$ Media 8,6°	$\beta$ Media 8,7°	$\beta$ Media 7,6°	$\beta$ Media 9,2°	$\beta$ Media 7,1°
+ 0,1	0,67m	0,66	0,76	0,62	0,81
+ 0,2	1,34m	1,32	1,51	1,25	1,62
+ 0,3	2,00	1,98	2,27	1,88	2,43
+ 0,4	2,67	2,64	3,02	2,50	3,24

Tab. 3 - Calcolo della retrocessione della battigia per solo effetto di marea astronomica

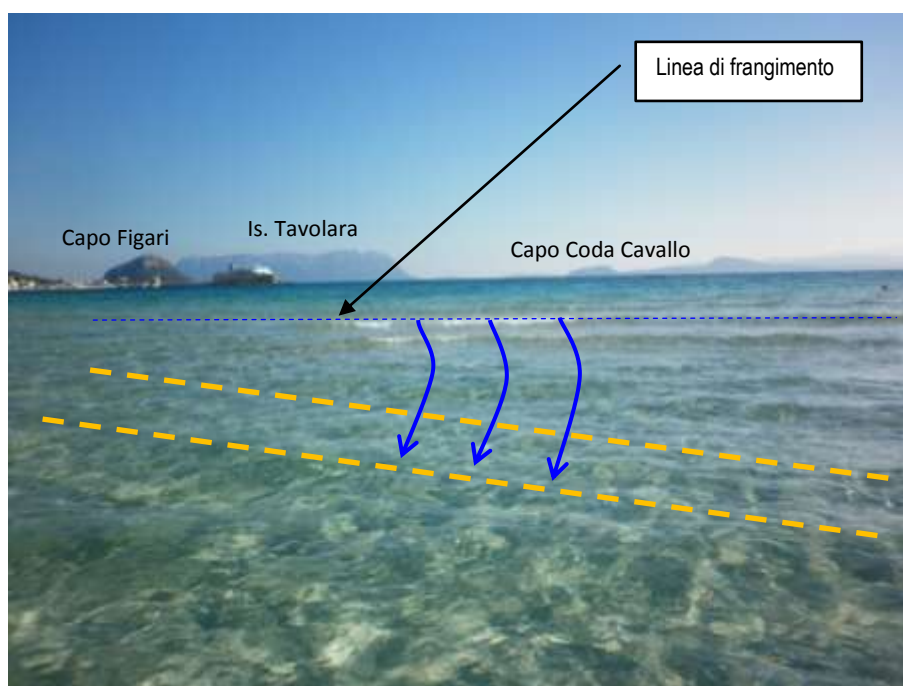


Fig. 35 - Immagine del frangimento nel settore shore face della barra nella giornata del 17/10/2017. Lieve ondazione da Est. marea +0,15m (ore 15:30). Si noti la rotazione dell'onda per effetto della rifrazione sul basso fondo. Ripresa verso Sud Est

I riscontri morfologico-sedimentologici del rilievo sul campo e le caratteristiche del frangimento che vengono documentate sul paraggio portano senza dubbio ad escludere che lo stato modale della *Terza spiaggia* di Golfo Aranci possa essere riferito a condizione riflettente delle spiagge microtidali della classificazione delle spiagge di Masselink & Short (1993) derivata da Wright & Short (1984).

Si tratta dunque di stabilire, in prima approssimazione in quale delle restanti configurazioni essa possa ricadere.

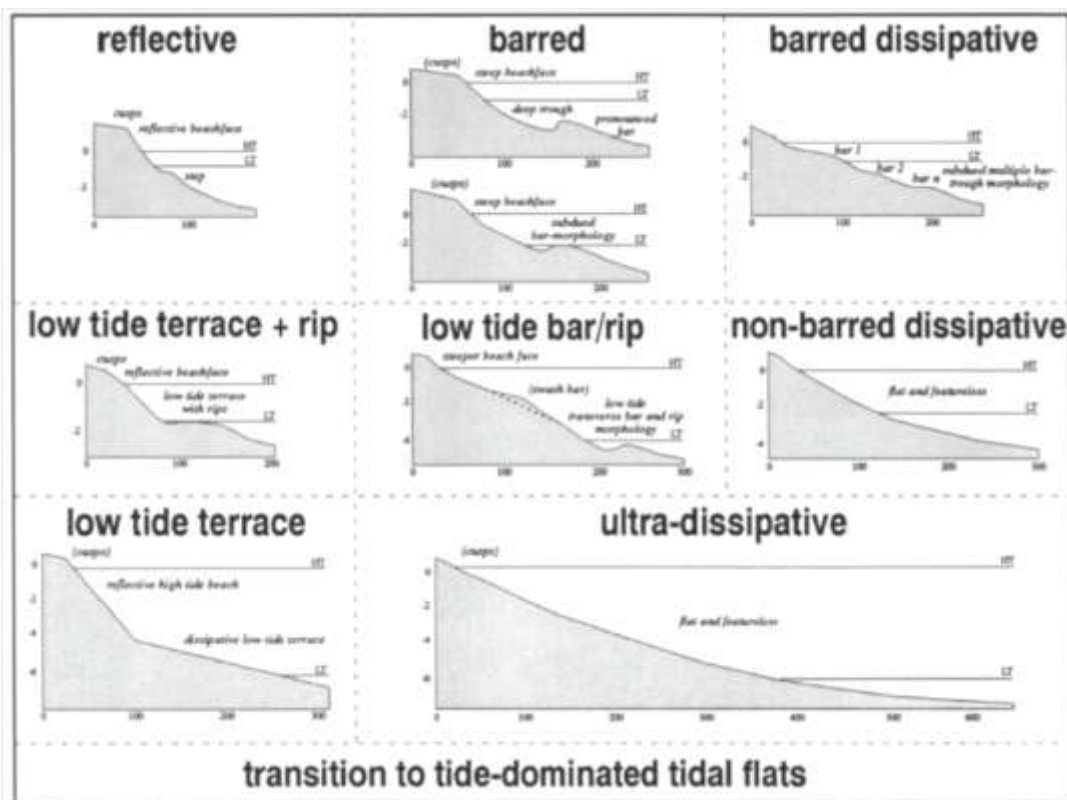


Fig. 36 - Tipologie di spiaggia secondo Masselink & Short (1993)

In mancanza delle misure degli elementi diagnostici scientifici che sono essenzialmente l'altezza del frangimento ( $H_s$ ), la Velocità di caduta dei sedimenti ( $W_s$ ) ed il Periodo d'onda ( $T$ ), non è agevole correlare la *Terza spiaggia* ad una delle restanti sette tipologie elaborate da Masselink & Short (1993) derivate dall'elaborazione dell'approccio classico di Wright & Short (1984). Pur tuttavia può essere utile approfittare degli elementi qualitativi messi in evidenza nel corso dei rilievi. Più precisamente:

- la spiaggia ha certamente caratteristiche **microtidali** essendo l'escursione di marea abbondantemente  $< 1m$ ;
- il suo profilo trasversale è contrassegnato da una megabarra sedimentaria, moderatamente sinuosa;
- dato il contesto, il suo singolare sviluppo, nonché la sua sostanziale regolarità, tale struttura sedimentaria deve considerarsi il risultato di un progressivo involuppo consolidato di più barre depostesi all'interno dello spazio confinato dagli aggetti rocciosi e dal relativo alto morfologico della *Beach rock*;
- in tale contesto la cella sedimentaria delimitata dagli aggetti rocciosi dei promontori e sullo *shoreface* dal rilievo della *Beach rock*, costituisce una vera e propria trappola sedimentaria;
- le morfodinamiche non possono portare a sottrazione sostanziale di sedimenti da tale trappola in quanto i venti dominanti sono longitudinali; semmai l'esposizione suggerisce che possa essere ulteriormente rimpinguata dall'esterno.

Essa, conseguentemente, potrebbe in prima approssimazione farsi rientrare in una singolare tipologia di spiaggia afferente a stato modale o regime **Dissipativo** con barre e frangimento **Spilling**.



## 7.12 Valutazione delle perdite da frequentazione della spiaggia

Si ritiene che i volumi asportabili ed asportati a causa della frequentazione della spiaggia, almeno negli ultimi 40 anni, non siano una quantità irrilevante, almeno nello specifico contesto geomorfologico.

Si possono fissare delle ipotesi realistiche in tal senso al fine di pervenire ad una valutazione:

- Quantità minima asportata da ogni presenza: 5 grammi
- Presenze medie giornaliere = 1500 persone/di in 21 giorni di Luglio e 31 giorni Agosto; totale 1500 x 52 giorni
- Presenze medie giornaliere = 800/di 10 giorni di Luglio e 30 di Giugno; totale 800 x 40 giorni
- Presenze medie giornaliere = 200/di 15 giorni di Maggio e 15 giorni di Settembre; totale 200 x 30 giorni

La tabella seguente consente un rapido riscontro.

	15-30 Maggio	1-30 Giugno	1-10 Luglio	11-31 Luglio	1-31 Agosto	1-15 Settembre
Presenze medie	200	800	800	1500	1500	200
5 grammi	1000g x15giorni	4000gx30 giorni	4000g x10 giorni	7500gx21 giorni	7500g x31giorni	1000g x15giorni
totali	15000g	120000g	40000g	157500g	232500g	15000g

Tab. 4 - Calcoli a supporto della valutazione delle perdite da frequentazione

Totale asportazione annua per frequentazione = **580.000 grammi**

Totale quarantennio = 580.000g x 40 anni = **2.3.200.000 grammi = 23.200Kg = 23,2T**

Se consideriamo un Peso di Volume della sabbia pari 1,6T/mc (1,6 g/cmc)

Si ha 23,2T/1,6T/mc = **14,5 mc** (Volumi mancanti)

Tali volumi andrebbero ad aggiungersi a quelli sottratti o mancanti per le ragioni già esposte.

Qualche decina di mc sono attualmente stockati in modo anomalo sul lato Ovest della spiaggia a seguito di incongrue oltre che del tutto improprie, nello specifico contesto, rimozioni di berma a resti vegetali di Posidonia oceanica. Come si può osservare in Fig. 37, il cumulo delle suddette strutture a sedimenti misti vegetali e minerali, si rivela chiaramente costituito soprattutto da sabbie. E non sussistono dubbi, quindi, nell'affermare che tale pratica, così come viene attuata, nuoce gravemente e irreversibilmente alla conservazione della linea di costa della Terza Spiaggia; è dunque incompatibile con essa in termini gestionali e il Comune di Golfo Aranci non dovrebbe autorizzarla al fine di non vanificare le soluzioni che si adotteranno a sua tutela idrogeologica.

## 8. CONFRONTI MULTI TEMPORALI IN FOTO AEREA

Di seguito sono presentate su base orto fotografica multi temporale le eterogenee configurazioni morfologiche a cui danno luogo sia la parte sommersa che quella emersa della *Terza spiaggia*. Esse fanno ammettere nelle dinamiche complessive della parte più interna della Pocket Beach l'intervento oltre che del frangimento e della diffrazione dell'onda sui due promontori che delimitano la spiaggia, ben evidente dalla disposizione e dallo spessore dei sedimenti alle estremità, anche quello di *correnti longitudinali* alla costa che devono comunque essere meglio interpretate, data la ristrettezza degli spazi.

