



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



Comune di Pula
Santa Margherita

**FORTE VILLAGE RESORT - OPERE DI PROTEZIONE E STABILIZZAZIONE
MORFOLOGICA DELLA SPIAGGIA**

RELAZIONE INTEGRATIVA

Settembre 2024

ALLEGATO 01

INTEGRAZIONI GEOMORFOLOGIA

Proponente:

“Progetto Esmeralda S.r.l.”

PROGETTISTI E CONSULENTI:

Dott.Ing. Franco Vigna

(coordinatore e responsabile delle progettazioni)

Dott.Ing. Andrea Ritossa

DHI s.r.l. Ing. Andrea Crosta – Ing. Andrea Pedroncini

Dott.Geol.Giovanni Tilocca

**OPERE DI PROTEZIONE E STABILIZZAZIONE MORFOLOGICA DELLA
SPIAGGIA ANTISTANTE IL “FORTE VILLAGE RESORT”**
Progetto Definitivo

Relazione Integrativa
LA GEOMORFOLOGIA DELLA SPIAGGIA DI SMP
RICAVATA DAI RILIEVI DIRETTI DI DETTAGLIO

GENERALITÀ MORFODINAMICHE

L'assetto morfodinamico che consegue da quello geomorfologico complessivo sulla spiaggia di SMP è dunque quello di:

- una **spiaggia microtidale** a tendenza morfologica intermedia complessa, dove si sovrappongono elementi morfodinamici riflettenti su quelli dissipativi;
- una spiaggia scomponibile in due macro segmenti che pur rientranti in una medesima UG, tendono ad avere comportamenti difforni. Da qui la loro distinzione.

Il tratto di costa ricompreso nella **SUG1** (Fig.1), fra l'aggetto di Cala Verde e la zona del Forte Village, di circa 1 Km (**0,85Km** se consideriamo l'aggetto naturale della scogliera anziché quello artificiale), risponde in gran parte ad uno **stretto controllo geologico** (Fig.5-6). S'intende con questo termine l'influenza del sostrato roccioso sulla morfologia e sulla batimetria, tale da non far rientrare la specifica sub-unità nella schematizzazione convenzionale trasversale di una spiaggia (cfr. Fig.22).

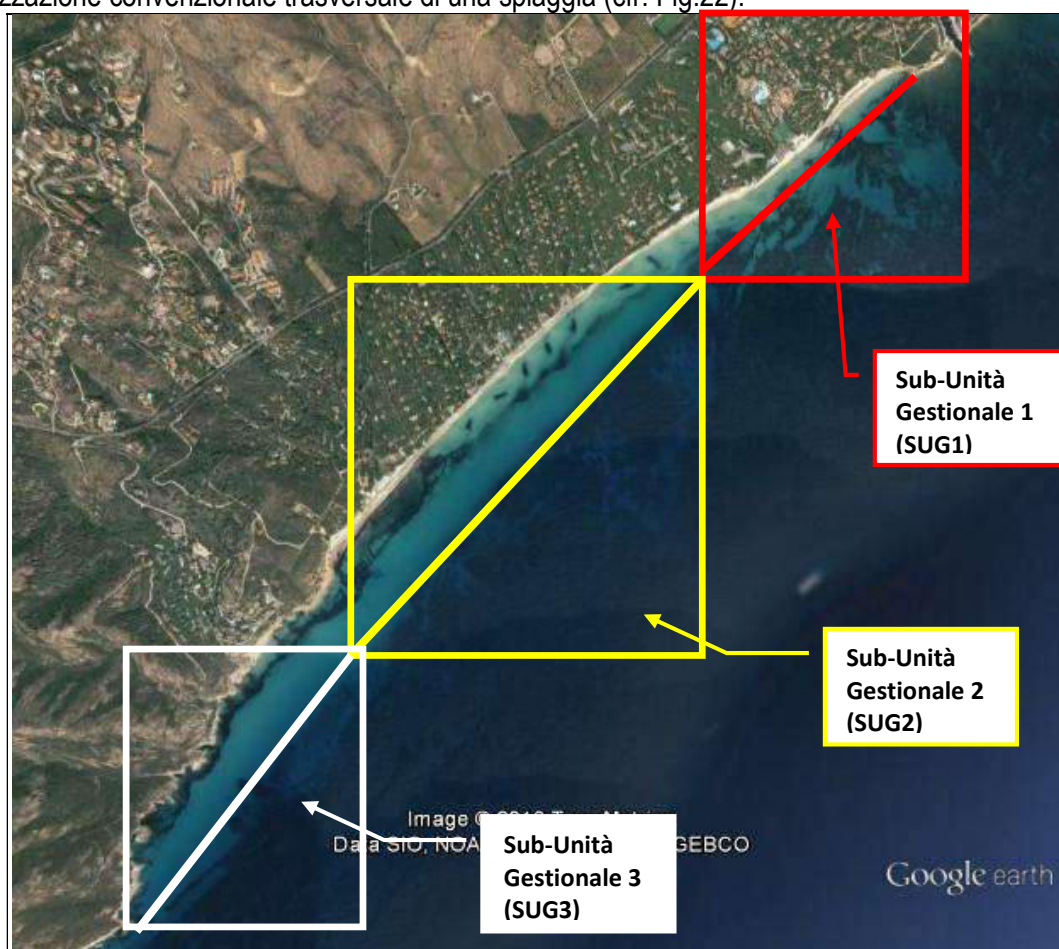


Fig. 1 - Scomposizione dell'Unità gestionale di 3° Ordine di riferimento (UG SMP) o in tre Sub Unità gestionali di 4°Ordine (SUG1, SUG2 e SUG3), sensu TNE, 2018. La n. 3 non è qui considerata. La distinzione deriva dalle caratteristiche del fondo espresse nella batimetria e nella morfologia rocciosa in SUG1 che rendono il paraggio

diversamente soggetto a controllo geologico rispetto a SUG2. Si noti che il limite della UF di 3° Ordine si spinge ben al di là del contatto del basamento roccioso granitoide col mare.

Di seguito si riferiscono i principali elementi litostratigrafici della spiaggia di Santa Margherita di Pula (SMP) osservabili nel compendio fra

- Cala Verde e Forte Village
- Forte Village-Perla Marina
- Perla Marina-Cala Bernardini

DA CALA VERDE A FORTE VILLAGE

Il settore immediatamente ad Ovest dell'approdo di Cala Verde, non essendo sede d'insediamento, si presta alle migliori osservazioni. La documentazione fotografica a cura dello scrivente e di seguito esaminata, risale all'8 Maggio del 2010, quando era stato appena avviato il cantiere del primo intervento di protezione della spiaggia di Forte Village.



Fig. 2 - Stratigrafia dal basso: Arenarie siltose e argillose rosse della Formazione del Cixerri (**Cix**; Eocene); Conglomerati (**Cgl**; Pleistocene); Arenarie continentali (**Ac**; Pleistocene). In Giallo intercetta superficie di contatto. In tratteggio Rosso, solco erosivo visibile alla base della parete.



Fig. 3 - Foto panoramica comprendente parte della sezione della figura precedente (cfr. Solco d'erosione) in tratteggio rosso. Spiaggia ciottolosa al piede della ripa con scarsa sabbia sovrastante, poco a Ovest dell'approdo di Cala Verde. Prosecuzione in mare oltre la battigia di banchi arenacei rocciosi grigi della **Formazione del Cixerri** (Cix). In rosso i banchi siltoso argillosi della Formazione del Cixerri. **Il ciottolame sulla spiaggia è alimentato dall'erosione del livello di Cgl.** Si noti la formazione di cuspidi anche con spiaggia ciottolosa quindi con granulometrie grosse

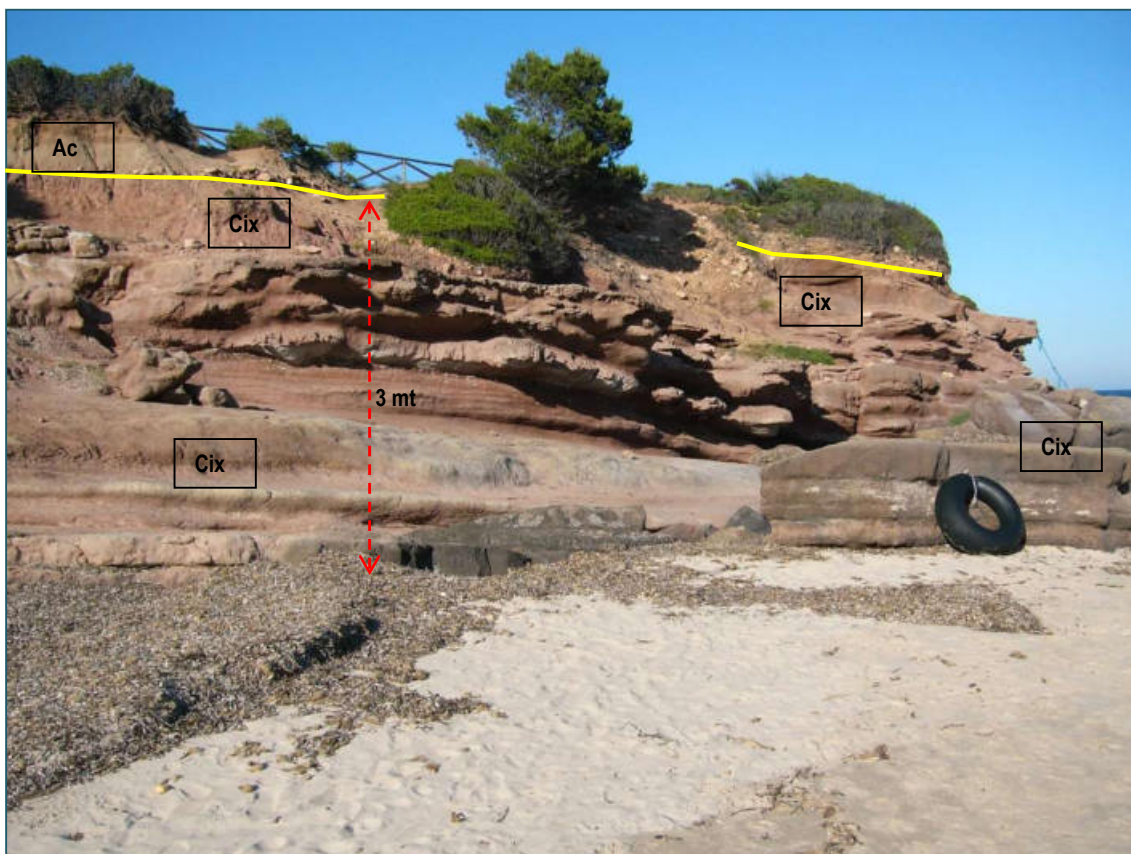


Fig. 4 - Inizio tratto sabbioso della spiaggia di SMP Falesia in banchi rocciosi di arenarie grigie della Formazione del Cixerri immersi verso Nord su pieghe ad ampio raggio. Si noti la berma a resti di Posidonia oceanica che evidenzia la tendenza del transetto ad intrappolare i sedimenti e ad ispessire il profilo di spiaggia

Con riferimento alle Figg. 2, 3 e 4, gli strati alla base di ognuna di esse mettono in evidenza l'ossatura rocciosa del fondo sommerso del paraggio, condizionandone assetto batimetrico e sua morfologia (cfr. Batimetrie progetto). Da ciò consegue la presenza di aggetti morfostrutturali sia in ambito emerso, che sul fondo sommerso. Entrambi costituiscono condizioni di influenza oggettiva della morfo-dinamica della spiaggia sommersa che a sua volta si riflette sulla sua parte emersa. I rilievi subacquei periodicamente eseguiti in questi anni hanno attestato che la loro presenza e le loro geometrie inducono la formazione di trappole morfologiche subacquee relativamente circoscritte, in cui si riversano e catturati importanti volumi di sedimenti per lo più francamente sabbiosi. Ciò è ben riscontrabile anche nelle sequenze delle figure che riportano le foto aeree, qualunque sia il riferimento temporale. In generale quindi tale ossatura geolitologica determina un **controllo geologico** nell'Unità Fisiografica che facilita il riconoscimento, in particolare, di una palese **sub unità fisiografica** (sensu TNEC, 2018) che mostra al suo interno una certa serie di differenziazioni morfodinamiche rispetto alla restante UF.

Per poter comprendere le evoluzioni morfologiche di questo segmento della spiaggia di SMP occorre tener conto che ad influire su queste, sono tanto gli elementi "aggettanti" subacquei, così evidenti in foto aerea, sia quelli di ambiente emerso che risultano in foto aerea meno evidenti soprattutto perché per lunghi tratti e vaste superfici parzialmente sottratti da residenze, manufatti vari e dalla stessa pineta.

Se si fa riferimento al solo profilo planimetrico del settore e lo si pone in relazione allo stralcio geologico della figura seguente, si coglie l'importanza dell'ossatura rocciosa della formazione terziaria del Cixerri (CIX), nel condizionamento geomorfologico locale e in particolare nella morfodinamica costiera. All'azione del basamento terziario si aggiunge a terra, peraltro, quella della copertura detritica addensata e coerente di genesi conoidale-alluvionale soprastante ma con caratteristiche litotecniche differenti. Quest'ultima formazione infatti, va a sovrapporsi verso SudOvest alla formazione del Cixerri anche in ragione dell'assetto strutturale di quest'ultima. Ne consegue che, seguendo tale direzione, il basamento roccioso terziario (CIX) scompare sia a terra che a mare al di sotto delle coperture, tanto di quelle addensate della formazione detritica conoidale pleistocenica (PVM_{2a}) che quelle sciolte (G_{2a}) di spiaggia. Tuttavia poiché i comportamenti litotecnici della formazione pleistocenica, non sono gli stessi di quella terziaria, l'assetto geomorfologico che ne deriva è piuttosto diverso e la morfodinamica costiera da ciò risultante ne è vistosamente influenzata.

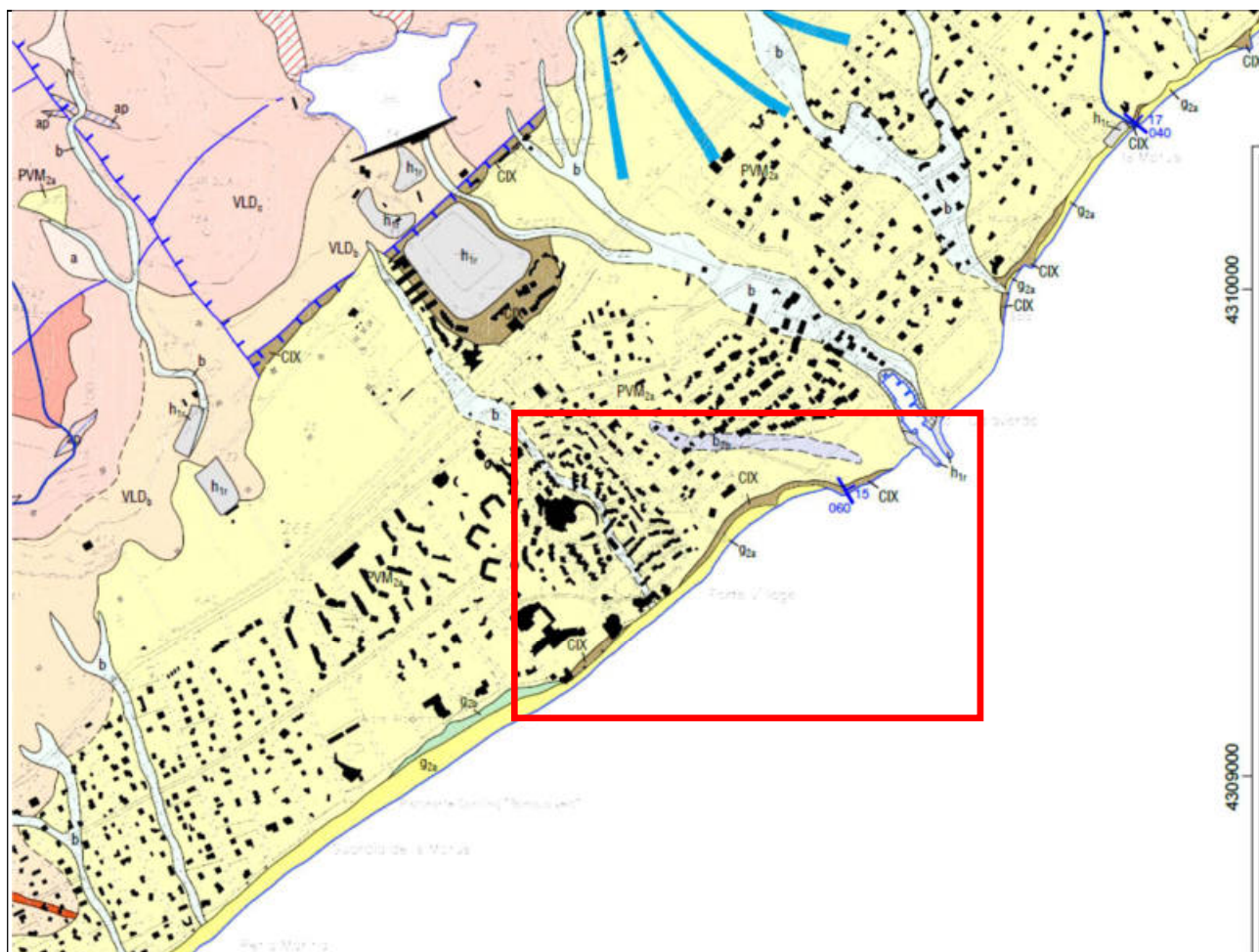


Fig. 5 - Stralcio Carta Geologica Stralcio Progetto Maregot Carta Geologica Bacino Riu Palaceris e minori (scala orig. 1:13.000). Legenda del riquadro: **CIX** = Affioramenti della Formazione del Cixerri (Sedimenti. Arenarie e arenarie siltoso-marnose) Eocene medio-? Oligocene. **PVM_{2a}** = Litofacies del sub sintema di Portoscuso (Pleistocene sup.). **g_{2a}** = Depositi di spiaggia attuale. **h_{1r}** = Depositi antropici attuali.

A NordOvest, con l'aggetto geologico di Calaverde (a cui di fatto si somma l'effetto relativo delle opere costiere realizzate a partire dalla prima metà degli anni '80) generato da un sostrato duro roccioso terziario, è stato resa possibile la creazione di un'area di intrappolamento sedimentario che nel tempo ha favorito aggradazione e progradazione dei sedimenti naturali. Di ciò testimoniano, senza alcuna possibilità di smentita, i confronti multi temporali delle immagini aeree e delle cartografie storiche (allegate al presente lavoro). A tale esplicita evidenza, poiché la presente disamina è finalizzata ad una Valutazione ambientale, deve necessariamente aggiungersi un'ulteriore constatazione. L'immagine aerea sottostante (fine aprile) rivela infatti come il segmento sopra definito, lì all'interno dei due tratti trasversali gialli, sia quello che tende a conservare la berma vegetale ossia i sedimenti di origine vegetale, più noti col fuorviante termine di "spiaggiamenti di resti di *Posidonia oceanica*", denominati anche "banquette". Sebbene infatti non sia ancora ben recepito dalla RAS in termini gestionali, è fin troppo chiaro che tali deposizioni stagionali attestino di uno stato di equilibrio morfodinamico della spiaggia che si esprime in **un differenziale di progradazione della battigia e di aggradazione della berma legato ad una variazione long-shore della portata solida**. Si tratta quindi di un esplicito indicatore sia idrodinamico che morfodinamico. Ebbene, si può notare come quel tratto in particolare risulti il più conservativo della sub unità fisiografica stessa (SUG1a) dal punto di vista della sedimentazione. Non resta quindi che concludere che tale spazio longitudinale della spiaggia di SMP sia storicamente evoluto a discapito di tutti gli altri segmenti, con progradazioni della battigia. Questi ultimi in base ai confronti multitemporali possono valutarsi nell'ordine dei 30m (ossia la battigia della spiaggia è avanzata di circa 30m in 50 anni, dando luogo ad un "arenile" in senso demanialistico), ma soprattutto col delinearsi di un profilo di

spiaggia molto robusto, con spessore superiore a 1,5m sull.m.m., dell'ordine di almeno 2m sopra il basamento roccioso e palesemente convesso.

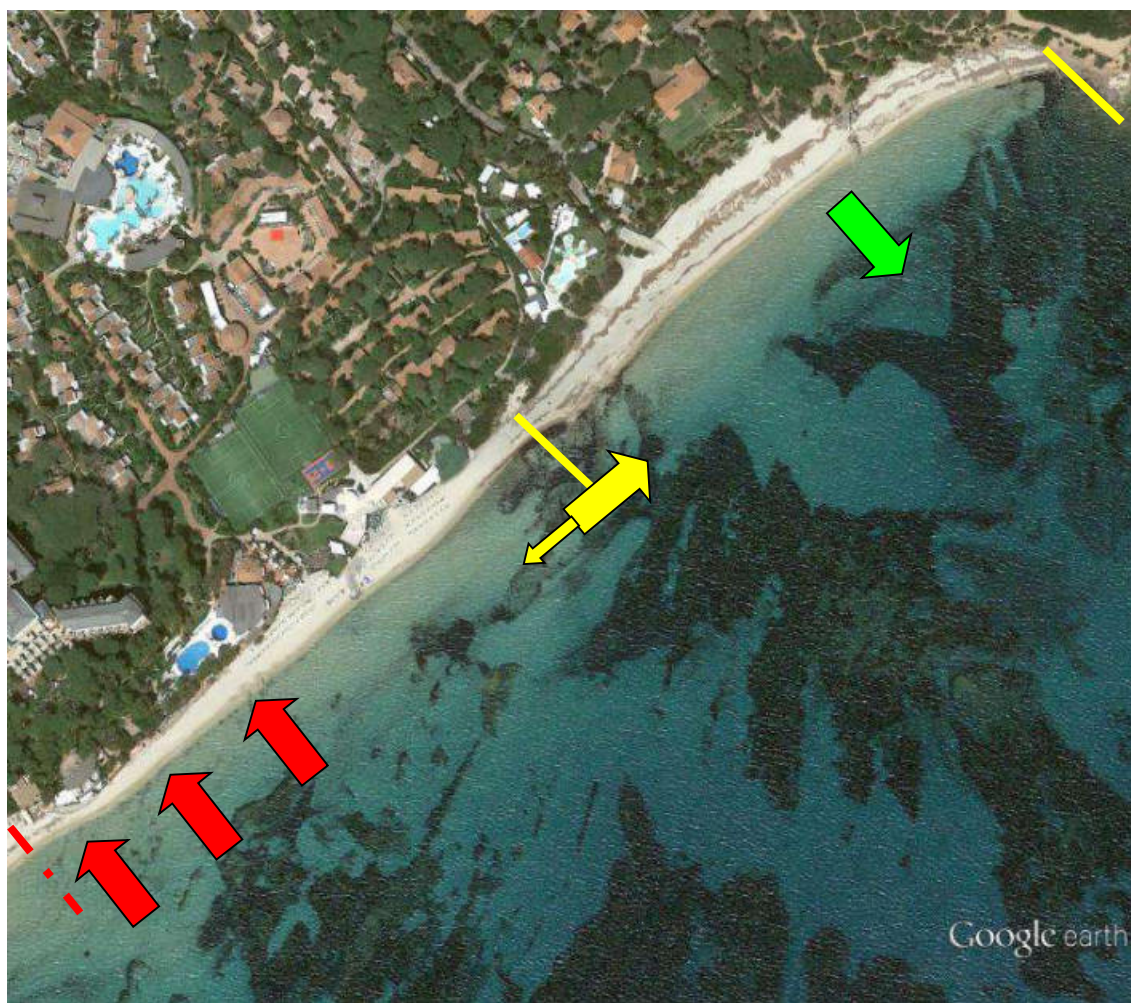


Fig. 6 - Immagine aerea Google earth del 23/04/2017. I versi delle frecce indicano le tendenze costiere sul lungo periodo. La batimetria e il substrato generano le condizioni di controllo geologico fra cui la condizione degli aggetti rocciosi sulla spiaggia

Il tratto immediatamente a SW del precedente (**SUG1b**), è connotato da una rilevante tendenza all'instabilità stagionale il cui bilancio "storico" ha tuttavia esposto ad una manifesta erosione il transetto in corrispondenza del settore dove la struttura geologica emersa in ambito subaereo appare più aggettante rispetto alla spiaggia, almeno nel contesto (**Forte Village**). Le evidenze dunque non fanno altro che documentare uno dei canonici risultati dell'impatto delle onde sulla costa ossia quello per il quale gli aggetti tendono ad arretrare in conseguenza della concentrazione del moto ondoso su di essi. Si tratta in sostanza di un effetto della rifrazione che tuttavia andrebbe quantitativamente interpretato tenendo conto delle modifiche artificiali stratificatesi direttamente sul sistema di spiaggia o ad essa sottese :

1. L'invaso sul Riu Pedrosu
2. la cattura della foce del Riu Pedrosu attraverso a realizzazione del porto di Cala Verde
3. la realizzazione delle opere foranee del porto di Cala Verde
4. la gestione delle costipazioni di resti di Posidonia oceanica nel porto di Cala Verde
5. la realizzazione della pineta di SMP
6. l'obliterazione della rete idrografica minore
7. l'assenza di manutenzione dei corsi d'acqua ancora recapitanti

8. la realizzazione di svariate opere e tipologie di protezione e delimitazione delle proprietà private lungo tutta l'UF.
9. Assenza presso che totale di apparati dunari (qualche relitto) in connessione con in SUG1a; assenza totale di apparati dunari in SUG1b; apparati dunari presso che totalmente distrutti in SUG2a; apparati dunari dissestati, erosi e talora pionieri in SUG2b.

Interventi che nell'insieme, ciascuno per la propria parte, hanno via via nuociuto alla conservazione di un bilancio sedimentario tale da rendere la condizione morfodinamica modale invernale della spiaggia del tutto compensabile da quella estiva, secondo una fisiologica ritmica periodica, quanto meno stagionale.

In particolare:

1. L'invaso del Riu Pedrosu intercetta gran parte del trasporto solido proveniente dal settore montano impedendone quindi il trasferimento verso la foce di sabbie e ghiaie.
2. La realizzazione del porto di Cala Verde sulla foce del Riu Pedrosu favorisce la sottrazione dei sedimenti residui che giungono all'interno dello specchio portuale;
3. Le opere foranee accentuano il carattere diffrattivo, del transetto determinando un'abbattimento dello scambio sedimentario fra la spiaggia di SMP e quella di Is Morus e nel contempo esaltano l'effetto di intrappolamento sedimentario naturale dei due tratti terminali di spiaggia ad esse più pertinenti, con SUG1a a Sud che genera una spiaggia progradante convenzionale, mentre Is Morus a Nord, diviene sede di deposizioni parossistiche di sedimenti vegetali.
4. Fin dall'escavo primigenio del 1983, l'intasamento sistematico del porto per effetto della deposizione al suo interno di svariate migliaia di mc di sedimenti vegetali, ha inevitabilmente sottratto aliquote mai quantificate di sabbia proveniente dal settore subacqueo. Benché verosimilmente si tratti di percentuali volumetriche inferiori rispetto a quelle massime che ordinariamente si stimano sulle spiagge (30%) in ragione delle condizioni al contorno, dei metodi e dei tempi di rimozione, più di 40 anni di reiterazioni della gestione non possono essere considerate insignificanti nel bilancio di una spiaggia. Esse possono essere valutabili da un minimo di 22.000mc ad un massimo di 162.000mc in ragione di quantificazioni dei volumi gestiti e della percentuale di sabbia trattenute (cfr. Tab.7 della Relazione)
5. Le pinete costiere sono state realizzate col preciso scopo di stabilizzare i sedimenti dunari. Per quanto in questo settore, all'atto degli impianti (anni trenta XX sec.) non si potesse parlare di veri e propri campi dunari, certamente la pineta ha ridotto la reciprocità dello scambio di sabbia governata dal clima anemologico, contribuendo all'innescio del deficit storico di bilancio sedimentario della spiaggia.
6. Dei vari ruscelli che drenavano la conoide alluvionale che termina alle spalle della spiaggia (formazione pleistocenica PVM_{2a}) nel tratto ricompreso da Cala Verde a Cala Bernardini, rimane in contatto potenziale con la spiaggia di SMP il solo Riu Baracconi. Tutti gli altri in un modo o in un altro sono stati oblitterati o alterati e solo sporadicamente manifestano deflusso in mare. Da ciò consegue una drastica riduzione dell'apporto sabbioso tipico generato dalle morbide della stagione invernale e dagli eventuali episodi impulsivi delle piene lungo tutta la falcata, stimabile in qualche centinaio di mc/anno in media per ognuno dei corsi d'acqua.
7. E' stato dimostrato che la mancata manutenzione ordinaria e straordinaria dei corsi d'acqua costituisce uno dei principali ostacoli al recapito dei sedimenti torrentizi a mare. Il Riu Baracconi che peraltro entra sporadicamente in contatto col mare in ragione del regime degli afflussi non è mantenuto e tanto meno mantenuta è la sua foce.
8. Tutta la spiaggia è praticamente segnata da opere di sostegno realizzate in aderenza alla ripa ritagliata sulla conoide alluvionale.
9. La duna è presente in vari stati di degrado al di fuori dell'area della pineta nel solo sottosettore SUG2b

Nell'insieme da ciò consegue che il settore di spiaggia corrispondente a **SUG1b**, quello in cui il sostrato geologico della spiaggia stessa diviene più "aggettante" verso mare, sia divenuto il più sofferente sul piano strettamente morfodinamico, ovvero quello che manifesta un bilancio erosivo storico conclamato e che

per questa ragione non è dinamicamente in grado di garantire in ogni stagione la presenza di volumi sabbiosi in grado di contrastare l'azione ondosa invernale ma semmai mostra una tendenza al bilancio negativo e quindi alla retrocessione spinta, con rischi superiori sui manufatti. Le manutenzioni stagionali del passato,, come ampiamente previsto, sono risultate interventi di corto respiro, che hanno teso a ripascere il naturale trasferimento di sedimenti verso SUG1a. Quest'ultima è divenuta spiaggia più robusta, progradante e aggradante in circa 40anni (gli spessori della berma riscontrati a Luglio 2024 sono ben superiori a 1.50m sul l.m.m. e le profondità o larghezze trasversali del profilo emerso sono ben superiori ai 30m).

SINTESI DEGLI ELEMENTI MORFODINAMICI DA FOTO AEREA

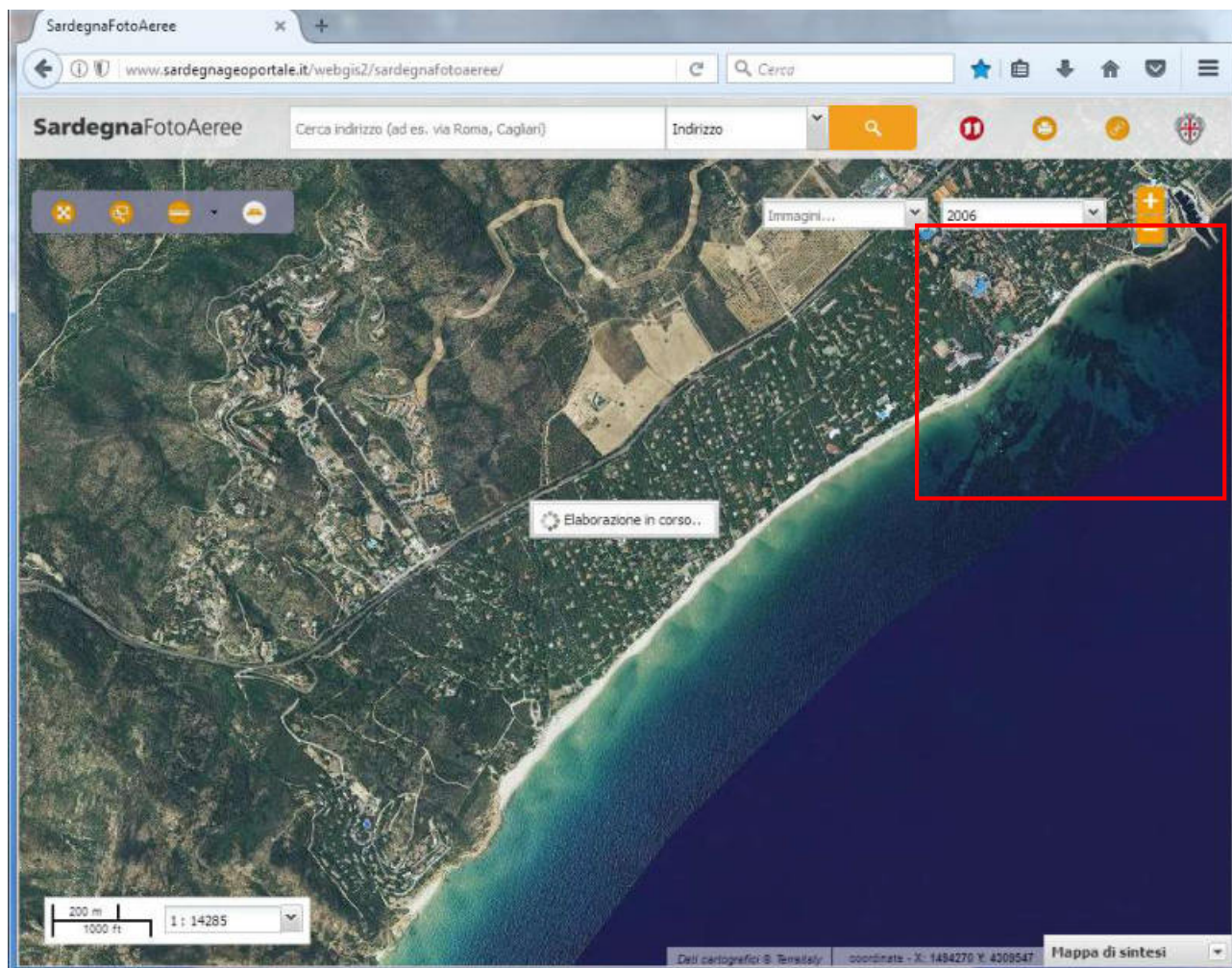


Fig. 7 - Immagine 2006

Assetto di *bel tempo* della spiaggia di Santa Margherita di Pula con tipica sequenza di **strutture sedimentarie (barre oblique) conseguenti a interferenza fra Rip Currents e Longshore drift**. Tratto da: <http://www.sardegnageoportale.it/webgis2/sardegnafotoaeree/>

Il riquadro della foto precedente evidenzia la parte della spiaggia di Santa Margherita di Pula subito a Sud Est del Porto di Cala Verde, il cui bassofondo appare particolarmente influenzato per circa a 800m dagli elementi morfo-strutturali del sostrato geologico presenti nella Formazione del Cixerri. Il fondale roccioso (prof. massima della parte visibile da -6,50m a -7,50m) mette in evidenza una superficie che simula un andamento quasi a gradini, con strutture lievemente curve orientate soprattutto Nord Est –Sud Ovest attribuibili a banchi in probabile assetto di ampia Sinclinale. Lungo tali strutture, esigue coperture sabbiose si depositano con giaciture preferenziali trasversali all'assetto strutturale, sigillandone i principali elementi geometrici a guisa di "negativo". L'immagine mette dunque in evidenza:

- ⊕ la discreta povertà sedimentaria del tratto costiero, soprattutto se confrontata col tratto più Sud Occidentale dell'Unità Gestionale;
- ⊕ la disposizione batimetrica per nulla rettilinea, né tanto meno parallela

Quest'ultimo aspetto non è affatto insignificante, poiché tale condizione di fatto limita, per non dire inficia del tutto, l'assunzione in questo contesto specifico delle condizioni normalmente valide nell'approccio analitico al problema della deformazione dei litorali (Dean, 1992; Pelnard-Considère, 1954), poiché non è affatto trascurabile l'effetto della variazione delle condizioni di frangimento alla base della morfodinamica locale.

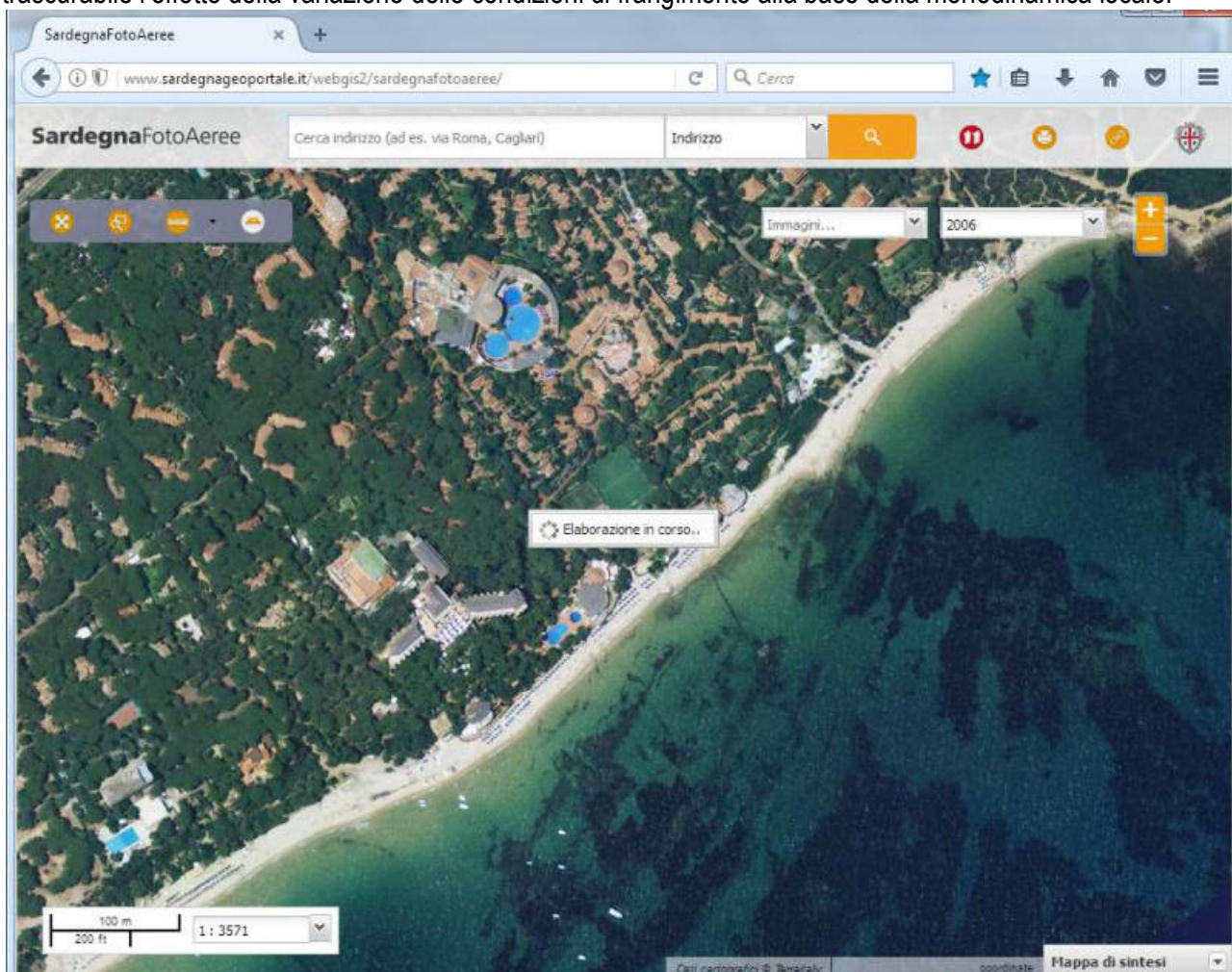


Fig. 8 - Ingrandimento foto precedente. Tratto da: <http://www.sardegnaoportale.it/webgis2/sardegnafotoaeree/>

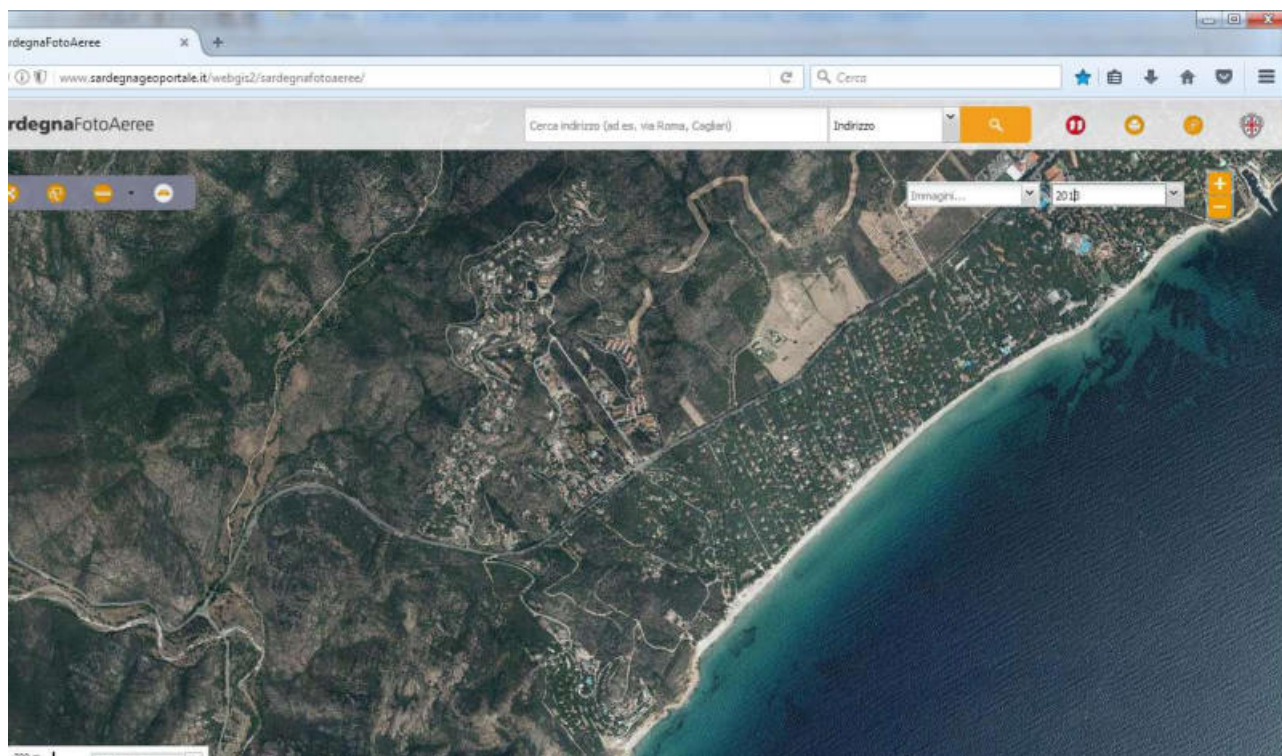


Fig. 9 - Fotogramma 2013. Assetto di bel tempo. <http://www.sardegnageoportale.it/webgis2/sardegnafotoaeree/>

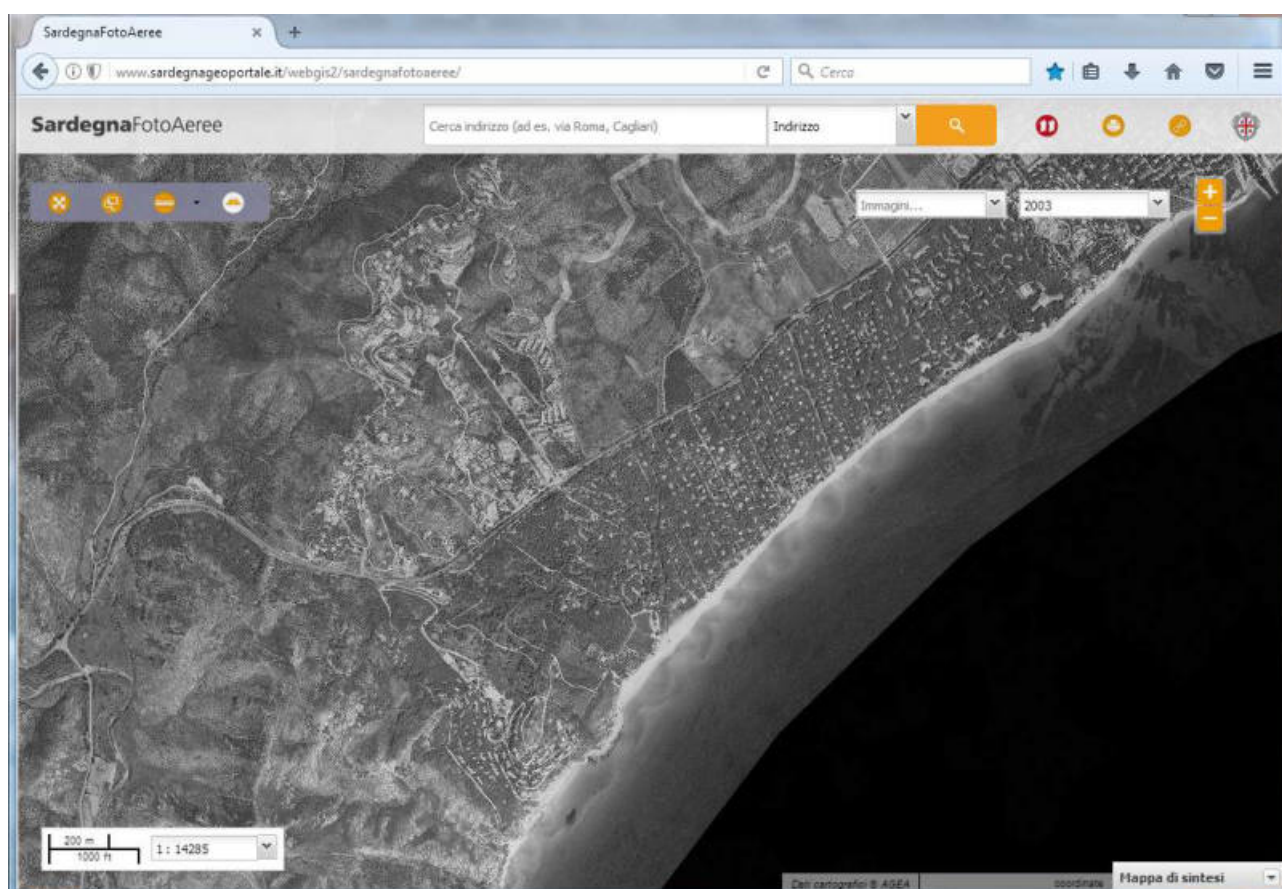


Fig. 10 - Fotogramma 2003. Condizione piuttosto simile a quella registrata al 2006.
<http://www.sardegnageoportale.it/webgis2/sardegnafotoaeree/>

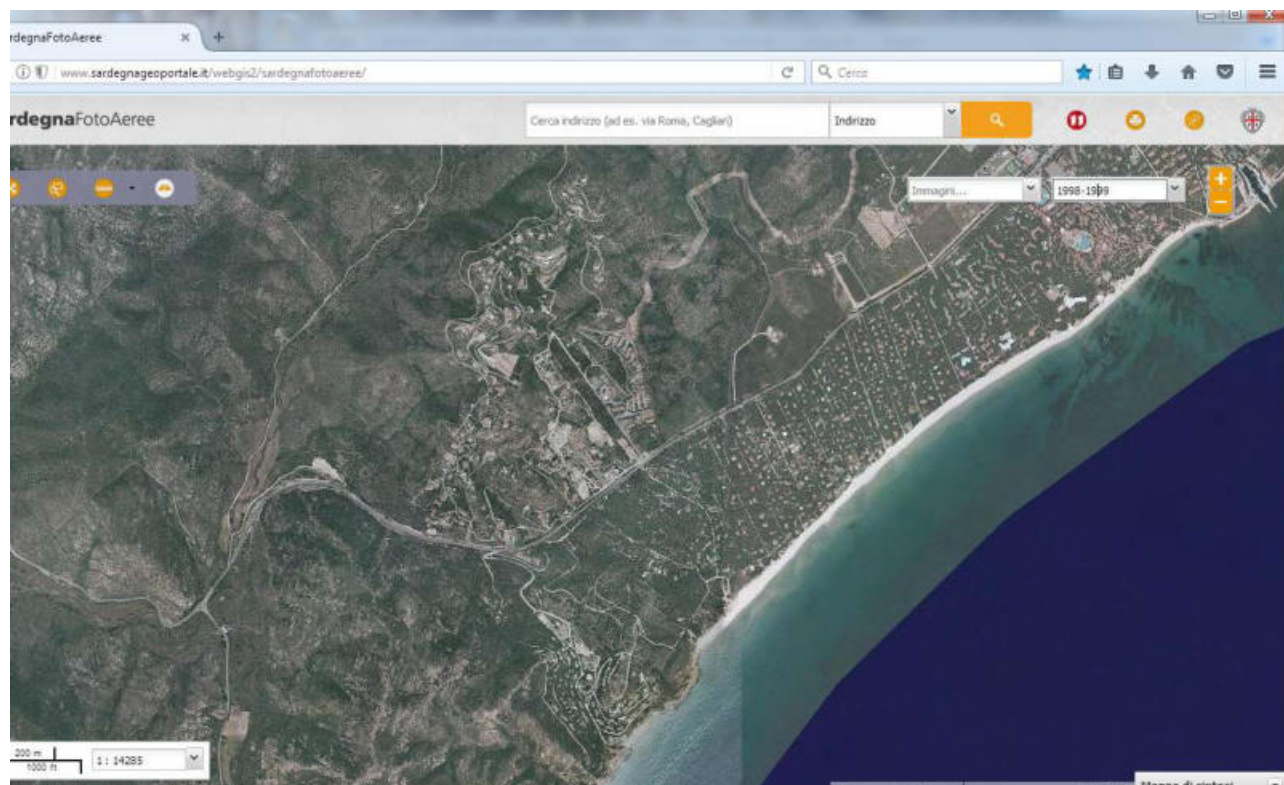


Fig. 11 - Fotogramma 1999. <http://www.sardegnageoportale.it/webgis2/sardegnafotoaeree/>

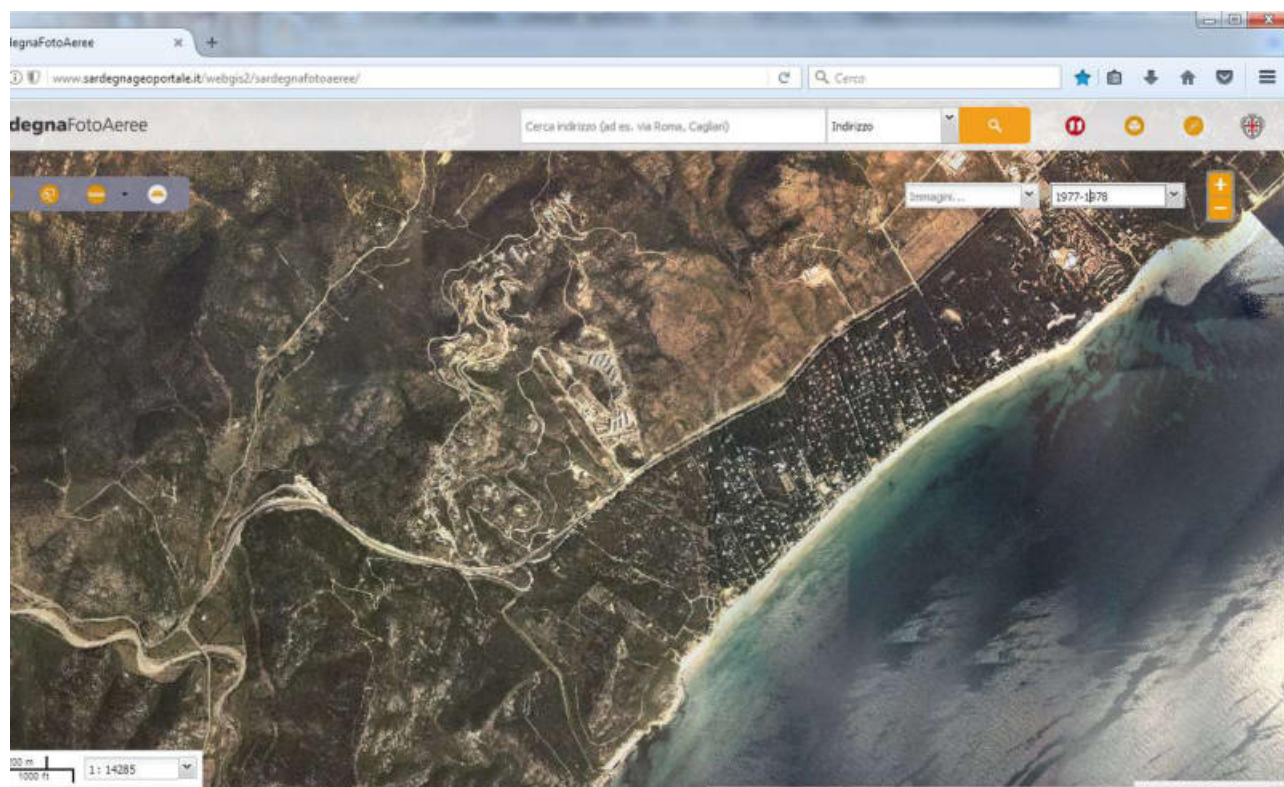


Fig. 12 - Fotogramma 1977. <http://www.sardegnageoportale.it/webgis2/sardegnafotoaeree/>

CONFRONTI DIACRONICI SUL SEGMENTO CALAVERDE-FORTE VILLAGE - SUG1A

L'immagine rivela senza alcuna possibilità di smentita l'effetto relativo di trappola sedimentaria determinato dall'aggetto roccioso emerso da parte della Formazione CIX. Tale dinamica modale tende a dissiparsi dagli ammassi rocciosi a SudOvest della Marina di Cala Verde a



Fig. 13 - Immagine aerea Google earth del 26/07/2015



Fig. 14 - Immagine aerea Google earth del 14/04/2013.

