



T3.1.1 Relazione specialistica

Area pilota di Torre delle Stelle - Solanas,
Sardegna, Italia

REGIONE SARDEGNA – Assessorato della difesa dell'ambiente

ARPA SARDEGNA – Dipartimento geologico

UNICA – Dipartimento di scienze chimiche e geologiche

Luglio 2020

Gruppo di Lavoro

COORDINAMENTO GENERALE E REFERENTI TECNICI DEL PROGETTO

Dott. Ing. Mario Deriu – RAS – Ass.to Difesa Ambiente - Servizio Tutela della natura e p.f.

Dott. Geol. Riccardo Dessi – ARPA SARDEGNA – Dipartimento Geologico

Prof. Antonio Funedda – UNICA – Dipartimento Science Chimiche e Geologiche

RAS - ASS.TO DIFESA AMBIENTE - SERVIZIO TUTELA DELLA NATURA E P.F.:

Direttore del Servizio:	Dott. Agr. Giovanni Piras
Responsabile del progetto e coordinamento:	
	Dott. Ing. Mario Deriu
Collaborazioni:	Dott.ssa Geol. Maria Bonaria Careddu
	Dott. Geol. Mauro Farris
Habitat/Ecosistemi – Valutazione Pressioni Impatti:	
	MARTECH S.r.l. - Dott. Biologo Piero Panzalis (servizio esterno)
Assistenza elaborazione testi:	Dott.ssa Loredana Mulas (consulente)
Comunicazione:	Marcello Cabras (consulente)

ARPAS - DIPARTIMENTO GEOLOGICO

COSTE BASSE E BACINI IDROGRAFICI

Direttore del Dipartimento Geologico:	Dott. Geol. Marino Boi
	dal 1 Settembre 2019 Ing. Mauro Iacuzzi
Coordinamento:	Dott. Geol. Riccardo Dessi
Direzione tecnico scientifica:	Dott. Giovanni Tilocca (Consulente)
Geologia e Geomorfologia:	Dott. ssa Egidia Bruna Melis
	Dott. ssa Geol. Danila Elisabetta Patta (consulente)
	Dott. Geol. Giuseppe Pisanu (consulente)
Idrogeologia:	Dott. ssa Egidia Bruna Melis
	Dott. ssa Geol. Maria Luisa Fercia
Uso e copertura del suolo:	Dott.ssa Geol. Elisabetta Benedetti
	Dott. Geol. Francesco Muntoni
Idrologia e aspetti climatici:	Dott. Ing. Domenico Caracciolo
Sedimentologia e mineropetrografia:	
	Dott. Geol. Roberto Lonis
	Dott. ssa Geol. Maria Luisa Fercia
	Dott. ssa Egidia Bruna Melis
	Dott.ssa Chim. Carla Denotti
	Dott.ssa Chim. Gabriella Podda
	PETROLAB S.R.L (servizio esterno)
Rilievi ed elaborazioni immagini da satellite:	
	Dott. Geol. Francesco Muntoni
	PLANETEK S.R.L (servizio esterno)
Bilancio sedimentario – Stima trasporto solido fluviale:	
	Dott. Geol. Francesco Muntoni
	Geom. Andrea Lai

Prof. Rocco Dominici *Dipartimento di Biologia, Ecologia e Scienze della Terra, Università della Calabria*

Dott. Salvatore Larosa *Dipartimento di Biologia, Ecologia e Scienze della Terra, Università della Calabria*

Bilancio sedimentario - Tendenze evolutive delle spiagge - Rischio Costiero:

Dott. Geol. Riccardo Dessi

Dott.ssa Geol. Elisabetta Benedetti

Dott. Geol. Francesco Muntoni

Dott. Geol. Giovanni Tilocca (Consulente)

Rilievi aerofotogrammetrici - morfobatimetrici - misure ondametriche/correntometriche:

RTI MARTECH S.R.L & SARLAND S.R.L (servizio esterno)

Analisi meteomarine e morfodinamica sedimentaria:

CRITERIA S.R.L (servizio esterno)

Elaborazioni dati e cartografia digitale - Ufficio Cartografico Dip. Geologico:

Geom. Andrea Lai

Geom. Antonio Lavena

Sig. Pinuccio Manca

Dott. Geol. Francesco Muntoni

Elaborazioni testi e grafica:

Geom. Ornella Pilloni

UNICA - DIPARTIMENTO SCIENZE CHIMICHE E GEOLOGICHE

COSTE ALTE

Coordinamento:

Prof. Antonio Funedda

Geologia e Geomorfologia:

Dott. Geol. Giacomo Deiana,

Prof. Antonio Funedda,

Dott. Geol. Mattia A. Meloni,

Prof. Paolo Orrù,

Geologia applicata, analisi geotecniche e geomeccaniche:

Prof.ssa Stefania Da Pelo,

Dott. Ivan Erbi,

Dott. Geol. Mattia A. Meloni,

Rilievi ed elaborazioni immagini da remote e proximal sensing:

Dott. Geol. Giacomo Deiana,

Dott. Marco Loche,

Dott.ssa Geol. Maria T. Melis,

Dott. Geol. Mattia A. Meloni,

Dott. Geol. Riccardo Salvini (*Centro di GeoTecnologie – Università di Siena*),

Dott. Geol. Claudio Vanneschi (*Centro di GeoTecnologie – Università di Siena*)

Dott. Geol. Paolo Conti (*Centro di GeoTecnologie – Università di Siena*),

Dott. Geol. Gianluca Cornamusini (*Centro di GeoTecnologie – Università di Siena*),

Elaborazione dati e cartografia digitale:

Dott. Geol. Francesco Dessì,

Dott.ssa Geol. Maria T. Melis,

Dott. Geol. Luca Naitza,
Dott. Geol. Riccardo Salvini (*Centro di GeoTecnologie – Università di Siena*)
Dott. Geol. Claudio Vanneschi (*Centro di GeoTecnologie – Università di Siena*)

Rilievi geofisici e geomorfologici e restituzione cartografica del sistema sommerso:

Dott. Geol. Giacomo Deiana,
Dott. Geol. Valentino Demurtas,
Dott. Geol. Mattia A. Meloni,
Prof. Paolo Orrù.

Analisi clima meteomarinò e moto ondoso:

Dott. Ing. Andrea Sulis,

Zonazione della suscettività, Pericolosità e Rischio costiero, Monitoraggio:

Prof.ssa Stefania Da Pelo,
Dott. Geol. Giacomo Deiana,
Dott. Geol. Francesco Dessì,
Prof. Antonio Funedda,
Dott. Ing. Paolo Loddo,
Dott.ssa Geol. Maria T. Melis,
Dott. Geol. Mattia A. Meloni,
Prof. Paolo Orrù,

Elaborazione testi/immagini e Divulgazione:

Prof.ssa Stefania Da Pelo,
Dott. Geol. Giacomo Deiana,
Dott. Geol. Francesco Dessì,
Prof. Antonio Funedda,
Dott.ssa Geol. Maria Irene Marras,
Dott.ssa Geol. Maria T. Melis,
Dott. Geol. Mattia A. Meloni,
Prof. Paolo Orrù,
Dott. Ing. Andrea Sulis.

INDICE

INTRODUZIONE	4
1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E FISIOGRAFICO	5
2. STATO DELLE CONOSCENZE.....	7
2.1 LA PIANIFICAZIONE PAESAGGISTICA	7
<i>Relazioni di interesse per l'area pilota</i>	7
<i>Altri studi di settore.....</i>	9
2.2 LA PIANIFICAZIONE DEGLI ASPETTI IDROGEOLOGICI DELLA REGIONE SARDEGNA..	9
<i>Il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA)</i>	9
<i>Il piano di assetto idrogeologico (PAI)</i>	10
<i>Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF).....</i>	10
<i>Piano di gestione del distretto idrografico</i>	11
<i>Piano stralcio di bacino regionale per l'utilizzo delle risorse idriche</i>	11
<i>Piano di tutela delle acque</i>	11
<i>Piano regionale di protezione civile per il rischio idraulico, idrogeologico e da fenomeni meteorologici avversi.</i>	11
2.3 GLI ISTITUTI DI TUTELA NATURALISTICA	12
2.4 STUDI E RICERCHE SULL'AREA DI STUDIO	13
<i>Programma di Azione Coste (PAC)</i>	13
3. CARATTERIZZAZIONE DELL'AREA PILOTA	15
3.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	15
<i>Assetto litostratigrafico</i>	15
<i>Complesso intrusivo tardo-paleozoico</i>	18
<i>Complesso filoniano tardo-paleozoico</i>	19
<i>Successioni sedimentarie terziarie</i>	19
<i>Depositi Quaternari</i>	19
<i>Assetto tettonico-strutturale</i>	21
<i>Assetto geomorfologico.....</i>	21
<i>Il sistema idrografico</i>	21
<i>Le spiagge</i>	22
<i>Le coste "alte"</i>	25
<i>Assetto idrogeologico</i>	36
3.2 INQUADRAMENTO IDROLOGICO E CLIMATOLOGICO	40
<i>Bacino Idrografico, Indici morfometrici e tempi di corrivazione.....</i>	40
<i>Climatologia</i>	40
<i>Curva ipsografica</i>	41
<i>Organizzazione del reticolo idrografico secondo Horton-Stralher</i>	41
<i>Analisi degli eventi pluviometrici estremi</i>	42
3.3 USO E COPERTURA DEL SUOLO.....	44
<i>Metodologia, scala di rappresentazione e legenda</i>	44
<i>Elaborazione dei dati, sintesi e risultati.....</i>	46
3.4 INQUADRAMENTO DEL CLIMA METEO-MARINO	50
3.5 GLI ECOSISTEMI COSTIERI.....	50
<i>La Carta degli Habitat e dei Biotopi</i>	50
<i>Uso del suolo e copertura vegetale.....</i>	50
<i>Valore ecologico e fragilità ambientale</i>	51
<i>Corrispondenze con gli habitat Natura 2000</i>	52
<i>Habitat e specie</i>	53
<i>Habitat marini</i>	53

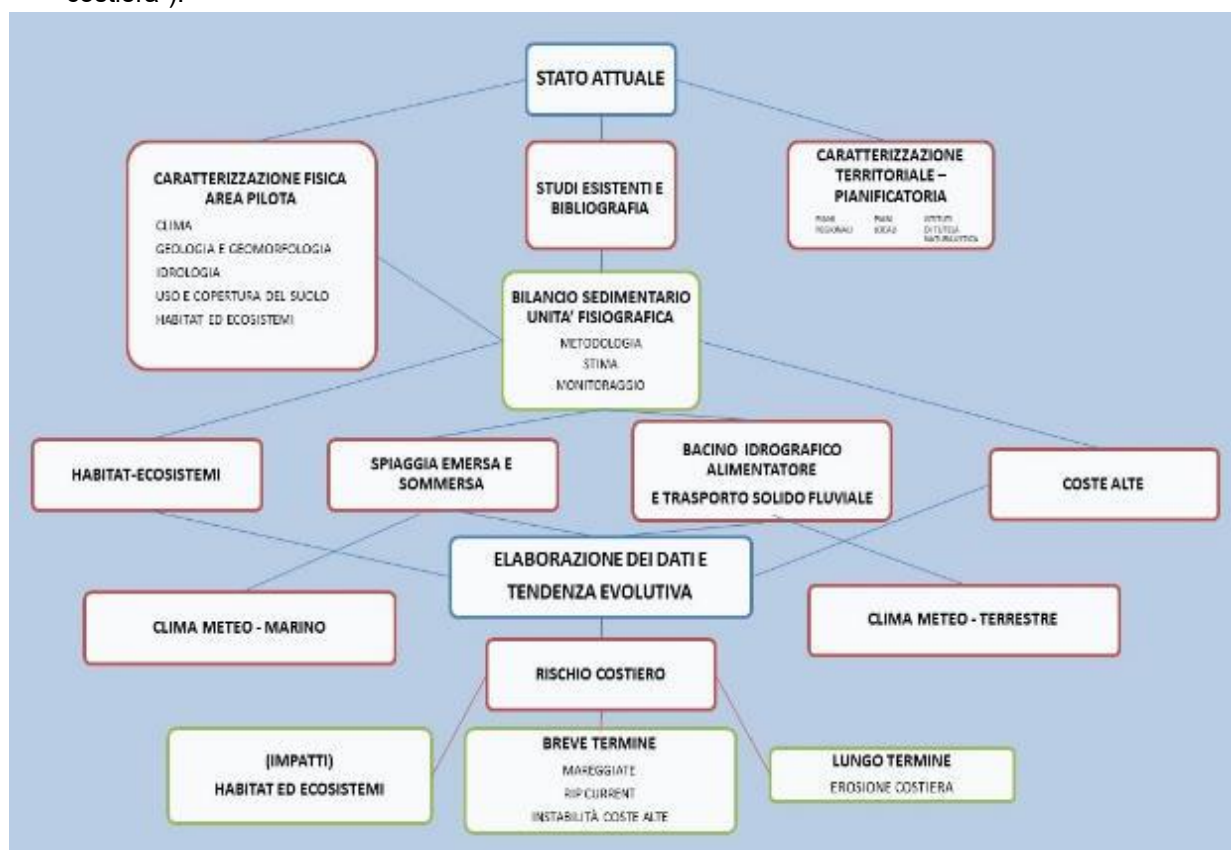
<i>Individuazione e mappatura delle biocenosi marino costiere e Carta Biocenotica</i>	54
<i>Gli habitat delle coste sabbiose, dune e vegetazione dunale</i>	55
Spiaggia di Cann'e Sisa.....	55
Spiaggia di Genn'e Mari.....	56
Spiaggia di Solanas.....	58
<i>Gli habitat delle coste rocciose</i>	61
Capo Boi.....	61
Punta Cabudi.....	62
Portu Perdosu.....	63
Torre delle Stelle.....	64
<i>La vegetazione fluviale del Riu Solanas</i>	65
3.6 IL SISTEMA INSEDIATIVO.....	65
4. METODI D'INDAGINE ED ELABORAZIONE DEI DATI	66
4.1 IL BILANCIO SEDIMENTARIO DELLE SPIAGGE.....	66
<i>Modalità di rilevamento: attività e indagini in campo</i>	66
<i>Modalità di rilevamento: attività e indagini in laboratorio in alveo ed in spiaggia</i>	69
Studio dei sedimenti fluviali.....	71
Studio dei sedimenti di spiaggia.....	74
<i>Analisi multitemporale: evoluzione passata e valutazione delle condizioni attuali</i>	85
<i>Il bilancio sedimentario: l'apporto dei sedimenti fluviali dal bacino idrografico</i>	85
Metodologia adottata: IDRAIM + SUM + EPM_GIS.....	85
Suddivisione gerarchica del Bacino e del reticolo idrografico e Sistema di rilevamento delle Unità	
Morfologiche (SUM).....	86
Misura dei parametri morfologici.....	91
Valutazione della Qualità morfologica (IQM).....	92
Tendenze future e monitoraggio (IQM_m).....	94
<i>Bilancio sedimentario: produzione di sedimenti e trasporto solido fluviale</i>	94
Approccio modellistico: YES + Index of connectivity.....	95
Definizione e accorpamento dei dati termo pluviometrici.....	96
Definizione e accorpamento delle classi d'uso e copertura del suolo.....	96
Definizione e accorpamento dei dati morfometrici.....	97
Classificazione delle "sorgenti di sedimento", rilevamento delle "coperture mobilizzabili" e definizione	
delle classi del "grado di resistenza all'erosione delle rocce".....	98
Definizione dell'Indice di Connettività (Ic) e delle aree di ricarica del reticolo principale.....	103
Stima della produzione di sedimenti e TS alla foce.....	111
4.2 L'INSTABILITÀ DELLE COSTE ALTE.....	115
<i>Il modello topografico sommerso ed emerso</i>	115
Modello topografico sommerso.....	115
Modello topografico emerso.....	116
Laser Scanner.....	118
<i>La caratterizzazione geomeccanica</i>	119
<i>Analisi Cinematica</i>	122
<i>Definizione della magnitudo delle frane per crollo (Rock Block Size Distribution)</i>	131
<i>Modello d'erosione semplificato basato sull'interazione onda-falesia</i>	133
<i>Analisi multitemporale: evoluzione a breve e lungo termine</i>	141
5. ANALISI DELLE TENDENZE EVOLUTIVE	147
5.1 TENDENZA EVOLUTIVA DEL SISTEMA COSTIERO.....	148
<i>Evoluzione passata e valutazione delle condizioni attuali del Sistema idrografico</i>	148
<i>Evoluzione futura: monitoraggio morfologico dell'alveo e del settore focivo</i>	151
<i>Evoluzione della linea di riva e della spiaggia</i>	151
5.2 TENDENZA EVOLUTIVA DELLE COSTE ALTE.....	163
<i>Analisi dell'evoluzione a breve e lungo termine</i>	163
Tendenza evolutiva a breve termine.....	164
Tendenza evolutiva a lungo termine.....	164
<i>Monitoraggio</i>	164

Tipi di misure applicabili per il monitoraggio dell'area pilota.....	165
5.3 VALUTAZIONE DI PRESSIONI E IMPATTI SU HABITAT ED ECOSISTEMI COSTIERI .	166
<i>Indicatori di pressione e impatto per gli habitat marini.....</i>	<i>166</i>
<i>Indicatori di pressione e impatto per gli habitat delle coste sabbiose, dune e vegetazione dunale.....</i>	<i>167</i>
Specie vegetali terrestri alloctone	167
<i>Strategie di gestione e bio sicurezza</i>	<i>169</i>
Rimozione localizzata, controllo delle specie presenti	169
Codice di buone pratiche e sensibilizzazione.....	169
Analisi del rischio	169
Carpobrotus sp danni ed impatti	169
Prevenzione per ridurre il rischio di nuove introduzioni	170
Specie marine alloctone.....	171
6. IL RISCHIO COSTIERO	172
6.1 RISCHIO COSTIERO A LUNGO TERMINE	172
<i>Inquadramento del clima meteo-marino</i>	<i>172</i>
Ubicazione ed esposizione dell'Unità Fisiografica.....	172
Regime dei venti	173
Correnti marine	175
Variazioni del livello marino.....	176
Moto ondoso al largo	178
<i>Stima previsionale dell'erosione costiera nelle coste basse: l'evoluzione morfodinamica a lungo termine</i>	<i>180</i>
Propagazione del moto ondoso verso riva	180
Analisi morfodinamica	184
Sintesi dei risultati	198
<i>Zonazione della suscettività, pericolosità e rischio di frana a scala regionale: proposta metodologica</i>	<i>199</i>
Calcolo della suscettività da frana tramite metodologia Certainty Factor (CF).....	199
Zonazione della pericolosità basata sulla modellazione dei crolli	211
6.2 RISCHIO COSTIERO A BREVE TERMINE	216
<i>Rischio da mareggiata</i>	<i>216</i>
Effetti del moto ondoso sulle spiagge	216
<i>Valutazione del Rischio da mareggiata.....</i>	<i>227</i>
<i>Rischio da alluvionamento costiero</i>	<i>227</i>
<i>Rischio da rip currents</i>	<i>229</i>
7. PIANO DI COMUNICAZIONE	231
7.1 OBIETTIVI	231
7.2 I PORTATORI DI INTERESSE	231
7.3 INCONTRI TERRITORIALI	232
<i>Incontri territoriali nell'area pilota</i>	<i>234</i>
7.4 LE ISTANZE DEL TERRITORIO	234
8. BIBLIOGRAFIA	235
9. INDICE DELLA CARTOGRAFIA ALLEGATA	244

INTRODUZIONE

La relazione specialistica illustra e descrive lo stato ed il trend evolutivo dell'area pilota identificata nell'Unità Gestionale Costiera (UGC) di Torre delle Stelle – Solanas. Lo schema logico seguente, descrittivo delle attività sviluppate nel corso del progetto, sintetizza l'indice ed i principali contenuti del report:

- raccolta dei dati già disponibili e individuazione delle necessità di integrazione;
- rilevamenti specifici di campagna ed elaborazione dei dati per l'applicazione delle metodologie e raccolta di protocolli tecnici adottati in merito agli aspetti caratterizzanti;
- gestione e valorizzazione dei dati raccolti attraverso l'utilizzo di specifici applicativi informatici ed integrazione con strumenti esistenti;
- descrizione dello stato e delle dinamiche in atto ed individuazione dei trend evolutivi nell'area pilota;
- analisi integrata delle criticità relative all'area pilota in applicazione della metodologia oggetto dell'Output T2 "Strategia congiunta transfrontaliera per la Redazione dei Piani di interventi di difesa costiera").



Lo sviluppo delle attività ha la finalità di acquisire gli elementi tecnici e le conoscenze nel settore analizzato, che consentano, nella fase finale del progetto, di elaborare una proposta di "misure" in risposta alle criticità rilevate ed un "Piano di interventi" nelle aree prese in esame.

1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E FISIOGRAFICO

L'area pilota è situata nella Sardegna Sud Orientale, ricade nei Comuni di Maracalagonis e Sinnai ed è compresa entro un'ampia fascia costiera, caratterizzata dalla presenza di promontori e falesie a prevalente composizione granitica, alternate a spiagge "a tasca" sabbiose e ghiaiose. L'area ricade nel Foglio 567 sezione IV della Carta Topografica d'Italia in scala 1:25.000 - Geremeas - e nella Carta tecnica regionale numerica della Regione Sardegna (CTR) 567050 e 567010 in scala 1:10.000.

Il sistema costiero, all'interno del più ampio Golfo di Cagliari, è compreso fra Capo Boi ad Est e il promontorio di Baccu Mandara ad Ovest e sottende i due principali bacini idrografici del Riu Gavoi e del Riu Solanas da cui provengono i principali apporti sedimentari che alimentano le spiagge rispettivamente di Cann'e Sisa, Genn'e Mari e Solanas. Il sistema idrografico è inoltre caratterizzato da un'idrografia minore complementare (Genn'e Mari e Portu Perdosu) a configurazione essenzialmente montana ed a bassa gerarchizzazione (figura 1).

Rappresentativo del tratto di "costa alta" e oggetto specifico di analisi e studio è l'ampio promontorio ubicato all'interno del territorio di Maracalagonis, in corrispondenza dell'area residenziale di Torre delle Stelle, compreso nel tratto di costa che va dalla spiaggia di Genn'e Mari alla Spiaggia di Cann'e Sisa per una lunghezza totale di circa 1-2 km (figura 2).

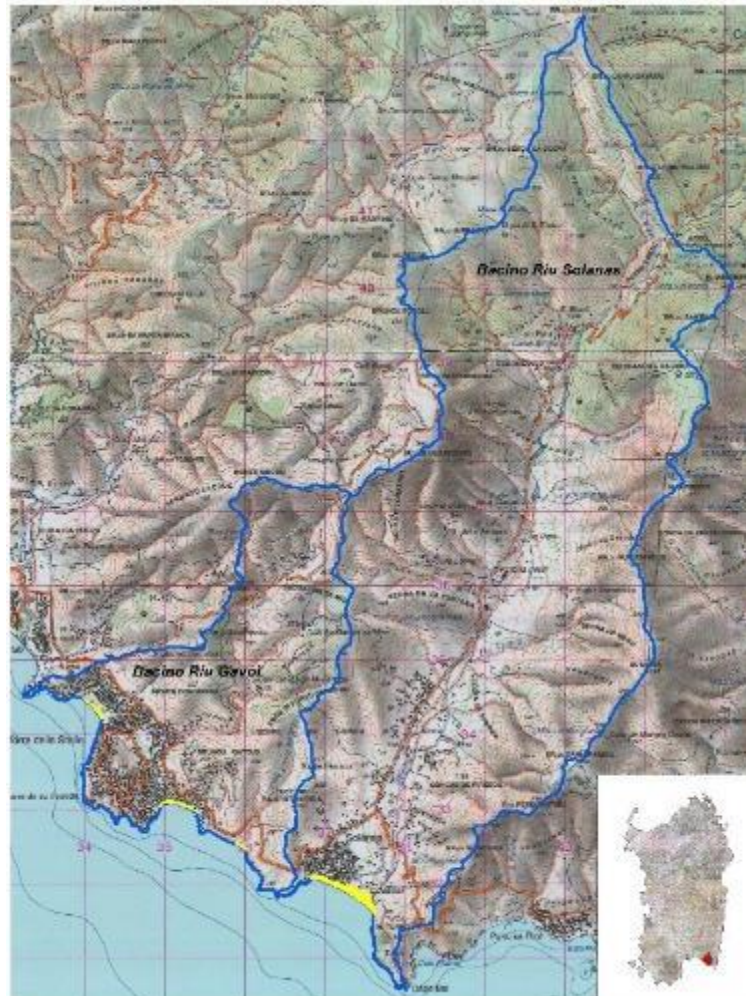


Figura 1 - Inquadramento geografico dell'area pilota.

Per la delimitazione dell'area d'indagine si è fatto riferimento alle definizioni di cui alle "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 MATT- Regioni con il coordinamento tecnico di ISPRA. Nel caso specifico, sulla base delle conoscenze acquisite e dei risultati delle attività realizzate, è riconoscibile, all'interno dell'Unità Fisiografia Secondaria, una "Unità Gestionale Costiera" (UGC), tratto di costa, sotteso ai due bacini idrografici principali (Rio Gavoi, Rio Solanas), identificato in base a specificità morfologiche, idrografiche che lo contraddistinguono rispetto ai tratti contigui.

Tale unità UGC è costituita da tre sub-unità gestionali costiere (UGC1 Cann'e Sisa, UGC2 Genn'e Mari, UGC3 Solanas) identificabili, anch'esse, in base a specifiche caratteristiche geomorfologiche, sedimentologiche e idrodinamiche. I limiti di queste sub-unità sono costituiti, oltre che da elementi morfologici naturali (Promontori di Baccu Mandara, Torre de Su Fenugu, Promontorio di Punta Cabudi e Capo Boi), anche da punti singolari di trasporto solido fissi: foce fluviale del Rio Gavoi e del Rio

Solanas, punti di convergenza, punti di divergenza, punti di perdita dei sedimenti come fosse e canyon sommersi.



Figura 2 - Inquadramento geografico del Promontorio di Torre delle Stelle.

Le tre SUB-UGC sono caratterizzate da un bilancio sedimentario proprio anche per eventi con tempi di ritorno brevi. Queste unità comprendono anche la spiaggia emersa dalla battigia fino all'apparato dunale, fino alle prime strutture antropiche rigide continue che hanno sostituito il sistema dunale, e la spiaggia sommersa fino alla "profondità di chiusura" o di influenza del moto ondoso.

2. STATO DELLE CONOSCENZE

2.1 LA PIANIFICAZIONE PAESAGGISTICA

La Regione Sardegna ha un proprio Piano Paesaggistico vigente dal 2006, approvato con Decreto del Presidente della Regione del 7 settembre 2006, n. 82. È redatto ai sensi del D. Lgs 42/2004 come modificato dal D. Lgs.157 del 23 marzo 2006.

Le sue disposizioni, contenute nelle Norme Tecniche di Attuazione (NTA), sono cogenti per gli strumenti urbanistici disposti dagli Enti locali e prevalenti su di essi oltre che sulle disposizioni contenute negli altri atti di pianificazione a incidenza territoriale previsti dalle normative di settore, comprese quelle degli enti gestori dell'aree protette, qualora siano meno restrittive o difformi.

La sua attuazione è pertanto demandata ai citati strumenti di governo territoriale, tra cui:

- la pianificazione urbanistica provinciale e comunale;
- la pianificazione delle aree protette (ai sensi dell'art. 145 del D. Lgs. 157/2006);
- le "Intese" tra Regione, province e comuni interessati, in caso di strategie preordinate.

Il territorio costiero è suddiviso in 27 ambiti di paesaggio omogenei, per i quali la stesura del Piano ha previsto la redazione di altrettante *schede d'ambito* descrittive dell'assetto territoriale, in cui sono individuati i *beni paesaggistici individuati e d'insieme*, le componenti del paesaggio e i beni identitari sottoposti alla disciplina degli articoli 8 e 9 delle NTA. Sono inoltre indicate le azioni strategiche (art. 7 NTA), *conservazione, gestione, trasformazione*, recupero, da perseguire per il mantenimento e la riqualificazione dei valori del paesaggio riconosciuti.

L'ambito costiero è disciplinato dall'art. 15 NTA in regime transitorio, fino a quando i Piani Comunali (PUC) non saranno adeguati alle previsioni del PPR.

Relazioni di interesse per l'area pilota

Come emerso nel corso del primo incontro di Governance organizzato nell'ambito di Maregot, il presente documento contiene informazioni specialistiche di estremo dettaglio, potenzialmente integrabili negli strumenti urbanistici dei due Comuni interessati, Sinnai e Maracalagonis. I due Comuni sono infatti, a tutt'oggi, in fase di adeguamento dei rispettivi PUC, vigenti dal 2011 e dal 2012 rispettivamente, ed entrambi non si sono ancora dotati di Piani di Utilizzo dei Litorali (PUL).

Nella tabella di seguito sono riportate in sintesi le valutazioni specifiche, vincoli e strategie di tutela paesaggistica, riferiti al settore costiero di interesse per l'area pilota così come emergono dagli strumenti paesaggistici attualmente vigenti:

Ambito costiero di paesaggio n. 27 Golfo orientale di Cagliari	
DESCRIZIONE	<p>L'ambito include territorialmente il sito costiero oggetto di interesse, descritto come caratterizzato da spiagge di baia geneticamente legate all'evoluzione del reticolo idrografico drenante i bacini montani retrostanti.</p> <p>Elementi insediativi del sistema paesaggistico: è costituito da nuclei turistici residenziali, sostenuti dalla viabilità provinciale (SP 17), che si localizzano in corrispondenza delle principali spiagge (Solanas, Cann'e Sisa e Genn'e mari) interessando anche i promontori costieri.</p> <p>Elementi ambientali del sistema paesaggistico: a) <u>promontorio granitico di Torre de Su Fenugu</u>, confinante a ovest, con il sistema di spiaggia di Cann'e Sisa e a est con il sistema di spiaggia di Genn'e mari; b) <u>bacino idrografico del Rio Solanas ed il settore costiero tra il promontorio di Capo Boi e il promontorio di Solanas</u>, con la piana alluvionale costiera e l'antistante sistema di spiaggia.</p> <p>Elementi rurali del sistema paesaggistico: paesaggio agricolo legato alla coltura della vite e del mandorlo.</p> <p>Elementi storico-culturali del sistema paesaggistico: nel paesaggio litoraneo, le torri del sistema storico di difesa costiera di Su Fenugu e di Capo Boi.</p>

VALUTAZIONE	<p>Valori paesaggistici: varietà tipologica del sistema costiero caratterizzato da baie con spiagge ad elevata fruibilità e qualità ambientale intercalate da promontori costieri rocciosi, dalla presenza di importanti corridoi fluviali e dalla prossimità con aree montane di elevato interesse naturalistico e paesaggistico. Costituiscono aree vincolate il massiccio dei <i>Sette Fratelli</i>, che interseca i settori montani dei bacini idrografici studiati, il Sic <i>Costa di Cagliari</i> (parzialmente sovrapposto nel settore di Capo Boi) e l'Oasi di Protezione Permanente (OPP) <i>Fascia litoranea orientale</i>, con sviluppo continuo retrolitorale. È riconosciuta una elevata valenza paesaggistica alla strada provinciale costiera (SP 17) e al sistema storico di difesa costiera (torri costiere).</p> <p>Criticità riscontrate: Elevata pressione insediativa sui sistemi costieri e riduzione della capacità di resilienza ambientale. Degrado morfologico dei sistemi di spiaggia con fenomeni di erosione di arenili e dune. Degrado ecologico e morfologico dei principali sistemi fluviali con riduzione degli apporti fluviali e perdita di naturalità del tratto focivo, sottrazione degli apporti detritici di ripascimento naturale ai sistemi sabbiosi litoranei, causati da sbarramenti in alveo.</p>
INDIRIZZI STRATEGICI	<p>Riequilibrare e contenere l'espansione insediativa residenziale e turistica lungo la linearità della costa, al fine di garantire la permeabilità dell'ambito marino -costiero verso il contesto montano dell'entroterra.</p> <p>Connettere le foci fluviali e i corridoi vallivi attraverso il recupero funzionale degli alvei e la naturalità dei corsi d'acqua e la mitigazione delle interferenze generate dagli insediamenti e dalle infrastrutture.</p> <p>Conservare e riqualificare i sistemi sabbiosi costieri attraverso interventi di regolamentazione della fruizione turistico-ricreativa.</p> <p>Riqualificare il paesaggio costiero attraverso la predisposizione e attuazione di una gestione integrata e unitaria per il recupero delle risorse ambientali e il riequilibrio delle funzioni con i processi antropici legati alla fruizione dei litorali.</p>

Beni Paesaggistici e componenti del paesaggio (individuati nell'area pilota)	
	<p><u>D. Lgs. 42/2004 Beni paesaggistici ambientali ex art. 143:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • fascia costiera; • sistemi a baie e promontori • campi dunari e sistemi di spiaggia • fiumi, torrenti e corsi d'acqua e le relative sponde per una fascia di 150m • praterie e formazioni steppiche (non delimitate, potenzialmente presenti) • praterie di posidonia (non delimitate) • aree di interesse botanico: Corridoi da Baccu Mandara a sa Guardia; Capo Boi; • aree di interesse faunistico: Capo Boi.
	<p><u>D. Lgs. 42/2004 Beni paesaggistici ambientali ex art. 142:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Parchi e Aree Marine Protette nazionali: Tratto di mare circostante la secca di Is Piscadeddus; • Zone di Speciale Conservazione (ZSC): Costa di Cagliari ITB040021 • Oasi Permanenti di Protezione faunistica e di cattura (OPP): fascia litoranea sud orientale
	Vincolo idrogeologico ai sensi del R.D.L. 3267/23 art. 1 (Capo Boi)
	<p><u>Piano Assetto idrogeologico</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Rischio idraulico: Rio Solanas Ri3 • Rischio geomorfologico: Capo Boi Rg3
ASSETTO STORICO CULTURALE	<p>D. Lgs. 42/2004 Beni paesaggistici ex art. 142:</p> <ul style="list-style-type: none"> • vincolo archeologico: ruderi e capanne del Nuraghe Genn'e Mari;
	<p>D. Lgs. 42/2004 Beni paesaggistici ex art. 143</p> <ul style="list-style-type: none"> • Insediamenti archeologici: Nuraghi: N. Piccia, N. Cann 'e Sisa, N. M.te Fenugu, N. Genn'e Mari; • Architetture militari storiche: Torre de Su Fenugu, Torre di Capo Boi
ASSETTO INSEDIATIVO	Edificato urbano
	<ul style="list-style-type: none"> • Centro abitato. Tipologia: espansione fino agli anni '50
	<p>Insediamenti turistici</p> <ul style="list-style-type: none"> • Solanas e Torre delle Stelle <p>Sistema delle infrastrutture</p> <ul style="list-style-type: none"> • SP 17: Strada di impianto a valenza paesaggistica

Altri studi di settore

IL REPERTORIO DELLE COSTE SABBIOSE								
Allegato al PPR – Vol. 6-7 Il repertorio delle coste sabbiose della Sardegna.								
Valutazione delle potenzialità di sosta di bagnanti.								

COMUNE	SPIAGGIA	FRONTE MARE (m)	SUP. TOT (mq)	CLASSE	SUPP. PER SERVIZI (1/4 sup. utile)	IPOTESI N. MAX BAGNANTI		
						8 mq/bagnan te	9 mq/bagnan te	10 mq/bagnan te
SINNAI	SOLANAS	2.261,59	65.357,74	3	13.512,45	5.067	4.504	4.054
MARACALAGONIS	GENNA 'E MARI	1.133,98	13.388,28	3	1.929,60	724	643	579
MARACALAGONIS	CANNE 'E SISA	802,05	9980,52	2	1.492,57	560	498	448

L'OSSERVATORIO DEL PAESAGGIO: Elenco dei litorali urbani (ex art. 10 bis Legge Regionale del 22 dicembre 1989 n. 45)
L'elenco aggiornato dei litorali urbani e metropolitani è stato aggiornato con DPGR n. 61 del 13 giugno 2018, a seguito delle modifiche introdotte alla Legge Regionale n. 45 del 1989 dalla Legge Regionale n. 11 del 3 luglio 2017.
Non vi sono spiagge decretate nei territori dei due Comuni Sinnai e Maracalagonis.

2.2 LA PIANIFICAZIONE DEGLI ASPETTI IDROGEOLOGICI DELLA REGIONE SARDEGNA

Verranno illustrati nel seguito gli strumenti di pianificazione per la gestione del rischio idrogeologico della Regione Sardegna, con una breve descrizione degli strumenti ed uno specifico riferimento all'area pilota. Per un più approfondito esame si rimanda al link:

<http://www.regione.sardegna.it/autoritadibacino/pianificazione/>

Il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA)

Il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA) individua strumenti operativi e di governance (quali linee guida, buone pratiche, accordi istituzionali, modalità di coinvolgimento attivo della popolazione) finalizzati alla gestione del fenomeno alluvionale in senso completo, ovvero nelle diverse fasi della prevenzione, della protezione e della preparazione, al fine di ridurre quanto più possibile le conseguenze negative derivanti dal verificarsi dell'evento.

Sono considerati dal PGRA sia interventi strutturali (realizzazione di opere di mitigazione del rischio) sia misure non strutturali, e sono individuate le sinergie interrelazionali con le politiche di pianificazione del territorio e di conservazione della natura. L'aggiornamento del PGRA recepisce inoltre le misure in corso di attuazione a livello nazionale e regionale relative alle strategie di adattamento ai cambiamenti climatici. Per questi motivi il PGRA costituisce uno strumento trasversale di raccordo tra diversi strumenti, di carattere pratico e operativo ma anche informativo, conoscitivo e divulgativo, per la gestione dei diversi aspetti organizzativi e pianificatori correlati con la gestione degli eventi alluvionali.

L'individuazione del quadro programmatico e pianificatorio di riferimento è finalizzata all'identificazione degli obiettivi contenuti negli strumenti di pianificazione e programmazione economica, sociale e territoriale, inclusi tra gli obiettivi del PGRA. Di seguito si illustrano i diversi strumenti di pianificazione vigenti, per ciascuno dei quali vengono evidenziati i contenuti, le finalità e le strategie e l'eventuale rilevanza per il sistema degli obiettivi del PGRA.

Il piano di assetto idrogeologico (PAI)

Il piano di assetto idrogeologico (PAI) è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa ed alla valorizzazione del suolo, alla prevenzione del rischio idrogeologico, sulla base delle caratteristiche fisiche ed ambientali del territorio interessato.

Costituisce un processo pianificatorio dinamico, in quanto l'assetto idrogeologico e le sue caratteristiche fisiche ed ambientali sono soggette ad un continuo processo evolutivo caratterizzato sia da mutamenti che si esplicano nel lungo periodo, legati alla naturale evoluzione idrogeologica del territorio, sia soprattutto da alterazioni e/o cambiamenti repentini dovuti al verificarsi di eventi di dissesto spesso conseguenti alle trasformazioni antropiche dei luoghi. In questo progressivo sviluppo del Piano è prevalente l'attività di approfondimento e affinamento delle conoscenze dell'assetto idrogeologico che si esplica attraverso analisi e studi di dettaglio.

Il territorio regionale, comprese le isole minori, è suddiviso in sette sottobacini; l'area pilota del progetto Maregot ricade all'interno del sub bacino n. 7 denominato Flumendosa Campidano Cixerri.

Il PAI ha valore di piano territoriale di settore e, esercitando finalità di salvaguardia di persone, beni, ed attività dai pericoli e dai rischi idrogeologici, prevale sui piani e programmi di settore di livello regionale. Di seguito sono riportate le misure presenti nel PAI per l'area pilota.

Il sito in oggetto, che si estende da Solanas a Torre delle Stelle, è mappato dal PAI, con pericolosità idraulica da bassa a elevata nel rio Solanas, (tavole Hi e Ri n.19), e con pericolosità geologica media nella parte più a est della spiaggia di Solanas, (tavole Hg e Rg n. 36).

In relazione alla pericolosità idraulica, la scheda relativa riporta che il tronco critico in esame (sezione di controllo: codice B7srTC073) si trova in comune di Sinnai, ed è costituito dal tratto del Rio di Solanas dall'intersezione dello stesso con la strada provinciale - SP 17 alla foce.

Danni attesi: Allagamento case rurali, interessamento della strada e della spiaggia.

Interventi: risagomatura in alveo e demolizione con ricostruzione del ponte sulla SP 17.

In relazione alla pericolosità geologica, la scheda relativa (codice frana B7fr126) descrive che la SP 17 Cagliari - Villasimius mostra in alcuni punti del suo tracciato problematiche legate a fenomeni gravitativi. Si tratta in generale di fenomeni di crollo o rotolamento di massi granitici su versanti acclivi e denudati, completamente abbandonati ed esposti al ruscellamento superficiale. Il problema in oggetto è quello relativo ai versanti in prossimità di Capo Boi, ed interessa la parte terminale della spiaggia di Solanas verso est.

Danni attesi: il danno principale è costituito, dalla dimensione dei blocchi instabili che possono causare la possibile perdita della vita umana.

Interventi: ridurre il pericolo di movimenti di massa, allontanando le acque superficiali per evitare che eccessive infiltrazioni rendano più mobili le masse lapidee e detritiche a rischio di mobilitazione.

Il promontorio di Torre delle Stelle, non risulta attualmente mappato per pericolosità geologica.

Altri corsi d'acqua presenti nel sito, quali il rio Gavoi non risultano mappati per pericolosità idraulica.

Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF)

Il Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (P.S.F.F.) ha valore di piano territoriale di settore ed è lo strumento conoscitivo, normativo, tecnico-operativo, mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso riguardanti le fasce fluviali.

Costituisce un approfondimento ed integrazione necessaria al PAI in quanto è lo strumento per la delimitazione delle regioni fluviali (intese come fasce di pericolosità idraulica), funzionale a consentire, attraverso la programmazione di azioni (opere, vincoli, direttive), il conseguimento di un assetto fisico del corso d'acqua compatibile con la sicurezza idraulica, l'uso della risorsa idrica, l'uso del suolo (ai fini insediativi, agricoli ed industriali) e la salvaguardia delle componenti naturali ed ambientali.

Il rio Solanas rientra tra i corsi d'acqua mappati dal P.S.F.F.

Piano di gestione del distretto idrografico

Il Piano di Gestione del Distretto Idrografico, previsto dalla Direttiva quadro sulle Acque (Direttiva 2000/60/CE), rappresenta lo strumento operativo attraverso il quale si devono pianificare, attuare e monitorare le misure per la protezione, il risanamento e il miglioramento dei corpi idrici superficiali e sotterranei e agevolare un utilizzo sostenibile delle risorse idriche.

Il piano riprende gli obiettivi della Direttiva 2000/60/CE, conosciuta come Direttiva quadro sulle acque. Questa ha istituito un quadro comune a livello europeo per la protezione delle acque superficiali interne, delle acque di transizione, delle acque costiere e sotterranee, indicando che i singoli bacini idrografici debbano essere assegnati a distretti idrografici.

L'obiettivo fondamentale della Direttiva è quello di raggiungere lo stato "buono" per tutti i corpi idrici entro il 2015, presentandosi quale strumento per la pianificazione, l'attuazione e il monitoraggio delle attività e delle misure necessarie per il raggiungimento degli obiettivi ambientali e di sostenibilità nell'uso delle risorse idriche.

Piano stralcio di bacino regionale per l'utilizzo delle risorse idriche

Il Piano è stato redatto in ottemperanza della legge n.183 del 1989 che ha introdotto per la prima volta criteri di pianificazione generale a difesa del suolo con lo scopo di assicurarne la difesa, il risanamento delle acque, la fruizione e la gestione del patrimonio idrico per gli usi di razionale sviluppo economico e sociale e la tutela degli aspetti ambientali ad essi connessi.

Le finalità generali del piano sono fissate dalla legge n.183 del 1989 (art. 1, comma 1) e sono:

- tutelare l'integrità fisica e la stabilità del territorio, rispetto alle quali va condizionata ogni possibile scelta di trasformazione;
- difendere il suolo dall'azione delle acque e da ogni altro fenomeno di degrado e garantire il risanamento delle acque, la fruizione e la gestione del patrimonio idrico, per gli usi di razionale sviluppo economico e sociale e per la tutela degli aspetti ambientali connessi.

Piano di tutela delle acque

Il Piano di tutela delle acque (PTA) è stato redatto ai sensi dell'art. 44 del D.Lgs. n. 152 dell'11 maggio 1999. Il PTA contiene disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepisce la Direttiva 91/271/CEE sul trattamento delle acque reflue urbane e la direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole.

Piano regionale di protezione civile per il rischio idraulico, idrogeologico e da fenomeni meteorologici avversi.

Con la Deliberazione n. 1/9 del 08/01/ 2019 la Giunta regionale ha approvato il "Piano regionale di protezione civile per il rischio idraulico, idrogeologico e da fenomeni meteorologici avversi".

Il Piano regionale di protezione civile per il rischio idraulico, idrogeologico e da fenomeni meteorologici avversi è redatto in linea con i principi sanciti dal D. Lgs. n. 1/2018, nel rispetto delle disposizioni regionali vigenti, e assicura lo svolgimento delle attività di previsione, prevenzione e gestione delle emergenze. Il Piano definisce il sistema organizzativo e le modalità di intervento del Sistema regionale di protezione civile in caso di emergenza, sviluppato per componenti e per livelli di criticità, indipendentemente dal luogo di intervento. Fornisce inoltre tutti gli elementi conoscitivi disponibili, con l'obiettivo di minimizzare il rischio a la salvaguardia della popolazione, di dotare tutte le strutture di uno strumento operativo da utilizzare in funzione dei livelli di allerta e delle fasi operative, di uniformare i linguaggi e le modalità di intervento.

In particolare, il Piano è impostato in modo da assicurare l'intervento tempestivo, efficace e coordinato di tutte le forze disponibili, a favore della popolazione colpita da un evento calamitoso, definendo le procedure di attivazione al fine di ottimizzare con efficacia la risposta del sistema di protezione civile nell'intero territorio regionale. Il Piano contiene il quadro delle conoscenze tematiche e territoriali appositamente elaborate, al fine di pianificare opportunamente le attività di previsione e prevenzione del rischio idraulico, idrogeologico e da fenomeni meteorologici avversi, oltre che degli interventi attivi in fase emergenziale, definendo, rispetto agli elementi a rischio, le attività di presidio e monitoraggio da porre in essere. Contiene la rappresentazione del flusso di comunicazione, l'organizzazione delle esercitazioni e le modalità di informazione ai cittadini.

2.3 GLI ISTITUTI DI TUTELA NATURALISTICA

La *Rete Ecologica Regionale* è costituita dal sistema delle aree naturali protette, terrestri e marine, istituite con leggi nazionali o regionali (*Legge 6 dicembre 1991 n. 394* - Legge Quadro sulle Aree Protette e *Legge Regionale 7 giugno 1989 n. 31*, che disciplina il sistema regionale dei parchi, delle riserve dei monumenti naturali, nonché delle altre aree di rilevanza naturalistica ed ambientale di rilevanza regionale) e dai siti della Rete Natura 2000, individuati ai sensi della normativa europea (*Direttiva 92/43/CEE "Habitat"*) e costituita da Siti di interesse comunitario (SIC) individuati dagli Stati membri, da zone di protezione speciale (ZPS) istituite ai sensi della Direttiva 2009/147/CE "Uccelli" e dalle zone speciali di conservazione (ZSC), designate ai sensi dell'art. 4 della Direttiva Habitat.

La tutela è attuata attraverso la vigenza di regolamenti e specifici strumenti di pianificazione adottati/approvati. Di seguito è riportato lo stralcio della descrizione del sistema delle aree naturali per l'area pilota.

Sistema delle Aree naturali	
Area Marina Protetta - AMP- <i>Capo Carbonara</i> . Decreto MATTM 7 febbraio 2012 (12°05541)	
Ente Gestore	Comune di Villasimius - individuato ai sensi dell'art. 19 della legge 6 dicembre 1991, n. 394, come integrato dall'art. 2, comma 37, della legge 9 dicembre 1998, n. 426, e successive modifiche, e dall'art. 7 del decreto del 7 febbraio 2012 del Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio.
Regolamento	Decreto MATTM 11 giugno 2015 (15°05094): Regolamento di esecuzione ed organizzazione dell'Area Marina Protetta «Capo Carbonara»
L'AMP, limitrofa all'area pilota, interessa il settore orientale di Capo Boi dove insiste la zona B di riserva generale <i>Secca de Piscadeddus</i> . Ai sensi del regolamento (art. 9), i provvedimenti relativi all'uso del demanio marittimo sono adottati o rinnovati dalle regioni o dagli enti locali competenti d'intesa con il soggetto gestore, tenuto conto delle caratteristiche dell'ambiente oggetto della protezione e delle finalità istitutive dell'area marina protetta.	
L'Area Marina Protetta "Capo Carbonara" è Area ASPIM (Area Specialmente Protetta di Importanza Mediterranea) ai sensi della Convenzione per la protezione del Mar Mediterraneo dai rischi dell'inquinamento meglio conosciuta come Convenzione di Barcellona.	

Rete Natura 2000	
ZSC Costa di Cagliari - ITB040021 –	
Ente Gestore	-
Piano di Gestione	Decreto ADA del 18 dicembre 2015 n. 27021/47.
Rete natura 2000	Rete ecologica internazionale istituita ai sensi della direttiva 93/43/CEE "habitat", costituita da SIC – Siti individuati dagli Stati membri, da ZPS istituite ai sensi della Direttiva 2009/147/CE "Uccelli" e dalle ZSC designate ai sensi dell'art. 4 della Direttiva Habitat.
La ZSC interessa parzialmente l'area pilota, in corrispondenza del promontorio costiero di Capo Boi	

2.4 STUDI E RICERCHE SULL'AREA DI STUDIO

Programma di Azione Coste (PAC)

Il Programma Azione Coste (PAC) nasce da una stretta necessità da parte dell'istituzione regionale di dotarsi di una piattaforma organica e omogenea in materia di criticità costiera con riguardo ai temi del dissesto geomorfologico, del rischio idrogeologico e dell'erosione costiera.