Dall'esame comparato multi temporale si evince che la dinamica della spiaggia è del tutto dipendente dalla morfodinamica interna della cella. Sotto il profilo geomorfologico infatti non sussistono evidenze di perdite dello stock di sedimenti per via naturale ossia allontanamenti progressivi per dinamiche *cross shore* e *long shore*. Piuttosto il continuo combinarsi di tali vettori, incide sulla periodica ridefinizione delle morfologie più superficiali del fondo, fermo restando un assetto dominato da un'ampia barra di sedimenti inarcata al centro che genera un bassofondo sommerso esteso per circa 100m verso mare. Tale barra tende ad una convessità più accentuata e più vicina alla battigia in profilo di *bel tempo*, mentre tende a sfrangiarsi e a divenire planimetricamente meno definita in condizioni di profilo invernale.



Fig. 37 - Inaccettabili allontanamenti di consistenti volumi sabbiosi (circa 50 mc) dal contesto già sofferente della spiaggia, a tergo della stessa, in area del tutto sottratta alla ondazione. Gli stockaggi "temporanei" conseguono dalla gestione delle rimozioni della berma vegetale in resti di *Posidonia oceanica* così come suggerito dalle assai discutibili norme regionali

La geometria, il confinamento e la protezione della cella determinati dai due aggetti Est ed Ovest, lo scarso fetch e persino la pur rada prateria di *Posidonia* su di un sostrato roccioso disposto fra i due aggetti, costituiscono dei presidi sostanziali a protezione della cella sedimentaria e della stessa spiaggia. Per cui lo stock di sedimenti appare confinato e protetto in termini volumetrici complessivi, quantunque al suo interno la dinamica dei sedimenti sabbiosi sia sollecitabile, tanto in senso *cross-shore* che *long-shore*, nel corso delle ondazioni a maggiore lunghezza d'onda. In un contesto così particolare sono di difficile previsione geometrica ovvero di assai improbabile generazione le *rip current*.

A ben guardare le foto aeree, lo studio multi temporale offre ulteriori diversi spunti di riflessione.

In particolare appare molto dinamica la disposizione di barre sabbiose minori (ripple e megaripple) nell'economia della disposizione della macro barra che insiste nella spiaggia sommersa. Inoltre sembra sussistere uno stretto rapporto fra forma della megaripple e stato della battigia. Infatti, quanto più la barra si posiziona col suo depocentro inarcato ossia con culmine sedimentario di crescita vicino alla battigia (o per meglio dire quanto meno è profondo il punto più spesso dell'accumulo sedimentario), tantomeno sofferente è la linea di riva nel suo complesso; viceversa, la battigia tende a retrocedere quanto più la barra si sfrangia o quanto più si allontana o si approfondisce (e con essa il depocentro). Gli spostamenti della barra necessari a sollecitare la risposta critica del settore di battigia sono dell'ordine dei 15m e le differenze di profondità non superano i 15-20 cm.

Nella sostanza quanto più la barra nel settore sommerso assume una disposizione planimetrica a campana o larga parabola concava verso SudEst, con vertice rivolto alla parte centrale della spiaggia stessa, tanto più la spiaggia prograda nella sua porzione centrale. Viceversa quanto più la barra a megaripple si disarticola superficialmente, in diversi settori relativamente più potenti, cioè in ripple minori, perdendo quindi l'assetto "cuspidato", tanto più si sollecita l'arretramento della linea di costa. Ovviamente ammettendo per semplicità un'ondazione da traversia principale.



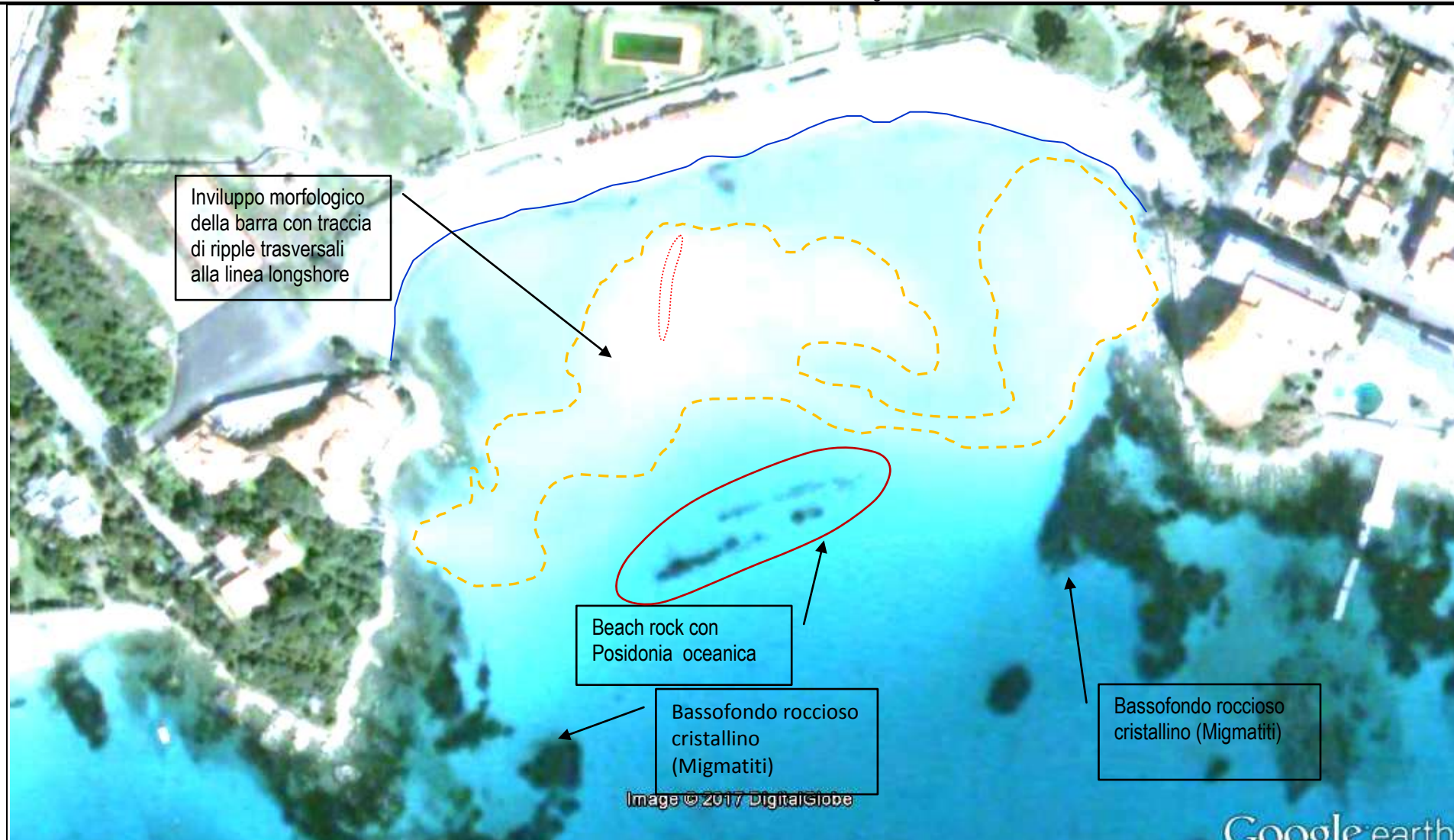


Fig. 38 - Immagine Google earth 18/03/2004 (h. 10:30). In blu la linea di riva. In tratteggio è evidenziata l'area dove l'inviluppo di sedimenti produce profondità minime (0,60-0,80m). In rosso le strutture sedimentarie minori più evidenti. Si tratta di ripple ad allungamento trasversale connessi alle ondatazioni del IV Quadrante (Ponente e Maestrale)



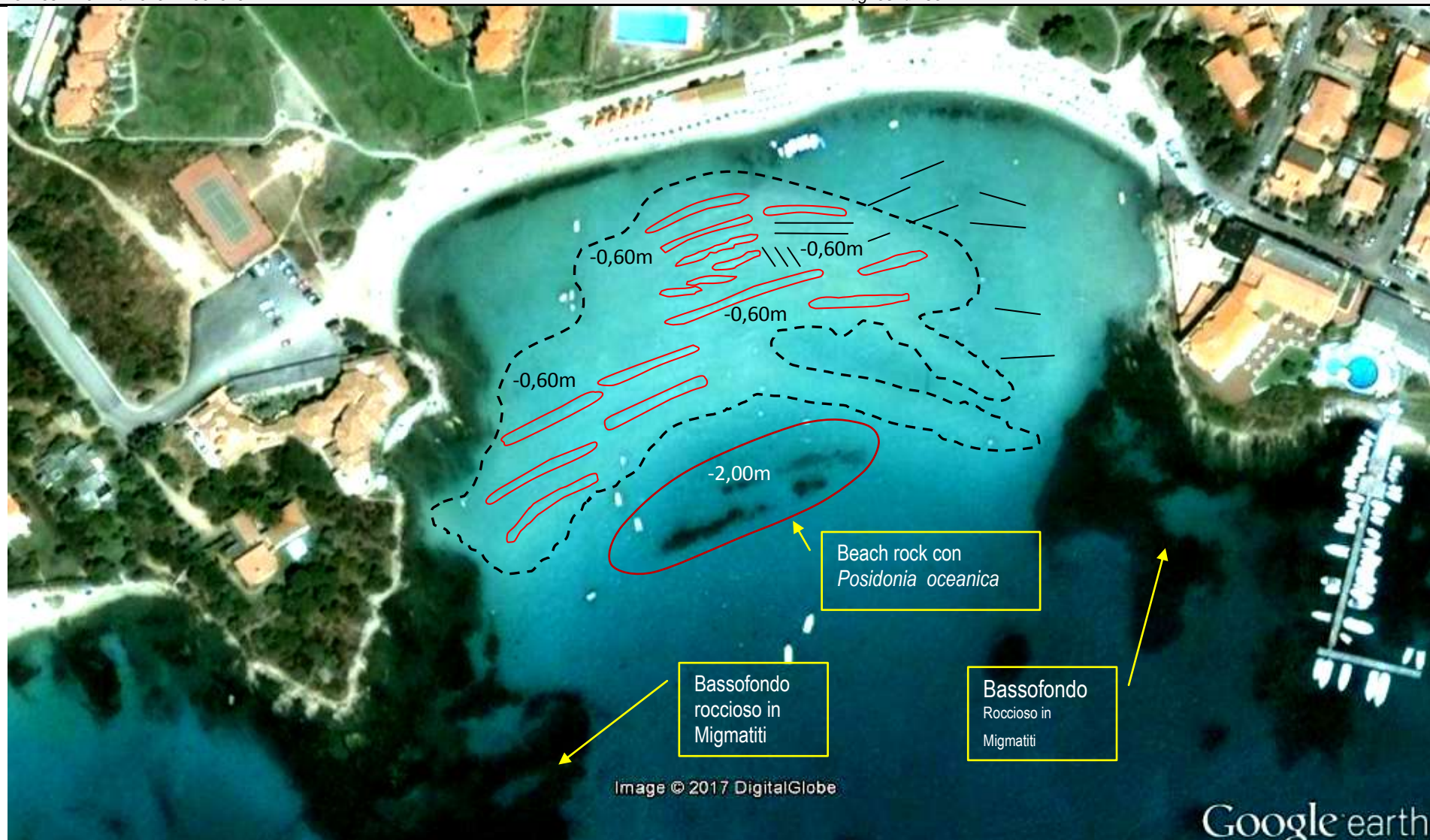


Fig. 39 - Immagine Google earth 01/08/2005 (h. 10:30). In tratteggio nero è evidenziata l'area dove l'accumulo di sedimenti produce profondità minime. In rosso le strutture minori più evidenti (megaripple); in nero altri allineamenti di morfologie sedimentarie subacquee a varia disposizione