Il fondo roccioso a batimetrie così basse (2,5m-4,5m) determina la presenza di morfostrutture che fungono da trappole sedimentarie per le sabbie che tendono qui ad essere sottratte alla ricarica stagionale di bel tempo. Sul segmento pertanto non si formano vere e proprie barre se non nel tratto più prospiciente la battigia a batimetrie di 0,5-1,0m, dando luogo ad una sorta di berma sommersa (*megarip*). La disposizione obliqua delle sabbie più al largo nulla ha a che fare con eventuale formazione di barre di tempesta. La sabbia in assetto invernale si sposta immediatamente a ridosso del settore emerso. Si noti in SUG1a la massiccia deposizione di resti di *Posidonia oceanica* (P.o.), indicativa di una tendenza progradante ed aggradante in atto, che suggella le tendenze morfodinamiche stesse del segmento (la P.o. è massiva verso Est e si rastrema a SW dove anche la sabbia va a modellarsi via via in modo meno progradante e aggradante, con contestuale graduale scomparsa della P.o.).

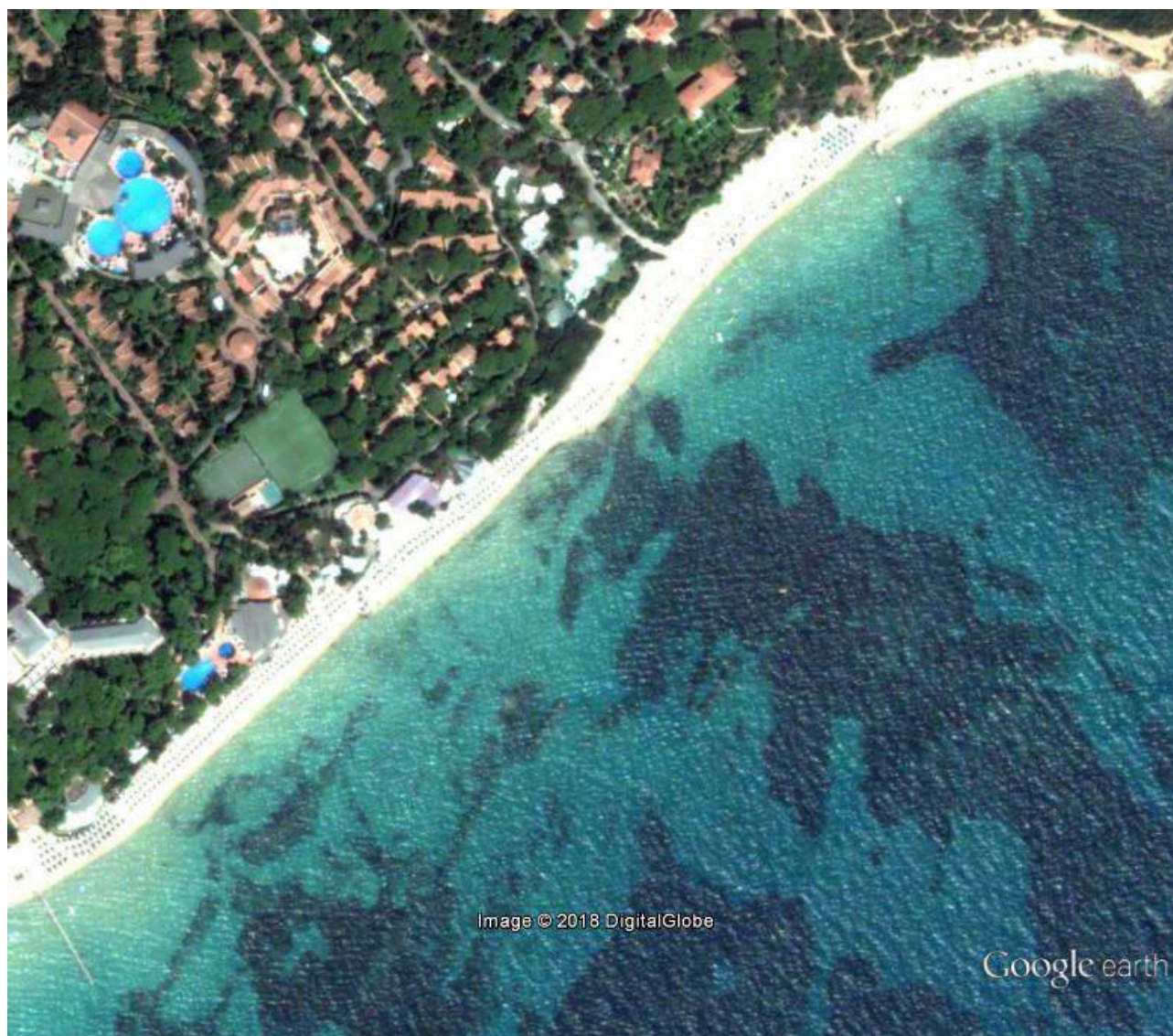


Fig. 15 - Immagine aerea Google earth del 27/08/2011

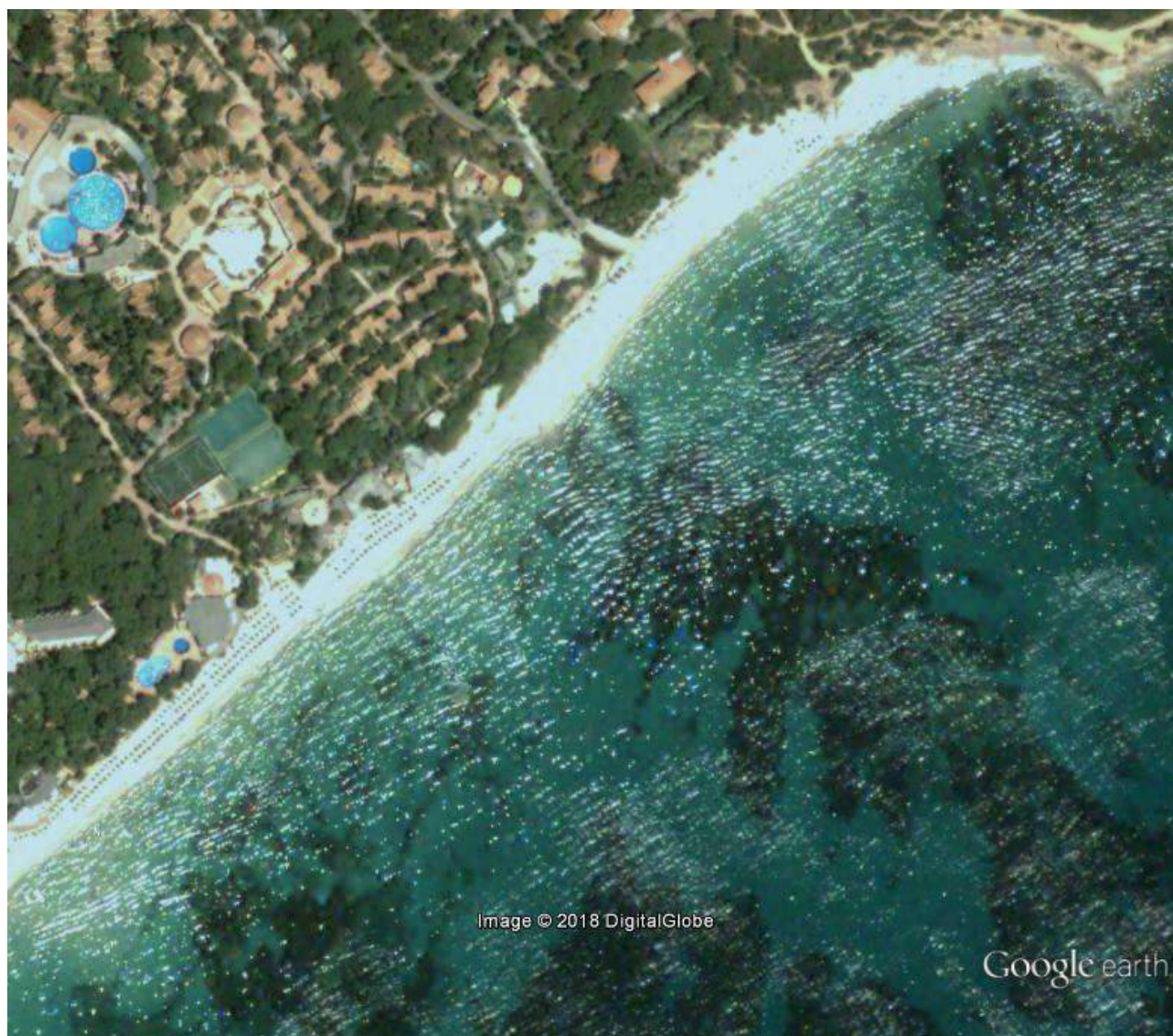


Fig. 16 - Immagine aerea Google earth del 28/07/2004

SUG2 (SUB UNITA' GESTIONALE 2)

Lungo tutta la SUG2 in direzione SudOvest, la mobilità morfodinamica non appare vincolata così strettamente agli elementi morfostrutturali del fondo. La batimetria appare, quindi, decisamente più piano parallela per l'assenza di bassifondi rocciosi. La spiaggia modale, tuttavia, non assume connotati del tutto dissipativi a causa della presenza, subito a monte della spiaggia, di una tipica ripa rocciosa in detriti di versante coerenti, via via più grossolani e spigolosi mano a mano che si approssima il basamento alla costa, che imprime alla spiaggia tendenze riflettenti.

Nella ricognizione di Luglio 2024, SUG2a si presenta con profondità del profilo estremamente ampie anche maggiori di 45m e altezze della berma di 1,20m s.l.m.. In spiaggia sommersa una mega barra con sinuosità superficiali in senso longitudinale è collocata a circa -6m di profondità.

Nel tratto SUG2b il profilo di spiaggia è invece risultato in evidente restrizione planimetrica, con spiaggia che si rastrema progressivamente passando dal settore 4 al 2 della Fig.17, risultando nel complesso in discreto stato erosivo con la ripresa di dissesti gravitativi ed erosivi sulla ripa rocciosa.



Fig. 17 - Inquadramento dei sotto settori individuati all'interno di SUG2b (foto Drone 2/6/2022).

Questa formazione geolitologica (PVM2a della Carta Geologica), sopra incisa dal moto ondoso all'attuale livello di stazionamento e in parte scalzata dal **run up**, fatto salvo i sotto settori n.2 e n.1 (ossia la parte più meridionale della spiaggia di SMP) funge da basamento per parte della spiaggia sommersa e per l'intera spiaggia emersa, delimitando la sua berma di tempesta. Verso il largo viene meno per effetto erosivo e sul fondo oltre una certa profondità compare il basamento intrusivo, affiorante mano a mano che si procede verso SudOvest. In tale direzione, in ambito emerso questa formazione fa comunque da substrato ad un sistema di dune poco potenti e poco sviluppato verso l'interno, per lo più stabilizzate dalla vegetazione.

La spiaggia emersa di SMP tende a sigillarsi in corrispondenza degli affioramenti di ammassi intrusivi, contrassegnati dal tratto terminale e dalla foce del Riu Su Baracconi. Tale oggetto roccioso funge da discontinuità intermittente con la cosiddetta Cala Bernardini, segmento di spiaggia emersa più a Sud che in passato, a giudicare dalle foto aeree, veniva a trovarsi più frequentemente di oggi in sostanziale continuità anche in ambito emerso con la spiaggia di SMP.

Si tratta dunque di volumi progressivamente sottratti al budget attivo della spiaggia che possono ritornare nel budget stesso.

Questo segmento della spiaggia di Santa Margherita ha un assetto morfologico variabile, sostanzialmente fra il dissipativo e l'intermedio ma verosimilmente con prevalenza di quest'ultimo nella spiaggia modale, ossia quello più ricorrente (sensu Wright & Short, 1984; Masselink & Short, 1993). Le ricognizioni del 2022 e del 2024 riscontrano condizioni morfodinamiche così dissimili da suggerire che esse rientrino nella fisiologia della ritmica pluristagionale. La situazione del 2022 documentava infatti una ampliamento di SUG2b (Denominazione Cala Marina) e una notevole restrizione trasversale verso Nord di SUG2a. A Luglio 2024 la situazione è invertita, con berma molto alta e spiaggia decisamente vasta per progradazione in SUG2a (settore Stella Marina), mentre a Sud la situazione morfologica appare in drastica regressione con perdita totale di spiaggia e dissesto sulla ripa.

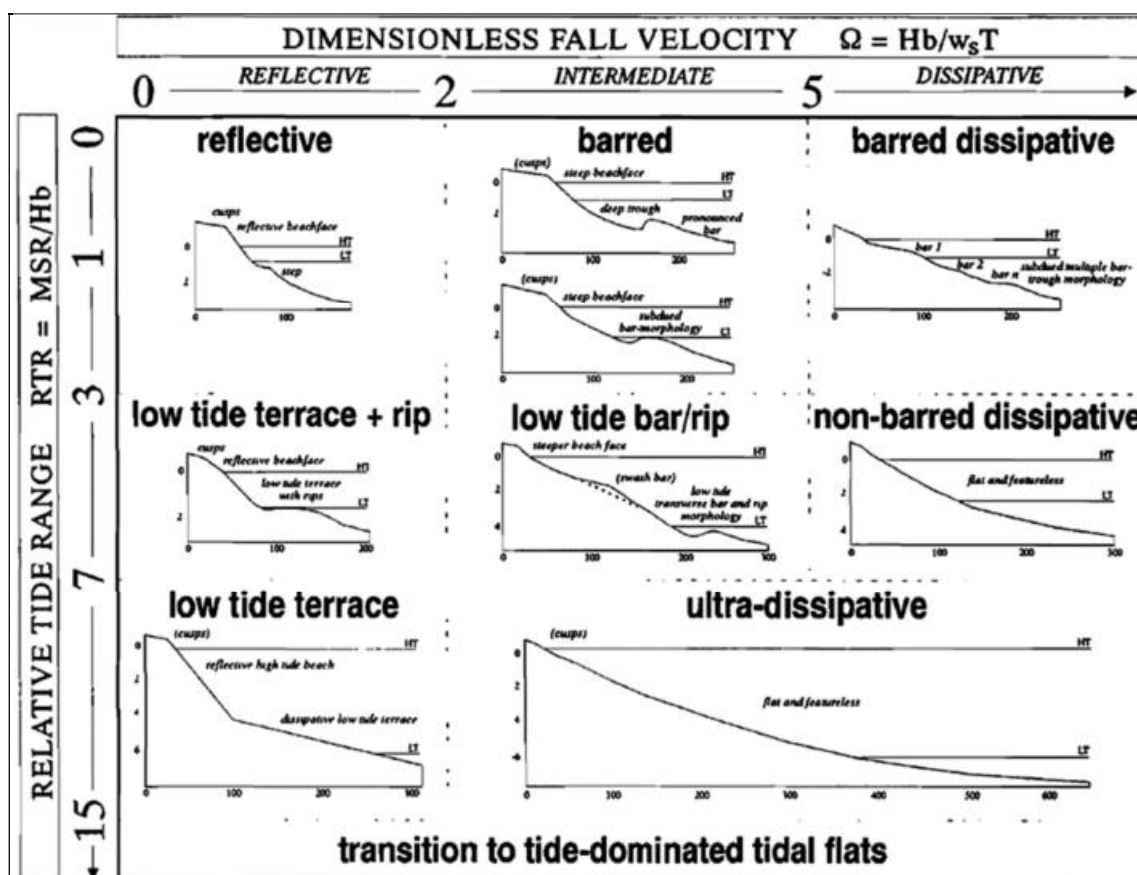


Fig. 18 - Modelli concettuali delle spiagge secondo Masselink & Short (1993)



Fig. 19 - Foto aerea obliqua da drone. Il poligono indicano il tratto longitudinale terminale di SUG2b interessato dalla scheda integrativa (in evidenziato da poligono).

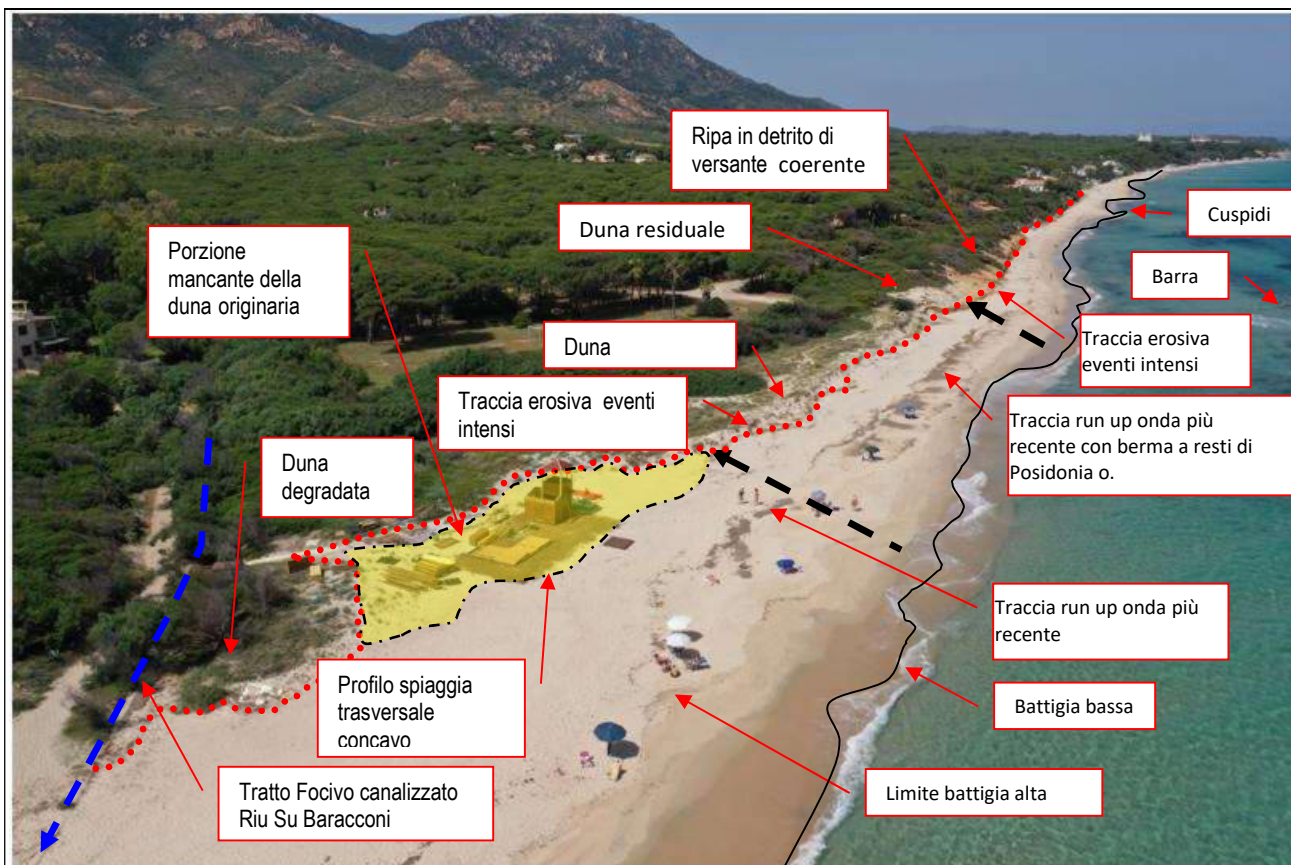


Fig. 20 - Panoramica da Sud Ovest verso NordEst (drone del 02/06/2022) di SUG2b (dei sottosectori n.2, 3 e 4).

Principali elementi diagnostici. La spiaggia del 31/05/2022 si presenta in uno stato morfologico transitorio, per lo più ancora invernale (o di cattivo tempo), con barre longitudinali in evidente approssimazione alla spiaggia emersa, da un lato e lenta progradazione di questa verso il largo, a partire dal tratto terminale Sud, dall'altro. Più a Nord si nota la concavità longitudinale planimetrica della spiaggia (SUG2a) con importante restrizione della profondità della berma (larghezza trasversale) in corrispondenza della ripa denudata e cuspidi ritmiche abbozzate. Si noti infine la posizione del manufatto in fase di realizzazione lungo la prosecuzione verso Sud dell'allineamento dunare, in chiara corrispondenza di una porzione a profilo trasversale concavo (a riprova di ciò anche la collocazione dello strato di 2 dm di sedimenti in egagropili sistemato a fondazione del manufatto ligneo in fase di realizzazione sulla spiaggia, nel sottosettore n. 2) . Le frecce in tratteggio nero indicano trasversalmente i limiti dei sottosectori n. 2-3 e n.3-4 di SUG2b



Fig. 21 - Contatto fra sottosectori1 e 2 di SUG2b (2/6/2022)

Area di maggiore aggradazione dei sedimenti di spiaggia con periodiche oscillazioni progradanti. Aree di degrado a monte del sottosector 1

Per meglio dire si tratta del sistema spiaggia-duna residuale lì collocato e controllato verso Sud dalla struttura geologica rocciosa del basamento intrusivo e verso Ovest (lato monte) da un corpo detritico di versante piuttosto coerente. Il margine erosivo e in arretramento di quest'ultimo dà luogo lungo tutta la spiaggia di SMP ad una tipica ripa, che al centro della spiaggia stessa si eleva fino a qualche metro d'altezza ed è via via digradante verso Sud, dove lascia più spazio al campo dunare. Il contatto fra spiaggia sabbiosa e propaggini rocciose granitiche è segnato dalla foce (regimata) del Canale/Riu Su Baracconi. La porzione di litorale, così definita ha una lunghezza longitudinale di circa 400m

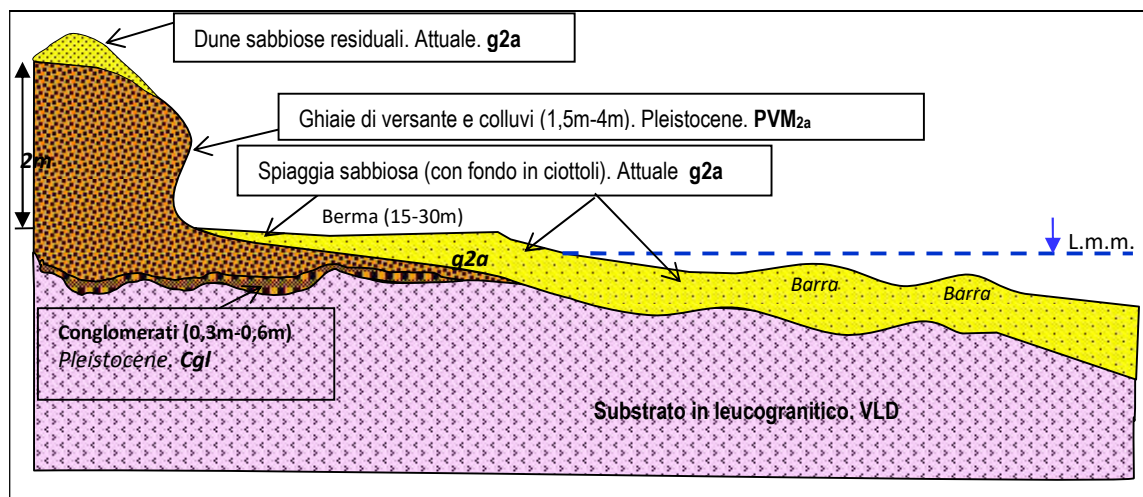


Fig. 22 - Profilo litostratigrafico costiero schematico della spiaggia di SUG2b, settore di Cala Marina in (osservazioni del 31 Maggio, 2022)

SINTESI DEI PROCESSI GEOMORFOLOGICI OSSERVATI

Nel corso dei due rilievi eseguiti direttamente sul posto in data 13/05/2022 e 31/05/2022, è stata riscontrato l'assetto geomorfologico costiero del settore di progetto, con particolare riguardo ai processi che si generano nelle superfici demaniali marittime e nelle pertinenze. Ciò col fine di addivenire in primo luogo ad una diagnosi degli stessi in termini di causa-effetto. Le osservazioni sono ponderate all'interno di specifici sottosettori (da n.1 a n.4) attraverso i quali è stato possibile suddividere la porzione marittimo-costiera.

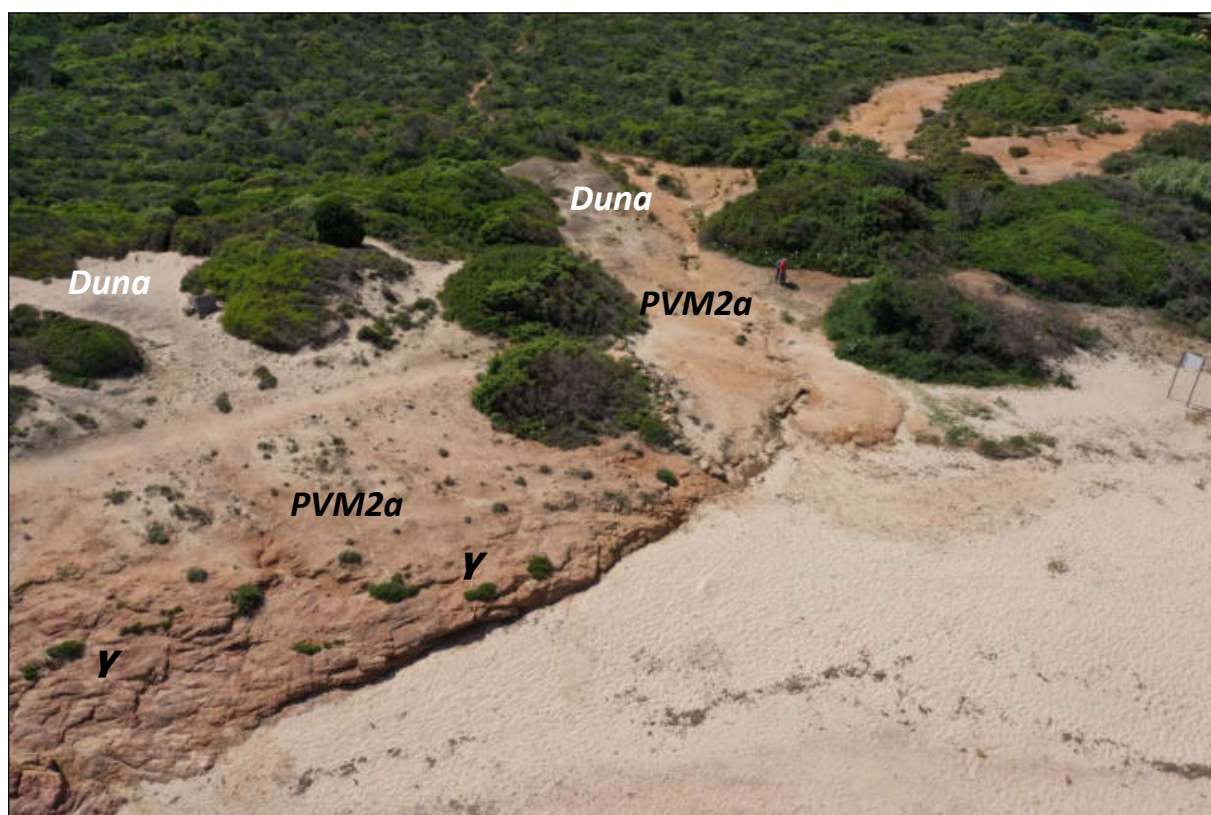


Fig.23 -Foto da drone (2/06/2022). Stato e inquadramento del sottosettore n.1 al limite col sottosettore n.2. (2 Giugno 2022)



Fig. 24- Affioramento del sostrato in detrito di versante (PVM2a), sottostante il corpo dunare (Sottosettore n.4 della presente integrazione).
(31 Maggio 2022)



Fig. 25 - Caratteri litologici del detrito di versante molto addensato che funge da appoggio alla duna e da limite morfologico (ripa) alla spiaggia.

Il segmento è spoglio di sabbia dunare in conseguenza dell'effetto destabilizzante determinato dal taglio-escavo su cui è stato posizionata una rampa di accesso alla spiaggia (che ha amplificato il blow out sulla superficie dunare) e dalla frequentazione stessa del luogo, legittimata dalla realizzazione di una panchina per la sosta. Su di esso si sovrappongono tracce di ruscellamento (frecce gialle). (31 Maggio 2022)

Si noti che presso che tutti i processi osservati, fatti salvo quelli in prossimità di manufatti ed escavi, sono sostanzialmente naturali o comunque da mettere in relazione alla periodicità di breve o di più lungo periodo dei processi costieri, oppure derivano “naturalmente” da azioni recate dall'uomo che inducono un effetto dapprima destabilizzante che poi induce un nuovo ri-equilibrio instabile naturale (la norma in ambito geomorfologico, tanto più se costiero e, più ancora se si tratta di fenomeni osservati in spiagge a stato modale Intermedio).

A tale riguardo si precisa, ad esempio che la periodica scomparsa del tratto di spiaggia dinanzi all'aggetto roccioso che separa la spiaggia di SMP da Cala Bernardini, non va vista come una rappresentazione di uno stato erosivo, ma come la testimonianza di una mutevolezza morfodinamica connaturata con lo stato **morfodinamico Intermedio** fra Dissipativo e Riflettente (sensi Wright & Short, 1984; Masselink & Short, 1993) di tutta la spiaggia di SMP. Così pure deve essere inquadrata l'evoluzione naturale della stessa duna, sia quella in continuità con la spiaggia, sia quella che ne è separata per il tramite della ripa rocciosa (o meglio dalla traccia erosiva di questa), guidata in un processo ciclico dall'erosione sul lato foredune, verso mare. Ciò, fermo restando ancora che, sia pure non sia stato accertato in letteratura, il tratto di spiaggia inquadrato denuncia uno stato modale intermedio anche in virtù della stessa dimensione volumetrica e dell'altezza stessa del campo dunare (Hesp, 2011).

Le più gravi criticità emergenti a Maggio-Giugno 2022 son quelle collegate ai surplus degli effetti erosivi che si registrano in concomitanza degli ingressi alla spiaggia, vuoi dalle traiettorie spontaneamente realizzate dai flussi dei frequentatori (sottosettore 1), vuoi le rampe e gli accessi specificamente posti in opera negli anni passati per facilitare la fruizione dalla lottizzazione (se ne contano diversi altri proseguendo verso NordEst). In ogni situazione, in corrispondenza e prossimità di tali accessi, nei sottosettori n.1, 3 e 4 si riscontrava una significativa riduzione del volume del corpo dunare, resa possibile anche dal successivo incremento del blow out¹ sulla duna erosa meccanicamente dal calpestio (ma anche da passaggi di mezzi) oltre che da escavo meccanico primigenio (contatto fra sottosettori n.2 e n.3 e fra sottosettori n.3 e n.4). **Si ricorda che il Blow out in condizioni naturali traduce dune in retrocessione o in erosione. In questo caso accelera i due fenomeni. Ne consegue che sia un fenomeno da mitigare se patologico (ossia gravato da azioni umane).**

Nel sottosettore n.3 inoltre si rilevava il degrado della superficie e della cresta dunare, con effetti maggiori in ragione delle aree più frequentate.

Nel sottosettore n.2 era palese l'effetto peggiorativo sul profilo di spiaggia e sulla duna determinato dallo periodico stazionamento stagionale di un manufatto amovibile nell'interesse della concessione demaniale marittima e dall'indotto incremento delle presenze ivi localizzate quotidianamente nella stagione balneare (in senso lato). Nel primo caso si osserva un deficit di quota che rende possibile l'espansione del Run up e il calco parzialmente compensativo con resti di Posidonia oceanica al ritiro delle mareggiate, quindi l'espansione della berma (a tutto vantaggio ciclico dello stazionamento turistico ma non della spiaggia). Nel secondo, l'incongrua interruzione e scomparsa della duna stessa. Ciò a dispetto peraltro dell'effetto intrappolamento sedimentario che nello stesso settore determina condizioni di aggradazione e periodica progradazione dei sedimenti con conseguente cronica ostruzione della foce del Riu Su Baracconi che in realtà dovrebbe essere mantenuta non fosse altro che per prevenzione idraulica. L'effetto del modellamento marittimo è in ogni caso

¹ Per *blow out* si intende la formazione di una depressione o cavità generata dall'erosione del vento su di un deposito di sabbia destinata a svilupparsi nella nel verso del vettore impresso dal vento prevalente

evidente sia sulla ripa rocciosa (sottosettore n. 4, in prevalenza e minimamente al limite del sottosettore n.3), sia in assenza di questa a carico della duna (stabilizzata ma resa instabile da degrado antropico).

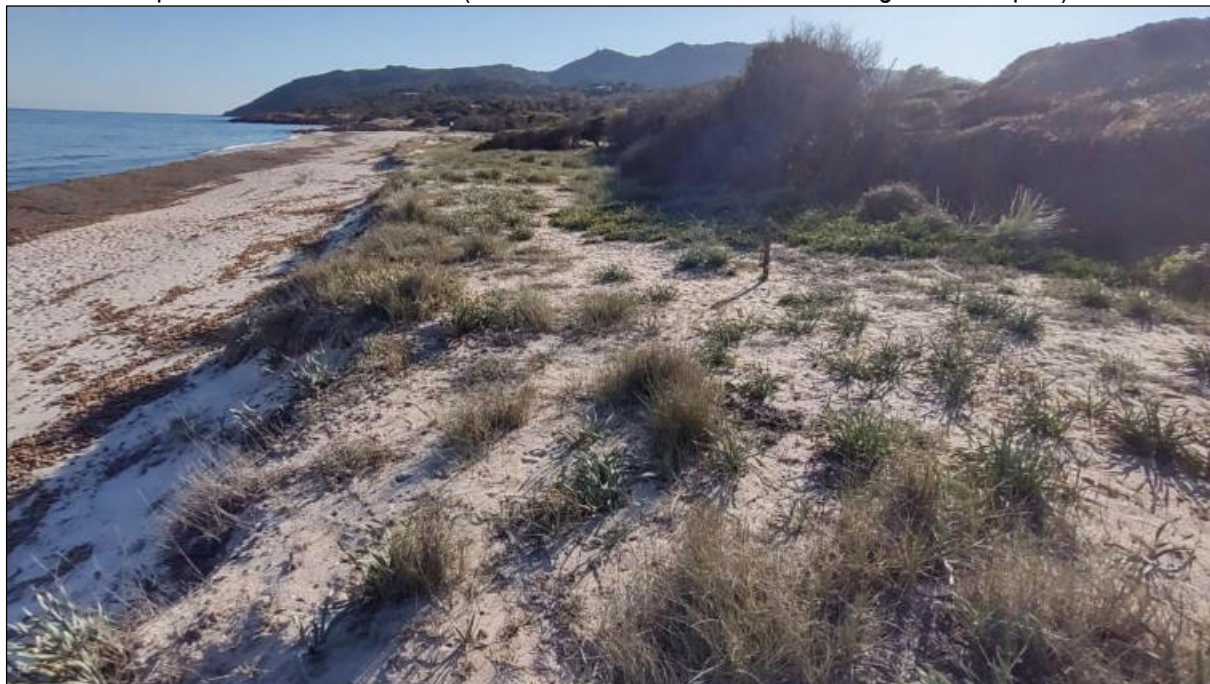


Fig. 26 - Stato deteriorato della cresta duna in prossimità del limite NE del sottosettore 3 di questo studio (al passaggio umano si sovrappone lo sviluppo di blow out. Sullo sfondo la berma di tempesta con egagropili e berma vegetale della spiaggia (31 Maggio 2022).

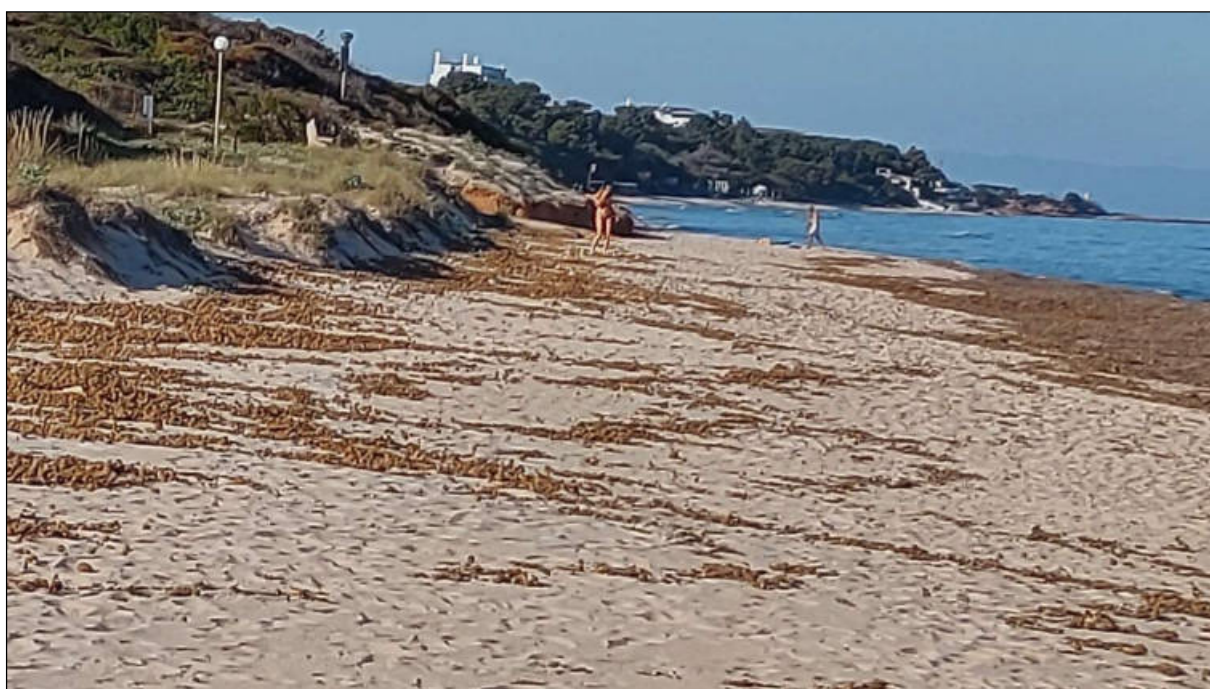


Fig.27 - Sistema spiaggia -duna. In primo piano la berma di tempesta in corrispondenza del termine del sottosettore n.2 di SUG2b (31 Maggio 2022).