Il lavoro descrive e classifica le evidenze fenomenologiche di arretramento della linea di costa regionale connesse a processi erosivi di litorali sabbiosi e di dissesto franoso di tratti rocciosi.

Per le sue caratteristiche costituisce uno strumento funzionale alla programmazione regionale in relazione agli interventi di difesa dall'erosione, mitigazione del rischio e gestione integrata costiera.

La descrizione dell'assetto morfologico della costa emersa costituisce un lavoro di classificazione finalizzato all'individuazione preliminare dei due principali elementi "sistemi rocciosi" e "spiagge", entità sostanziali delle successive fasi di analisi e studio.

Sono state individuate e descritte 20 Unità Fisiografiche.

Per quanto riguarda le coste alte, sono stati classificati 314 tratti franosi per una lunghezza complessiva pari a 802 km di sviluppo lineare.

La sovrapposizione dei "tratti franosi" con elementi sensibili e a rischio presenti in una fascia interna di 30 metri dalla linea di costa ha determinato l'individuazione di aree soggette a valutazione speciale, indicate con il termine di "tratti ad alta criticità". L'analisi di dettaglio ha avuto come momento di sintesi la compilazione di specifiche schede di approfondimento, raccolte nell'allegato "ALL. 2 Schede di classificazione delle coste rocciose" del PAC.

Il PAC è parte integrante del PGRA e consultabile nelle relazioni di piano (RE04).

All'interno dei tratti franosi sono stati censiti 138 tratti ad alta criticità per uno sviluppo lineare di 83 km totali.

Per quanto riguarda le coste sabbiose, sono state individuate e analizzate 271 spiagge, singole o accorpate in gruppi. Su di esse è stata implementata l'analisi preliminare di criticità che ha evidenziato 79 spiagge o complessi di spiagge che presentano criticità di varia natura classificata "alta" e "bassa".

Sono state identificate complessivamente 27 spiagge altamente critiche, a loro volta raggruppate, per analogia di criticità riscontrata, in 4 gruppi.

Di seguito si riporta la descrizione dell'area pilota così come si legge nel PAC.

Tra le coste alte, sono stati individuati i promontori di Torre delle Stelle e Solanas come siti ad alta criticità.

Per quanto riguarda il tratto di Torre delle Stelle, sono state rilevate criticità lungo i versanti granodioritici del promontorio, la cui sommità è interessata da un'intensa urbanizzazione.

Il promontorio è costituito da un affioramento roccioso sul quale si sviluppa un potente cappellaccio di arenizzazione e su cui i naturali processi erosivi di dilavamento sono localmente accentuati dall'inserimento di manufatti in situazioni limite di stabilità. A queste fenomenologie si associano crolli diffusi determinati dal distacco dagli affioramenti rocciosi attraversati da sistemi di fratturazione con spaziatura ravvicinata.

Per quanto riguarda il tratto di Solanas, fenomeni franosi interessano il settore orientale della spiaggia e il tratto costiero roccioso attiguo. Sono state rilevate frane di crollo sia da depositi di versante e paleofrane che da corpi rocciosi granitici interessati da giunti di discontinuità a franapoggio ubicati in versanti a forte acclività e interessati da dilavamento diffuso e incanalato.

Per quanto riguarda le spiagge, sono state studiate e classificate le spiagge di Cann'e Sisa, Genn'e Mari, e la spiaggia di Solanas.

Genn'e Mari è stata classificata come spiaggia ad elevata criticità, a seguito di una progressiva stabilizzazione e obliterazione del compendio dunale con interruzione della connessione funzionale tra

la spiaggia in oggetto e la spiaggia di Cann'e Sisa, più a settentrione, che ha determinato un significativo arretramento della linea di riva.

Risulta quindi necessaria un'attenta azione di monitoraggio dei processi evolutivi della spiaggia e una regolamentazione degli usi.

Le spiagge di Cann'e Sisa e Solanas sono state classificate a bassa criticità.

3. CARATTERIZZAZIONE DELL'AREA PILOTA

3.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area in studio è stata analizzata nel dettaglio per definire le seguenti componenti geologiche:

- assetto litostratigrafico e tettonico-strutturale;
- classificazione geolitologica per la definizione delle classi del grado di resistenza all'erosione delle rocce, da inserire come parametro nel modello gestito dal software YES YeldErosionSediment adottato per la quantificazione della produzione di sedimenti fluviali;
- classificazione e accorpamento delle classi di permeabilità delle litologie per l'analisi idrologica ed il calcolo del CN (Curve Number);
- classificazione geomeccanica degli ammassi rocciosi del promontorio roccioso di Torre delle Stelle.

Assetto litostratigrafico

La Sardegna è classicamente divisa in tre complessi geologici che affiorano per estensioni circa equivalenti: il basamento metamorfico ercinico, il complesso intrusivo tardo-paleozoico, le successioni sedimentarie e vulcaniche tardo-paleozoiche, mesozoiche e cenozoiche (Figura 3).

Una sintesi degli eventi che hanno caratterizzato la complessa evoluzione geologico-strutturale della Sardegna, unitamente ad una descrizione più dettagliata delle unità formazionali geologiche e delle facies distinte e cartografate nell'area investigata, viene fornita negli elaborati allegati e nella bibliografia.

Di seguito viene fornito un breve inquadramento dei complessi geologici che caratterizzano il settore meridionale dell'Isola in cui ricade il territorio oggetto di indagine.

Nell'area del bacino del Riu Solanas - Riu Gavoi affiorano prevalentemente plutoniti tardo-paleozoiche e correlato complesso filoniano, alcuni lembi di depositi conglomeratici terziari ed estese coltri di depositi quaternari. I nuovi rilevamenti geologici, relativamente alla denominazione e alle sigle delle unità formazionali e delle litofacies utilizzate, sono stati realizzati sulla base di precedenti studi di cartografia geologica relativi al Foglio 557 "Cagliari" (Progetto Carg, in scala 1:50.000) e alla "Carta Geologica di base" (scala 1:25.000) del Piano Paesaggistico Regionale (PPR) (PROGEMISA, 2009).

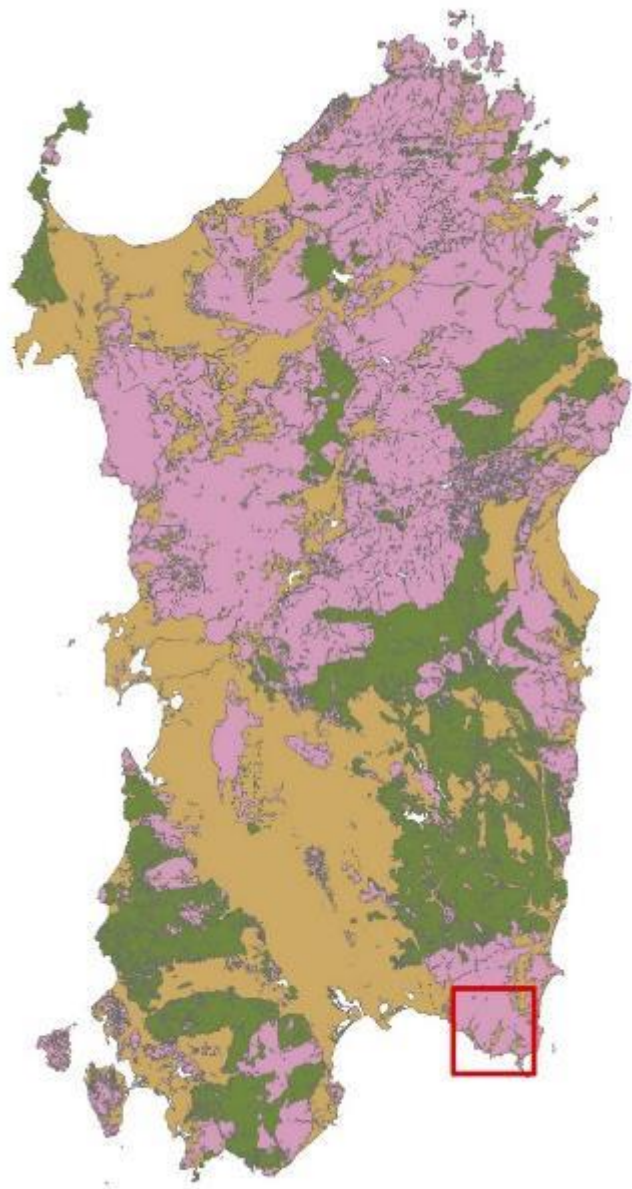


Figura 3 - Complessi geologici della Sardegna e ubicazione dell'area in studio: in verde, il basamento metamorfico ercinico; in rosa, il complesso intrusivo tardo-paleozoico e in ocra il complesso vulcano-sedimentario meso-cenozoico.

Tali rilevamenti sono stati effettuati utilizzando il criterio litostratigrafico per quanto riguarda i granitoidi e le coperture sedimentarie terziarie, mentre per i depositi quaternari è stato adottato il criterio delle UBSU (o sintemi) (Pasquarè et alii, 1992).

Nelle figure successive è riportata la Carta Geologica realizzata in scala 1:10.000 e la relativa legenda.



Complesso intrusivo tardo-paleozoico

Nell'area rilevata sono state distinte cinque litofacies di rocce plutoniche che, secondo i rilevamenti geologici e gli studi relativi alla realizzazione PPR (Piano Paesaggistico Regionale della Sardegna) (PROGEMISA, 2009) e del limitrofo Foglio 557 Cagliari della Nuova Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000, appartengono all'Unità Intrusiva di Geremeas (GEA).

Sono state distinte:

- Masse gabbro-tonalitiche (GEA_a): si tratta di piccole masse circoscritte di composizione variabile da gabbroide a tonalitica, che giacciono sempre incassate all'interno delle rocce granodioritiche (GEA_c), di norma caratterizzate da una foliazione molto evidente. Si tratta di corpi non omogenei e caratterizzati quasi sempre da rapidi passaggi da facies francamente tonalitiche a facies granodioritiche, (figura. 4) talora allungati con direzione WNW-ESE.



Figura 4 - Rapporti tra magmi a composizione tonalitica e granodioritica nelle masse gabbro-tonalitiche

- Monzosieniti (GEA_b): si tratta di piccoli corpi monzosienitici e sienitici spesso di dimensioni metriche, che costituiscono affioramenti discontinui, incassati nelle granodioriti (GEA_c). L'addensamento dei minerali femici alterati in forma di chiazze nere o grigio-scure, conferisce alle monzosieniti un aspetto "leopardato" che ne rende agevole il riconoscimento in campagna.
- Granodioriti equigranulari biotitico-anfiboliche (GEA_c): costituiscono la facies più estesa nell'area investigata. Si tratta di rocce di colore grigio, grana media per cristalli feldspatici sub-centimetrici a struttura equigranulare; frequenti gli inclusi microgranulari scuri di forma ellissoidale da pluricentimetrici a decimetrici, che costituiscono un carattere diagnostico per il riconoscimento di questa petrofacies sul terreno. (figura 5).



Figura 5 - Incluso microgranulare scuro e facies leucocrata nelle granodioriti (GEA_c) presso N.ghe Piccia.

- Granodioriti monzogranitiche inequigranulari (GEA_d): si tratta di rocce a grana da media a medio-grossa, di colore grigio con struttura a tratti fortemente inequigranulare e faneroporfirica per la diffusa presenza di fenocristalli di K-feldspato rosati molto ben sviluppati che in alcuni casi raggiungono la taglia di 6-8 cm e spiccano all'interno di una massa cristallina con taglia dei cristalli centimetrica (figura 6).



Figura 6 - Mega-cristalli euedrali di K feldspato pluricentimetrici nelle granodioriti (GEA_d) in loc. Riu S'Acqua Mala.

- Leucograniti biotitici (GEA₁): si tratta di rocce di colore da grigiastro a giallo, a grana da medio-fine con struttura equigranulare per cristalli di K-feldspato, plagioclasio, quarzo, biotite (5%) e granato alterato, fino ad aplitoide con diffuse cavità miarolitiche nelle porzioni periferiche e/o apicali dell'intrusione, e tessitura isotropa. Rappresentano un corpo intrusivo tardivo rispetto alle granodioriti con le quali mostrano sempre contatti netti e discordanti.

Complesso filoniano tardo-paleozoico

I corpi filoniani sono molto diffusi in questo settore del Sarrabus meridionale. Le direzioni preferenziali sono quelle ad orientazione circa NNW-SSE, direzione comune ai sistemi filoniani della Sardegna meridionale (Ghezzo & Orsini, 1982; Atzori & Traversa, 1986; Ronca & Traversa, 1996). Sotto il profilo composizionale, le rocce filoniane affioranti mostrano una pronunciata variabilità e comprendono facies sia melanocrate che leucocrate.

Tra i filoni melanocrati (f_{b1}) sono stati considerati tutti i prodotti basici e intermedi, a composizione intermedio-basica andesitica e andesitico-basaltica, riconoscibili sul terreno in virtù della loro colorazione scura, nera e/o grigio verdastra, e della presenza di abbondanti specie mineralogiche femiche quali biotite, anfibolo, pirosseno e olivina. Questi filoni sono spesso più o meno alterati, talvolta con caratteristica esfoliazione cipollare, fino ad apparire completamente argillificati.

I filoni leucocrati (f_r), di gran lunga i più rappresentati sia per diffusione che per dimensioni, sono considerati come rocce a composizione acida riolitica, di colore da rosato a giallastro, a struttura generalmente afanitica che in alcuni casi può evolvere a microcristallina o porfirica anche all'interno di uno stesso filone.

I filoni di quarzo (f_p) sono poco diffusi e spesso di dimensioni modeste, pertanto sono stati cartografati solamente quelli più sviluppati.

Successioni sedimentarie terziarie

I depositi clastici continentali cenozoici sono poco rappresentati nel Sarrabus meridionale dove risultano preservati solamente alcuni ridotti affioramenti presenti lungo la fascia costiera, dubitativamente attribuiti alla formazione di Ussana. Non sono noti depositi di origine vulcanica e/o vulcanoclastica.

Nel bacino del Riu Solanas - Riu Gavoi i depositi attribuiti alla formazione di Ussana sono costituiti prevalentemente da brecce monogeniche a blocchi e clasti eterometrici di rocce granitoidi di dimensioni variabili da pochi centimetri fino a 2 m, con abbondante matrice arenaceo-microconglomeratica rossastra, con livelli di conglomerati raramente clasto-sostenuti a clasti abbastanza elaborati. La matrice arenacea mostra componente quarzosa mista ad argilla, entrambe derivanti dall'arenizzazione delle rocce granitiche.

Depositi quaternari

Il rilevamento dei depositi quaternari affioranti nel bacino del Riu Solanas-Riu Gavoi è stato effettuato inquadrando le unità litostratigrafiche, pedostratigrafiche e morfostratigrafiche in "Unità stratigrafiche a limiti inconformi" - UBSU (AA.VV., 1983; SALVADOR, 1987; 1994) di cui il sintema costituisce l'unità di base, come proposto dal Servizio Geologico d'Italia (PASQUARÉ et alii, 1992). I sintemi definiti sono stati ulteriormente suddivisi in subsintemi perché sono state riconosciute discontinuità di rango minore, che in genere sono associate a variazioni di facies significative. Nel bacino del Riu Solanas-Riu Gavoi sono stati distinti il sintema di Portovesme (PVM), attribuito al Pleistocene superiore, e l'unità olocenica, che sono separati da un'importante superficie di erosione corrispondente a una fase di incisione e terrazzamento (BARCA et alii, 2005). La presenza di unità alluvionali terrazzate ha permesso di utilizzare il criterio morfostratigrafico. La fotointerpretazione è stata utilizzata nella suddivisione delle facies oloceniche, in quanto le tessiture fini ricche di materia organica e con elevata umidità, sono facilmente evidenziabili da quelle costituite da granulometrie più grossolane.

Il **sintema di Portovesme (PVM)**, viene suddiviso in:

- **Depositi di conoide detritica e alluvionale (PVM_{2a}):** caratterizzano il lato orientale della valle del Riu Solanas con lembi discontinui sul lato occidentale. Si tratta di sedimenti costituiti da rocce leucogranitiche e da filoni acidi e basici-intermedi prodotti soprattutto dal trasporto in massa nelle zone apicali, e da prevalenti depositi canalizzati per trasporto idrico nella zona distale. Attualmente formano dei terrazzi fluviali, sospesi sul fondovalle fino ad un massimo di circa 30 m. L'altezza delle scarpate e la dimensioni dei clasti diminuiscono gradualmente verso la pianura costiera.
- **Depositi di versante e colluvi (PVM_{2c}):** i depositi di versante sono formati da ghiaie angolose anche grossolane, eterometriche, in strati decimetrici, con intercalazioni di sabbie quarzoso-feldspatiche disposte in lenti (fig.0674); costituiscono degli accumuli, in genere reinciati ed erosi durante l'approfondimento post-glaciale delle valli; i depositi colluviali sono costituiti da sabbie e siltmassivi, e da frammenti di clasti angolosi di piccole dimensioni. Questi depositi si originano sia per i processi legati alla gravità sia per l'azione di dilavamento delle acque superficiali.
- **Depositi di frana (PVM_{2d}):** Si tratta di corpi di frana di esiguo spessore costituiti da grossi blocchi rotolati o scivolati sui versanti dove affiorano le litofacies granodioritiche. Sono costituiti da blocchi, ghiaie grosse e medie spigolose in una matrice sabbiosa di colore rossastro per la presenza di minerali di ferro, privi di stratificazione e mal cerniti.

L'unità olocenica viene suddivisa in:

- **Depositi alluvionali terrazzati (b_n):** sono costituiti da ghiaie medie e grossolane, subarrotondate, alternate a sabbie medio-fini, con stratificazione orizzontale o debolmente incrociata concava e con gradazione diretta. Le granulometrie aumentano verso la zona prossimale, nella parte alta del bacino, fino alle dimensioni dei blocchi. I clasti sono rappresentati da elementi di rocce leucogranitiche, filoni riolitici e basaltici, sieniti. Sono posti ai lati dell'alveo attuale e sono stati reinciati e terrazzati con scarpate alte da 1 m fino a 5 m.
- **Depositi di versante (a):** sono formati da ghiaie medie e grossolane, eterometriche, con matrice scarsa, intercalate a sottili lenti di sabbie, poco costipate e in parte fissate dalla vegetazione. I clasti di maggiori dimensioni sono frequenti nelle parti prossimali. Si formano per processi legati alla gravità e in parte per l'azione del dilavamento delle acque superficiali. Questi sedimenti sono cartografati sia lungo i pendii che al raccordo con la pianura, su superfici mediamente acclivi.
- **Coltri eluvio-colluviali (b₂):** si tratta di depositi contenenti una frazione sabbiosa e siltosa dominante, talora in livelli più o meno pedogenizzati ed arricchiti della frazione organica e subordinati clasti più o meno grossolani. La frazione organica contenuta suggerisce che questi sedimenti derivano da processi di dilavamento di suoli, mentre la presenza dei detriti indica fenomeni connessi alla degradazione fisica dei versanti.
- **Depositi di frana (a_{1a}, a_{1b}, a_{1c}, a_{1d}):** sono diffusi in tutta l'area sia nei compluvi che alla base delle falesie costiere. Data la rilevanza che questi depositi ricoprono all'interno del progetto Maregot per lo studio della stabilità delle coste alte rocciose, è stata utilizzata una nomenclatura che permetta di distinguere le tipologie di movimento che li hanno originati come specificato nella seguente tabella

Nomenclatura corpi di frana		
Unità litostratigrafica	Stato attività	Cinematismo
a: Depositi di versante		
	a: Attiva	a: Crollo e/o ribaltamento
	b: Quiescente	b: Scivolamento
	c: Stabilizzata o relitta	c: Colamento di fango
		d: Colamento di detritico
		e: Complessa
		f: Indeterminata
		g: DGPV
		h: Espansione laterale
Esempio: una frana attiva per crollo avrà la sigla aaa ; una frana quiescente per colamento detritico avrà la sigla: abd ; una frana stabilizzata di tipo indeterminato avrà la sigla: acf .		

In particolare, nell'area di studio sono stati riconosciuti prevalentemente corpi di frana prodotti per crollo, ribaltamento e colamento detritico.

- **Depositi alluvionali (b):** In questa unità sono compresi i depositi del letto di piena ordinaria e straordinaria, costituiti da blocchi, ghiaie grosse e medie, subarrotondati, a elementi di rocce granitoidi, da sabbie quarzoso-feldspatiche e da sabbie fini in prossimità della foce dei due corsi d'acqua principali.
- **Depositi eolici (d):** sono costituiti da sabbie sciolte, ben classate, che derivano dalla rielaborazione delle sabbie costiere e al loro interno si rinvenivano piccoli frammenti di molluschi marini e conchiglie di gasteropodi polmonati. Vengono cartografati sebbene attualmente la loro morfologia originaria, ricostruita da foto aerea, sia stata cancellata e/o modificata dall'intensa urbanizzazione.
- **Depositi di spiaggia (g_{2a}):** si osservano lungo la costa dove formano una fascia ristretta di sedimenti sabbiosi con rare ghiaie di dimensione centimetrica, talora con blocchi e ghiaie grossolane in corrispondenza dei promontori rocciosi nelle insenature protette. Le sabbie hanno composizione quarzoso-feldspatica, e granulometria medio-fine di colore molto chiaro; le ghiaie, ben arrotondate, sono costituite da rocce granitoidi; scarsi i resti di gusci di bivalvi e gasteropodi marini. I clasti hanno dimensioni fino a qualche decimetro e sono in genere subarrotondati e mediamente classati. La loro provenienza è dai versanti locali e hanno perciò subito uno scarso trasporto.
- **Depositi antropici (h):** sono rappresentati da materiali di riporto e rilevati stradali (h_{1r}), e manufatti antropici (h_{1a}).

Assetto tettonico-strutturale

Nell'area di studio sono evidenti gli effetti della tettonica distensiva legata al collasso della catena ercinica e coeva con la messa in posto dei complessi intrusivi e filoniani tardo paleozoici. In questa fase deformativa si è sviluppato un sistema di faglie ad alto angolo, marcate da fasce cataclastiche generalmente poco spesse, con direzioni prevalenti NW-SE e NE-SW. Indagini in aree limitrofe confermano che queste faglie con molta probabilità sono state riattivate durante l'evoluzione cenozoica. All'interno delle masse granodioritiche e gabbro-tonalitiche spesso si nota una foliazione tettonica dovuta presumibilmente a zone di taglio sviluppatesi durante la fase distensiva tardo-orogena in un contesto fragile-duttile. Oltre ai sistemi di faglie, il complesso intrusivo è caratterizzato da un intenso sistema di fratture dovuto sia alla messa in posto e raffreddamento del complesso intrusivo, sia alla fase di decompressione legata all'esumazione tettonica. Con molta probabilità alcuni sistemi di fratture sono stati riattivati durante gli eventi tettonici terziari e plio-pleistocenici. Le fratture hanno prevalentemente una giacitura da verticale a sub-verticale con orientazioni analoghe a quelle delle strutture principali (NE-SW e NW-SE).

Assetto geomorfologico

Il sistema idrografico

Il Bacino del Riu Solanas ha un pattern rettilineo con un unico tronco principale su cui si innestano diversi affluenti minori con pendenze accentuate, in particolare da sinistra. Benchè con superficie pari a poco meno di 34 kmq sottesa ad un alveo di appena 13,4 km, la sua più evidente caratteristica morfometrica consiste nell'assumere numero d'ordine V nel tratto montano. Sul piano fisiografico è evidente la maggiore importanza del settore vallivo pedemontano, dove l'alveo non è confinato ma si espande entro una vasta area alluvionale di ampiezza variabile di circa 1 km nel tratto di monte presso Cungiaus Mannu (subito a valle della sezione iniziale di V Ordine) fino a circa 1,5 km a valle di Costa Sa Suergia. Lungo tale tratto il torrente manifesta chiare tendenze diversive con assetto *wandering* entro robuste alluvioni oloceniche terrazzate. La foce è più o meno perenne con tendenza ad aprirsi sul margine Sud Est della spiaggia di Solanas.

Il Riu Gavoi ha un bacino a pattern subdendritico di IV° Ordine di circa 13 kmq sottesi ad un alveo di 6,5 km con foce sulla spiaggia di Cann'e Sisa. La sua caratteristica peculiare sta nel fatto che l'alveo

principale scorre per la gran parte confinato e in ambito fisiografico montano, ad eccezione dell'ultimo chilometro corrispondente al settore d'insediamento turistico, il solo ad essere interessato da terreni detritici.

Le spiagge

Il tratto costiero di riferimento comprende le spiagge sabbiose, intese come parte emersa e corrispettivo sommerso, sottendenti l'involuppo dei bacini idrografici alimentatori:

- Cann'e Sisa (Riu Gavoi);
- Genn'e Mari (Canale Genn'e mari);
- Porto Perdosu (Canale di Portu Perdosu);
- Solanas (Riu Solanas)

Si tratta di tre spiagge a tasca o *pocket beach* tutte esposte a Sud Ovest in relazione all'assetto morfostrutturale del profilo costiero, i cui promontori più importanti coi relativi bassifondi sommersi, favoriscono l'isolamento di almeno 3 celle sedimentarie, coincidenti con le tre SubUnità Gestionali già descritte, confinate verso mare tanto dal limite superiore della prateria di Posidonia oceanica, probabilmente strutturata su fondale roccioso alterato, quanto dalle morfostrutture del basamento geologico. Si tratta dunque di spiagge del tutto soggette a controllo geologico.

Una tale configurazione geomorfologica suggerisce che lo stock di sedimenti intrappolato di volta in volta in ogni cella (con riferimento all'attuale livello di stazionamento):

- non sia costituito, lungo la sezione del profilo, da soli sedimenti sabbiosi;
- sia volumetricamente alquanto modesto in rapporto ad altre situazioni di spiagge sarde meno geologicamente incassate nel profilo costiero;
- sia condizionato dalle sue caratteristiche idrogeomorfologiche;
- sia proporzionato in qualche modo all'entità areale del bacino idrografico sotteso a ciascuna spiaggia ma ancor di più ai volumi delle coperture mobilizzabili (ad es. il Riu Solanas);
- e che le spiagge siano originate in epoca storica.

L'ipotesi della presenza nei volumi di spiaggia di una componente più o meno importante di sedimenti grossolani, sia ciottolosi che ghiaiosi, appare dunque compatibile con l'assetto di tutte le spiagge, compresa quella di Genn'e Mari ad Ovest di Porto Perdosu. Ciò è dovuto tanto alla presenza di foci sottendenti contesti alluvionali terrazzati quanto alla vicinanza laterale di settori di falesia in evidente arretramento gravitativo per fenomeni di crollo di varia magnitudo e genesi, da storici ad attuali e/o di erosioni incanalate (Punta Cabudi, Punta Monte Fenugu, Torre de Su Fenugu, Torre delle Stelle, Bruncu de Su Monte Moru).

La sussistenza di un bacino idrografico sotteso a ciascuna spiaggia, sia pure di estensioni (e portate idriche) diverse, costituisce il fattore geologico essenziale anche alla presenza dei volumi di sedimenti clastici rocciosi che nell'Olocene hanno generato beach rock allo specifico livello di stazionamento marino. La presenza di queste in ambito sommerso a pochi metri di profondità sul fondo, accertata in almeno due delle tre spiagge pilota, fa ammettere una loro maggiore diffusione, fosse solo come corpi in parte rimaneggiati, alla base dei volumi sabbiosi sciolti. Lo stesso assetto molto appiattito di nearshore e foreshore può essere interpretato come testimonianza indiretta di un substrato roccioso che determina il controllo geologico della pendenza stessa della spiaggia sommersa.

Nel contesto studiato, le spiagge, sia i compendi sabbiosi che, a maggior ragione, quelli ghiaiosi e ciottolosi, al netto dell'ovvia influenza idrodinamica nei vari scenari anemologici e di clima ondoso, sono, come già detto, particolarmente soggette a controllo geologico. Si tratta di spiagge microtidali (con escursione di marea < 1m) corrispondenti a celle sedimentarie isolate a modesto stock di sedimenti, in genere delimitate a mare da posidonieti e rialzi morfostrutturali del substrato. La gran parte di esse sono connesse a monte con sistemi idrografici che le riforniscono di sedimenti naturali per il tramite di dinamiche torrentizie impulsive; se si escludono le tre spiagge sabbiose pilota, ve ne sono altre situate ai piedi di versanti in roccia cristallina spesso alterata o con rade coperture pleistoceniche con tessiture a ciottoli o addirittura a massi. In generale, i loro caratteri morfodinamici non sono gli stessi, sia in

ragione dell'esposizione agli elementi del clima ondoso e del loro sviluppo in lunghezza sia in ragione dell'influenza geologica. Con tale espressione s'intendono tanto le caratteristiche granulometriche delle spiagge quanto quelle morfologico-clivometriche degli elementi affioranti e dei bassifondi del substrato roccioso, presenti a profondità inferiori a quelle di chiusura. Alle spiagge in questione è stato attribuito (Sole 2015) in passato un profilo dissipativo "intermedio" in funzione della pendenza del profilo attivo (dato proveniente dall'Atlante delle spiagge sarde; Di Gregorio et al., 1998)] secondo la terminologia elaborata da Wright & Short (1984) e rielaborata da Masselink & Short (1993).

A tale riguardo, posto che in queste spiagge possano applicarsi tal quali sia metodologia che definizioni di riferimento, esse appaiono connotarsi all'interno di un dominio con caratteri intermedi fra dissipativo e riflettente. Ciò in quanto, al di là della numerosità e della consistenza di barre, l'elemento riflettente appare sempre presente in varia misura, stante l'evidente influenza del substrato roccioso, quanto meno alle estremità di ogni spiaggia, sia in ambito emerso che sommerso (si veda il caso di Genn'e Mari, a questo riguardo) e la relativa ristrettezza della surf zone.

Le sabbie che le costituiscono sono soprattutto silicoclastiche, con una componente bioclastica in genere derivante dalla prossimità e dall'attività biogenica della Prateria di Posidonia oceanica che, a sua volta, può insediarsi in corrispondenza di frange alterate del basamento, ossia di sostanziali riserve di sedimenti terrigeni ma in condizioni di minimo o nullo dinamismo sul fondo sabbioso. Nel settore di foreshore di ogni spiaggia i rilievi de visu hanno fatto constatare in ogni caso la presenza di sabbie tendenzialmente più fini; fatto questo che ha trovato riscontro nelle indagini granulometriche, quanto la presenza di frazioni grossolane o di ghiaie nelle battaglie.

Dal punto di vista marittimo, su di esse, in prima approssimazione e sulla base delle conoscenze disponibili, si rilevano soprattutto condizioni di frangimento surging che sul piano morfodinamico possono essere messe in relazione a profili modali di spiagge "intermedie" in base alla tipicizzazione di Masselink G. & Short A. D. (1993) in condizioni microtidali.

Cann'e Sisa

La spiaggia, con sviluppo di circa 400 m, è inserita entro una cella sedimentaria sottesa a bacino torrentizio, con planimetria a trapezio rettangolo di dimensione massima lungo il limite superiore della Posidonia oceanica di circa 600 m ed un'estensione verso il largo superiore ai 400 m. Si tratta con evidenza (Figura 7) di una spiaggia microtidale a tasca a controllo geologico, sia per la presenza dei promontori rocciosi che la delimitano (Baccu Mandara a Nord Ovest e Torre di Su Fenugu a Sud Est), sia dei bassifondi prossimi alla riva. Nella spiaggia sommersa, specificamente nel suo estremo NordOvest prossimo alla riva, sono ben evidenti affioramenti di beach rocks i quali suggeriscono che tale formazione sia un ulteriore elemento di controllo della morfologia a letto dei volumi sabbiosi.



Figura 7 - Spiaggia di Cann'e Sisa

Genn'e Mari e Portu Perdosu

Si tratta di due compendi a controllo geologico tanto prossimi quanto differenti sul piano geomorfologico. La prima (Genn'e Mari, figura 8) è una spiaggia microtidale sabbiosa ben incassata all'interno di due difforni promontori rocciosi in granodioriti (GEAc: Unità intrusiva di Geremeas, Facies di Is Mortorius) delimitanti una spiaggia sommersa, asimmetrica e proporzionalmente molto estesa (circa 180.000 mq) in rapporto a quella emersa (circa 10.000 mq). L'influenza geologica è manifesta nella parte sommersa che si dispone con un asse maggiore ortogonale alla direzione da SudEst, al contrario di quella emersa la cui corda è manifestamente NW-SE quindi, ortogonale alla direzione da SudOvest. Ciò è conseguenza manifesta dell'aggetto roccioso subacqueo sul prolungamento SW-NE del promontorio a Sud Est in Granodioriti della spiaggia. Questo aspetto non è irrilevante ai fini della caratterizzazione complessiva della spiaggia e di qualunque modellazione, poiché complica lo studio dell'onda diffratta e dello stesso frangimento.

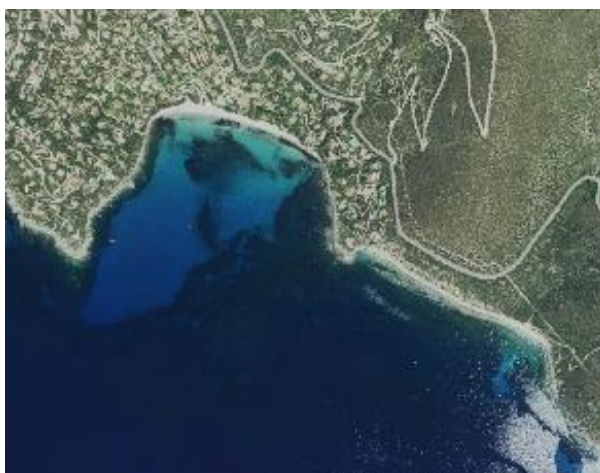


Figura 8 - Le spiagge di Genn'e Mari, a nord, e Portu Perdosu

La seconda (Monte Perdosu, figura 8) è un compendio piuttosto esposto ai piedi di un versante in roccia costituito dai sedimenti brecciosi della Formazione di Ussana (USSa) interessati da frane e naturalmente sotteso al Bacino idrografico del Canale Portu Perdosu. La spiaggia ai piedi del versante si presenta costituita in prevalenza da sedimenti ciottolosi e massi misti a sabbie grossolane ben concentrate nel solo margine Sud Est o in limitatissime trappole sommerse del basamento contenenti sabbie. Il settore è particolarmente interessato dall'apporto dei materiali di origine gravitativa provenienti dai versanti a diretto contatto con la spiaggia che si spingono, in tal modo, a delineare l'assetto della spiaggia sommersa.

Fra i sedimenti di spiaggia sommersa ed il substrato roccioso della spiaggia di Genn'e Mari si rilevano conglomerati in facies di beach rock a -1 m e -5 m che vengono riferiti a livelli di stazionamento alto del mare (HST) corrispondenti a 500 e 3000 anni BP (De Muro et al., 2015).

Solanas

La spiaggia microtidale di Solanas (figura 9), la più orientale dell'unità fisiografica, è alimentata dal Riu Solanas, è delimitata ad Est dal promontorio di Capo Boi e a NordOvest da quello di Punta Cabudi, entrambi costituiti da granodioriti intruse da corpi filoniani. La parte emersa, con uno sviluppo di circa 935 m fra i due estremi rocciosi che la contengono e lunghezza della battigia variabile da 950 m a 980 m in funzione dello stato climatico, rappresenta una stretta porzione di un sistema a tasca a planimetria trapezoidale. La cella sedimentaria che risulta ben confinata ha ampiezza trasversale di 600 m e fronte longitudinale a contatto col limite superiore della Posidonia oceanica di circa 1400 m, entro cui le ricognizioni subacquee dirette hanno accertato ripple fino a -9m (rilievi di Agosto 2019). Essa contiene sedimenti in genere sabbiosi ma con caratteristiche



Figura 9 - Spiaggia di Solanas

composizionali e tessiturali differenti fra spiaggia emersa e sommersa. In particolare nella spiaggia emersa si evidenzia la prevalenza di sabbie silicoclastiche per il 90% a Quarzo e Feldspati, da grossolane a molto grossolane, mentre in quella sommersa prevalgono le granulometrie medie e fini che tendono ad arricchirsi in bioclasti verso il limite col posidonieto. In tale settore sommerso fra i sedimenti ed il substrato roccioso si rilevano conglomerati in facies di beach rock a -1 m e -5 m che vengono riferiti a livelli di stazionamento alto del mare (HST) corrispondenti a 500 e 3000 anni BP (De Muro et al., 2015).

Le coste alte

PARTE EMERSA

Estese aree del settore emerso dell'area studiata sono interessate dalla presenza di antiche superfici di spianamento dalle quali si elevano morfologie a *inselberg* e *tor*; la più antica delle quali è costituita da una successione di creste e altopiani a quote comprese tra +400 e +500 metri, attribuita alla fase continentale permo-triassica da Vardabasso (1951) e Pelletier (1960), anche se non può essere esclusa un'età più recente. Di seguito vengono descritti i processi di alterazione, erosione e deposizione che hanno influenza sugli aspetti morfologici dell'area costiera, definendone l'ubicazione e la forma (vedere Carta Geomorfologica allegata).

Processi

a. Alterazione della roccia.

Il basamento intrusivo dell'area mostra spesso delle fasce arenizzate frutto di processi di alterazione anche profonda, che evidenziano blocchi isolati, di dimensioni estremamente variabili, fino a volumi di decine di metri cubi. Tale paesaggio può essere considerato come uno dei più comuni e caratteristici prodotti degli ambienti con litologie granitiche (Twidale & Vidal-Román, 2005). Lo sviluppo di queste strutture è legato a processi di alterazione chimico-fisica particolarmente efficaci su rocce a composizione e tessitura marcatamente omogenee come i granitoidi. Il processo di formazione dei singoli blocchi si sviluppa in due fasi principali: la prima agisce sulla massa granitica in sottosuolo, principalmente su miche e feldspati producendo minerali argillosi; la seconda è prodotta da agenti erosivi atmosferici (vento, pioggia, ecc.) che, eliminando la porzione alterata, arrivano a formare un volume isolato. Il processo di erosione progressiva delle rocce intrusive con tessitura e composizione analoga a quelle dell'area di indagine produce caratteristiche geo-morfologiche chiaramente dipendenti dalla struttura dell'ammasso roccioso, caratterizzata dalla presenza di famiglie di discontinuità, la cui disposizione spaziale controlla l'articolazione delle forme e la dimensione massima dei blocchi. L'intensità della fratturazione è inoltre un elemento che favorisce il processo di alterazione provocato dallo spray marino, poiché incrementa la superficie esposta dell'ammasso roccioso soggetta a tale azione.

b. Erosione

b.1 Erosione areale

L'erosione areale favorisce l'esumazione dei blocchi, in quanto i processi di allontanamento della frazione alterata del substrato roccioso per gravità e dilavamento portano alla esumazione dei blocchi di roccia. Si tratta di blocchi di forma sub-arrotondata, talora sub-cubica si dimensioni da decimetriche a plurimetriche osservabili sia lungo le falesie costiere che sui versanti delle zone interne (ad esempio lungo le alte scarpate artificiali realizzate per la costruzione della nuova strada statale n.125). In particolare, blocchi residuali risultanti da processi di esumazione sono rilevabili nei settori superiori dei versanti a sud-est di Torre de su Fenugu. In minor misura sono rilevabili nel settore basale, in corrispondenza del limite di *wave run-up*. In questo ultimo caso i processi di dilavamento sono da mettere in relazione con la dinamica del moto ondoso che asporta la frazione alterata del substrato roccioso.

Una volta esumati, i blocchi isolati di forma variabile, localizzati in diversi settori del pendio, possono essere oggetto di uno scalzamento alla base che può provocarne il ribaltamento e, in alcuni casi, lo

scorrimento su superfici strutturali. Questi meccanismi di instabilità dei blocchi sono da mettere in relazione con le caratteristiche geometriche del bocco (forma e dimensione), la distribuzione dei blocchi con particolare riferimento alle aree a maggiore pendenza, e il tipo di contatto tra il blocco e la superficie di appoggio.

Nell'area d'indagine le aree interessate da questi processi di scalzamento e successivo ribaltamento e/o scorrimento dei blocchi sono localizzate prevalentemente nei settori superiori del versante, laddove i processi di esumazione hanno portato alla loro completa esposizione. Come detto, le dimensioni sono molto variabili così come la loro geometria.

b.2 Erosione concentrata

In aree dove l'erosione si concentra su direttrici preferenziali, si impostano canali di erosione (Figura 10) e si attivano erosioni regressive delle testate delle valli (Figura 11).

I canali di erosione incidono sia la roccia intatta che la matrice prodotta dalla sua alterazione e i depositi di versante. Sono morfologie di tipo lineare fortemente controllate dalle discontinuità che caratterizzano il substrato roccioso, che si sviluppano prevalentemente nei settori in cui il versante ha elevato gradiente di pendenza. L'acclività e la bassa permeabilità del versante riducono infatti l'infiltrazione dell'acqua nel substrato favorendone il veloce deflusso superficiale in rivoli (*rills*) con la conseguente evoluzione del processo erosivo. I canali erosivi incisi su roccia presentano profilo trasversale a "V", con fianchi molto ripidi e scarsa presenza di depositi e detriti all'interno. Per queste forme la profondità massima dell'incisione è variabile da circa 0,5 m a 5 m per quelli più significativi. Le incisioni che si evolvono sul substrato roccioso alterato e sui depositi quaternari hanno generalmente profilo trasversale ad "U" e profondità massima 3 m.

Localmente (ad esempio, Cala Delfino), i canali mostrano evidenze di tendenza evolutiva retrogressiva: l'area di testata si imposta su depositi incoerenti ed è definita da fianchi sub verticali (Figura 12) dominati da processi erosivi attivi che mobilitano i sedimenti soprattutto in occasione di apporti meteorici.

Nel settore basale dei canali su roccia si rilevano invece depositi caratterizzati da blocchi in matrice fine correlabili con scariche di detrito, mentre in quelli incisi sui depositi si può rilevare il deposito basale di frana che in parte viene asportato dai processi di *run-up* connessi con la dinamica marina.

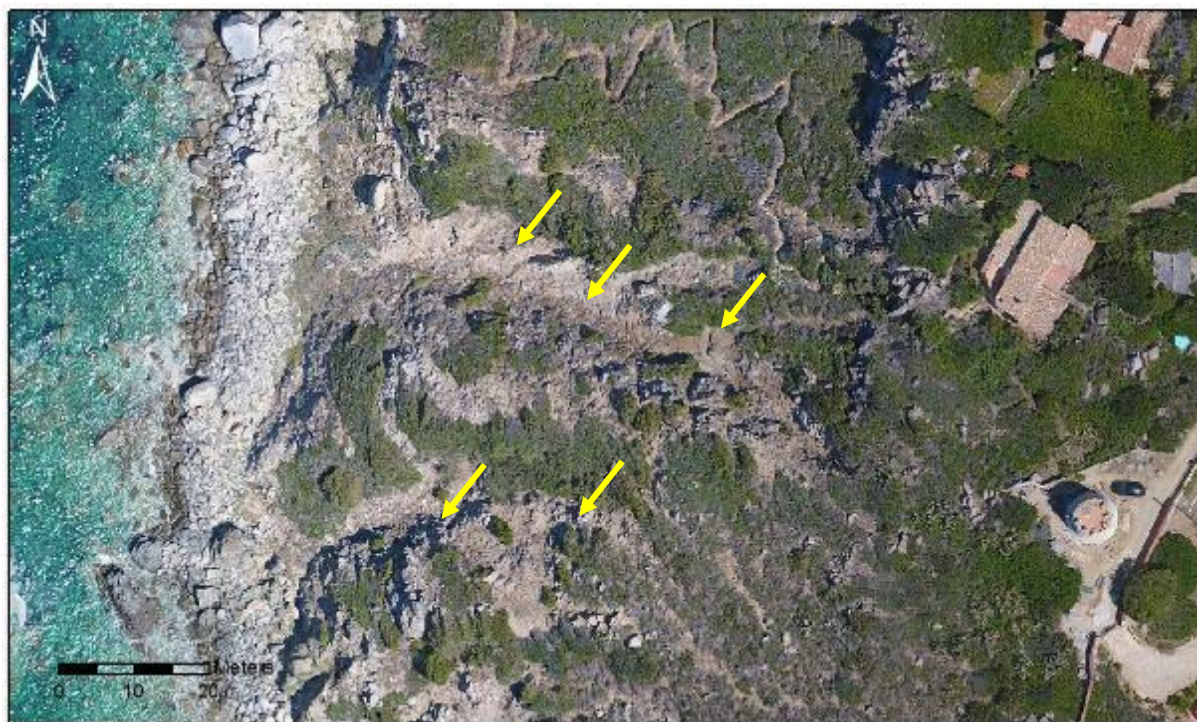


Figura 10 - Ortofoto realizzata da fotogrammetria da drone. Settore a nord di Torre de su Fenugu: canali di erosione concentrata su substrato roccioso.



Figura 11 - Immagine acquisita da drone. In evidenza: 1- canale erosivo associato a scariche di detrito (2); 3 canale erosivo con deposito di colata basale (4); 5 - area di testata con tendenza evolutiva retrogressiva.

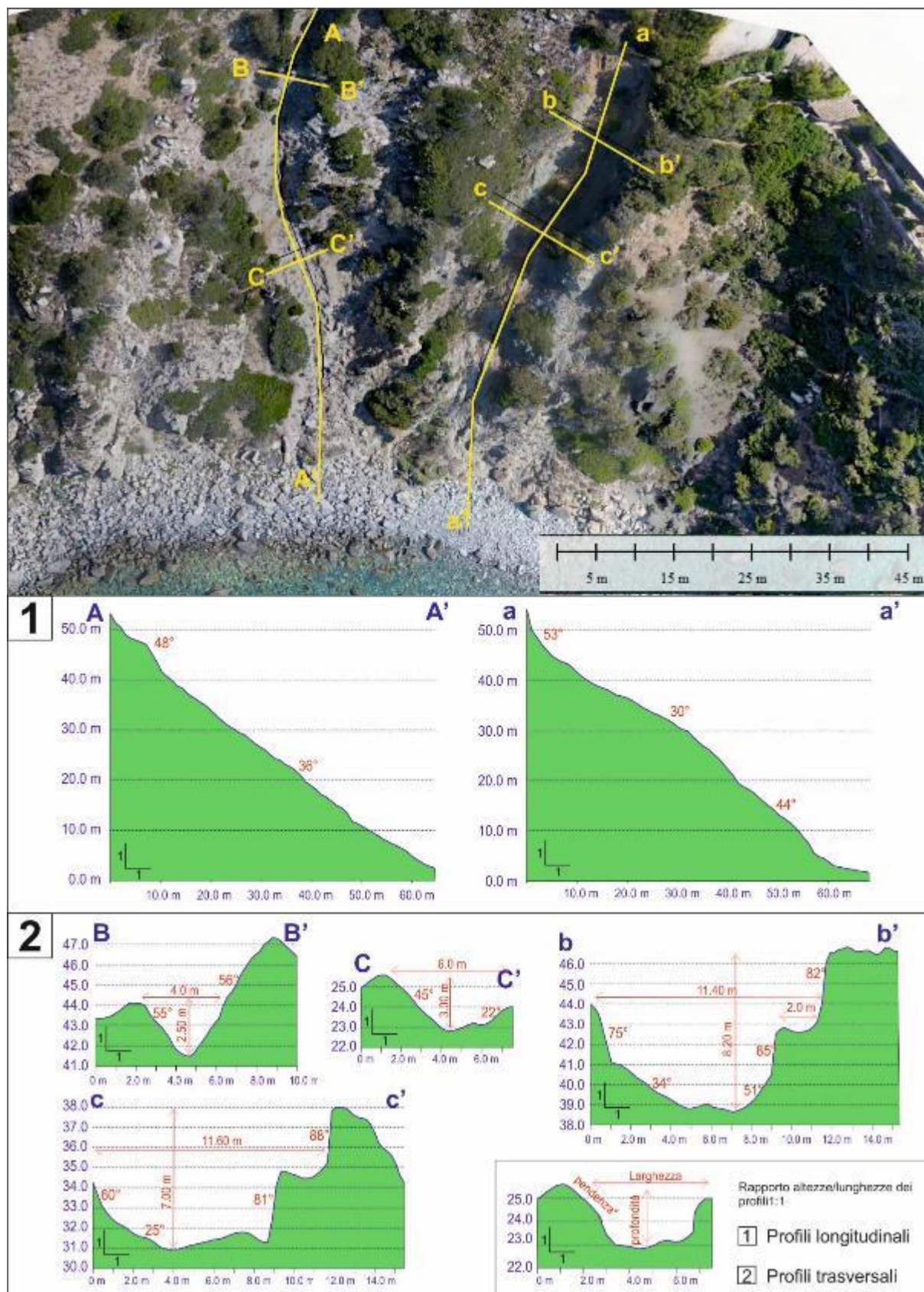


Figura 12 - Ortofoto del versante a nord di Cala Delfino. In evidenza le sezioni morfometriche longitudinali e trasversali dei canali erosivi (le sezioni hanno scale di rappresentazione differenti).

c. Forme deposizionali di versante

I processi erosivi lungo i versanti costieri portano alla formazione di depositi che possono avere forme differenti a seconda del materiale di cui sono composti e del tipo di erosione, qui ne riassumiamo le caratteristiche principali nonché alcuni elementi che ne permettono il riconoscimento. Tra le forme deposizionali di versante sono stati distinti:

- *Depositi intracanalare con scariche di detrito*: i processi di degradazione chimico-fisica dei versanti in combinazione con l'azione delle acque dilavanti, si concentrano lungo canali in aree intensamente fratturate nei quali si mobilita e si accumula il materiale detritico in concomitanza con gli episodi di maggiore attività erosiva. Nelle foto aeree acquisite con drone i canali in roccia si riconoscono per il loro sviluppo rettilineo lungo il quale avviene il trasporto del materiale che allo sbocco si dispone a ventaglio. La tonalità chiara dei depositi dimostra la continuità del processo (quindi non intermittente) e lo stato di attività recente del processo di degradazione fisico-meccanica del substrato granitico.