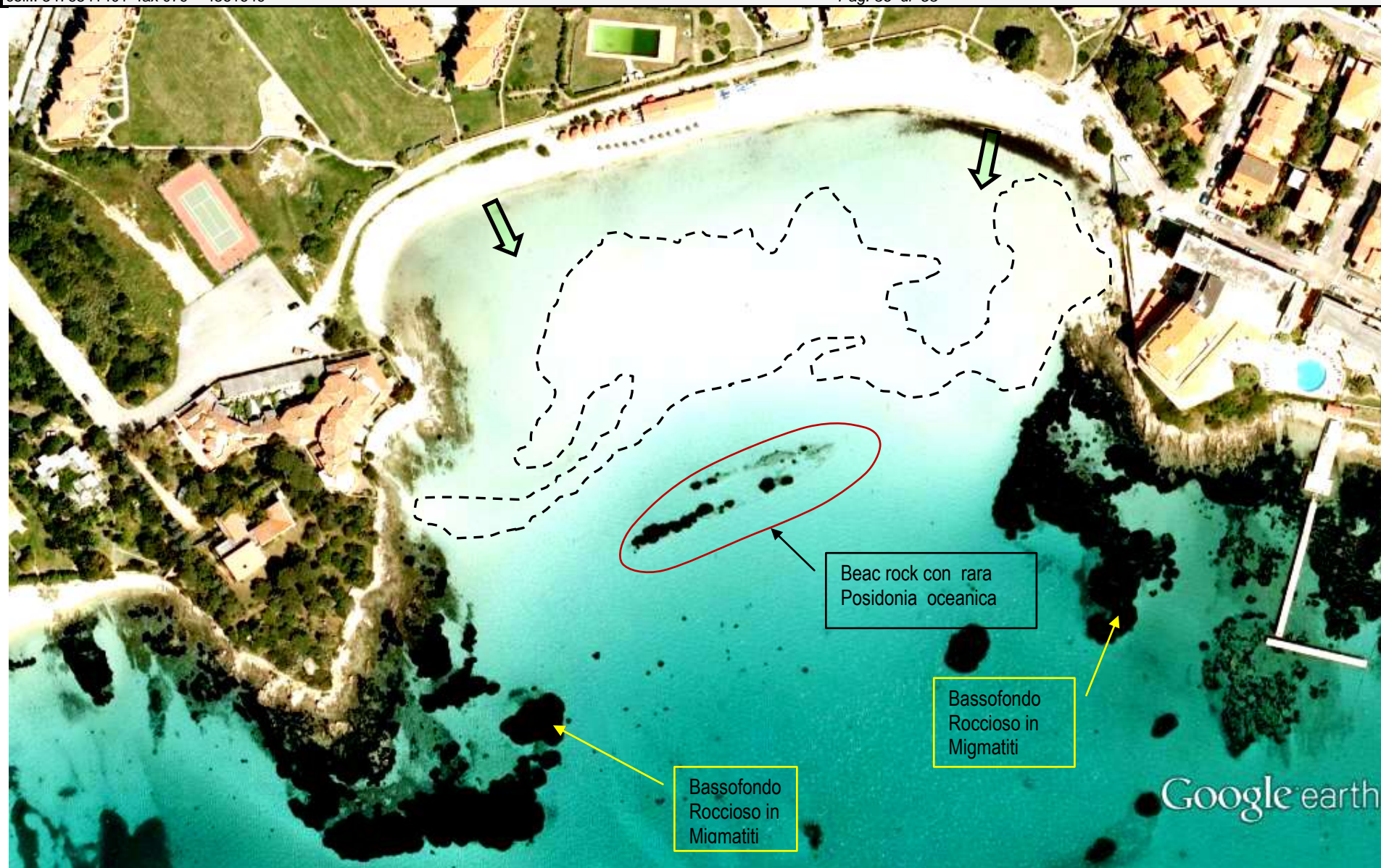


Fig. 40 - Immagine Google earth 28/04/2008 (h. 10:30). In tratteggio nero è evidenziato l'assetto in planimetria dell'accumulo di sedimenti in corrispondenza della barra sabbiosa (isobata approx 0,60 0,80m)





Fig. 41 - Immagine Google earth 23/08/2010 (h. 10:30). In tratteggio nero è evidenziato l'assetto in planimetria dell'accumulo di sedimenti (isobata approx 0,60 0,80m)





Fig.42 - Immagine Google earth 07/04/2014 (h. 10:30). In tratteggio nero è evidenziato l'involuppo superficiale dell'area dove l'accumulo di sedimenti produce profondità minime



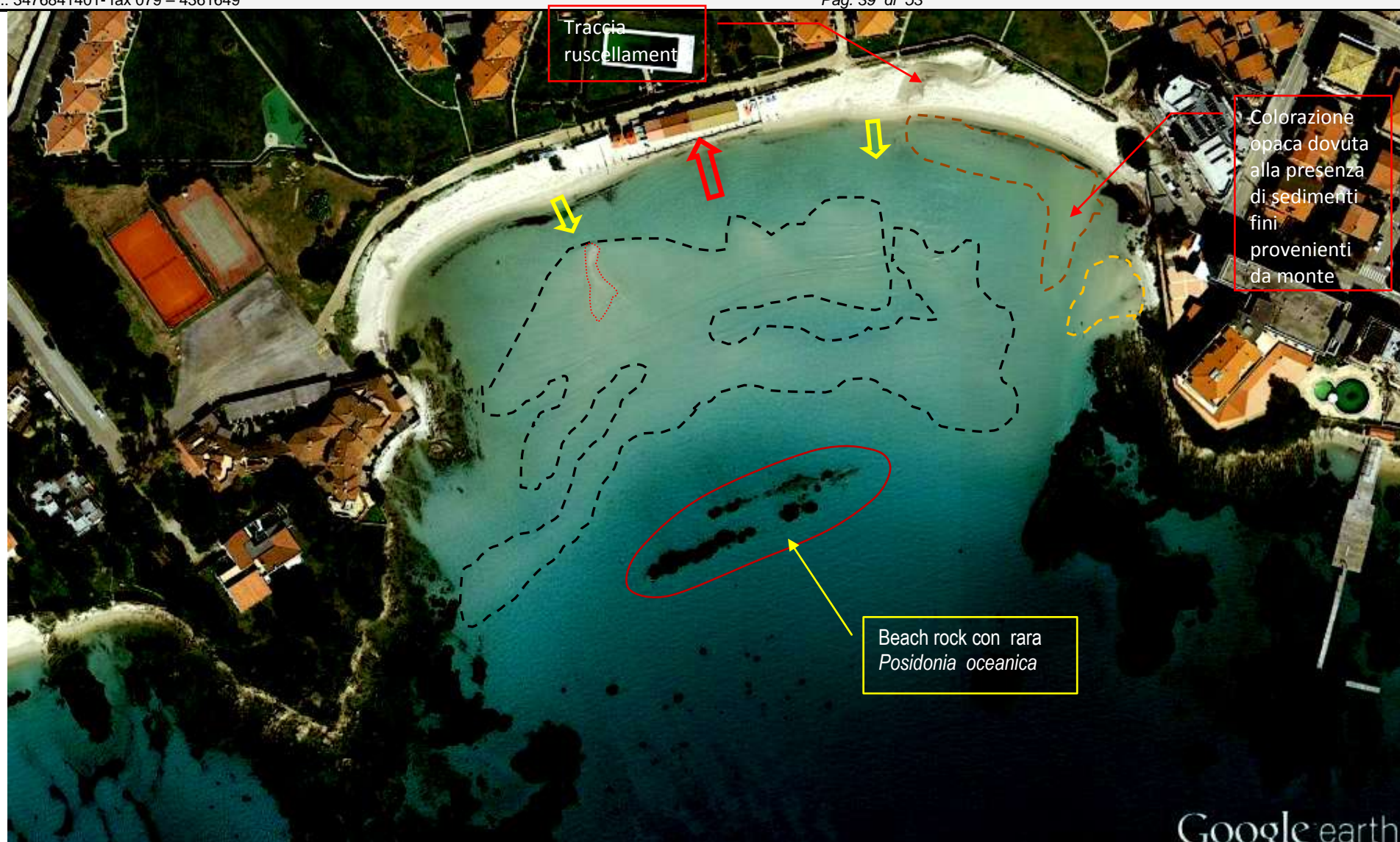


Fig.43 - Immagine Google earth 11/03/2017 (h.10:30). In tratteggio nero è evidenziata l'area dove l'accumulo di sedimenti produce le profondità minime. In rosso le strutture minori. La freccia rossa evidenzia retrocessione della spiaggia, la gialla progradazione



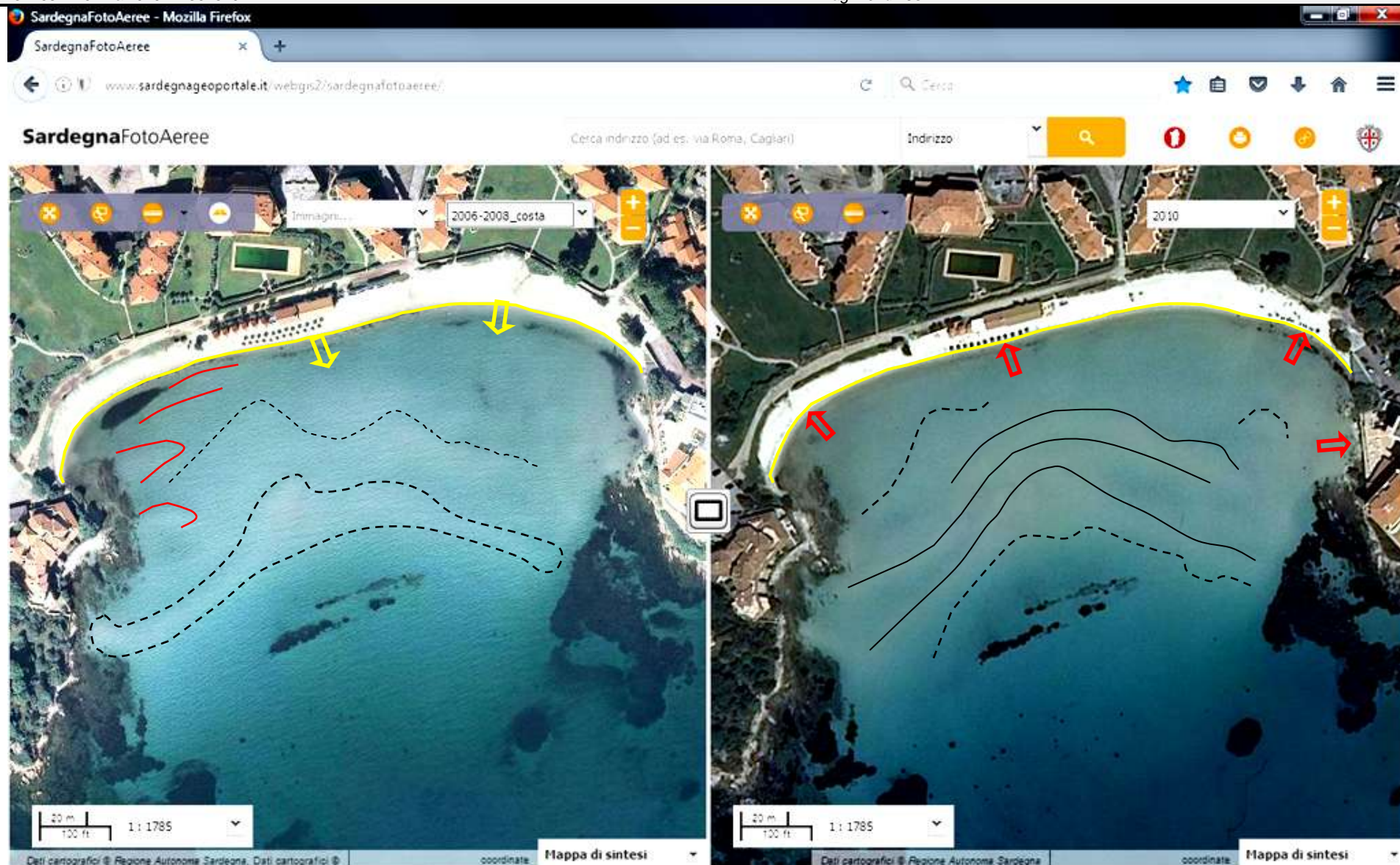


Fig.44 - Confronto morfologico 2008-2010. Le frecce indicano gli opposti processi ciclici che vi si evidenziano: progradazione nel 2008, retrocessione nel 2010. Si notino altresì le differenti disposizioni delle barre sommerse.