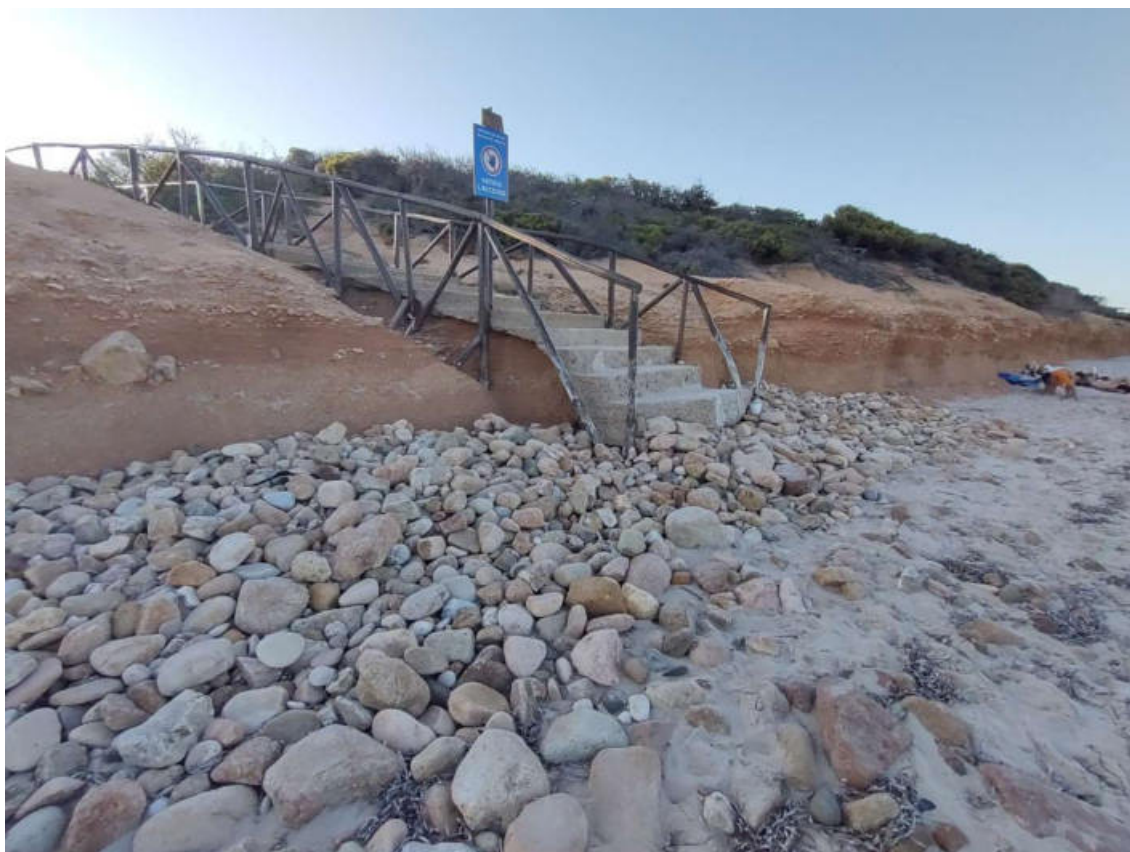


Fig. 28 - Stato erosivo del 18/07/2024 in SUG2b (settore 4)

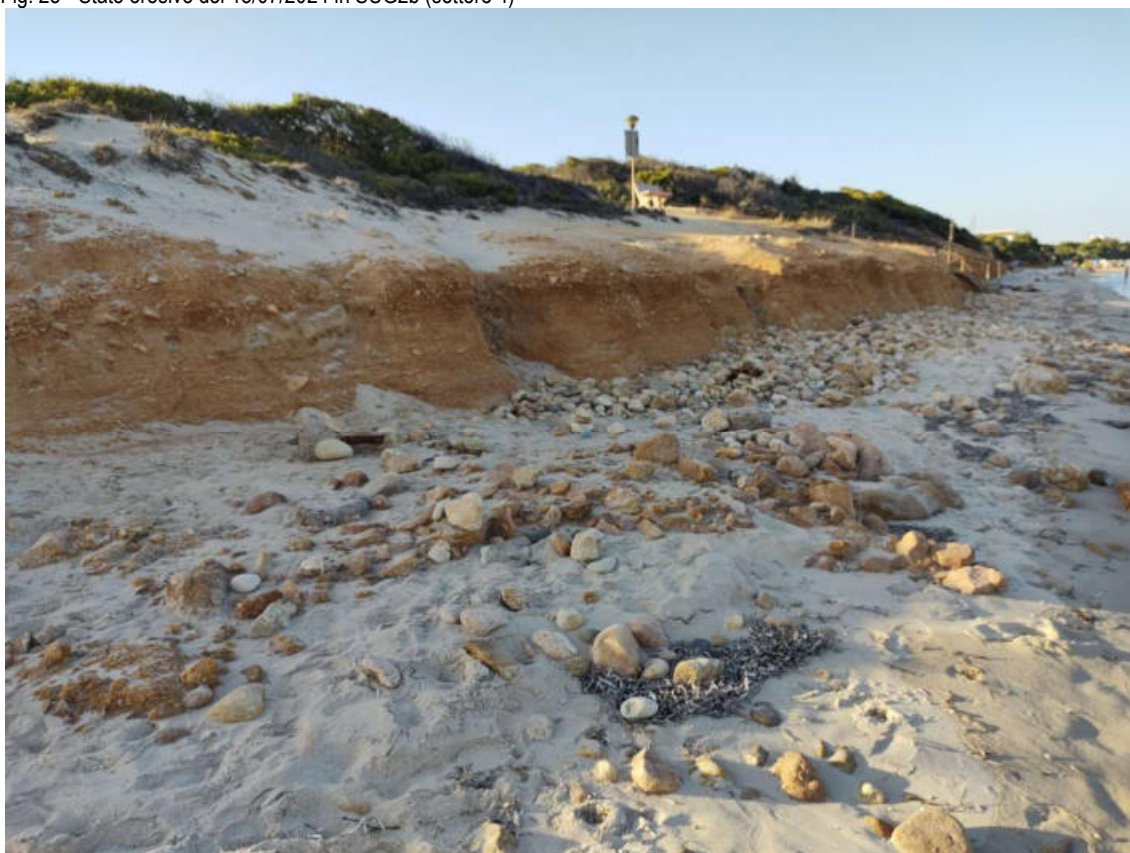


Fig. 29 - Stato erosivo del 18/07/2024 in SUG2b (settore 4)

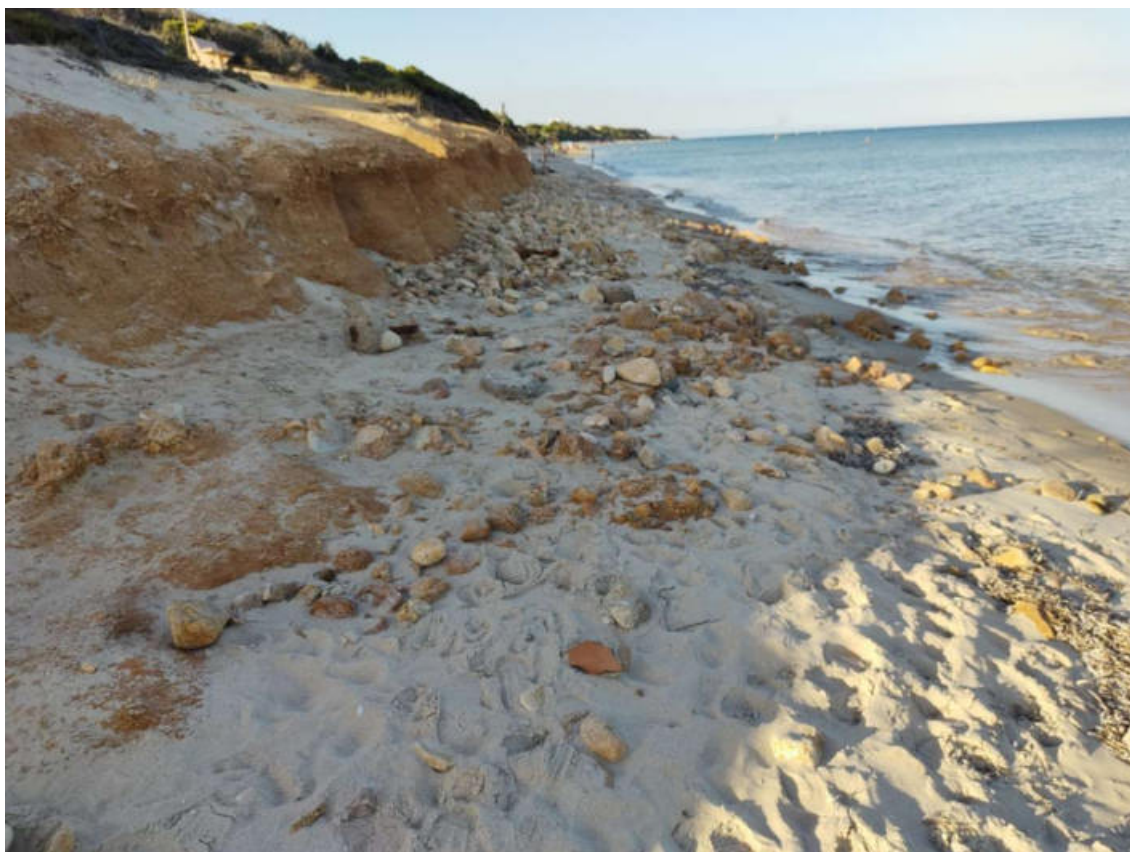


Fig. 30 - Stato erosivo della spiaggia del 18/07/2024 in SUG2b (settore 4), con dissesti sulla ripa

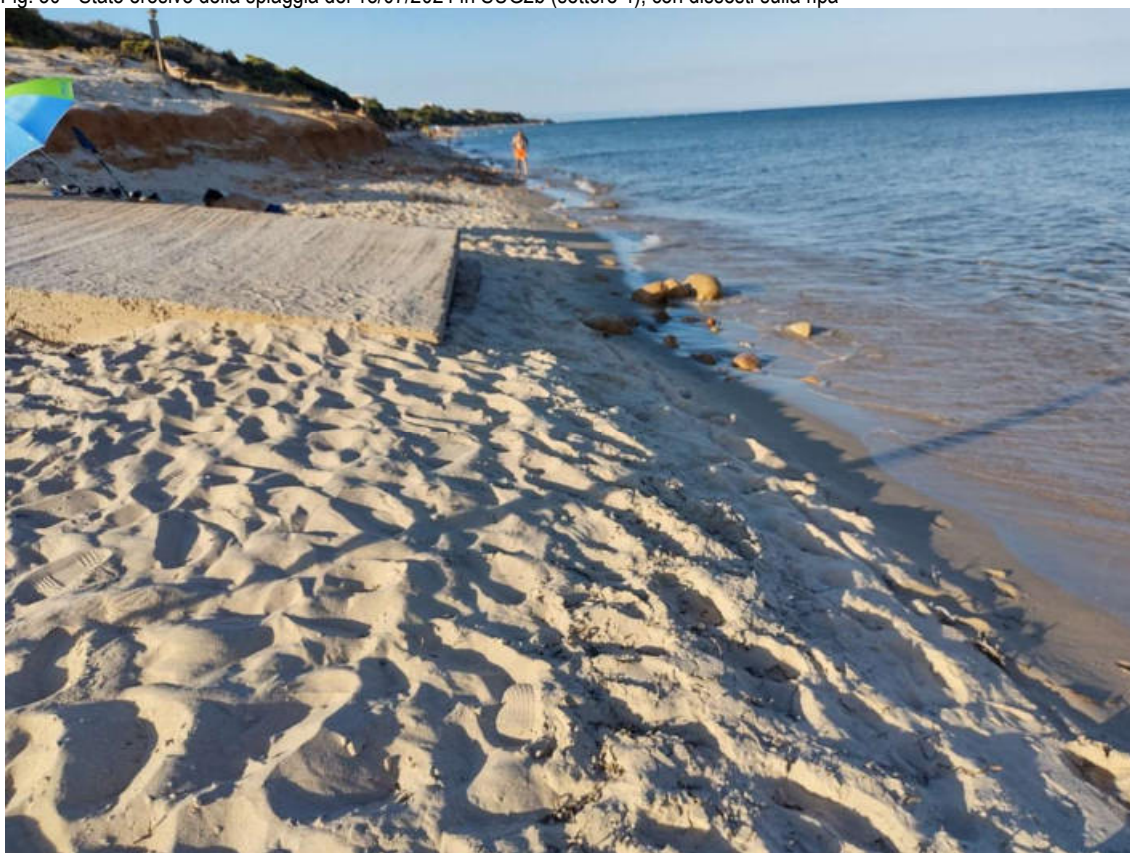


Fig. 31 - Stato erosivo della spiaggia del 18/07/2024 in SUG2b (settore 4)

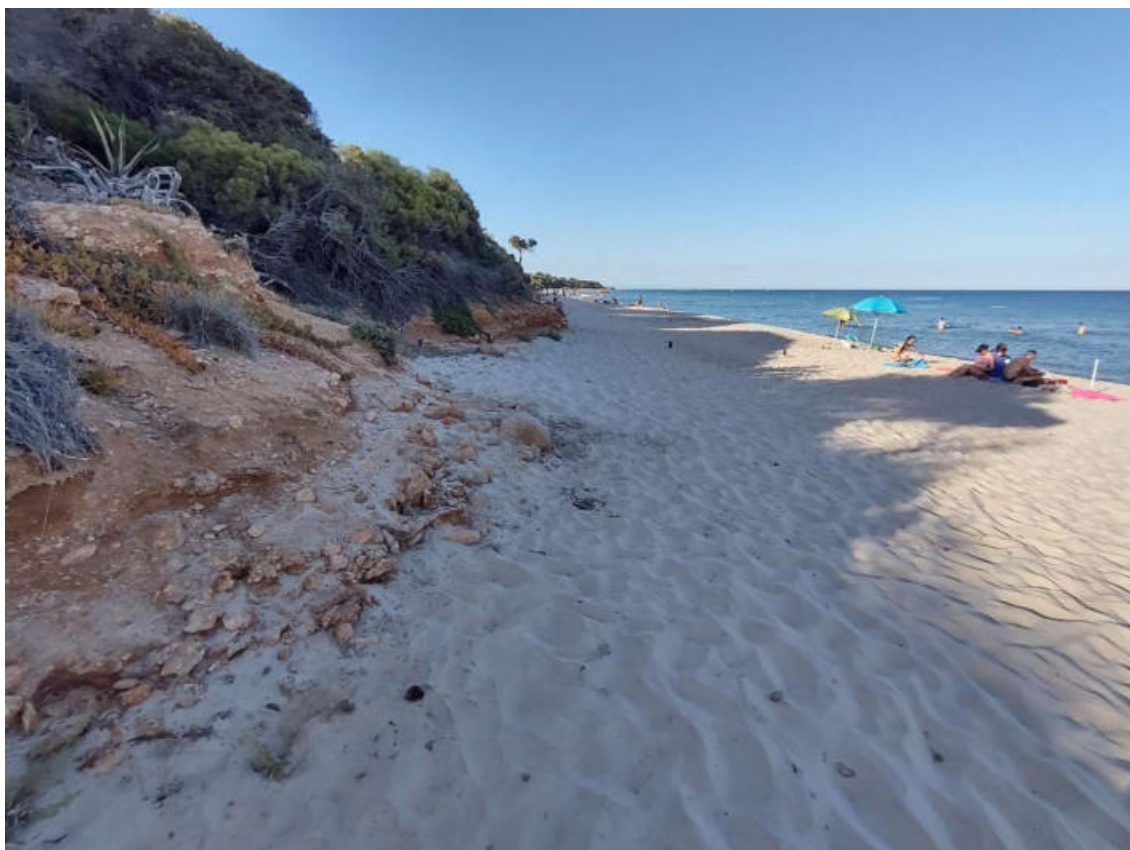


Fig. 32 – Evidenze di scalzamento sulla ripa del 18/07/2024 in SUG2a. La spiaggia appare ricostituita e si irrobustisce verso Nord

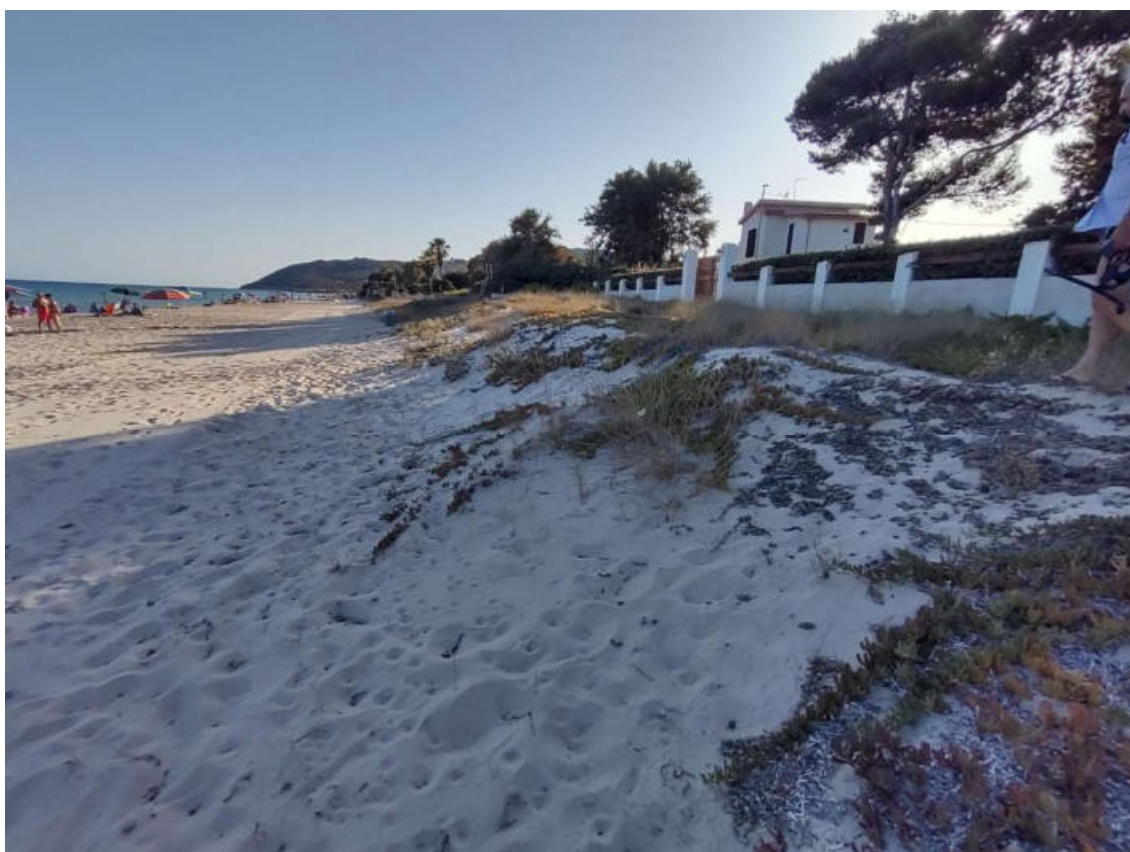


Fig. 33 - SUG2a. Settore Stella Marina del 18/07/2024 con spiaggia emersa ampia e progradante. Duna residua degradata ed edificata

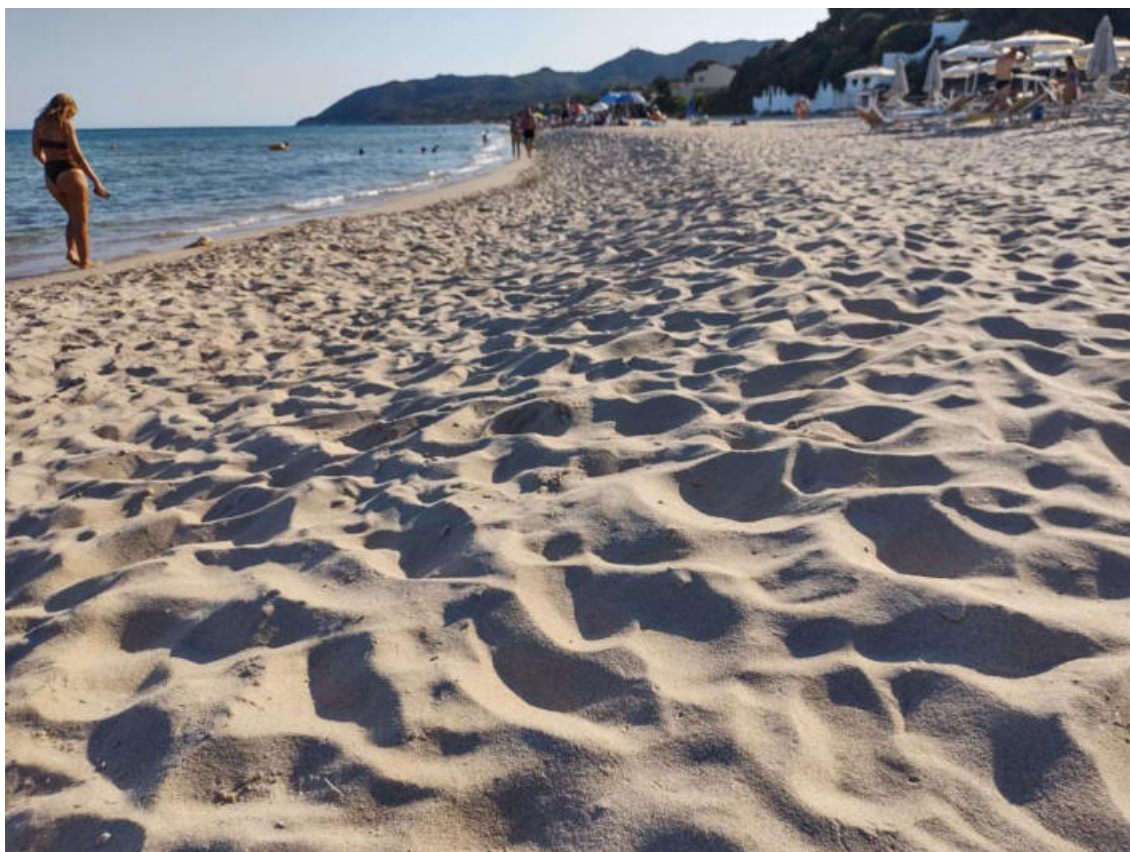


Fig. 34 - SUG2a. Settore Stella Marina del 18/07/2024 con spiaggia emersa ampia, berma alta profilo convesso.

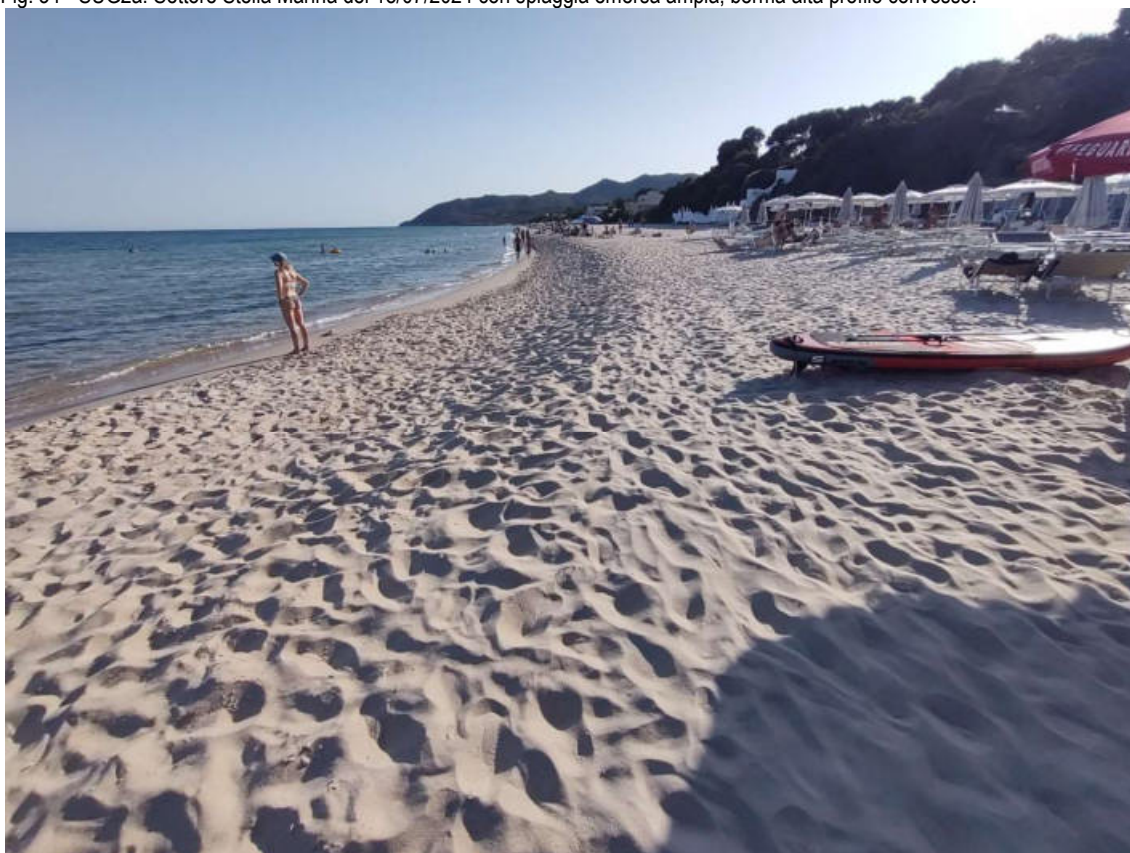


Fig. 35 - SUG2a. Settore Stella Marina del 18/07/2024 con spiaggia emersa ampia, due superfici di berma e profilo convesso.

Di seguito si illustrano sinteticamente le variazioni morfologiche multitemporali su SUG2, riassunte in foto aerea



Fig.36 - Immagine aerea Google earth del 23/04/2017.

Vistose variazioni morfologiche su un sostanziale assetto di spiaggia *intermedia cuspidata con forme ritmiche e barre oblique* (condizione di tempo invernale) e tracce di *rip current*. Si noti l'intrappolamento dei resti vegetali di *Posidonia oceanica* nell'estremità SudOvest. Le macchie scure rappresentano l'accomodamento sul fondo dei resti minuti di P.o. sulle concavità fra una barra ed un'altra e la diversa geometria riflette l'assetto cuspidato della spiaggia sommersa.

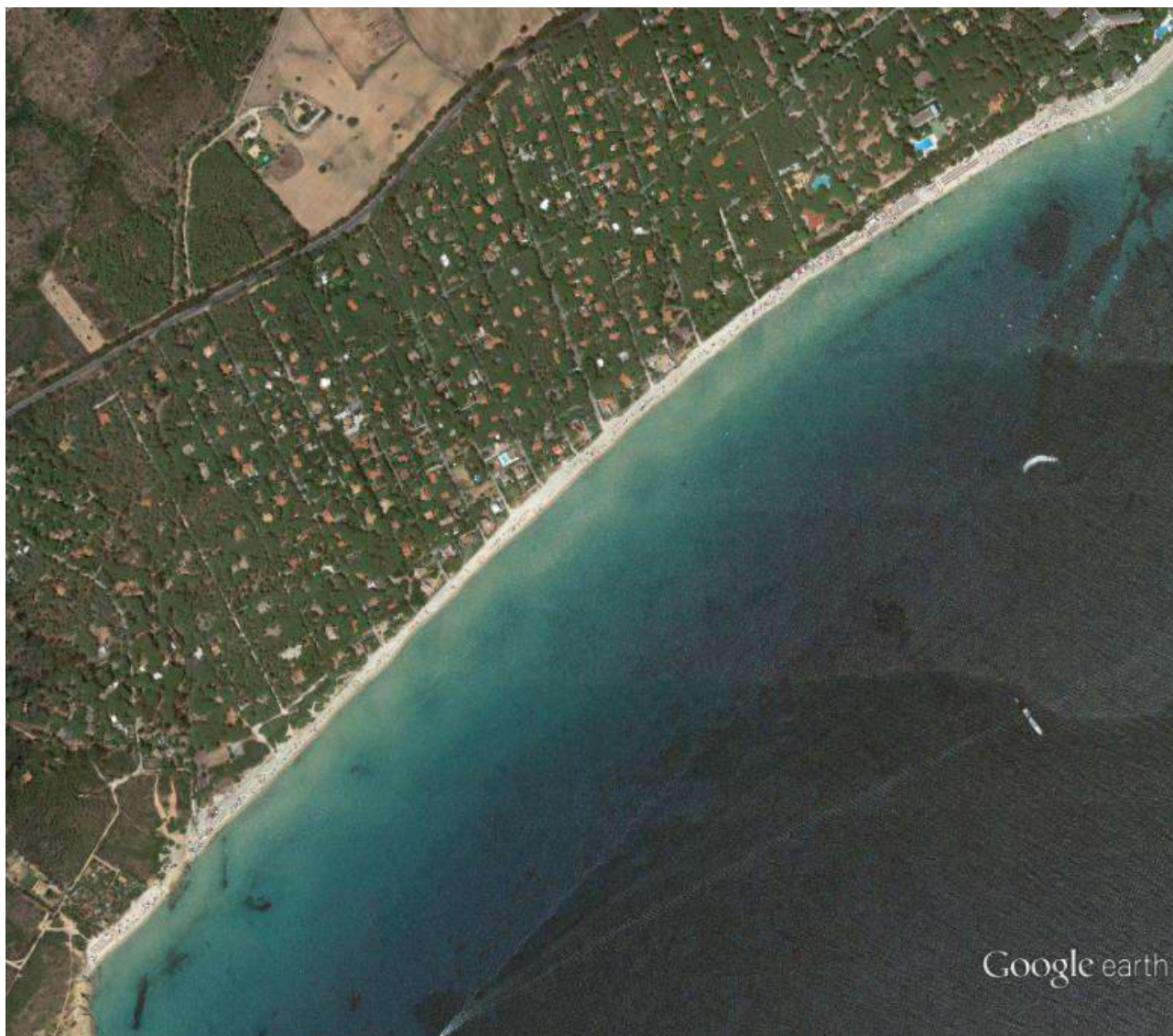


Fig.37 - Immagine aerea Google earth del 26/07/2015.

Vistose variazioni morfologiche su un sostanziale assetto di spiaggia *intermedia cuspidata con forme ritmiche e barre oblique* (condizione di bel tempo).



Fig. 38 - Immagine aerea Google earth del 14/04/2013.

Vistose variazioni morfologiche su un sostanziale assetto di spiaggia *intermedia cuspidata con forme ritmiche e barre oblique* (condizione di tempo invernale). Si noti anche da questa immagine come la spiaggia è più robusta verso SudOvest.



Fig. 39 - Immagine aerea Google earth del 27/08/2011.

Variazioni morfologiche su un sostanziale assetto di spiaggia *intermedia cuspidata con forme ritmiche* e barre longitudinali oblique (condizione di bel tempo)

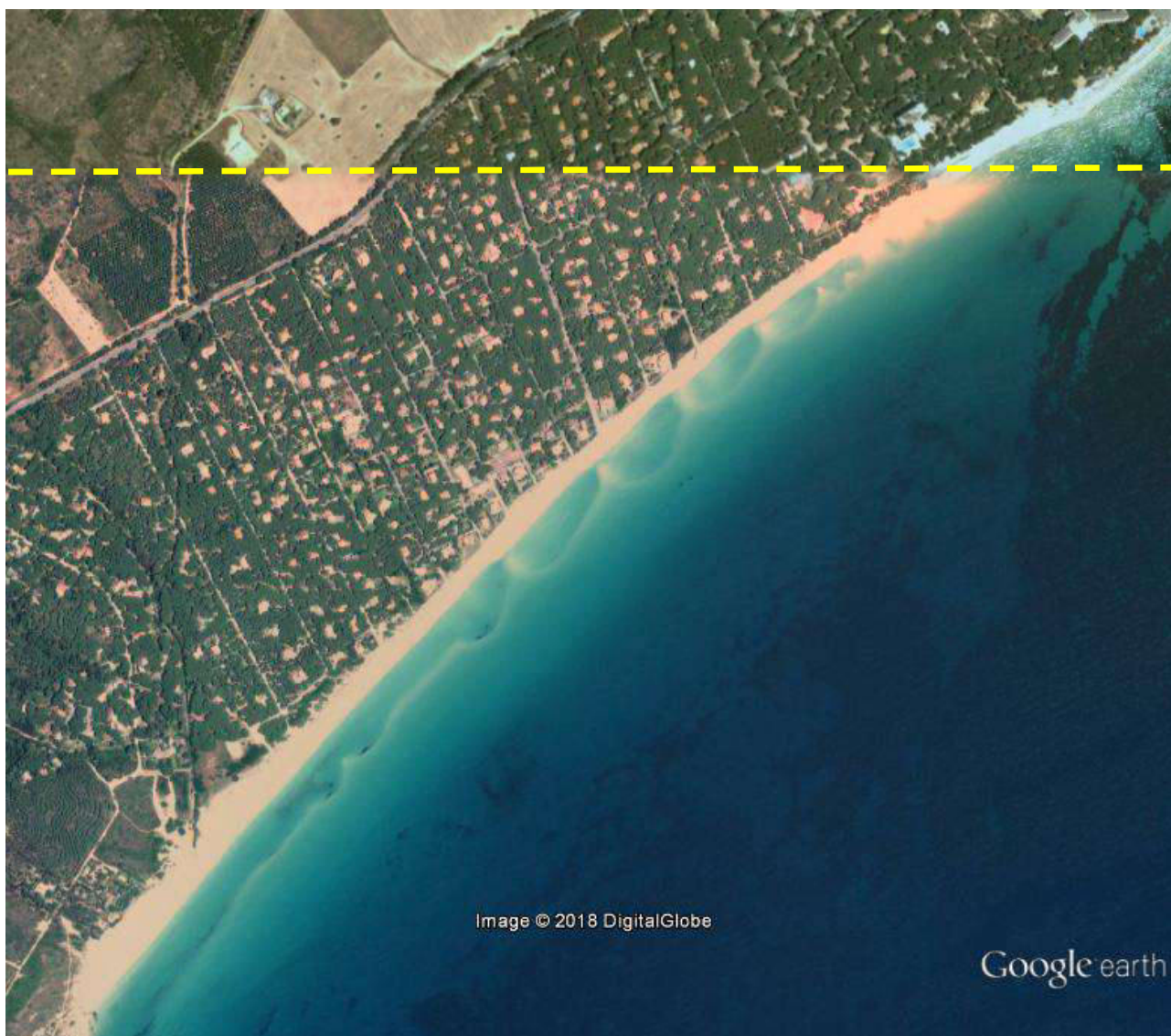


Fig. 40 - Immagine aerea Google earth del 19/05/2009 (la linea tratteggiata limita l'attribuzione cronologica al solo settore a Sud di essa).

Vistose variazioni morfologiche su un sostanziale assetto di spiaggia *intermedia cuspidata con forme ritmiche* (condizione di bel tempo)

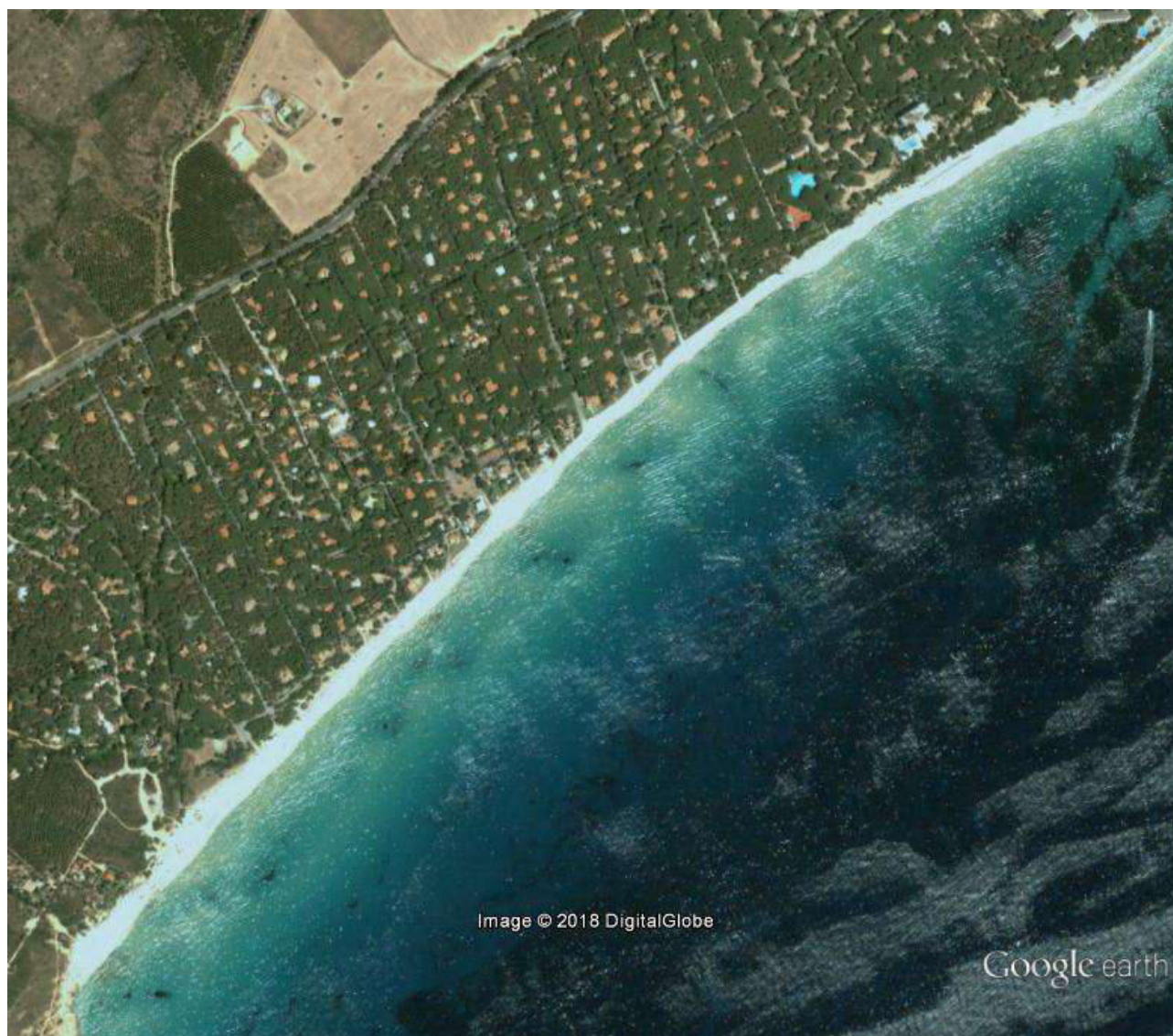


Fig. 41- Immagine aerea Google earth del 28/07/2004..

Variazioni morfologiche su un sostanziale assetto di spiaggia *intermedia* cuspidata con forme ritmiche e barre longitudinali oblique

PGRA- RAS; MAPPE DELLA PERICOLOSITÀ DA INONDAZIONE COSTIERA

Il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni della RAS (2015) ha elaborato per il paraggio la mappa della Pericolosità da inondazione costiera riconosciuta



Fig. 42 - Stralcio da Mappa della Pericolosità da inondazione costiera riconosciuta nell'ambito del PGRA RAS

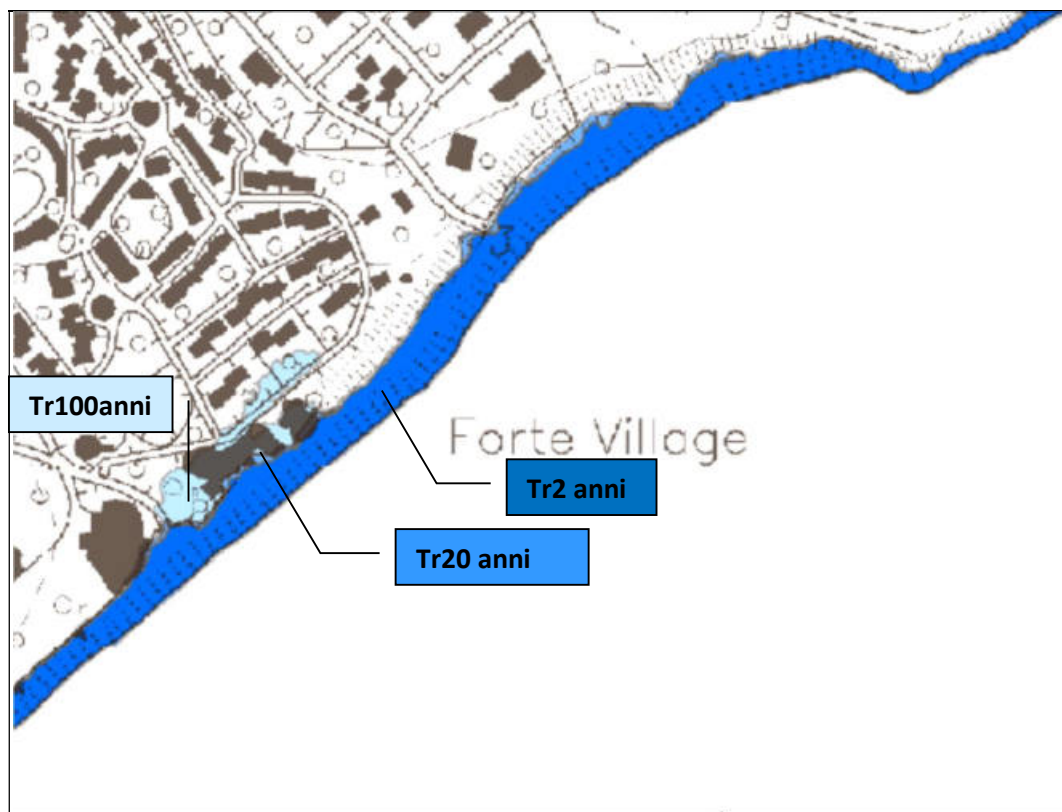


Fig. 43 - Ingrandimento stralcio della mappa precedente con riferimento ai tempi di Ritorno degli eventi d'inondazione modellati

Il sito di Forte Village è situato sulla costa meridionale della Sardegna, esposto alla traversia principale di Scirocco e alle traversie secondarie di Levante, Grecale e di Libeccio. Esso è inquadrato nella Spiaggia di Pinus-Forte-Cala Verde-Is Morus delle Mappe della Pericolosità da Inondazione Costiera del PGRA della RAS

(Tavola Hi_C-0065). La struttura appare esposta ai **fenomeni d'inondazione** per eventi con Tr100 e Tr20 ed è in parte interessata sul fronte spiaggia da eventi con Tr2 (pericolosità massima).

Il dato cartografico mette in luce la relativa maggiore gravità del caso dando forza alle ragioni del progetto, anche in considerazione del valore del bene pubblico demaniale ai fini della protezione degli investimenti privati stratificatisi più che altrove nella località.

PROGRAMMA AZIONE COSTE (RAS 2013)

Nel Dicembre del 2013 è stato redatto il Piano Azione Coste dell'Assessorato Difesa dell'Ambiente. Con esso la RAS ha provveduto a caratterizzare le coste della Sardegna, sabbiose o rocciose, dotandosi di *uno strumento organico e funzionale alla programmazione della fascia costiero-litoranea sotto il profilo della tutela dell'assetto geomorfologico (Relazione Generale, pag. 4)*. Nell'ambito di tale lavoro con criteri di *tipo idrodinamico costiero e geomorfologico* (pag. 16) sono state definite n. 20 Unità Fisiografiche a loro volta distinte in diverse Unità di Litorale. Fra queste l'UNITA' FISIOGRAFICA N.8 CAPO TEULADA – CAPO CARBONARA è quella in cui ricade La spiaggia di Santa Margherita individuata insieme con altre 4 nell'Unità di Litorale 08I.

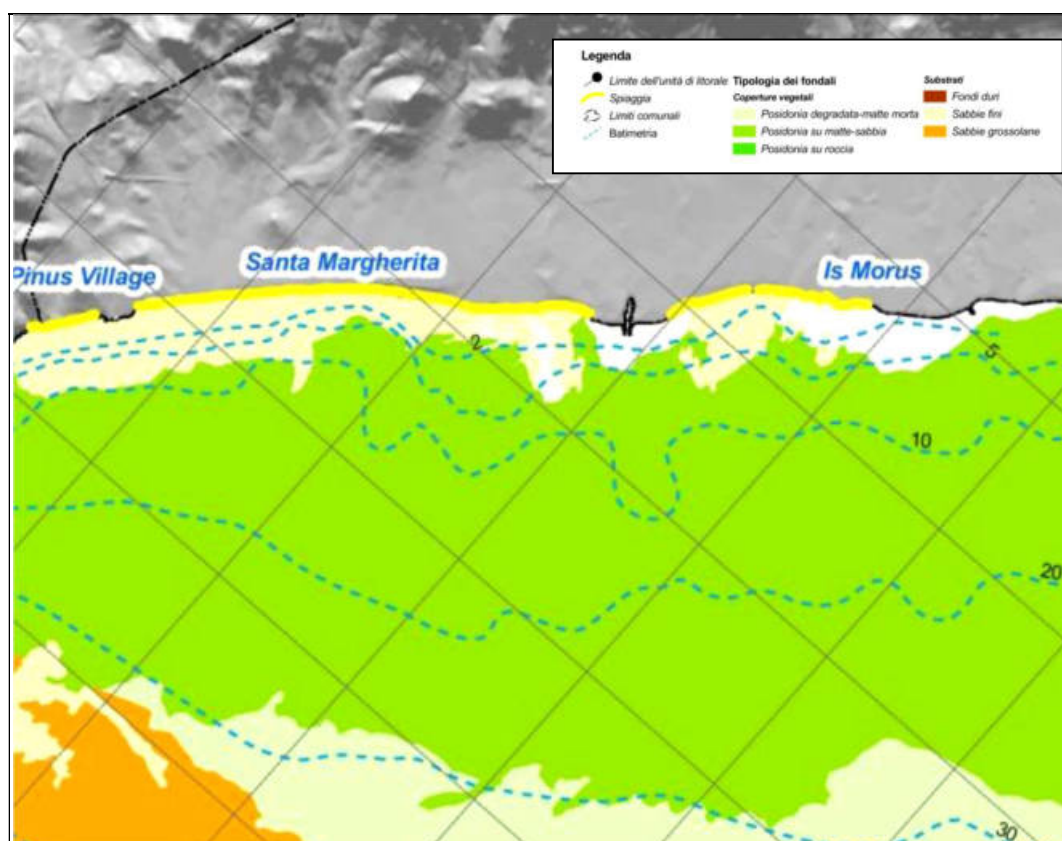


Fig. 44 - Stralcio della Scheda di classificazione delle spiagge di Pinus Village, Santa Margherita e Is Morus della Unità di Litorale (I della UF_8-Capo Teulada_Capo Carbonara (PAC,2013); Tipologia dei fondali

VULNERABILITA' COSTIERA

Una recente tesi di Dottorato (Sole, 2015) lungo la spiaggia di Forte Village (la n. 5 delle figure sottostanti), ha esaminato la *vulnerabilità costiera* (associata al Tempo di ritorno 50 anni) *alle tempeste di mare in funzione dei processi di erosione e di inondazione indotti* termine, intendendo con tale termine, la seguente accezione:

“i danni fisici che soffre un sistema costiero quando è colpito da un pericolo”. Per ammissione dello stesso Autore, nella definizione tuttavia, assai singolarmente, non rientrano *gli impatti a livello sociale, culturale, ecologico o economico, prodotti sulla costa*.

D'interesse, appare in questo contesto, la distinzione nella valutazione a parte dell'Autore, fra VErosione e VInondazione

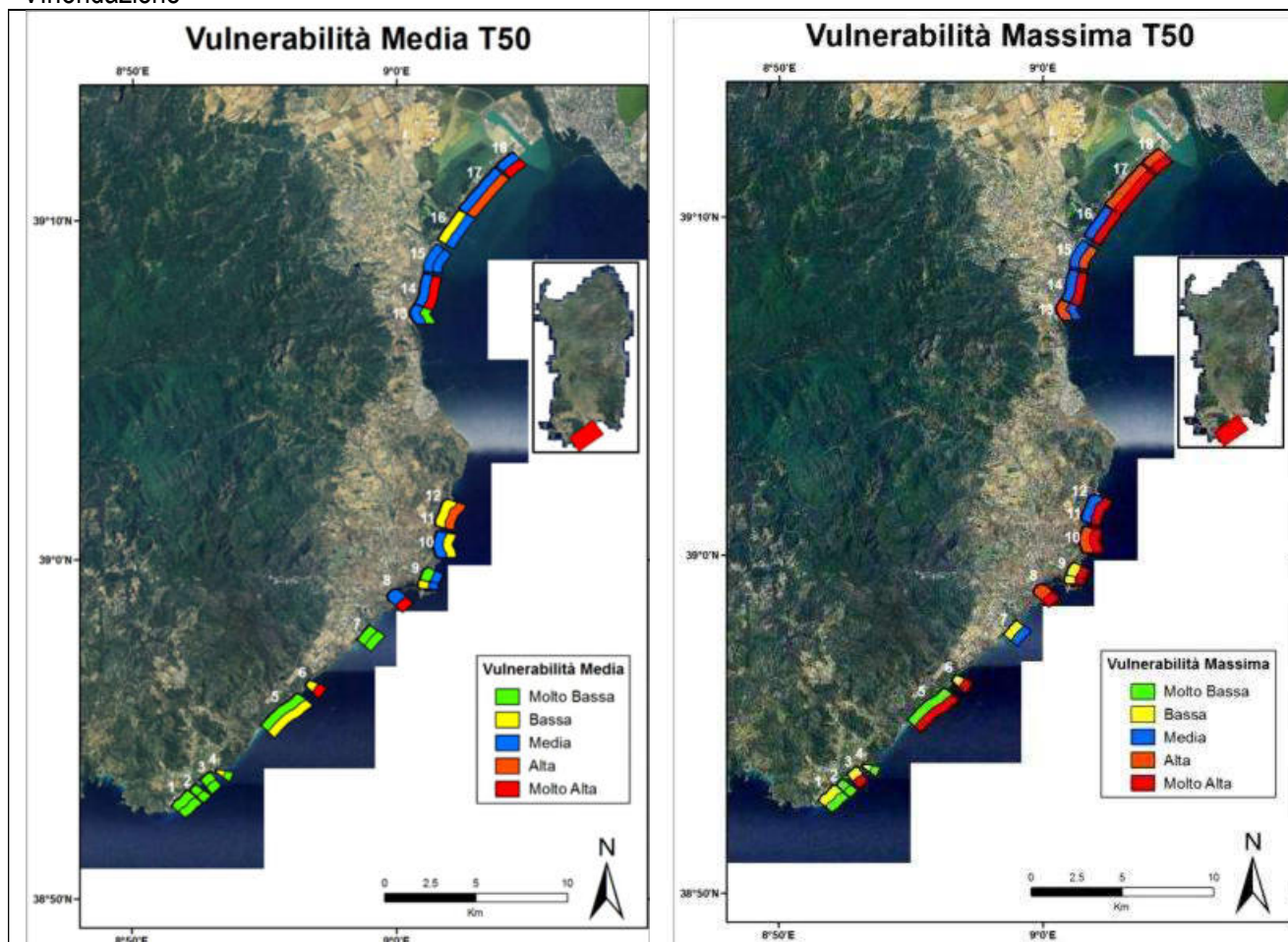


Fig. 45a - Indici di Vulnerabilità Media. La spiaggia n. 5 è quella centrata su Forte Village. Poligono interno rappresenta l'inondazione, mentre quello esterno l'erosione (Sole, 2015)

Fig. 45b - Indici di Vulnerabilità Massima. La spiaggia n. 5 è quella centrata su Forte Village. Poligono interno rappresenta l'inondazione, mentre quello esterno l'erosione (Sole, 2015)

BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE SU MORFODINAMICA COSTIERA

- Dean, R.G. (1973) - Heuristic models of sand transport in the surf zone. Proc. Conf. On Engineering Dynamics in the Surf Zone, Sydney, N.S.W., pp. 208-214.
- Hesp P (2011) - *Dune Coasts*. in: Wolanski E and McLusky DS (eds.) Treatise on Estuarine and Coastal Science, Vol 3, pp. 193–221. Waltham: Academic Press.
- Komar, P. D. (1998) - Beach Processes and Sedimentation, Chp. 04 - The Changing Level of the Sea, Prentice Hall.
- Masselink, G. & Short, A.D. (1993) - The influence of tide range on beach morphodynamics: a conceptual model. Journal of Coastal Research 9, 785–800.
- Masselink, G. & Hughes, M.G.(1996) - Application of an energetics- based model to sediment transport in the swash zone:. A field study. Continent. Shelf Res., submitted.
- Masselink, G., M. G. Hughes & J. Knight (2011) - Introduction to Coastal Processes & Geomorphology, 2nd edition ed., Hodder Education, London.
- Wright, L.D. & Short, A.D. (1984) - Morphodynamic variability of surf zone and beaches. Marine Geology 56, 93–118.
- U.S. CORPS OF ENGINEERS (1984) - Shore Protection Manual (volume 1, fourth edition). pp.143.
- U.S. CORPS OF ENGINEERS (1984) - Shore Protection Manual (volume 1, fourth edition). pp.99.

ALTRA BIBLIOGRAFIA

- Antonioli F., Anzidei M., Amorosi A., Lo Presti V., Mastronuzzi G., Deiana G., De Falco G., Fontana A., Fontolan G., Lisco S., Marsico A., Moretti M., P.E. Orrù, Sannino G.M., Serpelloni E. & Vecchio A. (2017) - Sea-level rise and potential drowning of the Italian coastal plains: Flooding risk scenarios for 2100. *Quaternary Science Reviews*, vol.158, pag. 29-43.
- Atzeni A., De Muro S., Di Gregorio F., & Piras G. (2002) - Carta del Rischio Geoambientale nelle coste della Sardegna – Univ. Cagliari, C.N.R., M.I.U.R., R.A.S. scala 1:300.000, SELCA Cagliari.
- Atzeni A., Pedone P. & Sulis A. (2009) - Morfologia del Saliente Is Morus - Pula (Ca) e idrodinamica attorno allo scoglio antistante. *Studi costieri*. Vol.16, pag. 73-88.
- Barsanti M. & Vallon R. (2014) - Riconoscimento di celle litorali tramite informazioni territoriali da internet. <https://www.researchgate.net/publication/237572572> pp.9.
- Brecciaroli B. - Ripristino degli ecosistemi marino-costieri con tecniche di ingegneria naturalistica. ISPRA. pp.49
- De Muro S. (2013) - Progetto pilota di gestione ambientale integrata in un'area contermina alla foce del Rio Santa Margherita nel Comune di Pula.
- Di Gregorio F., Federici P. R., Fierro G. & Ginesu S. (1998) - Atlante delle spiagge della Sardegna, Fogli (167, 168, 179, 180, 192, 199, 205, 208, 219, 216, 224, 227, 232, 234, 235, 239). C.N.R.-M.I.U.R., R.A.S., Cagliari.
- Di Gregorio, F., Pusceddu, M. & Serreli, A. (2009) - Valutazione del rischio costiero mediante tecniche GIS del litorale di Pula (Sardegna Sud-occidentale), 903–908.
- Ferretti O., Barsanti M., Delbono I. & Furia S. (2003) – Difese costiere “morbide”: ripascimenti artificiali. *Rassegna tipologica*. In *Elementi di gestione costiera - Parte IV*: 54 pp.
- Mancinelli A., Aminti P.L., Archetti R., Atzeni A., Canu V., Cappiotti L., Lorenzoni C. e Zanuttingh B. (2005) - Opere di difesa realizzate con strutture sommerse ed a cresta bassa ad Alghero (SS), Perd'e Sali (CA), Marina di Massa (MS), Marina di Pisa (PI), Porto di Recanati (MC), Marina di Montemarciano (AN), Lido di Dante (RA) e Pellestrina (VE). *Studi Costieri*, vol. 9, pag. 7-50.
- Rahmstorf, S. (2007) - A semi-empirical approach to projecting future sea-level rise. *Science*, vol. 315, pag. 368-370.
- Valloni R. & Ferretti O. (2002): *Rassegna tipologica e statistica degli interventi di ripascimento artificiale dei litorali italiani*. Pubbl. ENEA-Università di Parma.