- *Depositi di ridotto spessore*: sono localizzati in alcuni settori superiori del versante e costituiti prevalentemente da sabbie grosse correlabili con i prodotti di alterazione delle granodioriti (GEA_c e GEA_d). Lo spessore di tali depositi è molto ridotto (nell'ordine di pochi decimetri) ed è da mettere in relazione con un alto grado di attività di migrazione dei depositi verso i settori inferiori del versante.

- *Depositi antropici*: si tratta di depositi artificiali di "discarica" accumulati in un arco di tempo molto ampio, di spessore variabile da 0,5 fino a qualche metro, derivanti da interventi di sbancamento per la realizzazione di strade e edifici, sono presenti in alcuni settori superiori dei versanti all'interno dell'area studiata; tali depositi sono costituiti da materiali di riporto, inerti derivanti da interventi di demolizione edile, scarti di lavorazioni e manufatti. Le loro caratteristiche geotecniche sono estremamente variabili in funzione della composizione, del grado di addensamento, e del periodo e modalità di accumulo.

d. Forme di erosione legate ai massimi frangenti (Run-Up)

La risalita massima del moto ondoso lungo la costa, indicata come *wave run-up* totale, è definita dalla differenza di quota tra la posizione più alta raggiunta dal getto e il livello del mare in quiete in condizioni normali.

Nel settore di costa studiato è stata definita l'area interessata dai processi di *wave run-up* sulla base di evidenze morfologiche; in particolare si tratta di una fascia che dalla linea di riva si estende verso terra fino alla quota massima di circa 9 metri. L'ampiezza è la massima quota raggiunta dai processi di *wave run-up* in occasione di eventi meteo-marini estremi è funzione delle caratteristiche litologiche e di esposizione al moto ondoso. I settori in cui presenta la maggiore ampiezza e raggiunge la quota massima di circa 9 metri, sono quelli esposti al 3° e al 4° quadrante; il limite verso terra è di due tipologie:

- *ripe di erosione*: si rilevano nei depositi alla base dei versanti ed hanno altezza variabile tra pochi decimetri e circa 1,5÷2 metri. La ripa di erosione è sede di processi di scalzamento alla base che innescano processi gravitativi con maggior grado di attività in occasione degli eventi meteo marini estremi.

- *nicchie e solchi di run-up*: si rilevano alla base di versanti rocciosi ad alta pendenza, fino alla quota massima di circa 8 metri; la profondità massima rilevata per queste morfologie è nell'ordine di qualche decimetro. La maggiore distribuzione dei solchi si rileva in corrispondenza di settori in cui il substrato roccioso è poco fratturato.

Nel settore a nord di Torre de Su Fenugu l'area interessata da processi di *wave run-up* è esposta a ovest ed ha ampiezza ridotta se confrontata con gli altri settori di costa; il limite verso terra è definito prevalentemente da una ripa di erosione alla quota di circa 3 m s.l.m. In corrispondenza del promontorio di Torre de Su Fenugu il limite massimo di *run-up* raggiunge la quota di circa 8 metri sul livello del mare in coerenza le condizioni di esposizione al moto ondoso connesso con eventi meteo-marini estremi del terzo quadrante. Infine, nell'area di Cala Delfino, si distinguono due settori: un settore occidentale dominato dalla presenza di un promontorio a granodioriti in cui la fascia di *run-up* è caratterizzata da elevata pendenza e un settore orientale dove sono presenti depositi incoerenti e depositi a blocchi di frana alla base del versante a minore pendenza; in entrambi i settori, la quota raggiunta dai massimi frangenti è di circa 8÷9 m s.l.m.

e. Forme deposizionali costiere

Deposito di spiaggia ai piedi delle falesie (non sono quindi qui contemplate le spiagge già descritte nel paragrafo 3.1.3.2).

Sono costituiti prevalentemente da ghiaie e ciottoli poco classati di forma arrotondata. Tali depositi hanno ridotta estensione areale e si rilevano nel settore centro-orientale della baia di Cala Delfino e a sud del promontorio di Torre de Su Fenugu. Rappresentano il settore emerso dei corpi sedimentari tipo “*pocket beach*”; lo spessore è ridotto e nell'ordine di qualche metro.

L'elevata pendenza del profilo morfometrico di spiaggia, unitamente alla dominante frazione grossolana di tali depositi, è da mettere in relazione con l'ambiente di alta energia connesso con l'esposizione al moto ondoso.

Distribuzione e caratteristiche dei corpi di frana

I depositi di versante, costituiti da clasti angolosi in genere di spessore ridotto, si rilevano nei settori inferiori dei versanti studiati. La loro messa in posto è verosimilmente da attribuire a processi gravitativi e di alterazione fisico-chimica favoriti dalla ridotta presenza di vegetazione.

I depositi di frana dominano in quasi tutto il settore basale dei versanti (Figura 13); sono presenti depositi caotici di frana di crollo e crollo-ribaltamento, con blocchi eterometrici di granodioriti e filoni basici, con matrice (dove presente) da sabbiosa a ghiaiosa scarsamente compatta o sciolta.

Analogamente a quanto si rileva per il settore sommerso, le dimensioni dei singoli blocchi che costituiscono il deposito di frana sono in stretta relazione con l'assetto geomeccanico e strutturale della roccia da cui derivano. Alla base degli affioramenti rocciosi molto fratturati si rilevano blocchi di ridotte dimensioni, mentre in corrispondenza di settori poco fratturati i blocchi hanno dimensioni da metriche a plurimetriche. La forma dei singoli blocchi varia da sub-angolare irregolare a sub-cubica. I corpi di frana che ricadono all'interno della fascia di *wave run-up* (Figura 14) subiscono la dinamica del moto ondoso e sono totalmente esenti da matrice e frazione fine (sabbia e ghiaia).



Figura 13 - Settore costiero orientale di Cala Delfino. 1- Deposito di versante a blocchi in matrice sabbiosa e substrato roccioso alterato; 2 Deposito di frana di crollo alla base del versante interessato da processi di *wave run-up*; 3 – limite massimo dei processi di *wave run-up* sul deposito di versante; 4 – linea tratteggiata: limite massimo dei processi di *wave run-up* su roccia.



Figura 14 - Promontorio di Torre de su Fenugu. 1- Versante su roccia intensamente fratturata; 2 Deposito di frana di crollo alla base del versante interessato da processi di wave run-up; 3 – limite massimo dei processi di wave run-up su deposito di versante.

f. Piattaforme di abrasione

Morfologie erosive correlabili con piattaforme di abrasione si rilevano nel promontorio di Torre de su Fenugu e nei promontori di Cala Delfino alla quota del livello del mare e a quota di circa 3 m. Le piattaforme di abrasione non sono molto estese, sono sub-orizzontali o debolmente immergenti verso mare e si rilevano quasi esclusivamente dove il substrato roccioso è poco fratturato. Talvolta le superfici sommitali sono parzialmente ricoperte dai blocchi dei depositi di frana per crollo.

PARTE SOMMERSA

Piattaforme di abrasione sommerse

Superfici di abrasione marina attive si rilevano tra la linea di riva e -2/-3 metri di profondità, in corrispondenza dei principali promontori dell'area studiata (promontorio di Torre de Su Fenugu e promontorio orientale e occidentale che definiscono i limiti della baia di Cala Delfino). Localmente dalle superfici di abrasione si elevano i filoni a composizione acida, messi in rilievo da processi di erosione differenziale. Spesso sulle superfici di abrasione si riconoscono alcune tracce di recenti processi sub-aerei: si tratta di micro-forme di alterazione tipica dei litotipi cristallini quali alveoli e microtafonature sui quali si impostano marmitte di erosione di forma da sub-circolare ad irregolare.

Distribuzione dei depositi di frana sommersi: elaborati e non elaborati

Alla base delle falesie a litologie granitiche, si rileva la diffusa presenza dei depositi di crollo, legati all'instabilità delle coste alte. Si tratta di depositi a grossi blocchi sub-angolari che caratterizzano diffuse falde di detrito con area di alimentazione nel settore emerso. Le dimensioni dei singoli blocchi che costituiscono il deposito di piede di falesia sono in stretta relazione con le caratteristiche della fatturazione della roccia che li ha originati. I blocchi di maggiori dimensioni raggiungono qualche metro di diametro e si rilevano alla base dei settori di costa dominati dalla presenza affioramenti rocciosi a granodioriti e tonaliti. I blocchi di grandezza minore hanno dimensione decimetrica e si rilevano alla base dei settori in cui affiorano i corpi filoniani. I meccanismi di messa in posto di questi depositi sono

prevalentemente riconducibili a processi gravitativi di crollo e crollo-ribaltamento connessi sia con i processi di scalzamento alla base per opera del moto ondoso che con l'evoluzione dei versanti ad elevato gradiente di pendenza. I corpi di frana hanno spessori molto variabili e si rastremano rapidamente verso largo e raggiungono profondità sino a -10 metri. Nei settori di costa maggiormenti esposti al moto ondoso, i depositi di piede di falesia vengono rielaborati e assumono forma arrotondata; è questo il caso del settore centro orientale di Cala Delfino dove i depositi sono esposti agli eventi meteo-marini estremi del terzo e del secondo quadrante.

Spiaggia sommersa sabbiosa

In piattaforma continentale prossimale si rilevano due aree caratterizzate da sabbie prevalentemente silicoclastiche la cui dispersione al largo è limitata dalla presenza della prateria a Posidonia oceanica (L.) Delile e dagli affioramenti rocciosi. I depositi di spiaggia sommersa presentano una forte predominanza della frazione litoclastica e risultano caratterizzati da modeste differenziazioni sia in senso tessiturale che compositazionale; si tratta di sabbie a composizione quarzosa e quarzoso-feldspatica, variamente bioclastiche.

Questi depositi sono prevalentemente localizzati nella baia di Cala Delfino a profondità comprese tra -6 e -10 metri e a sud del promontorio di Torre de Su Fenugu, a profondità di -10 metri, dove il limite verso mare è definito sia dalla presenza di un deposito a sedimenti bioclastici, sia dalla presenza della prateria a Posidonia oceanica. Le sabbie di spiaggia sommersa rilevate rappresentano la parte a mare dei corpi sedimentari tipo "*pocket beach*" compresi in un morfotipo costiero a falesie e piattaforme di abrasione sollevate. Per lo più si osservano sabbie a tessitura grossolana la cui messa in posto è da mettere in relazione con l'intensa attività idrodinamica connessa con gli eventi meteomarinari dei quadranti meridionali. La frazione bioclastica è presente in percentuale ridotta ed è rappresentata da frammenti di lamellibranchi, gasteropodi ed echinidi provenienti dalla prateria a Posidonia oceanica (L.) Delile. Lo spessore dei sedimenti di spiaggia sommersa è variabile ed è funzione della forte irregolarità che caratterizza il substrato roccioso a litologie granitiche.

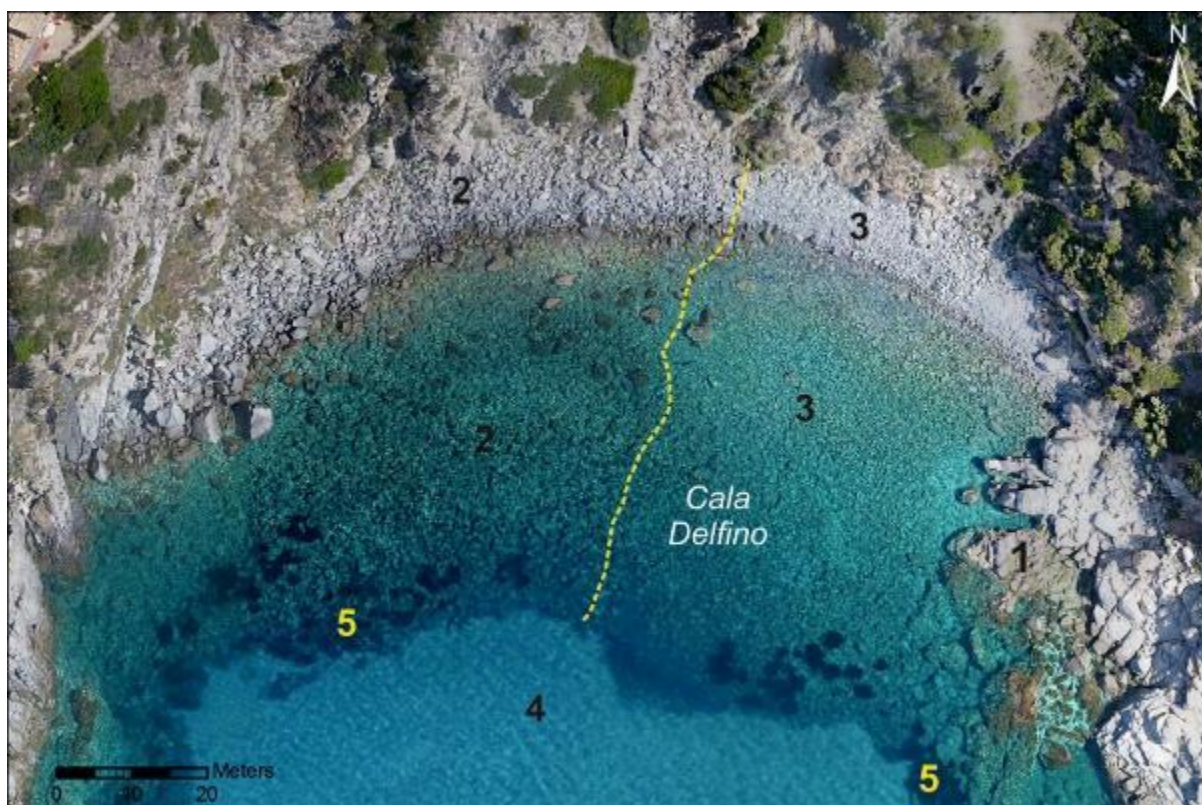


Figura 15 - Ortofoto dell'area di Cala Delfino. 1 - Affioramento roccioso a granodioriti (Carbonifero superiore); 2 - Deposito di frana di crollo a blocchi sub-angolari di dimensioni da decimetriche a metriche; 3 - Deposito di frana di crollo a blocchi sub-arrotondati rielaborati dal moto ondoso; 4 - deposito di spiaggia sommersa a sabbie a dominante frazione silicoclastica; 5 - Mosaico a Posidonia oceanica su roccia e roccia affiorante. La linea tratteggiata separa i depositi di frana in posto (2) da quelli rielaborati dal moto ondoso (3).



Figura 16 - 1- Deposito di frana di crollo a blocchi subangolari di dimensioni da decimetriche a metriche; 2 - Deposito di frana di crollo a blocchi sub-arrotondati rielaborati dal moto ondoso.

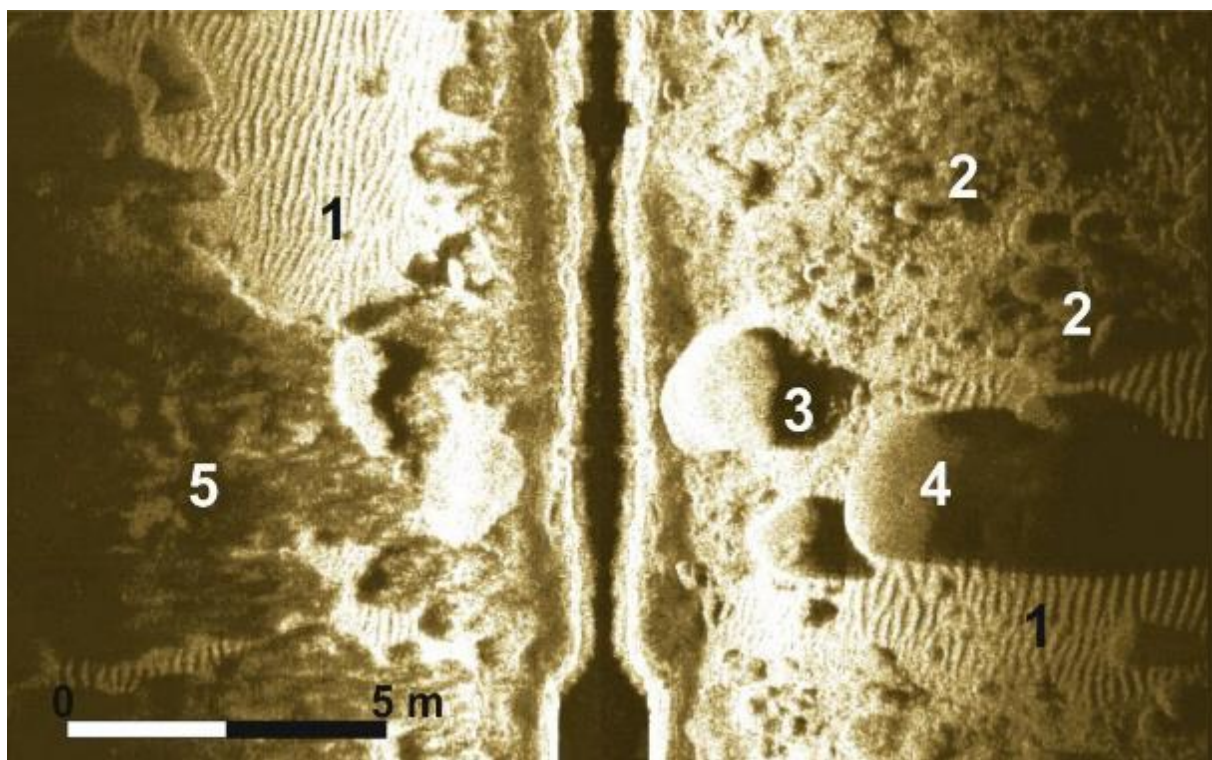


Figura 17 - Sonogramma Side Scan Sonar - 1MHz - Sedimenti a dominante frazione bioclastica interessati da strutture sedimentarie a ripples marks; 2- deposito di frana di crollo a blocchi sub-arrotondati (diametro max 1 m) rielaborato dalla dinamica marina; 3 –blocco di frana di crollo sub-sferico isolato; 4 – rilievo a residuale a tor; 5 – Posidonia oceanica su matte.

Forme residuali sommerse a tor

A profondità comprese tra -20 e -40 metri di profondità è riconoscibile una paleo-superficie di spianamento continentale, irregolare e debolmente inclinata verso mare, caratterizzata da forme residuali a *tor* sui prolungamenti verso mare dei promontori di Cala Delfino e di Torre de Su Fenugu. Queste forme non sono di facile collocazione cronologica, tuttavia il loro stato evolutivo fa supporre tempi di modellamento molto lunghi, riferibili verosimilmente a un periodo pre-aterniano caratterizzato da condizioni climatiche caldo-umide e livello marino più basso rispetto all'attuale.

Biocenosi: biocostruzioni a *Posidonia oceanica* su roccia e biocostruzioni a *Posidonia oceanica* su matte

Nei fondali della piattaforma prossimale dell'area studiata sono state rilevate estese aree caratterizzate da copertura omogenea di praterie a fanerogame marine rappresentate da *Posidonia oceanica* (L.) Delile.

Nell'area di Torre delle Stelle/Cala Delfino la *Posidonia oceanica* (L.) Delile si presenta in diverse tipologie con limite superiore generalmente a profondità comprese tra -6/-8 metri e -9/-12 metri rispettivamente per il settore a nord e a sud-est di Torre de su Fenugu e limite inferiore a circa -40 metri di profondità.

La tipologia più estesa e diffusa, rappresentata da densità fogliare elevata, è sviluppata su matte, ove le fanerogame sono impiantate direttamente su biocostruzioni a rizomi alte sino a 1 m, caratterizzate da depressioni e canali intramatte di forma e dimensioni variabili che agiscono da trappola per i sedimenti prevalentemente bioclastici connessi con la produttività biogenica della prateria. La *Posidonia oceanica* (L.) Delile su matte è rilevabile con nella piattaforma continentale prossimale antistante di tutto il settore studiato; la sua continuità è interrotta dalla presenza di un canale largo circa 50 metri a sedimenti bioclastici, in corrispondenza del promontorio di Torre de su Fenugu.

Altra tipologia, diffusa in minor misura rispetto alla *Posidonia oceanica* su matte, ma caratterizzata da percentuale di copertura vegetale estremamente variabile, è rappresentata dal mosaico a *Posidonia oceanica* (L.) Delile su roccia e roccia affiorante. Quest'ultima è rilevabile con discontinuità a profondità variabili tra 2÷3 metri e 8÷10 metri.

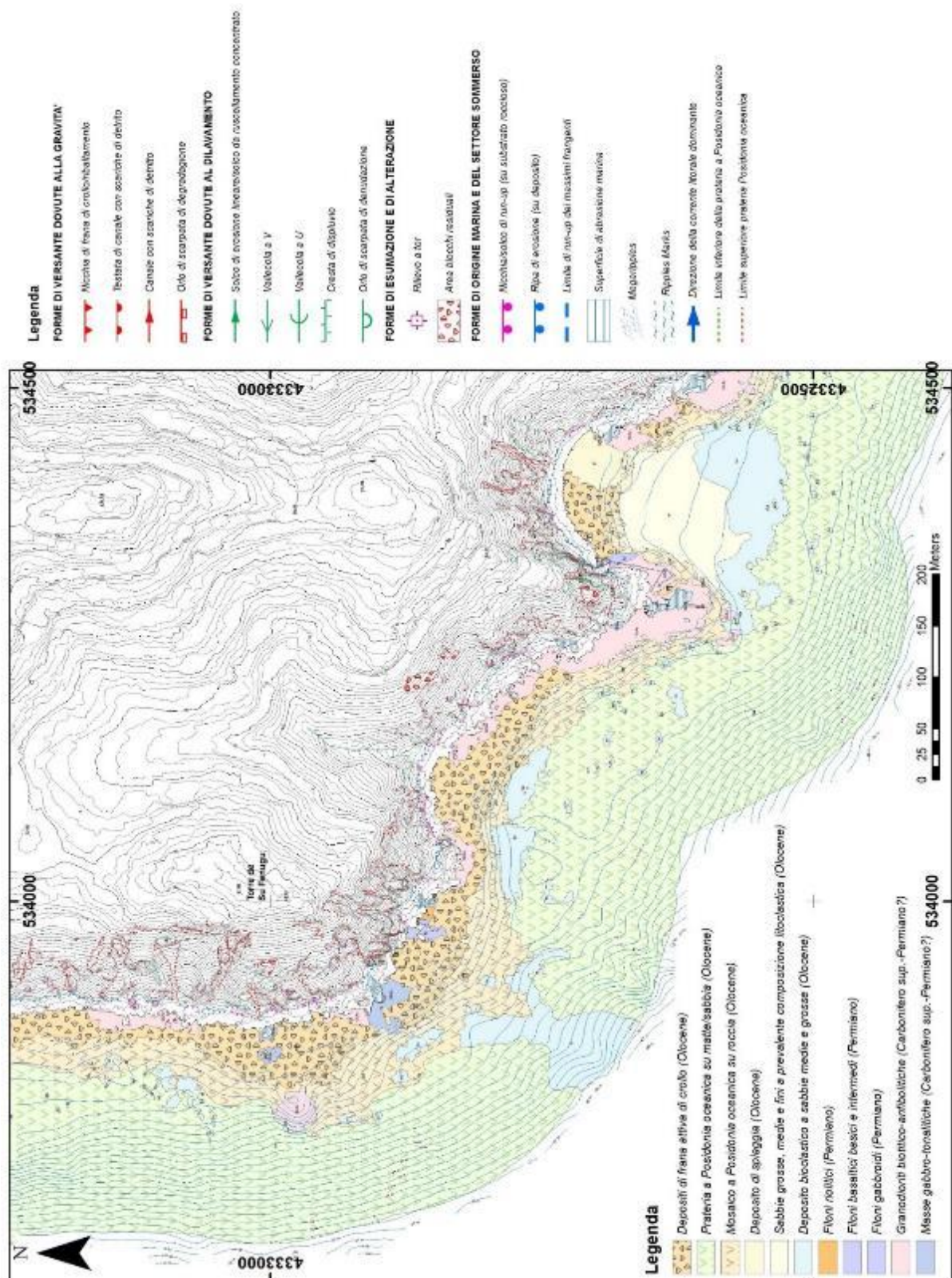


Figura 18 – Carta geologica-geomorfologica del settore sommerso di Torre delle Stelle.

Assetto idrogeologico

Per gli obiettivi e le finalità progettuali, con particolare riferimento alla valutazione del trasporto solido fluviale e alla stima dei volumi di sedimenti, si è reso necessario acquisire informazioni, dati e caratteristiche sulla “Permeabilità dei substrati e delle rocce dell'area pilota e dei bacini idrografici”.

A tal fine è stata realizzata, derivandola dalla carta geologica e geolitologica, la “Carta della permeabilità dei substrati e delle coperture” in scala 1:10.000. Nella Figura 19 è riportata la carta geolitologica e la figura 20 riporta la carta della permeabilità dei substrati.

Uno degli scopi fondamentali per cui si sono realizzati i livelli informativi sopra esposti è stato quello di ottenere i tematismi necessari per l'applicazione del modello per la stima delle misure della produzione di sedimenti gestito dal plugin EPMGIS-YES.

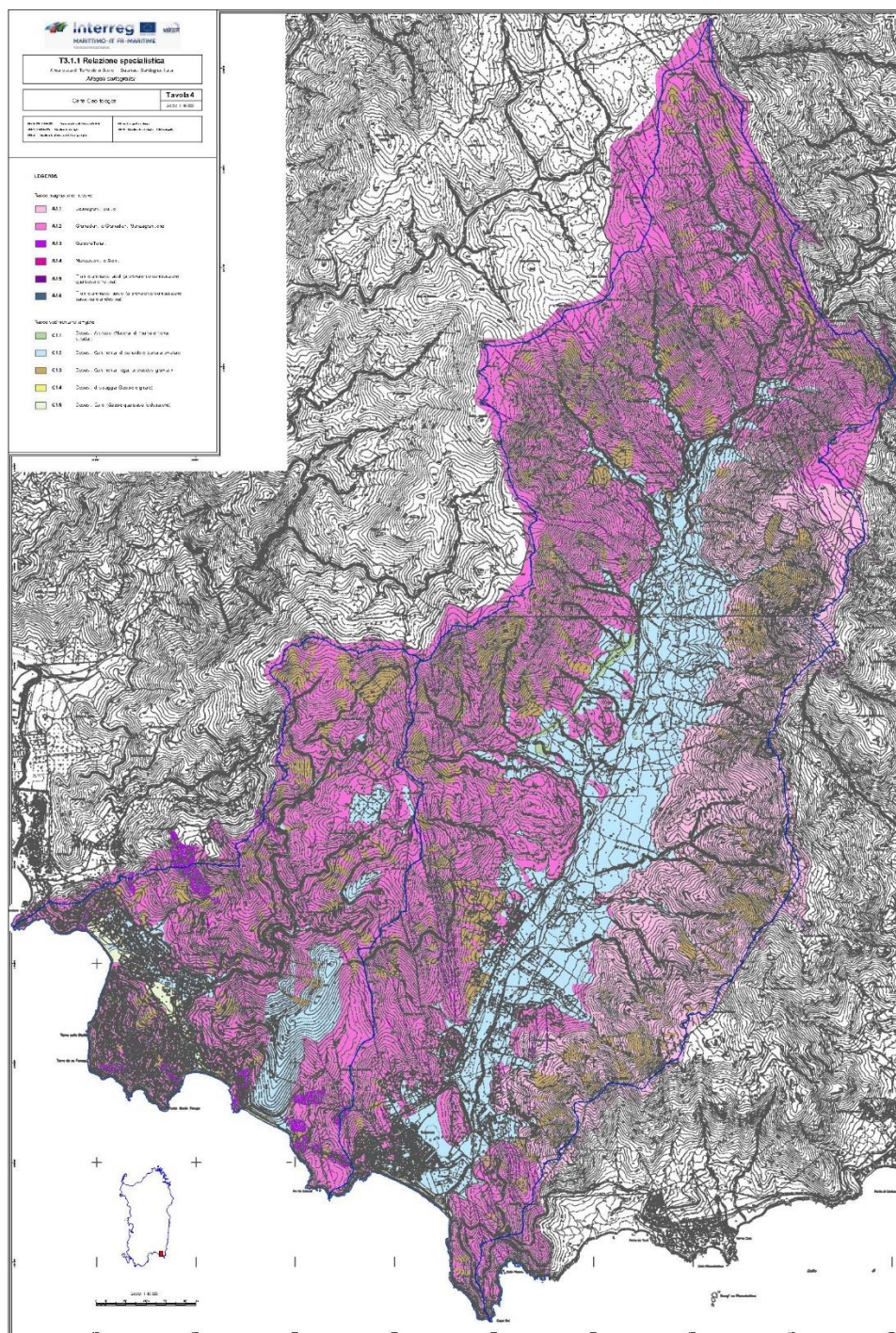








Figura 19 – carta litologica






Carta Geolitologica

LEGENDA

Rocce magmatiche intrusive

	A1.1	Leucograniti biotitici
	A1.2	Granodioriti e Granodioriti Monzogranitiche
	A1.3	GabbroTonaliti
	A1.4	Monzosieniti e Sieniti
	A1.5	Filoni e ammassi acidi (a prevalente composizione quarzosa e riolitica)
	A1.6	Filoni e ammassi basici (a prevalente composizione basaltica e andesitica)

Rocce sedimentarie terrigene

	C1.1	Depositi Antropici (Materiali di riporto e rilevati stradali)
	C1.2	Depositi Continentali di conoide e piana alluvionale
	C1.3	Depositi Continentali legati a processi gravitativi
	C1.4	Depositi di spiaggia (Sabbie e ghiaie)
	C1.5	Depositi Eolici (Sabbie quarzoso-feldspatiche)

Sintesi metodologica

La carta della permeabilità dei substrati è stata realizzata partendo dalle classi litologiche e formazionali individuando le seguenti tipologie:

- A - rocce magmatiche
- B - rocce sedimentarie

All'interno delle quali sono state distinte ulteriori tre sottoclassi denominate di livello 1:

- A1 - rocce magmatiche intrusive
- A3 - corpi filoniani e ammassi sub vulcanici
- C1 - rocce sedimentarie terrigene

All'interno di ciascuna sottoclasse, secondo quanto mostrato nella Tabella 1, sono state distinte famiglie di rocce raggruppate per affinità, (raggruppamenti di livello 2), assegnando il dato relativo secondo 5 classi di permeabilità:

B	Bassa permeabilità
MB	Medio Bassa permeabilità
M	Media permeabilità
MA	Medio Alta permeabilità
A	Alta permeabilità

Tabella 1

All'interno di ciascuna sottoclasse, sono state distinte inoltre due tipologie di permeabilità e cioè:

P	per porosità
F	per fratturazione, giunti di strato etc

Tabella 2

Analogamente al lavoro svolto per la Carta litologica, la carta è stata ideata con una struttura gerarchica, per cui si può scegliere di rappresentare la qualità della permeabilità essenzialmente in cinque classi o combinare il dato con un livello di maggior dettaglio relativo alla tipologia di permeabilità.

Sono state così ottenute 6 classi di permeabilità con le varie combinazioni dei dati dei due livelli (Tabella 3):







BF	Bassa permeabilità per fratturazione
MBP	Medio Bassa permeabilità per porosità
MBF	Medio Bassa permeabilità per fratturazione
MP	Permeabilità media per porosità
MAP	Medio Alta permeabilità per porosità
AP	Alta permeabilità per porosità

Tabella 3 –classi di permeabilità

Lo strato informativo digitale costituente la Carta della Permeabilità è dato da una *feature* di tipo *poligonale* identificata dal campo Permeabilità (sottoclassi Livello 1 – Tabella 1) e dal campo "Tipo" (sottoclassi Livello 2 – Tabella 1).

Carta delle permeabilit  dei substrati

LEGENDA

	BF	Permeabilit� bassa per fratturazione
	MBF	Permeabilit� medio bassa per fratturazione
	MBP	Permeabilit� medio bassa per porosit�
	MP	Permeabilit� media per porosit�
	MAP	Permeabilit� medio alta per porosit�
	AP	Permeabilit� alta per porosit�

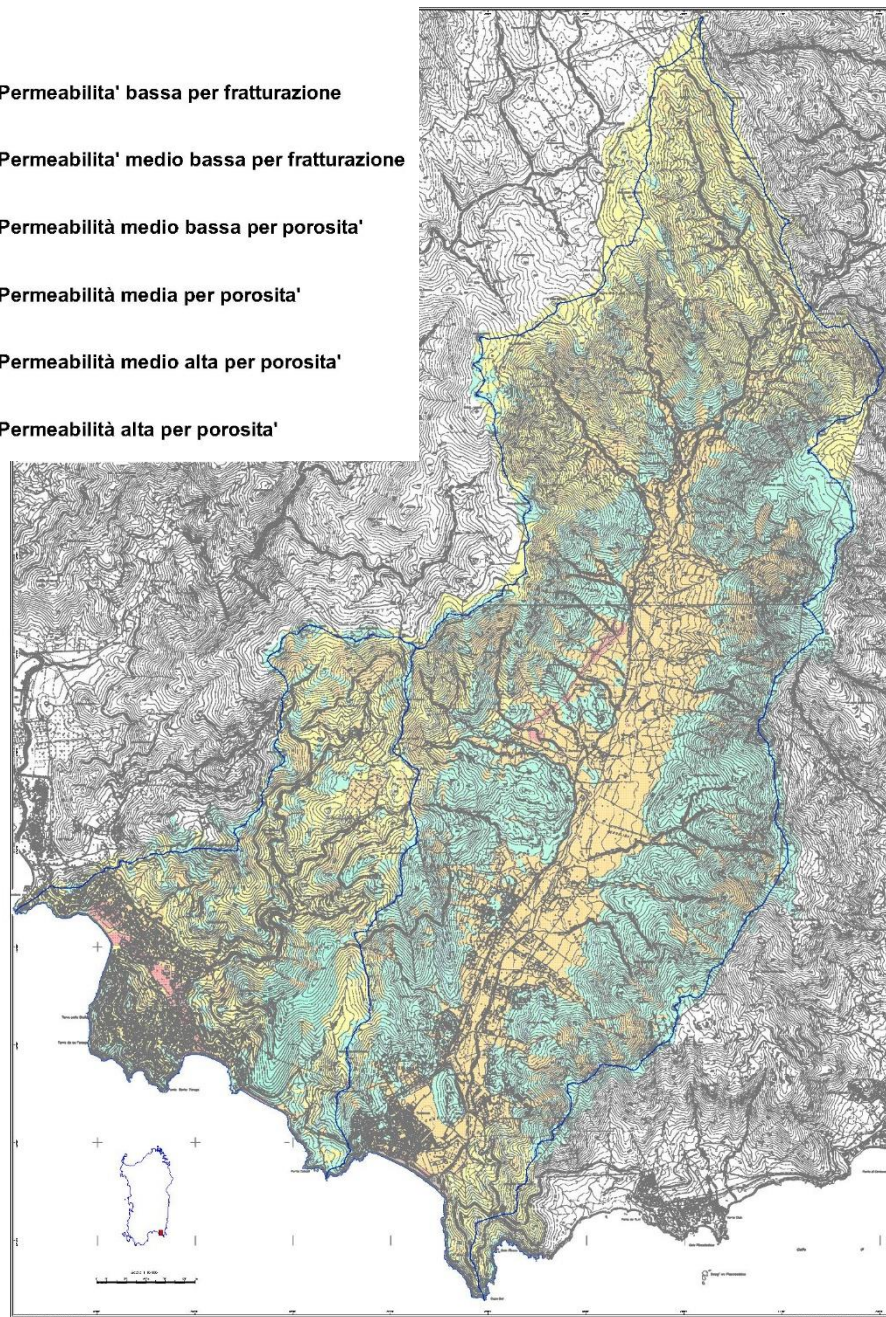


Figura 20 - Carta della permeabilit  dei substrati e delle coperture

3.2 INQUADRAMENTO IDROLOGICO E CLIMATOLOGICO

L'analisi, di cui si riporta una sintesi nei paragrafi successivi ha riguardato separatamente i due principali bacini idrografici seppure caratterizzati da dati climatologici provenienti dalle medesime stazioni termometriche e pluviometriche, prese come riferimento.

Obiettivo specifico dell'analisi, anche in questo caso, è rappresentato dall'esigenza di acquisire dati utili per l'alimentazione del software EPM-GIS-YES (YeldErosionSediment) come descritto nel capitolo dedicato.

Bacino Idrografico, Indici morfometrici e tempi di corrivazione

Il Rio Solanas sottende un bacino idrografico di dimensioni pari a 33,84 kmq (perimetro di circa 36 km), ed è caratterizzato da un'asta principale di lunghezza pari a 13,42 km. La quota media del bacino è pari a 283 m s.l.m. mentre la quota massima è pari a 742 m s.l.m.

Il Rio Gavoi sottende un bacino idrografico di 10,19 kmq (perimetro di circa 20 km). L'asta principale ha una lunghezza pari a 6,27 km, la quota media del bacino è pari a 179,14 m s.l.m., mentre la quota massima è pari a 576 m s.l.m.

L'analisi di dettaglio e la misura degli indici morfometrici (Rapporto di circolarità R_c , Fattore di Forma F_r , Rapporto di allungamento R_{all} , Coeff. di Gravelius ϕ) forniscono, per entrambi i bacini un valore di forma del bacino "ovale" e "allungata".

Sono stati calcolati i tempi di corrivazione, valorizzati, per il bacino del Solanas, con la formula di Giandotti in 3h e 14' e con la formula del SoilConservation Service in 3h e 10'.

Per il bacino del Gavoi sono rispettivamente con la formula di Giandotti in 2h e 4' e con la f sul conto corrente dedicato (con indicazione dell'IBAN) e sulla tracciabilità dei flussi finanziari formula del SoilConservation Service in 1h e 43'.

Climatologia

Sono stati analizzati i dati di pioggia e temperatura relativi alle stazioni termometriche e pluviometriche limitrofe al bacino, di Castiadas MinniMinni RF (rete ARPAS RF) e Castiadas (rete RUR), in funzione rispettivamente dal Luglio 2006 e dal Luglio 1930. (stazione dell'ex ufficio idrografico sostituita nel Luglio 2017 da una stazione della Rete RUR).

L'area studio è caratterizzata da un clima mediterraneo con estati asciutte e calde e inverni piovosi.

Per quanto riguarda la temperatura, per entrambi i bacini si è tenuto conto delle altitudini medie del bacino e delle quote delle stazioni e si è deciso di riscaldare i valori di temperatura osservati applicando la seguente formula che tiene conto dell'influenza dell'elevazione sulla temperatura:

$$T_{bacino} = T_{staz} - (H_{bacino} - H_{staz}) \cdot \gamma$$
 in cui γ è il gradiente termico stimato pari a 0.0057 °C/m per il territorio regionale (da Caracciolo et al. 2017), mentre T_{bacino} e T_{staz} sono rispettivamente i valori di temperatura stimati nel bacino e osservati dalla stazione termometrica.

Analizzando i dati termometrici giornalieri (massimi e minimi) dal 1930 al 2018, per quanto riguarda il bacino idrografico del Rio Solanas si può notare come i valori variano tra un minimo invernale di 2.6 °C e un massimo estivo pari a 37.6 °C, con un valore medio annuo pari a circa 15.6 °C, mentre per quanto riguarda il Rio Gavoi si può notare come i valori varino tra un minimo invernale di - 0.39°C e un massimo estivo pari a 42°C, con un valore medio annuo pari a circa 17.2 °C.

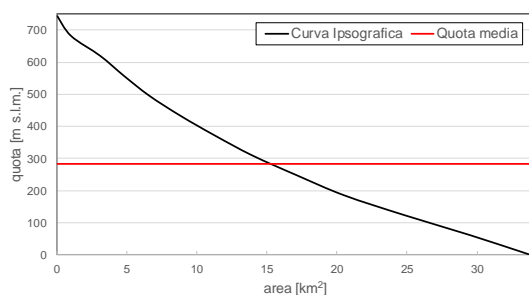
I dati di precipitazione relativi alle due stazioni sono stati mediati con pesi ottenuti, differenziandoli per ciascun bacino, tramite il metodo dei poligoni di Thiessen. La pioggia media annua (MAP) misurata a Castiadas MinniMinni RF è pari a 622.8 mm, mentre la MAP misurata a Castiadas è pari a 698.6 mm. Il valore medio annuo ottenuto dalla media pesata dei valori delle due stazioni è pari a circa 627 mm.; i valori della pioggia media mensile ragguagliata al bacino relativa al periodo 2008-2017 evidenziano che

i mesi più piovosi sono Novembre (93 mm) e Gennaio (90 mm), mentre i più asciutti sono quelli estivi (Giugno, Luglio e Agosto).

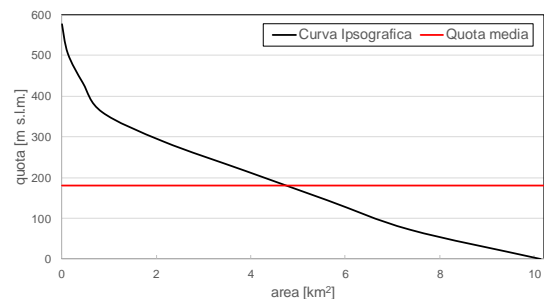
Per quanto riguarda il bacino del Rio Gavoi la pioggia media annua (MAP) misurata è pari a 622.8 mm.; i valori della pioggia media mensile relativa al periodo 2007-2018 evidenziano che i mesi più piovosi sono Marzo e Novembre (90 mm), mentre i più asciutti sono quelli estivi (Giugno, Luglio e Agosto).

Curva ipsografica

L'andamento altimetrico del bacino è descritto dalla sua curva ipsografica (Figura 5), ottenuta riportando, in un diagramma cartesiano, i punti le cui ordinate rappresentano la quota riferita generalmente alla sezione di chiusura del bacino e le cui ascisse indicano l'area del bacino che si trova al di sopra o al di sotto di tale quota. Da questa curva si può ricavare l'altezza media del bacino (pari a 282.96 m s.l.m. per il Rio Solanas; linea orizzontale rossa nelle figure). La curva ipsografica permette anche di ricavare lo stato di evoluzione del bacino o indice di maturità IM che nel caso del Rio Solanas è pari a 0.39 e può essere definito pertanto in stato senile ($IM < 0.4$):



Curva ipsografica del bacino idrografico del Rio Solanas



Curva ipsografica del bacino idrografico del Rio Gavoi

Dalla curva relativa al Rio Gavoi, si può ricavare l'altezza media del bacino pari a 179.14 m s.l.m. e l'indice di maturità IM che nel caso di questo bacino è pari a 0.32 e può essere quindi definito in stato senile ($IM < 0.4$).

Organizzazione del reticolo idrografico secondo Horton-Stralher

Il reticolo idrografico dei bacini in esame è stato ordinato secondo il criterio di Horton-Strahler (Figure 21 e 22). L'ordine Ω del bacino è pari a quello del ramo di ordine massimo della rete e nel caso del Rio Solanas è pari a 5.

La classificazione di Horton dà origine alla formulazione delle leggi del numero n e della lunghezza L dei canali i cui risultati sono sintetizzati nelle Tabelle seguenti:

Ordine	L media [km]	L_ω [km]
1	0,29	0,29
2	0,61	0,63
3	1,15	1,36
4	1,55	2,97
5	8,83	6,45

Ordine	n	$R_b^{\Omega-\omega}$
1	192	210
2	52	55
3	11	14
4	3	4
5	1	1

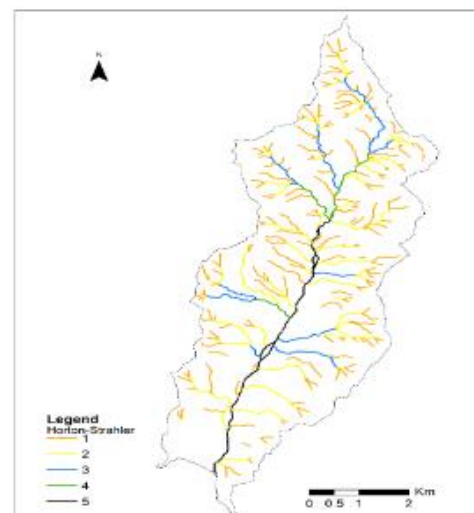


Figura 21 - Reticolo idrografico rio Solanas

Nel caso del Rio Gavoi l'ordine Ω del bacino è pari a quello del ramo di ordine massimo della rete ed è pari a 4.

Ordine	L media [km]	L_{ω} [km]	Ordine	n	$R_b^{\Omega-\omega}$
1	0,33	0,33	1	33	37
2	0,46	0,75	2	9	11
3	1,74	1,69	3	2	3
4	3,23	3,83	4	1	1

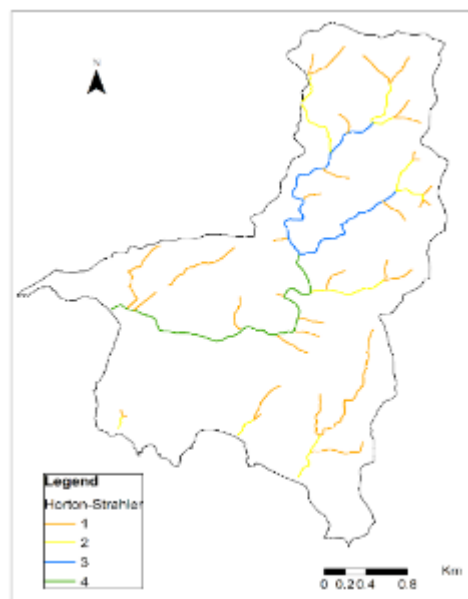


Figura 22 - Reticolo idrografico rio Gavoi

Analisi degli eventi pluviometrici estremi

L'analisi idrologica ha previsto, per entrambi i bacini idrografici, ai fini della valutazione degli eventi pluviometrici estremi e, per le finalità progettuali, l'elaborazione di "Curve di possibilità pluviometrica" e ietogrammi di progetto a scala di bacino e la determinazione del deflusso superficiale, finalizzate alla formulazione dell'onda di piena.

È stato utilizzato un modello idrologico concettuale afflussi-deflussi a parametri concentrati per il calcolo dell'idrogramma di piena relativo ai due bacini idrografici per differenti tempi di ritorno T .

Per quanto riguarda l'analisi di frequenza degli eventi estremi di precipitazione è stata applicata la distribuzione di probabilità a tre parametri GEV (Generalized Extreme Value) a scala regionale con un approccio geostatistico a parametri distribuiti. I valori di altezza di precipitazione, calcolati per differenti tempi di ritorno ($T=2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500$ anni), sono stati moltiplicati per un coefficiente riduttivo di ragguglio areale ARF.

Tale valore, calcolato utilizzando l'equazione dell'US Weather Bureau, è funzione della durata dell'evento di pioggia d e dell'area del bacino. Ottenuta la curva di probabilità pluviometrica, la pioggia di progetto 'lorda' è stata riportata su uno ietogramma Chicago (Figura 23) costruito utilizzando come durata complessiva dell'evento il tempo di corrivazione del bacino e posizione del picco r pari a 0.4.

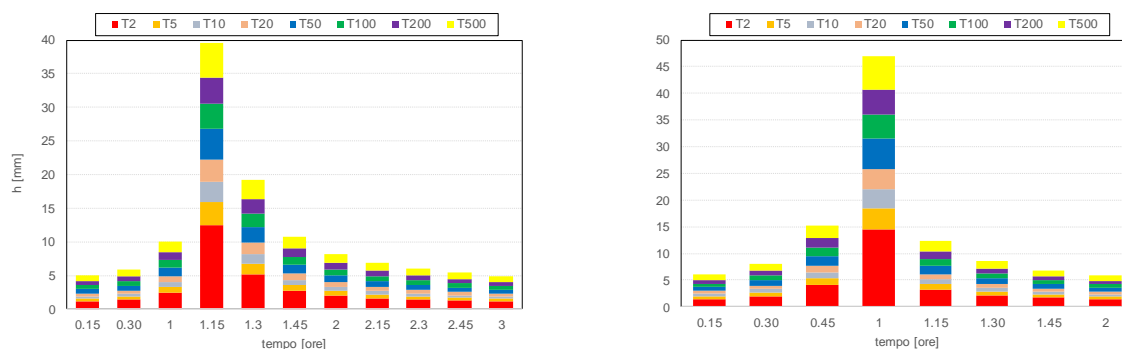


Figura 23 - Ietogrammi Chicago piogge lorde per i differenti tempi di ritorno T : sinistra) Rio Solanas, destra) Rio Gavoi

Per il calcolo del deflusso superficiale, è stato determinato lo ietogramma delle 'piogge nette' con il modello SCS-CN, con riferimento alla carta del Curve Number (CN), ipotizzando una condizione di umidità del suolo antecedente l'evento AMC III (cioè condizioni antecedenti l'evento molto umide). Per il trasferimento del deflusso superficiale e la formulazione dell'onda di piena è stato utilizzato il modello cinematico (o della corrivazione).

In figura 24 vengono riportati gli idrogrammi di piena per i differenti tempi di ritorno relativi rispettivamente al Rio Solanas e al Rio Gavoi.