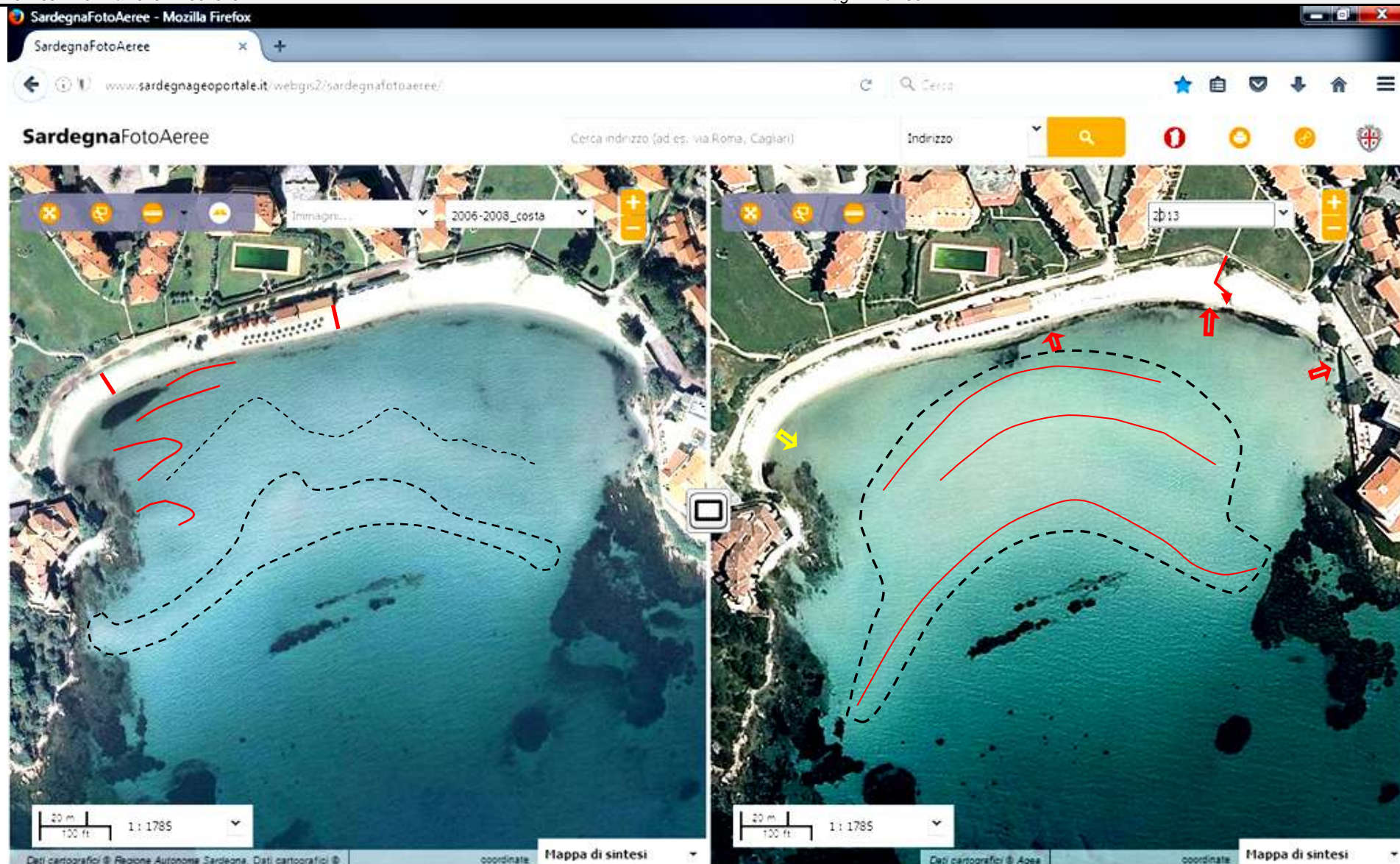


Fig. 45 - Confronto morfologico 2008-2013. Si evidenziano ulteriori diverse disposizioni delle barre nel corpo sabbioso sommerso e della spiaggia emersa.. In particolare dal confronto diacronico, nell'immagine 2013 si rileva un modesto incremento della superficie della spiaggia emersa con progradazione nell'estremità occidentale, una modesta retrocessione al centro ed una riduzione superficiale sull'estremità orientale.



In tal senso si osserva infatti, anche sulla base della statistica degli eventi critici, che sia la stessa onda da Sud Est, la maggior responsabile del relativo depauperamento locale, che di fatto consegue in primo luogo da un relativo allontanamento della sabbia da parte dell'onda di riflusso (ossia dal suo *run down*).

In questo scenario corre l'obbligo di sottolineare, tuttavia, che tutta la morfodinamica non può che beneficiare della scarsa granulometria delle sabbie superficiali della spiaggia emersa e di quelle sommerse; di conseguenza essa è efficace sul depauperamento locale della sabbia, ovvero sul suo allontanamento dalla battigia, soprattutto in ragione della granulometria. Come si vedrà più avanti, si tratta infatti di sabbie a granulometria fine in ambito sommerso e a granulometria fine e media in ambito emerso.

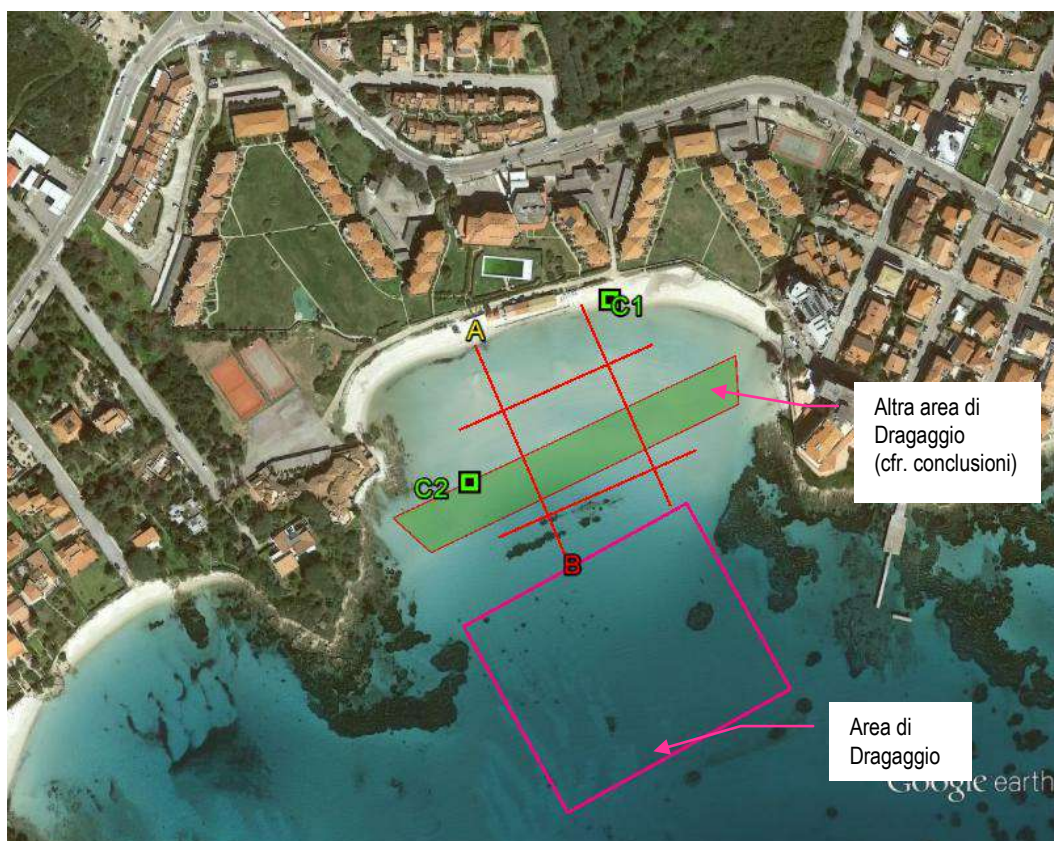


Fig. 46 - Delimitazione dell'area di dragaggio di circa 2ha

## 9. STUDIO DELLE SABBIE DI SPIAGGIA

Come anticipato nei precedenti paragrafi, nel corso dei rilievi, in date differite sono stati prelevati n. 2 campioni (Fig.31) .

- campione C1 [41° 0'13.34"N] [9°36'45.14"E] per sole analisi macroscopica e granulometrica
- campione C2 [41°0'9.75"N] [9°36'41.49"E] per analisi macroscopica, microscopica e granulometrica

### 9.1 Biofaune e bioflore attuali

Le biofaune più rappresentative reperite sulla sabbia nel settore sommerso (cfr. C2) sono le seguenti:

- ***Solecurtus strigilatus***
- ***Tellina planata***
- ***Acanthocardia echinata***
- ***Callista chione***
- ***Venus verrucosa***



Fig. 47-Campionamento di C1 (profondità 10cm). Sul fondo affiora la maggiore granulometria /colorazione giallastra). In superficie sabbie bianche fini

Sono presenti inoltre sporadici sedimenti a resti di fogliame di *Posidonia oceanica*.

## 9.2 Osservazioni macroscopiche fase minerale

Qualitativamente il **campione C1** è prelevato a mano da uno scavo di 10cm di profondità nel settore della berma che rivela al di sotto dei primi cm di **sabbia fine e medio-fine bianca e grigio-biancastra**, livelli piano paralleli di **sabbie a granulometria grossolana**, di colore rosaceo originati dall'erosione dei sostrati rocciosi.

Il **campione C2** è costituito da **Sabbie fini e medio-fini, grigio chiare** con abbondante **matrice organica** più scura ben riconoscibile anche all'olfatto, contenenti ricche faune a bivalvi. Il C1 intercetta livelli di sabbie medie e grossolane e non contiene sostanza organica.