Tesi di dottorato

- ❖ Sole F.M. (2015) - Valutazione della vulnerabilità delle coste della Sardegna a fenomeni di erosione ed inondazione dovuti all'impatto degli eventi estremi meteo- marini. Dottorato di Ricerca in Difesa e conservazione del suolo, vulnerabilità ambientale e protezione idrogeologica - Ciclo XXVIII. Pp.154. Università di Cagliari
- ❖ Pusceddu M. (2008) - Database geografico e applicazioni GIS per l'analisi geoambientale della fascia costiera di Pula (Sardegna SO)- Dottorato di Ricerca in Difesa e conservazione del suolo, vulnerabilità ambientale e protezione idrogeologica. Ciclo XIX. Pp.153. Università di Cagliari.

Manuali ISPRA/APAT e Linee Guida consultati

- ◇ Lucarini M., Del Gizzo M., Iadanza C., Cerri C., Berti D., Ligato D., Brustia E., Vittori E., Pasanisi F., Ferruzza G., Conti M., Cappucci S., Corsini S. (2007) – Atlante delle opere di sistemazione costiera. APAT, Manuali e Linee guida 44/2007: 169 pp.
- ◇ Paganelli D., La Valle P., Ercole S., Lisi I., Teofili C. & Nicoletti L. (2014) - Linee guida per gli studi ambientali connessi alla realizzazione di opere di difesa costiera. ISPRA, Manuali e Linee Guida 105/2014: 73 pp.
- ◇ Grande V., Proietti R., Foglini F., Remia A., Correggiari A., Paganelli D., Targusi M., Franceschini G., La Valle P., Berducci M.T., La Porta B., Lattanzi L., Lisi I., Maggi C., Loia M., Pazzini A., Gabellini M. &

- Nicoletti L. (2015) - Sistema Informativo per il monitoraggio ambientale della risorsa sabbia offshore nei progetti di protezione costiera: geodatabase env_Sand. ISPRA, Manuali e Linee guida, 127/2015: 63 pp.
- ◇ Nicoletti L., La Valle P., Paganelli D., Lattanzi L., La Porta B., Targusi M., Lisi I., Loia M., Maggi C., Pazzini A., Proietti R., Gabellini M. (2018) - Aspetti ambientali del dragaggio di sabbie relitte a fini di ripascimento: protocollo di monitoraggio per l'area di dragaggio. ISPRA, Manuali e Linee Guida 172/2018, 35 pp.
 - ◇ MATT & MEF (2005) – Analisi delle caratteristiche meteomarine al largo e a riva e valutazione dei processi evolutivi costieri. A cura di Noli A. & Mita M. pp. 367. I.P.Z.S. Roma
 - ◇ MATTM-Regioni (2018) - Linee Guida per la Difesa della Costa dai fenomeni di Erosione e dagli effetti dei Cambiamenti climatici. Documento elaborato dal Tavolo Nazionale sull'Erosione Costiera MATTMRegioni con il coordinamento tecnico di ISPRA, 305pp.
 - ◇ ISPRA- Formazione e gestione delle banquettes di Posidonia oceanica sugli arenili. Manuali e Linee Guida 55/2010. pp.124

Pubblicazioni dello scrivente sulla tematica dell'erosione costiera

- G. Tilocca & A. Murrau (2003) - Linee Guida per l'individuazione dei criteri generali per la difesa dei litorali. Assessorato dei Lavori pubblici – Servizio Difesa del Suolo – R.A.S.. pp 49 (con allegate schede tipo per creazione banca dati interventi costieri).
- G. Tilocca (2004) - Sintesi dello stato delle coste in prossimità di opere marittime in Sardegna (Italia). Riassunto e Poster, IV Congresso Internazionale Ambiente e Identità in Mediterraneo, pag. 376-377, Corte-Corsica (2004).
- G. Tilocca (2006) - Considerazioni geo-ingegneristiche sull'assetto dei litorali in Sardegna. Convegno: La progettazione geotecnica (Cagliari, 8 Giugno 2006); pp.12 (Atti del Convegno) e PPT.
- G. Tilocca (2008) - Considerazioni sui provvedimenti per la gestione delle spiagge in Sardegna. Il Geologo, n.2 - (2008), pp. 19.

Dott. Geol. Giovanni TILOCCA

Sassari, 26/09/2024

**OPERE DI PROTEZIONE E STABILIZZAZIONE MORFOLOGICA DELLA
SPIAGGIA ANTISTANTE IL “FORTE VILLAGE RESORT”
Progetto Definitivo**

**RELAZIONE GEOMORFOLOGICA
CON INTEGRAZIONE AI FINI DELLA PROCEDURA VIA**

PREMESSA

La presente relazione accompagna la documentazione del progetto definitivo delle Opere di Protezione e stabilizzazione morfologica della spiaggia antistante il “Forte Village Resort”, lungo il litorale di Santa Margherita, in territorio di Pula. Ai fini della procedura di V.I.A., viene integrata da ulteriori considerazioni di dettaglio a carattere geomorfologico scaturite da campagne di ricognizione diretta sulla spiaggia, eseguite nel corso del 2022 (Maggio e Giugno) e del 2024 (Luglio).

Lo scrivente Geologo fin dal 2018 è stato chiamato ad occuparsi della Spiaggia di Forte Village in n. 2 occasioni progettuali, una prima nell’ambito del progetto di:

1. **Ricarica del profilo e la messa in sicurezza di un tratto spiaggia antistante il Forte Village Resort**, a firma dell’Ing. Vigna;

una seconda nell’ambito della procedura di Valutazione di Impatto Ambientale del progetto di:

2. **Manutenzione periodica del litorale antistante il Forte Village Resort – Intervento di ripascimento annuale di media entità ai sensi del DM n. 173/2016**, nell’ambito dell’incarico di VIA affidato dalla Società Progetto *Esmeralda s.r.l.* all’ing. Ritossa, a seguito della DGR 12/21 del 6/03/2018.

Nel primo caso, allo scopo di concordare, verificare e sostanziare l’idea progettuale, era stato richiesto di apportare uno specifico contributo di ordine geologico, con particolare riguardo agli aspetti inerenti i processi geomorfologici litoranei, indagando nei limiti imposti dai tempi a disposizione, le dinamiche costiere alla base della richiesta dell’intervento. Era stato quindi possibile pervenire al **modello geologico costiero** basato su un approccio geomorfologico di natura deterministica che consentisse quanto meno l’analisi morfodinamica qualitativa.

Nel secondo caso, si richiedeva di redigere lo Studio Geologico e Geomorfologico prescritto dal Servizio Valutazioni Ambientali della RAS (DGR 12/21 del 6/03/2018). Ciò in quanto detto studio veniva ritenuto *indispensabile stante la tipologia d’intervento*, alla definizione del **modello geologico dell’unità costiera** (unità litoranea) entro cui il progetto stesso ricadeva e sulle cui matrici ambientali avrebbe potuto potenzialmente determinare significativi effetti negativi, oltre a quelli di progetto.

Entrambi i progetti si riferivano, dunque, a soluzioni manutentive del litorale (***managed realignment***), differenziate in ragione delle volumetrie di sedimenti artificialmente spostati. Nella sostanza, si è trattato di interventi ad impatti praticamente nulli per l’ambiente, sia nel breve che soprattutto, nel medio lungo termine, in quanto comunque rientranti nel “campo di azione” degli equilibri dinamici naturali, in particolare in quello di variabilità naturale dinamica del Profilo di Equilibrio della spiaggia. Ciò in quanto, considerando che, tanto per modalità e tipologia, quanto soprattutto per magnitudo, in quel momento si trattava di spostare, seppur in modo diversificato fra primo e secondo caso, da ambiti totalmente sommersi ad ambito emerso di berma e battigia, volumi sabbiosi largamente rientranti fra quelli mobilizzabili naturalmente, nelle condizioni locali, da un singolo evento meteo marino. Infatti, com’è stato più volte verificato da osservazioni sul campo, anche l’azione di una semplice mareggiata autunno-invernale con tempo di ritorno annuale e ancor più se biennale, può produrre sullo specifico tratto della spiaggia emersa di Forte Village un’accentuata deformazione del profilo (tanto trasversale quanto longitudinale), con processi erosivi improvvisi a cui possono poi fare seguito significativi stati progradanti dall’altro con ondate di direzione diversa. Si è dunque osservato che il bilancio sedimentario varia dinamicamente a scala locale nelle varie unità o sottounità gestionali ma non a scala di

Unità Gestionale (per tali definizioni si veda più avanti). Ragion per cui non deve meravigliare se, in pratica, tutti gli interventi susseguirsi, e certamente quelli a cui si è fornita la consulenza, nonché i successivi interventi annuali di mantenimento, in talune circostanze stati vanificati in tempi assai brevi, talora anche di pochi giorni. Ciò del resto era stato largamente previsto e messo in conto in sede progettuale. Non stupisce e non deve stupire, più in generale se, infatti, in condizioni non protette, gli effetti del rifornimento artificiale (posti in opera nei mesi estivi) con sabbie naturali dello stesso ambito (cioè sabbie autoctone o “*native sands*” o “*native sediments*”, auct.; si veda oltre) possono venire del tutto “cancellati”, sulla spiaggia emersa entro poche settimane o addirittura pochi giorni. **Tale sistematica circostanza di fatto costituisce la prova provata, ossia la verifica progettuale stessa, di come gli interventi eseguiti siano praticamente irrilevanti nell'alterazione degli equilibri dinamici naturali e siano cioè privi di effetti ambientali aberranti.** Non di meno, questa così chiara elasticità del litorale, ossia questa spiaggia così dinamica, ha messo in evidenza come la soluzione praticata in questi anni non sia più sostenibile dal punto di vista finanziario e manageriale con le esigenze turistiche della proprietà del Resort. A ciò si aggiunga che, in determinate condizioni del profilo di spiaggia, lungo uno sviluppo che va dai 400m ai 500m circa, possano divenire sensibilmente esposti a danneggiamento, oltre che il bene pubblico, ossia il Demanio Marittimo persino taluni manufatti. Ragione per la quale, sulla spiaggia antistante il Forte Village, viene meno la principale funzione naturalistica della spiaggia, ossia quella di primo elemento di difesa della costa.

Va notato che l'intervento relativo al primo progetto, è stato realizzato nel Giugno-Luglio 2018 e reiterato con volumi superiori (circa 5000mc) nel Giugno 2019 e ancora fino al Luglio di quest'anno. Il secondo progetto, invece, approvato nel Dicembre 2019, è stato realizzato soltanto nei mesi di Luglio e Agosto 2020, con successive integrazioni mediante la collocazione di 19 geotubi, per un totale di 8000mc re-immessi ed un secondo intervento del 2021 nello stesso periodo estivo, per un ulteriore totale di 15.000mc (per l'elenco completo dei lavori effettuati sulla spiaggia a partire dal 2009, si veda la relazione dell'Ing. Vigna).

Non si ha notizia di ulteriori interventi sistematici nell'Unità Fisiografica, salvo quelli riguardanti la periodica gestione annuale dei depositi di *Posidonia oceanica* dal porto di Cala Verde. Questi interventi, soprattutto se si considera da un lato, la loro ripetizione nel tempo a partire dalla realizzazione dell'approdo mediante sovra escavazione nella prima metà degli anni '80 (1983) e il contenuto in sabbia di spiaggia sistematicamente presente nei cumuli (dati relativi a gestioni di altri contesti, riscontrano valutazioni di tale contenuto in percentuali che variano di solito fra il 10% e il 30%; si vedano le considerazioni esposte in seguito a tale riguardo e la sintesi di Tab.7), vanno inevitabilmente valutati come sottrattivi di risorsa sabbiosa nel budget sedimentario, già di per sé deficitario, per una serie di ragioni di cui si dirà meglio più avanti.

1. IL CONTROLLO GEOLOGICO DELLA SPIAGGIA

Come accennato, il compito dello scrivente geologo nella progettazione all'interno dei progetti già realizzati, è stato in entrambi i casi, soprattutto quello di definire e cercare di interpretare le caratteristiche geomorfologiche o, se si vuole morfodinamiche, dell'Unità fisiografica di riferimento progettuale, a partire dalla sua stessa definizione, tenuto conto, oltre che del meteoroclima, tanto del contesto geo-litologico (I) quanto di quello geo-strutturale locale (II). Sulla base di tali attenzioni sono state via via calibrate una serie di argomentazioni e di osservazioni a carattere geomorfologico sulla base delle quali si è cercato di interpretare le variazioni morfodinamiche stagionali e di interpretarne le tendenze.

A valle degli studi eseguiti, si è potuto comprendere come i due aspetti sopra richiamati non siano affatto neutri (o ininfluenti che dir si voglia) rispetto alla morfodinamica costiera; al contrario sono proprio essi ad imprimere nel dettaglio alla spiaggia di cui si tratta un evidente controllo geologico, sia a mare che a terra che malauguratamente concentra proprio sulla porzione di spiaggia emersa antistante il Forte Village, particolari conseguenze morfologiche.

Per controllo geologico, s'intende, l'influenza diretta dei bassifondi rocciosi, delle batimetrie rocciose e quindi, delle profondità subacquee non regolarmente decrescenti dal largo verso la terra emersa (ossia con isolinee batimetriche né parallele né rettilinee) su idrodinamica, morfodinamica e dunque sullo stato modale della spiaggia stessa. Ciò a dispetto di quanto normalmente si ritiene, soprattutto se si considera che l'assetto planimetrico di una falcata così ampia come quella di SMP, suggerirebbe il solo *controllo marittimo* ad opera

del clima ondoso, cioè l'assoluta predominanza morfodinamica dei fattori e degli agenti marittimi, su tutto il resto. Si noti che proprio l'influenza geologica limita non poco la predizione del profilo di equilibrio di spiaggia in ambito microtidale secondo la metodologia di Wright & Short, in condizioni di controllo geologico dell'evoluzione costiera. Detto controllo geologico della spiaggia, dunque, del tutto influenzato dalla condizione morfo strutturale del sostrato entro cui la cella si colloca, si evidenzia complessivamente proprio nel suo particolare dinamismo, sia longitudinale che trasversale impartito dalle ondate oblique incidenti. Tale dinamismo, infatti, esplica la sua massima azione proprio sul tratto d'interesse del Forte Village, in quanto vi conferisce un'evidente tendenza stagionale alla dissipazione più longitudinale che trasversale dei volumi sabbiosi, con drastica riduzione dello spessore del profilo di spiaggia emersa, già di per sé, in genere, trasversalmente poco robusto. Come meglio si vedrà nel seguito, a ciò si sommano:

- ✓ l'effetto morfologico di relativo intrappolamento che le morfostrutture dei bassifondi rocciosi determinano in dettaglio sulla specifica unità progettuale,
- ✓ il surplus erosivo che si genera con il decremento stesso della profondità (larghezza trasversale, in questo caso) della spiaggia anche per effetto sulle correnti liquide dello scarico dei sedimenti entro le trappole sedimentarie.

Orbene, tutte le conclusioni geomorfologiche e d'ordine morfodinamico di cui ancora si dirà nel seguito, sono state implementate nelle valutazioni e negli studi idraulico marittimi fin qui eseguiti; di ciò fanno fede le modellazioni ingegneristiche approntate successivamente nel corso della VIA del progetto di Manutenzione periodica del 2018-2019, che hanno fornito risultati di notevole attendibilità in relazione alle osservazioni compiute in questi anni, compatibili quindi con gli stati modali della spiaggia. Modello geomorfologico e modello idraulico, parrebbero dunque aver trovato all'epoca un buon grado sintesi e di convergenza. Ciò fa propendere per ritenere corrette sul piano ambientale le scelte fin qui attuate e costituisce nel contempo la base di riflessione per quelle proposte nel presente progetto e per lo sviluppo delle modellazioni ad esse riferite

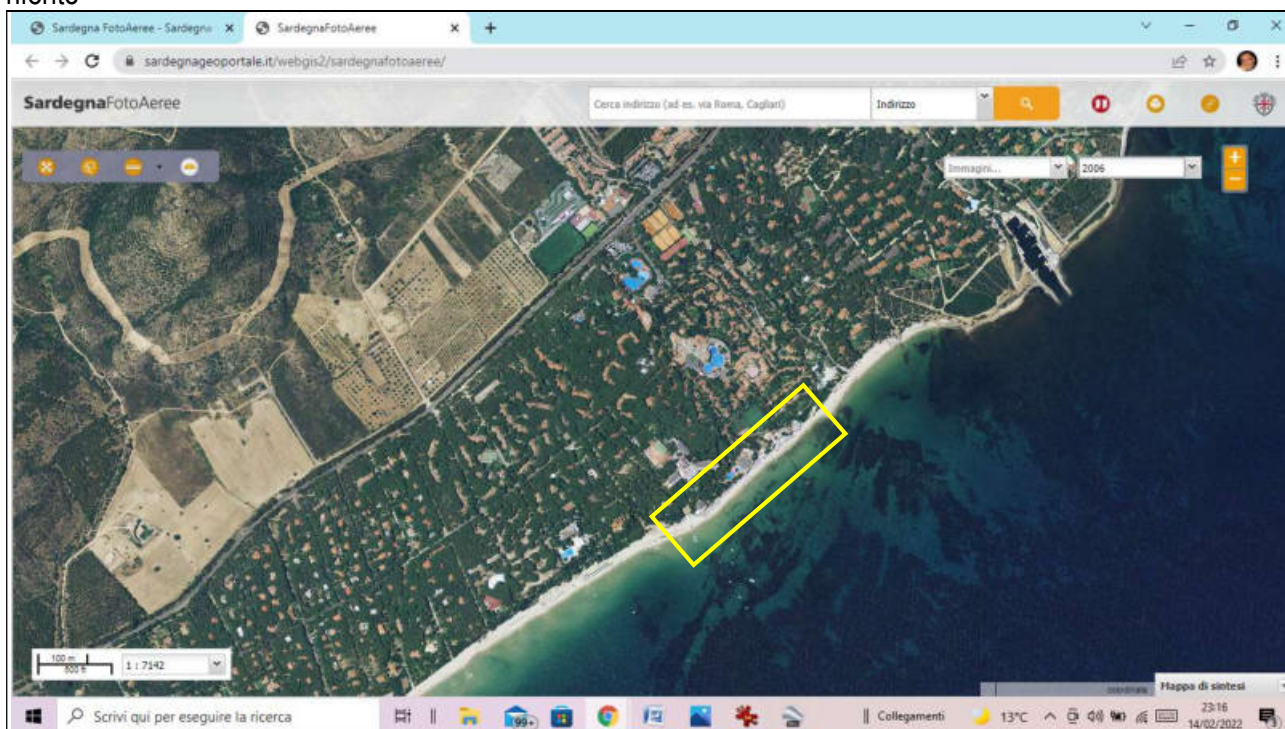


Fig.1-inquadramento del settore interessato dal progetto. <https://www.sardegnageoportale.it/webgis2/sardegnafotoaeree/>

2. II NUOVO APPROCCIO PROGETTUALE

Il progetto di cui trattasi, per quanto anticipato ed alla luce della evidente sintonia fra modello geomorfologico e risultati della modellazione idraulica più recentemente elaborata, discende da un nuovo approccio, non più basato solo su di un intervento, più o meno volumetricamente importante, di periodica manutenzione

morfologica della spiaggia ma su un'opera più complessa mirante a conferire alla spiaggia stessa una maggiore "stabilità" morfologica. Tale obiettivo si ritiene raggiungibile attraverso un intervento che, semplificando, possiamo riferire alla tipologia di **Ripascimento protetto**. Oltre a prevedersi, infatti, la mobilitazione di determinati volumi di sabbie **native** vale a dire, totalmente autoctone, il presente progetto contempla l'impiego di Opere di difesa attiva parallele o longitudinali in massi con la finalità del progressivo irrobustimento naturale del profilo trasversale. Tali opere artificiali in sostanza hanno il duplice scopo di conservare per quanto possibile i sedimenti che si conferiranno e, a loro volta, di accentuare per via diffrattiva l'attitudine alla concentrazione naturale dei sedimenti in ambito emerso già localmente conferito in ambito sommerso dalle strutture geologiche (ossia i bassifondi rocciosi) presenti naturalmente. Le barriere saranno infatti collocate in corrispondenza di alcuni dei bassifondi presenti e attraverso di essi, s'intende in sostanza favorire una minore mobilità sia trasversale che longitudinale delle sabbie, senza tuttavia alterare significativamente, né tanto meno pregiudicare, gli equilibri dinamici delle aree laterali (monte e valle rispetto ai vettori agenti sull'unità selezionata per accogliere il progetto). Attualmente le caratteristiche geometriche dei bassifondi, pur ingenerando un evidente intrappolamento di sedimenti, non determinano una condizione morfodinamica tale da salvaguardare per via naturale il profilo di spiaggia in modo duraturo, ovvero con un saliente che si spinga ad avvicinarsi alla costa in forma tale da renderla più aggettante e quindi progradante rispetto al mare. Le scogliere ad avviso di chi scrive, collocate lo si ripete, a partire da precisi bassifondi opportunamente scelti (**Fig. 26 e 35**), hanno lo scopo di proteggere il tratto costiero sviluppando la capacità della spiaggia di autosostenersi morfodinamicamente in funzione e come reazione alle stesse tendenze li presenti. Non si tratta quindi stravolgere la dinamica locale ma di accentuarne le risposte utili all'irrobustimento del tratto di circa 500m senza pregiudicare le porzioni di spiaggia circostanti.

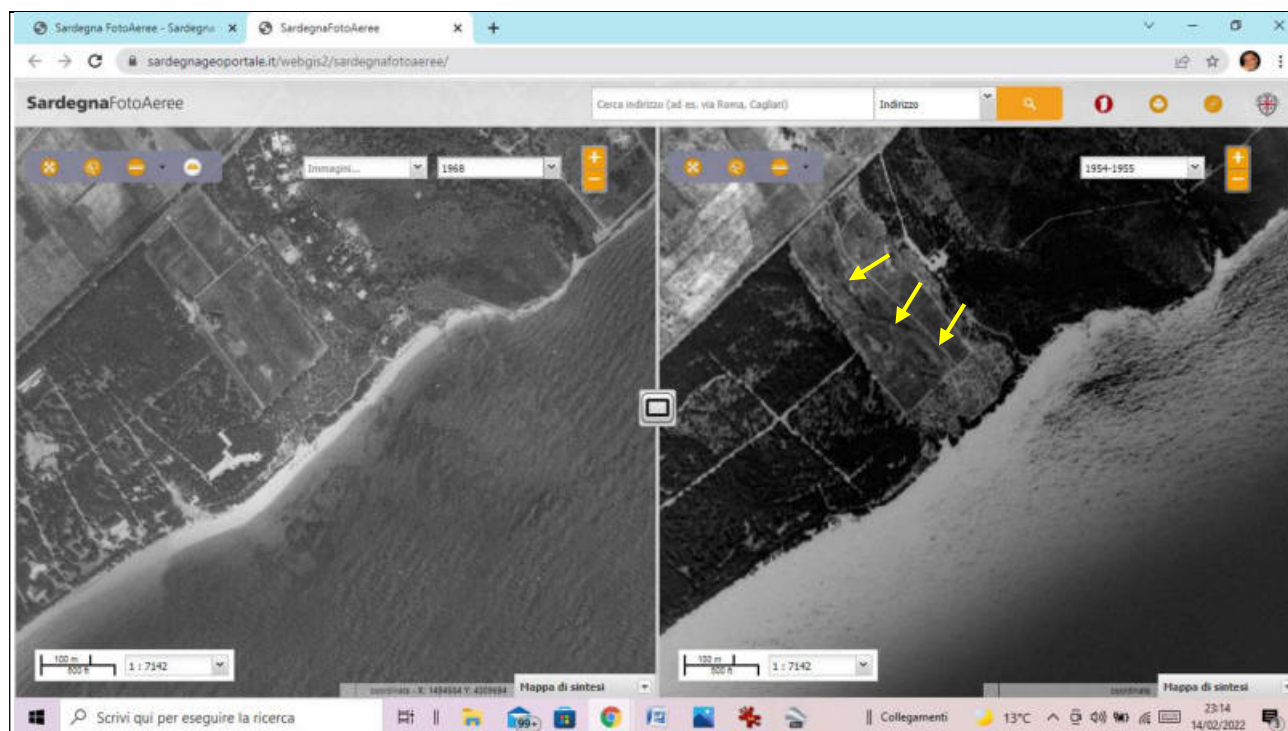


Fig. 2 - Confronto diacronico 1968-1954. Nel 1954 sono evidenti le tracce dell'idrografia sottesa alla spiaggia .
<https://www.sardegnageoportale.it/webgis2/sardegnafotoaeree/>

Il nuovo approccio progettuale, ha reso necessario anche soffermarsi sulla necessità di elaborare o meglio individuare un titolo che sintetizzasse in forma pienamente coerente quanto il progetto stesso si propone di realizzare. Questo aspetto è stato quindi oggetto di un ulteriore approfondimento col progettista, ing. Vigna, che è stato posto in essere dopo un'attenta ricognizione sul concetto stesso di Ripascimento.

La presente relazione, pertanto, esporrà nel seguito (Cap.4), una specifica parte introduttiva, dedicata ad esaminare le varie accezioni con cui può estensivamente declinarsi il concetto di Ripascimento e alla necessità di condividere un lessico tecnico univoco che non dia spazio ad equivoci che possano innescare scorrette o inopportune valutazioni di quanto ci si propone in questa sede. In questo particolare caso, si tratta

infatti, come detto, di realizzare un intervento di Protezione e di stabilizzazione morfologica mediante opere artificiali.

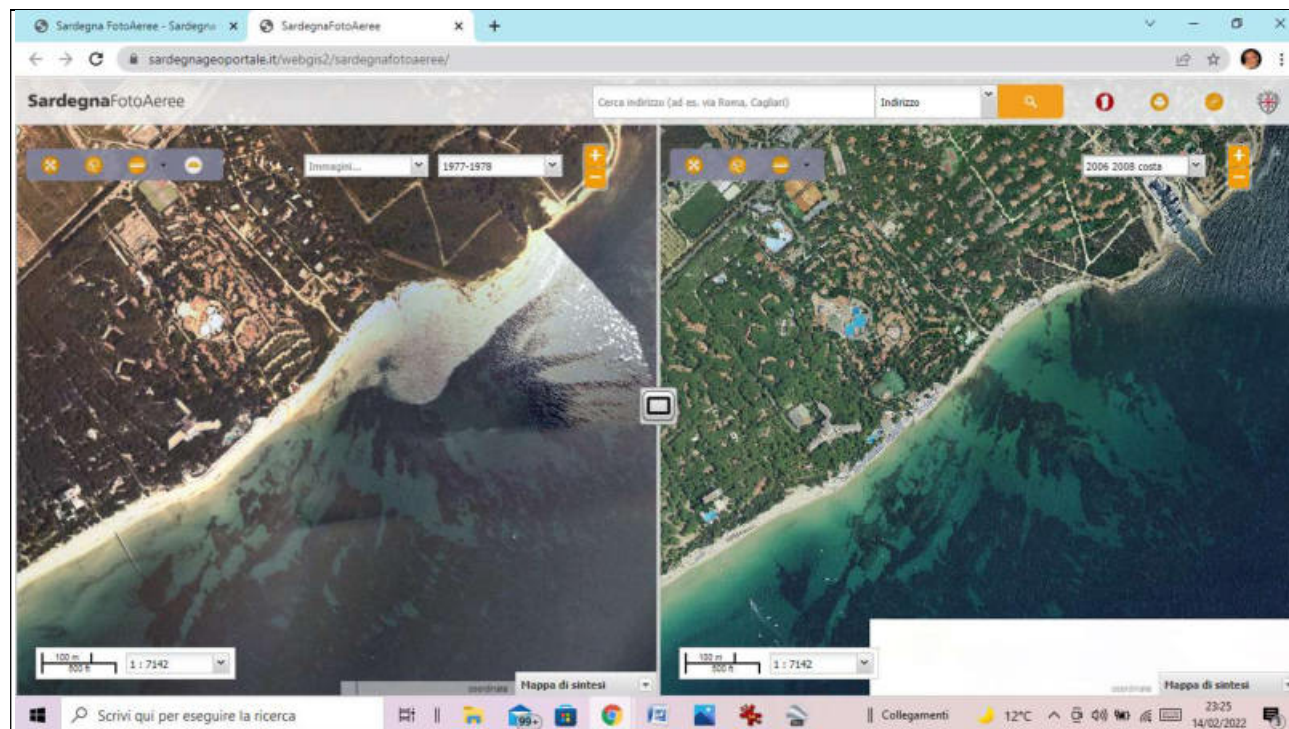


Fig. 3 - Confronto diacronico 1977-2008. Si noti l'assottigliamento della spiaggia nella condizione rappresentata nella foto 2008

3. BREVE SINTESI DEL PROGETTO E DEI BENEFICI ATTESI

Il progetto intende assegnare allo specifico segmento di spiaggia in sofferenza morfologica, su di un totale di circa **500m** una configurazione dell'assetto geomorfologico che le conferisca una maggiore capacità intrinseca di contrastare le sollecitazioni dei moti ondosi incidenti, sia nelle loro componenti trasversali *cross-shore* che in quelli longitudinali *long-shore*. La nuova configurazione geomorfologica artificiale pari a circa 11.000mq ÷ 12.000mq (attualmente le condizioni oscillano da un minimo di circa. 6.500mq ad un massimo 8.000mq) sarà ricavata attraverso n.3 opere di difesa attiva parallele alla riva (Scogliere parallele emerse) e con una progradazione costiera indotta dalle strutture artificiali longitudinali, a cui si sommeranno gli effetti di un preventivo **ripascimento** s.l.. Tale nuova configurazione farà sì che la deformabilità stagionale e pluriennale del litorale sia nel suo complesso, per progressivo adattamento di breve e medio periodo, compatibile con le esigenze del Resort e, a sua volta, tale da costituire presidio complessivo per le opere a terra. La stabilizzazione morfologica della porzione di spiaggia sarà dunque a sua volta apportatrice di beneficio per l'ambito emerso.

Al contrario, gli effetti sottrattivi che inevitabilmente si genereranno nelle aree di prelievo (**Borrow areas [Ba]**) della medesima unità fisiografica, stanti magnitudo e localizzazione dell'intervento di prelievo in spiaggia sommersa, non saranno né concentrati ma diffusi né, per evidenti ragioni economiche, approfonditi e dunque non comporteranno in spessore, né significativo detrimento lineare e superficiale in ambito subacqueo, né tanto meno, squilibri morfologici ad altri settori emersi comunicanti. Si cercherà in tal modo di limitare i due principali effetti potenzialmente perturbativi del prelievo concentrato:

- il **trasporto di ritorno** (in uscita dall'area di recapito) indotto localmente da una vasta e soprattutto profonda depressione;
- le **interferenze dirette ed indirette con la stabilità della linea di costa** attraverso i processi di trasformazione dell'onda stessa (rifrazioni, diffrazioni, riflessioni e dissipazioni).

Si tratterà dunque di generare, fuori dall'area di intervento diretto di ricarica (valutabile in circa 15.000mc), un nuovo assetto, anch'esso evolvente nell'ambito della conservazione degli equilibri dinamici del litorale. Ovvero

sul medio-lungo periodo devono potersi mantenere condizioni di sostanziale ri-equilibrio dinamico, sia in ambito sommerso che emerso, con ovvi riallineamenti stagionali del profilo di equilibrio, evidentemente nell'ambito delle oscillazioni morfologiche *di bello e cattivo tempo* (configurazione, rispettivamente, estiva e invernale). Tali dinamiche non andranno a compromettere gli equilibri delle aree latitanti o circostanti la porzione che si intende stabilizzare ma determineranno un riallineamento del settore ad oggi più sofferente (in deficit) e meno elastico della UG intera. Se gli effetti del progetto sono dunque orientati ad essere largamente positivi per quanto attiene agli aspetti fisici (e conseguentemente non potranno essere intaccati quelli biologici) del sistema, sul piano paesaggistico deve mettersi in conto l'impatto contenuto delle 3 scogliere emergenti, ricavate dal posizionamento di circa **15.000T** di massi in rocce lapidee (cromaticamente compatibili e geomeccanicamente resistenti), per un totale valutato in circa **8000mc**.

4. LA SCELTA DEL TITOLO DA DARE AL PROGETTO: LE RAGIONI CHE IMPEDISCONO DI IMPIEGARE IL TERMINE RIPASCIMENTO

Nel campo della difesa dei litorali è bene sottolineare preliminarmente la nota distinzione fra Ripascimento Naturale e Ripascimento Artificiale. Il primo di norma è dovuto al recapito di sedimenti fluviali o torrentizi in ambito marino tramite le foci terminali dei sistemi idrografici. Il secondo fa riferimento all'immissione in un determinato contesto fisiografico marino di sedimenti esterni, ovvero non autoctoni, compatibili o ritenuti compatibili con quelli autoctoni o nativi.

Più in generale nell'ambito della geoeingegneria costiera si parla per brevità solo di Ripascimento, termine che sottintende, quindi, un intervento a solo carattere artificiale, comportante immissione di sedimenti in un certo ambito di litorale. Va tuttavia evidenziato che l'espressione tecnica ha assunto via via un certo carattere di ambiguità in relazione alla provenienza dei sedimenti (definiti improvvidamente "**materiali**" in più documenti). Per evitare ambiguità, utilizzeremo quindi in questa sede l'espressione recapito solido naturale, per intendere il riferimento, appunto, a processi naturali di alimentazione delle spiagge.

Se ci riferissimo specificamente alla letteratura scientifica americana (o anglo sassone in generale), avremmo la certezza di poter trarre varie definizioni di Ripascimento che si richiamano comunque, tutte, ad un intervento basato su un'origine esterna della sabbia utilizzata. In questa accezione, tale intervento quindi non contempla il trasferimento o la mobilitazione, che dir si voglia, di sedimenti *nativi* o autoctoni (vedi poco oltre), cioè originariamente esistenti in quella specifica spiaggia, intesa come involucro di superfici emerse e sommerse connesse, quindi della medesima cella sedimentaria. La seguente eloquente definizione è tratta dal sito del CTCN (*Climate Technology Centre and Network* dell'ONU):

<https://www.ctc-n.org/technologies/beach-nourishment>

Testo	<i>Beach nourishment also referred to as beach renourishment, beach replenishment or sand replenishment describes a process by which sediment (usually sand) lost through longshore drift or erosion is replaced from sources outside of the eroding beach.</i>
Traduzione	<i>Il ripascimento della spiaggia, noto anche come ricostituzione della spiaggia o ricostituzione della sabbia, descrive un processo mediante il quale il sedimento (di solito sabbia) perso a causa della deriva litoranea lungo costa o dell'erosione viene reintegrato da fonti al di fuori della spiaggia in erosione.</i>

R. G. Dean, (2002)¹ a pag. 22 fornisce altresì la seguente definizione:

Testo	<i>Beach nourishment, also called "artificial nourishment", "replenishment", "beach fill", and "beach restoration", comprises the placement of large quantities of good quality sand within the nearshore system, usually to address a continuing deficit of sand, manifested by shoreline recession..... The term "beach nourishment", may be used to differentiate between material that is placed on subaerial beach and its underwater extension from "profile nourishment" or "berm placement" which involves the placement of material offshore with the anticipation that</i>
--------------	--

¹ R. Dean (2002)- *Beach Nourishment-Theory and practice*. Advanced Series on Ocean Engineering- Vol. 18, pp 399. World Scientific

	<i>either the material will move onshore slowly under the normal action of waves or will provide protection to the shore from erosion by reducing the effects of waves.</i>
Traduzione	Il ripascimento, detto anche "ripascimento artificiale", "rifornimento", "riempimento" e "ripristino della spiaggia", comprende il collocamento di grandi quantità di sabbia di buona qualità all'interno del sistema costiero, solitamente per far fronte a un deficit continuo di sabbia, manifestato dalla recessione costiera.Il termine "ripascimento" può essere utilizzato per distinguere fra materiale che viene collocato sulla spiaggia subaerea e sulla sua estensione subacquea dal "ripascimento di profilo" o "di berma" che prevede il posizionamento di materiale al largo con la previsione che il materiale si sposterà verso la spiaggia emersa lentamente sotto la normale azione delle onde o fornirà protezione alla costa dall'erosione riducendo gli effetti delle onde.

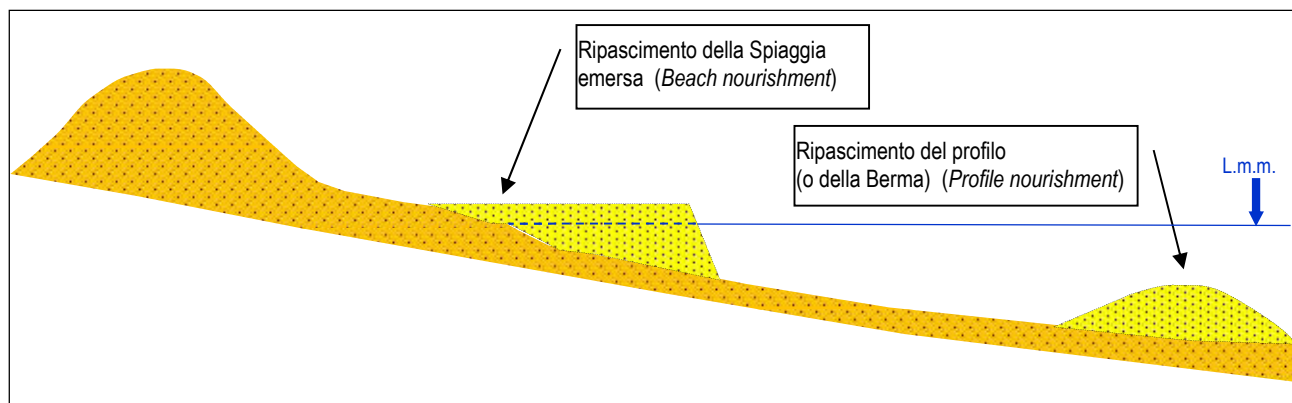


Fig. 4 – Schema del ripascimento della spiaggia e del profilo (o berma). Ridisegnato da Fig. 3.1 di R. Dean (2002)- *Beach Nourishment-Theory and practice*. Advanced Series on Ocean Engineering- Vol. 18.pp 399. World Scientific

Nella stessa trattazione di Dean (2002) si sottintende più volte il Ripascimento come un intervento condotto con sabbie estranee nei confronti dell'Unità fisiografica di riferimento del progetto, rispetto alla quale l'autore parla di Native sands o sabbie native o comunque locali che vengono distinte dalle Nourishment sands (sabbie di ripascimento) con compatible sand size (dimensione della sabbia compatibile).

Le sabbie da utilizzarsi nel progetto qui trattato saranno autoctone, ossia prelevate dalla medesima Unità fisiografica, in ambito sommerso (o Sub Unità gestionale). Ne consegue che il progetto non può annoverarsi fra gli interventi ortodossi di Ripascimento. Esso inoltre, anche per ragioni meramente volumetriche, piuttosto che nel Ripascimento in s.s., rientrerebbe a buon diritto fra gli interventi di **riporto protetto** da opere a mare (cfr. Valloni e Ferretti, 2002). Come visto infatti, il Ripascimento, in un'accezione ortodossa e restrittiva, consiste in una Recapito aggiuntivo di sedimenti provenienti da altre celle o comunque da altri giacimenti esterni, sia di cave costiere di ambito subacqueo che di cave di ambito emerso. Nel caso in specie, invece, con l'intervento proposto si tratterebbe di rimpinguare un certo tratto costiero emerso e sommerso, opportunamente attrezzato di scogliere che inducano lo sviluppo e la stabilizzazione di depositi sedimentari sabbiosi (salienti) e che per questa stessa dinamica rallentino e riducano nel tempo (per non dire impediscano), la migrazione longitudinale e trasversale di sedimenti ad opera dei vettori costieri *Long-shore* e *Cross-shore*.

In tal modo, si sfruttando determinati connotati geomorfologici della parte sommersa della spiaggia per collocare scogliere che si reputano essenziali, verrebbe assicurata la massima stabilità possibile nell'area più vulnerabile e nel contempo si preserverebbe il dinamismo stagionale ora di *bel tempo* ora di *cattivo tempo*, della restante parte della spiaggia, senza comprometterne gli equilibri dinamici provocando cioè dinamiche formative erosive strutturali.

Ciò, sebbene destinato in primo luogo a tutelare il valore turistico balneare della spiaggia, è essenziale nel contempo a farle garantire la sua principale funzione ambientale, cioè quella di prima e principale difesa naturale dall'inondazione marina del settore emerso subito a monte (difesa dell'entroterra dagli eventi estremi), dove nel caso specifico, sono da tempo localizzati fabbricati e manufatti al servizio delle attività turistico-alberghiere e residenziali del **Forte Village Resort**.

4.1 RIPASCIMENTO IN ITALIA E NORMATIVA

L'Art. 2 del **DM 173/2016** fornisce la seguente definizione di ripascimento: *utilizzo di materiali di cui all'articolo 1² mediante apporto sulla spiaggia emersa e/o sommersa, prioritariamente in relazione a fenomeni di erosione della costa.*

I **ripascimenti** sono distinti dalle operazioni di ripristino degli arenili, così definiti: *“tutte le attività che si svolgono nell'ambito di uno stesso sito con ciclicità stagionale o comunque a seguito di mareggiate che hanno determinato l'accumulo di materiali in una determinata area e consistenti nel livellamento delle superfici, mediante lo spargimento e la ridistribuzione dei sedimenti accumulati in più punti dello stesso sito per il ripristino degli arenili che comportano la movimentazione di materiali per quantitativi inferiori a 20 (venti) metri cubi per metro lineare di spiaggia”.*

4.1.1 Ripascimenti non protetti e protetti

Il volume: *Difesa delle coste e salvaguardia dei litorali - Analisi delle caratteristiche meteo-marine al largo e a riva e valutazione dei processi evolutivi costieri*. MATT - Direzione Generale per la Difesa del Suolo, P.O. Difesa Suolo. 2005 (A cura di A. Noli & M. Mita), definisce il **ripascimento artificiale di un spiaggia l'apporto di materiale sedimentario prelevato da cave marine, terrestri o fluviali**.

Secondo l'**Atlante delle Opere di Sistemazione Costiera** (Apat, 2007), *Con la definizione “ripascimento non protetto” (o morbido) si è soliti indicare un intervento realizzato tramite il versamento di sedimento lungo un tratto di litorale, al fine di ricostruirlo (anche solo parzialmente), riequilibrarne temporaneamente l'assetto morfodinamico e contribuire artificialmente al suo bilancio sedimentario. Si tratta di interventi il cui impatto ambientale sugli equilibri dinamici delle spiagge risulta in genere minimo. Infatti questi non prevedono la realizzazione di opere rigide, che alterano le correnti litoranee e la circolazione dei sedimenti lungo costa.*

A tale riguardo, va detto che secondo Valloni R. & Ferretti O. (2002), il termine *versamento* avrebbe uno specifico significato proprio, poiché secondo tali autori, i ripascimenti in senso lato possono distinguersi in **Riporti, Versamenti, Ripascimenti**, in base allo schema seguente che fa riferimento allo sviluppo lineare dei segmenti d'intervento sulle spiagge e ai volumi di sedimenti impiegati:

Riporti	($V \leq 40.000 \text{ mc}$ o $L \leq 600 \text{ m}$)
Versamenti	$V > 40.000 \text{ mc}$ e $V < 100.000 \text{ mc}$; ($L > 600 \text{ m}$ e $L \leq 1.800 \text{ m}$)
Ripascimenti	($V > 100.000 \text{ mc}$ e $L > 1.800 \text{ m}$)

Tab.1 – Riferimenti tecnici. Tratto da: Valloni R. & Ferretti O. (2002)

Dato atto che per quanto attiene sia a lunghezze che a volumi ben difficilmente lo schema riportato si adatta alla casistica sarda, rispetto ad esso, nel caso in studio, l'intervento previsto sulla spiaggia si configurerebbe come detto in un **“riporto”** protetto.

Va anche aggiunto che in base allo *Shore Protection Manual* (1984; SPM), a cui tutta l'ingegneria costiera italiana si è ispirata, i migliori risultati in un ripascimento (s.l.) si raggiungono comunque, quando il materiale di riempimento impiegato ha una distribuzione granulometrica affine a quella della spiaggia originaria (vol.1, pag. 16 SPM). Nel nostro caso il problema è dunque del tutto inesistente in quanto le sabbie impiegate derivando integralmente dalla medesima spiaggia in particolare dalla sua porzione sommersa nel tratto antistante al progetto stesso (*Sub-Unità gestionale*; cfr. Tab.2), riscontrano le medesime caratteristiche granulometriche e dunque anche composizionali. Non rileva, quindi, da questo punto di vista, il fatto che si tratti della *Spiaggia sommersa* anche perché, stante la estrema mobilità naturale dei sedimenti nel contesto, cessa di avere significato, posto che davvero possa sussistere o peggio ancora essere postulata, una significativa diversità dei fusi granulometrici al netto della variabilità stagionale legata ai cicli di bel tempo e di cattivo tempo.

² “materiali di escavo di fondali marini o salmastri o di terreni litoranei emersi di cui al comma 1, lettera a) del medesimo articolo 109”; “materiali provenienti dal dragaggio delle aree portuali e marino costiere non comprese in siti di interesse nazionale”; “materiali provenienti dai siti di interesse nazionale risultanti da operazioni di dragaggio nelle aree portuali e marino costiere”.

Ritornando poi al manuale APAT del 2007 è importante anche fissare un ulteriore aspetto. A pag. 99 si stabiliscono due altri importanti principi per le spiagge, ossia che:

- a) *La perdita di sedimento dovuta al trasporto longitudinale o trasversale viene contenuta con interventi di manutenzione (cfr. MATTM Regioni, 2018)³.*
- b) *Pertanto, a fronte di un risparmio economico in fase di costruzione, la mancanza di opere di difesa rigide comporta l'utilizzo di maggiori volumi di sedimento (ghiaia, sabbia, ecc.) ed un maggior onere di manutenzione.*

La questione dei costi, soprattutto se sostenuti in un contesto di **riporto protetto** e il più geometricamente circoscritto (1^a opzione) in rapporto a quelli derivanti dalla reiterazione periodica di interventi di mantenimento o ripascimento libero (2^a opzione), risulta, quindi, non solo ben nota in letteratura ma è tenuta ben presente dalla società committente, tanto da far propendere, in accordo col progettista, per la prima opzione a distanza di quasi 4 anni dalle progettazioni delle manutenzioni periodiche. Le finalità quindi che il committente si propone, sono le seguenti:

- mantenere la porzione di litorale nella condizione più resiliente possibile, in modo da conservare al massimo relativo l'assetto naturale della spiaggia,
- poter soddisfare pienamente le aspettative balneari nella stagione primaverile-estiva
- salvaguardare le opere presenti in pertinenza della spiaggia.

A tal fine, lo si ribadisce, l'intervento a carattere "morbido" così come fino ad oggi concepito, ossia di manutenzione ordinaria del profilo della spiaggia, l'unico possibile in assenza di qualunque intervento strutturale che pur si configurerebbe relativamente efficace stagionalmente, non è più ritenuto economicamente sostenibile.

Infatti, come detto in Premessa e riscontrato, un intervento morbido non è certamente efficiente sul medio periodo, potendo essere pregiudicato persino in un brevissimo lasso di tempo, soprattutto in condizioni di permanenza del litorale agli effetti delle circolazioni cicloniche.

Il gruppo di progettazione ha dunque convenuto con la Società Esmeralda che le eventuali alternative più realistiche, per non dire "le uniche alternative" sono rappresentate dagli interventi con protezione artificiale strutturale (o con opere di difesa passiva parallele alla riva). Tali opere mirano alla stabilizzazione della spiaggia o, se si preferisce, a minimizzare le perdite posteriori al ripascimento (s.l.). Si tratta di un necessario ricorso a soluzioni che determinano inevitabilmente impatti sulle matrici, ivi compreso il paesaggio, rendendo com'è noto, meno naturalmente resiliente la spiaggia (cfr. "Misurare la spiaggia per gestire la costa", 2020)⁴. Tali impatti appaiono tuttavia piuttosto contenuti anche in virtù del fatto che per la realizzazione delle opere si sfrutterebbero le emergenze morfologiche naturali dei bassifondi, i quali dunque, verrebbero proiettati sulla verticale per emergere secondo geometrie da affinare con opportuna modellazione.