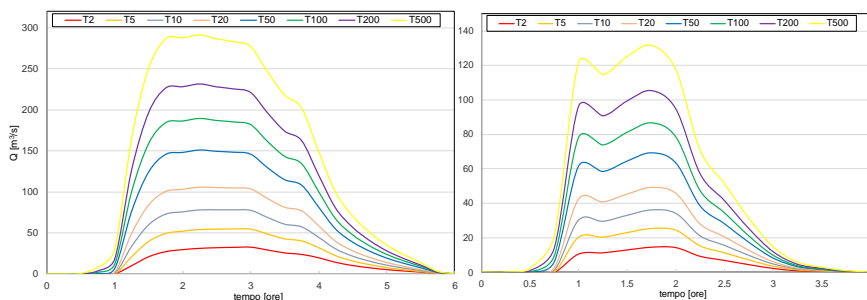


Figura 24 - Idrogrammi di piena per i differenti tempi di ritorno T: sinistra) Rio Solanas, destra) Rio Gavoi.

In tabella 4 vengono riportati i valori di altezza di pioggia lorda e netta per una durata pari al tempo di corrivazione dei bacini, il colmo dell'onda di piena Q_{max} (cioè il picco di ciascun idrogramma di piena) e il valore del coefficiente di deflusso ϕ .

T [anni]	h lorda [mm]	h netta [mm]	Q_{max} [m³/s]	ϕ
Rio Solanas				
T 2	34.37	9.48	32.23	0.28
T 5	45.11	16.53	55.05	0.37
T 10	54.65	23.54	77.75	0.43
T 20	65.43	32.03	106.01	0.49
T 50	81.49	45.47	150.66	0.56
T 100	94.90	57.19	189.37	0.60
T 200	109.20	70.03	231.61	0.64
T 500	129.07	88.30	291.34	0.68
Rio Gavoi				
T 2	30.46	7.74	14.44	0.25
T 5	39.70	13.55	25.35	0.34
T 10	47.84	19.33	36.11	0.40
T 20	56.97	26.31	49.06	0.46
T 50	70.47	37.33	69.34	0.53
T 100	81.64	46.89	86.74	0.57
T 200	93.47	57.32	105.53	0.61
T 500	109.75	72.06	131.77	0.66

Tabella 4 - Altezze di pioggia h lorda e netta per una durata pari al tempo di corrivazione dei bacini per i differenti tempi di ritorno T, colmo dell'onda di piena Q_{max} , coefficiente di deflusso ϕ .

3.3 USO E COPERTURA DEL SUOLO

L'analisi dell'uso e della copertura del suolo (CLC/UDS), rappresentata nella specifica cartografia di dettaglio alla scala 1: 4.000, è stata realizzata per il conseguimento di diversi obiettivi e finalità che vengono sintetizzati nel seguito:

- la definizione dei principali parametri a supporto dell'analisi idrologica di bacino;
- la definizione delle classi d'uso e copertura del suolo per l'alimentazione e popolamento del software adottato dal progetto per la stima e misura dei sedimenti fluviali EPMGIS-YES (YeldErosionSediment);
- analisi storica delle trasformazioni territoriali (1954 – 2002 - 2008 – 2018), e delle tendenze evolutive a scala di bacino idrografico;
- individuazione e classificazione degli “elementi a rischio” per la definizione di classi di “vulnerabilità” da erosione costiera.

Metodologia, scala di rappresentazione e legenda

La realizzazione della carta ha previsto l'utilizzo dei seguenti supporti:

- Strati informativi delle carte Corine Land Cover – Uso Del Suolo del 2003 e del 2008 della Regione Sardegna;
- Strati informativi della carta Corine Land Cover del 2012 di ISPRA;
- Strati informativi delle aree incendiate della Regione Sardegna;
- Immagini multibanda del satellite WorldView-3 della DigitalGlobe ad alta definizione acquisite il 12 luglio 2018;
- Modello digitale del terreno (DTM) a 50 cm derivato dalle stereo coppie del satellite WorldView-3 della DigitalGlobe acquisite il 12 luglio 2018;
- Ortoimmagini a colori alla risoluzione di 30 cm derivate dal pansharpening, il processo di fusione tra le immagini multispettrali e la banda pancromatica ad alta risoluzione per la creazione di un'unica immagine multispettrale ad alta risoluzione, delle immagini del satellite WorldView-3 della DigitalGlobe acquisite il 12 luglio 2018;
- Ortofoto a colori della Regione Sardegna degli anni 1977, 2000, 2006, 2008, 2010, 2013 e 2016;
- Ortofoto in bianco e nero della Regione Sardegna degli anni 1945, 1954, 1968, 1997, 2002, 2003;
- Immagini multibanda del satellite Ikonos del 2005;
- Cartografia Tecnica Regionale anni 1968, 1989, 2006 e 2013;
- Cartografia IGM storica e attuale.

Le fasi del lavoro sono di seguito descritte:

- Verifica e controllo di tutti gli strati informativi precedentemente elencati;
- Creazione di immagini classificate derivate dai dati satellitari acquisiti per evidenziare la vegetazione (NDVI e Vegetazione);
- Controllo e verifica delle aree incendiate;
- Controllo dei cambiamenti CLC/UDS dal 2003 al 2008 e 2012, per verificare l'evoluzione e fotointerpretare le immagini satellitari del 2018;
- Fotointerpretazione delle ortoimmagini a colori alla risoluzione di 30 cm del 2018 con accuratezza geometrica inferiore ai 4 metri;
- Realizzazione dello strato informativo CLC/UDS 2018.

I satelliti hanno fornito immagini multispettrali della superficie terrestre nelle lunghezze d'onda del visibile e dell'infrarosso riflesso che, dopo il preprocessamento, sono state alla base della fotointerpretazione del territorio al fine di discernere in modo netto le aree boschive dalle restanti aree seminate e urbanizzate.

In particolare si è eseguita una mappatura dei Bacini Idrografici di Solanas e Gavoi tramite fotointerpretazione delle ortoimmagini a colori alla risoluzione di 30 cm del 2018. Sono state classificate

le aree appartenenti ai *Territori modellati artificialmente* ed ai *Territori agricoli* e, per quanto riguarda i *Territori boscati e altri ambienti seminaturali*, esclusivamente le classi corrispondenti alle aree di spiagge e di pascolo naturale. Per le aree boschive, a seguito di attenta verifica, si è preso come riferimento e si è tenuto conto, delle classificazioni precedentemente realizzate nell'UDS del 2008 della Regione Sardegna adeguandole e ridefinendole.

I cambiamenti di uso del suolo avvenuti nel periodo 2008-2018 sono stati rilevati tramite “editing manuale” utilizzando il software ArcGis e prendendo come riferimento l’“unità minima di mappatura” minore o pari all’ettaro e con una larghezza minima degli elementi lineari anche inferiore ai 50 metri.

Sono stati inoltre ridotti gli eventuali poligoni isolati, revisionati i poligoni già definiti, eliminati i corridoi inferiori a 50 m di larghezza e controllati i codici assegnati ai poligoni definitivi.

Parallelamente alle attività di acquisizione ed elaborazione digitale dei dati sono state effettuate verifiche, a campione, in campo, per l’attribuzione e validazione delle classi.

La legenda della carta dell’uso del suolo segue l’impostazione originata dal progetto europeo “CORINE-Land Cover”. La disponibilità di un supporto con risoluzione centimetrica ha consentito di ottenere il IV livello di approfondimento e una rappresentazione cartografica in scala 1: 4.000 delle 34 classi di copertura ed uso del suolo raggruppate e contenute all’interno della tabella 5.

1	TERRITORI MODELLATI ARTIFICIALMENTE		
1	1	ZONE URBANIZZATE	
1	1	1	TESSUTO CONTINUO
1	1	1	2 TESSUTO RESIDENZIALE RADO
1	1	2	1 TESSUTO RESIDENZIALE RADO E NUCLEIFORME
1	1	2	2 FABBRICATI RURALI
1	2	ZONE INDUSTRIALI, COMMERCIALI E RETI DI COMUNICAZIONE	
1	2	1	INSEDIAMENTI INDUSTRIALI, COMMERCIALI E DEI GRANDI IMPIANTI DEI SERVIZI PUBBLICI E PRIVATI
1	2	1	2 INSEDIAMENTO DI GRANDI IMPIANTI DI SERVIZI
1	2	2	1 RETI STRADALI E SPAZI ACCESSORI
1	2	2	4 IMPIANTI A SERVIZIO DELLE RETI DI DISTRIBUZIONE
1	3	ZONE ESTRATTIVE, DISCARICHE E CANTIERI	
1	3	2	DISCARICHE E DEPOSITI DI ROTTAMI
1	3	3	CANTIERI
2	TERRITORI AGRICOLI		
2	1	SEMINATIVI	
2	1	1	SEMINATIVI IN AREE NON IRRIGUE
2	1	1	1 SEMINATIVI IN AREE NON IRRIGUE
2	1	1	2 PRATI ARTIFICIALI
2	2	COLTURE PERMANENTI	
2	2	1	VIGNETI
2	2	2	FRUTTETI E FRUTTI MINORI
2	2	3	OLIVETI
2	4	ZONE AGRICOLE ETEROGENEE	
2	4	1	COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE A COLTURE PERMANENTI
2	4	1	1 COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE ALL'OLIVO
2	4	1	3 COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE AD ALTRE COLTURE PERMANENTI
2	4	2	SISTEMI CULTURALI E PARTICELLARI COMPLESSI
2	4	3	AREE PREVALENTEMENTE OCCUPATE DA COLTURA AGRARIE CON PRESENZA DI SPAZI NATURALI IMPORTANTI
2	4	4	AREE AGROFORESTALI
3	TERRITORI BOSCATI ED ALTRI AMBIENTI SEMINATURALI		
3	1	ZONE BOSCAE	
3	1	1	BOSCHI DI LATIFOGLIE
3	1	1	1 BOSCO DI LATIFOGLIE
3	1	1	2 PIOPPETI, SALICETI, EUCALITTETI ECC. ANCHE IN FORMAZIONI MISTE
3	1	2	BOSCHI DI CONIFERE

3	1	2	1	BOSCHI DI CONIFERE
3	1	3		BOSCHI MISTI DI CONIFERE E LATIFOGIE
3	2	ASSOCIAZ. VEGETALI ARBUSTIVE E/O ERBACEE		
3	2	1		AREE A PASCOLO NATURALE
3	2	2		CESPUGLIETI ED ARBUSTETI
3	2	2	1	CESPUGLIETI ED ARBUSTETI
3	2	2	2	FORMAZIONI DI RIPA NON ARBOREE
3	2	3		AREE A VEGETAZIONE SCLEROFILLA
3	2	3	1	MACCHIA MEDITERRANEA
3	2	3	2	GARIGA
3	2	4		AREE A VEGETAZIONE ARBOREA ED ARBUSTIVA IN EVOLUZIONE
3	2	4	1	AREE A RICOLONIZZAZIONE NATURALE
3	2	4	2	AREE A RICOLONIZZAZIONE ARTIFICIALE
3	3	ZONE APERTE CON VEGETAZIONE RADA O ASSENTE		
3	3	1		SPIAGGE, DUNE, SABBIE
3	3	1	1	SPIAGGE DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M
3	3	1	3	AREE DUNALI COPERTE DA VEGETAZIONE DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M
3	3	1	5	LETTI DI TORRENTI DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M
3	3	2		PARETI ROCCIOSE E FALESIE
3	3	3		AREE CON VEGETAZIONE RADA > 5% e < 40%

Tabella 5 - Classi di copertura ed uso del suolo

Elaborazione dei dati, sintesi e risultati

Per quanto riguarda i **Territori Modellati Artificialmente (10 % della superficie totale)** le principali classi d'uso sono da ricondurre ad una urbanizzazione residenziale prevalentemente legata al settore turistico e agricolo pastorale e quindi distribuita principalmente lungo la costa in corrispondenza dei villaggi turistici di Torre delle Stelle e del borgo di Solanas (*Tessuto residenziale rado*) e lungo la principale direttrice viaria che segue la valle del Rio Solanas (*Tessuto Residenziale Nucleiforme*).

È inoltre rappresentata la classe costituita da fabbricati rurali a carattere tipicamente agricolo dispersi negli spazi seminaturali e agropastorali, serviti da una articolata rete viaria carrabile su asfalto e sterrato (*Reti stradali e spazi accessori*), collegata ad una rete sentieristica ben sviluppata.

La vocazione agropastorale del territorio è ben rappresentata dalla categoria **Territori Agricoli (15 %)** e dalle classi d'uso *Seminativi*, in continua alternanza con la classe delle *Colture permanenti* (*vigneti, frutteti, oliveti*) e delle *Zone Agricole eterogenee*, distribuite lungo la fascia pedemontana che connota e caratterizza anche dal punto vista paesaggistico l'ampia valle del Solanas.

La maggior parte del settore studiato è caratterizzato da una diffusa presenza di **Territori boscati e altri ambienti seminaturali (75%)** costituiti da *Zone Boscate* (Boschi di latifoglie, di conifere presso il borgo di Torre delle Stelle e Misti) che occupano la parte più aspra e sommitale del bacino idrografico, nonché da associazioni vegetali arbustive e/o erbacee, distinte in "*Aree a pascolo naturale*", "*Macchia*" e "*Gariga*" che invece ricoprono con continuità i settori collinari.

Sono state inoltre cartografate, nell'ambito delle *Zone aperte con vegetazione rada e assente* le "*Spiagge*" (Solanas, Cann'e Sisa, Genn'e Mari e Perdosu), le retrostanti "*aree dunali*" e le distese di sabbia e ciottoli di ambiente continentale nel "*letto*" del Rio Solanas e le "*pareti rocciose e falesie*" che costituiscono il promontorio di Torre delle Stelle – Su Fenugu - Punta Capudi - Capo Boi. Nelle figure 25-26 sottostanti si riporta la cartografia di sintesi con la legenda associata e la distribuzione in ettari delle classi d'uso e copertura.

- UDS, DESCRIZ
- 132, DISCARICHE E DEPOSITI DI ROTTAMI
 - 133, CANTIERI
 - 1112, TESSUTO RESIDENZIALE RADO
 - 1121, TESSUTO RESIDENZIALE RADO E NUCLEIFORME
 - 1122, FABBRICATI RURALI
 - 1212, INSEDIAMENTO DI GRADI IMPIANTI DI SERVIZI
 - 1221, RETI STRADALI E SPAZI ACCESSORI
 - 1224, IMPIANTI A SERVIZIO DELLE RETI DI DISTRIBUZIONE
 - 221, VIGNETI
 - 222, FRUTTETI E FRUTTI MINORI
 - 223, OLIVETI
 - 242, SISTEMI COLTURALI E PARTICELLARI COMPLESSI
 - 243, AREE PREV. OCCUPATE DA CULTURA AGRARIE CON PRESENZA DI SPAZI NATURALI IMPORTANTI
 - 244, AREE AGROFORESTALI
 - 2111, SEMINATIVI IN AREE NON IRRIGUE
 - 2112, PRATI ARTIFICIALI
 - 2411, COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE ALL'OLIVO
 - 2413, COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE AD ALTRE COLTURE PERMANENTI
 - 313, SPIAGGE DUNE E SABBIE
 - 321, AREE A PASCOLO NATURALE
 - 332, PARETI ROCCIOSE E FALESIE
 - 333, AREE CON VEGETAZIONE RADA <5%>40%
 - 3111, BOSCO DI LATIFOGIE
 - 3121, BOSCO DI CONIFERE
 - 3221, CESPUGLIETI ED ARBUSTETI
 - 3222, FORMAZIONI DI RIPA NON ARBOREE
 - 3231, MACCHIA MEDITERRANEA
 - 3232, GARIGA
 - 3241, AREE A RICOLONIZZAZIONE NATURALE
 - 3242, AREE A RICOLONIZZAZIONE ARTIFICIALE
 - 3311, SPIAGGE DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M
 - 3313, AREE DUNALI COPERTE DA VEGETAZIONE DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M
 - 3315, LETTI DI TORRENTI DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M
 - 31121, PIOPPETI SALICETI EUCALITTETI ECC ANCHE IN FORMAZIONI MISTE

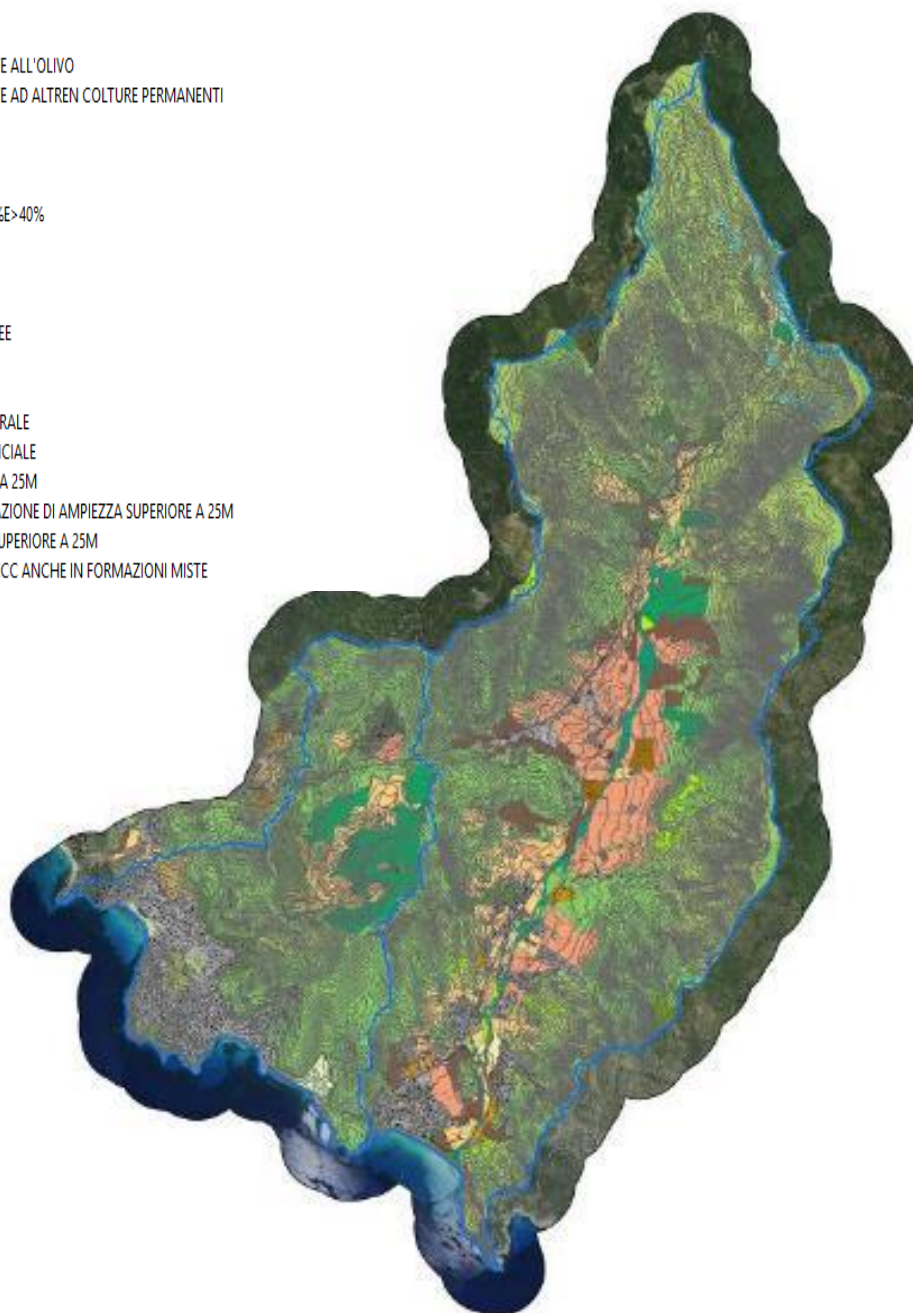
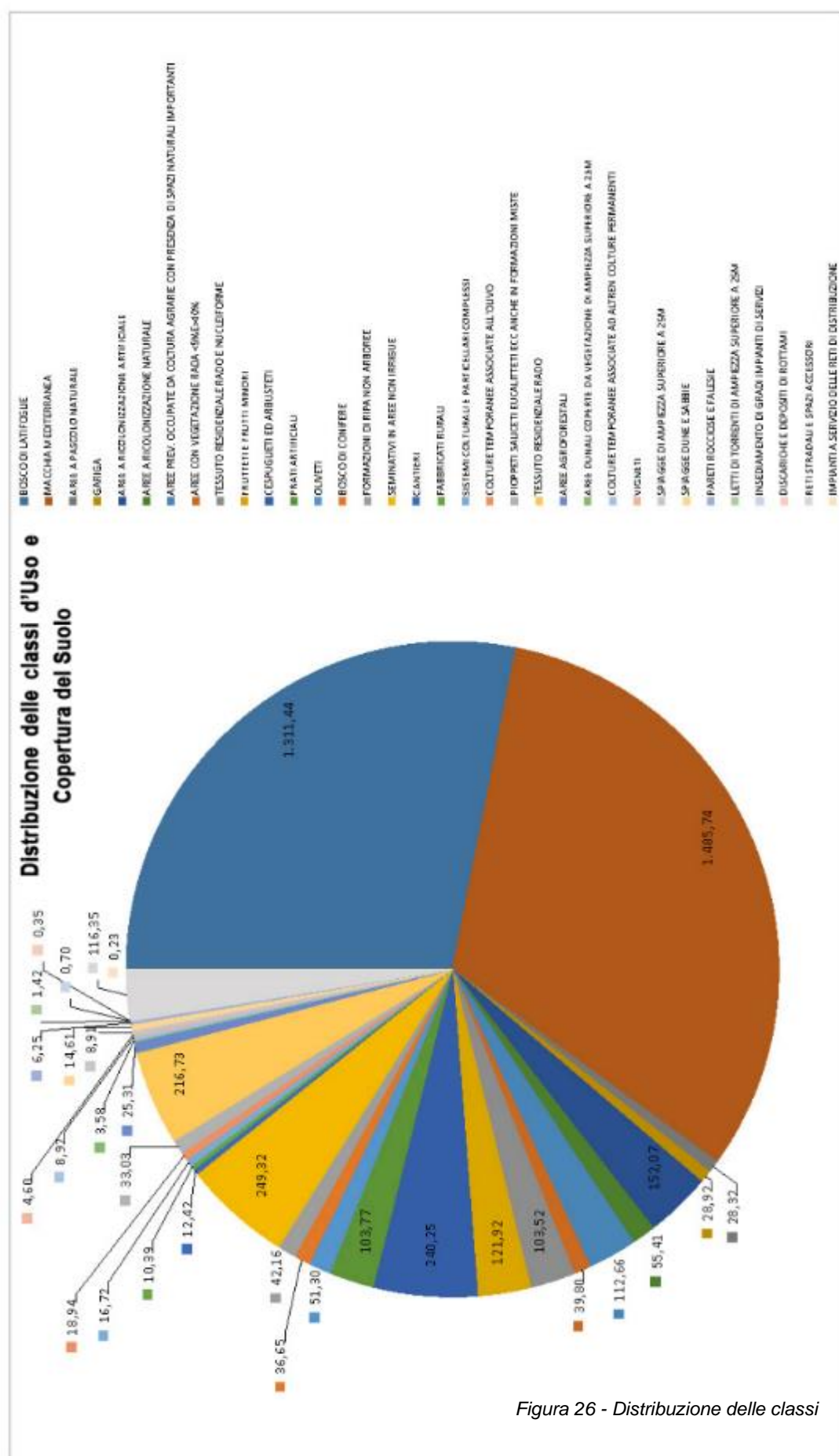


Figura 25 - Carta dell'uso e della copertura del suolo



Il risultato dell'analisi e l'elaborazione dei dati ha permesso di raggiungere gli obiettivi prefissati: più specificatamente, l'accorpamento e l'elaborazione dei dati acquisiti, la definizione e la misura dei principali parametri a supporto dell'analisi idrologica di bacino utili per la definizione della scala afflussi/deflussi, per le curve di probabilità pluviometrica e per la classificazione del territorio sulla base del CN (Curve Number).

Ulteriori elaborazioni delle classi d'uso e copertura del suolo sono risultate fondamentali per l'applicazione della metodologia empirica di Gavrilovic e per l'alimentazione e popolamento del software, già richiamato più volte, adottato dal progetto (EPM-GIS-YES – YeldErosionSediment).

È stata inoltre effettuata l'analisi storica degli ultimi 60 anni (dal 1954 al 2018), osservando i cambiamenti d'uso e le trasformazioni territoriali a scala di bacino idrografico; il confronto tra l'ortofoto del 1954 (figura 27) e l'orto immagine del 2018 (figura 28) evidenzia un elevato cambiamento dello stato



Figura 27. Ortofoto b/n 1954



Figura 28. Immagine a colori 2018 da satellite WORDVIEW 3

dei luoghi, con una importante “denaturalizzazione” e sostanziali trasformazioni del territorio prevalentemente nel settore costiero vicino alle principali spiagge e nella valle del rio Solanas dove l'urbanizzazione a carattere turistico e la connessa infrastrutturazione primaria, ha modificato sia le aree di ambiente boscato e seminaturale (complessi dunali del promontorio di Torre delle Stelle e di Genn'e Mari e Cann'e Sisa), sia i terreni a vocazione agricola delle valli. Le Zone Boscate non evidenziano nel periodo considerato particolari depauperamenti seppur risulta evidente, per la maggior presenza di abitazioni rurali e pratiche antropiche di manutenzione boschiva, una ridotta cura e minor sfruttamento rispetto agli anni '50 e '60.

Nel primo quindicennio osservato (1954 – 1968) si evidenzia una grave trasformazione per la totale scomparsa del complesso dunale retrostante le spiagge di Genn'e Mari e Cann'e Sisa con il conseguente passaggio da un'area completamente naturale ad un'area urbanizzata dove sorse il villaggio di Torre delle Stelle, e si realizzò l'intera infrastrutturazione stradale.

Altra area che ha subito una forte “denaturalizzazione” è quella retrostante la spiaggia di Solanas dove l'andamento naturale del corso d'acqua è stato modificato e deviato verso il settore SW della

spiaggia a ridosso del promontorio di Capo Boi per lasciar posto prima ad aree coltivate, dove un tempo esisteva un'area stagnante, poi all'area urbanizzata di Solanas.

Un ulteriore risultato conseguito è rappresentato dalla individuazione degli “elementi a rischio” utilizzabili per la definizione di classi di “vulnerabilità” da erosione costiera.

3.4 INQUADRAMENTO DEL CLIMA METEO-MARINO

Per le finalità progettuali è stato eseguito uno studio mirato a determinare il clima meteo-marino e le dinamiche sedimentologiche dell'Unità Gestionale Costiera. Gli input dell'analisi sono rappresentati dalle serie storiche di osservazioni anemometriche ed ondamiche e dai rilievi batimetrici e sedimentologici appositamente effettuati.

Si rimanda al Capitolo dedicato all'**Analisi delle tendenze evolutive** e del **Rischio Costiero** nel quale verranno descritte le condizioni meteoroclimatiche riferite ai venti, correnti marine, livelli idrometrici, maree e moto ondoso al largo soprattutto in un'ottica di analisi statistica basata sulle osservazioni di dati. La seconda parte dello studio riguarderà invece la propagazione del moto ondoso sotto costa e lo studio della tendenza evolutiva del fondale marino ottenuti grazie anche all'utilizzo di appositi software di modellazione idro-morfo-dinamica.

3.5 GLI ECOSISTEMI COSTIERI

La Carta degli Habitat e dei Biotopi

In conformità con quanto prescritto dall'ISPRA nelle varie linee guida per la gestione degli habitat, ed in particolar modo alle “*Linee Guida per la stesura della carta della natura alla scala 1:10000*”, è stata applicata una procedura standard per la stesura di queste carte come da protocolli.

Uso del suolo e copertura vegetale

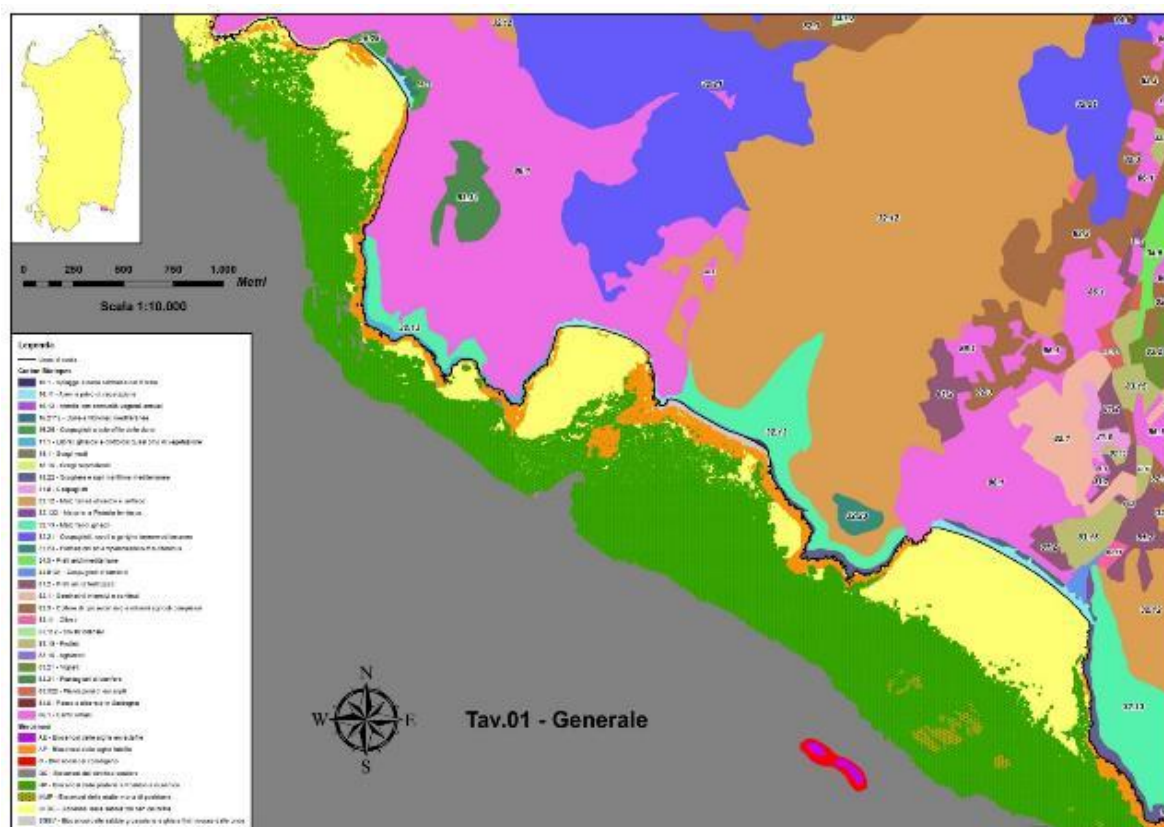


Figura 29 - Carta dell'uso del suolo

Valore ecologico e fragilità ambientale



Figura 30 – Carta del valore ecologico

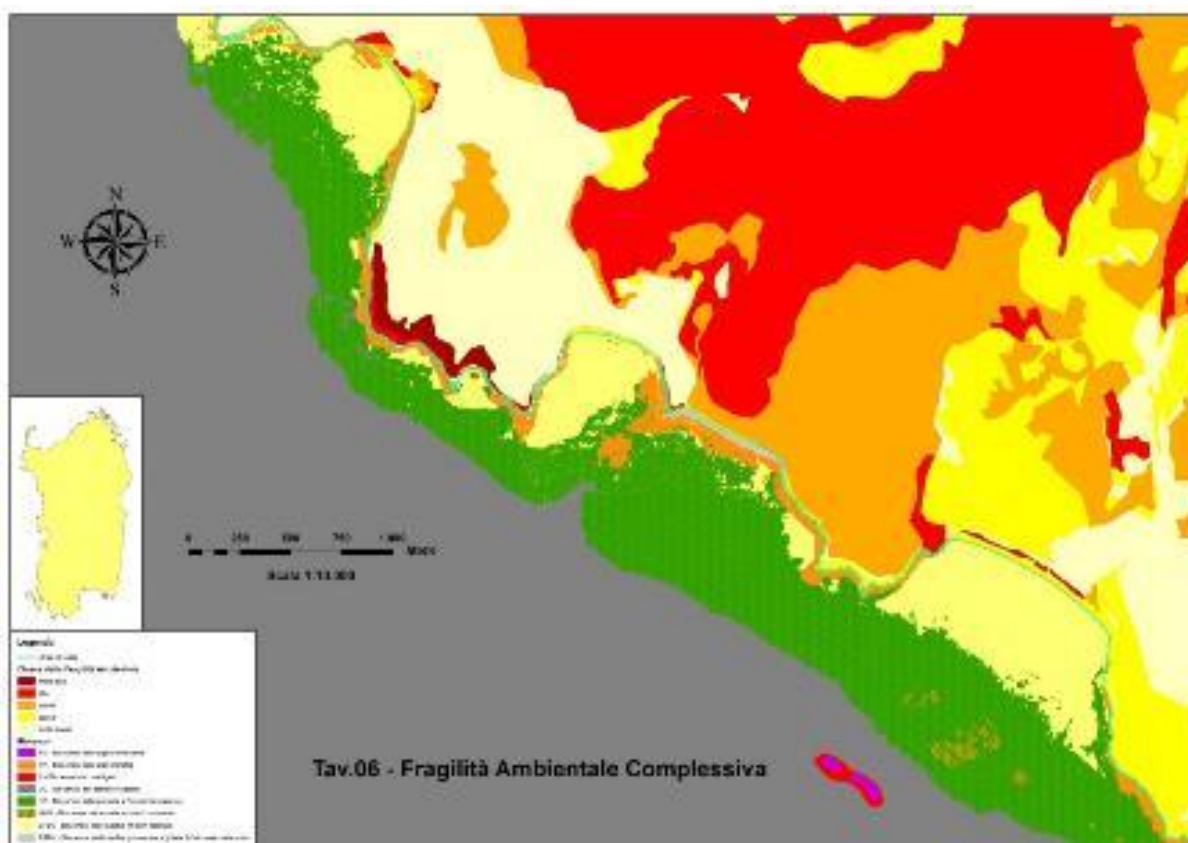


Figura 31 – Carta della fragilità ambientale

Corrispondenze con gli habitat Natura 2000

Codici Corine Biotopes			Corrispondenze		
Codice Corine Biotopes	Definizione Corine Biotopes	Codice EUNIS	Definizione EUNIS	Codice Natura 2000	Definizione Natura 2000
11.34	Posidonia beds	A4.56	Comunità a Posidonia sp	1120	Praterie di Posidonie (<i>P. oceanica</i>)
16	Spiagge e dune sabbiose del litorale	B1	Dune costiere ed altri habitat sabbiosi marittimi		
16,12	Arenile con comunità vegetali annuali (Cakiletea maritima)	B1.13	Comunità atlantico-mediterranee e del Mar Nero delle spiagge sabbiose	1210	Vegetazione annua delle linee di deposito marine
18,22	Scogliere e rupi marittime mediterranee	B3.33	Comunità degli habitat rocciosi mediterraneo-atlantici e del Mar Nero	1240	Scogliere con vegetazione delle coste mediterranee con <i>Limonium</i> spp . endemici
16,2112	Dune mobili embrionali	B1.311	Complessi di giovani dune mobili, più o meno prive di vegetazione e prospicienti la linea di marea	2110	Dune mobili embrionali
17	Litorali ghiaiosi e ciottolosi	B2	Habitat ghiaiosi costieri		
17,1	Litorali ghiaiosi e ciottolosi quasi privi di vegetazione	B2.2	Spiagge ghiaiose mobili e prive di vegetazione, al di sopra del limite di marea		
18	Rupi marittime e coste rocciose	B3-A1	Scogliere, spiagge ed isolette rocciose, compresi gli habitat supralitorali- Formazioni rocciose ed altri substrati solidi sopra- e meso-litorali		
32	Cespuglieti a sclerofille	F5-G3	Macchie, boscaglie ed arbusteti mediterranei-Boschi e foreste di conifere		
32,132	Matorral di <i>Juniperus phoenicea</i>	F5.132	Matorral arborecente di <i>Juniperus phoenicea</i> e <i>Juniperus lycia</i>	5210	Matorral arborecenti a <i>Juniperus</i> spp.
32,211	Macchia bassa a olivastro e lentisco	F5.511	Boscaglie di <i>Olea europaea</i> e <i>Pistacia lentiscus</i>		
32,23	Formazioni ad <i>Ampelodesmos mauritanicus</i>	F5.53	Garighe con <i>Ampelodesmos mauritanicus</i> dominante	5330	Arbusteti termomediterranei e pre-desertici
44	Boschi e cespuglieti alluviali e umidi	F9-G1	Comunità arbustive fluviali e di terreni acquitrinosi-Boschi e foreste di latifoglie decidue		
44,8131	Cespuglieti a Tamarice del Mediterraneo occidentale	F9.313 1	Bordure ripariali di Tamarice del Mediterraneo occidentale	92D0	Gallerie e forsteti ripari meridionali

Habitat e specie

1210 Vegetazione annua delle linee di deposito marine

Criticità e impatti: Le maggiori criticità sono dovute alle pratiche di pulizia meccanica delle spiagge, all'asportazione del materiale organico spiaggiato dalle mareggiate e alla presenza di strutture e attività turistico-balneari.

1240 Scogliere con vegetazione delle coste mediterranee con *Limonium* spp. endemici

Criticità e impatti: Il livello di conservazione di queste comunità è legato ai particolari contesti in cui si sviluppano, non colonizzabili da altre formazioni. Il ridotto range ecologico e il limitato areale rappresentano una forte criticità. Le misure di conservazione che possono essere messe in atto sono connesse alla pianificazione territoriale, come ad esempio l'istituzione di aree ad accesso interdetto o regolamentato. Indicatori di disturbo, aliene (*ad es. Carpobrotus acinaciformis, C. edulis*).

2110 Dune mobili del litorale (*Crucianellion maritimae*)

Criticità e impatti: L'habitat è molto localizzato ed in regressione, sia a causa dell'erosione costiera, sia per l'intenso sfruttamento turistico che caratterizza gran parte delle coste italiane e che ha provocato profonde trasformazioni ambientali nei sistemi dunali (Acosta & Ercole, 2015). Questo tipo di habitat si sviluppa sul versante interno delle dune mobili che, grazie alla maggior copertura erbacea rispetto agli habitat più pionieri e alla diminuzione dei processi eolici ed erosivi, presenta un substrato più stabile e compatto, con granulometria più fine e con un profilo dunale più dolce

5210 Matorral arboreescenti di *Juniperus* spp.

Criticità e impatti: Il livello di conservazione di questo habitat è legato al particolare contesto in cui si sviluppa. Potenziali minacce sono il passaggio del fuoco, l'eccessivo carico di pascolo, la realizzazione di infrastrutture, i cambiamenti nella destinazione d'uso, gli errati interventi di riforestazione spesso realizzati con specie aliene e l'inquinamento genetico negli interventi di riqualificazione ambientale.

5330 Arbusteti termo-mediterranei e pre-desertici

Criticità e impatti: Questo habitat è contraddistinto da una vegetazione arbustiva più o meno densa, che in stazioni primarie, acclivi e semirupesci, spesso ventose, costituisce una comunità stabile, resiliente, in grado di riprendersi da perturbazioni accidentali (incendi, frane, ecc.). In questi contesti, una reale criticità è rappresentata dall'invasione di specie esotiche (*Agave* sp. pl., *Opuntia* sp. pl., *Acacia* sp. pl., *Vachellia karoo*, *Parkinsonia aculeata*) che spesso mostrano notevole vitalità, sottraendo una frazione rilevante delle risorse alle specie autoctone. In situazioni meno acclivi, la vegetazione dell'habitat 5330 può essere parimenti diffusa come stadio di degradazione della macchia alta o della lecceta. In questi contesti, a seconda di dinamiche regolate soprattutto dalla frequenza di incendi e dall'erosione del suolo, gli arbusteti possono presentare densità variabile ed essere fortemente compenetrati da specie dei *Lygeo-Stipetea* e dei *Cisto-Micromerietea*. Tali dinamiche possono essere alterate e, in alcuni casi, modificate, dalla frequentazione di bestiame soprattutto ovino e caprino. Inoltre l'intensità del pascolamento può ridurre l'estensione di questo habitat come conseguenza di incendi e taglio operati dall'uomo per favorire i pascoli.

92D0 Gallerie e forteti ripari meridionali (*Nerio-Tamaricetea* e *Securinegion tinctoriae*)

Criticità e impatti: Il disturbo antropico, legato al pascolo e all'incendio, determina la distruzione di questo habitat che viene sostituito dalle praterie steppiche subnitrofile del *Bromo-Oryzopsis* o dai pascoli aridi subnitrofilici dei *Brometalia-rubenti tectori*. La presenza in questo habitat di specie esotiche quali *Ricinus communis*, *Amorpha fruticosa* o *Nicotiana glauca* è significativa nei tratti dei corsi d'acqua dove questo habitat è soggetto a forte disturbo antropico.

Habitat marini

1120*: Praterie di *Posidonia* (*Posidionion oceanicae*)

La *Posidonia oceanica* si trova generalmente in acque ben ossigenate, ma è sensibile come già detto alla dissalazione e quindi scompare nelle aree antistanti le foci dei fiumi. È anche sensibile

all'inquinamento, all'ancoraggio di imbarcazioni, alla posa di cavi sottomarini, all'invasione di specie rizofitiche aliene, all'alterazione del regime sedimentario. Apporti massivi o depauperamenti sostanziali del sedimento e prolungati bassi regimi di luce, derivanti soprattutto da cause antropiche, in particolare errate pratiche di ripascimento delle spiagge, possono provocare una regressione di queste praterie. Le praterie marine a *Posidonia* costituiscono uno degli habitat più importanti del Mediterraneo, e assumono un ruolo fondamentale nell'ecosistema marino per quanto riguarda la produzione primaria, la biodiversità, l'equilibrio della dinamica di sedimentazione. Esse rappresentano un ottimo indicatore della qualità dell'ambiente marino nel suo complesso.

Individuazione e mappatura delle biocenosi marine costiere e Carta Biocenotica

HP: biocenosi delle praterie a *Posidonia oceanica*; **MMP:** Biocenosi della Matte Morta di Posidonia; **AP:** biocenosi delle alghe fotofile; **SGBV:** Biocenosi delle Sabbie Grossolane e Ghiaie Fini Rimosse dalle Onde; **SFBC:** biocenosi delle sabbie fini ben calibrate; **AE:** Biocenosi delle alghe emisciafile; **DC:** Biocenosi del detritico costiero; **C:** Biocenosi del Coralligeno.

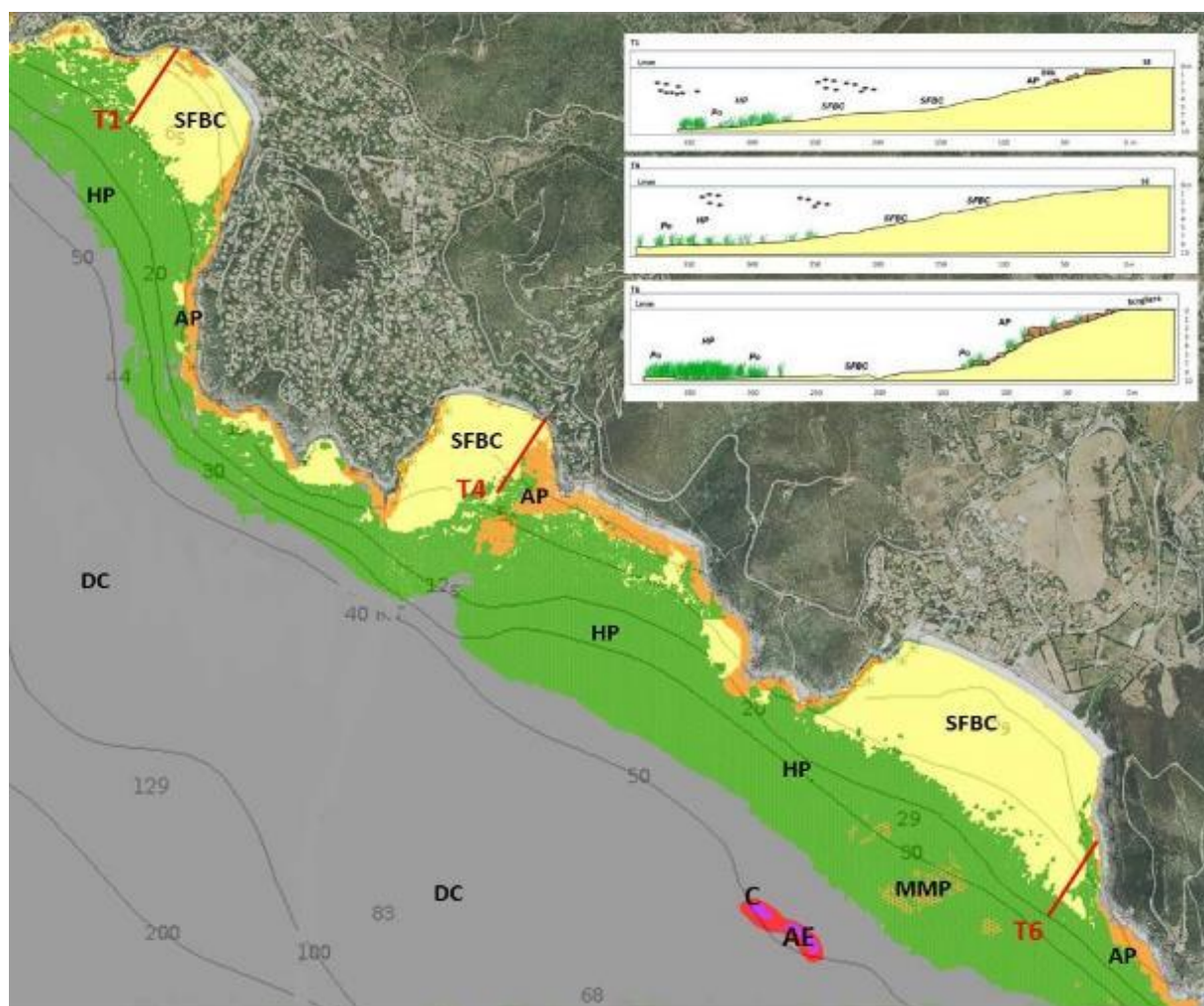


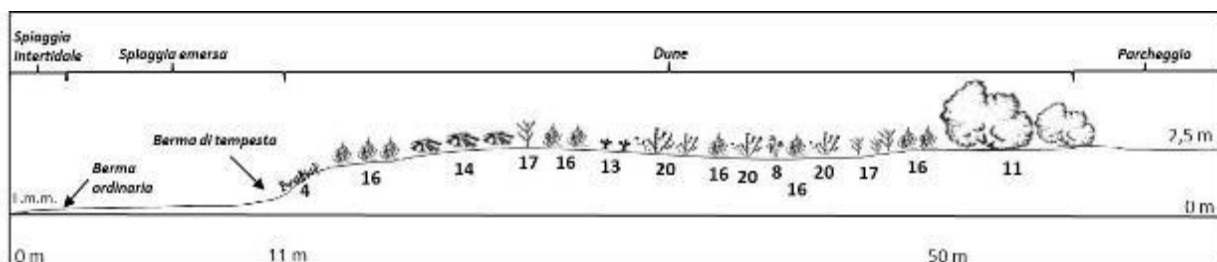
Figura 32 – Biocenosi. I transetti sono rappresentativi delle biocenosi, e non sono da considerarsi come profili di spiaggia sommersa.

Gli habitat delle coste sabbiose, dune e vegetazione dunale

Spiaggia di Cann'e Sisa



T1- Coordinate inizio transetto: lat. 39,1574 N; long. 9,3923 E

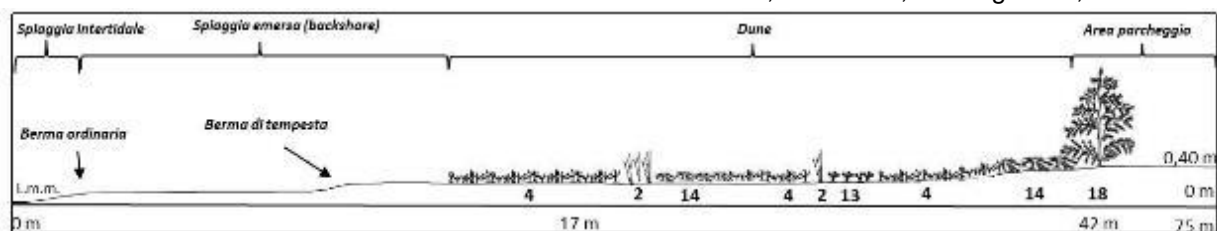


Legenda

L.m.m.: livello medio mare; 4) *Sporobolus punges*; 8) *Pancratium maritimum*; 11) *Pistacia lentiscus*; 13) *Trifolium sp.* 14) *Lotus cytisoides*; 16) *Alyssum maritimum*; 17) *Sibylum marianum*; 20) *Asparagus horridus*.

Lungo il transetto 1, nella spiaggia emersa viene individuata la presenza di una comunità costituita principalmente da specie quali *Sporobolus punges*, *Pancratium maritimum*, *Pistacia lentiscus*, *Trifolium sp.*, *Lotus cytisoides*, *Alyssum maritimum*, *Sibylum marianum* e *Asparagus horridus*. Quest'habitat è determinato dalle piante psammofile perenni, di tipo geofitico ed emicriptofitico che danno origine alla costituzione dei primi cumuli sabbiosi: "dune embrionali". La specie maggiormente edificatrice è *Agropyron junceum* ssp. *mediterraneum* (= *Elymus farctus* ssp. *farctus*; = *Elytrigia juncea*), graminacea rizomatosa che riesce ad accrescere il proprio rizoma sia in direzione orizzontale che verticale costituendo così, insieme alle radici, un fitto reticolo che ingloba le particelle sabbiose.