### Analisi microscopica (microscopio binoculare)

Per gentile concessione del Prof. Luciano Lecca del Dipartimento di Scienze Chimiche e Geologiche dell'Università di Cagliari che ne ha curato la supervisione, le analisi microscopiche sono state condotte al microscopio binoculare ad ingrandimenti 16x e 25x, sul solo **campione C2**, sia asciutto che bagnato con H<sub>2</sub>O e con attacco ad H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Le osservazioni di dettaglio, sinteticamente illustrate nelle figure successive, sono le seguenti:

Sabbia da **fine** (0,25mm-0,125mm) a **media** (0,5mm-0,25mm), a granuli di Quarzo prevalente e Plagioclasti, di forma scheggiata e allungata, con Muscovite e Biotite, contenente foraminiferi bentonici (Miliolidi) e tubicoli di origine bioclastica, rari radioli di Echinidi regolari.

φ modale = 0,25mm

φ minore = 0,125mm



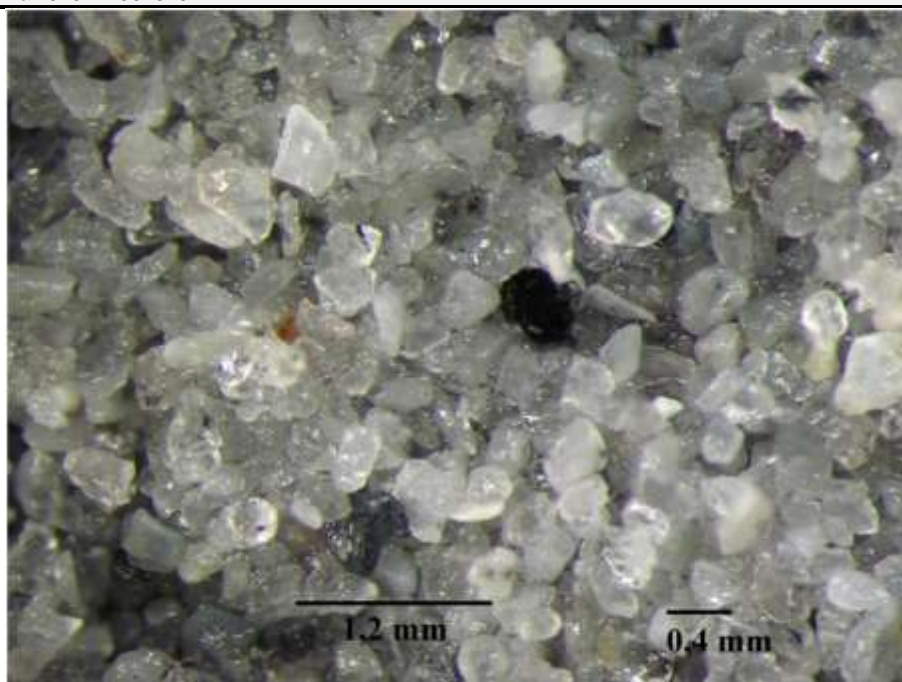


Fig. 48 - Sabbie della Terza Spiaggia.. Qz e Plagioclasti + minori . Tal quale 16 x, con materia organica

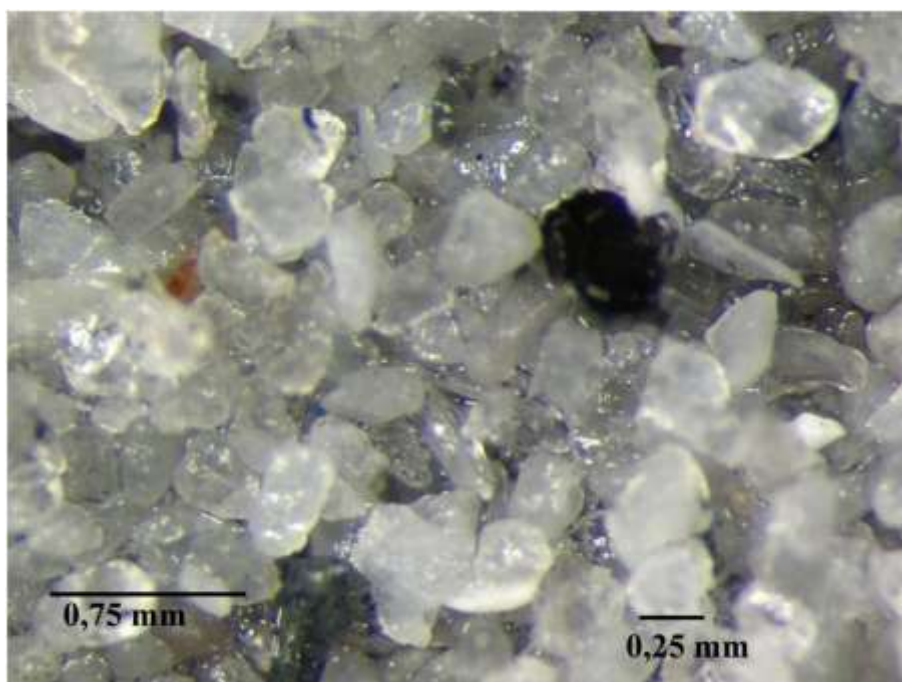


Fig. 49 -Sabbie della Terza Spiaggia. Qz e Plagioclasti + minori. Tal quale. 25 x, con patine di materia organica

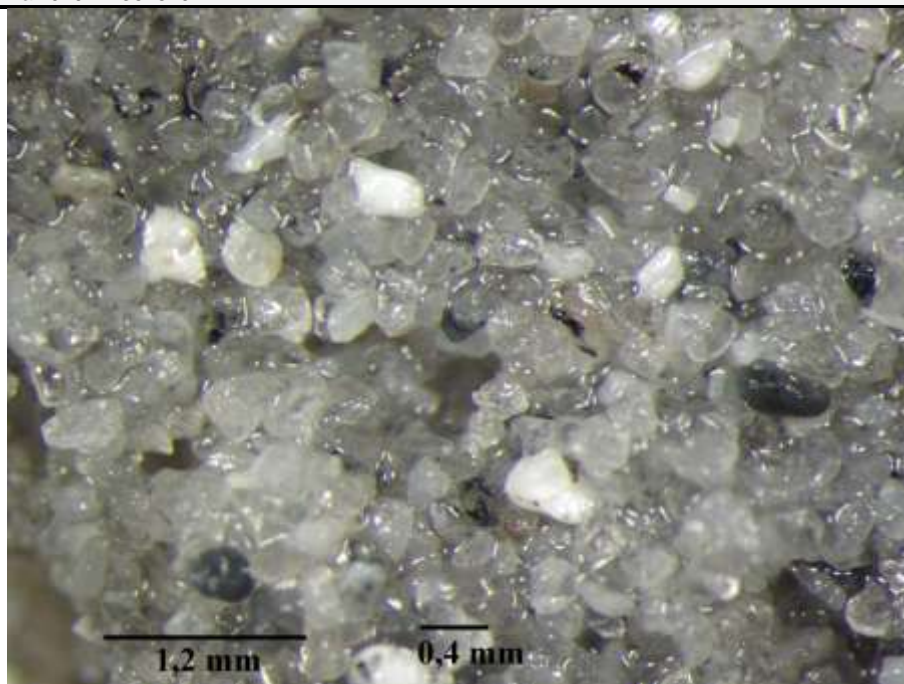


Fig. 50 - Sabbie della Terza Spiaggia . Qz e Plagioclasti + minori. In acqua. 16x

E' rinvenibile una "coda" di sabbia molto fine (<0,125mm), contenente materia organica che schiarisce all'attacco con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

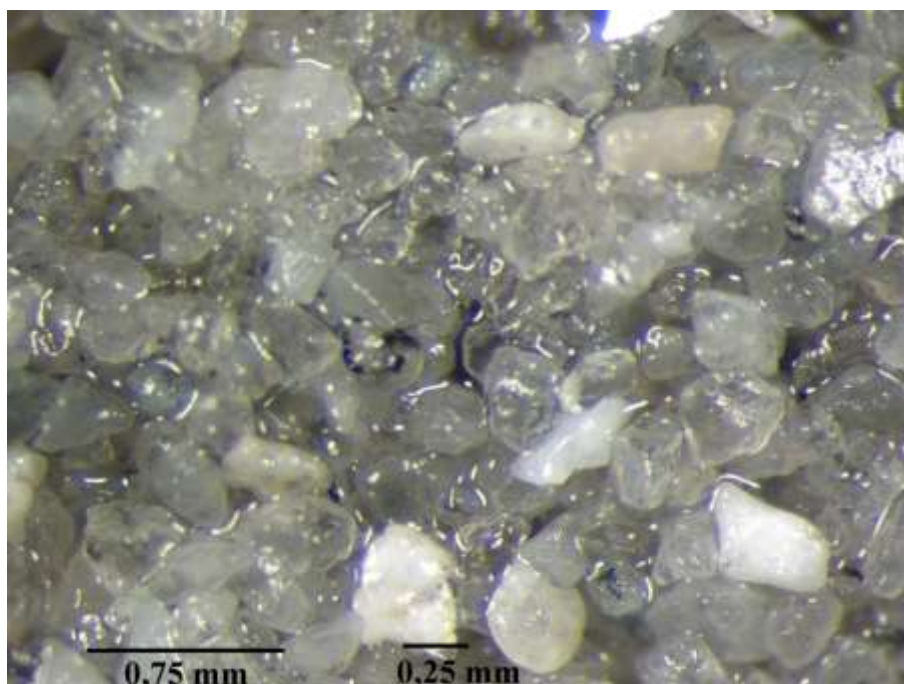


Fig. 51 - Sabbie da media a fine della Terza Spiaggia . Qz e Plagioclasti + minori. In acqua , 25x





Fig. 52 - Sabbie prevalentemente fina della Terza Spiaggia . Qz e Plagioclasì + minori . Tal quale in  $H_2O_2$ , 16x



Fig. 53 -Sabbie della Terza Spiaggia . Qz e Plagioclasì + minori, Tal quale in  $H_2O_2$ ., 25x



### 9.3 Analisi granulometrica

I campioni C1 e C2 sono stati sottoposti ad analisi granulometrica tramite setacci presso il laboratorio *Engineering Service* di Nuoro. I risultati grafici sono sintetizzati nelle curve cumulative seguenti:

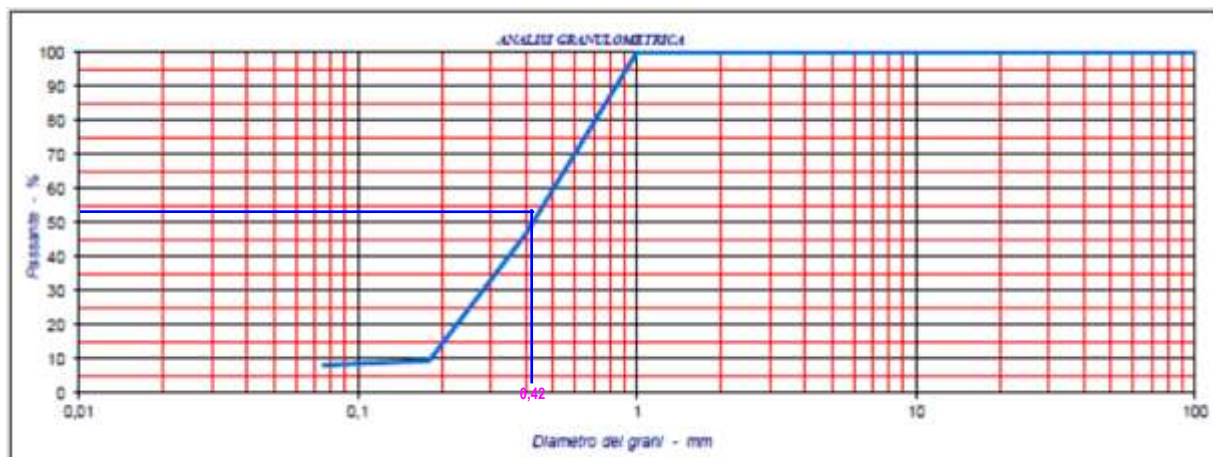


Fig. 54 - Curva granulometrica del campione C1 con evidenziato il D<sub>50</sub>

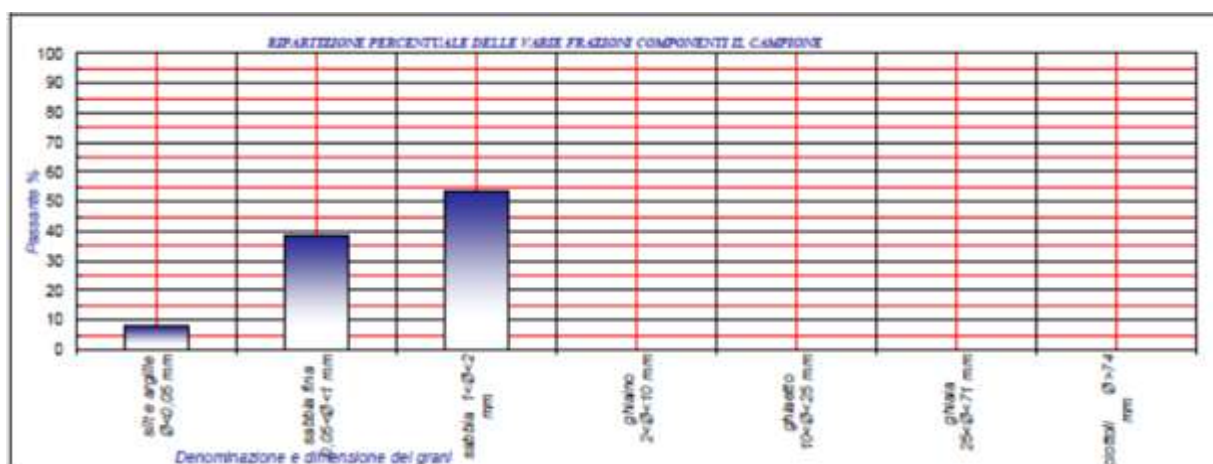


Fig. 55 - Distribuzione di frequenza delle frazioni componenti C1

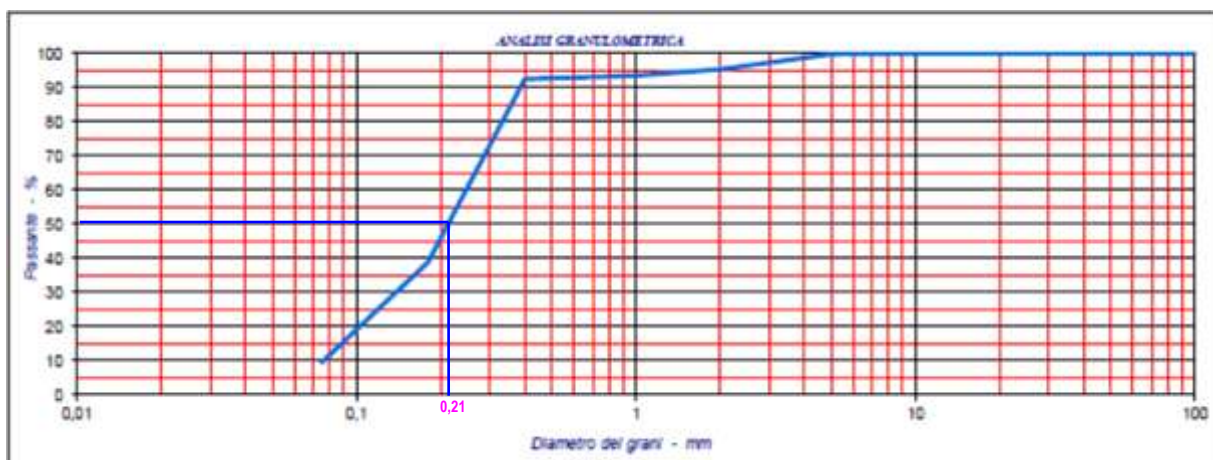


Fig. 56 - Curva granulometrica del campione C2 con evidenziato il D<sub>50</sub>

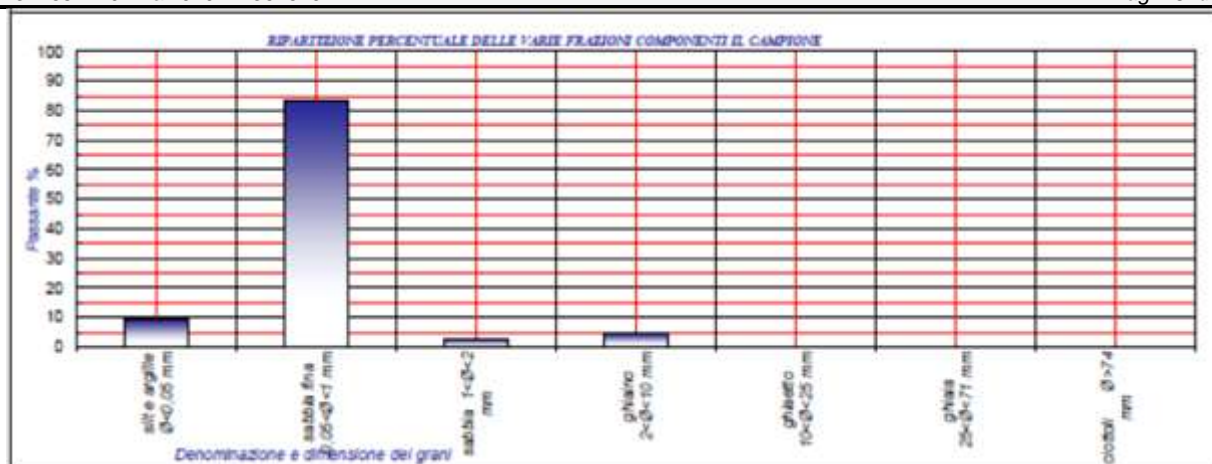


Fig. 57 - Distribuzione di frequenza delle frazioni componenti C2

Dai grafici si desume che C1 è sabbia trimodale mentre C2 è sostanzialmente unimodale. Inoltre:  
nel campione C1 il  $D_{50} = 0,42\text{mm}$  corrisponde ad una sabbia media.  
nel campione C2 il  $D_{50} = 0,21\text{mm}$  corrisponde ad una sabbia fine

La frazione modale di C1 è compresa fra 1 e 2mm

La frazione modale di C2 è compresa fra 0,05 e 1mm

I parametri statistici (Assortimento/Classazione, Asimmetria e Appuntamento) sono estrapolabili per via grafica dai risultati ottenuti con riferimento a Folk & Ward e a  $\Phi = -\text{Log}_2 D$

Le analisi dunque attestano che la spiaggia sommersa è espressa da sabbie fini praticamente unimodali, mentre la parte emersa della spiaggia conserva sabbie bimodali a trimodali, fin solo in superficie, da dove tendono ad essere rimosse; la sua porzione sepolta è strutturata su granulometrie più grossolane, corrispondenti alle classi granulometriche medie della classificazione di Udden-Wentworth.

## 10. CONCLUSIONI

L'altezza di chiusura a breve termine della *Terza spiaggia* o, se si preferisce, la profondità del *Run up* dell'onda incidente, non è più compatibile con la localizzazione della struttura turistica posizionata fin dagli anni sessanta nella concessione Demaniale marittima (Ristorante *La Terza spiaggia*). La traccia del sovrizzo d'onda può dunque interferire anche in estate con le strutture al servizio della concessione.

Gli spazi emersi restanti non possono peraltro consentire a tutte le tre Concessioni rilasciate sulla spiaggia dalla RAS e dal Comune, il rispetto delle distanze minime dalla battigia previste dalle norme regionali (Direttive PUL). E' del tutto appurabile infatti che, nel corso di eventi ondosi di Scirocco (SudEst) ossia di traversa, compresi quelli non ortodossamente definibili mareggiate, ma certamente a maggiore energia trasversale, e quelli diffratti dai quadranti I e II, il *run up* dell'onda si spinga all'interno della struttura localizzata al centro della falcata sabbiosa (spiaggia emersa), la quale anche in condizione di *bel tempo*, ne costituisce il settore a minore profondità (ampiezza del profilo trasversale) di 9-10m, a minore pendenza media della battigia (inclinazione di  $7^\circ$ - $8^\circ$ ) e a minore potenza dei sedimenti giacenti nel profilo di spiaggia (<1m). Si tratta dunque di una condizione strutturale di squilibrio geomorfologico che determina nella spiaggia stessa un dissesto altrettanto strutturale che fa ammettere la necessità quanto meno di un intervento di correzione morfologica, in altre parole un intervento straordinario di manutenzione dello stesso profilo.

Nel corso dello studio si è potuto correlare tale condizione di dissesto a diversi fattori. I più significativi ai fini dell'identificazione delle soluzioni progettuali più idonee sono quelli inquadrabili come *cause predisponenti*, fermo restando che l'innesco dei dissesti evidenziati sulla spiaggia si determina in ogni caso attraverso gli stati d'onda generati sul fetch efficace del II quadrante, ossia dai venti di Scirocco, a cui il paraggio è più esposto e in misura diversa, dai venti Nord orientali, diffratti.

La principale condizione predisponente è emersa tramite lo studio multi temporale in foto aerea della spiaggia e del tratto terminale del torrente *Fosso (o Riu) Canale Torto (o Riu Finujalzu)* che almeno fino agli anni settanta si espandeva in condizioni naturali nello stagno ad essa retrostante.



Il presente studio ha quindi documentato:

- [1] il drastico mutamento dell'assetto costiero, in particolare quello dello stagno retrodunale, a partire dagli anni '70 come risultato della sua "bonifica" a scopi edificatori e del tombamento del tratto terminale del torrente, con dislocazione della foce all'estremità Ovest della falcata, sul contatto col sostrato roccioso in migmatiti;
- [2] la pressoché completa distruzione della duna costiera, soprattutto sul lato Ovest della spiaggia nelle pertinenze della periodica bocca dello specchio acqueo, con l'asportazione di gran parte dei volumi sabbiosi che determinavano la riserva dell'equilibrio geomorfologico della cella sedimentaria;
- [3] il successivo ulteriore mutamento dell'assetto idrografico del torrente anche in un tratto a monte della SP36 relativamente sviluppato ed a stretto contatto col centro urbano, con peggioramento delle caratteristiche del deflusso e sviluppo della pericolosità idraulica.