Ne consegue che quello in questione non è altro che un intervento di stabilizzazione, ossia di mantenimento in condizione di minore deformabilità del tratto di spiaggia che appare morfodinamicamente più mutevole sul breve. La nuova configurazione del profilo di spiaggia, comprensiva delle opere di protezione, avrà di conseguenza una condizione di maggiore robustezza che, pur in condizioni dinamiche stagionali, per un verso determinerà una maggiore permanenza nel tempo di uno stato confacente al valore turistico della stessa unità gestionale, e per l'altro eserciterà nel tempo un surplus di difesa delle opere. Tale obiettivo è ottenuto, lo ripetiamo, col ricorso, oltre che al **riporto di sabbia** da un'area sorgente (*Borrow area*) on-shore (ossia all'interno della profondità di chiusura), alla collocazione di **opere di difesa costiera** (scogliera/barriera) il più possibile circoscritte sul piano dimensionale. Tali opere hanno lo scopo di accompagnare il riadattamento morfodinamico della spiaggia emersa e sommersa, stabilizzando le tendenze deformative dell'unità gestionale all'interno di un certo range stagionalmente elastico di accettabilità, Tale intervallo di oscillazione morfologica,

³ MATTM-Regioni, 2018. *Linee Guida per la Difesa della Costa dai fenomeni di Erosione e dagli effetti dei Cambiamenti climatici. Versione 2018* - Documento elaborato dal Tavolo Nazionale sull'Erosione Costiera MATTM-Regioni con il coordinamento tecnico di ISPRA, 305 pp

⁴ Maregot-Interreg Marittimo –IT-FR 2014-2020. Video documentario didattico in 4 moduli. Testi e direzione scientifica di E. Pranzini

media fra l'obiettivo di massima efficacia ed efficienza da un lato e la necessità di minimizzare la ricaduta complessiva sul sistema dall'altro, limitando sia l'impatto sul paesaggio che sulla stessa morfodinamica esterna all'area sottoposta a protezione, è conseguibile soltanto contenendo i sedimenti "sottratti" on-shore dal sistema (o, se si vuole costretti a minore mobilità nel sistema protetto) nell'unità di superficie. Lo scopo è quello di non cagionare effetti sottrattivi che tendano, come detto nel precedente elenco puntato e numerato, a concentrare processi dinamici che comportino evidenti dissesti. In poche parole, in base ai criteri geomorfologici, la sottrazione volumetrica dovrà essere distribuita in più aree (quindi non una sola *Borrow area*, auct.) e tale da recare riduzioni volumetriche poco significative nelle aree circostanti in connessione morfodinamica a ciascuna area di rifornimento. Si tratta in sostanza di realizzare un intervento estremamente ponderato sotto il profilo tecnico, che tenga conto:

- del valore demaniale marittimo
- del pregio naturale dell'intero paraggio costiero
- della necessità di impedire qualunque effetto indesiderato sia su scala strettamente locale sia di *Unità* che di *Sub-Unità gestionale* (cfr. Tab.3) che, tanto meno, su scala più generale (Macro-cella di 2° ordine; cfr. Tab.3).

Per evidenti ragioni si tratta di un obiettivo complesso, che tuttavia si avvantaggia di una certa conoscenza delle condizioni del paraggio, in particolare per quel che riguarda i seguenti aspetti:

- ☒ il quadro deformativo-erosivo storico (erosione strutturale)
- ☒ i processi evolutivi dinamici **cross-shore**
- ☒ I processi evolutivi dinamici planari
- ☒ I processi evolutivi dinamici **long shore**
- ☒ la compatibilità dei sedimenti
- ☒ l'area di prelievo (**borrow area** auct.)
- ☒ la profondità di chiusura

Occorrerà tuttavia pervenire ad una spiaggia di progetto e dunque ad un nuovo profilo di equilibrio. Ne consegue che in questa sede si deve elaborare il modello geomorfologico per poter valutare al meglio:

- ☒ il trasporto solido *long shore*
- ☒ il volume di sabbia nell'unità di lunghezza totale
- ☒ la diffusività del sedimento riportato
- ☒ la presenza di granulometrie maggiori (ben oltre il limite superiore delle ghiaie), al di sotto di quelle utili nelle aree di rifornimento, fermo restando che, come vedremo, anche la spiaggia emersa ne è fortemente interessata (come dimostrato dalla sua esumazione invernale sistematica, in condizione di spiaggia invernale e la documentazione dei recenti lavori di consolidamento alla base delle strutture; cfr. Foto finali).

Come detto, quindi, l'approccio del progetto in essere, sposa la linea di una movimentazione di sedimenti protetta. Il termine *ripascimento* verrà impiegato solo in forma generica al solo scopo di suggerire il riconoscimento dell'azione, anche se tecnicamente non si tratta di ripascimento artificiale in s.s. ma di *Riparto on-shore* da settori di spiaggia sommersa compresi entro la profondità di chiusura.

Al fine di un completamento della trattazione concettuale, di seguito si ricapitolano alcuni aspetti rilevanti legati alla pratica del Ripascimento e al suo impatto.

4.1.2 Ripascimenti e origine dei materiali

Con riferimento alle recenti *Linee Guida per la Difesa della Costa dai fenomeni di Erosione e dagli effetti dei Cambiamenti climatici. Versione 2018* - Documento elaborato dal Tavolo Nazionale sull'Erosione Costiera MATTM-Regioni con il coordinamento tecnico di ISPRA, 305 pp. (MATTM.Regioni, 2018), queste evidenziano quanto segue in relazione agli interventi come quello in oggetto: "Infine, qualora i depositi siano ubicati in zone di piattaforma non distanti dalla costa ed a bassa profondità, vanno presi in considerazione e valutati anche i possibili impatti sulla dinamica dei fondali litorali alle profondità dove le modifiche morfologiche dei dragaggi

possono indurre modificazioni nel regime delle correnti e nella capacità rifrattiva dei fondali”,. Tale passaggio fa parte di un paragrafo denominato: **Alimentazione del sistema litoraneo – Sedimenti Esterni. Prelievi da depositi off-shore (AS-1.1).**

Sappiamo che di recente l'intervento progettuale (2018) riguardante la Spiaggia di FV (n.2 di pag.1) è stato oggetto di prescrizioni che hanno considerato l'intervento come un vero e proprio ripascimento da realizzarsi con sabbie estranee. Esse quindi non avevano tenuto in debito conto, ad avviso di chi scrive, di una circostanza geomorfologica dirimente ai fini della compatibilità sedimentologica da un lato e degli impatti dall'altro e cioè che i sedimenti da utilizzare in quella sede sarebbero stati assolutamente autoctoni (*Native sediment*, Auct.). Non si sarebbe trattato cioè di sedimenti cioè provenienti da ambiti *off-shore*, ossia non connessi dinamicamente e scollegati geneticamente alla spiaggia attuale in quanto afferenti a livelli di stazionamento del mare più antichi di quello attuale. Si trattava invece di impiegare sedimenti (esattamente come nel presente progetto, si badi) prelevati da ambiti *on-shore*, ossia porzioni della cosiddetta spiaggia sommersa ospitanti sedimenti attuali, quindi “generati” o naturalmente “riciclati” nel presente ciclo sedimentario marino-costiero e in equilibrio sedimentologico coi livelli di stazionamento attuali del mare (quindi provenienti da ambienti sedimentologicamente e morfodinamicamente contigui e connessi della stessa unità fisiografica).

Da ciò conseguiva che il testo della DGR che imponeva all'epoca le prescrizioni al suddetto progetto, riferendosi al suddetto passaggio delle LLGG del TNEC, di fatto non fosse attinente al caso ma riguardasse la **Valutazione dell'impatto dei dragaggi** di approvvigionamento nel solo caso dei giacimenti off-shore, o depositi sedimentari marini relitti (DSMR) presenti sulla piattaforma continentale, i quali costituiscono con tutta evidenza geologica una casistica ben definita e distinta, ossia totalmente diversa sul piano geologico-geomorfologico (traducasi: sedimentologico-tessiturale-composizionale) da quella a cui quello stesso progetto si riferiva ossia le sabbie della Spiaggia di S.M. di Pula. Ciò denota e sottolinea le difficoltà di approccio che per svariate ragioni permangono in questa materia.

In base alle conoscenze acquisite in questi anni, che si sommano a quelle assunte in ambito subacqueo dallo scrivente fin dalla sua tesi di Laurea nel 1984⁵, in questa sede si ritiene che sabbie prelevate o prelevabili on-shore entro la medesima Unità Fisiografica s.l., all'esterno) o all'interno della stessa Subunità gestionale 2 laterale contigua e connessa, non possano definirsi Sedimenti esterni, ossia *estranei o alloctoni* cioè provenienti da ambienti deposizionali del tutto separati (quindi ospitanti sedimenti *non Nativi*), ma sedimenti completamente autoctoni (Nativi) del tutto connessi con il retto dell'unità gestionale e al più separati temporaneamente solo in ragione dei Tempi di ritorno (Tr) degli eventi che li mobilitano.

Ne consegue che di per sé il loro trasferimento artificiale (“riporto”), in quanto tale, sia pure in un contesto di intervento protetto, come quello oggetto della presente Relazione, non possa sollevare discussioni a proposito di potenziali o presunti **impatti** di carattere tessiturale, composizionale e cromatico, o di natura per così dire Fisica. Ciò poiché le conseguenze generabili in ambito sommerso ed emerso, non possono essere diverse da quelle che si avrebbero da un evento di mareggiata intensa a Tr1 (annuali) o al massimo Tr2 (biennnali). L'impatto che semmai potrà essere esaminato è quello relativo alla protezione del “ripascimento”, nei suoi effetti locali e complessivi sulla dinamica dell'intera Unità Fisiografica s.l., ovvero sull'effetto morfologico o meglio ancora, morfodinamico, che si avrebbe dalla sottrazione volumetrica dalle aree sorgenti sulla riduzione degli spessori sabbiosi nell'unità di superficie.

Il fine dei passaggi successivi è esattamente quello di scongiurare equivoci di qualunque natura.

Si è ben convinti del fatto che gli impatti possibili sulla dinamica dei litorali di un intervento poco profondo o, per meglio dire, eseguito *in fasce batimetriche prossime* (leggasi: *inferiori*) *alla profondità di chiusura*, che interessi cioè *accumuli litoranei sommersi classificabili come barre di avanspiaggia*, dipende essenzialmente da due circostanze sostanziali:

- La consistenza volumetrica dell'intervento

⁵ G. Tilocca (1984) - *Geologia della piattaforma continentale sarda, da Capo Sperone a Punta Zavorra*, Tesi di laurea inedita 121pp e 3 Tav. f.t.; Università degli Studi di Cagliari, A.A.1983-1984. Relatore Dott. L. Lecca.

- La sua realizzazione in condizione libera oppure in condizione protetta.

La prima circostanza, che potremmo chiamare Magnitudo volumetrica, deve inquadrarsi, nell'ambito di una visione pragmatica al problema, come equivalente a quella di un evento morfodinamico intenso, ossia concentrato e soprattutto accelerato, determinato da sottrazione da una parte (area di prelievo o *Borrow area*) e di addizione dall'altra (area/aree di recapito dell'apporto artificiale alla spiaggia, ossia il *Beach nourishment*). Da questo punto di vista, fino ad oggi i volumi mobilizzati, da quelli minimi impiegati nella ricarica stagionale del 2018 (1000mc dell'intervento n. 1 a pag. 1; in seguito incrementati.) ai 26.000mc dell'ultimo intervento sottoposto a VIA (intervento n. 2 a pag. 1), possono, come detto, farsi rientrare senza dubbio entro range compatibili con gli spostamenti determinati da eventi naturali, ovviamente ripartiti secondo eventi con tempo di ritorno ben diversi. Infatti, al di là di quello che i modelli morfodinamici applicati in Sardegna possano genericamente mostrare, stanti le osservazioni deterministiche compiute a più riprese in questi anni, si resta convinti che una mareggiata autunnale o tardo invernale prolungata (p.e. entro le 48h) e con tempi di ritorno annuali o biennali proveniente da Sud Est, possa essere capace di movimentare volumi anche maggiori di quelli trattati nel progetto da 26.000mc (di queste eventualità si è avuta chiaro riscontro di recente nella mareggiata di Scirocco a fine Aprile 2019). Così come, in misura poco minore e con effetti longitudinali opposti, può o potrebbe un'ondazione da SudOvest conseguente a rotazione per effetto diffrattivo del Ponente o anche del Maestrale su Capo Spartivento.

Le conseguenze che il progetto in ogni caso determinerebbe sull'ambiente fisico, sono ovviamente oggetto in primo luogo della verifica morfodinamica attraverso la modellazione morfodinamica, che ha, sotto questo aspetto, il compito di suggerire l'adozione della soluzione più efficace in termini di benefici progettuali e sacrifici ambientali. Non dimenticando che si tratta, pur sempre e in primo luogo di un intervento di protezione costiera.

5. CENNI AL CONCETTO E ALLA PRATICA DELLA MANUTENZIONE DELLE SPIAGGE

Prendendo atto che nella *Sintesi delle indicazioni e buone pratiche gestionali* di cui alle LL. GG. per l'Erosione costiera (MATTM-Regioni, 2018) si sostiene che "Ogni valutazione e analisi sull'assetto del territorio costiero, compresi il fenomeno erosivo e le opzioni di adattamento, dovrebbe tenere conto delle previsioni di variazione del livello del mare e degli impatti del cambiamento climatico al fine di decidere in modo corretto se e quali azioni e interventi potranno essere utili, durare sufficientemente o avranno bisogno di manutenzioni e correzioni nel tempo, essere sostenibili e condivisi dalla società e dai portatori d'interesse", si ribadisce che proprio in virtù delle incertezze scientifiche al momento connesse con tale previsione, l'intervento oggi più scevro di incertezze sotto ogni punto di vista è proprio quello di **Manutenzione ordinaria** del Demanio Marittimo. **D'altro canto** Non essendo definita la Pianificazione di tali interventi in un quadro complessivo regionale che scaturisca dallo studio e dalla conoscenza reale dell'intero periplo costiero sardo, il presente intervento si potrebbe configurare come una manutenzione straordinaria del litorale, in quanto la straordinarietà dell'intervento proposto consegue proprio dal fatto che a tutt'oggi la fattispecie *manutenzione ordinaria* non è contemplata né codificata, né sulle spiagge né su ogni altro lembo di Demanio Marittimo isolano, a differenza di quanto invece accade nel Demanio Fluviale con la *Direttiva degli alvei e la gestione dei sedimenti artt. 13 e 15 delle n. a. del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico della Sardegna* (che a ben osservare interessa una parte del Demanio Marittimo, ossia le Foci torrentizie; art. 28 Codice della Navigazione). Sul piano amministrativo se questa, fosse espressamente normata dalla RAS, ossia licenziata ed attuabile in base ad una procedura condivisa, il progetto in studio potrebbe persino configurarsi come un intervento di **manutenzione straordinaria**, in quanto finalizzato soprattutto a contenere i dissesti arrecati sullo specifico tratto di litorale emerso restituendo profondità (larghezza e spessore volumetrico, quindi profilo) al tratto di progetto della spiaggia stessa, pari a circa **500m**.

D'altro canto se si prendono in considerazione gli scenari eustatici che emergono da taluni studi recenti, peraltro non gli unici, sull'evoluzione a lungo termine delle coste (Antonioli et al., 2017), essi appaiono così drastici da far ammettere:

- l'utilità dell'intervento difensivo di manutenzione straordinaria sul medio periodo
- la necessità di scelte di adattamento sul medio periodo
- la necessità di drastiche opere di difesa "rigida" mirate al cospetto degli effetti regionali delle variazioni del livello del mare.

Solo se queste non dovessero rivelarsi efficaci, sul lungo periodo occorre prevedere soluzioni nell'ambito del **Managed Retreat** (ritiro gestito.)

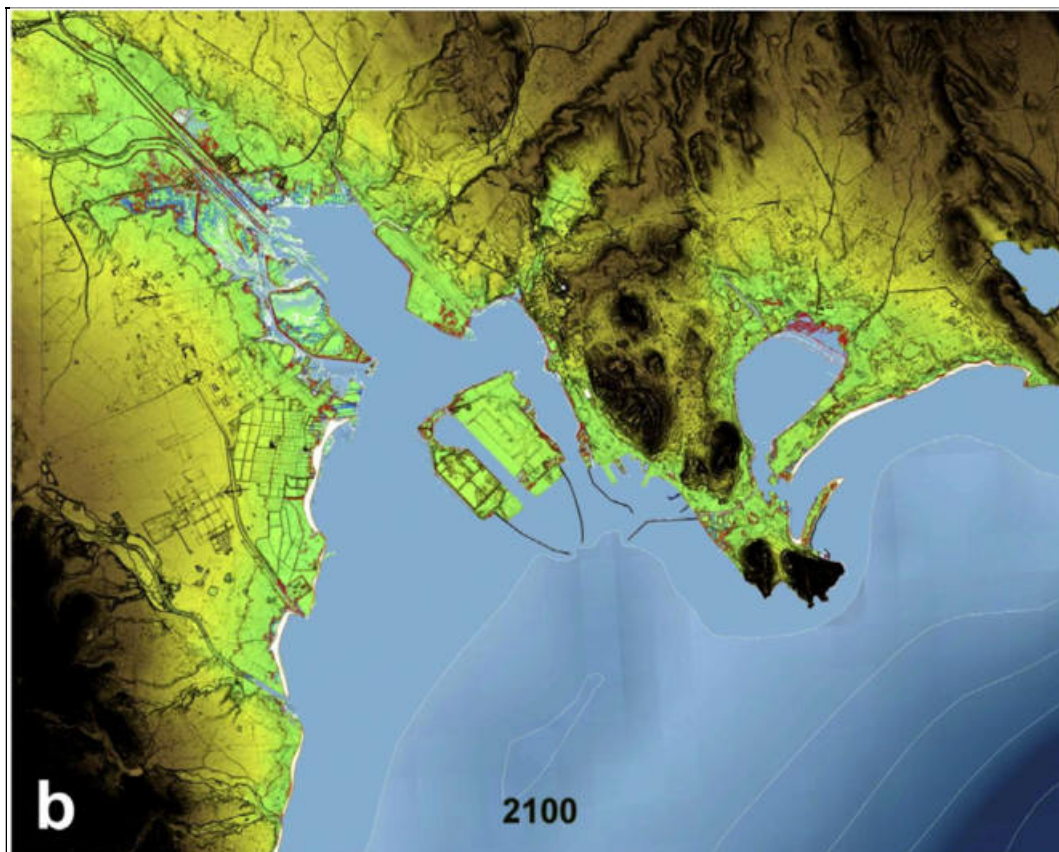


Fig. 5 - Tratta da Antonioli et al. (2017) - *Sea-level rise and potential drowning of the Italian coastal plains: Flooding risk scenarios for 2100*, a sua volta ispirato alle proiezioni di **Rahmstorf, S., 2007**. *A semi-empirical approach to projecting future sea-level rise*. Science 315, 368e370.

5.1 MANUTENZIONE ORDINARIA DELLA SPIAGGIA

Occorre ammettere che nel linguaggio amministrativo della Regione Autonoma della Sardegna la pratica convenzionale della **Manutenzione Ordinaria** delle spiagge isolate persiste nell'essere declinata sostanzialmente ed esclusivamente in termini di sola **Pulizia** (della Spiaggia) e di sola **Rimozione della berma a resti di Posidonia oceanica** ("**Gestione dei depositi di Posidonia spiaggata**" infelicitemente noti come **banquette** o come **biomasse vegetali spiaggiate**). Allo stato attuale non è infatti contemplata l'opportunità di conservare ovvero *manutenere* lo stato morfologico e geometrico ottimale della spiaggia (o *spiaggia di progetto*), quindi del suo profilo e dei suoi volumi di sedimenti con interventi di spostamento di sabbie dalla sua parte sommersa verso la battigia o, più in generale, verso la spiaggia emersa.

Si ravvisa quindi che l'assenza di tale assunzione si pone sostanzialmente contrasto con determinati obiettivi:

- l'esigenza di sicurezza del Demanio Marittimo (DM) dell'isola;
- l'esigenza di conservazione del Demanio Marittimo (DM) dell'isola, ivi comprendendo il suo valore d'uso indotto dalle attività balneari che quello strettamente dominicale;
- l'esigenza di tutela ambientale del Demanio Marittimo (DM) dell'isola;
- l'esigenza di garantire il presidio di protezione dell'entroterra, esercitato dalla spiaggia e dal lido (Demanio marittimo), intesi come *strutture di difesa naturale*.

Al contrario, a livello nazionale, l'attenzione su questa pratica o necessità è sembrata decisamente in ascesa a seguito della pubblicazione delle LL.GG. nazionali sull'erosione Costiera (MATTM-Regioni, 2018). Si riportano nella tabella seguente tutti i principali riferimenti testuali alla Manutenzione delle spiagge delle LLGG.

n.	Pag.	Citazioni e contesto delle LLGG					
1	17	Questo ha un senso preciso in termini di gestione dei sedimenti, che rimangono in certo modo disponibili, per la manutenzione dei tratti critici di un determinato ambito costiero.					
2	19	Nell'opzione "hold the line", si prevede il " mantenimento della linea di difesa " e di costa, con interventi che mantengano o migliorino lo standard di protezione della attuale linea di difesa, opere o ripascimenti di manutenzione . Questa opzione include interventi sul litorale ed immediato entroterra (es. elevazione in quota dell'arenile, <u>strutture longitudinali rilevate</u> , ecc.) che vanno a costituire parte integrante del sistema di difesa costiero.					
3	21	Nell'opzione "limited intervention", si prevede di procedere con "interventi limitati", non invasivi, lavorando con i processi naturali nella riduzione dei rischi e permettendo le variazioni costiere. Questa opzione può prevedere una serie di misure, dal rallentamento o arresto dell'erosione e dell'arretramento delle spiagge e delle coste alte, attraverso ripascimenti manutentivi e/o <u>consolidamento delle scogliere</u> , a misure per la sicurezza delle persone e degli elementi naturali o antropici esposti (sistemi di allerta per le inondazioni, manutenzione o ripristino di dune, foreste e zone umide costiere, restrizione dell'edificazione in fascia costiera, ecc.).					
4	32	Porsi in quest'ottica cambia decisamente l'approccio e la considerazione delle attività di manutenzione e di alimentazione della spiaggia, alla stregua di azioni volte a mantenere una "struttura di difesa", a carattere dinamico, su cui agire con "interventi morbidi" (nature-based solution) evitando il più possibile irrigidimenti che male si addicono ad un ambiente dinamico, spesso non risolvono il problema locale e immancabilmente generano sbilanciamenti che si ripercuotono nei tratti litoranei limitrofi e determinano conseguentemente la necessità di ulteriori azioni di gestione.					
5	34	Al di là della precisione delle stime, comunque in difetto, gioco forza influenzate da fattori non precisamente determinabili alla scala di analisi dello studio, l'ordine di grandezza fornisce comunque l'idea dell'importanza della manutenzione e degli interventi di adattamento dei litorali, programmati preventivamente al peggioramento o al manifestarsi conclamato di particolari criticità costiere.					
6	53	Indicazioni possibili di integrazioni normative utili a favorire la gestione dei sedimenti e a migliorare l'alimentazione della fascia litoranea possono essere sintetizzate come di seguito:.... introdurre sistemi premianti che agevolino la "rimessa in circolo" nella dinamica costiera dei sedimenti provenienti da: - <u>ambiti portuali</u> (es: gestione consortile della manutenzione ordinaria delle imboccature portuali); - <u>tratti costieri sovra-sedimentati</u> ; - <u>scavi eseguiti per interventi in campo civile/edile lungo la fascia litoranea</u> .					
7	57 (174)	Sono previste ulteriori suddivisioni delle unità costiere gestionali o sub-unità gestionali che vengono definite e denominate dalle Regioni (ovvero ambiti costieri di 4° ordine) in base alle proprie esigenze di studi, monitoraggi, manutenzioni e attività di gestione ordinaria della costa. L'insieme delle attività ordinarie operate su questi ambiti costituiscono l'attuazione della programmazione gestionale regionale e del governo regionale della costa a scala di unità fisiografica costiera.					
8	57	sub-unità gestionale	4° ordine	Micro-cella, Cella gestionale	Elementi naturali, grandi porti, porti medi, punti singoli, limiti gestionali	TR 2-5 anni	Statistiche, manutenzioni ordinarie , gestione ordinaria e stagionale
9	84	L'apporto di sabbia in opportune quantità e in punti opportunamente valutati e individuati in funzione della locale dinamica costiera, "zone di ricarica", può garantire un buon livello di manutenzione "naturale" dell'intero tratto, per un certo periodo di tempo, sfruttando l'azione del trasporto litoraneo e cioè le condizioni del clima ondoso e la direzione prevalente della corrente lungo costa.					
10	92	Un sistema di informazioni ben organizzato, in cui si evidenzino e valutino anche in termini volumetrici i tratti di erosione e accumulo, permette di impostare una gestione efficiente dei sedimenti interni al sistema litoraneo e degli apporti da fonti esterne, in funzione delle attività di manutenzione ordinaria e straordinaria di specifici tratti costieri e delle distanze dai punti di prelievo.					
11	93	Lo scopo di un tale sistema è quello di avere un quadro delle criticità e delle disponibilità di sedimenti lungo costa ai fini della " manutenzione ordinaria " dei litorali nell'intervallo, solitamente pluriennale, che può intercorrere fra un apporto di sedimenti dall'esterno del sistema costiero, "manutenzione straordinaria", da depositi sottomarini o da altre fonti.					
12	93	Proprio in funzione della manutenzione ordinaria, una ulteriore utile applicazione di tale sistema è l'individuazione di "tratti litoranei significativi ai fini gestionali", ricadenti all'interno di una Macro-cella, nei quali sono ricomprese Celle critiche, o con tendenze in arretramento, e almeno una zona di accumulo, che si "ricarica" per effetto della dinamica litoranea, generalmente a scapito delle Celle di cui sopra, e che può fungere					

		da "prestito" per le operazioni di manutenzione annuale delle stesse.
13	93	Per la ciclicità e frequenza degli interventi, all'interno di uno stesso "tratto litoraneo significativo", possono essere studiati snellimenti procedurali autorizzativi e di caratterizzazione dei sedimenti, che permettano una più rapida ed efficace azione di manutenzione stagionale
14	95	Nell'ambito di una strategia complessiva di difesa dei litorali, la riduzione delle perdite di sedimenti dal sistema costiero rappresenta un fattore determinante. Al di là delle perdite causate dall'erosione in senso stretto e dalla subsidenza, ove tale fenomeno risulti marcato, particolare attenzione va posta sulle perdite conseguenti alle ordinarie operazioni di manutenzione delle spiagge non eseguite correttamente o alla mancanza di accorgimenti nella preparazione delle spiagge per la stagione invernale. <i>I temi sono principalmente la pulizia delle spiagge, la realizzazione degli argini invernali di protezione, la realizzazione di barriere frangivento.</i>
15	116	Gestioni pluriennali e finanza di progetto. La possibilità di organizzare una gestione pluriennale dei DSMR, finalizzata al ripascimento manutentivo dei litorali , rappresenta un ulteriore metodo per razionalizzare l'uso della risorsa e raggiungere significative economie. In effetti se le tempistiche di intervento sono rese "flessibili" e distribuite nel tempo, possono anch'esse contribuire a ridurre notevolmente i costi (ad esempio appaltare i lavori in finestre temporali annuali in un arco di tempo pluriennale). Queste gestioni pluriennali si prestano particolarmente a forme di finanziamento misto pubblico e privato come la finanza di progetto così come introdotta dal Codice degli Appalti
16	121	Ad esempio l'inclusione regolamentata in tale contesto degli operatori balneari che hanno interesse alla manutenzione dei litorali , può aumentare il raggio di convenienza di questo genere di risorsa.
17	123	<i>La gestione dei sedimenti litoranei rappresenta una pratica cruciale per la manutenzione della costa, sia in condizioni di squilibrio generale (in attesa di apporti esterni che possano bilanciare perdite assolute verificatesi nel sistema) sia in condizioni di equilibrio, a maggior ragione, per evitare di innescare processi di perdita e arretramento poi più difficilmente governabili.</i> Le risorse di sedimenti "in eccesso" nella fascia litoranea, ovvero utilizzabili ai fini del riequilibrio di zone critiche contigue o comunque a breve distanza, possono essere: accumuli emersi (o che presentano comunque una parte cospicua emersa) come i depositi a ridosso di opere aggettanti (i moli portuali), o di opere di difesa sotto costa (parallele o trasversali) o in zone di convergenza del trasporto solido litoraneo; accumuli sommersi (prevalentemente o esclusivamente sommersi anche in condizioni di bassa marea) come le barre sommerse di avanspiaggia, delle foci dei corsi d'acqua, lagune o bocche lagunari, i depositi a tergo delle opere di difesa distaccate o i depositi alle imboccature dei porti.
18	125	I costi del materiale posato nei vari casi sono estremamente variabili in ragione delle condizioni locali e delle modalità e tecnologie utilizzate. E' auspicabile che i costi di dragaggio si abbassino ulteriormente e che lo sviluppo di appalti pluriennali con flessibilità operative possa contribuire al raggiungimento di economie di scala oltre che a favorire l'avvio di una manutenzione sistematica dei litorali . A supporto delle attività di gestione degli accumuli costieri, in relazione alla manutenzione dei tratti critici o in sofferenza , è importante anche dotarsi di strumenti informativi-gestionali dedicati che permettano di avere un quadro generale e di dettaglio sui trend evolutivi dei vari tratti o Celle litoranee e sulla localizzazione e disponibilità di sedimenti ai fini dell'ottimizzazione delle operazioni di prelievo e ripascimento (con riferimento agli esempi al paragrafo IV.2.2.5).
19	126	<u>Alimentazione del sistema litoraneo – Sedimenti Interni</u> <u>Accumuli litoranei emersi (AS-2.1)</u> → Regione Marche, Regione Calabria, Regione Puglia, Regione Veneto, Regione Liguria, Regione Emilia-Romagna
20	127-128	<u>Alimentazione del sistema litoraneo – Sedimenti Interni</u> <u>Accumuli litoranei sommersi (AS-2.2)</u> Di particolare interesse, in relazione a strumenti dispositivi e semplificazione (?) di sedimenti da accumuli litoranei sommersi, è il caso della Regione Puglia ¹¹² che consente la movimentazione di accumuli entro la profondità di 3 m con procedure autorizzative semplificate per quantità di volumi contenuti di sedimento (fino a 5.000 m ³) utili al ripascimento dei litorali costieri con un prelievo, e ricollocazione, inferiore o uguale a 20 m ³ /ml di spiaggia. Per la modalità di caratterizzazione dei sedimenti per ripascimenti manutentivi , sono da ricordare il caso della Regione Liguria già citato (DGR 1446/2009) e il caso della Regione Lazio che opera attraverso una specifica Convenzione con la propria ARPA regionale
21	135	Una spiaggia da ripristinare o da mantenere (spiaggia funzionale), in relazione a specifiche funzioni della stessa, rappresenta un obiettivo chiaro da raggiungere (cfr. IV.2.3.3) su cui confrontare le diverse ipotesi di difesa e opzioni di intervento e verificare successivamente l'efficacia della soluzione scelta ed attuata.
22	136	La spiaggia di progetto dovrà quindi includere la linea di riferimento nonché un avanzamento necessario ad assorbire i fenomeni erosivi previsti prima del successivo ripascimento manutentivo .
23	169	individuazione di un percorso finalizzato a destinare gli introiti dei canoni demaniali a un fondo dedicato alla gestione e manutenzione dei litorali

24	170	Promozione della costituzione di un fondo nazionale per la gestione e manutenzione dei litorali alimentato da diverse forme di contribuzione (es. canoni demaniali costieri, possibili quote a valere sulla riduzione dei canoni assicurativi dei beni in fascia costiera a seguito di interventi di difesa, messa in valore nei processi produttivi-energia, bioraffinerie-delle biomasse spiaggiate non gestibili sugli arenili, quota della tassa di soggiorno in ambito costiero, forme di contribuzione volontaria, favorite anche da incentivi fiscali); Indirizzo e sostegno, attraverso l'Unità Tecnica per la finanza di Progetto, allo sviluppo di forme di collaborazione pubblico/privato per interventi e attività di manutenzione delle coste;
25	171	Ogni valutazione e analisi sull'assetto del territorio costiero, compresi il fenomeno erosivo e le opzioni di adattamento, dovrebbe tenere conto delle previsioni di variazione del livello del mare e degli impatti del cambiamento climatico al fine di decidere in modo corretto se e quali azioni e interventi potranno essere utili, durare sufficientemente o avranno bisogno di manutenzioni e correzioni nel tempo, essere sostenibili e condivisi dalla società e dai portatori d'interesse.
26	202	dalle opere di difesa ci si aspetta una riduzione locale dell'erosione costiera ma non ci si può aspettare in generale una rigenerazione degli arenili erosi (se non a discapito di altri arenili); le opere poste a difesa di una spiaggia devono quindi essere in generale affiancate da interventi di rialimentazione se si vuole raggiungere una spiaggia di progetto, ritenuta necessaria per il recupero della funzionalità originaria, ed affiancati altresì da una ri-alimentazione di manutenzione se permane comunque un trend erosivo; dalla ri-alimentazione degli arenili ci si aspetta una ricostruzione delle spiagge ed un recupero della loro funzionalità ma non ci si può attendere una riduzione del fenomeno erosivo in quanto non si incide sulle condizioni che lo hanno determinato e che continuano a sussistere; gli interventi di rialimentazione, per mantenere la spiaggia di progetto, devono quindi essere ripetuti con una intensità pari al trend erosivo registrato;
27	228	Il punto di partenza per una corretta gestione delle coste, finalizzata a perseguire lo sviluppo economico sostenibile delle coste italiane, richiede la definizione di alcuni fattori caratterizzanti il territorio: - uso del suolo e ricognizione dei problemi, - aspetti sedimentologici e geomorfologici della fascia emersa e sommersa, - qualità delle acque, - spetti paesaggistici, soprattutto delle "aree libere", - aspetti insediativi e infrastrutturali, evoluzione temporale e tendenze in atto, - <u>spiagge e ripascimenti, intesi come manutenzione costante e sostenibile che evitano l'emergenza,</u> - giacimenti sedimentari, -portualità, intesa come sviluppo economico, impatto tecnico-costruttivo e urbanistico.
28	279	L'impiego dei depositi litoranei per il ripascimento manutentivo delle spiagge è quindi già di fatto una realtà importante in un quadro di gestione integrata dei sedimenti per la difesa delle coste dall'erosione e dagli effetti del CC.
29	294 obiettivi fondamentali programma di attività Risorse a Sedimenti	La promozione di un equilibrato processo di <u>rialimentazione del sistema litoraneo</u>, ricorrendo a diversi tipi di risorse sedimentarie (da cave marine, da depositi litoranei, dalla rimobilizzazione dei sedimenti nei bacini artificiali, ecc.) e ad una <u>parallela riduzione delle perdite del sistema</u> (opportune opere di difesa, gestione e manutenzione sostenibile degli arenili, riduzione della subsidenza laddove manifesta tassi importanti, ecc.).

Tab. 2 - Citazioni delle varie definizioni con cui viene introdotto il concetto di **Manutenzione della spiaggia** nelle Linee Guida Nazionali (Da notare che nel testo originario si fa uso del termine *Ripascimento manutentivo* ben al là di quanto sopra riportato, in **particolare** si hanno ulteriori citazioni nelle normative Regionali omesse in questa sede).

Da notare che nelle varie definizioni della manutenzione compare anche la possibilità di affiancare soluzioni protettive complementari, ossia di realizzare “ripascimenti” protetti.

Pur nelle varie accezioni (da notare che nel testo originario si fa uso del termine *Ripascimento manutentivo* ben al là di quanto sopra riportato), è evidente come il concetto di *manutenzione* nel contesto costiero e in particolare balneare come in questo caso, sia facilmente declinabile non come attività tesa a riportare alla condizione di funzionalità iniziale un progetto già eseguito ma come attività di ripascimento (s.l) manutentivo periodica (anche stagionale) o persino continua, che attraverso la ricarica dei volumi sabbiosi promuova la resilienza stessa della spiaggia. E' in tale prospettiva che le LLGG si rifanno anche al concetto di “linea di costa ottimale” o di una “spiaggia di progetto”, o ancora “spiaggia funzionale”.

6. SPIAGGIA DI PROGETTO (SPIAGGIA FUNZIONALE) O LINEA DI COSTA OTTIMALE

La *spiaggia di progetto* è un concetto progettuale che deve attenersi innanzitutto al criterio della **sicurezza**. Per tale ragione le LL.GG. TNEC 2018 stabiliscono (pag. 136/305) che *“la spiaggia dovrà avere un'estensione ed una morfologia tale da proteggere i beni esposti di interesse (dune, ambienti naturali, abitati, infrastrutture, falde acquifere, ecc.)”*. Il criterio **economico** (**“Altre funzionalità”**) è tuttavia ampiamente contemplato dal momento che a pag. 136/309 le LL.GG. 2018 fissano un punto piuttosto interessante, ovvero che **la spiaggia dovrà avere un'estensione adatta al mantenimento o allo sviluppo degli obiettivi ad esempio turistico-ricreativi, già in essere, definiti o attesi dalle comunità locali**, ossia quelli di una spiaggia ricreativa (**Recreational beach**). Nel caso specifico e in innumerevoli altre circostanze del periplo costiero sardo, è di tutta evidenza che le finalità turistico-ricreative siano essenziali. Pur potendosi discutere sul significato di “comunità locali”, appare dunque altrettanto rilevante sottolineare come contemplare il conseguimento di una *Spiaggia di progetto* così concettualizzata, imponga la necessità di Pianificare interventi di Manutenzione ordinaria del Demanio Marittimo per finalità turistico-ricreative e le spiagge così concepite, di fatto non possono che definirsi.

7. CONCETTO DI UNITÀ FISIOGRAFICA

Poiché **“La definizione e le valutazioni di una “spiaggia di progetto” devono estendersi e tenere in considerazione necessariamente tutta l'unità litoranea che si è individuata come unità minima suscettibile di interferenze da parte dell'intervento e dell'opzione di difesa, soprattutto quando la spiaggia di progetto prevede l'inserimento di opere rigide di contenimento locale dell'erosione”** (Pag. 136/305 delle LL.GG.) appare molto importante assumere la massima condivisione concettuale anche nel merito di quel che riguarda la definizione di tale unità litoranea, usualmente definita Unità Fisiografica. Sappiamo infatti che il concetto di **Unità litoranea** o **costiera** non è affatto univoco; semmai esso è variamente scomponibile o, meglio, adattabile alle necessità e ai contesti a cui riferirlo (in passato, nell'ambito di provvedimenti amministrativi che hanno riguardato la VIA del progetto n. 2 in Premessa, è stato fatto ricorso al concetto di Unità Fisiografica di riferimento) e non è neppure del tutto pienamente e unanimemente condiviso dalla letteratura geomorfologica e da quella idraulico marittima. Occorre dunque in questa sede assumerne una concorde definizione a partire da quella di **Unità Fisiografica** (UF) che viene fornita in Matt & MEF (2005) a pag. 206-207. In base ad essa le UF sono “tratti più o meno lunghi...all'interno dei quali i sedimenti che formano o contribuiscono a formare la spiaggia presentano movimenti “confinati”, poiché gli scambi con le spiagge limitrofe sono nulli o comunque caratterizzati da quantitativi trascurabili. Dal punto di vista ingegneristico un'unità fisiografica comprende la zona di influenza di ogni intervento realizzato al suo interno”. In tale modo, in questa accezione, al netto delle ulteriori implicazioni a carattere idraulico sulla probabilità degli eventi che attivano le singole dinamiche, le **UF** sembrerebbero coincidere con le **Celle litorali** ossia coi corrispettivi geomorfologici, intese come porzioni di litorale affiancate lungo costa che rappresentano dei sistemi chiusi in termini di trasporto lungoriva dei sedimenti (Barsanti & Valloni, 2009). E' evidente che entrambe le definizioni contemplano la necessità di poter riconoscere e valutare *a priori* il trasporto dei sedimenti, quantunque questa conoscenza in realtà risulti solo *a posteriori* e sia fra le più complesse da acquisire. Ne consegue che la definizione dell'UF nella pratica progettuale sia ottenuta per via indiretta e presuntiva in base ai fattori che possono dare luogo al trasporto solido nell'ambito della stessa presunta UF, ossia i seguenti (cfr. pag. 207 MATTM & MISE, 2005):

- ☒ assetto geo-morfologico e morfo-strutturale del litorale in ambito emerso e sommerso, ivi compresa la connessione con bacini idrografici sottesi
- ☒ assetto morfo-batimetrico (spiaggia emersa e sommersa)
- ☒ assetto topo-batimetrico (spiaggia emersa e sommersa)
- ☒ esposizione del paraggio al moto ondoso
- ☒ caratteri sedimentologici e dettagli morfodinamici della fascia costiera.

In ogni caso (cfr. pag. 208, MATTM & MISE, 2005):

- ☒ “soprattutto quando l'unità fisiografica si presenta molto estesa, si possono definire all'interno di essa sub unità-fisiografiche delimitate da elementi singolari, quali foci di corsi d'acqua, capi rocciosi, o opere marittime, testate di canyon sottomarini.”
- ☒ “L'individuazione di una sub-unità fisiografica dal punto di vista ingegneristico consente talvolta di limitare la zona di investigazione di un intervento realizzato al suo interno.”

A pag. 171 del Cap. IV A delle LL.GG. per l'Erosione costiera nella Definizione e Gerarchizzazione degli ambiti costieri (IV.1.2), si legge che “Ai fini dell'analisi della dinamica litoranea e della valutazione di azioni di adattamento agli effetti dei cambiamenti climatici, viene introdotta un'organizzazione degli ambiti costieri secondo una gerarchizzazione a cui associare il livello di attenzione per gli studi dei fenomeni idrodinamici e per la progettazione di interventi anche in relazione al loro reciproco grado di interferenza”. In tal modo nelle LL.GG. le UF costiere vengono distinte e gerarchizzate in:

- a) **principali (ambito costiero 1°ordine),**
- b) **secondarie (ambito costiero 2°ordine),**
- c) **gestionali (ambito costiero 3°ordine)**
- d) **sub-unità gestionali (ambito costiero 4°ordine)**

A ciascuna di esse vengono associati dei tempi di ritorno per la definizione delle profondità di chiusura a cui associarle, secondo la tabella successiva, tratta dalle LLGG nazionali sull'erosione Costiera (2018):

Unità fisiografica costiera	Gerarchia degli ambiti costieri	Definizioni equivalenti	Elementi di delimitazione	Tempi di ritorno per la profondità di chiusura	Ambito di riferimento
Principale	1° ordine	UF principale	Elementi naturali	TR 100 anni	Pianificazione stralcio di bacino
Secondaria	2° ordine	Macro-cella	Elementi naturali e grandi porti	TR 50 anni	Pianificazione stralcio di bacino, progettazione grandi porti
Unità Gestionale	3° ordine	Cella, Macrocella gestionale	Elementi naturali, grandi porti, porti medi, punti singolari	TR 10 anni	Interventi di difesa della costa, progettazione di porti di medie e piccole dimensioni e di opere marittime, attività di gestione dei sedimenti
sub-unità gestionale	4° ordine	Micro-cella, Cella gestionale	Elementi naturali, grandi porti, porti medi, punti singolari, limiti gestionali	TR 2-5 anni	Statistiche, manutenzioni ordinarie, gestione ordinaria e stagionale

Tab. 3 - Sintesi delle definizioni di Unità Fisiografiche e Unità Gestionali. Tratto da Pag. 58/305 delle LLGG

Nel progetto in Studio, così come si era fatto per i progetti del 2018, per analizzare il contesto sul piano geomorfologico morfodinamico e provare e dunque per provare per via “analogica” a definire la dinamica del litorale, occorrerà distinguere n.2 riferimenti di Unità Fisiografiche costiere:

1. L'Unità Gestionale (o macrocella gestionale)
2. 2 Sub-unità gestionali (o micro-celle)

7.1 DEFINIZIONE DELL'UNITÀ FISIOGRAFICA DI PROGETTO

Preso atto di quanto fin qui esposto, al fine della definizione dell'unità fisiografica s.l. a cui fare riferimento, occorre considerare i seguenti aspetti:

1. la spiaggia di Santa Margherita di Pula (SMP) va inquadrata nell'ambito di una più vasta e complessa Unità Litorale;
2. il progetto s'inserisce entro una specifica porzione della spiaggia di Santa Margherita di Pula (SMP);
3. questa porzione di spiaggia nel dettaglio risponde a delle caratteristiche geomorfologiche sue proprie rispetto alla più vasta spiaggia di Santa Margherita di Pula con cui è certamente in connessione morfodinamica;

4. il progetto necessariamente interesserà e interferirà sia con la parte emersa che con quella sommersa della spiaggia;

Lo stesso modello geomorfologico illustrato più avanti, elaborato a partire da tale più vasta unità, metterà via via in evidenza gli elementi, sia anamnestici che diagnostici, utilizzati da chi scrive per traghettare le scelte progettuali finali.

L'Unità Litorale di inquadramento, come detto, ricomprende al suo interno almeno n. 2 Unità Gestionali.

Per le finalità di cui al 1° punto può su vasta scala essere preso in considerazione il **Programma Azione Coste (PAC; 2013)** che costituisce una parte del PGRA elaborato dall'Autorità di Bacino Regionale. Il litorale di SMP viene fatto rientrare dal PAC della RAS nell'**Unità Fisiografica n.8.** Va tuttavia detto da subito che in base alla stessa definizione assunta nel medesimo Programma, a pag 17 della Relazione Generale (Cap. *Descrizione delle 20 Unità fisiografiche individuate*)⁶, per la individuazione e la delimitazione delle Unità (che fanno riferimento al trasporto longitudinale potenziale di materiali che contribuiscono all'evoluzione della costa.) si nutrono riserve nel selezionare tale spazio come Unità Fisiografica. Ciò soprattutto per la presenza all'interno di tale porzione di un quadro di particolarità sia marittime (meteo marine e ondometriche) che geologico marine e conseguentemente geomorfologiche che non consentono affatto di assecondare tale scelta (basata su *Criteri di individuazione e delimitazione idrodinamica*) ai fini del PAC (sono infatti almeno 4 le UF credibilmente riconoscibili in base ai criteri assunti).. Va aggiunto, peraltro, a tale riguardo che il PAC, nell'ambito di tale concettualizzazione, fa ricorso ad una *"definizione semplificata di trasporto litorale potenziale"* che contempla i seguenti tre aspetti (pag.17 Relazione generale del PAC):

- I. *si considera il solo verso prevalente del trasporto ignorando i brevi tratti con trasporto in senso inverso;*
- II. *si ignora il trasporto trasversale alla costa;*
- III. *si considera il trasporto netto su osservazioni a lungo termine per cui è possibile rilevare un verso temporaneamente opposto.*

Ne consegue, alla luce del contenuto, che la definizione di UF data dal PAC non può essere adattabile in alcun modo al progetto di cui si discute e di conseguenza essa può considerarsi utile nel presente contesto. Ad ogni modo, perplessità a parte, tale Unità in qualche modo rimanda o può essere riconducibile al concetto di **Unità Fisiografica principale** di 1° Ordine di cui alla Tab.2 stessa.

Tuttavia nell'ambito della Relazione del PAC, l'Unità Fisiografica principale (o **UF di 1° Ordine** secondo la Tab.2) a cui occorre fare riferimento in questa sede, è ricompresa fra il **promontorio di Nora** o **Capo Pula**, a Nord Est, e **Capo Spartivento** a SudOvest. Tale scelta scaturisce da una apparente o potenziale continuità degli ambienti sedimentari sottocosta che fanno ammettere la possibilità di scambio sedimentario, quanto meno in condizioni di forti mareggiate e di tempesta associabili in via ipotetica a $Tr > 10$ anni (Tr_{50} anni). Contrariamente a quanto definito nel PAC, essa risponde pienamente alle condizioni di approssimazione del PAC (cfr. Relazione Generale, nota a fondo pagina n.7).

Preso atto di ciò, e considerando quanto esposto nella Fig.7, la Macro-cella di 2° ordine è riconoscibile fra Capo Pula e gli aggetti rocciosi di Punta Aqua Ferru (Fig.8). Tuttavia al di là di questo aspetto, ai fini della presente trattazione, all'interno della **Macro-cella di 2° ordine** si può riconoscere come **cella di 3° ordine** o **Unità Gestionale di Santa Margherita di Pula (UG di SMP)** la porzione ricompresa fra il Porto di Cala Verde e Punta Aqua Ferru (Fig.7 e 11).

In realtà l'aggetto NE di *Cala Verde* è in parte artificiale poiché il Porticciolo Turistico è stato ricavato a partire dal 1983 sovraescavando un sostanziale "prominenza" del sostrato geologico, in territorio di Pula, sfruttando la foce del torrente Riu Pedrosu. L'estremità SW dell'UG corrisponde non tanto al termine della continuità della falcata emersa quanto alla soglia più stretta della spiaggia sommersa e segna l'inizio del tratto a falesie e spiagge incassate (*Pocket Beach*) che si sviluppa in territorio di Domusdemaria oltre il margine Sud Est del

⁶ Da pag.17 della Relazione Generale del PAC emerge che: *Le Unità Fisiografiche (UF) fanno riferimento al trasporto longitudinale potenziale di materiali che contribuiscono all'evoluzione della costa. I criteri di individuazione e delimitazione spaziale sono di tipo idrodinamico costiero e geomorfologico. Il criterio di tipo idrodinamico ha permesso l'individuazione di tratti dello sviluppo costiero lungo i quali il trasporto solido netto, in un intervallo temporale prestabilito, è unidirezionale, continuo o convergente verso un punto interno dell'UF. I limiti fisici delle UF sono stati quindi individuati nelle zone di divergenza del flusso longitudinale. Dal punto di vista geomorfologico, questa condizione corrisponde alla presenza di promontori ben sviluppati.*

territorio di Pula, a circa 1 Km a SudOvest dal sito turistico di *Pinus Village* (Punta S'Aqua Ferru-Punta de Su Scovargiu).