T2 - Coordinate inizio transetto: lat. 39,1563 N; long. 9,3936 E



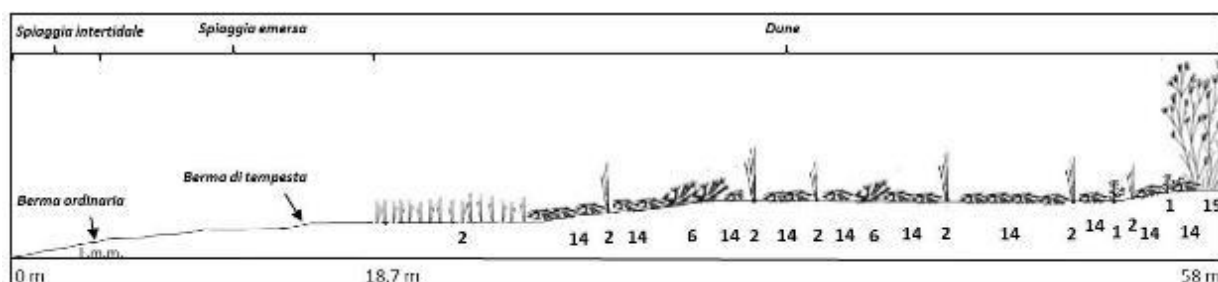
Legenda

L.m.m.: livello medio mare; 2) *A. junceum*; 4) *S. punges*; 13) *Trifolium sp.* 14) *L. cytisoides*; 18) *A. saligna*.

Lungo il transetto 2, nella spiaggia emersa è stata individuata la presenza di una comunità costituita principalmente da specie quali *Agropyron junceum*, *Sporobolus punges*, *Trifolium sp.*, *Lotus cytisoides*,

Acacia saligna. Quest' habitat è determinato dalle piante psammofile perenni, di tipo geofitico ed emicriptofitico che danno origine alla costituzione dei primi cumuli sabbiosi: "dune embrionali". La specie maggiormente edificatrice è *Agropyron junceum ssp. mediterraneum* (= *Elymus farctus ssp. farctus*; = *Elytrigia juncea*), graminacea rizomatosa che riesce ad accrescere il proprio rizoma sia in direzione orizzontale che verticale costituendo così, insieme alle radici, un fitto reticolo che ingloba le particelle sabbiose.

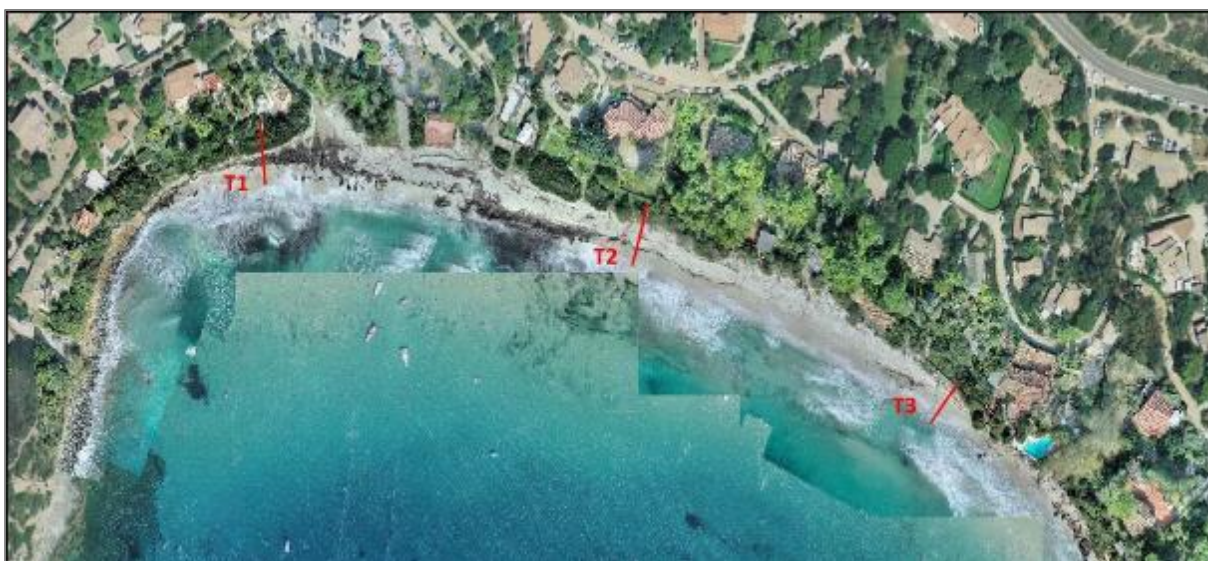
T3 – Coordinate inizio transetto: lat. 39,1553 N; long. 9,3946 E



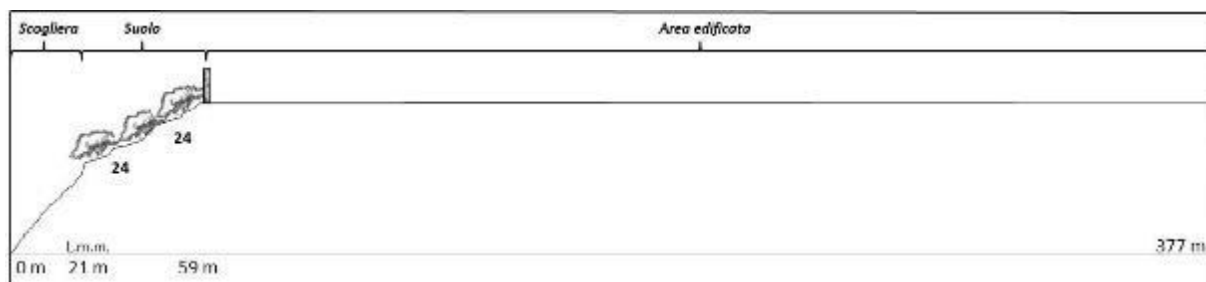
Legenda

1) *Cakile maritima*; 2) *Agropyron junceum*; 6) *Eryngium maritimum*; 14) *Lotus cytisoides*; 9) *Tamarix sp*

Spiaggia di Genn'e Mari

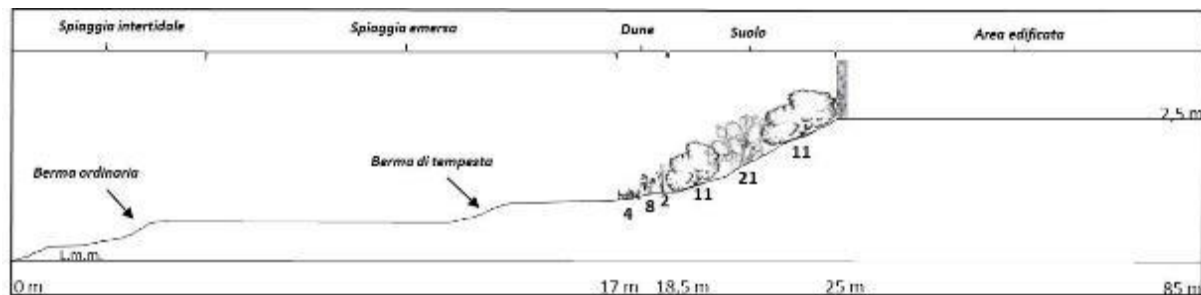


T1 - Coordinate inizio transetto: lat. 39,1447 N; long. 9,4041 E



24) *Juniperus phoenicea*

T2- Coordinate inizio transetto: lat. 39,1444 N; long. 9,4036 E

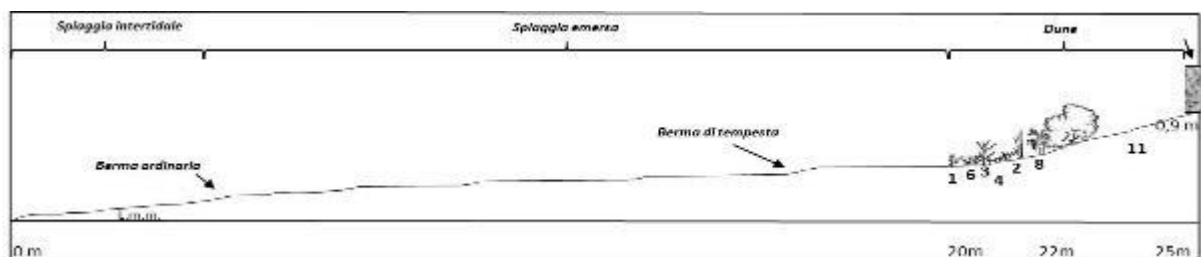


Legenda:

- 2) *Agropyron junceum*; 4) *Sporobolus punges*; 8) *Pancratium maritimum*; 11) *Pistacia lentiscus*; 21) *O. ficus-indica*.

Lungo il transetto T2, nella spiaggia emersa, è presente una comunità costituita principalmente da specie quali *Agropyron junceum*, *Sporobolus pungens*, *Pancratium maritimum*, *Pistacia lentiscus* e *Opuntia ficus-indica*. Quest'habitat è determinato dalle piante psammofile perenni di tipo geofitico ed emicriptofitico che danno origine alla costituzione dei primi cumuli sabbiosi: "dune embrionali". La specie maggiormente edificatrice è *Agropyron junceum* ssp. *mediterraneum* (= *Elymus farctus* ssp. *farctus*; = *Elytrigia juncea*), graminacea rizomatosa che riesce ad accrescere il proprio rizoma sia in direzione orizzontale che verticale costituendo così, insieme alle radici, un fitto reticolo che ingloba le particelle sabbiose.

T3 - Coordinate inizio transetto: lat. 39,1447 N; long. 9,4052 E

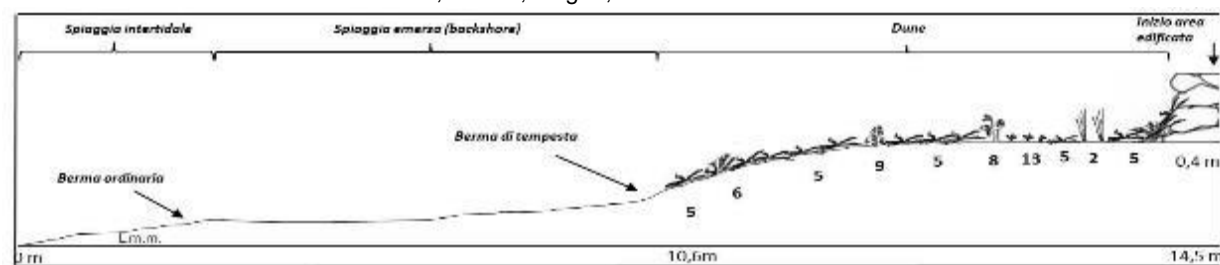


Legenda:

- 1) *Cakile maritima*; 2) *Agropyron junceum*; 3) *Salsola kali*; 4) *Sporobolus punges*; 6) *Eryngium maritimum*; 8) *Pancratium maritimum*; 11) *Pistacia lentiscus*;

Lungo il transetto 3, nella spiaggia emersa viene individuata la presenza di una comunità costituita principalmente da specie quali *Cakile maritima*, *Agropyron junceum*, *Salsola kali*, *Sporobolus punges*, *Eryngium maritimum*, *Pancratium maritimum* e *Pistacia lentiscus*. Quest' habitat è determinato dalle piante psammofile perenni, di tipo geofitico ed emicriptofitico che danno origine alla costituzione dei primi cumuli sabbiosi: "dune embrionali". La specie maggiormente edificatrice è *Agropyron junceum* ssp. *mediterraneum* (= *Elymus farctus* ssp. *farctus*; = *Elytrigia juncea*), graminacea rizomatosa che riesce ad accrescere il proprio rizoma sia in direzione orizzontale che verticale costituendo così, insieme alle radici, un fitto reticolo che ingloba le particelle sabbiose.

T4 - Coordinate inizio transetto: lat. 39,1438 N; long. 9,4075 E

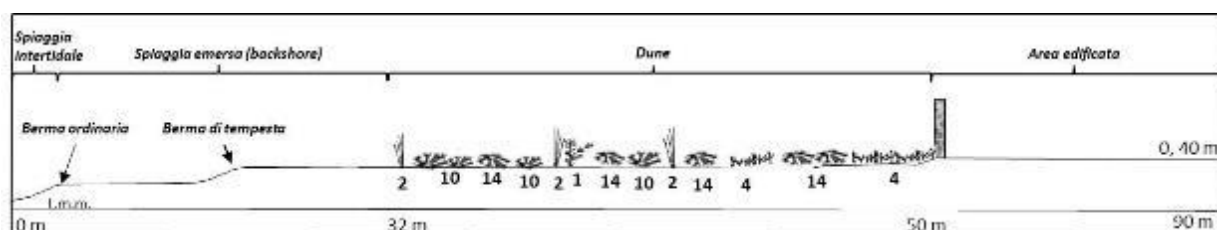


Legenda:

- 2) *A. junceum*; 5) *C. acinaciformis*; 6) *E. maritimum*; 8) *P. maritimum*; 9) *C. maritimum*; 13) *Trifolium* sp.

Spiaggia di Solanas

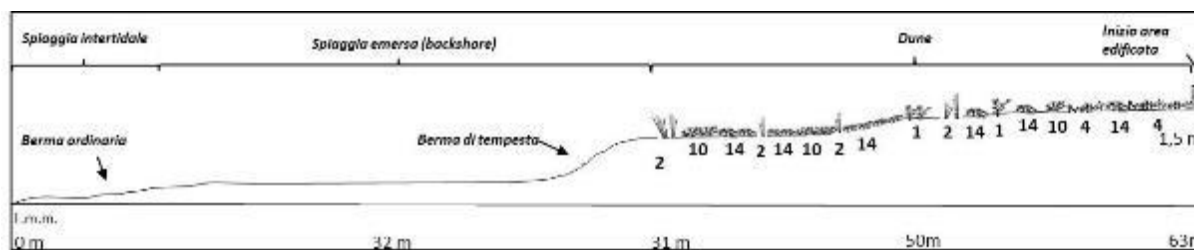
T1 - Coordinate inizio transetto: lat. 39,1352 N; long. 9,4263 E

**Legenda**

2) *Agropyron junceum*; 4) *Sporobolus pungens*; 10) *Medicago marina*; 14) *Lotus cytisoides*.

Lungo il transetto 1, nella spiaggia emersa vi è la presenza di una comunità costituita principalmente da specie quali *Agropyron junceum*, *Sporobolus pungens*, *Medicago marina* e *Lotus cytisoides*. Quest' habitat è determinato dalle piante psammofile perenni, di tipo geofitico ed emicriptofitico che danno origine alla costituzione dei primi cumuli sabbiosi: "dune embrionali". La specie maggiormente edificatrice è *Agropyron junceum* ssp. *mediterraneum* (= *Elymus farctus* ssp. *farctus*; = *Elytrigia juncea*), graminacea rizomatosa che riesce ad accrescere il proprio rizoma sia in direzione orizzontale che verticale costituendo così, insieme alle radici, un fitto reticolo che ingloba le particelle sabbiose.

T2- Coordinate inizio transetto: lat. 39,1345 N; long. 9,4286 E

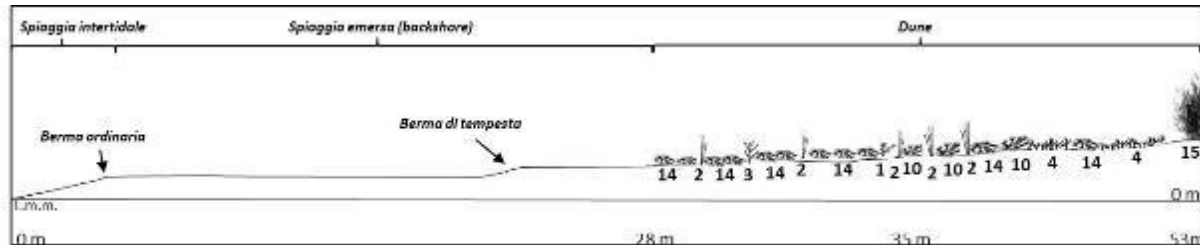
**Legenda**

1) *Cakile maritima*; 2) *Agropyron junceum*; 4) *Sporobolus pungens*; 10) *Medicago marina*; 14) *Lotus cytisoides*.

Lungo il transetto 2, nella spiaggia emersa viene individuata la presenza di una comunità costituita principalmente da specie quali *Cakile maritima*, *Agropyron junceum*, *Sporobolus pungens*, *Medicago marina*, *Lotus cytisoides*. Quest' habitat è determinato dalle piante psammofile perenni, di tipo geofitico

ed emicriptofitico che danno origine alla costituzione dei primi cumuli sabbiosi: “dune embrionali”. La specie maggiormente edificatrice è *Agropyron junceum* ssp. *mediterraneum* (= *Elymus farctus* ssp. *farctus*; = *Elytrigia juncea*), graminacea rizomatosa che riesce ad accrescere il proprio rizoma sia in direzione orizzontale che verticale costituendo così, insieme alle radici, un fitto reticolo che ingloba le particelle sabbiose.

T3- Coordinate inizio transetto: lat. 39,1337 N; long. 9,4304 E



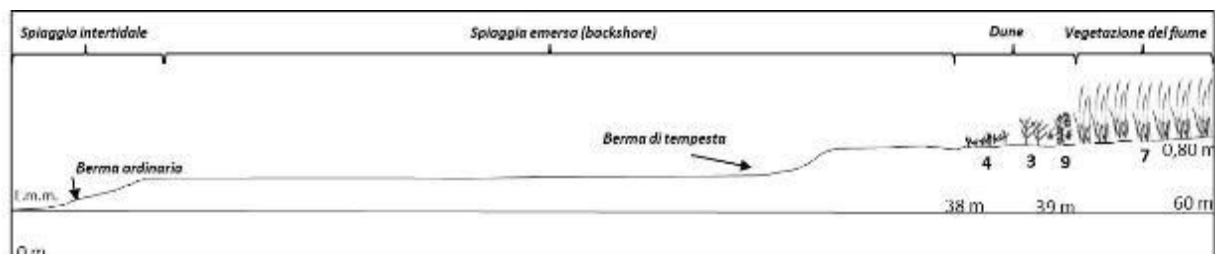
Legenda

- 1) *Cakile maritima*; 2) *Agropyron junceum*; 3) *Salsola kali*; 4) *Sporobolus punges*; 10) *Medicago marina*; 14) *Lotus cytisoides*; 15) *Nerium oleander*.

Lungo il transetto 3, nella spiaggia emersa viene individuata la presenza di una comunità costituita principalmente da specie quali *Cakile maritima*, *Agropyron junceum*, *Salsola kali*, *Sporobolus punges*, *Medicago marina*, *Lotus cytisoides*, *Nerium oleander*.

Quest'habitat è determinato dalle piante psammofile perenni, di tipo geofitico ed emicriptofitico che danno origine alla costituzione dei primi cumuli sabbiosi: “dune embrionali”. La specie maggiormente edificatrice è *Agropyron junceum* ssp. *mediterraneum* (= *Elymus farctus* ssp. *farctus*; = *Elytrigia juncea*), graminacea rizomatosa che riesce ad accrescere il proprio rizoma sia in direzione orizzontale che verticale costituendo così, insieme alle radici, un fitto reticolo che ingloba le particelle sabbiose.

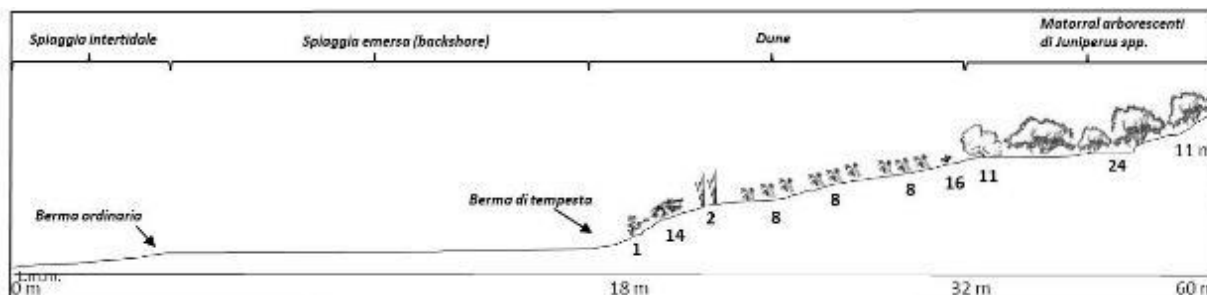
T4 - Coordinate inizio transetto: lat. 39,1325 N; long. 9,4326 E



Legenda

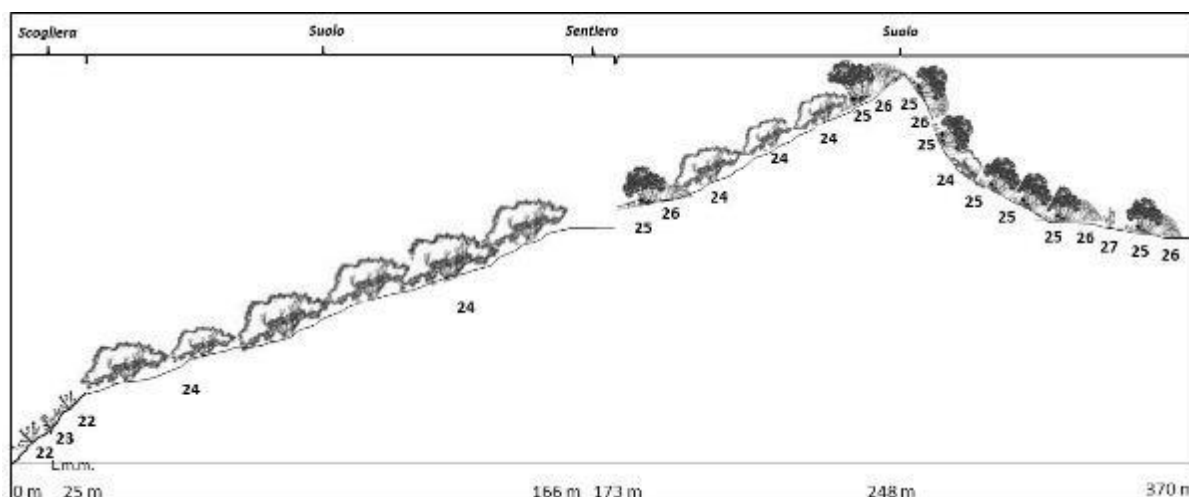
- 3) *Salsola kali* ; 4) *Sporobolus punges* ; 7) *Phragmites australis* ; 9) *Crithmum maritimum*;

Lungo il transetto 4, nella spiaggia è stata individuata la presenza di una comunità costituita principalmente da specie quali *Salsola kali*, *Sporobolus punges*, *Crithmum maritimum* e *Phragmites australis*. Quest'habitat è determinato dalla presenza di una zona umida interdunale in cui sono incluse formazioni dominate da elofite di diversa taglia che colonizzano le aree palustri e i bordi dei corsi d'acqua. Sono usualmente dominate da poche specie (anche cenosi monospecifiche). Le specie si alternano sulla base del livello di disponibilità idrica o di caratteristiche chimico fisiche del suolo. Le cenosi più diffuse, e facilmente cartografabili, sono quelle dei canneti in cui *Phragmites australis* è in grado di tollerare diversi livelli di trofia, di spingersi fino al piano montano e di tollerare anche una certa salinità delle acque.

T5 - Coordinate inizio transetto: lat. 39,1313 N; long. 9,4342 E**Legenda**

1) *Cakile maritima*; 2) *Agropyron junceum*; 8) *Pancratium maritimum*; 11) *Pistacia lentiscus*; 16) *Alyssum maritimum*.

Lungo il transetto 5, nella spiaggia emersa vi è la presenza di una comunità costituita principalmente da specie quali *Cakile maritima*, *Agropyron junceum*, *Pancratium maritimum*, *Alyssum maritimum* e *Pistacia lentiscus*. Questo habitat rappresenta uno stadio di ricolonizzazione delle dune fossili da parte di specie della macchia mediterranea.

T6 - Coordinate inizio transetto: lat. 39,1313 N; long. 9,4342 E**Legenda**

22) *Limonium* sp.; 23) *Crithmum maritimum*; 24) *Juniperus phoenicea*; 25) *Olea europaea*; 26) *Pistacia lentiscus*; 27) *Asparagus albus*.

Gli habitat delle coste rocciose

Capo Boi



HABITAT:		
CCB 18,22- EUNIS B3.3 – DH 1240 Scogliere con vegetazione delle coste mediterranee con <i>Limonium</i> spp. endemici		
Caratteristiche del sito		
<p>Scogliere e coste rocciose del Mediterraneo ricoperte, seppure in forma discontinua, da vegetazione con specie alo-rupicole. Le piante che vivono in questo habitat hanno la capacità di vivere nelle fessure delle rocce e di sopportare il contatto diretto con l'acqua marina e l'aerosol marino. Sono questi importanti fattori limitanti per le specie vegetali per cui le piante, che possono colonizzare l'ambiente roccioso costiero, sono altamente specializzate.</p>		
Data rilievo: 30/11/2019 - 01/12/2019 - 08/12/2019	Autori rilievo: dott. Gabriele Manzottu; dott.ssa Chiara Roselli	Coordinate rilievo (lineari):
Area occupata dall'habitat (ha):	Substrato geologico: Granodioriti del Complesso granitoide del Sarrabus, filoni basici del Corteo filoniano, detriti di versante e colluvi quaternari.	Specie tipiche: <i>Crithmum maritimum</i> ; <i>Limonium</i> sp.
Specie guida: <i>Crithmum maritimum</i> , <i>Daucus carot.</i> , <i>Limonium</i> sp.	Specie aliene:	Principali pressioni: erosione areale; erosione incanalata.
Principali minacce: perdita di biodiversità, frammentazione dell'habitat		

Considerazioni aggiuntive

L'habitat è interessato dalla presenza di fitocenosi pioniere, durevoli, altamente specializzate che non presentano per lo più comunità di sostituzione. Sono possibili contatti catenali con l'habitat 1170 "Scogliere", mentre, verso l'interno, l'habitat entra in contatto con l'habitat 5210 "Matorral arborescenti di *Juniperus* sp.pl." e 5330 "Arbusteti termo-mediterranei e pre-steppici".

Associato a questo biotopo viene solitamente incluso il 18.1, rupi marittime prive di vegetazione.

Punta Cabudi**HABITAT:**

CCB 18,22- EUNIS B3.3 – DH 1240 Scogliere con vegetazione delle coste mediterranee con *Limonium* spp. endemici

Caratteristiche del sito

Scogliere e coste rocciose del Mediterraneo ricoperte, seppure in forma discontinua, da vegetazione con specie alo-rupicole. Le piante che vivono in questo habitat hanno la capacità di vivere nelle fessure delle rocce e di sopportare il contatto diretto con l'acqua marina e l'aerosol marino. Sono questi importanti fattori limitanti per le specie vegetali per cui le piante, che possono colonizzare l'ambiente roccioso costiero, sono altamente specializzate.

Data rilievo: 30/11/2019 - 01/12/2019 - 08/12/2019	Autori rilievo: dott. Gabriele Manzottu; dott.ssa Chiara Roselli	Coordinate rilievo (lineari):
Area occupata dall'habitat (ha):	Substrato geologico: Granodioriti del Complesso granitoide del Sarrabus, filoni basici del Corteo filoniano, detriti di versante e colluvi quaternari.	Specie tipiche: <i>Crithmum maritimum</i> ; <i>Limonium</i> sp.
Specie guida: <i>Crithmum maritimum</i> , <i>Daucus carot.</i> , <i>Limonium</i> sp.	Specie aliene:	Principali pressioni: erosione areale; erosione incanalata.
Principali minacce: perdita di biodiversità, frammentazione dell'habitat		

Considerazioni aggiuntive

L'habitat è interessato dalla presenza di fitocenosi pioniere, durevoli, altamente specializzate che non presentano per lo più comunità di sostituzione. Sono possibili contatti catenali con l'habitat 1170 "Scogliere", mentre, verso l'interno, l'habitat entra in contatto con l'habitat 5210 "Matorral arborescenti di *Juniperus* sp.pl." e 5330 "Arbusteti termo-mediterranei e pre-steppici".

Associato a questo biotopo viene solitamente incluso il 18.1, rupi marittime prive di vegetazione.

Portu Perdosu



HABITAT:

CCB 18,22- EUNIS B3.3 – DH 1240 Scogliere con vegetazione delle coste mediterranee con *Limonium* spp. Endemici e CCB 17.1 Litorali Ghiaiosi e Ciottolosi quasi privi di vegetazione – EUNIS A2.111

Caratteristiche del sito

Scogliere e coste rocciose del Mediterraneo ricoperte, seppure in forma discontinua, da vegetazione con specie alo-rupicole. Le piante che vivono in questo habitat hanno la capacità di vivere nelle fessure delle rocce e di sopportare il contatto diretto con l'acqua marina e l'aerosol marino. Sono questi importanti fattori limitanti per le specie vegetali per cui le piante, che possono colonizzare l'ambiente roccioso costiero, sono altamente specializzate. Ai piedi del biotopo 18.22 si estende per pochi metri fino al mare il biotopo 17.1, caratterizzato da arenili ghiaiosi e ciottolosi di versa origine litologica e privi di vegetazione.

Data rilievo: 30/11/2019 - 01/12/2019 - 08/12/2019	Autori rilievo: dott. Gabriele Manzottu; dott.ssa Chiara Roselli	Coordinate rilievo (lineari):
Area occupata dall'habitat (ha):	Substrato geologico: Granodioriti del Complesso granitoide del Sarrabus, filoni basici del Corteo filoniano, detriti di versante e colluvi quaternari.	Specie tipiche: <i>Crithmum maritimum</i> ; <i>Limonium</i> sp. <i>Glaucium flavum</i> ; <i>Raphanus maritimum</i>
Specie guida: <i>Crithmum maritimum</i> , <i>Daucus carot.</i> , <i>Limonium</i> sp.	Specie aliene: <i>Carpobrotus acinaciformis</i> ; <i>Agave americana</i>	Principali pressioni: erosione areale; erosione incanalata.
Principali minacce: perdita di biodiversità, frammentazione dell'habitat		

Considerazioni aggiuntive

L'habitat è interessato dalla presenza di fitocenosi pioniere, durevoli, altamente specializzate che non presentano per lo più comunità di sostituzione. Sono possibili contatti catenali con l'habitat 1170 "Scogliere", mentre, verso l'interno, l'habitat entra in contatto con l'habitat 5210 "Matorral arborescenti di *Juniperus* sp.pl." e 5330 "Arbusteti termo-mediterranei e pre-steppici".

La zona di contatto tra il biotopo 18.22 e 17.1 è caratterizzata da frane superficiali diffuse, con movimentazione di ciottoli e ribaltamenti diffusi

Torre delle Stelle**HABITAT:**

CCB 18,22- EUNIS B3.3 – DH 1240 Scogliere con vegetazione delle coste mediterranee con *Limonium* spp. endemici

Caratteristiche del sito

Scogliere e coste rocciose del Mediterraneo ricoperte, seppure in forma discontinua, da vegetazione con specie alo-rupicole. Le piante che vivono in questo habitat hanno la capacità di vivere nelle fessure delle rocce e di sopportare il contatto diretto con l'acqua marina e l'aerosol marino. Sono questi importanti fattori limitanti per le specie vegetali per cui le piante, che possono colonizzare l'ambiente roccioso costiero, sono altamente specializzate.

Data rilievo: 30/11/2019 - 01/12/2019 - 08/12/2019	Autori rilievo: dott. Gabriele Manzottu; dott.ssa Chiara Roselli	Coordinate rilievo (lineari):
Area occupata dall'habitat (ha):	Substrato geologico: Granodioriti del Complesso granitico del Sarrabus, filoni basici del Corteo filoniano, detriti di versante e colluvi quaternari.	Specie tipiche: <i>Crithmum maritimum</i> ; <i>Limonium</i> sp.
Specie guida: <i>Crithmum maritimum</i> , <i>Daucus carot.</i> , <i>Limonium</i> sp.	Specie aliene: <i>Carpobrotus acinaciformis</i> ; <i>Agave americana</i>	Principali pressioni: erosione areale con crolli e ribaltamenti fino ad interessare l'habitat 1120; erosione incanalata.
Principali minacce: perdita di biodiversità, frammentazione dell'habitat		

Considerazioni aggiuntive

L'habitat è interessato dalla presenza di fitocenosi pioniere, durevoli, altamente specializzate che non presentano per lo più comunità di sostituzione. Sono possibili contatti catenali con l'habitat 1170 "Scogliere", mentre, verso l'interno, l'habitat entra in contatto con l'habitat 5210 "Matorral arborescenti di *Juniperus* sp.pl." e 5330 "Arbusteti termo-mediterranei e pre-steppici".

Associato a questo biotopo viene solitamente incluso il 18.1, rupi marittime prive di vegetazione.

Le erosioni incanalate possono creare delle colate di detrito e/o terra che possono direttamente interessare l'habitat 1120 direttamente o quasi a contatto con la scogliera.

La vegetazione fluviale del Riu Solanas

La vegetazione del Rio Solanas può essere classificata, per quanto attiene alle sue parti naturali, nell'habitat 92D0 – Gallerie e forteti ripari meridionali. Si tratta di cespuglieti ripariali a struttura alto-arbustiva caratterizzati da tamerici (*Tamarix gallica*, *T. africana*, *T. canariensis*, ecc.), *Nerium oleander* e *Vitex agnus-castus*, localizzati lungo i corsi d'acqua a regime torrentizio o talora permanenti, ma con notevoli variazioni della portata e limitatamente ai terrazzi alluvionali inondati occasionalmente e asciutti per gran parte dell'anno. La vegetazione si insedia su suoli alluvionali di varia natura, ma poco evoluti (dvn.unipg.it/habitat). Tra le specie tipiche di questo habitat troviamo: *Nerium oleander*, *Vitex agnus-castus*, *Tamarix gallica*, *T. africana*, *T. arborea*, *T. canariensis*.

In certe sue parti l'alveo di questo rio è stato canalizzato nella parte che attraversa l'edificato del paese. La vegetazione pertanto si trova sempre nella periferia del centro abitato, e cambia a seconda del terreno che attraversa. In molte parti del suo percorso il rio è caratterizzato dalla presenza di erbe spontanee e qualche presenza arbustiva di modesta entità.

3.6 IL SISTEMA INSEDIATIVO

Tutta l'area è interessata da una forte pressione antropica legata alla fruizione della spiaggia. Il complesso sistema insediativo costiero, sostenuto interamente dalla strada litoranea SP 17, si sviluppa dapprima come tessuto continuo lineare con caratteri marcatamente periurbani e residenziali, dal Margine Rosso fino a Flumini di Quartu e alla Marina di Capitana, per assumere da qui in poi forme insediative caratterizzate da nuclei turistici residenziali localizzati in corrispondenza delle principali spiagge e delle incisioni vallive che segnano la costa alta da Is Mortorius fino a Capo Boi. All'insediamento costiero corrisponde un insediamento diffuso rurale e turistico nei retroterra delle principali vallate, da Geremeas a Baccu Mandara a Solanas. In quest'area si colloca anche il promontorio granitico di Punta Torre de Su Fenogu, sui cui sorge l'insediamento turistico di Torre delle Stelle, che confina ad ovest con il sistema di spiaggia di Cann'e Sisa e ad est con quello di Genn'e Mari.

I Centri abitati di Sinnai e Maracalagonis, di cui fa parte l'area oggetto di indagine si trovano sui rilievi collinari, non immediatamente prossimi alla costa, ma in diretta relazione con l'area urbana di Cagliari, mentre il centro urbano di Villasimius e il sistema turistico insediativo costiero chiudono ad est il territorio in esame.

4. METODI D'INDAGINE ED ELABORAZIONE DEI DATI

Nell'ambito del progetto MAREGOT sono state sviluppate le metodologie di studio per la comprensione dei fenomeni che incidono sulla difesa della costa, allo scopo di inquadrare le cause e prevedere gli scenari evolutivi, sulla base dei quali definire i piani integrati di intervento per la gestione dell'ambiente marino costiero.

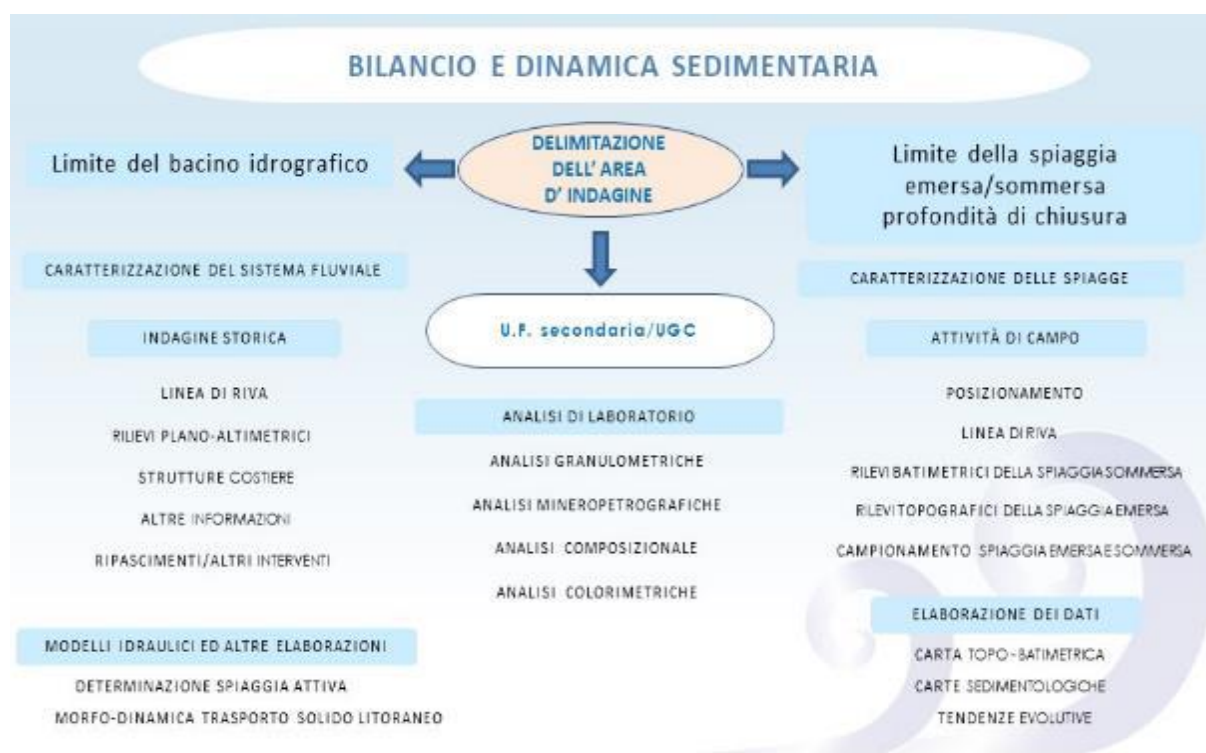
In funzione di una sperimentazione delle metodologie settoriali proposte, in questo capitolo vengono presentati i risultati dell'applicazione di tali metodologie nell' "area pilota" con un approccio integrato agli specifici temi del bilancio sedimentario e dell'evoluzione della costa alta anche in riferimento alle caratteristiche del clima meteo marino, dell'analisi degli impatti sugli habitat marino costieri e della gestione del rischio costiero a breve e medio termine.

Le attività di rilevamento e analisi di dettaglio dedicate al settore emerso e sommerso dell'Unità fisiografica sono state intraprese nel 2018 e concluse nel 2020.

4.1 IL BILANCIO SEDIMENTARIO DELLE SPIAGGE

Modalità di rilevamento: attività e indagini in campo

L'approccio metodologico adottato viene sintetizzato, nello schema seguente:



Per la delimitazione dell'area d'indagine si è fatto riferimento alle definizioni spaziali riportate nella presentazione dell'area pilota e nell'inquadramento fisiografico. (Cfr par1.1)

Le attività progettuali in campo sono state indirizzate verso la caratterizzazione morfologica e sedimentologica delle tre spiagge comprese nelle SubUnità Gestionali attraverso rilievi e misurazioni eseguiti in più fasi e in due periodi stagionali differenti anche allo scopo di rappresentare il "profilo estivo" e "invernale" delle spiagge e le diverse dinamiche del trasporto sedimentario litoraneo.

Per definire e impostare le campagne di indagini di dettaglio, finalizzando lo studio alla comprensione dei meccanismi morfodinamico - sedimentari ed al fine di calibrare il modello matematico adottato, si è ritenuto opportuno eseguire un primo rilievo tramite l'acquisizione di dati satellitari multispettrali ad alta risoluzione, del sensore Worldview 3 della Digital Globe, avvenuta il 12 luglio 2018, ottenendo le immagini multispettrali, un modello digitale del terreno, un modello della batimetria, curve di livello e isobate, alla risoluzione centimetrica.

La disponibilità di questi dati ha consentito di rappresentare lo stato attuale dei luoghi per l'intera unità fisiografica alla data di acquisizione e di pianificare i rilievi e le successive acquisizioni ed elaborazioni di dati e informazioni territoriali, ad alta e altissima risoluzione, sviluppati in due fasi, e realizzati dal Raggruppamento Temporaneo d'Imprese (RTI), Società Martech srl e SarLand srl di Cagliari, aggiudicataria della gara d'appalto appositamente bandita.

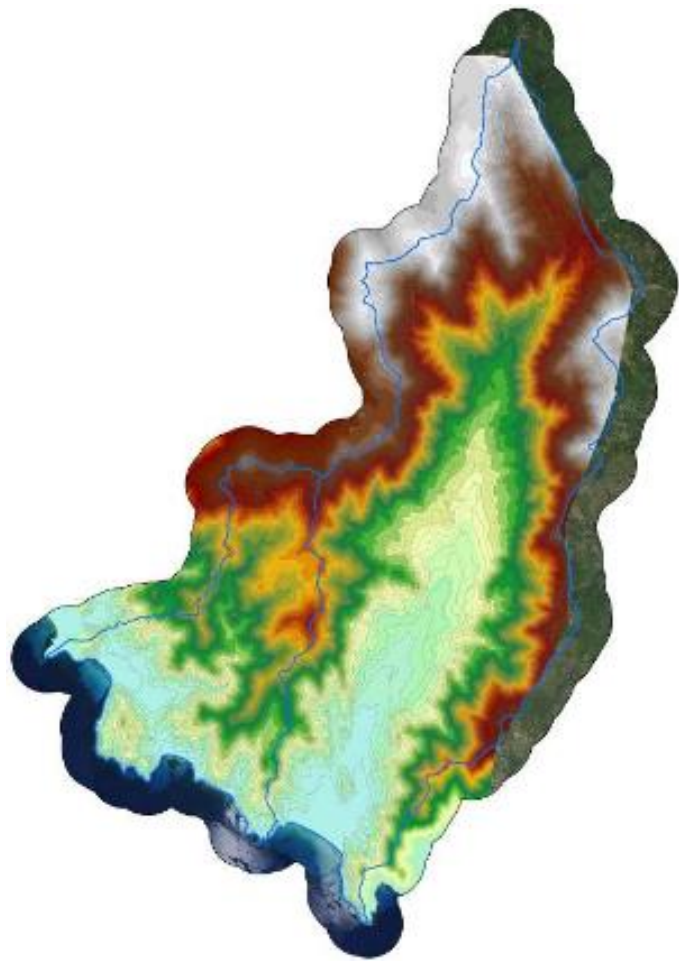


Figura 32 – DTM, unità di gestione costiera



Figura 33 – Batimetrie della spiaggia di Solanas

Nel periodo compreso tra il 15 Ottobre 2019 ed il 30 Ottobre 2019 sono stati realizzati, in corrispondenza di ciascuna spiaggia, Rilievi Topo-Batimetrici con tecnologie Singlebeam (TBS) e MultiBeam (BMB) del profilo attivo sommerso e contemporaneamente il rilievo GPS della linea di riva, il Rilievo morfologico dei fondali tramite Side Scan Sonar (SSS) della spiaggia sommersa, un Rilievo geomorfologico Sub Bottom Profiler (SBP) in spiaggia sommersa finalizzato alla descrizione dell'assetto geologico

e stratigrafico del fondale, della natura e dello spessore dei sedimenti e l'eventuale presenza di strutture sepolte, il Rilievo dei profili della spiaggia emersa e il Rilievo Aereo Fotogrammetrico da Drone (AFD) della spiaggia emersa, delle foci fluviali, delle opere presenti e dei primi fondali. Questa fase ha previsto anche il campionamento di sedimenti, in spiaggia sommersa ed emersa.

Nel periodo compreso tra il 1 Febbraio 2020 ed il 15 Febbraio 2020 sono stati ripetuti tutti i rilievi sopra elencati ad esclusione, per ovvie ragioni, dei rilievi Side Scan Sonar (SSS), Sub Bottom Profiler (SBP) e della fase di campionamento dei sedimenti.

Preliminarmente all'esecuzione dei rilievi geofisici, al fine di caratterizzare il clima meteo marino nel periodo ma soprattutto per disporre di dati utili alla calibrazione del modello morfodinamico utile per la valutazione delle tendenze evolutive delle spiagge e le dinamiche del trasporto solido litoraneo, sono stati posizionati un correntometro ed un ondometro nella spiaggia sommersa di Genn'e mari, baricentrica rispetto all'area d'indagine; i profilatori, modelli della Nortek Aquadopp 2MHz e AWAC 1 MHz, hanno acquisito informazioni e dati rispettivamente dal 22/11/2019 al 01/02/2020 e dal 14/11/2019 al 01/02/2020 da cui è stato possibile ricavare ed elaborare, riferiti al periodo d'installazione, il seguente set di misure:

- serie temporale della pressione e della temperatura dell'acqua;
- serie temporale della velocità e della direzione della corrente per singole celle della colonna d'acqua;
- serie temporale dei principali parametri ondametrici: altezze (H_{m0} , H_3 , H_{max} , H_{mean} , etc.), direzioni ($TpDir$, $Mdir$, $Spr1$, etc.) e periodi ($Tm02$, $Tpeak$, Tz , $T3$, etc.);
- velocità e direzione della corrente in ogni cella della colonna d'acqua (vel. minima, media, massima) rispetto agli 8 quadranti della direzione;
- altezza significativa dell'onda e della direzione media;
- altezza significativa e dell'altezza massima dell'onda;
- direzione media dell'onda;
- periodo medio dell'onda.

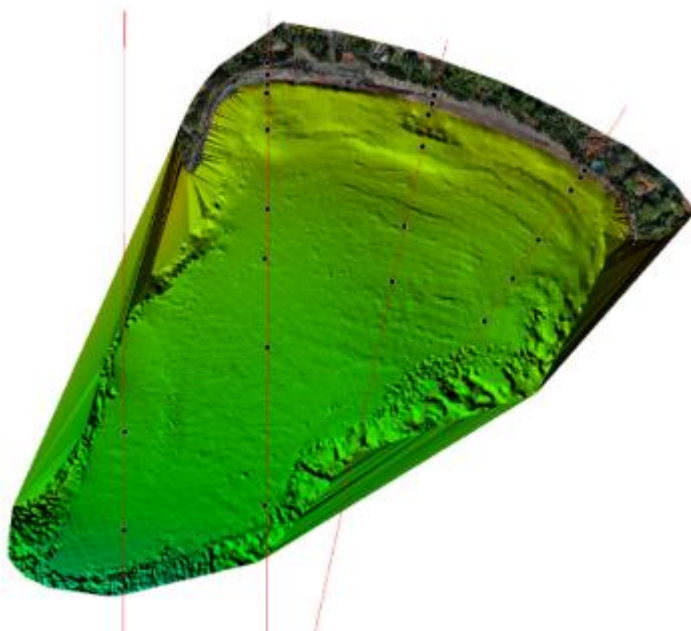


Figura 34 - Rilievo da drone spiaggia emersa e rilievo multibeam spiaggia sommersa Genn'e Mari



Figura 35 - Rilievo da drone - particolare Spiaggia di Genn'e Mari

Nelle mappe riportate in figura 36, sono evidenziati, tratte dal Capitolato tecnico d'appalto, per ciascuna spiaggia, i transesti ed il piano di campionamento dei sedimenti e l'ubicazione dei sensori di misura meteo - marina.

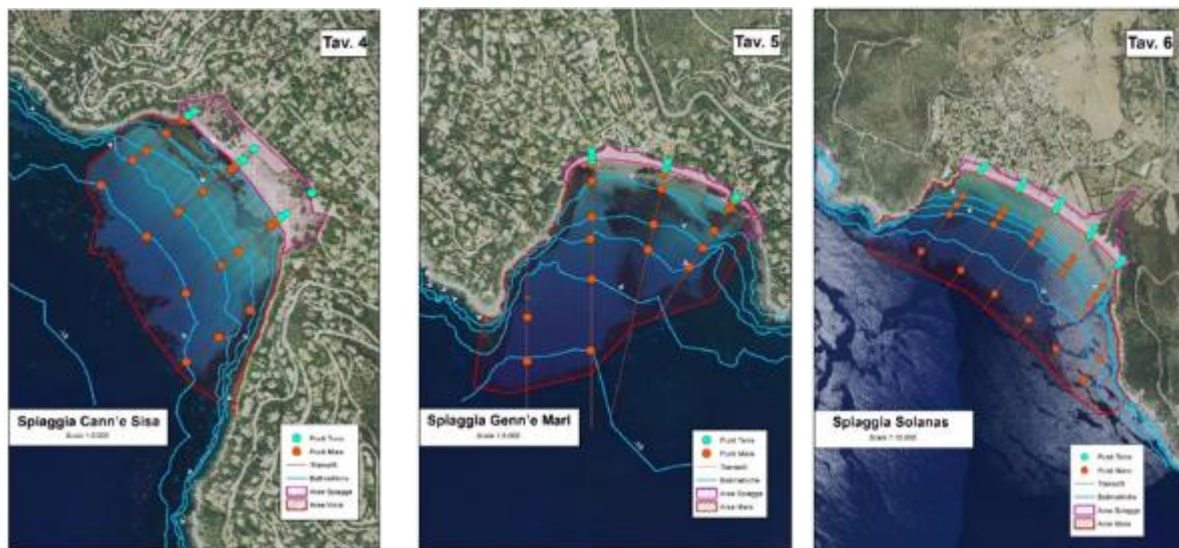


Figura 36 – Mappe dei transesti con piani di campionamento delle spiagge

Modalità di rilevamento: attività e indagini in laboratorio in alveo ed in spiaggia

L'unità fisiografica è stata oggetto di caratterizzazione sedimentologica e minero-petrografica.