Nel corso dell'indagine si è avuto cura di esaminare inoltre la spiaggia emersa e quella sommersa in più giornate di rilievi sul campo, integrando i risultati con lo studio multi temporale in foto aerea esteso ad un arco di tempo di 65 anni circa.

Nell'ambito di una singolare *pocket beach* microtidale incassata su aggetti rocciosi è emersa una particolare configurazione di spiaggia sommersa, costituita da una megabarra sabbiosa derivante da inviluppo di più corpi sabbiosi, caratterizzata da mutevoli strutture superficiali orientate (*megaripple* e *ripple*), a loro volta intersecate da altre minori (*ripple*) orientate anche trasversalmente.

L'assetto geometrico suggerisce che si tratti di una vera e propria trappola sedimentaria dalla quale i sedimenti non possano, se non eccezionalmente, essere allontanati. Di conseguenza l'azione morfodinamica si espleta pressoché totalmente solo all'interno della cella nella parte superiore superficiale del corpo sedimentario.

Il paraggio, esposto ad una stretta traversia da Sud e SudEst, è piuttosto sensibile ad ondate correlate ai venti dal II quadrante. La dinamica della spiaggia è tuttavia esposta anche alle correnti *longshore* generate dai venti prevalenti occidentali ed alla diffrazione delle ondate provenienti dal I e dal II che originano la disposizione ad arco della spiaggia,

Il profilo emerso è in gran parte artificiale o comunque particolarmente artificializzato; per tale ragione ci si è limitati a misure sull'inclinazione della battigia (7°-9°). Il profilo della spiaggia sommersa, è stato investigato nel dettaglio sebbene con rilievi qualitativi. La morfostruttura sedimentaria si spinge fino a circa 200m dalla riva ed è totalmente contenuta all'interno degli aggetti rocciosi in migmatiti (disposti NW-SE a occidente e N-S a oriente) e da *Beach rock* affiorante a -2,00m con direzione trasversale NE-SW (circa N60°) sempre su substrato migmatitico. Alle estremità della falcata il profilo sommerso non dà luogo a truogolo dato il sostanziale ridosso da ondata diretta; ad Ovest la situazione è piuttosto stabile anche per l'ulteriore intrappolamento delle sabbie operato dai bassifondi in roccia (si noti che tale condizione può tuttavia ostacolare il deflusso idrico della foce artificiale del Riu Canale Torto, lì dislocata); ad Est, al contrario, si risente dell'intervento di un surplus di riflettività generato da manufatti in cemento al servizio dell'albergo.

I confronti multi temporali in foto aerea e le osservazioni de visu, sia quelle nell'arco di una intera stagione, così come riferite dai concessionari, sia quelle condotte da chi scrive nel corso dello studio, sottolineano in ogni caso la particolare mutevolezza superficiale delle strutture sedimentarie sommerse. Questa caratteristica, a consuntivo, è messa in relazione alla combinazione dell'azione morfodinamica dell'ondata trasversale da Scirocco (o da onde difratte di diversa provenienza da NE) con quella longitudinale da Maestrale-Ponente.

Il problema della risalita dell'altezza di chiusura della spiaggia emersa, ossia del *run up* d'onda, si manifesta soprattutto quando spirano i venti di Scirocco oltre i 30 nodi ma già ai 20 nodi possono determinarsi le prime conseguenze. Gli effetti anemologici sull'ondata, nelle particolari condizioni geometriche del fronte verso mare della megabarra provocano un frangimento a circa 100m dalla battigia su di un fondale che, in 15m-20m lineari, passa da -1,70m a -0,60m. Data infatti la pendenza del 5%-7% della frangia *shoreface* della barra, anche in caso di modesta ondata da SudEst le onde al frangimento si sollevano e in virtù della sostanziale costanza del fondale (profondità = -0,60m) in corrispondenza della barra, l'altezza d'onda non si abbatte ma

permane sino alla riva, pur in regime modale dissipativo, su altezze decimetriche, a maggior ragione se in presenza di convessità sabbiose sul fondo. Si genera in tal modo sulla zona di *swash*, in particolare nella fascia centrale della falcata, un differenziale sia di *run up* che di *run down*. Il primo è responsabile dei “dissesti” sulle aree concesse, il secondo tende ad approfondire il truogolo.

Ulteriori cause che predispongono la spiaggia alla vulnerabilità da parte del moto ondoso trasversale di Scirocco, anche in condizioni non estreme, sono rappresentate da:

- la granulometria, da medio-fine a fine, delle sabbie che la costituiscono sia in ambito emerso che sommerso, la quale favorisce le morfodinamiche, a parità di energia ondosa;
- la pendenza della battigia che rende possibile cicliche retrocessioni dai **2,00m** ai **3,00m** per solo effetto di sovrizzo medio (+0,20m ÷ +0,30m) di marea sizigiale;
- la bassa porosità delle sabbie che rende maggiore il relativo addensamento e l'impatto energetico delle onde di frangimento sui sedimenti;
- la scarsa scabrezza della superficie della barra costiera che caratterizza tutta la parte interna della spiaggia sommersa, la quale non consente di ridurre il dinamismo, pur in una condizione di frangimento distante dalla battigia e con stato modale dissipativo;
- la modesta ampiezza del truogolo al limite inferiore della battigia (<1,5m).

E' emerso infine che in circa 40anni di frequentazione turistica, dalla superficie della spiaggia emersa potrebbero essere venute meno circa **23T** di sabbia, pari ad ulteriori **14mc** come solo effetto sottrattivo da calpestio per la presenza di bagnanti. Questi volumi andrebbero sommati ancora a:

- ◇ i non meno di **1000mc** mancanti dalla spiaggia in base a semplici valutazioni morfologiche, appoggiate alla esumazione degli apparati radicali dei due unici alberi (un ginepro ed un lentisco) sopravvissuti sulla spiaggia come relitti;
- ◇ le ulteriori volumetrie sommabili (stimate in **1250mc**), venute meno dagli anni settanta, per effetto del solo prelievo della sabbia della duna strutturata, un tempo presente soprattutto nella parte occidentale della falcata;
- ◇ i volumi sottratti dalla spiaggia (qualche decina) in seguito a scorrette rimozioni della berma a resti vegetali di *Posidonia oceanica*.

Si tratta dunque di un caso alquanto singolare di dissesto idrogeologico costiero, dal momento che le condizioni geomorfologiche al contorno della spiaggia, in particolare le sue dimensioni e l'assetto incassato, farebbero ammettere una esemplare stabilità dei sedimenti intrappolati al suo interno. Si ravvisa invece, malgrado la ristrettezza del paraggio e il chiarissimo involuppo di più barre all'interno del settore delimitato dagli aggetti rocciosi, una dinamica superficiale piuttosto elevata, tutta interna alla trappola sedimentaria stessa. Infatti, la grande barra di sedimenti che pur sollevandosi fino a circa -50 cm dal l.m.m., dando luogo ad inusuale bassofondo che rende la spiaggia assai frequentata anche nel settore sommerso per le oggettive condizioni di sicurezza della balneazione, non è in grado di dissipare totalmente le forze trattive generate sul fondo da frangimento a partire da 100m di distanza dalla riva.

Ciò a causa della bassa profondità e della costanza del suo profilo. L'energia residua del frangente da onda quasi ortogonale di Scirocco, riflettendosi in parte sulla battigia, può quindi essere in grado di spostare verso mare quote di sabbia sufficienti ad abbassare la battigia stessa, a far incrementare il *run up* in corso di evento e ad arretrare ulteriormente la riva, a discapito della vulnerabilità delle concessioni, in particolare di quelle fisse.

Tale condizione spiega dunque la necessità dell'intervento in progetto. Quest'ultimo comporta il solo bypass dall'esterno della cella di volumi di sedimenti necessari, stimabili realisticamente in base alle valutazioni geomorfologiche in 1000-2000mc al massimo. Tali sedimenti potranno prelevarsi al di fuori della barra sabbiosa localizzata ma sul piano geomorfologico sarebbe non solo ammissibile ma anche preferibile il ricorso al parziale prelievo all'interno sul fronte shoreface. Ciò anche perché la riduzione della pendenza che si avrebbe per effetto del prelievo mirato e ponderato dei sedimenti necessari determinerebbe una riduzione della pendenza del fronte stesso. Ciò, se da un lato tenderebbe ad avvicinare alla riva la linea di frangimento,



determinerebbe nel contempo un efficace decremento dell'altezza del frangimento stesso, aumentando la capacità dissipativa della barra sommersa restante. Va da sé che una tale soluzione, scevra da qualunque impatto indesiderato, è destinata ad avere una durata piuttosto relativa nel tempo del tutto dipendente dalle modalità cronologiche (frequenza, persistenza, sequenza temporale) dei regimi che s'instaureranno nel corso delle stagioni, giacché si tratta d'intervento totalmente libero che s'inserisce nel dinamismo degli equilibri naturali che non vengono alterati in modo irreversibile ma corretti pro tempore.

Per tutte queste ragioni l'intervento deve essere considerato di fatto e più appropriatamente un intervento di manutenzione straordinaria; va tuttavia aggiunto che un intervento simile, al netto delle opere di drenaggio, se fosse condotto periodicamente diverrebbe ordinario e, con tutta probabilità, l'esecuzione ciclica di interventi di *by pass* sedimentario comporterebbe a regime anche movimentazioni di volumi piuttosto ridotti di sedimenti. Nel presente caso invece si sconta, da tale punto di vista, proprio il fatto che la RAS non contempli al momento la manutenzione ordinaria della spiaggia come prioritario dispositivo di gestione e presidio sostanziale di prevenzione del dissesto stesso.

Le soluzioni adottate nel progetto definitivo, sono dunque compatibili col quadro emergente dall'indagine geomorfologica marina e costiera.

In un tale contesto infine, si deve annotare che, a dispetto di quanto messo in evidenza dallo studio fin qui esposto,

- [1] La *Terza spiaggia* di Golfo Aranci dal 2016 è divenuta a tutti gli effetti *spiaggia urbana*<sup>3</sup> dalla RAS a seguito della Deliberazione G.R. RAS N. 14/36 Del 23.3.2016 avente ad oggetto "*Individuazione dei litorali urbani ai sensi dell'art. 10-bis, comma 2-bis, della legge regionale n. 45 del 22 dicembre 1989, così come modificato dall'articolo 17 della legge regionale n. 8 del 23 aprile 2015. Integrazione e approvazione definitiva a seguito dell'espressione del parere della IV Commissione consiliare*".
- [2] Ai sensi dell'Art. 17 della LR 8/2015 Si definiscono "urbani" i litorali ricompresi nei territori dei comuni indicati al comma 2, lettera a), e inseriti o contigui a grandi centri abitati, caratterizzati da un'alta frequentazione dell'utenza durante tutto l'anno e da interventi edilizi ed infrastrutturali tali da aver profondamente alterato gli originari caratteri di naturalità. Nei Litorali urbani così come definiti dalla RAS Il posizionamento delle strutture a servizio della balneazione è ammesso senza limiti temporali.