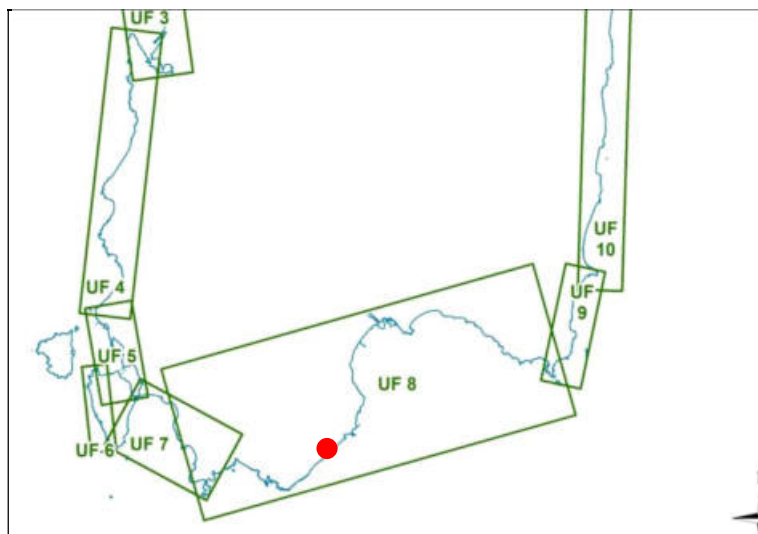


Fig. 6 – Stralcio della Cartografia d'inquadramento delle Unità Fisiografiche del P.A.C. Il cerchio rosso inserito in questa sede ubica l'intervento. Si tratta dell'UF di 1° Ordine

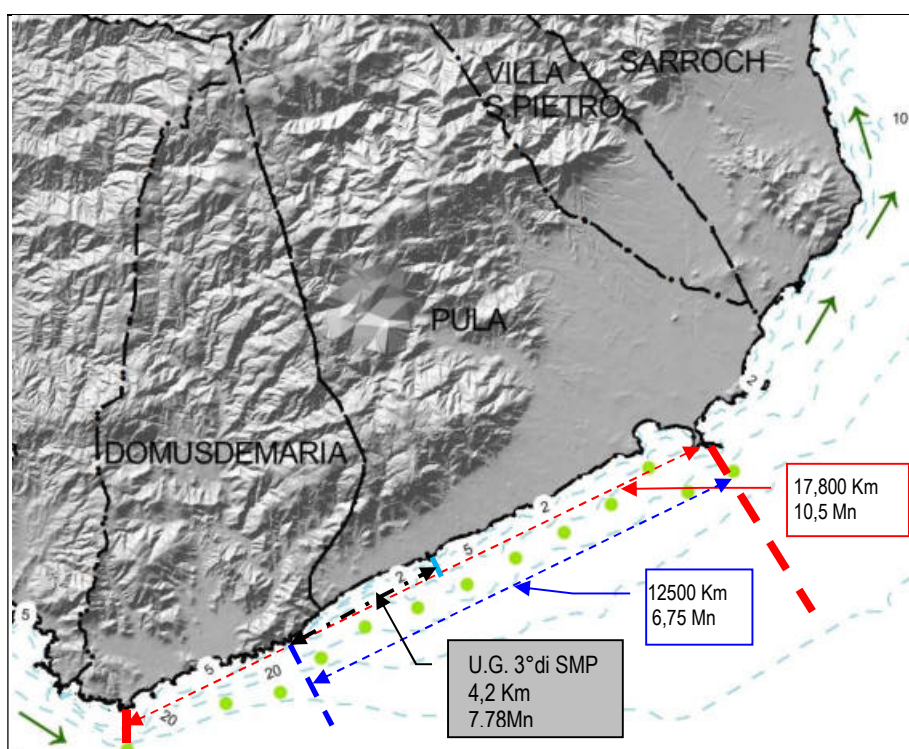


Fig. 7 - Stralcio da Carta dell'UF. 8 (Capo Teulada-Capo Carbonara) del PAC. Le frecce nere riscontrano del flusso netto longitudinale. I cerchi verdi definiscono settori senza verso prevalente riconoscibile. Il tratteggio in rosso si riferisce ai limiti fissati dai ragionamenti sviluppati nel presente testo sull'UF di 1° Ordine (**Macro-cella** secondo Tab.2). Quello in blu delimita l'UF di 2° Ordine. La freccia a segmenti neri individua l'UG di 3° ordine di Santa Margherita di Pula, comprendente **SUG1** a NE e **SUG2** (a SW; 4°ordine). Nel presente rapporto si è ulteriormente distinta da NE a SW la SUG 1 in SUG1a e SUG1b e SUG2 in SUG2a e SUG2b.

Settore questo dove, pur in un quadro di discontinuità geomorfologica di ambito emerso in falesia, l'**UG** va a sfumare, senza in realtà interrompersi del tutto, potendo incidentalmente e residualmente dare adito ad un esiguo scambio fra i sedimenti prossimali delle due porzioni sommerse disposte immediatamente ad Ovest e ad Est (Fig. 8). Resta infatti un certo margine d'incertezza, in considerazione del notevole controllo geologico

della spiaggia sommersa (batimetrie; morfologie), non solo su basse profondità. Tali incertezze attengono al fatto che indubbiamente se si fa caso alla spiaggia sommersa, se il limite Nord Est appare definito con una certa sicurezza a Capo Pula, quello SudOvest non coincide né col termine della spiaggia emersa (Cala Bernardini) né con l'estremità meridionale della più meridionale spiaggia di Pinus Village e neppure con l'aggetto di Punta Aqua Ferru a Sud di Su Scovargiu in territorio di Domusdemaria, nel quale la spiaggia sommersa tende a chiudersi ma non completamente. Infatti qui, verso mare ed entro il limite della profondità di chiusura, la spiaggia sommersa, seppur con una esigua porzione di circa 20m conserva la continuità, pur senza dare corso a spiagge sabbiose emerse, almeno fino a Cala de Sa Musica, oltre la quale si spinge fino al settore sabbioso di Chia.

Nelle Figure successive (Figg.7, 8, 9, 10, 11) vengono meglio precisate tali definizioni.

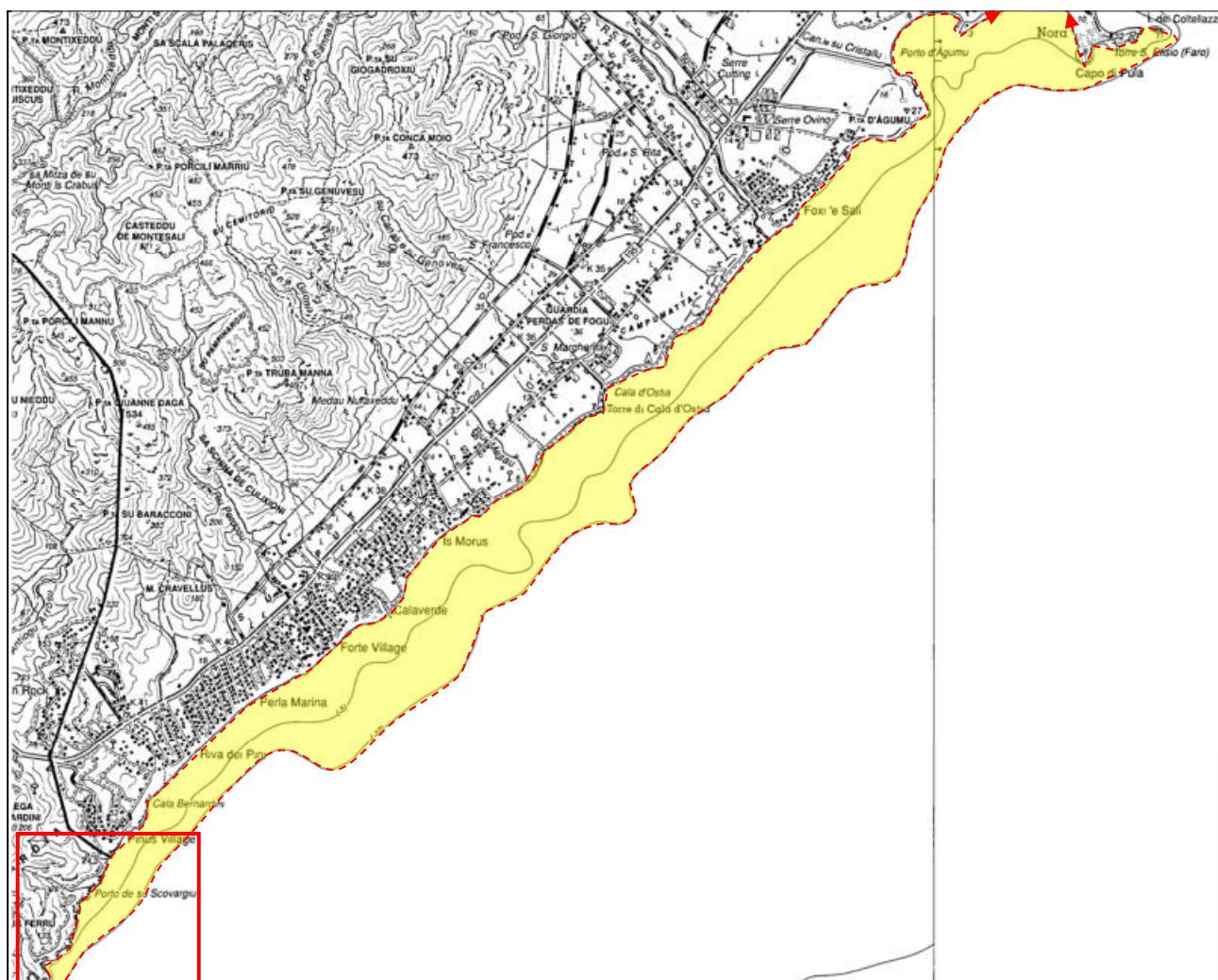


Fig. 8 - Stralcio Tav.Topografica IGMI 573 in scala originaria 1:50.000. Al riquadro si riferisce la Fig.9

Nell'**UG di SMP** tuttavia si distinguono con facilità due segmenti di litorale a differente assetto morfodinamico che concorrono a delineare, quindi, due Sub-Unità gestionali di 4°Ordine (**SUG1** e **SUG2**). Esse sono evidenziate in Fig.11. La prima a Nord ha un evidente controllo geologico del fondo, rispetto a quella meridionale. La distinzione delle sub-unità è ricavata dallo stato di affioramento sul fondo del sostrato geologico.

L'articolazione litostratigrafica dell'UG di SMP così definita, in particolare quella del settore marittimo Cala Verde-Forte Village, non funge quindi da mera condizione di sfondo del progetto ma ne costituisce una condizione *al contorno* dirimente. Per cui, proprio dalla presenza da un lato del **sostrato roccioso** come bassofondo relativo su di un tratto e, dall'altro delle coperture detritiche continentali emerse, scaturiscono alcuni dei principali elementi di condizionamento morfologico e conseguentemente morfodinamico della

spiaggia. L'assetto geomorfologico che ne consegue ai fini morfodinamici è infatti quello di una spiaggia microtidale a tendenza morfologica complessa scomponibile in almeno due macro segmenti che pur rientranti in una medesima Unità tendono ad avere comportamenti difformi. Da qui la loro distinzione:

il primo (cfr. linea rossa di Fig. 5) ricompreso nella **SUG1** fra l'aggetto di Cala Verde e la zona del Forte Village, di circa 1 Km (**0,85Km** se consideriamo l'aggetto naturale della scogliera anziché quello artificiale), è un tratto di costa che, come anticipato, risponde in gran parte ad uno **stretto controllo geologico**. S'intende con questo termine l'influenza del sostrato roccioso sulla morfologia e sulla batimetria, tale da non far rientrare la specifica sub-unità nella schematizzazione convenzionale trasversale di una spiaggia. Ciò in quanto le strutture rocciose del sostrato terziario (in genere banchi di arenarie, conglomerati e arenarie siltose della **Formazione del Cixerri**) determinano una particolare morfologia (morfostruttura) subacquea che condiziona le batimetrie portando a protendere verso il largo, come aggetto roccioso sommerso, su profondità inferiori alla profondità di chiusura media, una serie di strutture sedimentarie in banchi la cui articolazione, determina a sua volta bassifondi soffici (o comunque a minore profondità) generate da intrappolamento sedimentario, talora aperte su di un lato. In sostanza queste morfostrutture rocciose, riducono la mobilità dei sedimenti che vi si depongono (che pertanto sono volumi sottratti alla dinamica ordinaria).

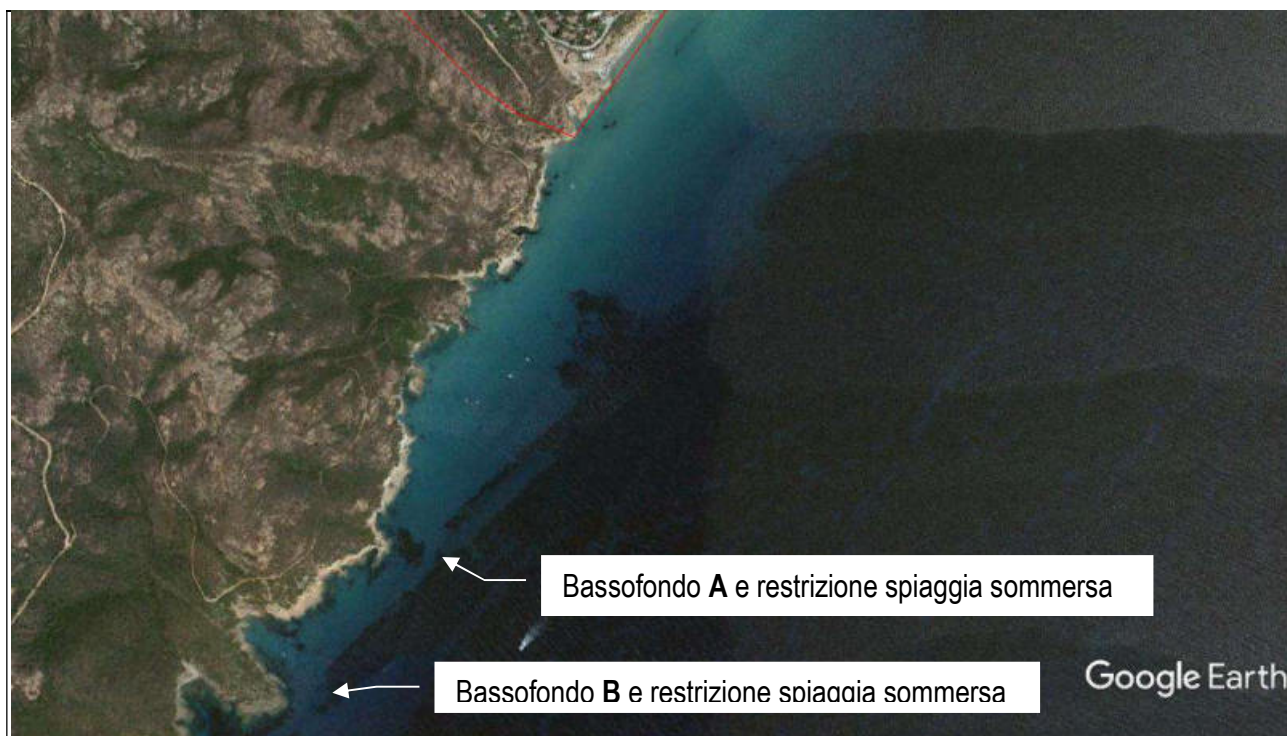


Fig. 9 - Limite SW dell'Unità Fisiografica di 2° ordine. Si noti l'importanza della barra sabbiosa sottocosta

Dette morfostrutture rocciose sono in sostanza delle testate dei banchi tettonicamente piegati e sbandati della Formazione del Cixerri. Tale formazione in gran parte del paraggio ed anche in questa porzione di spiaggia, è rappresentata da arenarie e arenarie siltose da rossastre a grigiastre, immerse verso SudEst e quindi disposte obliquamente rispetto alla spiaggia e soprattutto trasversalmente all'onda incidente obliqua di Scirocco, ritenuta quella che determina la massima azione morfodinamica in virtù della sua inclinazione rispetto all'asse longitudinale della falcata.

Anche per questo tale sub-unità **SUG1**, al netto dei condizionamenti artificiali di ambito emerso (riflettività) si presenta con una maggiore tendenza **riflettente** rispetto alla spiaggia modale nella sua interezza poiché soggetta strettamente all'influenza della *infrastruttura* geologica che in un ampio spazio sommerso impedisce di fatto sia in configurazione estiva che, tanto meno, invernale la formazione di vere e proprie (robuste) barre sommerse e sottraendo gli specifici volumi intrappolati.



Fig. 10 - Unità Fisiografica o Macro-cella di 2° ordine sensu Tab.3 (L=12,5 Km circa). Immagine del 23/04/2017.

In ogni caso, in virtù di tali osservazioni, tali sacche di intrappolamento di sedimenti sabbiosi, **sono quelle da cui prioritariamente si può attingere ai fini del ripascimento. In tal modo infatti esse verrebbero rimobilizzate, o meglio restituite ai volumi morfodinamicamente attivi, senza essere sottratte alla morfodinamica, in quanto tali sono, per lo più nello stato attuale.**

Infatti in ambito sommerso la sabbia sottratta d'inverno alla spiaggia emersa con le mareggiate più intense (Tr5-10 anni o superiori), di volta in volta si depone nelle suddette trappole morfologiche del sostrato geologico della Formazione del Cixerri (vedi oltre) e ben difficilmente può riprendere ad essere attiva nel periodo estivo di bel tempo **a meno di sollecitazioni artificiali per by pass.**

Si tratta dunque di volumi progressivamente sottratti al budget attivo della spiaggia che possono ritornare nel budget stesso e, attraverso il presente progetto, essere impiegati nella ricostituzione del profilo mancante nel tratto più depauperato. La loro sottrazione non comporterebbe alcun effetto sul profilo complessivo della spiaggia.

Con tutta evidenza i bassifondi generati dalle strutture geologiche sono disposti per lo più in contrasto trasversale con l'ondazione più inclinata e insidiosa per il paraggio fra quelle morfodinamicamente significative, ossia quella da SudEst (Scirocco). Tuttavia è ben noto che anche onde corte, come possono essere quelle smorzate dal frangimento, tendono a provocare erosione longitudinale nei settori prossimi alla battigia. Questo induce a pensare che se si trattasse invece di strutture in debito affioramento, l'effetto dissipativo sui vettori obliqui alla spiaggia e ad esse normali, sarebbe più efficace ed a tutela del profilo di spiaggia stesso.

Non di meno, ai fini della presente integrazione **SUG 1** può essere distinta in **SUG1a** e in **SUG1b**:

SUG1a (350m) costituisce una sottounità di **SUG1** con bilancio **progradante ed aggradante** per il locale effetto di intrappolamento morfodinamico operato sul ripascimento naturale della spiaggia dall'aggetto

roccioso subacqueo (Bassofondo impostato su di una morfostruttura geologica della Formazione del Cixerri), da quello emerso (idem) e delle opere marittime aggettanti.

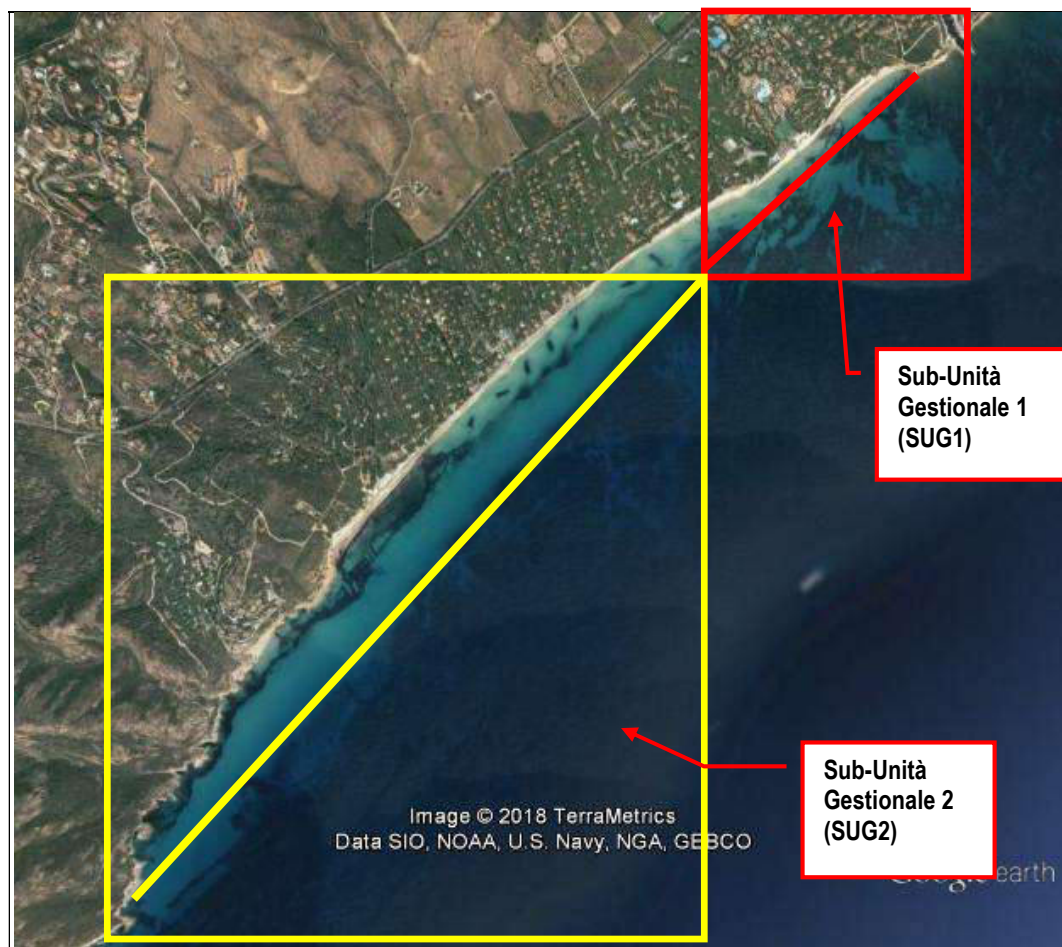


Fig. 11 - Scomposizione dell'Unità gestionale di riferimento (UG SMP) o UF di 3° Ordine in due Sub Unità gestionali. La n. 1 è quella a cui si riferisce direttamente il progetto; la n.2 è quella potenzialmente e indirettamente interessata. Immagine del 23/04/2017.

SUG1b (400m) costituisce una sottounità di SUG1 con **bilancio multitemporale in arretramento strutturale** conseguente alla sua diffusa condizione riflettente generata dal controllo geologico subaereo della spiaggia emersa e subacqueo della batimetria e della morfologia che non consentono la strutturazione di un profilo convesso potente e permanente. Tale segmento nel contesto dell'UG principale si comporta di fatto alla stregua di un promontorio. Essa corrisponde all'area su cui quindi è necessario intervenire a scopi di stabilizzazione in considerazione che tale area è sede di un'importante concessione balneare. La spiaggia quantunque periodicamente si ripresenti assume sempre geometrie meno robuste sia in termini di profondità che di robustezza del profilo convesso; ha pertanto un bilancio negativo di lungo periodo e la sua condizione espone le strutture che sono state realizzate in corrispondenza dell'oggetto roccioso che la sovrasta.

La seconda, SUG2 (cfr. linea gialla di Fig.11) di circa **1800m** è compresa grosso modo fra il punto (o l'area) in cui il bassofondo roccioso della spiaggia si allontana a circa 200m dalla linea di costa e la chiusura della falcata al termine di Cala Bernardini (*Punta de Su Scovargiu*). In detto tratto che risponde ad una tipica spiaggia **intermedia cuspidata con forme ritmiche e barre oblique**, si sviluppa una spiaggia sommersa più convenzionale e meno geologicamente vincolata, che risulta morfologicamente più *elastica* di SUG1, ossia stagionalmente meno vulnerabile, quantunque soggetta a ovvie flessioni trasversali, segnatamente riduzioni volumetriche del profilo emerso invernale (con immagazzinamento e incremento delle barre sommerse), fermo restando l'evidente depauperamento delle forme dunari, già di per sé poco estese e la permanenza di una certa riflettività invernale della spiaggia per effetto delle ripe sulle conoidi Pleistoceniche (PVM_{2a}) che delimitano la spiaggia emersa, a tratti contornata da una duna che tuttavia è stata edificata e per la restante

parte si presenta sempre particolarmente degradata e in dissesto, anche laddove fosse vegetata. Lungo tutta la **SUG2** la mobilità morfodinamica non appare vincolata così strettamente agli elementi morfostrutturali del fondo. La batimetria è, quindi, decisamente più piano parallela per l'assenza di bassifondi rocciosi. La spiaggia modale, tuttavia, non assume connotati del tutto dissipativi a causa della presenza, subito a monte della spiaggia, di una tipica **ripa rocciosa** in detriti di versante coerenti, via via più grossolani e spigolosi mano mano che si approssima il basamento alla costa. Questa formazione geolitologica, sovra incisa dal moto ondoso all'attuale livello di stazionamento e in parte scalzata dal **run up**, fatto salvo la parte più meridionale della spiaggia studiata, ospita l'intera spiaggia emersa (sabbiosa con strati ciottolosi alla base) e parte di quella sommersa, delimitando la sua berma di tempesta e costituendone il letto. Verso il largo e verso Sud scompare per erosione e sul fondo oltre una certa profondità compare il basamento intrusivo, affiorante mano mano che si procede verso SudOvest. In tale direzione, in ambito emerso questa formazione fa comunque da substrato ad un sistema di dune poco potenti, talora pioniere, e poco sviluppato verso l'interno, per lo più stabilizzate dalla vegetazione.

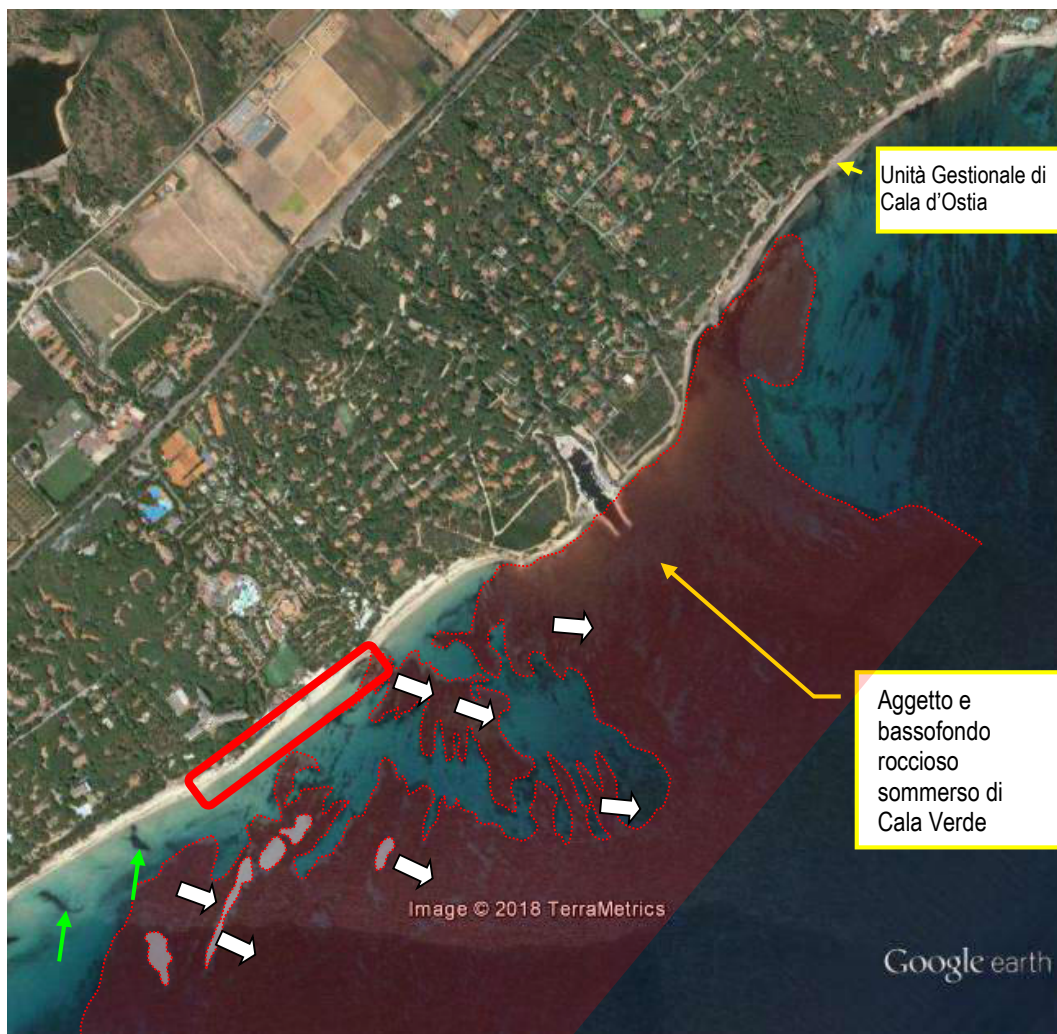


Fig. 12 - Schema geomorfologico di **SUG1** nel tratto sommerso a cavallo con **SUG2** a SW e con l'UG di Cala d'Ostia; in evidenza le morfo-strutture rocciose emergenti sul fondo che definiscono la porzione di spiaggia a particolare controllo geologico, attribuibili per lo più alla Formazione del Cixerri (Eocene medio-Oligocene inf.?). Si tratta di banchi di arenarie e arenarie siltose rossastre e grigiastre immergenti verso SudEst (freccie bianche) posti a batimetrie modeste (in Figura tali profondità sono inferiori a quella di chiusura). Nel riquadro l'area principale d'intervento corrispondente a **SUG1b**. **SUG2b** mostra chiaramente l'effetto di *Rip current*. L'immagine utilizzata è del 23/04/2017.

La spiaggia emersa di **SMP** tende a sigillarsi in corrispondenza degli affioramenti di ammassi intrusivi, contrassegnati dal tratto terminale e dalla foce del Riu Su Baracconi. Tale aggetto roccioso funge da discontinuità intermittente con la cosiddetta Cala Bernardini, segmento di spiaggia emersa più a Sud che in periodicamente si ritrova in sostanziale continuità anche in ambito emerso con la spiaggia di **SMP**. Nella

ricognizione del Luglio 2024 tutto il settore è apparso arretrato di non meno di 20m rispetto alla ricognizioni di Maggio 2022 con segni di arretramento e dissesto (piccoli smottamenti ed erosioni) sulla ripa ghiaiosa di base. Poiché quindi il settore terminale più meridionale di SUG2 presenta caratteristiche peculiari e, può andare periodicamente soggetto a importanti progradazioni ed altrettanto importanti retrocessioni, anche qui ai fini della presente integrazione è preferibile operare (da E a W) la distinzione, rispettivamente in SUG2a e SUG2b.

SUG2a costituisce il settore centrale e più ampio (**1300m**) della SUG2 della spiaggia di SMP, più noto in generale con denominazioni locali (*Stella Marina; Perla Marina*), che in virtù dell'avvicendamento dei vettori ondosì obliqui può essere periodicamente ripasciuto longitudinalmente ora da SUG1b (in prevalenza di ondazione da SE) ora di SUG2b (in prevalenza di ondazione da SW) o può mettere a disposizione di queste parte dei suoi volumi, senza tuttavia subire nel profilo conseguenze morfodinamiche significative (riduzione della profondità o dello spessore) ossia tali da generare criticità sulle pur numerose strutture in concessione, salvo subire occasionali sovralti del *run up* invernale. La ritmica delle retrocessioni e degli avanzamenti della battigia appare quindi piuttosto elastica e a bilancio stabile con tempi di rilassamento dello specifico segmento che appaiono meno elevati rispetto altri sottosettori e comunque rientranti nella sfera stagionale annuale. Ne consegue che in estate tale sottosettore manifesta un profilo progradante (da 30m a 45 m dalla ripa) e spessori importanti della berma rispetto a l.m.m.(1,00-1,20m). La spiaggia conserva un fronte dunare discontinuo e in uno stato di particolare degrado (è edificata di fatto).

SUG2b (400m sino all'inizio di Cala Bernardini) rappresenta il segmento che si considera terminale ai fini della presente integrazione. A dispetto della collocazione al termine della falcata, la sua morfodinamica appare alquanto variabile a tutta riprova del carattere intermedio fra dissipativo e riflettente. Quest'ultimo carattere è tuttavia parzialmente mitigato dalla sussistenza di apparati dunari, sia pure in cattivo stato almeno in una parte del segmento. E' inoltre presente la foce del Riu Baracconi, canalizzato, regimato ma nel tratto terminale non mantenuto.

SUG2 si caratterizza inoltre rispetto a SUG1 per l'esteso incremento modale dello sviluppo del profilo trasversale in ambito sommerso ossia del tratto di spiaggia sommersa, con evidenti maggiori opportunità di immagazzinamento di volumi sabbiosi entro più consueti sistemi a multi-barre la cui dinamica appare vivacissima se si esaminano le foto aeree (cfr. Relazione integrativa a firma del geologo).

Riassumendo, da tale quadro consegue che:

l'intera spiaggia, cioè l'UG di SMP, pur presentando variazioni stagionali marcate mostra un assetto complessivamente stabile ove tuttavia, in ragione della sua estensione da un lato e della sua esposizione a ondazioni oblique dall'altro, si manifestano stagionalmente morfodinamiche contrastanti fra loro che possono dare luogo a risultati morfologici molto diversi sia stagionalmente che per tempi pluristagionali. In questo quadro deve essere evidenziata rispetto alle altre Sub unità la vulnerabilità della SUG1b poiché la più esposta nel breve periodo a processi erosivi e tendente storicamente a retrocedere. La SUG1A mostra trend storico progradante e aggradante. SUG2 si riparte in due spiagge molto variabili: in SUG2a le oscillazioni geometriche negative (Luglio 2024; cfr Relazione integrativa) non generano dissesti ed in genere la spiaggia mostra tempi di rilassamento all'interno del ciclo stagionale per cui recupera in modo simmetrico lo stato modale di bel tempo estivo abbandonato nel corso dell'inverno. SUG2b è anch'essa molto variabile ma con tempi di rilassamento superiori e maggior esposizione a processi erosivi con allontanamento massiccio e in certi tratti presso che totale dei volumi sabbiosi (Luglio 2024; cfr. Relazione Integrativa).

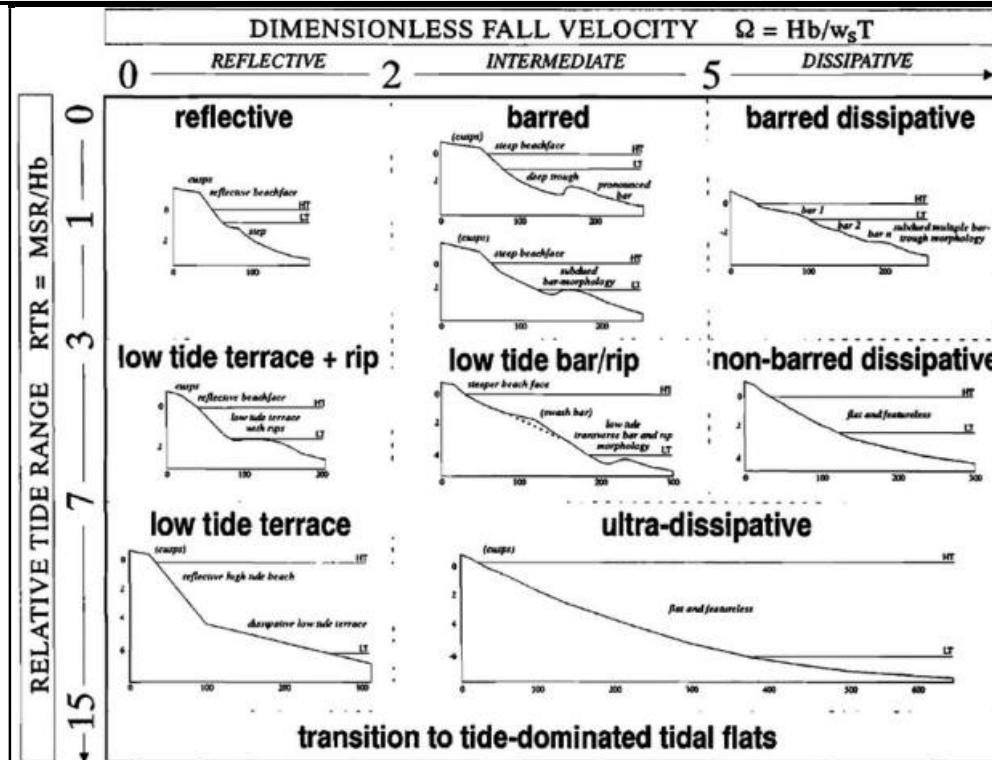


Fig. 13 -Modelli concettuali delle spiagge microtidali secondo Masselink & Short (1993)

Di ciò danno conto i confronti multi temporali delle immagini aeree e delle cartografie ma anche le stesse ricognizioni sul posto operate ai fini di tale integrazione dallo scrivente (Maggio 2022; Luglio 2024). Ciò considerato, in ragione del suo dinamismo spaziale e temporale, la spiaggia microtidale di SMP nel suo complesso appare certamente **Intermedia** rispetto ai due estremi del continuum morfodinamico identificati da Wright & Short (1984) e perfezionati da Masselink & Short (1993), ovvero lo stato modale del tutto dissipativo da un lato e del tutto riflettente dall'altro (Fig. 13).

. In particolare il tratto emerso corrispondente a SUG1b risulta variabile e ricompreso fra un settore a Nord (SUG1a) a tendenza progradante ed aggradante che si alimenta nel tempo dei deficit di SUG1b, ed un settore molto elastico a SW (SUG2a) con altrettanta spiccata ritmica stagionale ma che tuttavia non rivela tendenza a strutturale retrocessione (erosione) e non è sede di dissesti tangibili conseguenti ad inondazione attribuibile all'attività ondosa (run up). SUG1b è dunque geomorfologicamente instabile con evidenze di bilanci morfologici negativi .

-La spiaggia corrispondente al settore di SUG1b, è associata alle seguenti condizioni:

- la sostanziale limitatezza della berma in senso trasversale
- il minore spessore della berma ovvero del profilo di spiaggia emersa
- il relativo intrappolamento di sedimenti nelle strutture geologiche locali
- il maggiore controllo geologico della spiaggia (fondale sommerso e ripa a tergo della spiaggia, strutturati sulla Formazione del Cixerri).
- la maggiore tendenza riflettente accentuata dall'oggetto roccioso emerso (strutturato sulla Formazione del Cixerri).

a cui si sommano

- la sostanziale mancanza di apparato dunare
- la drastica riduzione storica degli apporti di sedimenti
- gli effetti di lungo periodo del prelievo della Posidonia o..

che però sono condizioni che influiscono in misura minore anche in altri sotto settori delle restanti SUG.

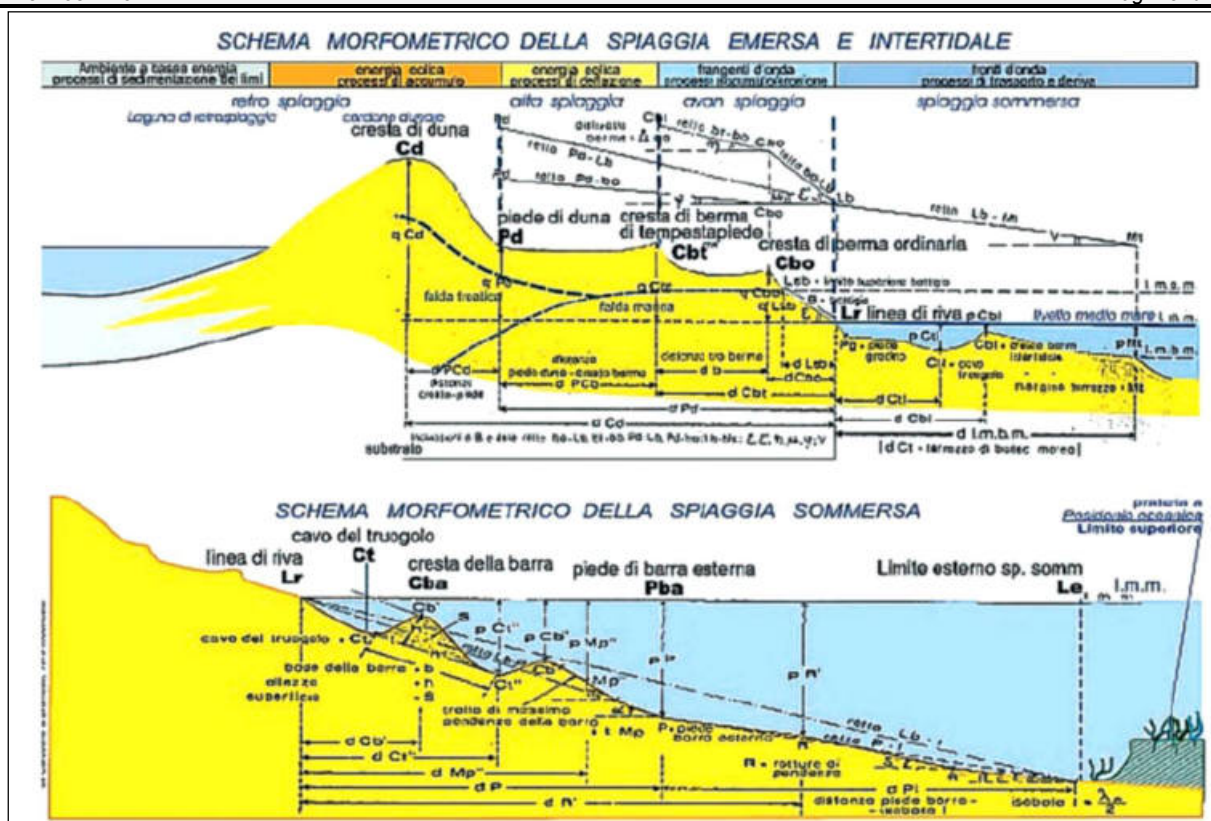


Fig.14 - Schema morfologico spiaggia sensu Carobene & Brambati, 1979.

Tutte le situazioni elencate influiscono sul comportamento dei sedimenti e limitano la resilienza dell'intero sistema a cominciare dalla capacità della spiaggia emersa di sostenere le mareggiate da SE. Dall'esame in foto aerea si deduce, al contrario l'incremento progressivo della robustezza del sistema di spiaggia sommersa verso SW, in particolare lo spessore delle barre.



Fig. 15 -Spiaggia della SUG2 (a Sud SUG2b), a evidente assetto morfologico cuspidato, con voluminose barre in posizione sub parallela (immagine del 14/04/2013). Le frecce bianche indicano i limiti delle suddivisioni delle SUG ai fini della presente trattazione

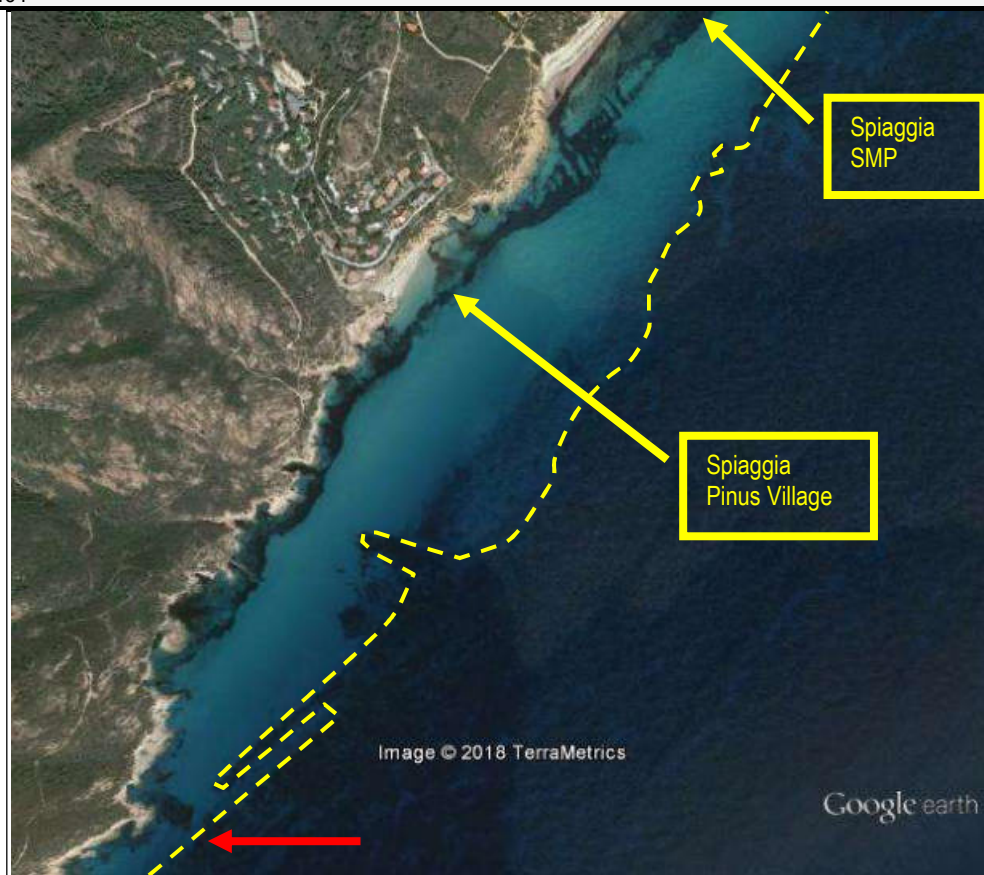


Fig. 16 - Settore chiusura Sud-occidentale dell'Unità Gestionale di 3° Ordine. La freccia rossa indica una finestra di comunicazione di circa 20m che s'insinua su fondo roccioso. Il tratteggio indica approssimativamente il limite superiore della Posidonia. Non indagato direttamente

8 MODELLO GEOLOGICO

8.1 I BACINI IDROGRAFICI SOTTESI ALL'UNITÀ FISIOGRAFICA DI 2° ORDINE

Da NordEst a SudOvest si elencano i torrenti che recapitano all'interno dell'Unità Fisiografica di 2° Ordine che è stata in precedenza definita. Il bacino sotteso a tale UF è quindi frutto dell'involuppo di ciascun bacino idrografico:

1. Riu su Tintori (a NE)
2. Canale de Su Cristallu/Canale Saliu
3. Canale d'Agumu
4. Riu Palaceris/Riu Santa Margherita/Riu Foxi de Sali
5. Riu Canali de Sa Scifedda
6. Canali Gironi
7. Canale Bangiarribiu
8. Riu Perdosu
9. Canale de Passiali
10. Canale Su Baracconi
11. Riu Su Concali (a SW)

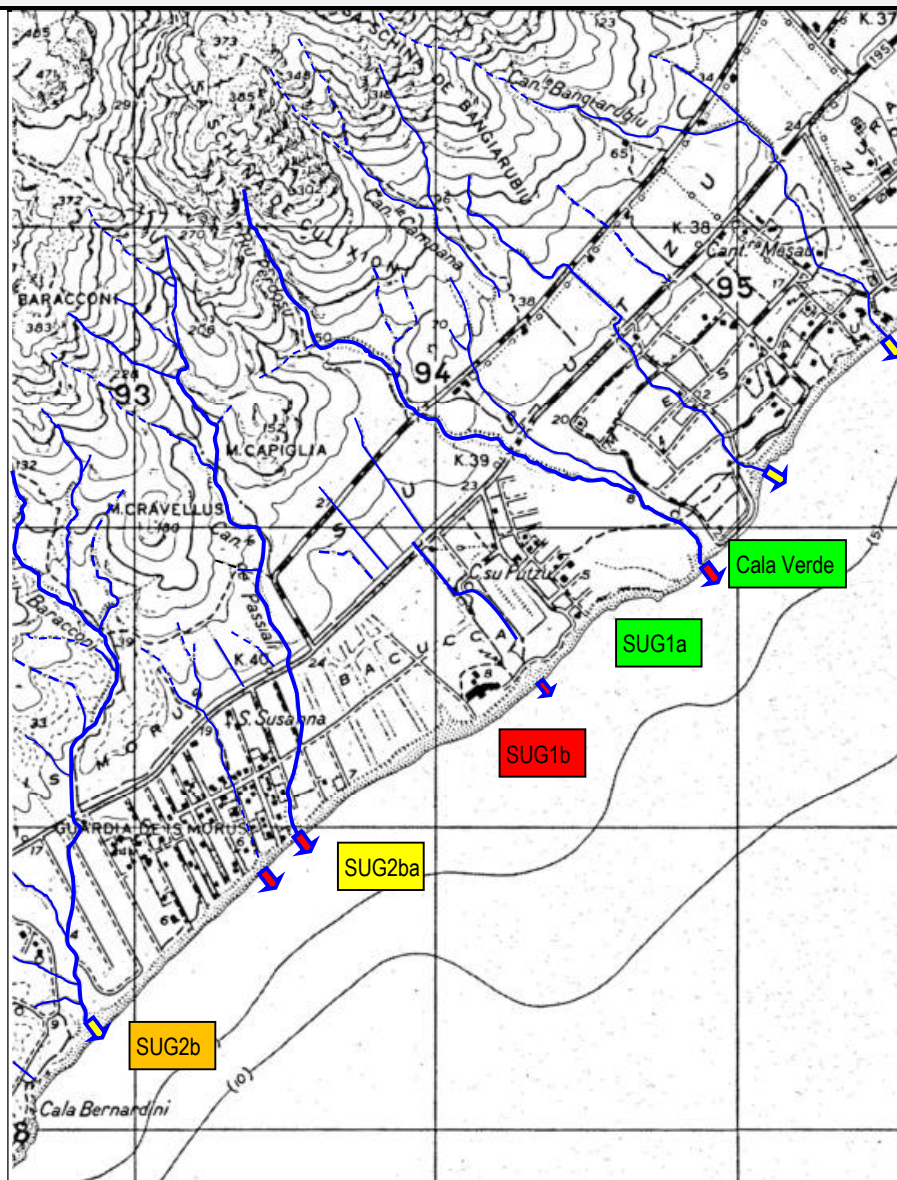


Fig. 17 – Principali corsi d'acqua sottili all'UG di SMP (da Cala Verde a Cala Bernardini): Riu Perdoso, Canale de Passiali, Canale Su Baracconi. In rosso i torrenti che non risultano più in grado di recapitare sedimenti in mare aperto

Si tratta di una superficie complessiva di circa 90 kmq in cui ricadono compluvi minori di I e II ordine gerarchico, con foce direttamente in mare oppure ramificazioni effimere, spesso deviate o del tutto cancellate facenti parte del sistema conoidale che caratterizza la parte pedemontana Sud Occidentale (Fig.19). Anche senza considerare l'antropizzazione dell'idrografia secondaria di ambito costiero, nonché la stessa presenza di invasi che intercettano il trasporto solido della rete (Riu Perdosu), lo stato manutentivo degli alvei principali (Riu Palaceris), in particolare nell'area pedemontana è tale da non garantire affatto il recapito sedimentario, data la presenza ricorrente di soglie morfologiche in alveo dove è massimo il sovralluvionamento. All'Unità gestionale di 3 Ordine di SMP fa riferimento la rete idrografica illustrata dalla Fig.19 (cfr. anche Fig.17).