L'analisi ha riguardato il campionamento, le analisi granulometriche e minero-petrografiche, sia dei sedimenti raccolti nell'ambito dell'alveo attivo del Rio Solanas sia i sedimenti delle tre spiagge in esame, trattati nel laboratorio Geologico-petrografico del Dipartimento Geologico.

In ambito fluviale si è proceduto al campionamento dei sedimenti delle barre prevalentemente sabbiose dei depositi alluvionali attuali, da cui sono stati prelevati 36 campioni, identificati nella mappa di sintesi, raccolti dal tratto terminale prima della foce alle zone più a monte. In considerazione del fatto che per il naturale approvvigionamento di materiale sulla spiaggia, i sedimenti maggiormente mobilizzabili dall'alveo, sono quelli più fini, i campioni prelevati si riferiscono prevalentemente alla frazione sabbiosa della parte superficiale (0-40 cm) che presenta quasi sempre anche una componente ghiaiosa; in alcuni casi si è ritenuto opportuno campionare i sedimenti nella ripa di erosione del terrazzo, laddove questa presentasse natura sabbiosa;

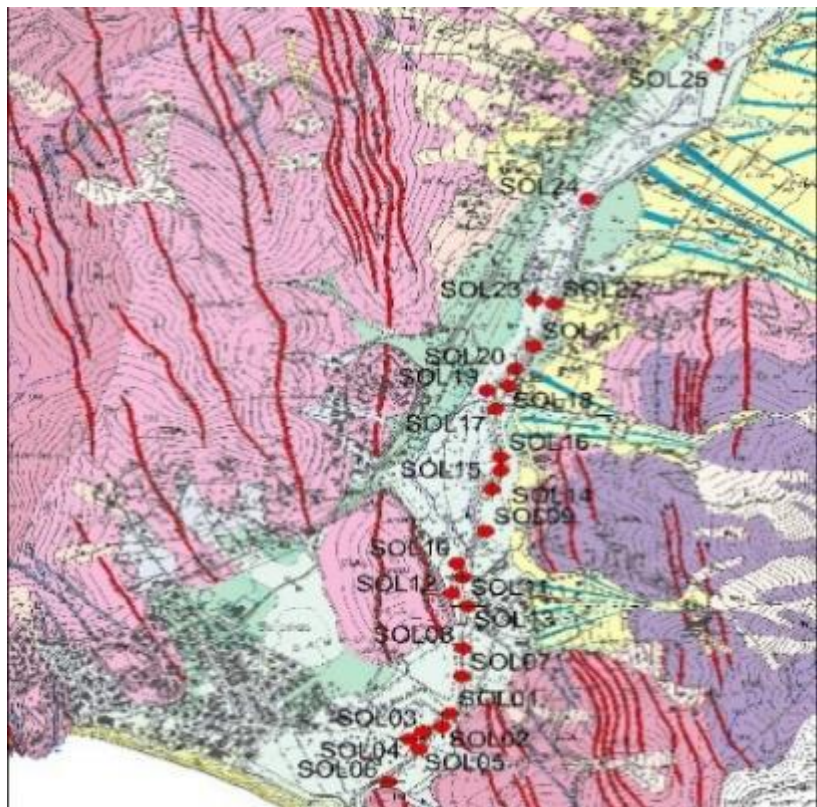


Figura 37 – Stralcio della carta geologica con evidenziato il piano di campionamento dei sedimenti fluviali del Rio Solanas

tali sedimenti costituiscono infatti anche essi, fonte di ricarica diretta del corridoio fluviale.

In ambito di spiaggia sono stati raccolti complessivamente 88 campioni, di cui 36 in spiaggia emersa e 52 in spiaggia sommersa.

Per le analisi granulometriche dei sedimenti, sia fluviali che di spiaggia (emersa e sommersa) è stato utilizzato un analizzatore di particelle CAMSIZER P4 della Retsch Technology che misura simultaneamente, a secco, sia la dimensione sia le forme di particelle solide incoerenti con molti dettagli e una risoluzione elevata.

L'uso del CAMSIZER, ha permesso di impiegare tempi di lavoro molto ridotti dato che il tempo di analisi rispetto alla tradizionale setacciatura risulta molto breve (2-3 min.).

L'analizzatore di particelle CAMSIZER P4 utilizza il principio dell'analisi di immagine dinamica (ISO 13322-2) come schematizzato nella figura 26.

Il campione è trasportato nel campo di misura tramite un alimentatore vibrante: le particelle cadono tra la sorgente luminosa planare e 2 telecamere CCD. Le ombre delle particelle proiettate vengono registrate ad una velocità di oltre 60 immagini al secondo ed analizzate. In questo modo, quasi ogni singola particella nel flusso di materiale sfuso viene registrata e valutata. Pertanto, è possibile misurare con estrema accuratezza particelle in un ampio intervallo da 20 μm a 30 mm, senza dover cambiare campo di misura o effettuare regolazioni.

Lo strumento è costituito da un corpo centrale provvisto di un imbuto (funnel) in cui viene posto il campione di materiale da misurare. Le particelle componenti il campione scorrono lungo un piatto vibrante (feeder) fino a quando, giunte all'estremità dello stesso, iniziano a cadere nella camera di misura. All'interno della camera di misura ogni particella, illuminata da una luce bianca parallela, viene ripresa da due telecamere digitali, una per i clasti di dimensioni maggiori (CCD-Basic) e l'altra per quelli più piccoli (CCD-Zoom).

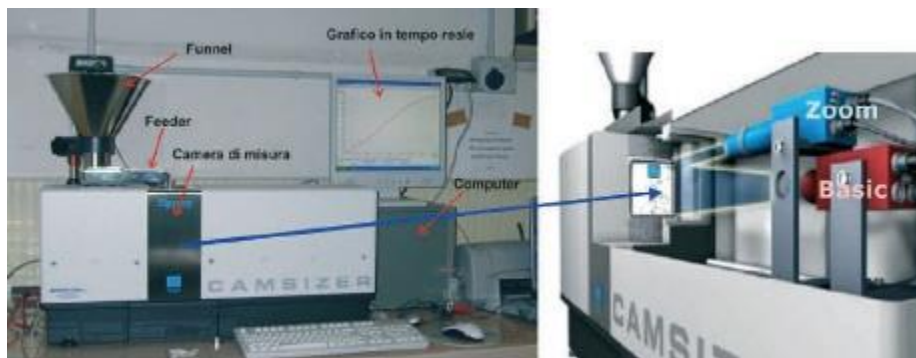


Figura 38 - Il granulometro a scansione di immagine – Camsizer P4

Le immagini registrate dalle telecamere, che rappresentano la proiezione dell'ombra di ogni particella, vengono elaborate in tempo reale da un software installato su un computer collegato allo strumento. La proiezione di ogni particella viene scansionata secondo 64 direzioni di misura diverse con un'altissima risoluzione, in modo da poter ottenere la misura precisa di diverse grandezze quali area, perimetro, misure di lunghezza e particolari parametri morfologici.

Per definire la dimensione (x) di una particella, il software utilizza diversi modelli: xcmín, xarea, xFemin, xFemax, xMamin, xMarec, xlength. Ogni modello permette di misurare proprietà diverse di una particella a cui corrispondono diverse distribuzioni cumulative del volume di particelle (Q3-distribution).

I risultati finali possono essere rappresentati sia mediante una curva cumulativa che attraverso altri tipi di grafici (istogrammi e gaussiane). Infine è possibile visualizzare delle tabelle e dei reports riassuntivi dei valori e dei parametri misurati sia delle dimensioni che delle forme delle particelle costituenti il campione analizzato.

I risultati di misura vengono salvati in una serie di file nella directory specifica di salvataggio dei dati.

Grazie ai tempi di esposizione estremamente brevi, la sorgente luminosa a LED a luce stroboscopica consente di produrre immagini molto nitide e di determinare, senza distorsioni. Il forte contrasto consente, allo stesso tempo, di visualizzare i dettagli della struttura superficiale delle particelle quasi come attraverso un microscopio. La frequenza della luce lampeggiante è così alta che lo stroboscopio non è visibile ad occhio nudo.

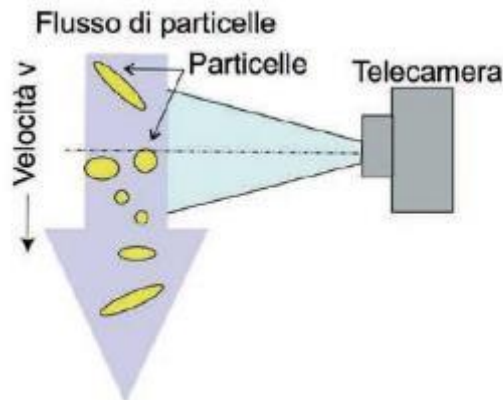


Figura 39 – Schema di funzionamento del granulometro Camsizer P4

Studio dei sedimenti fluviali

I campioni fluviali prelevati sono stati schedati (vedi Allegato “Indagine sedimentologica - Schede Campioni fluviali”) riportando il nome (Id. campione), il numero interno del laboratorio geologico petrografico (Id. laboratorio), la località e il comune di prelievo, la descrizione generale del punto di campionamento corredata di alcune immagini, la descrizione delle modalità di campionamento, le caratteristiche granulometriche composizionali del campione, e di colore secondo le tabelle di Munsell (Soil Color Chart), le caratteristiche di forma secondo Pettijohn et al. 1973 e la classificazione di Folk per sedimenti con matrice fine <15%. La scheda è inoltre corredata da immagini fotografiche del sito di prelievo e della fase di campionamento e del trattamento in laboratorio.

Di tutti i campioni, è stata eseguita analisi granulometrica, delle frazioni al di sotto di 4-5 cm. evidenziando nella scheda la presenza di eventuali elementi più grossolani.

Id. Campione:	SOL1	Id. Laboratorio:	1564
Località:	Campulongu	Comune:	Sinnai
Coordinate:	Latitudine: 39°03'09,2"	Longitudine:	09°26'10,7"
Descrizione generale sito di campionamento: il campione è stato prelevato lungo la parte finale dell'asta fluviale del Rio Solanas su una barra fluviale laterale presso il letto di minima, prevalentemente sabbiosa con elementi ciottolosi a spigolo vivo in bassa percentuale.			
Inquadramento generale sito di campionamento e immagine relativa:			
			
Descrizione del campionamento: il campione è stato prelevato in canaletta sulle pareti di un foro di dimensioni 40x40 cm e profondità 40 cm.			
Foto del campione in campo:		Foto del campione di laboratorio:	
			
Descrizione del campione e classificazione: Sabbie con 85% di passante al 2 mm. Matrice a grana fine <15%. La classe maggiormente rappresentata tra quelle considerate è quella tra 0,42 e 0,71 mm (vedi allegato) col 30,8%. Il 15,1 % è costituito da elementi compresi tra 2 e 14 mm. Nel campione si rinviene un elemento da 3 cm (non preso in considerazione nell'analisi granulometrica). Colore della matrice fine (Munsell - Soil color chart): 10YR 6/4 Forma dei granuli (Pettijohn et al. 1973): da subarrotondati a subangolosi Classificazione di FOLK (1974): Arcose			

Figura 40 - La scheda campione

L'analisi granulometrica dei campioni è stata effettuata con i parametri basati sul volume: nella tabella successiva, tra i parametri possibili rilevati dal Camsizer, si evidenziano per le singole classi date in mm, le percentuali singole (p3 %), le percentuali cumulative (Q3 %) i dati di sfericità (SPHT3), simmetria (Symm3), il rapporto b/l 3 ed il numero di particelle conteggiate (PDN).

In figura 41 è mostrato, a titolo esemplificativo, il relativo grafico della distribuzione granulometrica ottenuta con le percentuali cumulative basate sul volume (Q3% corrispondente al “materiale passante” cumulativo in analogia con la setacciatura); al grafico cumulativo è sovrapposto, l'istogramma di frequenza delle classi scelte (p3% corrispondente alla proporzione in volume di particelle in un certo intervallo dimensionale rispetto al volume totale).

Size class	[mm]	p3 [%]	Q3 [%]	SPHT3	Symm3	b/l3	PCN
0.038	< 0.038	0.01	0.01	0.914	0.884	0.666	48614
0.075	0.075	0.19	0.20	0.889	0.874	0.685	1035239
0.150	0.150	1.86	2.05	0.849	0.884	0.643	737957
0.300	0.300	4.06	5.11	0.842	0.885	0.654	351169
0.600	0.600	21.11	27.22	0.827	0.879	0.670	540540
1.200	1.200	30.75	37.96	0.802	0.868	0.695	197542
2.500	2.500	13.69	71.58	0.780	0.853	0.697	24796
5.000	5.000	0.03	93.61	0.767	0.847	0.696	5209
10.000	10.000	3.20	92.81	0.750	0.840	0.699	909
20.000	20.000	2.10	84.91	0.754	0.846	0.694	334
40.000	40.000	1.89	85.80	0.732	0.848	0.676	195
80.000	80.000	2.01	85.81	0.733	0.849	0.696	124
160.000	160.000	1.23	90.04	0.754	0.858	0.727	49
320.000	320.000	0.57	90.71	0.760	0.872	0.790	17
640.000	640.000	0.70	91.41	0.814	0.887	0.703	9
1280.000	1280.000	0.90	92.31	0.874	0.915	0.705	6
2560.000	2560.000	0.13	92.44	0.753	0.830	0.786	1
5120.000	5120.000	4.06	95.49	0.731	0.889	0.635	5
10240.000	10240.000	0.00	95.49				0
20480.000	20480.000	3.51	100.00	0.817	0.835	0.666	1
40960.000	40960.000	0.00	100.00				0
81920.000	81920.000	0.00	100.00				0

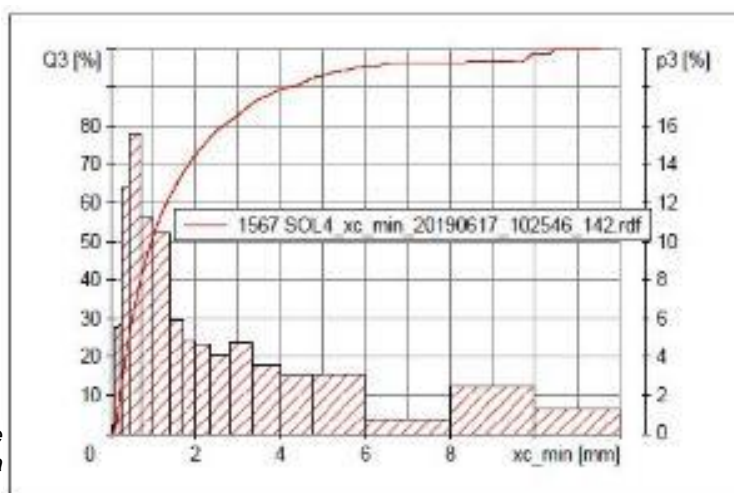


Figura 41 – Grafico della distribuzione granulometrica

Nel riquadro sottostante si evidenzia il riepilogo delle misure dei granuli ai vari percentili: al 10°, al 25°, al 50° (mediana), al 75°, al 90°, al 95°

x(Q3=10.00 %) = 0,230 mm
x(Q3=25.00 %) = 0,434 mm
x(Q3=50.00 %) = 0,964 mm

x(Q3=75.00 %) = 2,193 mm
x(Q3=90.00 %) = 4,166 mm
x(Q3=95.00 %) = 5,737 mm

Di ciascun campione sono inoltre forniti anche i parametri riassuntivi di alcune delle caratteristiche di forma (vedi riquadro sottostante) come:

- la percentuale al valore di 0,9 di sfericità;
- la percentuale al valore di 0,9 di simmetria;
- la percentuale al valore di 0,9 di rapporto b/l;
- la media del valore di sfericità dei granuli;
- la media del valore di simmetria;
- la media del rapporto b/l

Q3 (SPHT=0,9) = 86,94 %
Q3 (Symm=0,9) = 68,91 %
Q3 (b/l=0,9) = 99,37 %

Mean value SPHT3 = 0,7633
Mean value Symm3 = 0,8592
Mean value b/l3 = 0,6861

Per chiarezza, si fornisce di seguito la definizione delle caratteristiche di forma evidenziate:

Sfericità: è un parametro compreso tra 0 e 1; per una sfera ideale la misura di sfericità è 1, in tutti gli altri casi è inferiore a 1; il grado di sfericità si quantifica comparando la superficie di una particella con quella di una sfera avente lo stesso volume; tale parametro non è da confondere con il grado di arrotondamento (esempio del cubo e del dodecaedro: pur essendo il dodecaedro più sferico del cubo ha arrotondamento nullo poiché le sue facce formano angoli diversi da zero); la sfericità è determinata dal rapporto dell'area di proiezione di una particella A rispetto al suo perimetro secondo la formula $SPHT=4\pi A/P^2$.

Simmetria: è un parametro compreso tra 0 e 1; per una sfera ideale la misura di simmetria è 1; ogni particella è scansata in più di 64 direzioni, per ciascuna direzione sono determinate le due distanze r_1 e r_2 da un centro come fossero i raggi di una sfera; il valore dato per simmetria è il minimo valore tra i valori misurati in differenti direzioni a partire dal centro del granulo secondo la formula

$$\text{Symm} = \frac{1}{2}(1 + \min(r_1/r_2)).$$

Rapporto b/l: è un parametro compreso tra 0 e 1 che si riferisce al grado di allungamento della particella; costituisce il Rapporto di Aspetto ed è dato dal rapporto tra la diagonale minore del granulo ($x_{c \min}$) e la diagonale maggiore ($x_{f \max}$) secondo la formula $b/l = x_{c \min} / x_{f \max}$.



L'andamento del rapporto b/l sembra molto significativo rispetto alla forma dei granuli del sedimento come si può notare nel secondo grafico. (Figura 42)

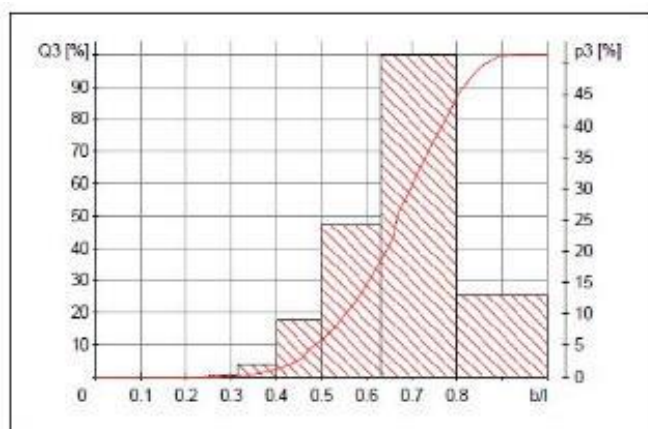


Figura 42 - Istogramma della forma dei granuli del sedimento

Sintesi dei risultati dei sedimenti fluviali

I campioni fluviali prelevati, hanno riguardato essenzialmente le barre sabbiose e quindi la frazione più fine dei depositi fluviali, che nel caso del Rio Solanas risultano caratterizzati al contrario dalla presenza di elementi di grossa taglia fino a 40-50 cm di diametro

La frazione sabbiosa rinvenuta nei campioni prelevati sul Rio Solanas, che in base alla classificazione di Udden-Wentworth (1922) è quella compresa tra 2 mm e 0,0625 mm, varia da 34,5% a 93,8% mentre mediamente si rinviene nei campioni il 60% di sabbia. Si tratta pertanto in generale di sabbie ghiaiose.

Per tutti i campioni è stata osservata una forma dei granuli da sub-arrotondata a sub-angolosa (Pettijohn et al. 1973) legata evidentemente a fenomeni di trasporto piuttosto moderati entro il bacino.

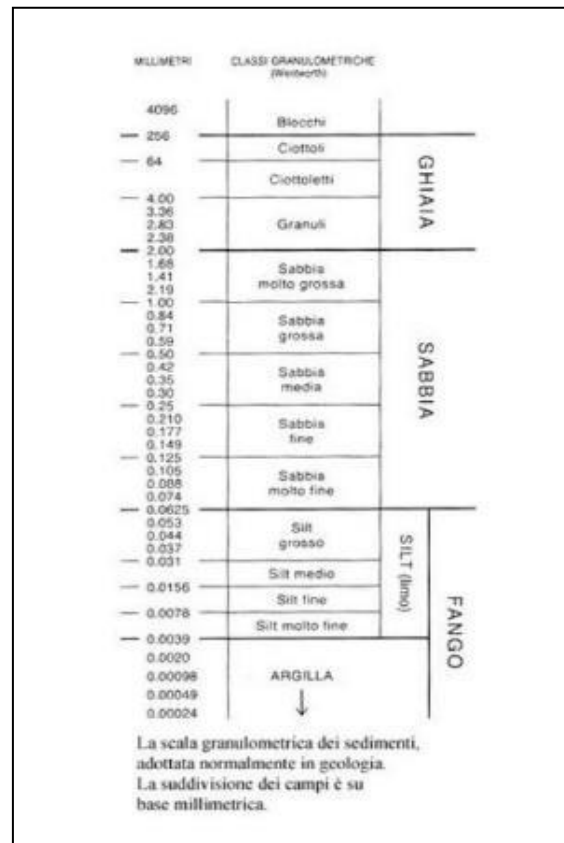


Tabella 6 - Classificazione di Udden-Wentworth (1922) tratto da: <http://www.siripro.it/dipgeopa.asp?structure=education&where=progeo&ID=38&lang=it>

La composizione del sedimento è quarzoso-feldspatica e la stima delle proporzioni tra i vari tipi di granulo è stata fatta mediante osservazione allo stereo microscopio ottico binoculare.

In nessun caso, sono state osservate percentuali significative di elementi inferiori alla dimensione limite per le sabbie di 0,0625 mm; tali percentuali sono sempre contenute, con valori di pochi punti %. Trattasi pertanto sempre di depositi contenenti meno del 15% di matrice fine per i quali può applicarsi la classificazione di Folk 1974 (figura 43) in funzione dei tre componenti principali quarzo, feldspati e frammenti litici. I sedimenti campionati sono stati classificati come arcocici (Folk 1974).

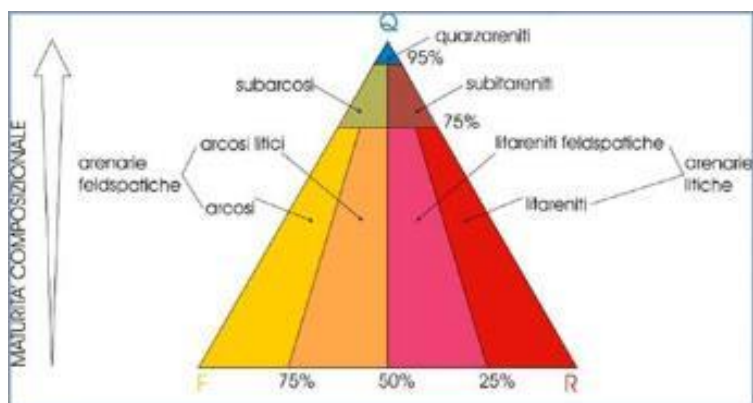


Figura 43 - Classificazione di Folk

Per il colore, rilevato sulla matrice medio-fine, è stata utilizzata la Munsell - Soil color chart.

Studio dei sedimenti di spiaggia

I sedimenti di spiaggia sono stati campionati per transetti orientati trasversalmente rispetto alla linea di riva a partire dal retro-spiaggia e fino a mare entro la baia in corrispondenza delle batimetriche 1m, 2m, 4m, 6m. I campioni a terra sono stati prelevati a mano ed alla profondità 0-0,40 m. mentre i campioni a mare sono stati prelevati con utilizzo di box-core o benna del peso di 500-1000 gr. Le attività di campionamento affidate alla stessa Società, Martech Srl, che ha eseguito i rilievi geofisici, sono state realizzate tra il 6 ed il 7 novembre 2019 nelle zone di spiagge emerse e battigia, e tra il 3 ed il 14 gennaio 2020 nelle zone sommerse.

I campioni, immediatamente pervenuti al laboratorio geologico-petrografico, sono stati identificati, asciugati e quartati e su di essi sono state eseguite determinazioni al granulometro ad analisi di immagine, analisi allo stereo-microscopio ottico volte a studiare la composizione mineralogica delle spiagge e a evidenziare la presenza di materiale bioclastico, analisi in diffrattometria per ulteriori caratterizzazioni mineralogiche.

Sono stati determinati inoltre il colore e il peso di volume.

Nelle tabelle che seguono (tabelle 7, 8, 9, 10) sono riportati i principali risultati suddivisi per le spiagge emerse e per le spiagge sommerse.

Ogni campione, dopo asciugatura, è stato fotografato in laboratorio come si può vedere nelle tabelle relative alle tre spiagge indagate e suddivisi per parte emersa-battigia e parte sommersa.

Gli studi granulometrici ad analisi di immagine, suddivisi per spiaggia e all'interno di ciascuna spiaggia per parte emersa-battigia e parte sommersa, sono riportati nelle ta.

Di seguito si riporta per ciascuna spiaggia la descrizione e l'analisi sedimentologica.

Spiaggia emersa	Transetto	Campione	Rif. Interno	Peso di volume (g/mL)	COLORE MUNSELL
SOLANAS	1	SOLA 1	1708	1,46	10YR 6/2
SOLANAS	1	SOLA 2	1709	1,54	10YR 8/2
SOLANAS	1	SOLA 3	1710	1,68	10YR 8/2
SOLANAS	1	SOLA 4	1711	1,55	10YR 8/2
SOLANAS	2	SOLA 9	1712	1,39	10YR 5/4
SOLANAS	2	SOLA 10	1713	1,51	10YR 8/1
SOLANAS	2	M_SOL_11	1767	1,73	2,5Y 7/4
SOLANAS	2	SOLA 12	1714	1,44	10YR 8/1
SOLANAS	3	SOLA 17	1715	1,41	10YR 6/2
SOLANAS	3	SOLA 18	1716	1,48	10YR 8/3
SOLANAS	3	SOLA 19	1717	1,39	10YR 8/2
SOLANAS	3	SOLA 20	1718	1,46	10YR 7/3
SOLANAS	4	SOLA 25	1719	1,47	10YR 6/4
SOLANAS	4	SOLA 26	1720	1,51	10YR 8/3
SOLANAS	4	SOLA 27	1721	1,52	10YR 7/3
SOLANAS	4	SOLA 28	1722	1,39	10YR 8/3
SOLANAS	5	SOLA 32	1723	1,39	10YR 7/4
SOLANAS	5	SOLA 33	1724	1,40	2,5Y 6/4
SOLANAS	5	SOLA 34	1725	1,41	10YR 8/4
SOLANAS	5	SOLA 35	1726	1,46	10YR 7/5

Tabella 7 – Spiaggia emersa di Solanas

Spiaggia sommersa	Transetto	Campione	Rif. Interno	Peso di volume (g/mL)	COLORE MUNSELL
SOLANAS	1	M_SOL_05	1763	1,25	2,5Y 7/2
SOLANAS	1	M_SOL_06	1764	1,27	2,5Y 7/2
SOLANAS	1	M_SOL_07	1765	1,38	2,5Y 7/3
SOLANAS	1	M_SOL_08	1766	1,39	2,5Y 6/3
SOLANAS	2	M_SOL_13	1768	1,32	2,5Y 7/3
SOLANAS	2	M_SOL_14	1769	1,38	2,5Y 7/2
SOLANAS	2	M_SOL_15	1770	1,32	2,5Y 7/2
SOLANAS	2	M_SOL_16	1771	1,30	2,5Y 7/3
SOLANAS	3	M_SOL_21	1772	1,27	2,5Y 7/3
SOLANAS	3	M_SOL_22	1773	1,34	2,5Y 6/3
SOLANAS	3	M_SOL_23	1774	1,36	2,5Y 6/3
SOLANAS	3	M_SOL_24	1775	1,38	2,5Y 6/3
SOLANAS	4	M_SOL_29	1776	1,43	2,5Y 7/2
SOLANAS	4	M_SOL_30	1777	1,38	2,5Y 7/3
SOLANAS	4	M_SOL_31	1778	1,36	2,5Y 7/2
SOLANAS	4	M_SOL_36	1779	1,39	2,5Y 6/2
SOLANAS	5	M_SOL_37	1780	1,29	2,5Y 7/3
SOLANAS	5	M_SOL_38	1781	1,19	2,5Y 7/2
SOLANAS	5	M_SOL_39	1782	1,34	2,5Y 7/2
SOLANAS	5	M_SOL_40	1783	1,38	2,5Y 8/3
SOLANAS	6	M_SOL_41	1784	1,57	2,5Y 7/3
SOLANAS	6	M_SOL_42	1785	1,39	2,5Y 7/3

Tabella 8 – Spiaggia sommersa Solana

Spiaggia emersa		Transetto	Campione	Rif. Interno	Peso di volume (g/mL)	COLORE MUNSSELL
TORRE DELLE STELLE	GENNEMARI	7	GEM 3	1737	1,45	10YR 7/2
TORRE DELLE STELLE	GENNEMARI	7	GEM 4	1738	1,41	10YR 8/1
TORRE DELLE STELLE	GENNEMARI	7	GEM 5	1739	1,74	10YR 6/1
TORRE DELLE STELLE	GENNEMARI	8	GEM 12	1740	1,40	10YR 6/3
TORRE DELLE STELLE	GENNEMARI	8	GEM 13	1741	1,37	10YR 8/1
TORRE DELLE STELLE	GENNEMARI	8	GEM 14	1742	1,65	10YR 8/1
TORRE DELLE STELLE	GENNEMARI	9	GEM 19	1743	1,42	10YR 7/3
TORRE DELLE STELLE	GENNEMARI	9	GEM 20	1744	1,47	10YR 8/1
TORRE DELLE STELLE	CANNESISA	11	CES 1	1727	1,24	10YR 6/4
TORRE DELLE STELLE	CANNESISA	11	CES 2	1728	1,42	10YR 7/3
TORRE DELLE STELLE	CANNESISA	12	CES 9	1730	1,28	7,5YR 5/6
TORRE DELLE STELLE	CANNESISA	12	CES 10	1731	1,47	10YR 8/2
TORRE DELLE STELLE	CANNESISA	12	CES 11	1732	1,49	2,5Y 8/1
TORRE DELLE STELLE	CANNESISA	13	CES 17	1734	1,38	10YR 7/1
TORRE DELLE STELLE	CANNESISA	13	CES 18	1735	1,45	GLE1 7/5GY
TORRE DELLE STELLE	CANNESISA	13	CES 19	1736	1,68	GLE1 8/N

Tabella 9 – Spiagge emerse di Torre delle Stelle

Spiaggia sommersa		Transetto	Campione	Rif. Interno	Peso di volume (g/mL)	COLORE MUNSSELL
TORRE DELLE STELLE	GENNEMARI	10	M_GEM_01	1801	1,18	GLE1 7/10Y
TORRE DELLE STELLE	GENNEMARI	10	M_GEM_02	1802	1,23	GLE1 7/10Y
TORRE DELLE STELLE	GENNEMARI	7	M_GEM_06	1803	1,36	GLE1 7/10Y
TORRE DELLE STELLE	GENNEMARI	7	M_GEM_07	1804	1,29	GLE1 7/10Y
TORRE DELLE STELLE	GENNEMARI	7	M_GEM_08	1805	1,31	GLE1 6/5GY
TORRE DELLE STELLE	GENNEMARI	7	M_GEM_09	1806	1,32	GLE1 7/10Y
TORRE DELLE STELLE	GENNEMARI	7	M_GEM_10	1807	1,31	GLE1 7/10Y
TORRE DELLE STELLE	GENNEMARI	7	M_GEM_11	1808	1,25	GLE1 7/10Y
TORRE DELLE STELLE	GENNEMARI	8	M_GEM_16	1809	1,37	GLE1 7/10Y
TORRE DELLE STELLE	GENNEMARI	8	M_GEM_17	1810	1,28	GLE1 7/10Y
TORRE DELLE STELLE	GENNEMARI	8	M_GEM_18	1811	1,30	GLE1 7/10Y
TORRE DELLE STELLE	GENNEMARI	9	M_GEM_22	1812	1,42	GLE1 8/10Y
TORRE DELLE STELLE	GENNEMARI	9	M_GEM_23	1813	1,24	GLE1 7/10Y
TORRE DELLE STELLE	GENNEMARI	9	M_GEM_24	1814	1,25	GLE1 7/10Y
TORRE DELLE STELLE	GENNEMARI	9	M_GEM_25	1815	1,42	GLE1 6/10Y
TORRE DELLE STELLE	CANNESISA	11	M_CES_04	1786	1,39	GLE1 5/5GY
TORRE DELLE STELLE	CANNESISA	11	M_CES_05	1787	1,34	GLE1 8/N
TORRE DELLE STELLE	CANNESISA	11	M_CES_06	1788	1,32	GLE1 8/N
TORRE DELLE STELLE	CANNESISA	11	M_CES_07	1789	1,33	GLE1 8/N
TORRE DELLE STELLE	CANNESISA	12	M_CES_12	1790	1,33	GLE1 7/N
TORRE DELLE STELLE	CANNESISA	12	M_CES_13	1791	1,26	GLE1 8/N
TORRE DELLE STELLE	CANNESISA	12	M_CES_14	1792	1,28	GLE1 7/N
TORRE DELLE STELLE	CANNESISA	12	M_CES_15	1793	1,32	GLE1 8/N
TORRE DELLE STELLE	CANNESISA	13	M_CES_20	1794	1,39	GLE1 8/N
TORRE DELLE STELLE	CANNESISA	13	M_CES_21	1795	1,35	GLE1 8/N
TORRE DELLE STELLE	CANNESISA	13	M_CES_22	1796	1,23	GLE1 8/N
TORRE DELLE STELLE	CANNESISA	13	M_CES_23	1797	1,20	GLE1 8/10Y
TORRE DELLE STELLE	CANNESISA	14	M_CES_24	1798	1,26	GLE1 7/N
TORRE DELLE STELLE	CANNESISA	14	M_CES_25	1799	1,21	GLE1 8/10Y
TORRE DELLE STELLE	CANNESISA	14	M_CES_26	1800	1,27	GLE1 8/10Y

Tabella 10 –Spiagge sommerse di Torre delle Stelle

Spiaggia di Solanas

Su questa spiaggia sono stati eseguiti sei transetti e prelevati un totale di 42 campioni.

La frazione sabbiosa, che in base alla classificazione di Udden-Wentworth (1922) è quella compresa tra 2 mm e 0,0625 mm, varia tra i campioni di spiaggia emersa e battigia, da 36,8% a 99,8% mentre il dato medio è di 89,0% e il dato mediano è di 94,43% di frazione sabbiosa.

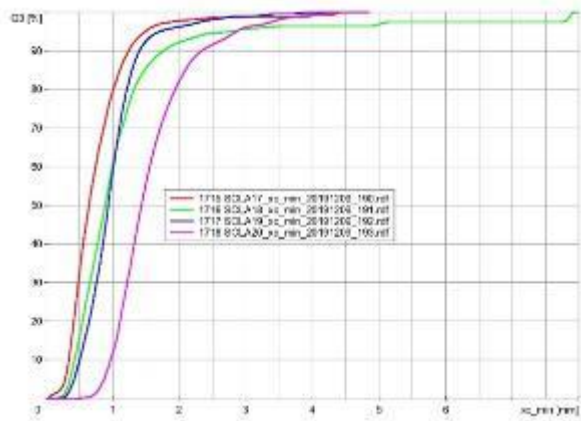
I campioni sono stati classificati prevalentemente come “sabbie”.

E' stato riscontrato che campioni con maggior presenza di ghiaia, fino al 63% (campione MSOL 11), sono quelli prelevati nella zona della battigia dove l'onda ha maggiore energia.

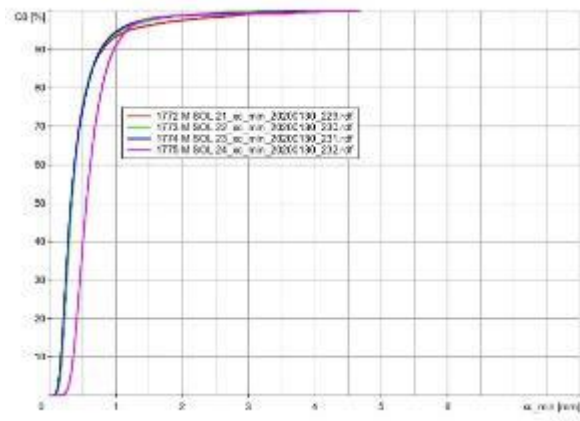
I grafici esplicativi di questa situazione sono mostrati in allegato.

I grafici in allegato, così come le figure che seguono, mostrano a confronto, le curve dei campioni prelevati nei 5 transetti (raggruppati per transetto), relativi alla spiaggia emersa-battigia e alla parte sommersa; la numerazione dei campioni cresce dal retro-spiaggia alla battigia, come riportato nell'esempio in figura *a* (transetto 3 dal SOLA17 al SOLA20 per la spiaggia emersa) e dalla riva alle zone di mare più profondo vedi figura *b* (dal M SOL21 al M SOL24 per lo stesso transetto nella parte di spiaggia sommersa).

Come riportato più sopra i grafici generalmente evidenziano che i campioni più ghiaiosi appartengono alla zona della battigia.



a: Analisi granulometriche spiaggia emersa transetto 3

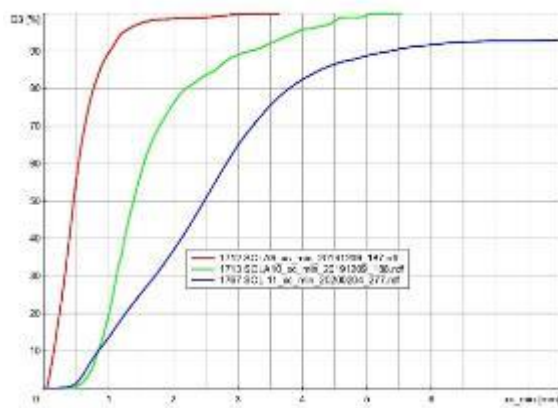


b: Analisi granulometriche spiaggia sommersa transetto 3

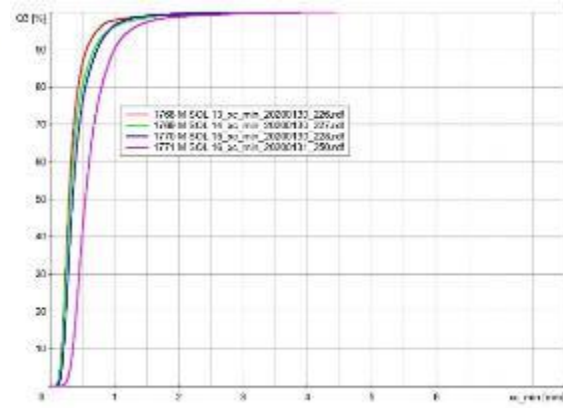
Figure 44 – Grafici relativi al transetto n.3

I grafici (figura 44) mostrano inoltre in maniera evidente, che le sabbie delle parti sommerse, hanno granulometria abbastanza omogenea e sono più fini di quelle presenti nella parte del corpo di spiaggia emerso.

I grafici relativi ai transetti 2 e 4 (a e b) (figure 45 e 46) confermano quanto evidenziato più sopra.

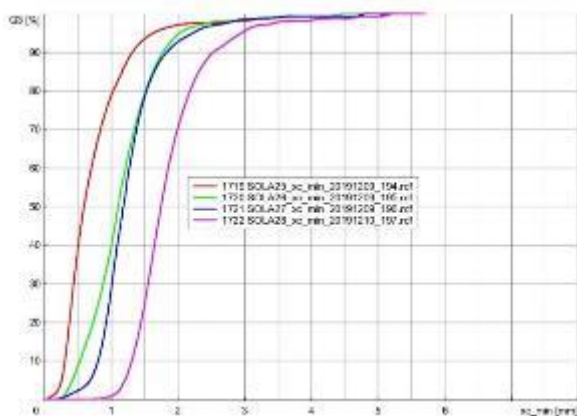


a: Analisi granulometriche spiaggia emersa transetto 2

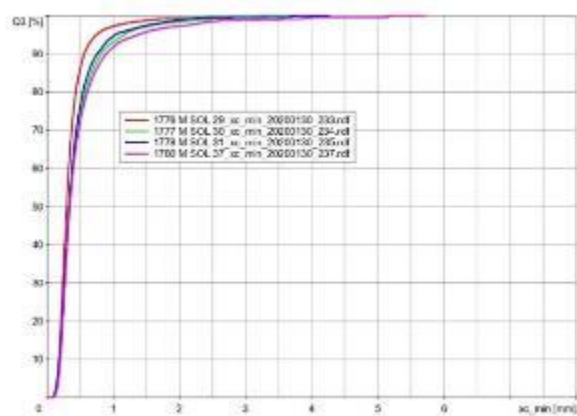


b: Analisi granulometriche spiaggia sommersa transetto 2

Figure 45 – Grafici relativi al transetto n.2



a: Analisi granulometriche spiaggia emersa transetto 4



b: Analisi granulometriche spiaggia sommersa transetto 4

Figure 46 – Grafici relativi al transetto n.4

Il peso di volume dei campioni di spiaggia emersa-battigia oscilla tra il minimo di 1,39 e il massimo di 1,68 con un valore mediano di 1,43.

Il peso di volume dei campioni di spiaggia sommersa oscilla tra il minimo di 1,19 e il massimo di 1,73 con un valore mediano di 1,32.

Il peso di volume delle sabbie sommerse è inferiore a quello delle spiagge emerse.

Mineralogicamente, le "sabbie" prelevate in quest'area presentano, al netto degli elementi bioclastici ove presenti, una componente costituita principalmente da quarzo ialino e quarzo latteo, feldspati e litici di natura principalmente granitica e subordinatamente metamorfica; nelle sabbie della spiaggia sommersa è presente la mica bruna (biotite).

Le percentuali reciproche dei due tipi di quarzo variano al variare della granulometria e della posizione di prelievo del campione; in generale, il quarzo ialino è maggiormente presente nelle porzioni granulometricamente più fini e si concentra nei campioni della spiaggia sommersa. Generalmente si presenta debolmente arrotondato evidenziando spigoli vivi ed a volte abito cristallino.

Il feldspato, di colore da rosato a latteo, si presenta normalmente arrotondato e a volte ha spigoli vivi e facce cristalline proprie.

I litici sono arrotondati e i campioni prelevati presso la battigia presentano localmente litici di dimensioni centimetriche e ultra-centimetriche.

La componente bioclastica partecipa con percentuali che vanno dallo zero nelle sabbie della spiaggia emersa fino a circa 5-10% nelle porzioni delle spiagge sommerse.

I bioclasti sono costituiti sostanzialmente da frammenti conchigliari e solo raramente, da singoli individui ascrivibili a bivalvi, gasteropodi e foraminiferi cui si associano spicole di spugna in quantità variabili.

Le analisi diffrattometriche confermano la natura mineralogica della spiaggia costituita in ordine di abbondanza da feldspati potassici e calco-sodici, quarzo, subordinata biotite; in rari casi è stata osservata la presenza di anfibolo. La componente bioclastica (carbonati l.s.) all'analisi diffrattometrica è del tutto subordinata o assente evidenziando percentuali inferiori al 5%.

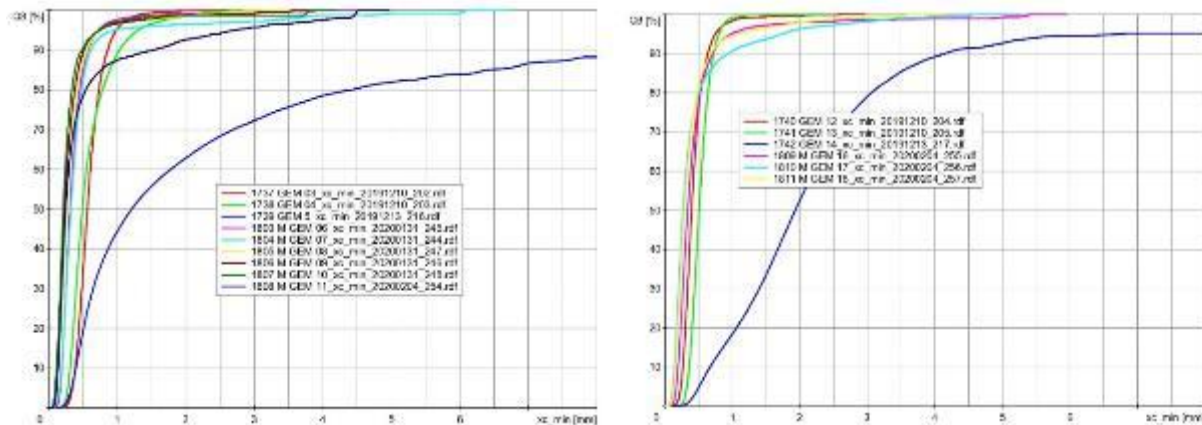
Spiaggia di Torre delle Stelle - Genn'e Mari

Su questa spiaggia sono stati eseguiti quattro transeetti e prelevati un totale di 23 campioni.

La frazione sabbiosa, che in base alla classificazione di Udden-Wentworth (1922) è quella compresa tra 2 mm e 0,0625 mm, rinvenuta nei campioni prelevati sulla spiaggia emersa di Genn'e Mari, varia da 42,5% a 99,7%; mediamente si rinviene nei campioni l'82,9% di sabbia ma è significativo il valore mediano di 98,6. I campioni sono stati classificati prevalentemente come "sabbie".

Anche in questa spiaggia è stato riscontrato che i campioni con maggior presenza di ghiaia, dal 15% al 57%, sono quelli prelevati nella zona della battigia dove l'onda ha maggiore energia; l'osservazione dei grafici comparativi allegati, dove i campioni, con numerazione progressiva come da cartografia allegata, sono raggruppati per transeetti, permette una facile verifica del fenomeno.

Sia il corpo di spiaggia emerso che quello sommerso, come si osserva dai grafici mostrati in figura 47, sono costituiti da sabbie di granulometria piuttosto fine; anche nel caso di questa spiaggia, si evidenzia come la granulometria della sabbia della zona della battigia sia più grossolana (la linea blu rappresenta la granulometria della battigia).



a: Analisi granulometriche spiaggia emersa e sommersa trans.7 b: Analisi granulometriche spiaggia emersa e sommersa trans.8
 Figura 47 – Grafici relativi al transetti n.7 e 8

Il peso di volume dei campioni di spiaggia emersa-battigia oscilla tra il minimo di 1,37 e il massimo di 1,74 con un valore mediano di 1,43.

Il peso di volume dei campioni di spiaggia sommersa oscilla tra il minimo di 1,18 e il massimo di 1,42 con un valore mediano di 1,30.

Il peso di volume delle sabbie sommerse è pertanto inferiore a quello delle spiagge emerse.

Mineralogicamente, le “sabbie” prelevate in quest’area presentano, al netto degli elementi bioclastici ove presenti, una componente costituita principalmente da quarzo ialino e subordinatamente latteo, feldspati e litici di natura principalmente granitica e subordinatamente metamorfica; nelle sabbie della spiaggia sommersa è presente la mica bruna (biotite).

Le percentuali reciproche dei due tipi di quarzo variano al variare della granulometria e della posizione di prelievo del campione; in generale il quarzo ialino è maggiormente presente nelle porzioni granulometricamente più fini e si concentra nei campioni della spiaggia sommersa; generalmente si presenta debolmente arrotondato evidenziando spigoli vivi e a volte abito cristallino.

Il feldspato, di colore da rosato a latteo si presenta normalmente molto arrotondato e solo raramente con spigoli vivi e facce cristalline proprie.

I litici sono arrotondati e i campioni prelevati presso la battigia presentano localmente litici di dimensioni centimetriche.

La componente bioclastica partecipa con percentuali che vanno dallo zero nelle sabbie della spiaggia emersa aumentando fino a circa 20-25% nelle porzioni delle spiagge sommerse con particolare riferimento ai campioni prelevati presso il posidonieto.

I bioclastici sono costituiti sostanzialmente da frammenti conchigliari e, nelle parti sommerse verso il posidonieto, da singoli individui ascrivibili a bivalvi, gasteropodi e foraminiferi cui si associano variabili percentuali di spicole di spugna.

Nei prospetti allegati si riportano puntualmente le osservazioni eseguite sulla componente bioclastica.

Le analisi diffrattometriche confermano la natura mineralogica della spiaggia costituita in ordine di abbondanza da feldspati potassici e calco-sodici, quarzo, subordinata biotite; in rari casi è stata osservata la presenza di anfibolo. La componente bioclastica (carbonati l.s.) all’analisi diffrattometrica è del tutto subordinata o assente evidenziando percentuali inferiori al 5%.

Spiaggia di Torre delle Stelle - Cann’e Sisa

Su questa spiaggia sono stati eseguiti quattro transetti e prelevati un totale di 23 campioni.

La frazione sabbiosa, che in base alla classificazione di Udden-Wentworth (1922) è quella compresa tra 2 mm e 0,0625 mm, rinvenuta nei campioni prelevati sulla spiaggia emersa di Cann'e Sisa, varia da 48,0% a 99,7%; mediamente si rinviene nei campioni l'87,8% di sabbia ma è significativo il valore mediano di 95,9.

I campioni sono stati classificati prevalentemente come "sabbie".