## Bibliografia

- [1] Atzeni A. & Spano A. (1992): *Sui modelli a fondo mobile simulanti foci instabili di corsi d'acqua a regime torrentizio*. L'Energia Elettrica, n. 5.
- [2] Atzeni A. & Lai G. (1993): *Verifica della risposta di un modello a fondo mobile di foci instabili*. L'Energia Elettrica, vol. 70, n. 6.
- [3] Atzeni A. & Ginesu S. (1993): *Evoluzione dei litorali della Sardegna e interventi di riequilibrio*. In: La difesa dei litorali in Italia- a cura di Aminti, P. e Pranzini E.. Edizioni delle Autonomie. Roma.
- [4] Atzeni A., Balzano A., Lai G. (1997): *Environmental Assessment Through Hydrodynamics and Transport Simulation in the S. Gilla Lagoon, Italy*. Environmental Modeling and Assessment.
- [5] Atzeni A., De Muro S., Di Gregorio F., Piras G. (2001): *Carta del rischio geoambientale delle coste della Sardegna*. Scala 1:250.000, SELCA, Firenze.
- [6] AA.VV. (1993): *Atlante delle Spiagge della Sardegna*. F° 182-Olbia. M.U.R.S.-C.N.R.\_R.A.S..
- [7] Charrier G. (1958): *Gli scisti cristallini della Sardegna settentrionale- studio geologico e petrografico*. Boll. Serv. Geol. d'Italia, vol. 79, pag. 101-220 con 14 tavv. fuori testo.
- [8] Dalla Valle G. (2007) - *Dinamica sedimentaria torbida in bacini confinati: margine orientale della Sardegna*. Tesi di Dottorato di Ricerca in Scienze della Terra XIX ciclo-Univ. di Bologna. pp. 205.
- [9] Dore M., Tilocca G., & Deroma M.A. (2001) - *Carta inventario dei fenomeni franosi e alluvionali nella Provincia di Sassari*. XIX Giornata dell'Ambiente Riassunto per il Convegno: *IL DISSESTO IDROGEOLOGICO: INVENTARIO E PROSPETTIVE*; Accademia Nazionale dei Lincei, Roma 5 giugno 2001.

<sup>3</sup> Deliberazione G.R. RAS N. 14/36 Del 23.3.2016

- [10] Dore M., Ghiglieri G. & Tilocca G. (2002) - *Prime considerazioni sul dissesto idrogeologico della Gallura (NE Sardegna, Italia)*. Congrès international Environnement et Identité en Méditerranée, Corte-Corsica 2002 ; pag. 45-55.
- [11] Eredia F. (1907) - *I venti in Sardegna*. Rivista Marittima.
- [12] Fassò C. (1969) – *Rapporto regionale : Sardegna*. Atti del Convegno nazionale su l'idrologia e la sistemazione dei piccoli bacini. pag. 234-248. Roma.
- [13] Gavrilovic S. (1959) - *Methode de la classification des bassins torrentiels et equation nouvelles pour le calcul des hautes eaux et du debit solide*. Vadoprivreda, Belgrado.
- [14] Ghezzi C., Guasparri G., Malesani P., Pellizzer R., Sabatini G. (1979): *Il feldspato potassico nelle rocce granitiche della Sardegna - Risultanze delle prime indagini comparative*. Rendiconti Soc. Ital. Mineral. e Petrologia, v. 35. Pag. 121-133.
- [15] Gruppo Nazionale per la Ricerca sull'Ambiente Costiero (2006) - *Le spiagge della Sardegna*. In: "Lo stato dei litorali italiani"-Studi Costieri, n.10, pag.45-52.
- [16] Hiller O. (1981) – *Die gebirgstreppe ostsardinienseine geomorphologische analyse*. Augsburger Geographische Hefte; pp. 162, n.2 Tav. f.t..
- [17] I.N.Q.U.A. (1980) - *Compte-rendus de l'excursion table ronde sur Tyrrhenien de Sardaigne*. Pubbl. Univ. Cagliari-Univ. Liege pp.112. Cagliari.
- [18] Masselink G. & Short A.D. (1993) - *The effect of tide range on beach morphodynamics: a conceptual model*. Journal of Coastal Research, 9, pag. 785–800.
- [19] Masselink G., M. G. Hughes & J. Knight (2011) - *Introduction to Coastal Processes & Geomorphology*. 2nd edition ed., Hodder Education, London.
- [20] Mori A. (1950) - *Le Saline della Sardegna*. Mem. Geogr. Econ., 3, CNR-Napoli.
- [21] Mori A. & Spano B. (1952) - *I porti della Sardegna*. Mem. di Geogr. Economica, 6, pp. 238. CNR-Napoli.
- [22] Noli A. & Mita M. (2005) – *Difesa delle coste e salvaguardia dei litorali*. pp. 367, MATT-Podis.
- [23] Orrù P. & Ulzega A. (1996) - *Coastal hazard in environmental geomorphology*. Elsevier –Amsterdam, pp. 268.
- [24] Pecorini G. (1984) - *Ambienti contesi: le formazioni a lido e gli stagni*. Sardegna-l'uomo e le coste, pag. 111-122; Banco di Sardegna.
- [25] Pecorini G. (1984) - *Le isole minori, rocce modellate dal mare e dal vento*. Sardegna -l'uomo e le coste. Banco di Sardegna, pag. 123-134.
- [26] Pelletier J. (1951) - *Notes sur la morphologie de la Gallura*. Rev. Geogr. Lyon, pag. 147-153.
- [27] Pelletier J. (1960) - *Le relief de la Sardaigne*. Fasc. Hors Série Rev. Geogr. Lyon, pp. 484.
- [28] Pinna M. (1954) - *Il clima della Sardegna*. La Goliardica-Pisa.
- [29] Pinna S. (1991) - *Caratteristiche geologico-tecniche delle coltri di disfacimento delle rocce granitiche della Sardegna nord-orientale*. Geologia Tecnica, 3, p.37-44.
- [30] Porqueddu A., Antonioli F., D'Oriano R., Gavini V., Trainito E. & Verrubbi V. (2011) - *Relative sea level change in Olbia Gulf (Sardinia, Italy), a historically important Mediterranean Harbour*. Quaternary International 232, pag. 21-30.
- [31] Rinaldi M. & Surian N. (2005) – *Variazioni morfologiche ed instabilità di alvei fluviali: metodi ed attuali conoscenze sui fiumi italiani*. In: M. Brunelli & P. Farabollini (Eds), Dinamica Fluviale, Atti Giornate di Studio sulla Dinamica Fluviale, Grottammare, Giugno 2002, Ordine dei Geologi Marche, pag. 203-238.
- [32] Rinaldi M. (2008) – *Schede di rilevamento morfologico degli alvei fluviali*. Il Quaternario, Italian Journal of Quaternary Sciences, 21, pag. 353-366.
- [33] Rinaldi M., Surian N., Comiti F. & Bussettini M. (2011) – *Manuale tecnico – operativo per la valutazione ed il monitoraggio dello stato morfologico dei corsi d'acqua*. ISPRA.
- [34] Rinaldi M., Surian N., Comiti F. & Bussettini M. (2014) – *IDRAIM Sistema di valutazione idromorfologica, analisi e monitoraggio dei corsi d'acqua*. Manuali e Linee Guida ISPRA 113/2014; pp. 262 + 7 Appendici giugno 2014.
- [35] Schmiedt G. (1965) - *Antichi porti d'Italia*. L'Universo, 45, pag. 250-281- IGMI-Firenze.
- [36] Segre A. G. (1954) - *Il Quaternario del Golfo di Terranova Pausania (Olbia) e la sua fauna malacologica*. Boll. Serv. Geol. d'Italia, vol.76, pag. 45-73.



- [37] Servizio Geologico d'Italia (2001) - *Memorie descrittive della Carta Geologica d'Italia-Geologia della Sardegna-Note illustrative della Carta Geologica della Sardegna in scala 1:200.000*. I.P.Z.S. vol. 60, pp. 283.
- [38] Spano B. & Pinna M. (1956) - *Le spiagge della Sardegna*. Ricerche sulle variazioni delle spiagge italiane, pp. 254, CNR Faenza.
- [39] Tilocca G. (2003) - *Resoconto sulle piene in Gallura del dicembre 1998*. Il Geologo-periodico O.R.G. della Sardegna, 1/7, pag. 5-9.
- [40] Tilocca G. (2003 b) - *Rassegna dei principali casi di arretramento su arenili e falesie costiere della provincia di Sassari (Sardegna)*. Acc. Naz. Lincei, 21° Giornata dell'Ambiente-Aree Costiere, 5 Giugno 2003, abs. pp.3 -Roma.
- [41] Tilocca G. & Dore M. (2002) - *Il dissesto idrogeologico nella Gallura (Sardegna NE-Italia)*. Riassunto: Congresso Internazionale Ambiente e Identità in Mediterraneo, Corte-Corsica pag. 253-254.
- [42] Tilocca G. & Murrau A. (2003) - *Linee guida per l'individuazione dei criteri generali per la difesa dei litorali - Propedeutiche all'avvio dell'attività di pianificazione, di programmazione e di attuazione della difesa dei litorali di cui all'art. 3, comma 1, lettera g della L. 183/89*. Servizio Difesa del Suolo, pp. 49. R.A.S.-Assessorato dei LL.PP.
- [43] Università di Sassari & Cas. Mez. (1979-1980) - *Atlante idrogeologico della Sardegna in scala 1:100.000. F° 182 Olbia*. Progetto speciale n.25. Casilina Stampa Stabilimento Litocartografico-Roma.
- [44] USACE (1984) - *Shore Protection Manual*, ed. 1977/1984, U.S. Army Coastal Engineering Research Center, Kingman Building, Fort Belvoir, Virginia, U.S.A.
- [45] USACE (1995) - *Engineering and Coastal design*. Manuals EM 1110-2-1810 -cap. 4., pp. 59.
- [46] Valloni R. & Ferretti O. (2002) - *Rassegna tipologica e statistica degli interventi di ripascimento artificiale dei litorali italiani*. Pubbl. ENEA-Univ. di Parma.
- [47] Vardabasso S. (1934) - *Profilo geomorfologico del massiccio sardo-corso*. Atti del XII° Congresso Geografico Italiano. pp. 5 – Cagliari.
- [48] Vardabasso S. (1955) - *Il Quaternario della Sardegna*. Atti del 4° Congresso INQUA, pp. 24. Roma.
- [49] Vardabasso S. & Vardabasso S. na (1962)- *La Gallura-Cenni Geologici - Cenni Geografici*. Estratto dal vol. *La Gallura*, pp. 23. a cura di Murineddu A.- Ed. Fossataro, Cagliari.
- [50] Verstappen H.Th. [ed.] (1983): *Applied Geomorphology - Geomorphological Surveys for Environmental Development*. Elsevier.
- [51] Waelbroeck C., Labeyrie L., Michel E., Duplessy J.C., McManus J.F., Lambeck K., Balbon E. & Labracherie M. (2002) - *Sea-level and deep water temperature changes derived from benthic foraminifera isotopic records*. Quaternary Science Reviews, v. 21, pag. 295–305.
- [52] Wright L.D. (1985)-*River Deltas*. Coastal Sedimentary Environments. 2nd ed., R.A. Davis, ed., Springer-Verlag, New York, pag. 1-76.
- [53] Wright L.D. & Coleman J.M. (1973) - *Variations in morphology of major river deltas as functions of ocean wave and river discharge regimes*. American Association of Petroleum Geologist Bulletin, vol. 57, 2, pag. 370-398.
- [54] Wright L.D. & Short A.D. (1984) - *Morphodynamic variability of surf zones and beaches: A synthesis*. Marine Geology, 56; pag. 93-118.

Dott. Geol. Giovanni Tilocca