8.2 IL MODELLO GEOLOGICO DEL PARAGGIO

L'assetto geologico del paraggio è facilmente ricavabile, **in prima battuta**, dallo stralcio del Foglio 239-240 della Cartografia Geologica d'Italia in scala (originaria) 1:100.00. In esso vi si, riconoscono dal basso verso l'alto:

- *Basamento in Graniti per lo più a biotite (y) del Paleozoico (Carbonifero-Permiano)*

- Andesiti granulari di color grigio rossastro, nerastro (α) (Leggasi lave andesitiche grigio-scure o violacee per alterazione idrotermale dell'Oligo-Miocene)
- Marne variegata per lo più vinata: Arenarie grigie, ghiaie e conglomerati del Terziario (leggasi dell'Eocene medio-Oligocene inferiore? **Formazione del Cixerri**)
- Depositi continentali (q) del Diluviale (Leggasi del Pleistocene)
- Sabbie marine e dune costiere dell'Alluviale (a_2^s) Detriti di falda (a^d) (Leggasi dell'Olocene e Attuale)

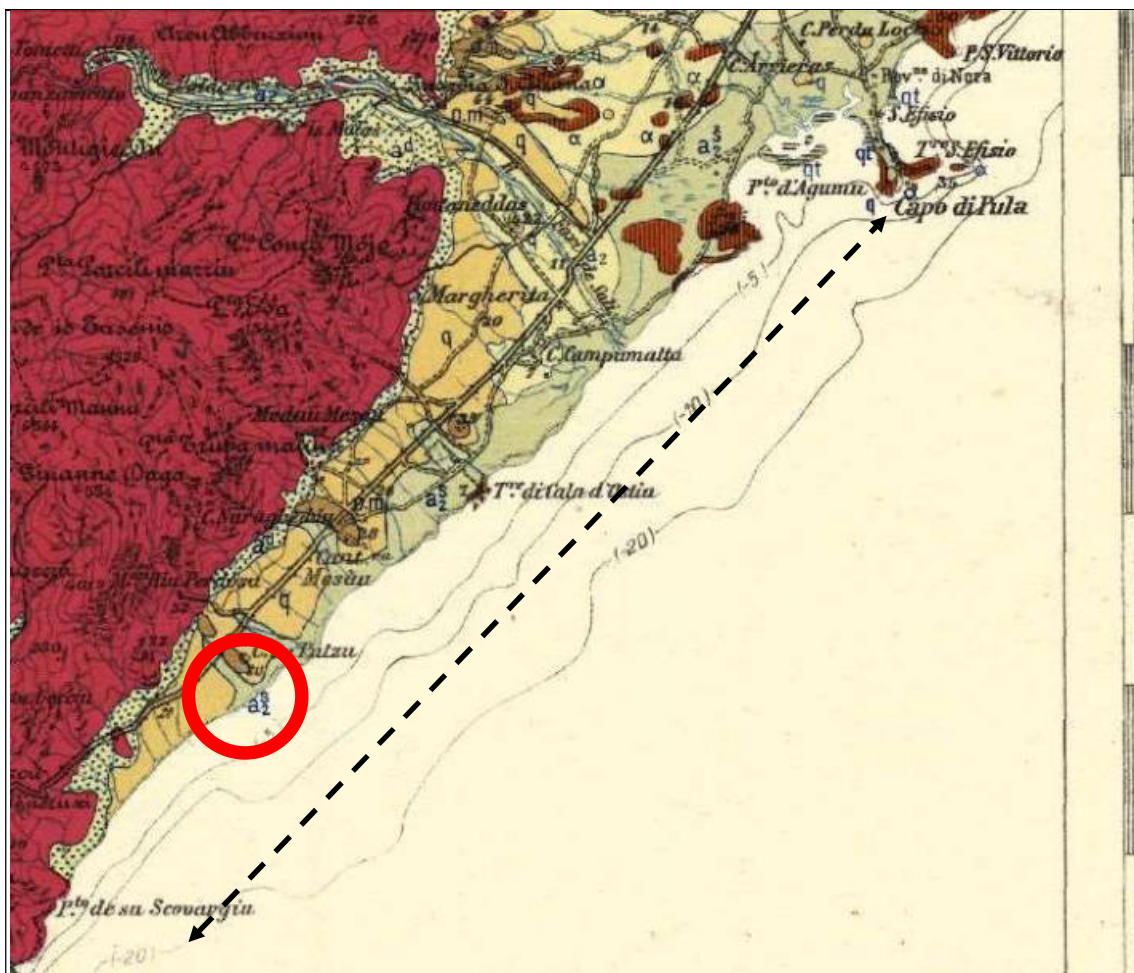


Fig. 18 - Geologia del Paraggio: in rosso il basamento in graniti per lo più a biotite (γ). Il resto della legenda nel testo

Nell'Unità Fisiografica, così come definita in precedenza, si distinguono i seguenti elementi lito-stratigrafici:

- Basamento terziario in arenarie grigie e arenarie marnose rosse soprastanti, stratificate in banchi (Eocene medio -Oligocene inf.?).
- Colluvi sabbiosi di colore rosso o bruno giallastro con intercalazioni ciottolose o strati conglomeratici alla base, passanti verso monte ad alluvioni ciottolose delle conoide pedemontane (Pleistocene).
- Sabbie bruno-giallastre, Ghiaie e conglomerati delle spiagge e delle dune attuali; Conglomerati e sabbie degli alvei (Olocene e attuale)

In base alle cartografie regionale più recenti (Carta di Base della Sardegna, 2009) in scala 1:25.000, il modello geologico a scala di inviluppo dei bacini idrografici sottesi all'Unità Gestionale di 3° Ordine (cfr. Figg. 7 e 11) è sintetizzato nella carta di Fig. 19 e più in dettaglio in Fig. 20.

Salvo un esiguo tratto dello spartiacque a formazioni antiche del Cambriano inferiore-Ordoviciano (Calcare Ceroide, **GNN**, Formazione di Campo Pisano, **CPI** e Formazione di Cabitza, **CAB**), il Bacino idrografico d'involuppo nel suo complesso è caratterizzato da un basamento costituito in larga misura da **Unità del Complesso Intrusivo del Carbonifero-Permiano**, dove predomina l'**Unità Intrusiva di Villacidro (VLD)** a leucograniti. Questi litotipi predominano ad Ovest e al centro del bacino, soprattutto in ambiti fisiografici montani e pedemontani ma si spingono fino sulla costa sul suo bordo Sud Occidentale, dove danno luogo ad

importanti falesie che tuttavia risultano per lo più ai margini o persino esterne rispetto all'Unità Fisiografica considerata nel presente studio che sostanzialmente facciamo terminare poco Sud a Cala Bernardini.

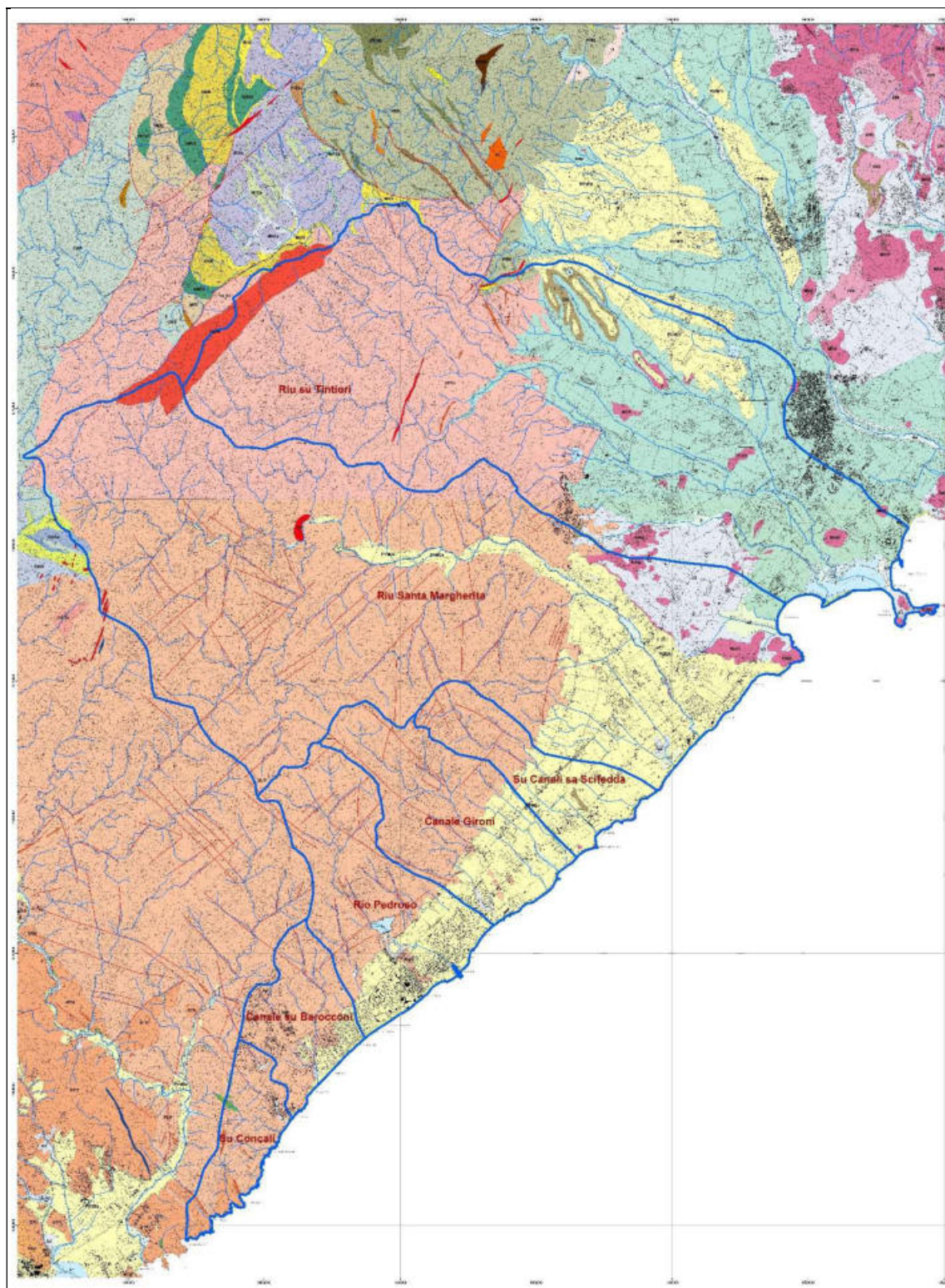


Fig. 19 - Carta Geologica elaborata da Arpa Sardegna nell'ambito della Monografia dei siti-Pilota del Progetto Maregot Rapporto intermedio Aprile 2018



Queste ultime come litofacies di conoide pedemontana o come colluvi, costituiscono soprattutto verso SudOvest il raccordo alla costa, andandosi a sigillare, di fatto, ai piedi dei rilievi morfostrutturali, ossia della struttura tettonica terziaria N60° che abbassa il Basamento. Nella sua parte ribassata peraltro la stratigrafia sopra i graniti va arricchendosi delle arenarie grigio violacee della **Formazione del Cixerri (CIX)** dell'Eocene medio-?Oligocene sottostanti lave andesitiche (**Andesiti di Monte Arrubiu, MAB**), attribuite all'**Oligocene superiore - Aquitaniano**.

Queste ultime sono abbondanti all'interno del tratto pedemontano e più costiero del Bacino del Tintori, ma si rinvencono con molta chiarezza fino alla zona di Agumu sul lato Sx del bacino del Riu Palaceris, mentre su quello Dx affiorano presso le falesie di Cala D'Ostia, accompagnandosi a selci e calcari continentali e proseguono in mare, probabilmente sino a **Is Morus**. Da qui in poi la Formazione del Cixerri in banchi arenacei rossastri o grigi ad ampie pieghe (Albergo Is Morus), tende in ambito emerso ad essere oblitterata per diretto contatto coi soprastanti sedimenti detritici Pleistocenici (**Pleistocene superiore**) di **PVM_{2a}** pur riuscendo ad affiorare in ristrette finestre sulle spiagge e soprattutto in mare sul fondo sommerso entro batimetrie inferiori alla profondità di chiusura. A Sud di Cala Verde (CV), superato l'aggetto roccioso con

spiaggia per lo più ciottolosa al piede, su di un segmento a sviluppo longitudinale di circa 350m si è generato un profilo convesso sempre più spesso ed ampio. A partire dall'area di Forte Village, il CIX ritorna ad essere aggettante in senso longitudinale sempre a letto delle coperture detritiche della Formazione PVM_{2a}. Queste ultime, per tale sostegno a letto tendono a loro volta a protendersi verso la battigia; da ciò consegue che in loro corrispondenza, l'azione marittima riduca spessore e profondità (larghezza trasversale) della berma e dia luogo in concorso col clima ondoso a tendenze più erosive nei confronti del relativo transetto di spazio sabbioso.

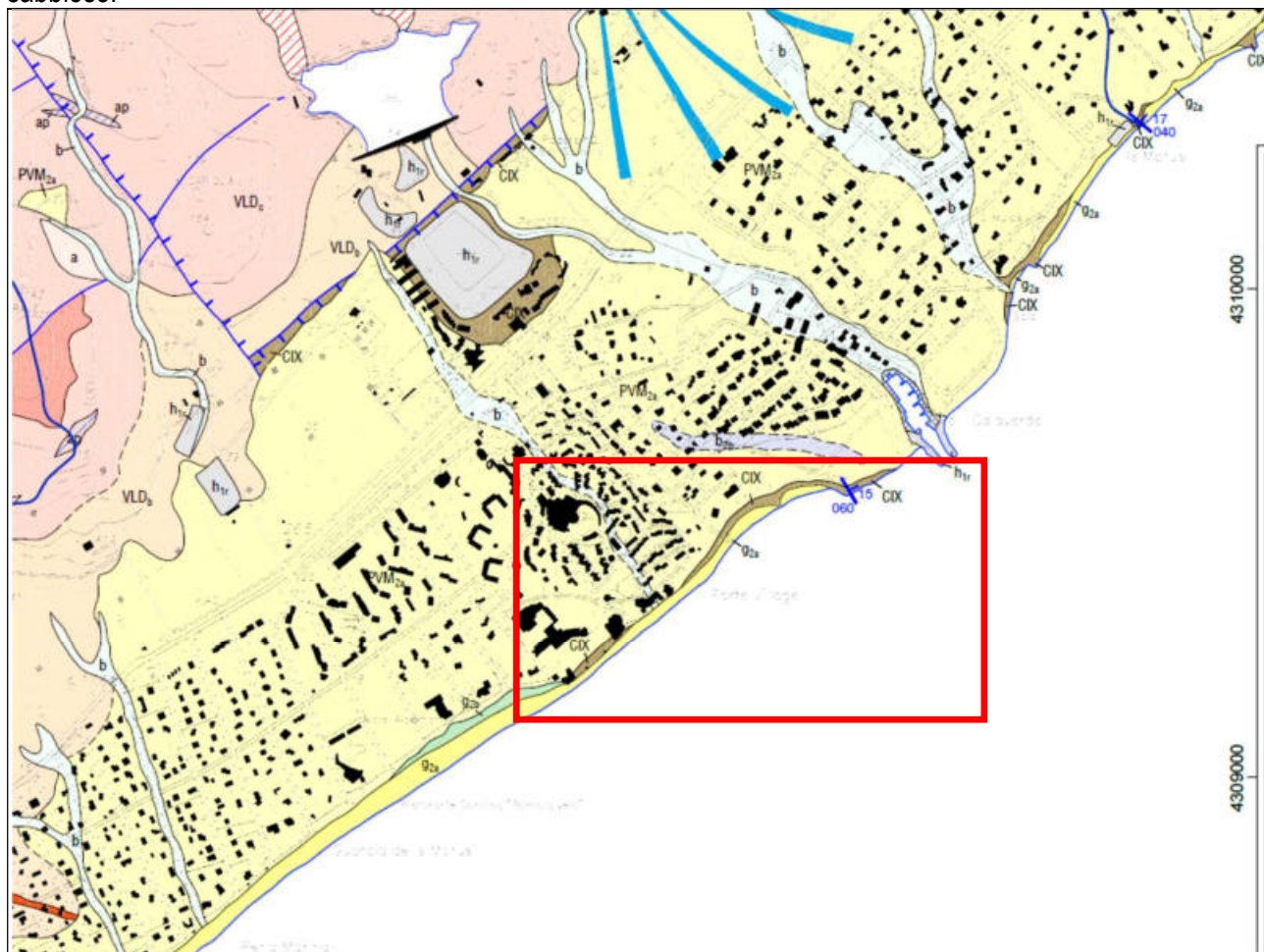


Fig. 20 - Stralcio Carta Geologica Stralcio Progetto Maregot Carta Geologica Bacino Riu Palaceris e minori (scala orig. 1:13.000). Legenda del riquadro SUG1: **CIX** = Affioramenti della Formazione del Cixerri (Sedimenti. Arenarie e arenarie siltoso-marnose) Eocene medio-? Oligocene. **PVM_{2a}** = Litofacies del sub sistema di Portoscuso (Pleistocene sup.). **g_{2a}** = Depositi di spiaggia attuale. **b** = Depositi alluvionali attuali **h_{1r}** = Depositi antropici attuali.

Dalla configurazione esposta si ricava che gran parte dei bacini recapitanti all'interno della UG sono caratterizzati da litologie del Complesso Intrusivo del Carbonifero - Permiano, in particolare dai leucograniti dell'Unità intrusiva di Villacidro (VLD) che si spingono fino alla costa, andando a costituire il sigillo terminale SW dell'Unità Gestionale.

La cartografia mette in evidenza che sul basamento paleozoico giacciono in discordanza i potenti sedimenti arenacei della Formazione del Cixerri (**CIX**) sormontati a loro volta da lave e agglomerati andesitici dell'Aquitano (**Andesiti di Monte Arrubiu, MAB**), non affioranti nell'UG, sia in SUG1 che in SUG2. Gli uni e gli altri si rilevano in affioramenti limitati per lo più alla costa nel settore di progetto, mentre verso NE ai limiti dell'Unità fisiografica principale, affiorano con decisa abbondanza le sole rocce effusive, che caratterizzano sia il settore emerso (dove si intercalano calcari e selci) che quello sommerso (Capo Pula, Agumu, Santa Margherita-Cala D'Ostia).

Sugli spartiacque dei bacini sottesi alla costa e in genere sulle cornici morfologiche filoniane si manifestano processi gravitativi di crollo mentre i versanti più in basso sono caratterizzati da coperture detritiche e regolitiche. Nei fondovalle gli alvei principali, sono confinati e sovralluvionati in diverse porzioni per effetto di

accumuli relativamente voluminosi di sedimenti alluvionali dell'Olocene (**b**) mobilizzabili, la cui pessima manutenzione, tuttavia, impedisce il recapito a valle delle frazioni sedimentarie fini, ossia la dinamica di trasporto solido. Le coperture alluvionali vere e proprie in ogni caso si sovrappongono a quelle sempre detritiche coerenti del **Subsistema di Portoscuso (PVM_{2a})** del Pleistocene superiore che come conoide pedemontana o come colluvi, determinano il raccordo dei rilievi intrusivi alla costa fino al settore di Cala Bernardini..

8.3 MODELLO GEOLOGICO DEL SITO DI PROGETTO

Il modello geologico di seguito illustrato è sostanzialmente valido all'interno di tutta l'area dell'UG di riferimento, fatto salvo il settore di chiusura più a Sud Ovest, dove prevale il basamento geologico cristallino su cui si sovrappongono rade coperture di versante (**a^d** detriti di falda; Fig.21; cfr. anche Figg.18 e 20) e lembi di arenarie pleistoceniche.

Per la parte restante dell'UG, il settore immediatamente ad Ovest dell'approdo di Cala Verde, non essendo sede d'insediamento, appare come il più rappresentativo e favorevole alle migliori osservazioni della litostratigrafia. La documentazione fotografica a cura dello scrivente che è stata impiegata per illustrare nel seguito le principali sezioni litologiche, risale all'**8 Maggio del 2010**, quando era stato appena avviato il cantiere del primo intervento di protezione della spiaggia di Forte Village ed in particolare venivano conferite presso detto approdo le sabbie impiegate negli interventi progettuali.



Fig. 21 - Ingrandimento della tavola precedente. Nel riquadro il settore d'intervento. In marrone le indicazioni sulla Formazione del Cixerri, che costituisce il basamento della parte sommersa della Sub Unità Gestionale (SUG1 soprattutto)

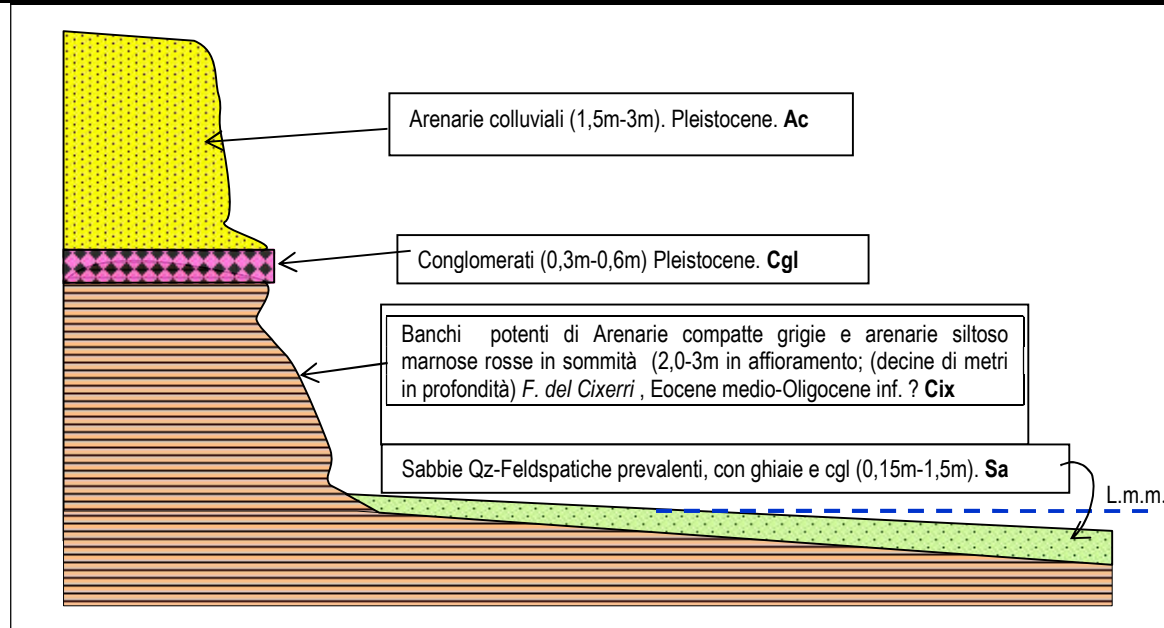


Fig. 22 -Profilo Litostratigrafico costiero schematico sul promontorio di Cala Verde. Verso Sud Ovest nel settore emerso la Formazione del Cixerri viene sepolta dalle arenarie del Pleistocene.

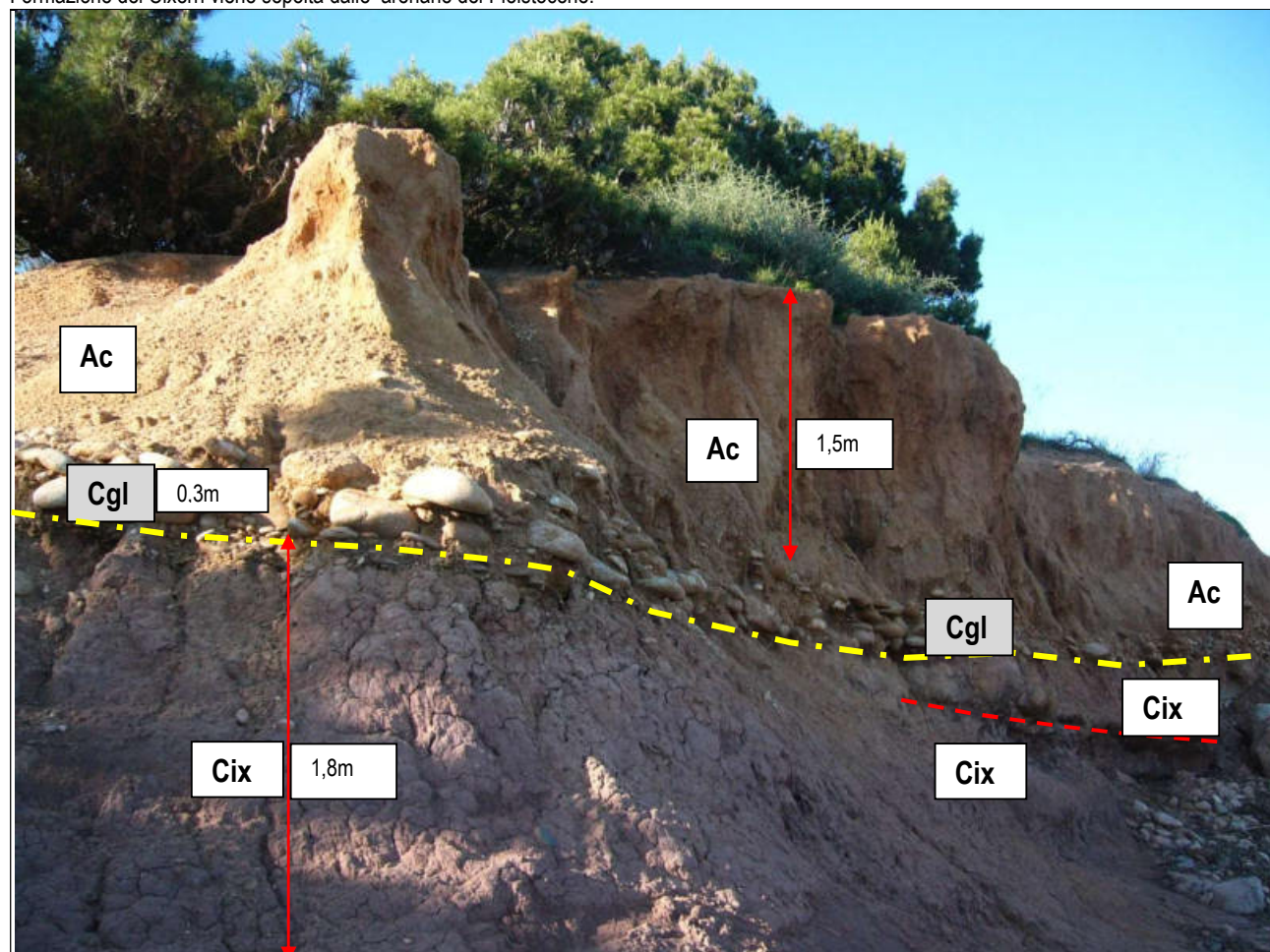


Fig. 23 - Stratigrafia dal basso: Arenarie siltose e argillose rosse della Formazione del Cixerri (**Cix**; Eocene); Conglomerati (**Cgl**; Pleistocene); Arenarie continentali (**Ac**; Pleistocene). In Giallo intercetta superficie di contatto Pleistocene -Terziario. In tratteggio Rosso, solco erosivo visibile alla base della parete.

Gli strati alla base nelle Figg. 23, 24 e 25 costituiscono l'ossatura rocciosa del fondo sommerso del paraggio, condizionandone la morfologia dell'assetto batimetrico. Da ciò consegue la formazione di aggetti morfostrutturali sul fondo sommerso che sono particolarmente influenti sulla morfo-dinamica sommersa. La

loro presenza infatti genera trappole morfologiche in cui si riversano i sedimenti, che tendono quindi a permanervi come attestano tanto le foto aeree quanto le ricognizioni subacquee eseguite nel 2018. Il tratto di spiaggia non essendo soltanto sabbioso, è dunque soggetto a ulteriore controllo geologico per la presenza di una formazione ciottolosa originata sia all'arretramento della falesia e dei suoi banchi di ciottolame che dalle foci dei torrenti un tempo recapitanti in mare ed oggi intercettati a monte.

Le sabbie di spiaggia sono state caratterizzate nelle indagini degli interventi precedenti. Se ne riporta di seguito la sintesi dei risultati

SINTESI CARATTERIZZAZIONE SABBIE FORTE VILLAGE

C	Colore	Granulometria					Composizione Mineralogica
		D50	Fini %	Definizione del sedimento	Gruppo tessiturale	Tipologia sedimento	
C1	Giallo scuro	0,3236	0,19	Well Sorted Medium Sand Sabbie medie ben classate	Sand Sabbia	Unimodale, WS Unimodale, Ben classato	Qz =67%, A+P =22% Litici = 4% Biocl= 6% Altri =1%
C2	Giallo scuro	0,2953	0,10	Slightly Very Fine Gravelly Medium Sand Sabbia media ghiaiosa debolmente molto fine	Slightly Gravelly Sand Sabbia debolmente ghiaiosa	Unimodal, WS Unimodale, Ben classato	Qz =60%, A+P =25% Litici = 5% Biocl= 8% Altri =2%
C3	Giallo scuro	0.3639 mm	0,12	Slightly Very Fine Gravelly Medium Sand Sabbia media ghiaiosa debolmente molto fine	Slightly Gravelly Sand Sabbia debolmente ghiaiosa	Unimodal, WS Unimodale, Ben classato	Qz = 57% , A+P = 28% Litici = 3% Biocl= 9% Altri =3%
C5	Giallo scuro	0.2813 mm	0,23	Well Sorted Medium Sand Sabbia media ben classata	Sand Sabbia	Unimodal, WS Unimodale, Ben classato	Qz =68%, A+P =20% Litici = 3% Biocl= 8% Altri =1%
C6 inf	Giallo scuro	0.3439 mm	0,35	Very Fine Gravelly Medium Sand Sabbia media ghiaiosa molto fine	Gravelly Sand Sabbia ghiaiosa	Unimodal, MS Unimodale, Ben classato	Qz = 70% , A+P = 18% Litici = 4% Biocl= 7% Altri =1%
C6 sup	Giallo scuro	0.3194 mm	0,25	Slightly Very Fine Gravelly Medium Sand Sabbia media ghiaiosa debolmente molto fine	Slightly Gravelly Sand Sabbia debolmente ghiaiosa	Unimodal, WS Unimodale, Ben classato	Qz =58%, A+P =22% Litici = 6% Biocl= 11% Altri =3%
C7 inf	Giallo scuro	0.2835 mm	0.004	Well Sorted Medium Sand Sabbia media ben classata	Sand Sabbia	Unimodal, WS Unimodale, Ben classato	Qz =62%, A+P =22% Litici = 6% Biocl= 8% Altri = 2%
C7 sup	Giallo scuro	0.2681 mm	0,19	Well Sorted Medium Sand Sabbia media ben classata	Sand Sabbia	Unimodal, WS Unimodale, Ben classato	Qz =68%, A+P = 17% Litici =4% Biocl= 10% Altri = 1%
C9	Giallo scuro	0.391 mm	0,51	Slightly Very Fine	Slightly Gravelly	Unimodal, WS	Qz =65%,

inf				Gravelly Medium Sand Sabbia media debolmente ghiaiosa molto fine	Sand Sabbia debolmente ghiaiosa	Unimodale, Ben classato	A+P =20% Litici =4% Biocl= 10% Altri = 1%
C9 sup	Giallo scuro	0.3654 mm	0,07	Well Sorted Medium Sand Sabbia media ben assortita (classata)	Sand Sabbia	Unimodal, WS Unimodale, Ben classato	Qz =63%, A+P =25% Litici =4% Biocl= 7% Altri = 1%

Tab. 4 - Sintesi sedimentologica delle sabbie di Forte Village (da Progetto: Opere di ripristino morfologico del tratto di litorale antistante il Forte Village Resort. 12/12/2018. Analisi granulometrica e minerologica sedimenti aree di prelievo-Dicembre 2017)

Composizione	Range (min-max)
QZ	57%- 70%
A+P	17% - 28%
Litici	3%-6%
Bioclastico	6%-11%

Tab. 5 – Range Composizione mineralogica

Campione	C1	C2	C3	C5	C6	C7	C9
Profondità (-m s.l.m.)	1	1	1	2-2,5	5	2-2,5	6-6,5

Tab. 6 - Posizionamento rispetto alla battigia (ubicazione in Progetto 2018; vedi righe successive)

Si tratta dunque di **sabbie in genere medie, quarzoso-feldspatiche, bioclastiche con litici**.

I dati sono tratti dall'elaborato 7 Analisi granulometrica e minerologica sedimenti aree di prelievo (12/12/2018) relativo al Progetto di Opere di ripristino morfologico del tratto di litorale antistante il Forte Village Resort Santa Margherita di Pula. L'ubicazione dei campioni è riportata nell'immagine a p.122 dello stesso elaborato che non è stato possibile gestire nel presente (e ad essa quindi si rimanda).

8.4 CAUSE DEL DISSESTO IDROGEOLOGICO COSTIERO

Come detto in precedenza, tutto il litorale di Santa Margherita di Pula (ma in realtà tutta la Macro-cella di 2° Ordine fino a Capo Pula) è interessato da dissesti idrogeologici costieri che colpiscono tanto le spiagge quanto le falesie o più spesso le ripe rocciose o meno retrostanti i compendi sabbiosi o talora ciottolosi (cfr.Figg. 23, 24 e 25). Al di là della vulnerabilità naturale legata all'ambiente costiero e alla morfodinamica associata, alla base del generale stato di squilibrio geomorfologico costiero, parrebbe sussistere una certa stratificazione di cause, spesso concomitanti, sia legate all'ambito costiero marittimo che a quello continentale idrografico. Dalle indagini compiute, comprese quelle svolte nell'ambito della partecipazione di chi scrive al Progetto Maregot, si ricavano le seguenti:

1. Drastica riduzione degli apporti solidi torrentizi e della rete dei compluvi di primo o di secondo ordine (sensu Horton-Strahler), in conseguenza della riduzione degli afflussi idrici verso la costa, cagionata dagli insediamenti.
2. Progressiva riduzione del recapito solido per totale assenza di manutenzione della officiosità dei torrenti (gestione sedimenti) e conseguente formazione di briglie naturali per eccesso di sovralluvionamento (Riu Pula e Riu Palaceris-Santa Margherita).
3. Drastica riduzione del deflusso idrico per realizzazione di invasi artificiali, più o meno importanti.
4. Asportazione pluridecennale della berma a resti di *Posidonia oceanica* con sensibile vulnerazione degli equilibri geomorfologici stagionali regolanti la morfodinamica stessa e in definitiva della resilienza stessa della spiaggia interessata, soprattutto nel settore NE dell'Unità (Agumu-Cala d'Ostia).
5. Relativo aumento della riflettività di porzioni di paraggio per presenza di strutture rigide che limitano la berma ordinaria e dunque la dissipazione di energia dell'onda (da notare che la tendenza accelera col ridursi della profondità [larghezza] della spiaggia).

6. Relativo aumento di volumetrie sabbiose stazionanti in spiaggia sommersa in corrispondenza dei settori erosi di cui al punto precedente per effetto dei vettori *cross shore*.
7. Interruzione dello scambio longitudinale stagionale lungo costa per intervento di strutture aggettanti (Porto di Cala Verde) e dunque connessione possibile solo per eventi con maggiore Tr.
8. **Sottrazione pluridecennale definitiva di volumi sabbiosi derivanti dalla bonifica degli intasamenti di Posidonia oceanica nel porto di Cala Verde.**
9. Relativa suscettività erosiva dei litotipi pleistocenici costituenti le ripe retro spiaggia che genera per lo più dissesti erosivi locali o frane di crollo di porzioni relativamente limitate (ciò tuttavia determina contributo nel budget sedimentario).
10. Scarsa consistenza volumetrica degli apparati dunari, per lo più in condizione relitta non in grado di costituire riserva per il profilo di spiaggia (quindi del volume utile della spiaggia emersa), qovvero evidenza di budget in deficit.

E' evidente che tutto il settore sconta soprattutto un deficit di bilancio sedimentario (budget), allo stato attuale difficilmente stimabile. Non di meno, a titolo di mero esercizio, consideriamo di seguito il solo **punto 8**. Per una stima di tale disavanzo si può porre a base del calcolo la superficie dello specchio acqueo portuale di Cala Verde pari 5400mq e la sua profondità di riferimento con tre livelli a 1m, 2m o 2,5m. Considerando 40 anni di gestione portuale e di gestione di Posidonia si ottengono i seguenti risultati:

ipotesi	Materiale escavato (mc)	Sabbia (%)	Sabbia sottratta (mc)
5400mq x 1m x 40anni	216.000	10	21.600
		20	43.200
		30	64.800
5400mq x 2m x 40anni	432.000	10	43.200
		20	86.400
		30	129.600
5400mq x 2,5m x 40anni	540.000	10	54.000
		20	108.800
		30	162.000

Tab. 7- Stima delle sottrazioni di sabbia potenzialmente derivanti dalla gestione dello specchio acqueo di Cala Verde, nei vari scenari postulati

Se ne deduce che nello scenario meno grave di un'aliquota volumetrica del 10% sul totale dei sedimenti movimentati, si potrebbero essere verificate sottrazioni di sabbia da un minimo di **21.000mc** circa ad un massimo di **54.000mc**, mentre in quello più gravoso del 30%, la sottrazione sarebbe ricompresa fra **65.000mc** circa e **162.000mc**. Da tale valutazione di massima si evince che il deficit di sedimenti conseguente alla gestione degli accumuli di Posidonia oceanica nello specchio acqueo del porticciolo in 40 anni (lo specchio acqueo è stato escavato nel 1983) è certamente superiore ai volumi di ripascimento ipotizzati ai fini del presente progetto e dà luogo in ogni caso ad un deficit straordinariamente ingente.

Altrettanto rilevante, al fine di comprendere la suscettività al depauperamento del profilo di spiaggia presso Forte Village, appare l'incremento volumetrico strutturale del segmento nord orientale della SUG1 (SUG1a, circa 350m) da poco ad Est di Forte Village sino all'inizio dell'aggetto roccioso su cui è stato ricavato il porto di Cala Verde. In corrispondenza di tale segmento di SUG1 la spiaggia si è visibilmente deformata verso lo shoreface. Tuttavia mltto altalenante è la configurazione della spiaggia corrispondente al sostrato eocenico su cui è stato ricavato per eccesso il porticciolo di Cala Verde, talora del tutto spoglia di sedimenti sabbiosi (Fig. 24).

D'altro canto è assai evidente che stante l'assetto geolitologico e lito-stratigrafico descritto, l'unità gestionale nel suo complesso non è da ritenersi ricca di sabbie, essendo gli spessori stimabili in 1-1,5mt al massimo, salvo le sacche di intrappolamento dinanzi a Forte Village e le barre che si generano nell'estremità SW dell'Unità gestionale (Figg.9 e 11). Gli apparati dunari si limitano inoltre, come evidenziato al punto 10, a pochi circoscritti segmenti.



Fig. 24 - Foto panoramica comprendente parte della sezione della figura precedente (cfr. Solco d'erosione) in tratteggio rosso. Spiaggia ciottolosa al piede della ripa con scarsa sabbia sovrastante, poco a Ovest dell'approdo di Cala Verde. In rosso i banchi siltoso argillosi più recenti della Formazione del Cixerri (Cix s) soprastanti banchi rocciosi arenacei grigio-viola, più resistenti della stessa Formazione (Cix a) che proseguono in mare oltre la battigia e in ambiente sommerso. Il ciottolame sulla spiaggia è alimentato dall'arretramento della falesia e in particolare dagli elementi del livello di Cgl.

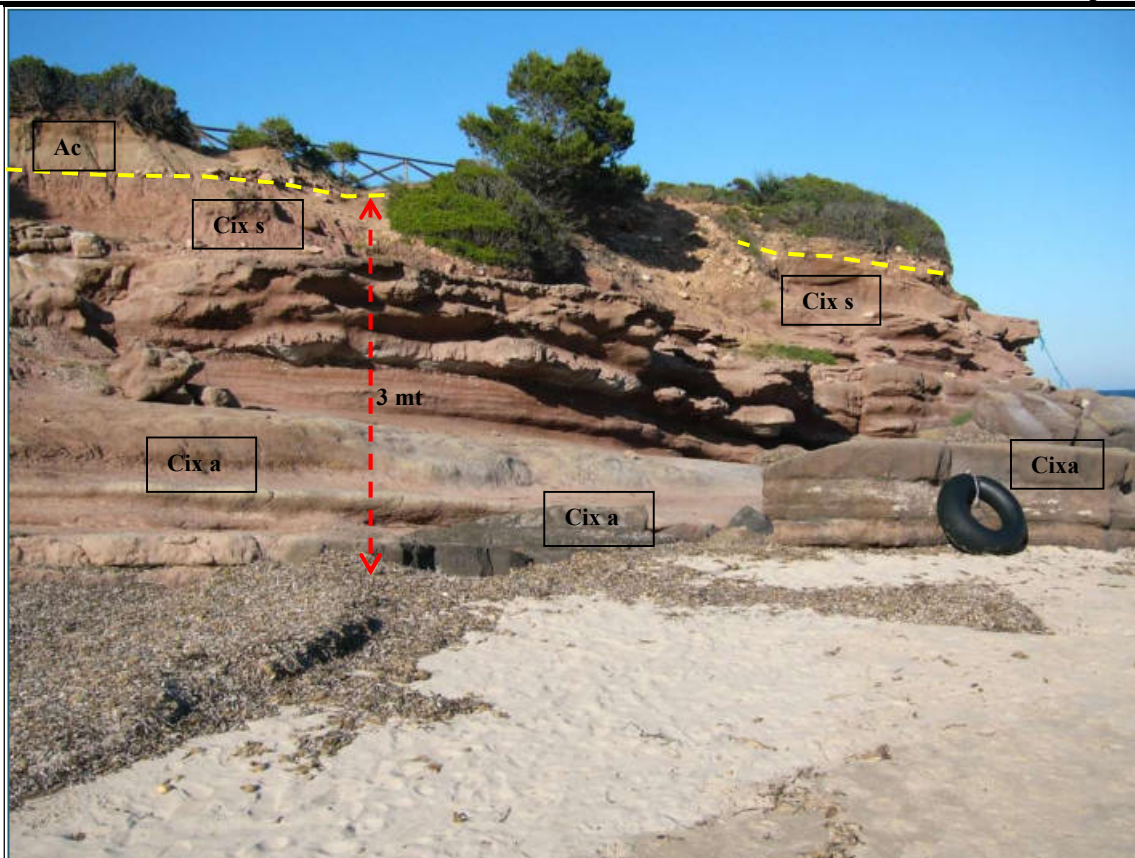


Fig. 25 - Falesia in banchi rocciosi di arenarie grigie della Formazione del Cixerri immersi verso Nord su pieghe ad ampio raggio. Si noti la presenza della berma vegetale

8.5 IL CONCETTO DI EROSIONE DI UNA SPIAGGIA: RICHIAMI DI MORFODINAMICA COSTIERA

Secondo Wright & Short (1984) e Masselink & Short (1993), le variazioni della linea di costa e del profilo di spiaggia sono associate a variazioni temporali dello stato modale della spiaggia. Gli Autori concludono che il parametro adimensionale $\Omega = H_b/W_s T$ detto "velocità di caduta" (Dean, 1973), dove:

- H_b = Profondità al frangimento
- W_s = Velocità di caduta dei sedimenti
- T = Periodo d'onda

può essere usato per descrivere lo stato modale delle spiagge.

In funzione di tale parametro le spiagge possono distinguersi in **Riflettenti** ($\Omega < 1$), **intermedie** ($1 < \Omega < 6$) e **Dissipative** ($\Omega > 6$). Le spiagge **Intermedie** sono le più dinamiche, sia in senso spaziale che temporale. Esse possono subire rapidi cambiamenti in conseguenza della modificazione dell'altezza d'onda, e possono dar luogo a inversioni nella dinamica del trasporto dei sedimenti **longshore** (longitudinalmente alla costa) e **onshore-offshore** (verso terra e verso il largo, ossia trasversalmente alla costa). A ciascuno stato morfodinamico è associabile in genere almeno una tipologia preferenziale di frangimento: alle spiagge **dissipative** corrisponde un frangimento **Spilling**, alle spiagge **intermedie** un frangimento **Plunging** e alle spiagge **riflettenti** un frangimento da **Plunging** a **Surging**. Va osservato, ad ogni modo che in condizione di controllo geologico rilevante della spiaggia, sussistono limitazioni all'impiego di tale pratica metodologia diagnostica della spiaggia.

Nel caso specifico il frangimento appare una questione complicata dal controllo geologico di cui al cap.1 che certamente espleta un'azione aggiuntiva nel concentrare determinate risultanti vettoriali per così dire "erosive" proprio all'interno di SUG1 e in particolare sul transetto di Forte Village (SUG1b, secondo le definizioni qui adottate).

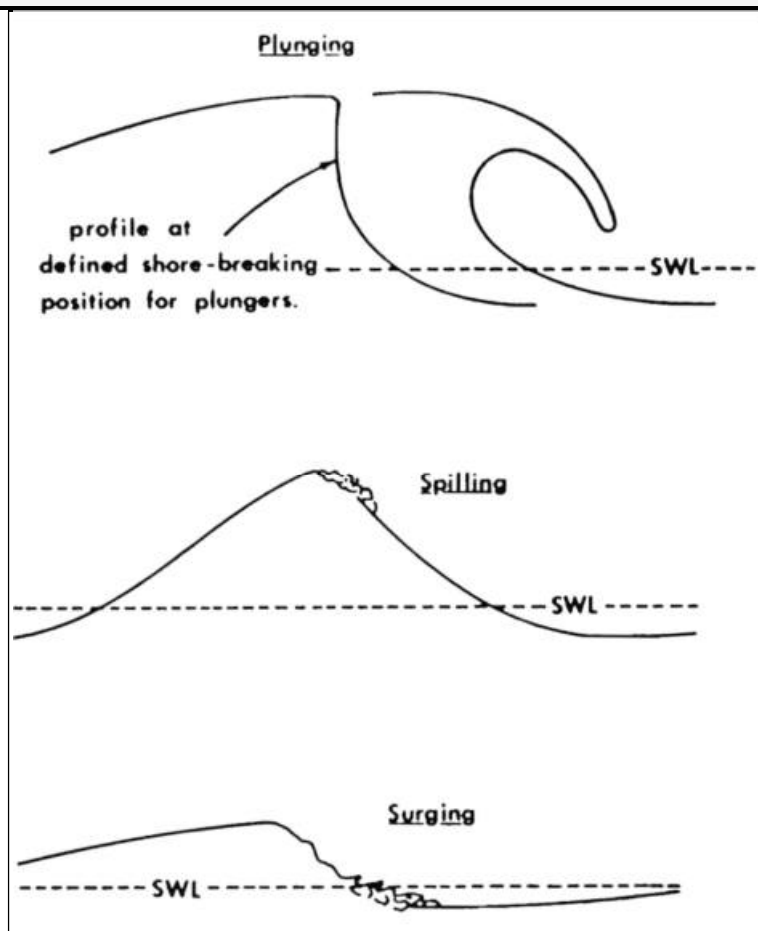


Fig. 26 – Schematizzazioni di tipologie base di frangenti in rapporto a morfodinamica

Tipologie principali di Frangimento ⁷		
Plunging	Surging	Spilling
		

Fig. 27 – Immagini di tipicizzazioni di frangimenti

Alla spiaggia di S. Margherita di Pula nella sua interezza è stato attribuito un **Tipico profilo dissipativo** nella tesi di Dottorato di Sole (2015) “*per quanto riguarda la granulometria (0.15mm) e la pendenza del profilo attivo*”. Ma questa conclusione speditiva non tiene alcun conto delle distinzioni formulate in questa sede in base alle osservazioni geomorfologiche marittime (ambito sommerso) e sintetizzate in Fig.12. Va ulteriormente precisato che ad avviso di chi scrive, al di là di quanto può essere offerto dalla letteratura, non è pensabile poter disgiungere questo genere di classificazione in una spiaggia come quella in studio, peraltro come detto a controllo geologico per lo meno in SUG1, da osservazioni di lungo periodo e, soprattutto, a prescindere dalla magnitudo degli eventi, ossia dalle intensità del frangimento e quindi sia dall'altezza d'onda che dalla vicinanza di questo alla costa. Altri autori la definiscono intermedio-dissipativa.