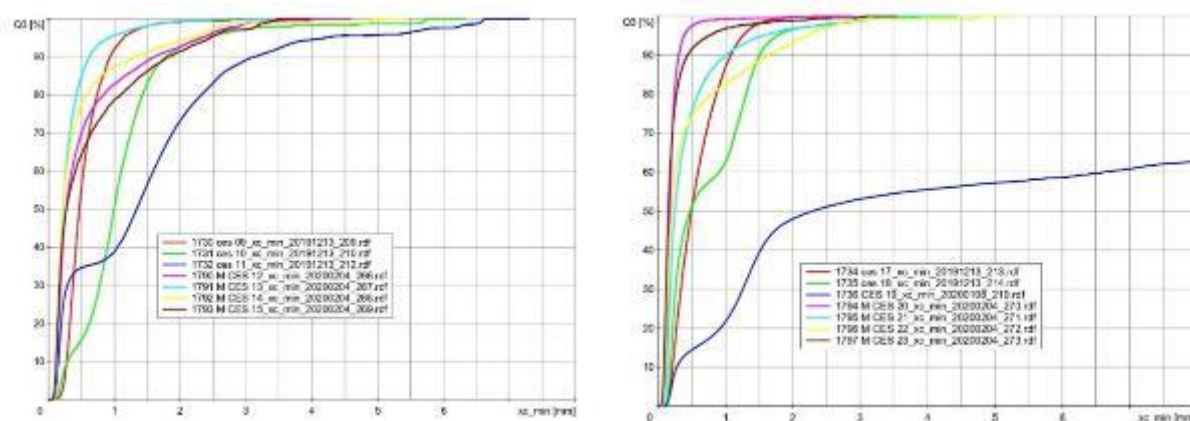
Anche in questa spiaggia è stato riscontrato che i campioni con maggior presenza di ghiaia, dal 26,7% al 51,9%, sono quelli prelevati nella zona della battigia dove l'onda ha maggiore energia. L'osservazione dei grafici allegati, permette una facile verifica del fenomeno.

Anche in questo corpo di spiaggia, come si può osservare dai grafici comparativi tra campioni dello stesso transetto mostrati in figura, la sabbia prelevata sul corpo di spiaggia sommerso è molto fine e la granulometria della zona della battigia è la più grossolana (la linea blu rappresenta la granulometria della battigia).

Il peso di volume dei campioni di spiaggia emersa-battigia oscilla tra il minimo di 1,24 e il massimo di 1,49 con un valore mediano di 1,42.

Il peso di volume dei campioni di spiaggia sommersa oscilla tra il minimo di 1,20 e il massimo di 1,39 con un valore mediano di 1,32.

Il peso di volume delle sabbie sommerse è inferiore a quello delle spiagge emerse.



a: An. granulometriche spiaggia emersa e sommersa trans.12 trans.13

b: An. granulometriche spiaggia emersa e sommersa

Figura 48 – Grafici relativi ai transetti n. 12 e 13

Mineralogicamente le "sabbie" prelevate in quest'area presentano, al netto degli elementi bioclastici ove presenti, una componente costituita principalmente da quarzo ialino e subordinatamente latteo, feldspati e litici di natura principalmente granitica e subordinatamente metamorfica, nelle sabbie della spiaggia sommersa è presente la mica bruna (biotite).

Le percentuali reciproche dei due tipi di quarzo variano al variare della granulometria e della posizione di prelievo del campione; in generale il quarzo ialino è maggiormente presente nelle porzioni granulometricamente più fini e si concentra nei campioni della spiaggia sommersa. Generalmente si presenta debolmente arrotondato evidenziando spigoli vivi ed a volte abito cristallino.

Il feldspato, di colore da rosato a latteo, si presenta normalmente molto arrotondato e solo raramente a spigoli vivi e facce cristalline proprie.

I litici sono arrotondati e i campioni prelevati presso la battigia presentano litici di dimensioni da centimetriche a pluri centimetriche.

La componente bioclastica partecipa con percentuali che vanno dallo zero nelle sabbie della spiaggia emersa fino a circa 15-20% nelle porzioni delle spiagge sommerse con particolare riferimento ai campioni prelevati presso il posidonieto.

I bioclastici sono costituiti sostanzialmente da frammenti conchigliari e, nelle parti sommerse verso il posidonieto, da singoli individui ascrivibili a bivalvi, gasteropodi e foraminiferi cui si associano variabili percentuali di spicole di spugna.

Nei prospetti allegati si riportano puntualmente le osservazioni eseguite sulla componente bioclastica.

Le analisi diffrattometriche confermano la natura mineralogica della spiaggia costituita in ordine di abbondanza da feldspati potassici e calco-sodici, quarzo, subordinata biotite; in rari casi è stata osservata la presenza di anfibolo. La componente bioclastica (carbonati l.s.) all'analisi diffrattometrica è del tutto subordinata o assente evidenziando percentuali inferiori al 5%.

Conclusioni

I campioni prelevati sulle tre spiagge, sono classificabili come "sabbie"; le sabbie sono fini nella parte sommersa e da medie a grossolane nella parte emersa che comprende anche i campioni di battigia.

Generalmente, in corrispondenza della battigia, sono state osservate sempre frazioni ghiaiose, con il massimo di 63% di ghiaia, osservata in un campione di battigia di Solanas.

Le tabelle mostrate di seguito mettono a confronto i dati statistici rilevati per le sabbie (percentuali di passante al 2 mm) delle spiagge emerse e battigia (tabella 11) con i dati rilevati per le sole parti emerse (tabella 12), escludendo pertanto la zona della linea di riva

Parametro statistico %	Spiagge emerse e battigia Totale	Parametro statistico %	Spiaggia emersa e battigia Solanas	Parametro statistico %	Spiaggia emersa e battigia Cannessisa	Parametro statistico %	Spiaggia emersa e battigia Gennemari
media	88,08	media	89,03	media	87,84	media	85,92
mediana	95,42	mediana	94,43	mediana	95,90	mediana	98,71
min	36,78	min	36,78	min	48,05	min	42,47
max	99,96	max	99,84	max	99,72	max	99,96

Tabella 11 – Dati statistici spiaggia emersa e battigia

Parametro statistico %	Spiagge emerse Totale	Parametro statistico %	Spiaggia emersa Solanas	Parametro statistico %	Spiaggia emersa Cannessisa	Parametro statistico %	Spiaggia emersa Gennemari
media	96,07	media	94,64	media	96,90	media	99,40
mediana	96,88	mediana	96,25	mediana	97,32	mediana	99,75
min	76,00	min	76,00	min	92,57	min	98,62
max	99,96	max	99,84	max	99,72	max	99,96

Tabella 12 – Dati statistici spiaggia emersa

Come si osserva dal confronto tra le due tabelle, il dato medio di percentuale di frazione sabbiosa, si alza notevolmente per tutte le spiagge (tabella b) quando si escludono i campioni di battigia.

La spiaggia di Genn'e Mari, che anche visivamente, nella parte emersa, è la più fine, mostra le maggiori percentuali, evidenziate sia dal dato medio che dal dato mediano, essendo quasi esclusivamente sabbiosa; la spiaggia di Cann'e Sisa risulta leggermente più grossolana e ancora più grossolana quella di Solanas.

I pesi di volume dei campioni di spiaggia emersa-battigia (tabella 13) oscillano tra il minimo di 1,24 g/cmc e il massimo di 1,74 cmc con un valore mediano di 1,45 cmc.

Totale spiagge emerse	Peso di volume	Spiaggia Solanas	Peso di volume	Spiaggia Cannessisa	Peso di volume	Spiaggia Gennemari	Peso di volume
minimo	1,24	minimo solanas	1,39	minimo cannessisa	1,24	minimo gennemari	1,37
massimo	1,74	massimo solanas	1,73	massimo cannessisa	1,68	massimo gennemari	1,74
media	1,47	media solanas	1,46	media cannessisa	1,43	media gennemari	1,49
mediana	1,45	mediana solanas	1,44	mediana cannessisa	1,43	mediana gennemari	1,43

Tabella 13 – Peso di volume dei campioni in spiaggia emersa

I pesi di volume dei campioni di spiaggia sommersa (tabella 14) oscillano tra il minimo di 1,18 g/cmc e il massimo di 1,57 g/cmc con un valore mediano di 1,32 g/cmc.

Totale spiagge sommerse	Peso di volume	Spiaggia Solanas	Peso di volume	Spiaggia Cannessisa	Peso di volume	Spiaggia Gennemari	Peso di volume
minimo	1,18	minimo solanas	1,19	minimo cannessisa	1,20	minimo gennemari	1,18
massimo	1,57	massimo solanas	1,57	massimo cannessisa	1,39	massimo gennemari	1,42
media	1,32	media solanas	1,35	media cannessisa	1,30	media gennemari	1,30
mediana	1,32	mediana solanas	1,32	mediana cannessisa	1,32	mediana gennemari	1,30

Tabella 14 – Peso di volume dei campioni in spiaggia sommersa

I pesi di volume delle parti di spiaggia sommersa, sono in tutti e tre i corpi di spiaggia più bassi di quelli delle parti emerse.

Lo studio dei parametri di forma, SPHT (sfericità), Symm (simmetria), b/l (rapporto di allungamento), eseguito sulle parti emerse e sommerse delle sabbie delle spiagge e sulle sabbie di fiume, evidenzia alcune differenze.

Nella tabella 15 si possono osservare i risultati dei tre parametri di forma ottenuti dalle medie dei campioni di ciascuna sezione di spiaggia.

Località e tipo	Num. Camp.	SPHT	Symm	b/l
Solanas fiume	36	0,813	0,879	0,686
Solanas spiaggia emersa	20	0,841	0,884	0,686
Solanas spiaggia sommersa	22	0,761	0,849	0,654
Genn'e Mari spiaggia emersa	8	0,823	0,879	0,680
Genn'e Mari spiaggia sommersa	15	0,749	0,841	0,639
Cann'e Sisa spiaggia emersa	8	0,819	0,875	0,674
Cann'e Sisa spiaggia sommersa	15	0,674	0,802	0,618

Tabella 15 – Parametri di forma dei campioni di sabbia

Come si può osservare, i risultati pur variando di poco, evidenziano che l'arrotondamento dei granuli della spiaggia emersa è superiore a quello dei granuli della spiaggia sommersa per tutte e tre le spiagge analizzate.

I grafici mostrati di seguito, (figure 49, 50, 51) evidenziano le differenze, per i parametri SPHT, Symm e b/l.

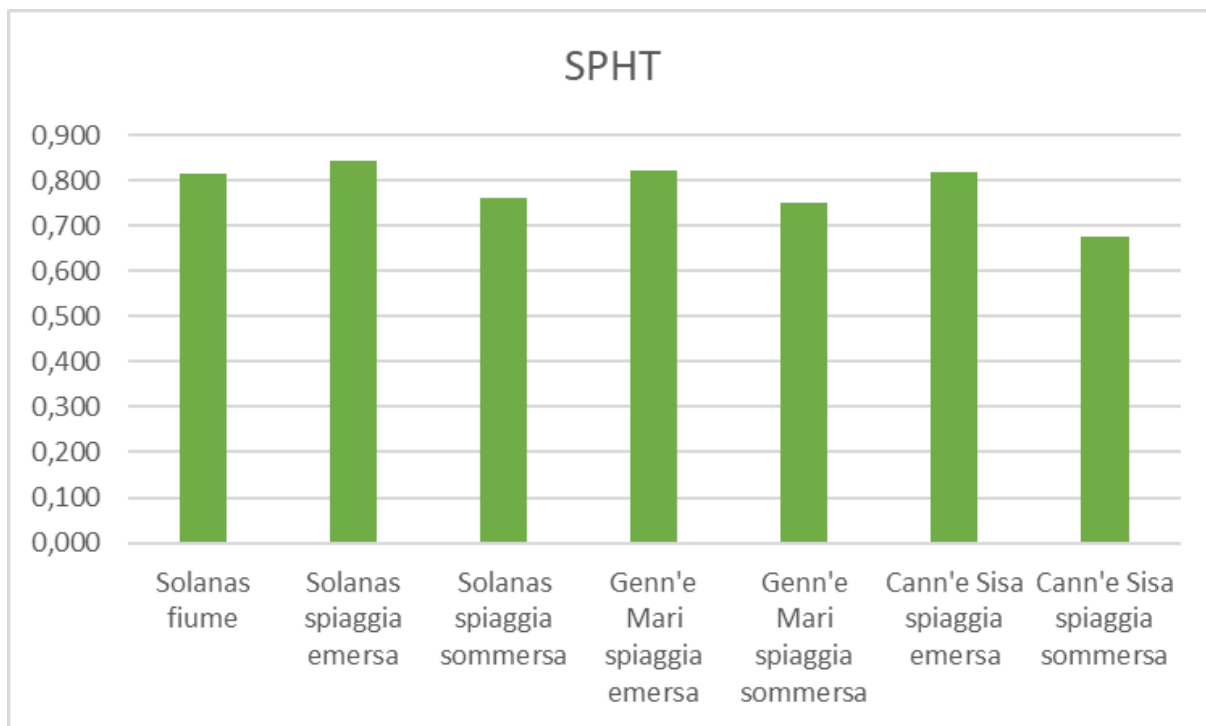


Figura 49 – Grafico dei valori SPHT (sfericità), Symm (simmetria), b/l (rapporto di allungamento),

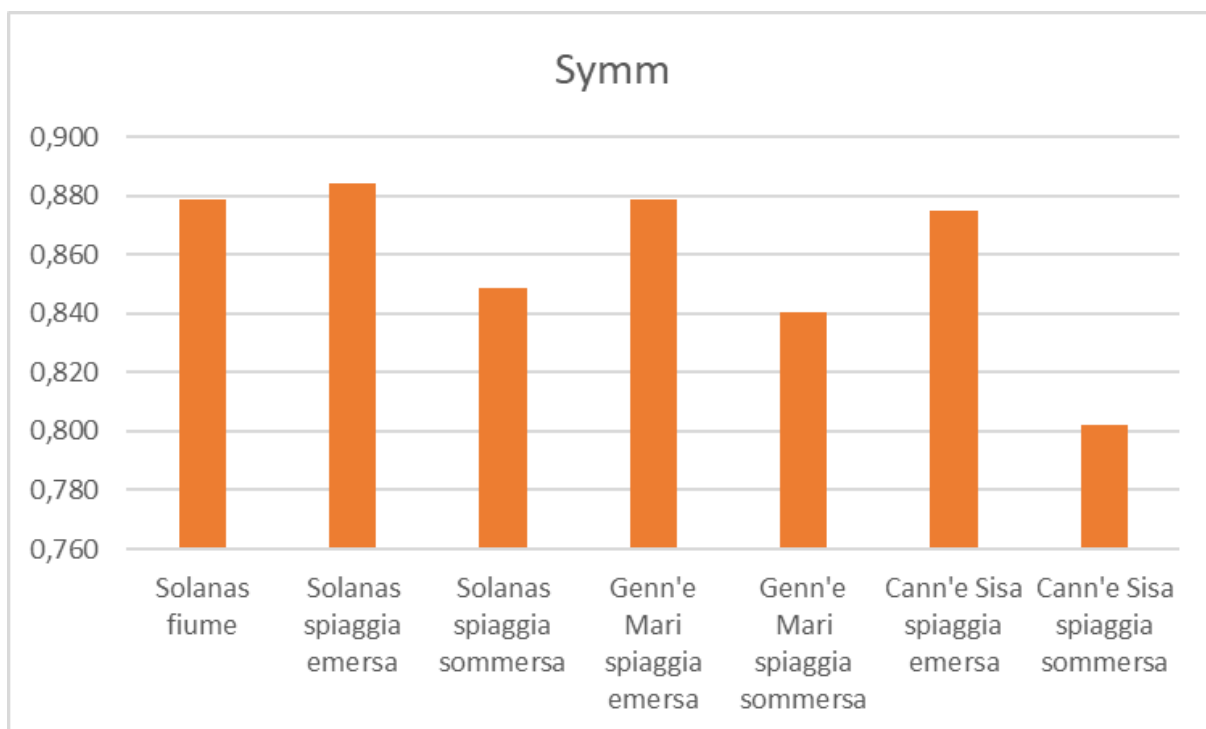


Figura 50 – Grafico dei valori Symm (simmetria), b/l (rapporto di allungamento),

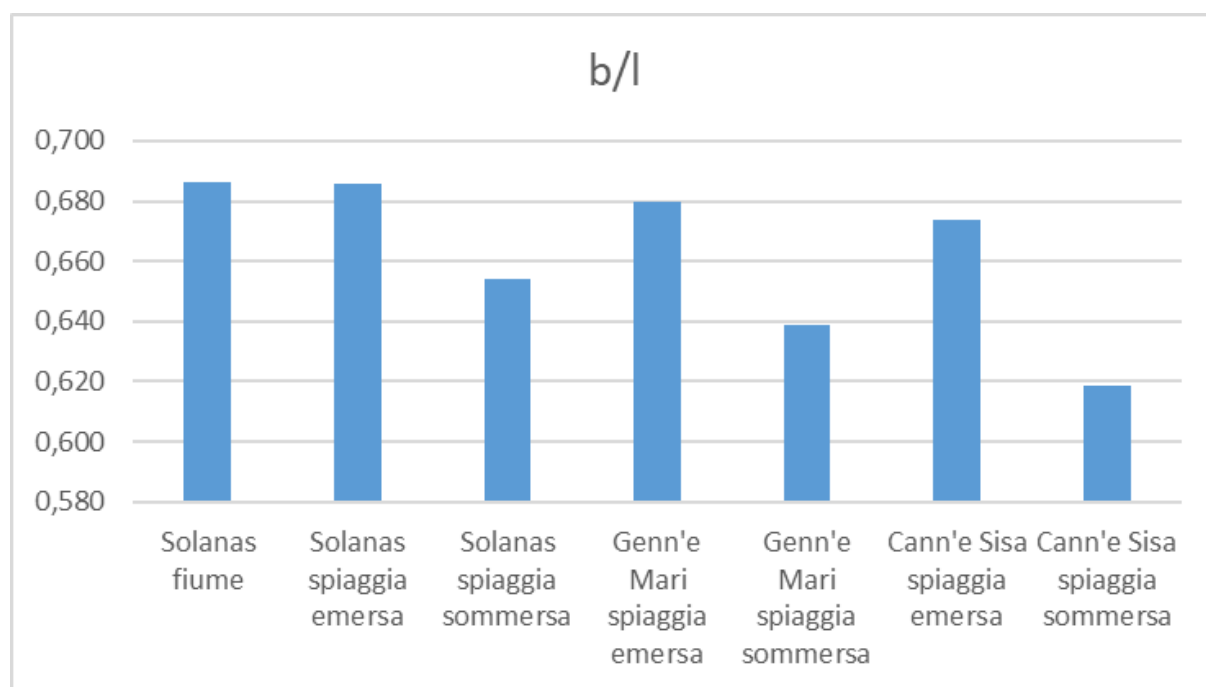


Figura 51 – Grafico dei valori b/l (rapporto di allungamento),

Per quanto riguarda l'area di Solanas inoltre, l'unica per la quale sono stati indagati anche i sedimenti fluviali, non si osservano apprezzabili differenze tra le sabbie di fiume e le sabbie della spiaggia nella parte emersa: i valori di b/l sono uguali mentre SPHT e Symm sono solo leggermente più elevati per le sabbie di spiaggia emersa.

Il campionamento dei corpi di spiaggia nelle tre spiagge dell'area pilota, rivela che si tratta essenzialmente di sabbie con una minima o nulla frazione al di sotto di 0,0625 mm, per le quali può applicarsi la classificazione di Folk 1974 in funzione dei tre componenti principali quarzo, feldspati e frammenti litici.

Lo studio al microscopio binoculare ha confermato una composizione quarzoso-feldspatica dei sedimenti e, analogamente a quelli fluviali, questi sono stati classificati come arcocici (Folk 1974).

La spiaggia di Solanas, è caratterizzata da una composizione quarzoso-feldspatica in elementi poco elaborati, più arrotondati nella spiaggia emersa con minima presenza di bioclasti, solo occasionalmente integri, nella spiaggia sommersa.

Le spiagge di Cann'e Sisa e Genn'e Mari, sia da un punto di vista compositivo nel rapporto tra quarzo e feldspato, sia da un punto di vista del colore, sono omogenee; l'unica differenza sta nella maggiore presenza di bioclasti nella spiaggia sommersa e nella loro maggiore integrità, specie in prossimità del posidonieto, nella spiaggia di Genn'e Mari.

Le analisi diffrattometriche confermano la natura mineralogica della spiaggia costituita in ordine di abbondanza da feldspati potassici e calco-sodici, quarzo, subordinata biotite; in rari casi è stata osservata la presenza di anfibolo. La componente bioclastica (carbonati l.s.) all'analisi diffrattometrica è del tutto subordinata o assente evidenziando percentuali inferiori al 5%.

Le caratteristiche cromatiche, dettate essenzialmente da percentuali differenti di feldspati, quarzo latteo e quarzo ialino, evidenziano per la spiaggia di Solanas colorazioni con toni giallastri e più raramente rosati e per le spiagge di Torre delle Stelle colorazioni sui toni del grigio chiaro.

Analisi multitemporale: evoluzione passata e valutazione delle condizioni attuali

L'analisi multitemporale è stata effettuata con la finalità di ricostruire e ipotizzare le tendenze evolutive dell'Unità Fisiografica e, pertanto, è parte integrante del capitolo specifico sull'evoluzione passata e le tendenze evolutive del bacino idrografico, delle spiagge e delle coste alte, a cui si rimanda.

Il bilancio sedimentario: l'apporto dei sedimenti fluviali dal bacino idrografico

Metodologia adottata: IDRAIM + SUM + EPM GIS

Analogamente all'approccio adottato per la valutazione del "trasporto solido litoraneo" nell'ambito di "spiaggia" (emersa e sommersa), trattato nel capitolo specifico, è stata applicata una metodologia comprendente indicatori e parametri analitici misurabili che ha consentito di caratterizzare l'ambiente fluviale, valutando le tendenze evolutive del corso d'acqua, le dinamiche di trasporto e la quantificazione in termini volumetrici dei sedimenti, quale input sedimentario verso le spiagge.

L'analisi ha riguardato i due principali tributari afferenti al settore costiero, il Rio Gavoi ed il Rio Solanas, secondo uno schema metodologico di base che richiama la metodologia IDRAIM¹, protocollo già adottato in Italia per la valutazione idromorfologica dei corsi d'acqua e integrato dall'adozione del Sistema di Rilevamento e classificazione delle Unità morfologiche dei corsi d'acqua, denominato SUM².

Nel contesto del Progetto Maregot tale metodologia è stata semplificata e adattata alle finalità progettuali a riprova della sua riconosciuta flessibilità per gli studi di riqualificazione fluviale, la gestione dei sedimenti e la pianificazione degli interventi di ripristino morfologico.

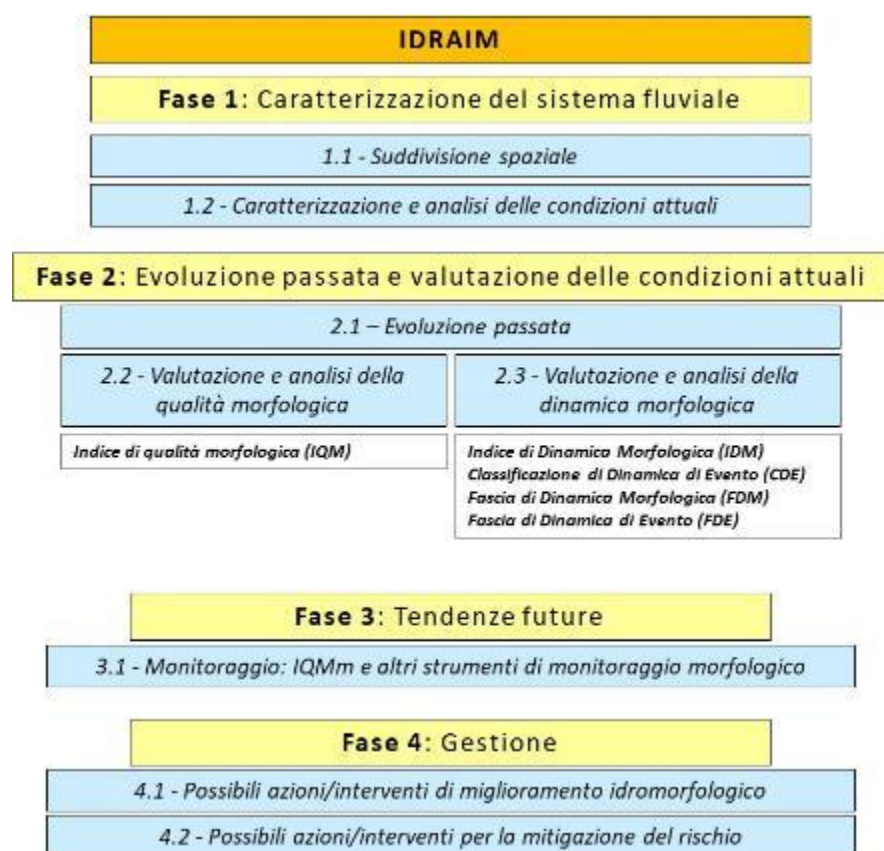


Figura 52 – Schema del processo metodologico IDRAIM),

Il sistema di rilevamento e classificazione delle unità morfologiche (SUM) rientra nel più ampio sistema di valutazione idromorfologica, analisi e monitoraggio dei corsi d'acqua IDRAIM, di cui SUM costituisce parte integrante e componente aggiuntiva da utilizzare a supporto per la caratterizzazione delle condizioni morfologiche dei corsi d'acqua. Il sistema IDRAIM valuta le alterazioni morfologiche alla scala di tratto, cioè quella porzione di corso d'acqua nel quale le variabili guida e le condizioni al contorno sono uniformi e relativamente omogenei in riferimento ai processi morfologici e alle relative forme. Ad

¹ Rinaldi M., Surian N., Comiti F., Bussetini M. (2016): IDRAIM – Sistema di valutazione idromorfologica, analisi e monitoraggio dei corsi d'acqua –Versione aggiornata 2016 – ISPRA – Manuali e Linee Guida 131/2016. Roma, gennaio 2016.

² Rinaldi M., Belletti B., Comiti F., Nardi L.; Mao L.; Bussetini M. (2016): Sistema di rilevamento e classificazione delle Unità morfologiche dei corsi d'acqua (SUM). Versione aggiornata 2016. ISPRA – Manuali e Linee Guida 132/2016. Roma, Gennaio 2016.

un livello gerarchico inferiore si definiscono le unità morfologiche del SUM che costituiscono l'insieme di forme di una data morfologia fluviale. Quindi la scala del tratto è quella più idonea alla valutazione dei caratteri e delle condizioni del corso d'acqua, mentre la scala delle unità morfologiche, determinando gli habitat fisici, è quella utile a stabilire le relazioni esistenti tra elementi fisici e biologici. Per le caratteristiche geomorfologiche e sedimentologiche dei rii l'approfondimento del SUM è stato applicato esclusivamente al Rio Solanas con campionamento e caratterizzazione sedimentologica e granulometrica dei depositi in alveo.

Le conoscenze acquisite precedentemente vengono inserite in un contesto temporale evolutivo, per poter ricavare una valutazione delle condizioni morfologiche attuali dei corsi d'acqua anche sulla base della conoscenza delle condizioni passate. Si possono distinguere due sottofasce principali: la prima riguarda l'evoluzione passata del sistema fluviale e delle morfologie fluviali presenti e la ricostruzione delle tipologie fluviali che si osservano attualmente e quali possano essere i fattori che ne hanno condizionato l'evoluzione. La successiva sottofase fornisce gli strumenti metodologici per valutare in parallelo, attraverso appositi indici (IQM, IDM, etc) i due aspetti che caratterizzano il sistema IDRAIM, ovvero la qualità morfologica e la dinamica morfologica.

Le analisi eseguite, i dati acquisiti e la loro elaborazione con il metodo EPM_GIS e l'applicazione del plug-in YES (YeldErosionSediment), hanno consentito la quantificazione volumetrica dei sedimenti quale input principale di alimentazione delle spiagge.

Suddivisione gerarchica del Bacino e del reticolo idrografico e Sistema di rilevamento delle Unità Morfologiche (SUM)

Nell'ambito del sistema IDRAIM sono stati gerarchizzati il Rio Gavoi ed il Rio Solanas. classificati, rispettivamente, sulla base della forma planimetrica, come corso d'acqua meandriforme (M) e sinuoso a barre alternate (SBA). Inoltre, il riconoscimento di segmenti omogenei ha consentito per il Rio Solanas la sua suddivisione in tratti; il primo tratto a monte, denominato Rio Cirronis, è formato da un alveo confinato ad andamento rettilineo, con fondo in parte in roccia e in parte costituito da sedimenti grossolani quali blocchi e ghiaie; il secondo tratto, comprende la parte mediana fino alla foce e spiaggia di Solanas, è un alveo semiconfinato, con fondo ghiaioso e sabbioso.

Il Rio Gavoi, ha un alveo confinato su fondo roccioso per la gran parte del suo tracciato mentre il tratto terminale è canalizzato artificialmente e scorre all'interno del borgo di Torre delle Stelle sfociando nella spiaggia di Cann' e sisa.

Come detto in premessa, per le finalità progettuali, è stato eseguito un approfondimento in campo adottando lo schema di rilevamento delle Unità Morfologiche in alveo, laddove avvengono i principali processi erosivi e di trasporto solido verso le foci.

Lo studio delle unità morfologiche, di cui nel seguito si riporta una sintesi, è stato realizzato a diverse scale di analisi aventi anche livelli di dettaglio crescenti. Un "Livello Generale" ha consentito di distinguere le "macro-unità" utilizzando foto aeree a media e ad alta risoluzione, un "Livello Base" di maggior dettaglio, tramite il rilevamento sul terreno e l'analisi di foto aeree ad alta risoluzione, ha classificato le "unità", comprendenti unità di alveo e unità di pianura alluvionale. I dati rilevati e le analisi effettuate tra metà aprile e metà maggio 2019, nel periodo in cui l'alveo era in condizioni di magra, hanno permesso di redigere una cartografia di dettaglio alla scala 1:2.000 denominata "Carta delle Unità Morfologiche" (figure 53 e 54) delle quali nelle figure successive si riporta lo schema di sintesi e la legenda.

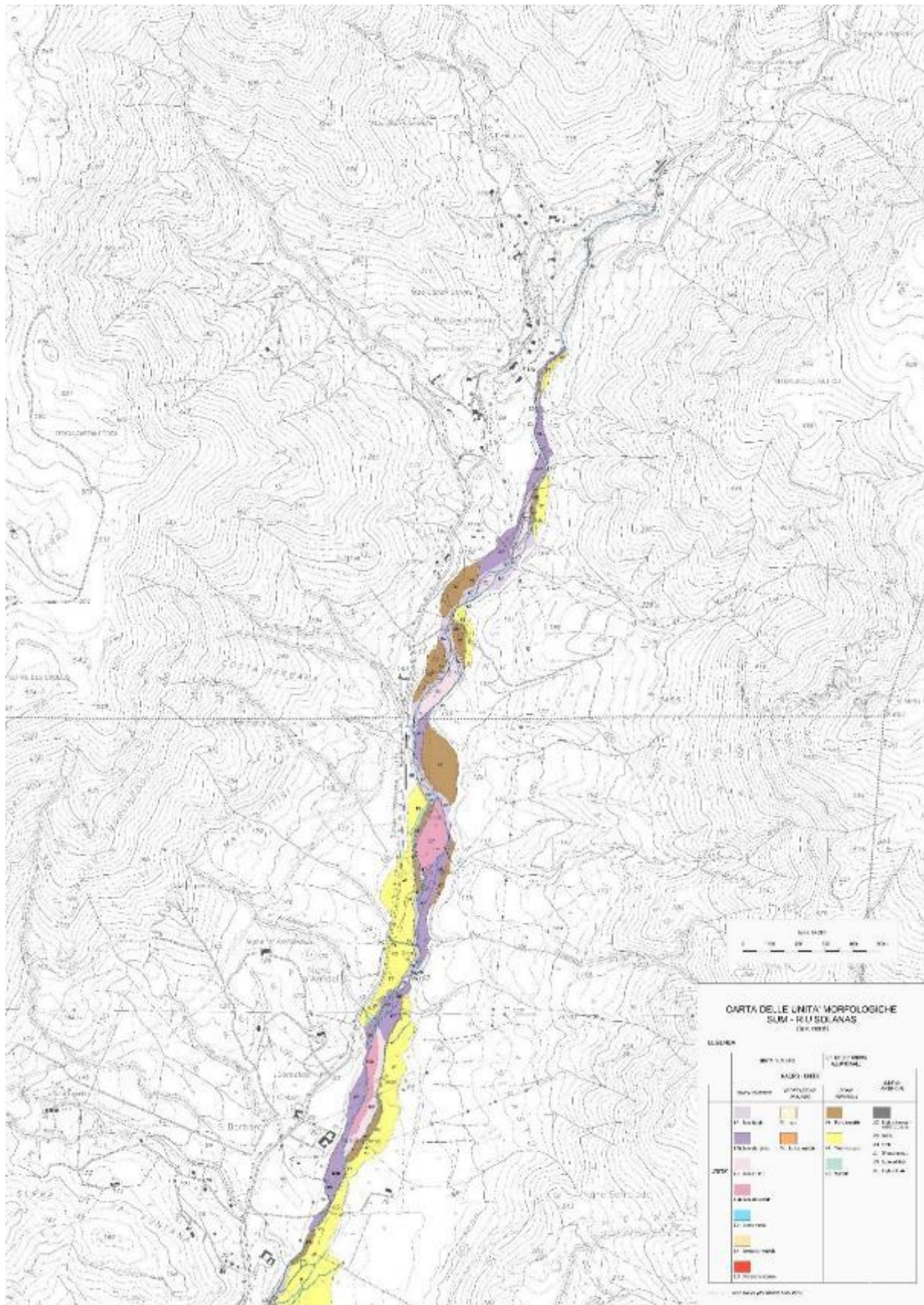

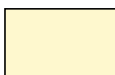













Figura 53 – Carta delle Unità Morfologiche – Settore Settentrionale



	UNITA' DI ALVEO		UNITA' DI PIANURA ALLUVIONALE	ELEMENTI ARTIFICIALI
	MACRO - UNITA'			
	UNITA' EMERSE	VEGETAZIONE IN ALVEO	ZONE RIPARIALI	
UNITA'	 EA Barra laterale	 VI Isola	 FF Piana inondabile	 AC Briglia e traversa in ambito di pianura
	 EAh Barra alta laterale	 VK Sponda vegetata	 FT Terrazzo recente	AG Guado
	 EC Barra centrale		 FS Scarpata	AH Ponte
	 ECh Barra alta centrale			AL Difesa di sponda
	 ED Canale emerso			AM Argine artificiale
	 EK Sponda non vegetata			AJ Soglia di fondo
	 EO Affioramento roccioso			


 Aste fluviali (da ortofoto RAS 2018)

Figura 55 – Legenda della Carta delle Unità Morfologiche

Tra le macro-unità presenti sono state distinte tre tipologie: a) le unità di alveo “emerse”, b) la “vegetazione in alveo” (che riguardano le unità di alveo) e c) la “zona ripariale” (che è riferita alle unità di pianura alluvionale).

MACRO-UNITA': UNITÀ “EMERSE”

Nei corsi d'acqua alluvionali e semi-alluvionali, le unità di alveo emerse comprendono unità deposizionali come le barre di sedimento, ma anche unità di erosione, come i canali asciutti al momento dell'osservazione, che non vengono classificati tra i canali di magra, e gli affioramenti rocciosi. Sono escluse in questa macro-unità le unità vegetate che sono trattate a parte. Al Livello Generale le unità

deposizionali e i canali d'erosione emersi sono compresi in una stessa macro-unità, al Livello Base invece sono distinte nelle diverse tipologie morfologiche.

MACRO-UNITA': VEGETAZIONE IN ALVEO

La macro-unità "vegetazione in alveo" include tutte quelle unità caratterizzate da copertura vegetale su superfici prevalentemente emerse (isole) e da sponde vegetate. Mentre per il Livello Generale tutta la vegetazione in alveo è inclusa nella stessa macro-unità, al Livello Base sono state distinte le unità descritte di seguito.

MACRO-UNITA': ZONE RIPARIALI

Questa macro-unità include tutte le superfici presenti nella pianura alluvionale che sono direttamente interessate dai vari processi fluviali (come la mobilità laterale, le inondazioni, ecc.) e si trovano in condizioni relativamente naturali come la presenza di vegetazione spontanea. Per il Livello Generale le zone ripariali appartengono alla stessa macro-unità, per il Livello Base sono descritte in unità differenti.

ELEMENTI ARTIFICIALI

Sebbene gli elementi artificiali non facciano parte delle unità morfologiche comunque costituiscono degli aspetti importanti del paesaggio fluviale, in quanto entrano in gioco nel modificare i processi e la morfologia delle unità presenti. La cartografia degli elementi artificiali assieme al rilievo delle unità morfologiche permette una migliore caratterizzazione dell'insieme delle unità presenti in un determinato tratto.

BRIGLIA E TRAVERSA IN AMBITO DI PIANURA (AC)

In ambito di pianura si possono distinguere le "briglie" o "traverse" realizzate con scopi di consolidamento e/o intercettazione del trasporto solido. Nel Riu Solanas ne sono state realizzate alcune, tutte di piccole dimensioni, ubicate in località Sa Diga, Su Reu e a valle del ponte sulla S. P. n. 17 per Villasimius.

GUADO (AG)

Si tratta di un attraversamento del corso d'acqua non sopraelevato, come nel caso di un ponte, ma sormontabile dalla corrente in condizioni di deflusso normale o di piena. Questi elementi sono cartografati in diversi punti del corso d'acqua, soprattutto in corrispondenza delle aree abitate come S. Barbara. Sono generalmente realizzati con una pavimentazione in calcestruzzo, per garantire al meglio la loro stabilità e funzionalità, limitando l'usura dovuta al passaggio dell'acqua e degli automezzi.

PONTE (AH)

E' una struttura sopraelevata che consente l'attraversamento stradale e pedonale del corso d'acqua. Il ponte di maggiori dimensioni è quello sulla S.P. n. 17 per Villasimius presso Monte Mesu, un altro si trova sulla S.P. 20 a S. Barbara, infine un piccolo attraversamento è quello ubicato presso Serra de sa Funtana.

SOGLIA DI FONDO (AJ)

Si tratta di un'opera trasversale di consolidamento dell'alveo di modesta altezza, finalizzata alla stabilizzazione del fondo ed alla riduzione di fenomeni erosivi. È presente una piccola soglia realizzata con conci di granito in località Sa Diga.

DIFESA DI SPONDA (AL)

Questa opera, realizzata di norma all'interno dell'alveo, è realizzata con lo scopo di proteggere le sponde sia dai processi erosivi sia dai movimenti di massa. Le tecniche adottate sono basate sull'uso di materiali non completamente rigidi che devono avere la capacità di contenere i fenomeni erosivi; le strutture più utilizzate sono le gabbie a scatola riempite di pietrame. Nel Riu Solanas le opere di difesa spondale sono presenti sia a monte del guado presso la confluenza con il Canale Pireddu, sia in corrispondenza dello stesso guado che in altri due guadi più a valle. Altre opere di difesa spondale, sono state realizzate nella parte terminale del corso d'acqua, a poche centinaia di metri dalla foce.

ARGINE ARTIFICIALE (AM)

E' un'opera longitudinale rialzata rispetto al piano di campagna, ricade esternamente all'alveo ed è progettata per la difesa da eventi di piene le cui portate non sono contenute all'interno dell'alveo.

Si segnala la presenza di argini artificiali, non continui, realizzati con terreno di riporto o con materiale alluvionale risultante da opere di pulizia dell'alveo, nel tratto terminale del Rio Solanas tra il ponte nella S.P. n. 17 per Villasimius e la foce.

Misura dei parametri morfologici

In questa fase sono state ricostruite e classificate le variazioni morfologiche passate e recenti degli alvei e delle foci fluviali misurando i parametri morfologici principali, ossia quelli che determinano la classificazione della morfologia del corso d'acqua tra cui la larghezza e la quota del fondo gli indici di sinuosità, di intrecciamento e di anabranching.

Le fonti di dati utilizzate per le analisi delle variazioni dei parametri morfologici sono rappresentate da: cartografia storica, foto aeree, immagini da satellite, rilievi topografici che abbracciano un periodo storico di circa due secoli fino al 2018. Avendo a disposizione per un determinato anno sia la cartografia che le immagini telerilevate, queste ultime sono da preferirsi in quanto permettono un'interpretazione diretta della morfologia dell'alveo, mentre la cartografia riporta un'interpretazione/rappresentazione dell'alveo non sempre funzionale agli scopi dell'analisi. Nella scheda viene riportata la sintesi delle misure e dei valori degli indici.

ELEMENTO MORFOLOGICO	METODO DI RILEVAMENTO/ MISURA E RELATIVA SCALA SPAZIALE	MISURA
Parametri planimetrici		
Indice di sinuosità	Telerilevamento o misura terreno (corsi d'acqua piccole dimensioni) (tratto)	1,011
Indice di intrecciamento	Telerilevamento (tratto) Misura terreno (solo sito)	1,9
Indice di anabranching	Telerilevamento (tratto) Misura terreno (solo sito)	2,15
Ampiezza e continuità piana inondabile	Telerilevamento (tratto)	182 m
Profilo longitudinale		
Pendenza del fondo	Rilievo profilo fondo, possibilmente esteso dal sito al tratto	2,15 %
Variazione di quota del fondo	Rilievo profilo fondo esteso dal sito all'intero tratto	181 m
Sezione trasversale		
Larghezza alveo media	Telerilevamento (tratto) - Rilievo Sezioni	50 m
Profondità alveo media	Rilievo sezioni: 2 o 3 sezioni nel sito	80 cm
Rapporto larghezza/profondità	Da valori misurati in base a rilievo sezioni	62,5
Sedimenti del fondo		
Dimensioni granulometriche sedimenti del fondo	Classificazione di UDDEN-WENTHWORT	compresa tra 2 mm e 0,0625 mm
Struttura del fondo: grado di corazzamento e clogging	Valutazione qualitativa (sito)	Naturale eterogeneità dei sedimenti – Clogging poco significativo
Materiale legnoso		
Abbondanza di materiale legnoso di grandi dimensioni	Telerilevamento (sito)	Presenza poco significativa o assenza di materiale legnoso
Vegetazione nella fascia perfluviale		
Ampiezza delle formazioni funzionali presenti in fascia perfluviale	Telerilevamento (tratto)	Intermedia
Estensione lineare delle formazioni funzionali presenti in fascia perfluviale	Telerilevamento (tratto)	33÷90% della lunghezza massima disponibile

Unità morfologiche		
TIPOLOGIA	Rilievo sul terreno e/o telerilevamento (sottotratto)	N. 229 Unità/MQ. 1.466.389
MACRO-UNITA': UNITÀ "EMERSE"		
	N.	ESTENSIONE (MQ)
Canale emerso (codice ed)	19	48,55
Barra laterale (ea)	35	49,414
Barra alta laterale (eah)	17	10,799
Barra centrale (ec)	13	46,066
Barra alta centrale (ech)	6	88,546
Sponda non vegetata (ek)	12	1,349
Affioramento roccioso (eo)	3	291
Macro-unita': vegetazione in alveo		
Isola fluviale (vi)	4	143,707
Sponda vegetata (vk)	35	20,821
Macro-unita': zone ripariali		
Piana inondabile (ff)	19	50,821
Terrazzo recente (ft)	19	439,514
Scarpata (fs)	11	8,895
Elementi artificiali		
Briglia /traversa in pianura (ac)	3	201
Guado (ag)	10	407
Ponte (ah)	4	188
Soglia di fondo (aj)	1	84
Difesa di sponda (al)	15	1228
Argine artificiale (am)	3	922

Tabella 16 - Indici morfologici

Valutazione della Qualità morfologica (IQM)

La struttura complessiva del sistema di valutazione comprende sia aspetti strettamente morfologici che aspetti idrologici e vegetazionali della fascia basati su tre componenti:

Funzionalità geomorfologica: si è basata sull'osservazione delle forme e dei processi del corso d'acqua nelle condizioni attuali e sul confronto con le forme ed i processi attesi per la tipologia fluviale presente nel tratto in esame. In altri termini si è valutata la funzionalità del corso d'acqua relativamente ai processi geomorfologici (l'assenza di determinate forme e processi tipici per una data tipologia può essere sintomo di condizioni morfologiche alterate).

Elementi artificiali: si è valutata la presenza, frequenza e continuità delle opere o interventi antropici che possano avere effetti sui vari aspetti morfologici considerati.

Variazioni morfologiche: questa analisi riguarda soprattutto gli alvei non confinati e parzialmente confinati e solo alcuni aspetti (principalmente le variazioni di configurazione morfologica plano-altimetrica). Vengono valutate le variazioni morfologiche rispetto ad una situazione relativamente recente (scala temporale degli ultimi 50÷60 anni) in modo da verificare se il corso d'acqua abbia subito alterazioni fisiche (ad es., incisione, restringimento) e stia ancora modificandosi a causa di perturbazioni antropiche non necessariamente attuali.

La procedura complessiva ha previsto l'applicazione in sequenza delle tre precedenti fasi (inquadramento e suddivisione in tratti, valutazione, monitoraggio), con la valutazione dello stato attuale, indispensabile per interpretare complessivamente i trend e le cause di evoluzione.

La fase di analisi della funzionalità, artificialità e delle variazioni morfologiche è stata effettuata attraverso l'ausilio di apposite schede di valutazione, che consentono un'analisi guidata dei vari aspetti, attraverso l'impiego integrato di analisi GIS da immagini telerilevate e rilevamenti sul terreno. A tal fine vengono usati un certo numero di indicatori, intesi di seguito in senso lato, per indicare attributi o descrittori qualitativi dei vari aspetti considerati.

Ogni indicatore è poi valutato attraverso una o più variabili quantitative o qualitative (per alcuni indicatori, soprattutto per la funzionalità, si fa ricorso a valutazioni interpretative piuttosto che a parametri).

A titolo esemplificativo, per entrambi i bacini oggetto dell'analisi idromorfologica, si riporta la sintesi dei risultati degli indici di qualità e valutazione idromorfologica del Rio Solanas (ELEVATA per il tratto di monte – MODERATO/SUFFICIENTE per il tratto di valle), e del Rio Gavoi (MODERATO/SUFFICIENTE per l'unico tratto) derivati dalla compilazione delle schede e dall'algoritmo associato.

Il Rio Solanas -Tratto confinato

Il Rio Solanas -Tratto semiconfinato

INDICI E CLASSI DI QUALITÀ del tratto 0016-CF000100			INDICI E CLASSI DI QUALITÀ del tratto 0016-CF000100		
IAM = Indice di Alterazione Morfologica ($0 \leq IAM \leq 1$)			IAM = Indice di Alterazione Morfologica ($0 \leq IAM \leq 1$)		
IAM	IAM_{min}	IAM_{max}	IAM	IAM_{min}	IAM_{max}
<u>0,08</u>	0,08	0,08	<u>0,40</u>	0,40	0,46
IQM = Indice di Qualità Morfologica ($0 \leq IQM \leq 1$)			IQM = Indice di Qualità Morfologica ($0 \leq IQM \leq 1$)		
IQM	IQM_{min}	IQM_{max}	IQM	IQM_{min}	IQM_{max}
<u>0,92</u>	0,92	0,92	<u>0,60</u>	0,54	0,60
CLASSI DI QUALITÀ (IQM)			CLASSI DI QUALITÀ (IQM)		
CLASSE _{med}	CLASSE _{min}	CLASSE _{max}	CLASSE _{med}	CLASSE _{min}	CLASSE _{max}
Elevato	Elevato	Elevato	Moderato o Sufficiente	Moderato o Sufficiente	Moderato o Sufficiente

(*) IAM > 1
(**) IQM < 0

(*) IAM > 1
(**) IQM < 0

SUB-INDICI

		IAM	IQM	tot
VERTICALI	Funzionalità	0,08	0,19	0,27
	Artificialità	0,00	0,59	0,59
	Variazioni	0,00	0,14	0,14
ORIZZONTALI	Continuità	0,00	0,44	0,44
	Longitudinale	0,00	0,36	
	Laterale	0,00	0,08	
	Morfologia	0,08	0,34	0,42
	Configurazione morfologica	0,00	0,06	
	Configurazione sezione	0,05	0,19	
	Substrato	0,03	0,09	
	Vegetazione	0,00	0,13	0,13

SUB-INDICI

		IAM	IQM	tot
VERTICALI	Funzionalità	0,13	0,16	0,29
	Artificialità	0,25	0,28	0,53
	Variazioni	0,02	0,15	0,18
ORIZZONTALI	Continuità	0,14	0,24	0,38
	Longitudinale	0,07	0,18	
	Laterale	0,07	0,06	
	Morfologia	0,19	0,34	0,52
	Configurazione morfologica	0,05	0,08	
	Configurazione sezione	0,08	0,16	
	Substrato	0,06	0,10	
	Vegetazione	0,07	0,02	0,10

Tabella 17 - Sintesi dei risultati degli indici di qualità e valutazione idromorfologica del Rio Solanas

Il Rio Gavoi

INDICI E CLASSI DI QUALITÀ del tratto

IAM = Indice di Alterazione Morfologica ($0 \leq IAM \leq 1$)		
IAM	IAM _{min}	IAM _{max}
0,35	0,35	0,35
IQM = Indice di Qualità Morfologica ($0 \leq IQM \leq 1$)		
IQM	IQM _{min}	IQM _{max}
0,65	0,65	0,65
CLASSI DI QUALITÀ (IQM)		
CLASSE _{med}	CLASSE _{min}	CLASSE _{max}
Moderato o Sufficiente	Moderato o Sufficiente	Moderato o Sufficiente

(*) IAM > 1

(**) IQM < 0

SUB-INDICI

		IAM	IQM	tot
VERTICALI	Funzionalità	0,18	0,17	0,35
	Artificialità	0,08	0,45	0,53
	Variazioni	0,08	0,03	0,12
ORIZZONTALI	Continuità	0,09	0,28	0,36
	Longitudinale	0,06	0,24	
	Laterale	0,03	0,04	
	Morfologia	0,21	0,32	0,53
	Configurazione morfologica	0,05	0,08	
	Configurazione sezione	0,11	0,11	
	Substrato	0,05	0,13	
	Vegetazione	0,06	0,05	0,11

Tabella 18 - Sintesi dei risultati degli indici di qualità e valutazione idromorfologica del Rio Gavoi

Tendenze future e monitoraggio (IQM_m)

La metodologia IDRAIM adottata prevede per la valutazione delle tendenze evolutive del bacino idrografico, rispetto alle tre componenti di valutazione dello stato attuale (funzionalità, artificialità, variazioni), il successivo monitoraggio, sintetizzabile nella scheda IQM_m, che consentirà di valutare le tendenze evolutive attuali e future e di rapportarle alle modificazioni passate in modo da giungere ad una valutazione del possibile recupero morfologico o dell'ulteriore allontanamento da condizioni meno alterate, aspetti fondamentali per le successive analisi degli impatti e per la definizione delle misure di mitigazione o ripristino morfologico dei corridoi fluviali.