⁷ Per una rapida comprensione si riscontri https://www.eoas.ubc.ca/courses/atc113/sailing/met_concepts/08-met-waves/8c-breaking-waves/index.html

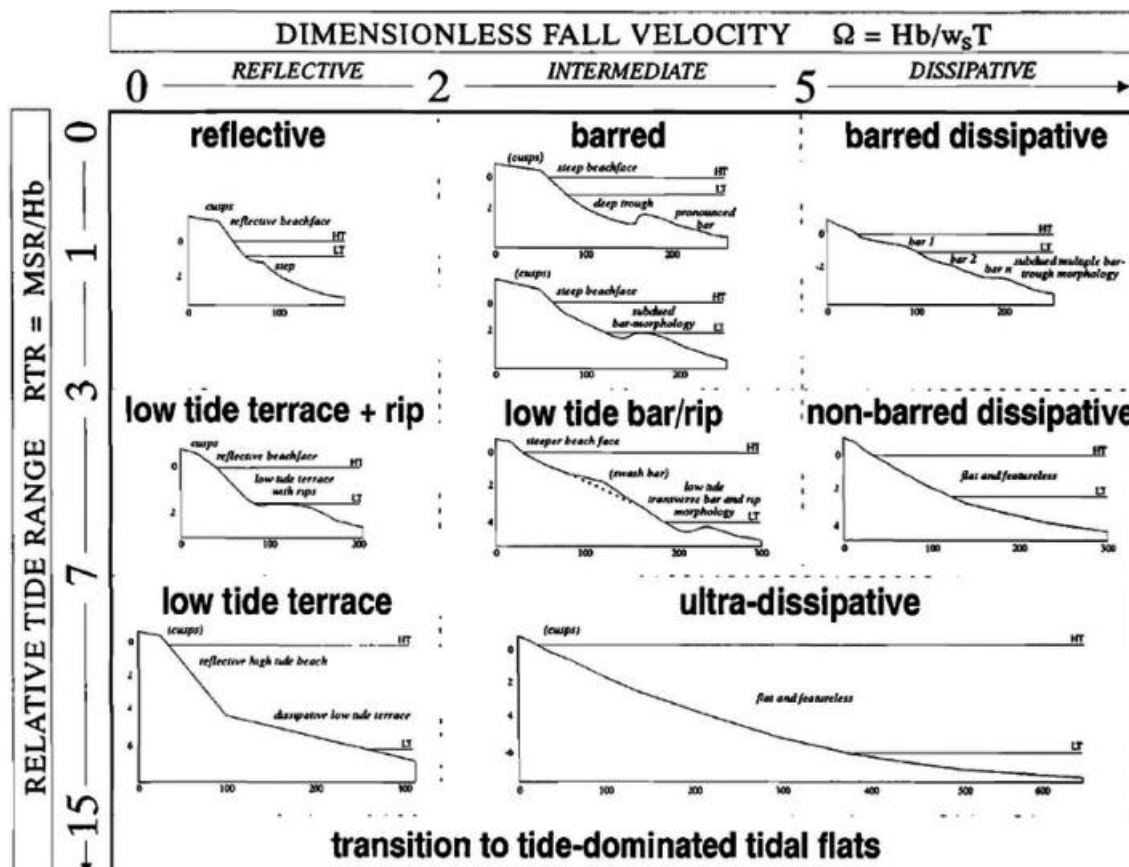


Fig. 28 -Modelli concettuali delle spiagge microtidali secondo Masselink & Short (1993)

Ciò significa che:

- lo stato modale dissipativo sicuramente sussiste ma deve fare i conti più nel dettaglio anche con altri assetti riflettenti derivanti dal controllo geologico di terra e di mare;
- lo stato modale dissipativo giustifica solo in parte la ricorrenza della variazione del profilo sia in termini temporali (su scala dunque stagionale) che spaziali (le sezioni sono frequentemente mutevoli nello spazio, stagione per stagione), ferma restando la maggiore stabilità estiva; sono infatti quelle intermedie le spiagge morfodinamicamente più mutevoli nello spazio e nel tempo;
- la deformazione con tendenze erosive strutturali o di lungo periodo è concentrata e, per ciò stesso limitata ad un certo tratto della SUG1, ossia in SUG1b;
- la deformazione opposta, ossia quella progradante è limita alle estremità terminali della spiaggia con consolidata maggiore evidenza complessiva nel settore **NE di SUG1 (SUG1a), come visto estremamente segnato da controllo geologico anche delle batimetrie.** A SW di SUG2 nel settore finale a ridosso di Cala Bernardini, ossia in SGG1b, in particolare quello sommerso, si ha una ritmicità delle condizioni morfodinamiche con condizioni di forte progradazione (Maggio 2022) a cui possono seguire importanti retrocessioni (Luglio 2024). Il settore è contrassegnato da un importante assetto a multibarre per lo più longitudinali molto consistenti. A cui consegue una evidente maggiore estensione della spiaggia sommersa in SUG2.

Pertanto data la larga capacità della spiaggia di assumere condizioni morfologiche diversificate, sia pure in un quadro molto chiaro di risposte morfologiche periodiche, consente di definire la spiaggia di SMP nel suo complesso di tipo Intermedio e in questa sede per la sua variabilità longitudinale e temporale, viene considerata **Spiaggia intermedia.**

8.6 SINTESI DEL DISSESTO IDROGEOLOGICO DEL LITORALE DI SANTA MARGHERITA –TRATTO FORTE VILLAGE RESORT (SUG1)

Il tratto antistante Forte Village Resort del litorale di Santa Margherita di Pula appare quello più soggetto a retrocessione della battigia. Questa condizione fa parte di un contesto complessivo, come accennato, attribuibile a quello di **spiaggia modale microtidale di tipo intermedio**, assai dinamico temporalmente, nel corso delle stagioni, per ragioni in parte già illustrate, sia in senso longitudinale che trasversale. In particolare gli studi effettuati nel corso degli interventi menzionati nell'introduzione documentano, sulla base del confronto diacronico multitemporale, una riduzione progressiva dei volumi della spiaggia emersa a vantaggio di un incremento di quella sommersa immediatamente prospiciente e del segmento (emerso) di SUG1a, collocato più a NordEst.. Tale condizione, sia pure adeguata e conforme al contesto climatico ondoso, tende a replicarsi anche nel corso della configurazione estiva con la *Spiaggia di bel tempo*. **Si noti infatti che nei riscontri di Luglio 2024 è stato osservato un robustissimo profilo convesso spesso più di 1,5m dal l.m.m e profondo (larghezza trasversale) 30-35m.**

In estrema sintesi nel settore di Forte Village, ciò si traduce in una retrocessione dell'area di battigia dell'ordine di 5-15 m (e dato il contesto di spiaggia a piè di ripa, anche il venir meno della berma ordinaria) a seconda dello stato di mare e della condizione morfologica di partenza (quella che precede la mareggiata) e di quella mareografica. Quest'ultima, si noti, quantunque ci si trovi al cospetto di una spiaggia microtidale (marea < 1m), può essere di per sé responsabile di arretramenti per così dire fisiologici, laddove l'inclinazione della battigia stessa permanga bassa. Ciò in quanto può facilmente dimostrarsi che, spiagge con inclinazione della battigia (*Swash zone*) di **9°- 6°**, già per tale via (marea) possono andare incontro ad arretramenti con valori compresi rispettivamente fra **2,5m - 4,0m** cioè a sensibili retrocessioni che tendono ad aumentare ulteriormente in ragione della diminuzione della pendenza.



Fig. 29-Vista area con Drone 2021 da NE della SUG1b. Confronta con Fig. 12 In rosso il limite superiore dei bassifondi rocciosi (R) che generano intrappolamento dei sedimenti nel settore sommerso e un frangimento che accentua la mobilità dei sedimenti presenti sottocosta.

Non di meno come si è detto lo spessore di sabbie nello specifico contesto, in condizioni naturali invernali è poco rilevante sulla spiaggia emersa, al più di 0,30m - 0,60m. In tale assetto poco più spesso il profilo tende a permanere anche in stato morfologico di clima estivo, che di norma dovrebbe essere più favorevole con l'**aggradazione** dei volumi, la **progradazione** della battigia e lo sviluppo della berma, ad un'espansione della spiaggia. Ciò in effetti si determina su tutta la spiaggia ma con evidente minore effetto proprio sul tratto di Forte Village. L'avvicendamento morfodinamico degli ultimi anni, malgrado gli interventi eseguiti prima del 2018, evidentemente poco o nulla fruttuosi su questo piano, ha posto in essere un aggravamento dello stato morfologico con stazionamento perdurante in ambito sommerso di quote consistenti di sabbie. Il deficit si palesa anche con l'esumazione nel corso della dinamica invernale di volumi ciottolosi evidentemente interposti al contatto fra sostrato roccioso e sabbie. Tali conglomerati a ciottoli in parte appiattiti ma per lo più frutto della demolizione dei banchi ciottolosi al contatto fra Formazione del Cixerri e soprastanti colluvi arenaceo-sabbiosi, sono ben presenti al piede della falesia tendenzialmente attiva o sub attiva a ridosso di Cala Verde (cfr. Fig.23, Fig.24 e 25) e danno conto della loro genesi. Nell'area della SUG1 (così come nella SUG2) non affiorano le vulcaniti terziarie tipiche del settore più Nord Orientale.

Le dinamiche osservate nel corso degli ultimi 5 anni non hanno smentito le precedenti osservazioni e tendono a consolidare le conclusioni formulate, circa l'importanza locale del progressivo deficit di bilancio che si genera a seguito dell'azione di intrappolamento determinata dagli affioramenti rocciosi sul fondo nel corso dell'inverno. Cosa questa che incide sul profilo di cattivo tempo ma che con tutta evidenza condiziona la simmetria del processo in condizioni di tempo estivo, impedendo al tratto di essere per così dire del tutto elastico, dal punto di vista morfodinamico. I bassifondi rocciosi, dunque, nelle condizioni attuali sono capaci di incidere sul frangimento e quindi sull'incremento dell'azione dissipativa nei confronti dei treni d'onde solo in condizioni di modesta mareggiata mentre, con onda di SE invernale ancora più lunga, risultano ad essa totalmente "trasparenti", ossia non hanno alcuna capacità dissipativa nel corso delle mareggiate formative più importanti. L'effetto riflettente che nello specifico tratto consegue dalla stessa ristrettezza della spiaggia tende tuttavia ad allontanare trasversalmente verso mare consistenti volumetrie che vengono progressivamente intrappolate dai bassifondi rocciosi stessi. Si tratta quindi anche di un effetto di causazione circolare, ossia riducendosi la profondità (larghezza) della spiaggia per effetto di perdite volumetriche varie, cresce esponenzialmente la sua erodibilità da riflessione per l'azione dei vettori trasversali invernali a cui d'estate non può fare fronte il ripristino naturale per effetto dell'accorciamento ondoso a causa del venir meno di volumi sabbiosi intrappolati entro le strutture geologiche. Tale deficit di bilancio stagionale documenta dunque la corresponsabilità del controllo geologico della spiaggia sulla sua vulnerabilità erosiva con le mareggiate più intense. Tale vulnerabilità ha peraltro di recente reso necessari interventi di consolidamento a presidio dei manufatti già danneggiati nel 2018 (Figg.36-37) per evitare la sottoescavazione degli stessi.



Fig. 30 - Foto del 19/03/2018. Inizio tratto più critico fotografato da Est. Si noti il drastico differenziale di profondità di spiaggia. Limite SUG1a/SUG1b



Fig. 31 - Foto del 19/03/2018.. Inizio tratto a massimo dissesto. Foto da Nord Est verso SudOvest. Le tracce scure sulla sabbia sono date da presenza di minuti granuli Titano-Magnetite. La berma si riduce drasticamente in direzione W . Il transetto corrisponde ad un settore di spiaggia riflettente a totale controllo geologico della batimetria e del settore emerso

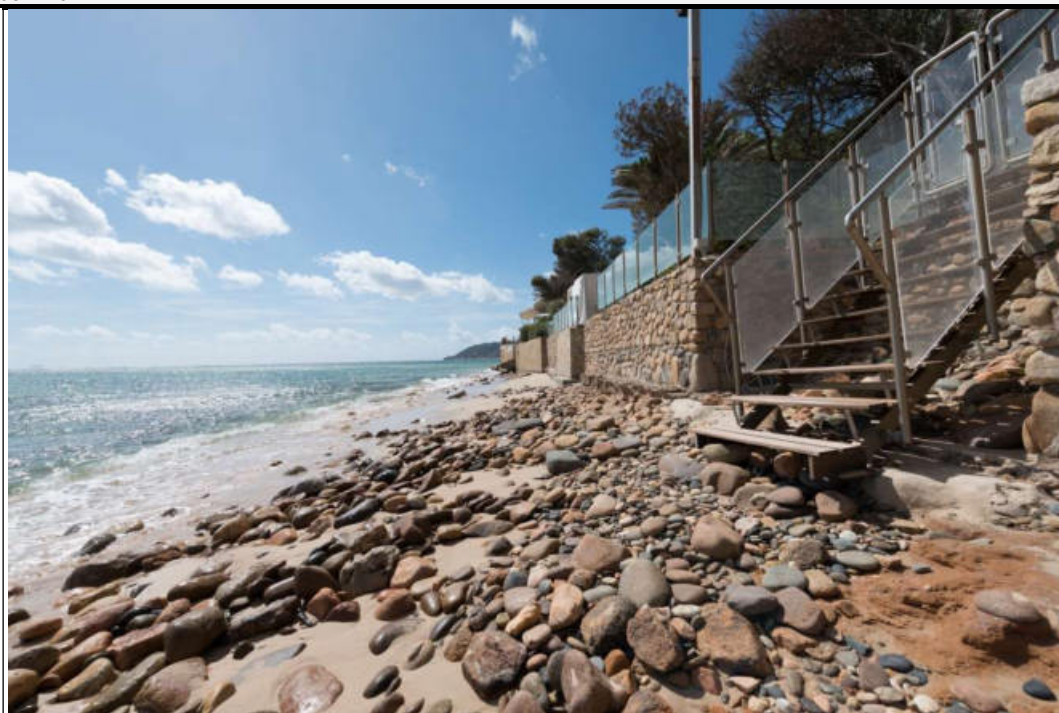


Fig.32 - Foto del 19/03/2018.. Esumazione dei volumi ciottolosi per drastica asportazione di sabbia verso la spiaggia sommersa e dinamica erosiva che si spinge al di sotto del manufatto, danneggiandolo. Il pietrame poggia sulla formazione rocciosa del Cixerri

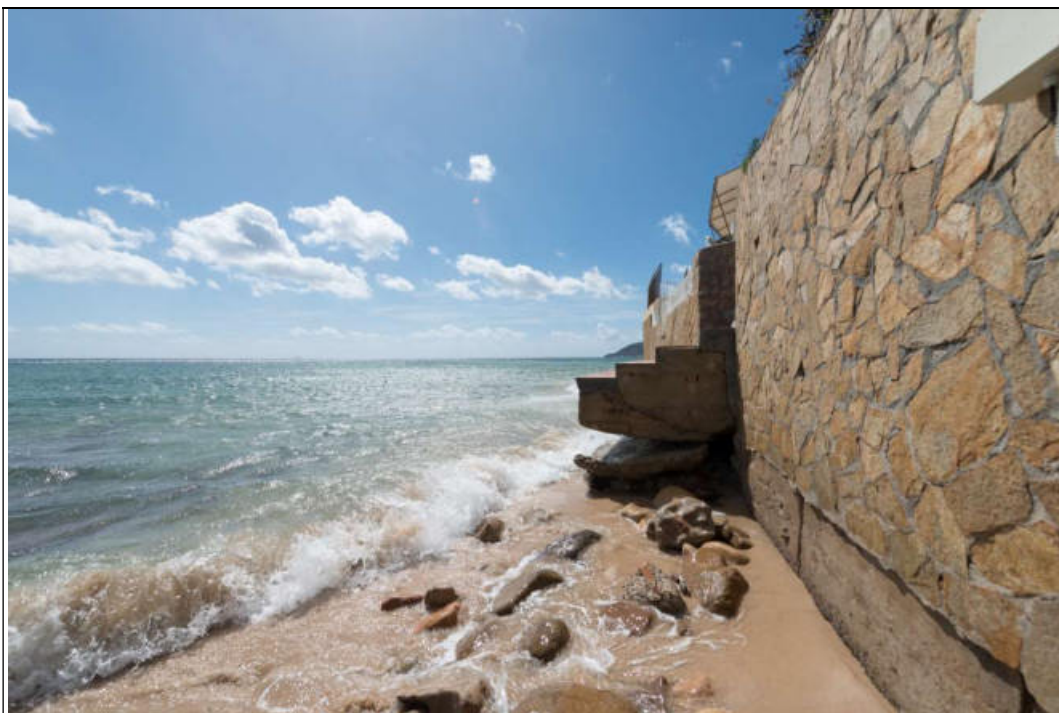


Fig. 33- Foto del 19/03/2018. La Swash-zone interessa la struttura muraria in quanto l'assetto di spiaggia è privo di berma. Questa precaria configurazione è ormai ricorrente nel corso dell'inverno e dovrebbe essere evitata per non correre il rischio di reiterarne la gravità .



Foto 34- Ulteriori danni strutturali al muro che delimita la struttura turistica



Fig. 35 -Scalzamento della fondazione del muro

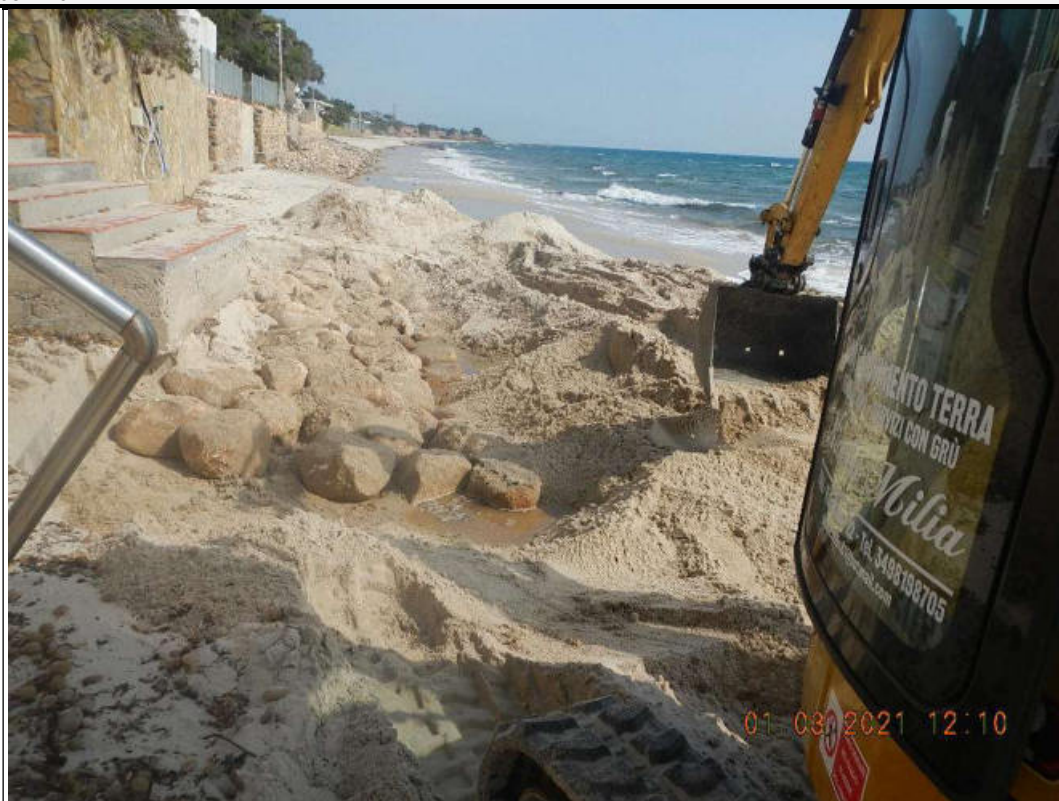


Fig. 36 - Intervento di difesa aderente in fase di realizzazione nei Marzo del 2021 con massi ciclopici



Fig. 37 – Particolari dell' Intervento di difesa aderente in fase di realizzazione a Marzo 2021, con massi ciclopici

9. DISCUSSIONE SULL'INTERVENTO, RIEPILOGO E CONCLUSIONI

Da quanto esposto nei paragrafi precedenti dallo studio svolto sono emersi alcuni aspetti oggettivi:

- [1] Il progetto riguarda su di uno sviluppo longitudinale di circa 500m una spiaggia, intesa come insieme di ambito emerso e sommerso, particolarmente complessa sul piano morfodinamico.

- [2] In base ad una circostanziata analisi geomorfologica estesa all'ambito subacqueo e con riferimento ai criteri esposti nelle Linee Guida per la Difesa della Costa dai fenomeni di Erosione e dagli effetti dei Cambiamenti climatici, lo studio ha consentito di distinguere e delimitare un'Unità Gestionale di **3° ordine** (UG) entro cui il progetto s'inserisce; Essa corrisponde al tratto costiero da Capo Pula agli aggetti rocciosi di Punta Aqua Ferru (Fig.8).
- [3] Nel dettaglio tale UG è scomponibile in due Sub Unità Gestionali di **4°ordine** SUG1 e SUG2, ciascuna scomponibile in due sottounità, SUG1a, SUG1b, SUG2a e SUG2b.
- [4] La Sub Unità Gestionale direttamente interessata dal progetto è SUG1, in particolare la sottounità distinta come SUG1b.
- [5] SUG1b costituisce l'elemento più vulnerabile e soggetto ad arretramento di lungo periodo, al contrario di tutti le altre sotto unità, per ragioni connesse al controllo geologico della spiaggia e in particolare la sussistenza di un basamento roccioso entro la spiaggia sommersa e in ambito emerso che determinano condizioni di aggetto tali da impedire alla spiaggia di strutturarsi durevolmente. SUG1b è pertanto molto esposta ad erosione longitudinale per effetto dei vettori obliqui da SW e finisce per non avere capacità di contrasto dei frangenti in condizioni morfodinamiche di cattivo tempo invernale.
- [6] La SUG2 è morfodinamicamente in contatto con SUG1 ma è distinta da essa poiché non è soggetta al medesimo controllo geologico di SUG1 sulla morfodinamica e la morfodinamica attiva sulla spiaggia non dà luogo a significativi svuotamenti volumetrici né questi ultimi, soprattutto, determinano quand'anche si determinassero effetti di dissesto e ritiro imponente della berma come nel caso di SUG1, almeno per buoni 3-4/5 di essa.
- [7] E' innegabile, tuttavia che SUG2 possa potenzialmente risentire delle modifiche progettuali su SUG1, in quanto è parte della stessa Unità Gestionale (UG 3°Ordine) oltre che dell'Unità Fisiografica (UF di 2° Ordine).
- [8] SUG1 è una spiaggia in stato modale tendenzialmente intermedio derivante dal contatto con SUG2 ma sotto **stretto controllo geologico** quanto più verso NordEst poiché particolarmente influenzata, sotto l'aspetto del frangimento, della rifrazione, dello shoaling e della diffrazione, dal sostrato roccioso affiorante ad una profondità piuttosto bassa della spiaggia, in ogni caso molto inferiore a quella di chiusura.
- [9] Il controllo geologico di SUG1 si esprime attraverso una singolare morfostruttura rocciosa (**Formazione del Cixerri** eo-Oligocenica) del bassofondo (Fig.12) secondo discontinuità orientate che condizionano la batimetria, il frangimento e la morfodinamica, pur essendo poco efficaci al contrasto dell'onda in caso di mareggiate di ampia lunghezza. Esse sostanzialmente si comportano come barriere soffolte, provocano il frangimento ma inducono un surplus erosivo sulla battigia e la berma entro un settore che d'inverno assume caratteri riflettenti prevalenti.
- [10] Il controllo geologico di SUG1 sulla batimetria è in ogni caso tale da non far rientrare la specifica sub-unità nella schematizzazione convenzionale trasversale di una spiaggia (Fig. 13), in quanto interrompono la continuità della spiaggia sommersa e condizionano trasversalmente alla stessa spiaggia la mobilità dei sedimenti.
- [11] Ciò, ad avviso di chi scrive è rilevante in quanto rende piuttosto complessa qualunque modellazione ad alta risoluzione, soprattutto con finalità morfodinamiche. Di ciò si dovrà evidentemente tener conto in modo adeguato e circostanziato in tale sede. In particolare è di tutta evidenza che nello stato attuale, la presenza dei bassifondi induce la formazione solo parziale di salienti, che tuttavia soltanto in condizioni di bel tempo riescono, talvolta blandamente a strutturarsi, pur permanendo sommersi.
- [12] la spiaggia in SUG1b è vulnerabile anche per effetto di un deficit sedimentario storico conseguente dalla sovrapposizione di diverse cause chiarite nel testo che ha generato un deficit su tutta la spiaggia di SMP.
- [13] Le sabbie sono Quarzoso feldspatiche con Qz 57%-70%, Feldspati alcalini e Plagioclasti 17%-28%, Litici 3%-6%, Bioclastici 6%-11% (Tabb 4, 5 e 6).
- [14] La SUG1, in conseguenza del suo controllo geologico, si manifesta come una spiaggia non convenzionale caratterizzata da un "sistema" a trappole geomorfologiche di sedimenti disposte in

modo sub parallelo e obliquo rispetto all'asse longitudinale della stessa spiaggia e trasversale all'ondazione morfodinamicamente significativa di Scirocco.

- [15] Il sistema a trappole sub parallele e ortogonali al treno d'onde formativo, delimita su di una ristretta porzione verso terra, la barra principale che si struttura nella SUG1 stessa, la cui posizione fluttua stagionalmente in base alle risultanze del moto ondoso e alla riflettività dello specifico settore emerso.
- [16] La condizione sopradescritta favorisce quindi l'intrappolamento nelle strutture del sostrato sul fondo, di una certa parte dei sedimenti sabbiosi erosi nel corso dell'inverno dalla spiaggia emersa che solo in parte può essere ripasciuta dal "nastro trasportatore" litoraneo con verso da SW a NE e dal reintegro estivo progradante con onde a minor lunghezza.
- [17] La sabbia può mobilizzarsi e sfuggire dalle trappole sedimentarie solo con mareggiate di tempesta, ad elevato Tr per cui è indisponibile nella ricostituzione del profilo di "bel tempo", per cui il bilancio stagionale e pluristagionale è strutturalmente negativo e la spiaggia retrocede strutturalmente.
- [18] Il fronte emerso di SUG1 nel corso del tempo ha visto incrementare l'irrigidimento e il carattere riflettente con drastica riduzione della berma ordinaria in stato di bel tempo e la sua totale scomparsa in stato di cattivo tempo.
- [19] L'evoluzione morfodinamica naturale delle ultime stagioni è proseguita malgrado gli interventi ricostruttivi operati a varia magnitudo volumetrica.
- [20] La suddetta dinamica ha dunque favorito l'indebolimento volumetrico progressivo della spiaggia, in un rapporto di causazione circolare che si va accentuando in mancanza di interventi che favoriscano la conservazione dei surplus artificiali posizionati con gli interventi degli ultimi 3 anni.
- [21] Ne consegue che nello specifico tratto di SUG1 è progressivamente venuta meno la resilienza naturale.
- [22] Ciò ha determinato non solo l'incremento erosivo dello specifico tratto ma anche il dissesto di alcuni manufatti per sottoescavazione delle loro fondazioni (ai fini della temporanea soluzione di questi problemi nel mese di Luglio 2018 è stato eseguito il progetto di Ricarica del profilo e la messa in sicurezza di un tratto spiaggia antistante il Forte Village Resort sul litorale di Santa Margherita di Pula. Nella primavera del 2021, invece sono stati eseguiti interventi di consolidamento, regolarmente assentiti (Figg.36 e 37).
- [23] La condizione di esposizione del transetto è confermata dalla cartografia del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni della RAS (2015), ovvero le Mappe di Pericolosità da inondazione costiera (Tav. Hi_c-0065).

Di conseguenza in SUG1:

- a) sussiste un problema di riduzione della possibilità di effettivo esercizio della concessione demaniale;
- b) sussiste un problema di sicurezza, in quanto le condizioni dei luoghi, in assenza d'interventi specifici pongono in discussione la tutela pubblica (demanio marittimo) e privata (manufatti) sul breve e sul medio periodo;
- c) nelle vigenti condizioni morfodinamiche non può più essere considerato utile nè conveniente il solo intervento di ricostruzione volumetrica o di ricarica del profilo di spiaggia senza ricorrere ad opere rigide ossia "non protetto".
- d) Il ripascimento protetto appare quindi una ragionevole misura per la tutela del bene pubblico demaniale e per la conservazione delle attività economiche consolidate nei decenni

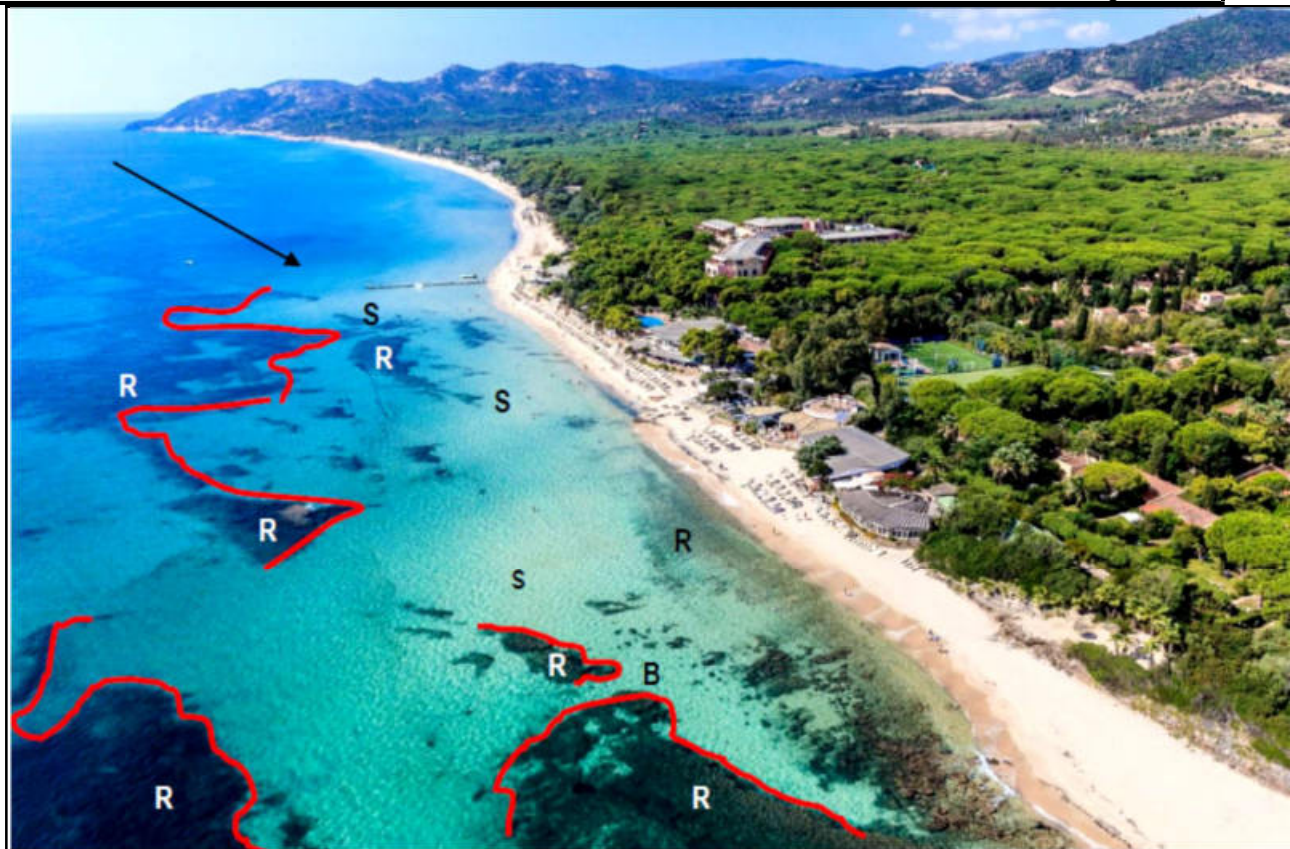


Fig.35- Foto simulazione della disposizione delle scogliere emerse . Ba = Burrow area, aree di rifornimento

Se ne deduce che al fine di mantenere inalterato il valore del transetto balneare, non resta che ricorrere ad un intervento artificiale consistente nella ricostruzione (manutenzione straordinaria) della spiaggia mediante un riporto di circa 15.000 di mc di sabbia da distribuirsi in una superficie di 500m unito al posizionamento di **n. 3 opere di difesa attiva parallele alla riva** localizzate secondo la **Fig.35**. Ciò comporterà una concentrazione dei suddetti volumi di sabbia all'interno del dispositivo creato dal progetto (**Fig. 35**) al fine di "accompagnare" (guidare) la ricostruzione del profilo mediante la generazione di un saliente. La geometria di dettaglio saranno definite dal modello morfodinamico. E di tutta evidenza che l'intervento dovrà essere attentamente monitorato. In ogni caso le tre scogliere in massi per un volume totale di circa 8000mc sono strutture a basso impatto paesistico e a insignificante impatto sugli equilibri costieri che consentano da un lato la rigenerazione di progredazioni sabbiose (cuspidate o lobate) e dall'altro la più duratura conservazione degli assetti artificiali (Volumi introdotti) e di quelli naturali artificialmente indotti (tendenze morfodinamiche generate dalle opere), senza incidere significativamente sull'equilibrio della restante **SUG2** e men che meno sull'Unità fisiografica di 2° ordine. Il prelievo di sabbia da *Burrow areas* vicine e all'esterno delle barriere, non sarà concentrato e in ogni caso si dovrà tenere conto degli assetti de posizionali delineati dallo stesso controllo geologico. A tal fine è ertamente da preferirsi l'approvvigionamento lineare e diffuso all'interno delle trappole generate dalle strutture geologiche.

Tale nuova configurazione farà sì che la deformabilità stagionale e pluriennale del litorale sia nel suo complesso, per progressivo adattamento di breve e medio periodo, compatibile con le esigenze del Resort e, a sua volta, tale da costituire presidio complessivo per le opere a terra. La stabilizzazione morfologica della porzione di spiaggia sarà dunque a sua volta apportatrice di beneficio per l'ambito emerso.

La proposta formulata dal progettista, più volte discussa e confrontata con lo scrivente geologo, anche per gli aspetti della migliore collocazione possibile dei materiali rocciosi, oltre che per il loro reperimento (Cap. 10) appare quindi un corretto compromesso fra le esigenze di conservazione fisica, di tutela ambientale e geomorfologica del litorale e quelle di conservazione del suo valore economico.

Sassari, 26/09/2024

BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE SU MORFODINAMICA COSTIERA

- Dean, R.G. (1973) - Heuristic models of sand transport in the surf zone. Proc. Conf. On Engineering Dynamics in the Surf Zone, Sydney, N.S.W., pp. 208-214.
- Komar, P. D. (1998) - Beach Processes and Sedimentation, Chp. 04 - The Changing Level of the Sea, Prentice Hall.
- Masselink, G. & Short, A.D. (1993) - The influence of tide range on beach morphodynamics: a conceptual model. *Journal of Coastal Research* 9, 785–800.
- Masselink, G. & Hughes, M.G.(1996) - Application of an energetics- based model to sediment transport in the swash zone:. A field study. *Continental Shelf Res.*, submitted.
- Masselink, G., M. G. Hughes & J. Knight (2011) - Introduction to Coastal Processes & Geomorphology, 2nd edition ed., Hodder Education, London.
- Wright, L.D. & Short, A.D. (1984) - Morphodynamic variability of surf zone and beaches. *Marine Geology* 56, 93–118.
- U.S. CORPS OF ENGINEERS (1984) - Shore Protection Manual (volume 1, fourth edition). pp.143.
- U.S. CORPS OF ENGINEERS (1984) - Shore Protection Manual (volume 1, fourth edition). pp.99.

ALTRA BIBLIOGRAFIA

- Antonioli F., Anzidei M., Amorosi A., Lo Presti V., Mastronuzzi G., Deiana G., De Falco G., Fontana A., Fontolan G., Lisco S., Marsico A., Moretti M., P.E. Orrù, Sannino G.M., Serpelloni E. & Vecchio A. (2017) - Sea-level rise and potential drowning of the Italian coastal plains: Flooding risk scenarios for 2100. *Quaternary Science Reviews*, vol.158, pag. 29-43.
- Atzeni A., De Muro S., Di Gregorio F., & Piras G. (2002) - Carta del Rischio Geoambientale nelle coste della Sardegna – Univ. Cagliari, C.N.R., M.I.U.R., R.A.S.. scala 1:300.000, SELCA Cagliari.
- Atzeni A., Pedone P. & Sulis A. (2009) - Morfologia del Saliente Is Morus - Pula (Ca) e idrodinamica attorno allo scoglio antistante. *Studi costieri*. Vol.16, pag. 73-88.
- Barsanti M. & Valloni R. (2014) - Riconoscimento di celle litorali tramite informazioni territoriali da internet. <https://www.researchgate.net/publication/237572572> pp.9.
- De Muro S. (2013) - Progetto pilota di gestione ambientale integrata in un'area contermina alla foce del Rio Santa Margherita nel Comune di Pula.
- Di Gregorio F., Federici P. R., Fierro G. & Ginesu S. (1998) - Atlante delle spiagge della Sardegna, Fogli (167, 168, 179, 180, 192, 199, 205, 208, 219, 216, 224, 227, 232, 234, 235, 239). C.N.R.-M.I.U.R., R.A.S, Cagliari.
- Di Gregorio, F., Pusceddu, M. & Serreli, A. (2009) - Valutazione del rischio costiero mediante tecniche GIS del litorale di Pula (Sardegna Sud-occidentale), 903–908.
- Ferretti O., Barsanti M., Delbono I. & Furia S. (2003) – Difese costiere “morbide”: ripascimenti artificiali. *Rassegna tipologica*. In *Elementi di gestione costiera - Parte IV*: 54 pp.
- Mancinelli A., Aminti P.L., Archetti R., Atzeni A., Canu V., Cappietti L., Lorenzoni C. e Zanuttingh B. (2005) - Opere di difesa realizzate con strutture sommerse ed a cresta bassa ad Alghero (SS), Perd'e Sali (CA), Marina di Massa (MS), Marina di Pisa (PI), Porto di Recanati (MC), Marina di Montemarciano (AN), Lido di Dante (RA) e Pellestrina (VE). *Studi Costieri*, vol. 9, pag. 7-50.
- Rahmstorf, S. (2007) - A semi-empirical approach to projecting future sea-level rise. *Science*, vol. 315, pag. 368-370.

- Valloni R. & Ferretti O. (2002): Rassegna tipologica e statistica degli interventi di ripascimento artificiale dei litorali italiani. Pubbl. ENEA-Università di Parma.

Tesi di dottorato

- ❖ Sole F.M. (2015) - *Valutazione della vulnerabilità delle coste della Sardegna a fenomeni di erosione ed inondazione dovuti all'impatto degli eventi estremi meteo- marini. Dottorato di Ricerca in Difesa e conservazione del suolo, vulnerabilità ambientale e protezione idrogeologica - Ciclo XXVIII. Pp.154.* Università di Cagliari
- ❖ Pusceddu M. (2008) - *Database geografico e applicazioni gis per l'analisi geoambientale della fascia costiera di Pula (Sardegna SO)- Dottorato di Ricerca in Difesa e conservazione del suolo, vulnerabilità ambientale e protezione idrogeologica. Ciclo XIX. Pp.153.* Università di Cagliari.

Manuali ISPRA/APAT e Linee Guida consultati

- ◇ Lucarini M., Del Gizzo M., Iadanza C., Cerri C., Berti D., Ligato D., Brustia E., Vittori E., Pasanisi F., Ferruzza G., Conti M., Cappucci S., Corsini S. (2007) – *Atlante delle opere di sistemazione costiera. APAT, Manuali e Linee guida 44/2007: 169 pp.*
- ◇ Paganelli D., La Valle P., Ercole S., Lisi I., Teofili C. & Nicoletti L. (2014) - *Linee guida per gli studi ambientali connessi alla realizzazione di opere di difesa costiera. ISPRA, Manuali e Linee Guida 105/2014: 73 pp.*
- ◇ Grande V., Proietti R., Foglini F., Remia A., Correggiari A., Paganelli D., Targusi M., Franceschini G., La Valle P., Berducci M.T., La Porta B., Lattanzi L., Lisi I., Maggi C., Loia M., Pazzini A., Gabellini M. & Nicoletti L. (2015) - *Sistema Informativo per il monitoraggio ambientale della risorsa sabbia offshore nei progetti di protezione costiera: geodatabase env_Sand. ISPRA, Manuali e Linee guida, 127/2015: 63 pp.*
- ◇ Nicoletti L., La Valle P., Paganelli D., Lattanzi L., La Porta B., Targusi M., Lisi I., Loia M., Maggi C., Pazzini A., Proietti R., Gabellini M. (2018) - *Aspetti ambientali del dragaggio di sabbie relitte a fini di ripascimento: protocollo di monitoraggio per l'area di dragaggio. ISPRA, Manuali e Linee Guida 172/2018, 35 pp.*
- ◇ MATT & MEF (2005) – *Analisi delle caratteristiche meteomarine al largo e a riva e valutazione dei processi evolutivi costieri. A cura di Noli A. & Mita M. pp. 367. I.P.Z.S. Roma*
- ◇ MATTM-Regioni (2018) - *Linee Guida per la Difesa della Costa dai fenomeni di Erosione e dagli effetti dei Cambiamenti climatici. Documento elaborato dal Tavolo Nazionale sull'Erosione Costiera MATTMRegioni con il coordinamento tecnico di ISPRA, 305pp.*

Pubblicazioni dello scrivente sulla tematica dell'erosione costiera

G. Tilocca (2004) - Sintesi dello stato delle coste in prossimità di opere marittime in Sardegna (Italia). *Riassunto e Poster, IV Congresso Internazionale Ambiente e Identità in Mediterraneo, pag. 376-377, Corte-Corsica (2004).*

G. Tilocca (2006) - Considerazioni geo-ingegneristiche sull'assetto dei litorali in Sardegna. *Convegno: La progettazione geotecnica (Cagliari, 8 Giugno 2006); pp.12 (Atti del Convegno) e PPT.*

G. Tilocca (2008) - Considerazioni sui provvedimenti per la gestione delle spiagge in Sardegna. *Il Geologo, n.2 - (2008), pp. 19.*

E. Bocchieri, G. Iriti & G. Tilocca (2010) - Problematiche relative all'asportazione dei depositi di *Posidonia oceanica* (L.) Delile dalla spiaggia di Cala Brandinchi (S. Teodoro, Sardegna nord orientale) *Poster 3° Simposio: Il monitoraggio costiero mediterraneo: problematiche e tecniche di misura. Livorno 15-17 Giugno (2010).*

Per conto dell'Assessorato dei LL. PP. della RAS:

G. Tilocca & A. Murrau (2003) - *Linee Guida per l'individuazione dei criteri generali per la difesa dei litorali. Assessorato dei Lavori pubblici – Servizio Difesa del Suolo – R.A.S.. pp 49 (con allegate schede tipo per creazione banca dati interventi costieri).*

SITOGRAFIA INTERNET

G. Tilocca (2008a)-*Gestione "eco-sostenibile delle spiagge": sì, ma come? Una rapida valutazione tecnica degli indirizzi urgenti per la gestione della fascia costiera (Deliberazione n. 27/7 del 13 Maggio 2008 della R.A.S.) ed ulteriori commenti -Giugno 2008*
http://gruppodinterventogiuridico.blog.tiscali.it/Gestione_eco_sostenibile_delle_spiagge_s_ma_come_1902219.shtml
10/06/2008

G. Tilocca (2008b)-*Sulla Determinazione 942 del 7 Aprile 2008 della R.A.S. - Prescrizioni inerenti l'asportazione della Posidonia spiaggiata e la pulizia delle spiagge da rifiuti*
http://gruppodinterventogiuridico.blog.tiscali.it/Gestione_eco_sostenibile_delle_spiagge_la_Posidonia_i_rifiuti_1903257.shtml
Pubblicato 13/06/2008

- G. Tilocca (2008d)-*Della pulizia delle spiagge, ovvero ...*www.insardegna.eu Pubblicato 23/04/2008
- G. Tilocca (2008e) - *Rimozione dei sedimenti vegetali a Posidonia oceanica: il caso di Nodu Pianu (Golfo Aranci - OT)*
http://gruppodinterventogiuridico.blog.tiscali.it/Spiagge_violentate_in_Gallura_1909729.shtml Pubblicato 04/07/2008
- G. Tilocca (2008f)-*Gestione costiera e nuovi indirizzi regionali.* www.insardegna.eu Pubblicato 28/07/2008
- G. Tilocca (2011) - *Il dissesto idrogeologico della Rada di Alghero: un esempio di insostenibilità del management costiero.*
https://algherobenecomune.files.wordpress.com/2011/06/abc_ambiente.pdf
- G. Tilocca (2012a)-*Frane e Falesie. Monitorare l'urgenza per somministrare palliativi o per garantire sicurezza?*
<http://www.ingegnereambientale.com/> DOWNLOAD:Geoingegneria e geologia applicata G. Tilocca - 03.02.2012 - FALESIA E TORRE di SCAU 'e SAI San Vero Milis.
- G. Tilocca (2012b) - *Il dissesto idrogeologico della Rada di Alghero. Un esempio di insostenibilità del management costiero.*
<http://www.ingegnereambientale.com/il-dissesto-idrogeologico-della-rada-di-alghero-un-esempio-di-insostenibilita-del-management-costiero/> Pubblicato 20.10.2012
- G. Tilocca (2012c)-*Le Linee Guida per la predisposizione dei P.U.L. (Piani di Utilizzo dei Litorali) con finalità turistico ricreativa. Ancora troppi i punti di debolezza.* <http://www.ingegnereambientale.com/> Pubblicato 19/11/2012
- G. Tilocca (2013a)-*Sulla sottovalutazione delle implicazioni geomorfologiche nelle opere marittime in Sardegna.*
<http://www.ingegnereambientale.com/sulla-sottovalutazione-delle-implicazioni-geomorfologiche-nelle-opere-marittime-in-sardegna/>
Pubblicato 12.03.2013.
- G. Tilocca (2013)-*Considerazioni tecniche sulle Linee Guida per la predisposizione dei P.U.L. (Piani di Utilizzo dei Litorali) con finalità turistico ricreativa. Le implicazioni nel campo della conservazione del bene demaniale*
<http://www.ingegnereambientale.com/considerazioni-tecniche-sulle-linee-guida-per-la-predisposizione-dei-p-u-l-piani-di-utilizzo-dei-litorali-con-finalita-turistico-ricreativa-le-implicazioni-nel-campo-della-conservazione-del-bene-d/> Pubblicato 22.03.2013
- G. Tilocca (2016) - *Dissesto idrogeologico per effetto della rimozione della posidonia oceanica dalle spiagge*
<https://www.ingegnereambientale.com/dissesto-idrogeologico-effetto-della-rimozione-della-posidonia-oceanica-dalle-spiagge/>
Pubblicato 31/08/2016
- G. Tilocca (2017) - *Manutenzione ordinaria del demanio marittimo della Sardegna. Protezione e difesa delle spiagge*
<https://www.ingegnereambientale.com/manutenzione-ordinaria-del-demanio-marittimo-della-sardegna/> Pubblicato 01/06/2017

Normativa consultata

- Direttiva 2014/52/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 16 aprile 2014
- Direttiva degli alvei e la gestione dei sedimenti artt. 13 e 15 delle n. a. del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico della Sardegna. ADIS-RAS
- D.M 173 del 15/7/2016

ALTRO

Programma Azione Coste (2013) – Assessorato della Difesa dell'Ambiente RAS

Mappe di pericolosità da inondazione costiera - P.G.R.A. (2014).