Esistono alcuni aspetti e parametri che è necessario analizzare nella prima fase di valutazione, ma che non sarà poi necessario monitorare, mentre viceversa si potranno individuare alcuni parametri o grandezze la cui misura non è indispensabile per la fase di caratterizzazione iniziale, ma che sarà invece necessario misurare periodicamente da ora in poi.

L'analisi geomorfologica di dettaglio e l'applicazione del sistema di rilevamento delle Unità Morfologiche consente inoltre di disporre di uno strumento di misure riferito ad uno stato di riferimento temporale preciso, nel nostro caso il 2018, "appoggiato" ad un Modello Digitale del Terreno (DTM) ad alta risoluzione. Tale stato costituisce, pertanto, la base di riferimento per le successive fasi di misura e monitoraggio del trasporto solido fluviale ed il bilancio di sedimenti con l'adozione del "metodo geomorfologico" (McLean & Church, 1999; Ham & Church, 2000; Brewer & Passmore, 2002): alla scala del "tratti" sarà possibile stimare le variazioni morfologiche, topografiche e planimetriche dell'alveo con la ripetizione di rilievi diretti sul terreno accompagnati da una combinazione di profili longitudinali, sezioni trasversali e analisi da immagini telerilevate.

Bilancio sedimentario: produzione di sedimenti e trasporto solido fluviale

Per la valutazione del bilancio sedimentario delle spiagge e la stima dell'input sedimentario da parte del Rio Solanas e del Rio Gavoi, principali tributari, è stato necessario, considerata la notevole disponibilità di dati, sia alfanumerici che geografici, adottare un approccio modellistico che consentisse,

con l'ausilio di software dedicato, di ricavare una stima del trasporto solido fluviale misurata in corrispondenza di sezioni significative che per le finalità del progetto sono rappresentate dalle foci. La metodologia di analisi idromorfologica adottata (IDRAIM + SUM) è descritta nelle sezioni precedenti ha altresì consentito di impostare un sistema di monitoraggio delle modificazioni geomorfologiche in alveo che consentirà, nell'ambito delle attività di monitoraggio future, di adottare anche l'“approccio geomorfologico” attraverso misure dirette del trasporto solido al fondo.

Approccio modellistico: YES + Index of connectivity

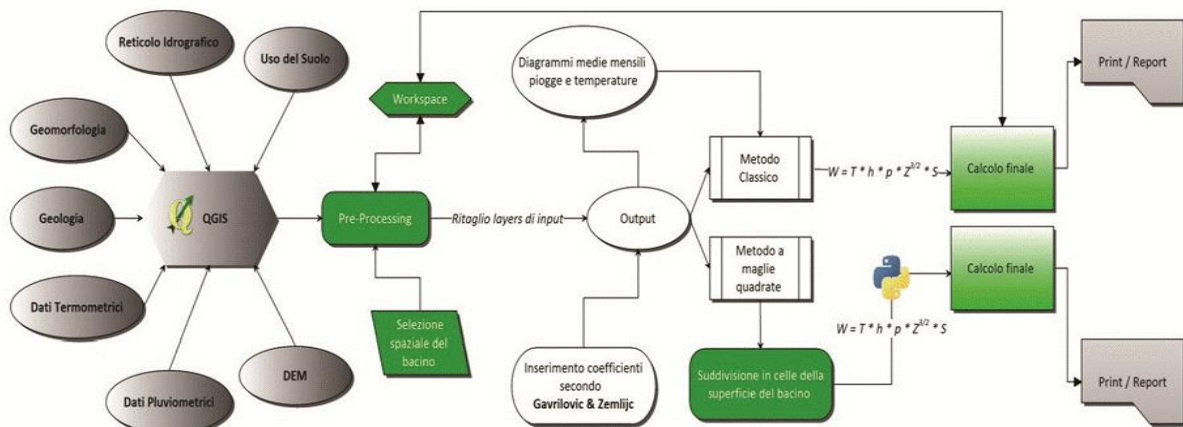


Figura 56 – Schema del modello adottato IDRAIM +SUM

Tra i modelli proposti in letteratura è stato adottato l'applicativo denominato YES, (EPM_GIS_1) già in corso di sperimentazione da parte del gruppo di lavoro di UNICAL nell'ambito del Progetto SIGIEC (Sistema Informativo Gestione erosione costiera della Calabria). Questa sperimentazione si è focalizzata sull'applicazione e le modifiche del metodo di Gavrilović per la valutazione della potenziale erosione superficiale e della produzione di sedimenti in sospensione e del carico di fondo trasportato a valle attraverso la rete fluviale del bacino considerato. Il modello EPM permette di calcolare la produzione di sedimenti a scala dell'intero bacino e sub bacino idrografico definendo quantitativamente e graficamente il volume di sedimenti prodotto in m3/anno. Inoltre attraverso un fattore di riduzione che tiene conto della connettività dei versanti, basato su dati morfometrici del reticolo idrografico, è stato possibile calcolare ad una specifica sezione di chiusura, identificata per gli scopi progettuali nelle foci, le quantità di sedimenti trasportate e che si depositano all'interno del bacino idrografico.

Il plug-in, acquisito tramite procedura pubblica nel MEPA (Mercato elettronico della Pubblica Amministrazione), sviluppato e distribuito dalla Società E0, ha permesso di calcolare e stimare la produzione di sedimenti dei bacini idrografici utilizzando il modello multiparametrico di Gavrilović (Gavrilović, 1959; 1972), modificato da Zemljic (Zemljic, 1971).

Questo metodo è ben adattabile per corsi d'acqua a carattere torrentizio e in un contesto climatico di tipo mediterraneo, pertanto applicabile all'area transfrontaliera. Il modello consente un'estrema velocizzazione del calcolo e di operare calibrazioni e validazioni sulla base di dati diretti. Inoltre, il plug-in, sviluppato in ambiente PyQGIS permette di incrementare l'accuratezza del calcolo in quanto è possibile dettagliare i singoli parametri richiesti dal metodo di Gavrilović; ad esempio operando sulla distribuzione dei parametri termo-pluviometrici (Cianflone et alii, 2015) e sul coefficiente di erosione, facendo riferimento alla caratterizzazione quali-quantitativa della resistenza all'erosione degli ammassi rocciosi.

Nel seguito, si riporta la descrizione dei dati che hanno alimentato il “modello” e l'applicazione della metodologia, per entrambi i bacini idrografici, Gavoi e Solanas, che il software ha trattato singolarmente o accorpati.

Definizione e accorpamento dei dati termo pluviometrici

Il modello YES è stato forzato con i dati medi mensili di temperatura e precipitazione osservati per 12 anni, dal 2007 al 2018, dalle stazioni termo-pluviometriche di Castiadas MinniMinni RF (della rete termo-pluviometrica fiduciaria di ARPAS, x=542117, y=4340055, h=724m slm) e di Castiadas (stazione dell'ex Ufficio Idrografico sostituita nel Luglio 2017 da una stazione della Rete Unica Regionale, RUR, x=543163, y=4343256, h=167m slm). Le due stazioni termo-pluviometriche sono in funzione rispettivamente dal Luglio 2006 e dal Luglio 1930. Per motivi di uniformità temporale del dato si è deciso quindi di utilizzare lo stesso intervallo temporale per calcolare le medie mensili (cioè 2007-2018).

In particolare, le due stazioni anche se posizionate al di fuori dei due bacini idrografici sono state selezionate poiché non sono state individuate altre stazioni della rete termo-pluviometrica regionale interne ai bacini. In prossimità dei bacini sono presenti anche le stazioni termo-pluviometriche di Maracalagonis e Castiadas MinniMinni della rete RUR ma poiché sono state installate rispettivamente nel Settembre 2018 e nel Novembre 2017 non sono state ritenute idonee per l'analisi (non disponevano di una serie temporale di dati termo-pluviometrica almeno decennale).

Definizione e accorpamento delle classi d'uso e copertura del suolo

Le 34 classi dell'uso del suolo presenti nel bacino idrografico sono state raggruppate nelle 7 classi d'uso A, B, C,D,E,F,U descritte nella tabella 19 seguente in cui sono evidenziati i codici Corine a cui sono associati i coefficienti di resistenza all'erosione attribuiti alle classi e le percentuali di distribuzione territoriale sui bacini esaminati.

TIPO SUOLO	CODICE	DESCRIZIONE CLASSE	COEFF.	% AREALI (ha)
A: PASCOLI E FORESTE	3.2.1	AREE A PASCOLO NATURALE	0,6	25,52
	3.2.4.2	AREE A RICOLONIZZAZIONE ARTIFICIALE	0,6	151,99
	3.2.4.1	AREE A RICOLONIZZAZIONE NATURALE	0,6	55,41
	3.3.3	AREE CON VEGETAZIONE RADA <5%E>40%	0,6	39,3
	2.4.3	AREE PREV. OCCUPATE DA COLTURA AGRARIE CON PRESENZA DI SPAZI NATURALI IMPORTANTI	0,6	100,71
	3.2.3.2	GARIGA	0,6	27,63
	2.4.4	AREE AGROFORESTALI	0,6	24,34
B: FORESTE	3.1.2.1	BOSCO DI CONIFERE	0,05	36,07
	3.1.1.1	BOSCO DI LATIFOGIE	0,05	1210,65
	3.2.2.1	CESPUGLIETI ED ARBUSTETI	0,05	237,96
	3.2.3.1	MACCHIA MEDITERRANEA	0,05	1365,45
	3.1.1.2.1	PIOPPETI SALICETI EUCALITTETI ECC ANCHE IN FORMAZIONI MISTE	0,05	33,03
	2.4.2	SISTEMI COLTURALI E PARTICELLARI COMPLESSI	0,05	10,99
	1.3.3	CANTIERI	1	12,41
	1.3.2	DISCARICHE E DEPOSITI DI ROTTAMI	1	0,35

C: TERRENI SCIOLTI (DENUDATI - STERILI)	3.2.2.2	FORMAZIONI DI RIPA NON ARBOREE	1	42,16
	3.3.1.5	LETTI DI TORRENTI DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M	1	1,42
	3.3.2	PARETI ROCCIOSE E FALESIE	1	6,22
	3.3.1.1	SPIAGGE DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M	1	8,87
	3.3.1.3	AREE DUNALI COPERTE DA VEGETAZIONE DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M	1	3,58
	3.1.3	SPIAGGE DUNE E SABBIE	1	14,61
D: PRATI E COLTURE SEMINABILI	2.4.1.3	COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE AD ALTRE COLTURE PERMANENTI	0,4	8,92
	2.4.1.1	COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE ALL'OLIVO	0,4	11,66
	2.1.1.2	PRATI ARTIFICIALI	0,4	101,86
E: CAMPI COLTIVATI SECONDO LA MAX PENDENZA	2.1.1.1	SEMINATIVI IN AREE NON IRRIGUE	0,9	249,32
F: FRUTTETI E VIGNETI SENZA VEGETAZIONE AL SUOLO	2.2.2	FRUTTETI E FRUTTI MINORI	0,7	116,79
	2..23	OLIVETTI	0,7	31,14
	2.2.1	VIGNETI	0,7	4,60
U: SUPERFICI PAVIMENTATE E URBANIZZATE	1.1.2.2	FABBRICATI RURALI	0,02	8,65
	1.2.1.2	INSEDIAMENTO DI GRADI IMPIANTI DI SERVIZI	0,02	0,70
	1.2.2.1	RETI STRADALI E SPAZI ACCESSORI	0,02	104,88
	1.1.1.2	TESSUTO RESIDENZIALE RADO	0,02	207,22
	1.1.2.1	TESSUTO RESIDENZIALE RADO E NUCLEIFORME	0,02	89,86
	1.2.2.4	IMPIANTI A SERVIZIO DELLE RETI DI DISTRIBUZIONE	0,02	0,21

Tabella 19 - Classi dell'uso del suolo

Definizione e accorpamento dei dati morfometrici

Partendo dalle immagini da satellite è stato elaborato un modello digitale del terreno ad alta definizione con risoluzione planoaltimetrica pari a 50 cm, utilizzata come base per l'elaborazione da parte del plug-in dei dati morfometrici principali (acclività dei versanti, indice di drenaggio, esposizione, etc) tra i quali la "pendenza" rappresenta l'elemento fondamentale: sono state prese in considerazione 5 classi con grado percentuale crescente: (5-10%) – (10 -20%) – (20 - 35%) - (35 -45 %) - (> 45%) a ciascuna delle quali il plug - in ha attribuito un codice/parametro.

Classificazione delle “sorgenti di sedimento”, rilevamento delle “coperture mobilizzabili” e definizione delle classi del “grado di resistenza all’erosione delle rocce”

Il valore aggiunto dell'esperienza Maregot, nell'applicazione della metodologia di Gavrilovic e Zemlic, è dato soprattutto dal grande dettaglio adottato nell'acquisizione "originale" dei dati geolitologici e geomorfologici "in campo" e nella produzione di derivate cartografie tematiche (Carte delle sorgenti di sedimento – Carta delle coperture mobilizzabili – Carta delle Unità Morfologiche) dalle quali è stata derivata la "Carta del grado di resistenza all'erosione delle rocce" in scala 1:10.000, figura 57, di cui nel seguito (figura 58) si riporta una riproduzione schematica e la legenda, accompagnate da ulteriori e specifiche indagini di campo (misure sclerometriche) e di laboratorio (analisi mineropetrografiche al microscopio).

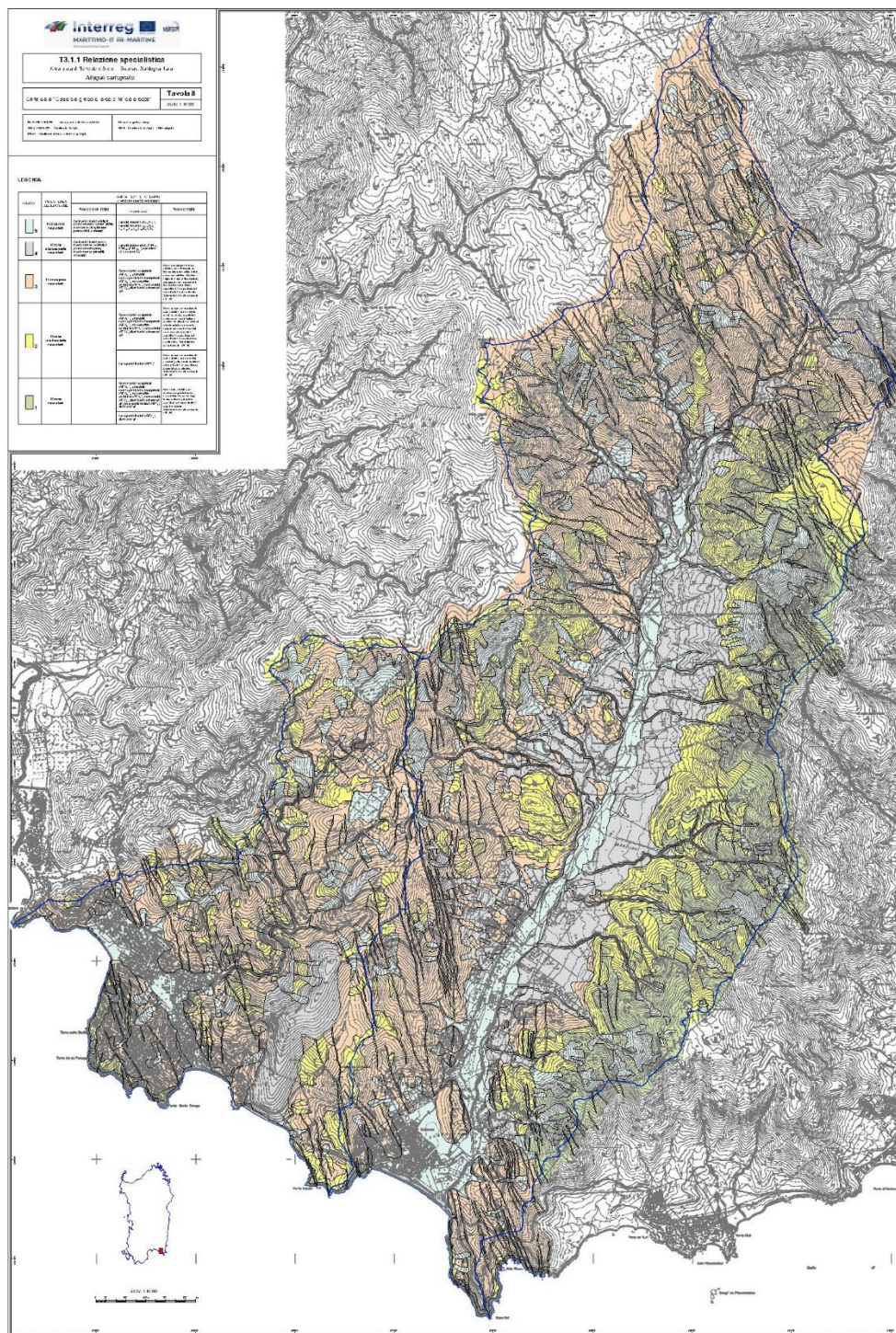


Figura 57 - Carta del grado di resistenza all'erosione delle rocce

**LEGENDA DELLA CARTA DELLE “CLASSI DEL GRADO DI ERODIBILITA’ DELLE ROCCE
BACINO RIU SOLANAS – RIU GAVOI**





CLASSI	RESISTENZA ALL'EROSIONE	CARATTERI LITOTECNICI (verifiche speditive di campagna)		
		Rocce non litoidi	Formazioni	Rocce litoidi
 5	Rocce non resistenti	Sedimenti clastici sciolti, di granulometria grossa variabile, raramente fine, altamente permeabili e anisotropi	depositi antropici (h_{1f} , h_{1a}), depositi olocenici (g_2 , b , d , a_3 , a_{1a} , a_{1b} , a_{1c} , a_{1d} , b_2 , a , b_n)	
 4	Rocce scarsamente resistenti	Sedimenti clastici poco o mediamente addensati, di granulometria grossa, mediamente permeabili, anisotropi	depositi pleistocenici (PVM_{2a} , PVM_{2c} , PVM_{2d}), formazione di Ussana (USS)	
 3	Rocce poco resistenti		Granodioriti equigranulari (GEA_c), granodioriti monzogranitiche inequigranulari (GEA_d), masse gabbro-tonalitiche (GEA_a), monzosieniti (GEA_b), filoni basici e intermedi (fb)	Rocce moderatamente tenere, cristalline; sono interessate da intensa alterazione di tipo chimico, preservano strutture e tessiture originarie e discontinuità primarie, si degradano senza assumere la consistenza di un terreno (saproliti s.l.). La spaziatura delle discontinuità è subcentimetrica. Valori di rimbalzo allo sclerometro: (10-25)
 2	Rocce mediamente resistenti		Granodioriti equigranulari (GEA_c), granodioriti monzogranitiche inequigranulari (GEA_d), masse gabbro-tonalitiche (GEA_a), monzosieniti (GEA_b), filoni basici e intermedi (fb)	Rocce da dure a moderatamente dure, cristalline; sono completamente decolorate, soprattutto in corrispondenza delle fratture, e mediamente alterate ma dotate di discreta resistenza meccanica. Comprendono anche i nuclei di rocce (core stone) dentro le saproliti s.l. La spaziatura delle discontinuità è da decimetrica a centimetrica. Valori di rimbalzo allo sclerometro: (26-45)
			Leucograniti biotitici (GEA_t)	Rocce da dure a moderatamente dure, cristalline; sono decolorate e ossidate, attraversate da sistemi di discontinuità con spaziatura da decimetrica a centimetrica. Valori di rimbalzo allo sclerometro: (26-45)
 1	Rocce resistenti		Granodioriti equigranulari (GEA_c), granodioriti monzogranitiche inequigranulari (GEA_d), masse gabbro-tonalitiche (GEA_a), monzosieniti (GEA_b), filoni basici e intermedi (fb), leucograniti biotitici (GEA_t), filoni acidi (fr)	Rocce dure, cristalline; non mostrano segni di alterazione e/o decolorazione se non lungo le discontinuità principali. La spaziatura delle discontinuità è superiore al metro. Valori di rimbalzo allo sclerometro: (46-65)
			Leucograniti biotitici (GEA_t), filoni acidi (fr)	

Figura 58 – Legenda della Carta del Grado di erosione delle rocce

I dati e le informazioni raccolte in campo hanno consentito di rilevare e rappresentare le coperture terziarie e quaternarie “mobilizzabili” e le rocce del substrato granitico e filoniano e di attribuire ad ognuna, le principali caratteristiche predisponenti all'erosione, sia geostretturali (fratturazione, stratificazione,) che composizionali (depositi alluvionali, conglomerati, arenarie, etc.). Sono stati inoltre distinti i settori in erosione connessa al corso d'acqua e lungo il reticolo idrografico, quali barre, isole, sponde fluviali ed i settori in frana, distinguendo quelli “attivi” e con sorgente collegata al reticolo idrografico, quelli “quiescenti” ma attivabili durante eventi alluvionali/di piena, da quelli “potenziali”: attivi ma con sorgente non direttamente collegata al reticolo idrografico.

Per entrambi i bacini idrografici è stato possibile identificare e tipologizzare “qualitativamente” le aree dove il sedimento viene prodotto e messo in connessione con la rete idrografica, attribuendo a ciascuna delle classi accorpate un coefficiente. Un tale approfondimento ha reso possibile derivare il layer “grado di resistenza all'erosione” derivato dall'accorpamento delle formazioni geolitologiche in 5 classi omogenee di grado decrescente rappresentate nella cartografia tematica.

Inoltre, a supporto ed al fine di “confortare” la classificazione “qualitativa” adottata sono state eseguite indagini geomeccaniche dirette “speditive” in campo ed analisi minero-petrografiche approfondite in laboratorio.

Le prove in campo, di caratterizzazione fisico-meccanica, hanno interessato 38 Stop nei quali sono state eseguite le battute con lo Sclerometro meccanico Geo Hammer della DRC Italia registrando i valori rilevati sia sulle masse gabbro-tonalitiche (GEAa) e sui depositi granodioritici e leucogranitici (GEAc, GEAd) interessati da vario grado di alterazione, sia su intrusioni filoniane subvulcaniche a chimismo acido (fr) e intermedio-basico (fb). Gli indici di rimbalzo rilevati sono stati ottenuti in prevalenza lungo piani verticali ($A=00$), di rado su tagli esposti secondo piani orizzontali ($A=90$), evidenziando valori abbastanza in accordo con le classi del grado di resistenza all'erodibilità valutato visivamente sul campo (Figura 59) e cartografato.



Figura 59 – Misure sclerometriche

Sono stati misurati valori bassi (range tra 10 e 25) per le rocce più alterate o molto fratturate e “poco resistenti”, valori medi (range tra 26 e 45) per le rocce moderatamente alterate e “mediamente resistenti” e valori più alti (range tra 46 e 65) per le rocce sane o debolmente alterate e meno fratturate, classificate “resistenti”.

Si è osservato che la spaziatura areale delle diaclasi entro la roccia costituisce una variabile non trascurabile in quanto la frequenza della fratturazione aumenta o diminuisce, in modo inversamente proporzionale, alla resistenza o propensione all'erosione delle diverse rocce.

Sono stati inoltre prelevati 25 campioni rappresentativi degli affioramenti rocciosi e dei filoni a diverso grado di alterazione sottoponendoli ad analisi mineropetrografica in sezione sottile al microscopio polarizzatore finalizzata alla valutazione delle caratteristiche paragenetiche delle rocce con particolare riferimento ai minerali di alterazione ed ai rapporti di saldezza tra i diversi minerali.

Nella tabella 20 che segue vengono riportate le caratteristiche petrografiche sintetiche dei campioni con particolare riferimento alle paragenesi primarie e di trasformazione secondaria ed il grado di alterazione evidenziato.

Lo studio minero-petrografico è stato eseguito su campioni appartenenti alle classi 1 (rocce resistenti), 2 (rocce mediamente resistenti) e 3 (rocce poco resistenti).

Lo studio in sezione sottile quindi ha riguardato, oltre alle caratteristiche mineralogiche e paragenetiche dei litotipi campionati, anche lo studio dei minerali di alterazione, le caratteristiche di microfratturazione ed i rapporti di saldezza tra i minerali.

Sulla base di detto studio è stato possibile inquadrare i litotipi campionati nelle seguenti 3 classi di alterazione petrografica:

- Assente o subordinata
- Incipiente
- Diffusa

Le osservazioni petrografiche paragonate con le risultanze dell'analisi speditiva eseguita in campagna con lo sclerometro hanno sostanzialmente confermato i valori di rimbalzo ottenuto indicando una correlazione tra questi e lo stato di alterazione dei litotipi indagati.

Sigla SS	Punto prelievo	Classe Alterazione/predisposizione all'erosione			Classe alterazione petrografica	Petrografia sintetica	Sigla Geo
		1-Verde	2-Gialla	3-Arancio			
Stop1	STOP 1		2-Gialla		Incipiente	Tessitura granulare subedrale per quarzo, plagioclasti, kfeldspato, biotite rara allanite, roccia con debole fratturazione e presenza di minerali argillosi che interessano in parte le fratture e parzialmente i plagioclasti. Localmente presenti venule di quarzo. L'indice di saldezza risulta debolmente allentato. Incipiente alterazione. Granodiorite	GEAd
Stop4		1-Verde			Assente o subordinata	Tessitura microcristallina anedrale per abbondante quarzo, subordinati feldspati e rara biotite cloritizzata. Roccia sana	fr
Stop10	STOP 10		2-Gialla		Incipiente	Tessitura granulare subedrale per quarzo, plagioclasti, kfeldspato, biotite rara allanite, roccia con debole fratturazione e presenza di minerali argillosi che interessano in parte le fratture e parzialmente i plagioclasti. Rara presenza di venule di quarzo. I minerali presentano bordi compenetrati e solo localmente si presentano allentati. Incipiente alterazione. Granodiorite	GEAd
Stop12	STOP 12		2-Gialla		Incipiente	Tessitura granulare subedrale per quarzo, kfeldspato, plagioclasti e biotite, roccia con fratturazione e ricircolo di quarzo in venule subordinata argillificazione dei plagioclasti. L'indice di saldezza risulta debolmente allentato. Incipiente alterazione. Leucogranito	GEAf
Stop13	STOP 13	1-Verde			Incipiente	Tessitura granulare subedrale per quarzo, kfeldspato, plagioclasti e biotite, roccia poco fratturata e rara argillificazione dei plagioclasti. I minerali presentano bordi compenetrati. Roccia sana. Leucogranito	GEAf
Stop14	STOP 14		2-Gialla		Incipiente	Tessitura granulare subedrale per quarzo, kfeldspato, plagioclasti e biotite, presenza di fratturazione e parziale argillificazione dei plagioclasti subordinata presenza di venule di quarzo. I rapporti tra i minerali risulta debolmente allentato. Incipiente alterazione. Leucogranito	GEAf
Stop15	STOP 15	1-Verde			Assente o subordinata	Tessitura granulare subedrale per quarzo, kfeldspato, plagioclasti e biotite, roccia poco fratturata e rara argillificazione dei plagioclasti. I minerali presentano bordi compenetrati. Roccia sana. Leucogranito	GEAf
Stop16	STOP 16	1-Verde			Incipiente	Tessitura porfirica per quarzo subedrale e plagioclasti idiomorfi argillificati, massa di fondo argillificata e cloritizzata. Venule di clorite e epidoti e rare venule di quarzo. Incipiente alterazione	fr
Stop17	STOP 17	1-Verde			Assente	Tessitura granulare subedrale per plagioclasti, subordinato kfeldspato e quarzo, biotite ed anfibolo, minerali opachi. Roccia con debole fratturazione. I minerali presentano bordi compenetrati. Roccia sana. Tonalite gabbrodioritica	GEAc
Stop 18b	STOP 18			3-Arancio	Diffusa	Tessitura debolmente porfirica per plagioclasti argillificati e rari femici cloritizzati in massa di fondo cristallina per plagioclasti terrosi, femici cloritizzati ascrivibili ad anfibolo pirosseni e biotite, abbondanti minerali opachi. Roccia alterata. Tonalite?	GEAd

Tabella 20 – caratteristiche petrografiche dei campioni

Nel seguito, in figura 60, lo schema del Piano di campionamento e misure in campo:

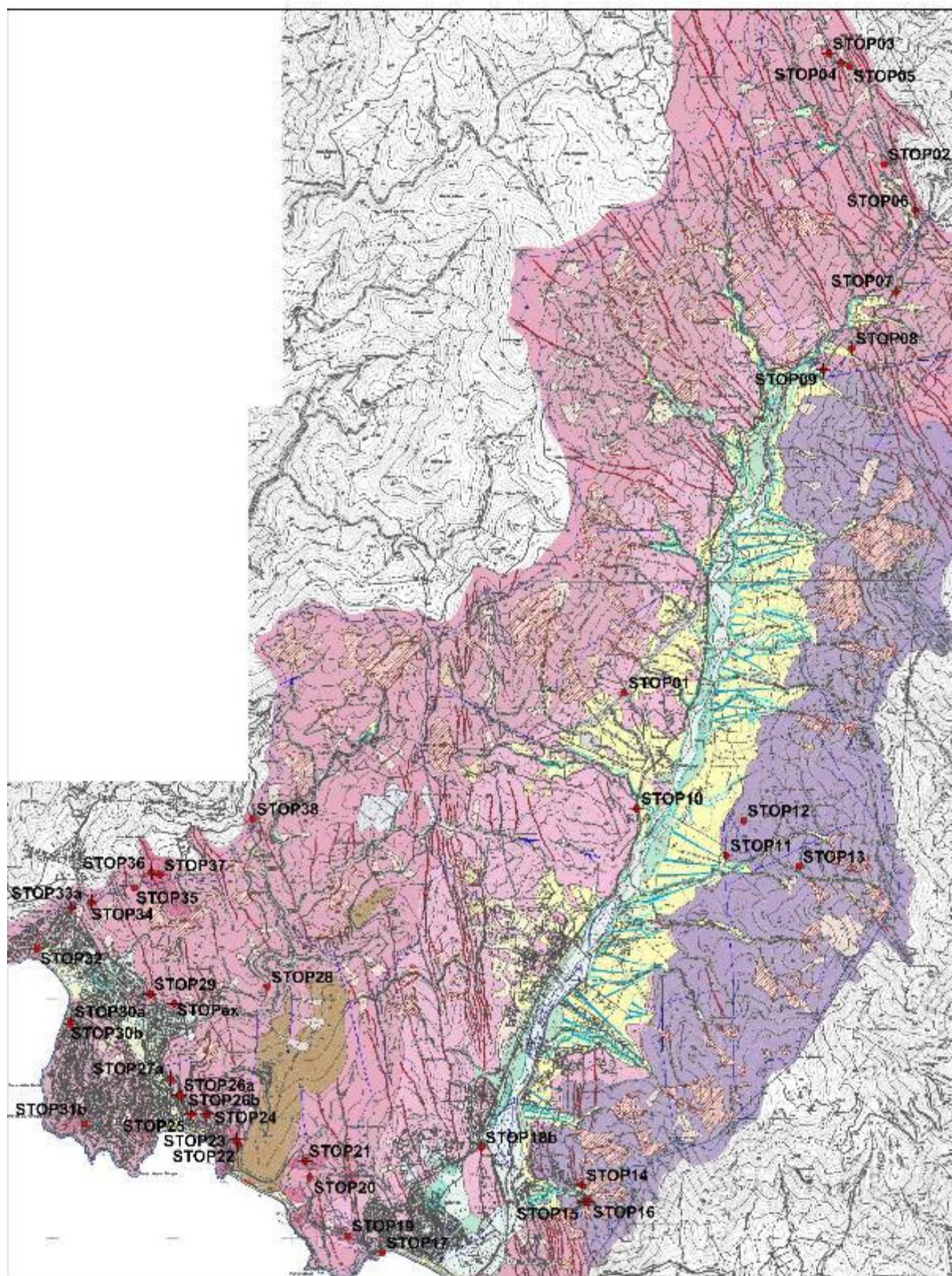


Figura 60 - Schema del Piano di campionamento

Definizione dell'Indice di Connettività (IC) e delle aree di ricarica del reticolo principale

Il modello originario di Gavrilović, nella fase iniziale del progetto, è stato applicato ai due bacini delle aree di studio, il quale output mostrava tuttavia una forte sovrastima del materiale che arriva alla sezione di chiusura. Ciò ha portato ad affermare che i versanti producono relativamente tanto materiale, ma che buona parte, rimane statico sui versanti e depositato nel fondovalle. Partendo da questo presupposto, è stata identificata e applicata una metodologia che potesse esprimere al meglio questo fenomeno, individuando un applicativo GIS che riesca a discriminare, delle porzioni di bacino in connessione con il reticolo idrografico, e che quindi sono soggette al trasporto di sedimento, da delle aree dove invece il sedimento si deposita.

Tale applicativo è rappresentato da un indice di connettività dei versanti con un target lineare, identificato nel reticolo idrografico principale. L'indice di connettività del sedimento (IC) proposto da Cavalli et al., 2013, figura 61, basato sul lavoro di Borselli et al., 2008, esprime il grado di connessione dei flussi di sedimenti di una certa area, in particolare tra le sorgenti di produzione del sedimento e zone a valle. L'indice intende rappresentare la potenziale connettività del sedimento tra le diverse parti di un bacino, che in alcuni casi, divengono zone nelle quali il materiale è trattenuto.

L'indice di connettività valuta l'influenza topografica sulla connettività del sedimento con il reticolo idrografico e in alcuni contesti esso può essere facilmente calcolato in ambiente GIS basandosi su elaborazioni della topografia, derivata da un DEM (Digital Elevation Model), oppure inserendo un fattore peso derivante da processi di uso del suolo. L'indice di connessione così calcolato in ambiente GIS rappresenta una valutazione della connettività basata su informazioni e valutazioni generali del territorio, che ha richiesto, in ogni caso, la verifica di campo.

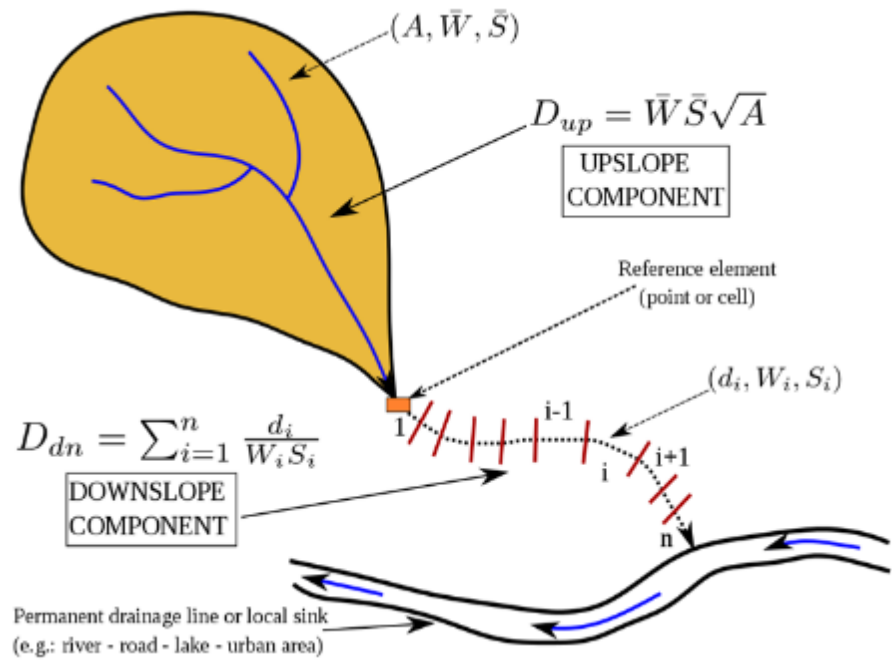


Figura 61 - Schema dell'indice di connettività del sedimento (IC)

$$IC = \log_{10} \left(\frac{D_{up}}{D_{dn}} \right) = \log_{10} \left(\frac{\bar{C} \bar{x} \bar{S} \sqrt{A}}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{d_i}{C_i S_i} \right)} \right)$$

Equazione 4-1 Indice di connettività secondo Borselli

L'indice di connettività consiste in una componente upslope e in una downslope, secondo la seguente formula (Cavalli et al., 2013):

$$IC = \log_{10} \left(\frac{D_{up}}{D_{dn}} \right)$$

Equazione 4-2 Indice di connettività

con IC che varia nell'intervallo da $[-\infty, +\infty]$.

La componente upslope (D_{XY}) rappresenta il potenziale convogliamento verso il basso dei sedimenti prodotti nella parte alta e si stima come segue:

$$D_{up} = \bar{W} \bar{S} \sqrt{A}$$

Equazione 4-3 Componente upslope

in cui w rappresenta la media del fattore peso ed S la media della pendenza (m/m) dell'area drenata a monte, mentre A rappresenta l'area drenata (mq). Il fattore peso w rappresenta l'impedenza dei flussi idrici e sedimentari a essere convogliati lungo il versante, e risultano controllati, dalle caratteristiche di gestione di uso del suolo (Borselli et al., 2008), e dalle caratteristiche morfologiche dei versanti. La componente downslope D_{ZI} tiene conto della lunghezza del tratto percorso dal sedimento per arrivare al più vicino sink (aree di trattenuta del sedimento).

Pertanto, D_{ZI} può essere espresso come:

$$D_{dn} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{d_i}{w_i S_i} \right)$$

Equazione 4-4 Componente downslope

dove d_i è la lunghezza del percorso lungo la i -esima cella nella direzione di massima pendenza (m), w_i ed S_i sono rispettivamente il fattore peso e la pendenza (m/m) della i -esima cella (Cavalli et al., 2013).

Rispetto al modello precedente proposto da Borselli et al. 2008, nel lavoro di Cavalli, 2013, al fine di adattare il modello ai bacini montani, sono state effettuate delle modifiche riguardanti il calcolo del fattore di pendenza, il calcolo dell'area contribuyente e la scelta del fattore peso w (Weighting factor). In questo modello modificato, infatti, si preferisce adottare per il valore di S , un limite inferiore di 0.005 m/m, per evitare divisioni per 0 nell'equazione di IC, e un limite superiore pari a 1 m/m, per evitare errori nel calcolo di IC a causa di elevati valori di pendenza.

In riferimento alle finalità progettuali si è reso necessario implementare inoltre la metodologia originaria per la stima di produzione di sedimenti attraverso l'uso del metodo EPM che in prima analisi ha consentito di ricavare il volume di sedimenti prodotti all'interno di un bacino idrografico non permettendo di avere indicazioni per individuare le aree di produzione di sedimenti.

Risultava invece di fondamentale importanza capire la localizzazione di tali aree soprattutto al fine di una corretta pianificazione e gestione dei sedimenti fluviali. Tenendo conto di queste considerazioni, nell'ambito delle attività operative è stata sviluppata la possibilità di localizzare le aree a maggior o minor produttività di sedimenti, facendo una piccola variazione al metodo classico EPM. Il nuovo metodo è stato portato avanti utilizzando una griglia a maglie quadrate, con lato variabile, individuando così delle celle quadrate dislocate per tutta l'area del bacino idrografico studiato. Successivamente per ogni cella è stato eseguito il calcolo considerando i coefficienti e i parametri necessari per l'applicazione dell'equazione di Gavrilović.

Il risultato finale consente di individuare le aree che producono sedimenti e la quantità di sedimenti prodotta. In una prima fase delle attività, la griglia di riferimento era costituita da un layer di tipo vettoriale costituito da celle quadrate di lato pari a 250 metri. Nel caso specifico avendo disponibili dati di input ad alta risoluzione ed avendo a disposizione dati di rilevamento, soprattutto sullo stato di alterazione delle rocce affioranti nel bacino idrografico e sul loro grado di resistenza all'erosione, è stato possibile utilizzare una dimensione del lato delle celle molto più piccola fino a valori centimetrici, (figura 62) in coerenza con il DTM adottato. Per il Rio Solanas ed il Rio Gavoi processati unitariamente si riporta la sintesi del risultato della procedura applicata sintetizzata nelle successive tabelle di sintesi contenenti i valori dei principali fattori della formula di Gavrilović (tabella 21).

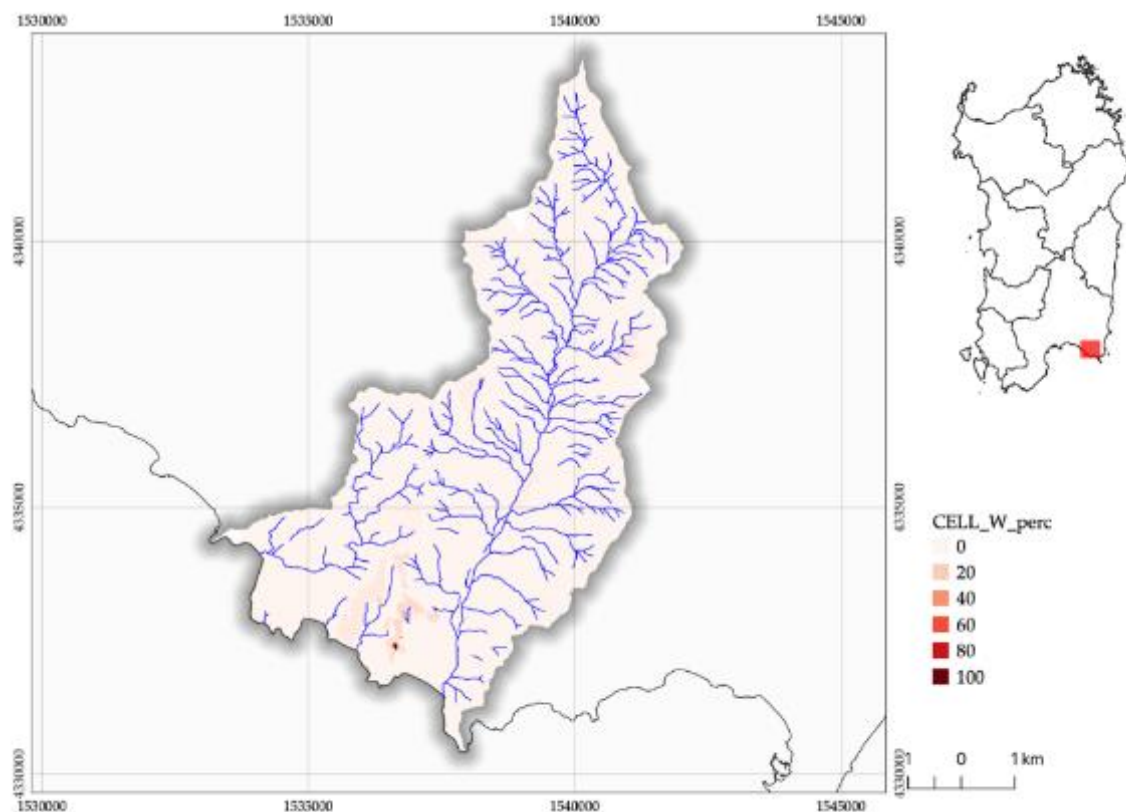


Figura 62 - Rappresentazione della distribuzione spaziale di W (Bacino Riu Solanas). Le classi in legenda indicano il contributo in percentuale nella produzione di sedimenti all'interno del bacino: 0-20, basso, 40-60, medio, 80-100 alto.

Il calcolo finale per il Bacino del Riu Solanas-Gavoi ha prodotto i seguenti risultati

$$W_y = T \times h_y \times \pi \times \sqrt{Z^3}$$

$$G_y = \xi \times W_y$$

$$W_y = 321.77 \text{ m}^3 \text{ km}^{-2} \text{ year}^{-1}$$

$$G_y = 62.68 \text{ m}^3 \text{ km}^{-2} \text{ year}^{-1}$$

Parametro	Valore
Uso del suolo (X)	0,241
Geologia (Y)	0,885
Idrografia (ρ)	0,066
Frane (γ)	0,061
Pendenze (σ)	0,46
Sediment Delivery Ratio (ξ)(SDR)	0,16
Z	0,25
Pendenza media bacino (J)(%)	32,67
Superficie totale (S)(km ²)	44,03
Precipitazioni (mm)	647,12
Temperatura	15.75

Tabella 21 - Risultato finale Bacino Riu Solanas-Gavoi

Per la determinazione del coefficiente X sono stati utilizzati i seguenti parametri (Tabella 22):

UDS	X	AREA Km ²	% AREA BACINO
AREE A PASCOLO NATURALE	0.6	0.255	0.58
AREE A RICOLONIZZAZIONE ARTIFICIALE	0.6	1.52	3.452
AREE A RICOLONIZZAZIONE NATURALE	0.6	0.554	1.258
AREE AGROFORESTALI	0.6	0.243	0.553
AREE CON VEGETAZIONE RADA <5%E>40%	0.4	0.393	0.893
AREE DUNALI COPERTE DA VEGETAZIONE DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M	0.4	0.036	0.081
AREE PREV. OCCUPATE DA COLTURA AGRARIE CON PRESENZA DI SPAZI NATURALI IMPORTANTI	0.4	1.007	2.287
BOSCO DI CONIFERE	0.05	0.361	0.819
BOSCO DI LATIFOGIE	0.05	12.107	27.495
CANTIERI	0.0	0.124	0.282
CESPUGLIETI ED ARBUSTETI	0.6	2.38	5.404
COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE AD ALTREN COLTURE PERMANENTI	0.4	0.089	0.203
COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE ALL'OLIVO	0.4	0.117	0.265
DISCARICHE E DEPOSITI DI ROTTAMI	0.0	0.004	0.008
FABBRICATI RURALI	0.0	0.086	0.196
FORMAZIONI DI RIPA NON ARBOREE	1.0	0.422	0.958
FRUTTETI E FRUTTI MINORI	0.7	1.168	2.652
GARIGA	0.6	0.276	0.627
IMPIANTI A SERVIZIO DELLE RETI DI DISTRIBUZIONE	0.0	0.002	0.005
INSEDIAMENTO DI GRADI IMPIANTI DI SERVIZI	0.0	0.007	0.016
LETTI DI TORRENTI DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M	1.0	0.014	0.032
MACCHIA MEDITERRANEA	0.05	13.655	31.011
OLIVETI	0.7	0.311	0.707
PARETI ROCCIOSE E FALESIE	1.0	0.062	0.141
PIOPPETI SALICETI EUCALITTETI ECC ANCHE IN FORMAZIONI MISTE	0.05	0.33	0.75
PRATI ARTIFICIALI	0.4	1.019	2.313
RETI STRADALI E SPAZI ACCESSORI	0.0	1.049	2.382
SEMINATIVI IN AREE NON IRRIGUE	0.4	2.493	5.662
SISTEMI COLTURALI E PARTICELLARI COMPLESSI	1.0	0.11	0.25
SPIAGGE DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M	1.0	0.089	0.201
SPIAGGE DUNE E SABBIE	1.0	0.146	0.332
TESSUTO RESIDENZIALE RADO	0.0	2.072	4.706
TESSUTO RESIDENZIALE RADO E NUCLEIFORME	0.0	0.899	2.041
VIGNETI	0.7	0.046	0.104

Tabella 22 - Categorie dell'Uso del suolo, (Bacino Riu Solanas-Gavoi)

Per la determinazione del coefficiente Y sono stati utilizzati i seguenti parametri (Tabella 23):

a_codice	Y	AREA Km ²	% AREA BACINO
A	1.95	8.335	18.929
B	1.55	5.653	12.838
C	0.4	17.134	38.913
Cx	0.4	0.403	0.915
D	0.8	7.726	17.546
E	1.15	3.667	8.327
Ex	1.15	1.115	2.532

Tabella 23 - Categorie della Geologia, (Bacino Riu Solanas-Gavoi)

Per la determinazione del coefficiente ϕ , che rappresenta il coefficiente di erodibilità legato ai processi geomorfologici ($\gamma + \rho + \sigma$), sono stati utilizzati i seguenti parametri (Tabelle 24, 25, 26):

a_SIGLA	γ	AREA Km ²	% AREA BACINO
a1a	1.0	0.51	1.157
a1b	1.0	2.416	5.487
a1c	1.0	0.01	0.022
a1d	1.0	0.006	0.013
a3	1.0	0.124	0.282

Tabella 24 - Categorie fattore geomorfologico (frane), (Bacino Riu Solanas -Gavoi)

SLOPE	ρ	AREA Km ²	% AREA BACINO
0-5%	0.85	0.366	0.832
5-20%	0.85	0.798	1.813
>20%	0.85	1.174	2.666

Tabella 25 - Categorie fattore geomorfologico (Idrografia), (Bacino Riu Solanas-Gavoi)

SLOPE	σ	AREA Km ²	% AREA BACINO
0-5%	0.15	1.878	4.265
5-20%	0.4	8.036	18.251
>20%	0.65	28.145	63.919

Tabella 26 - Categorie fattore geomorfologico (pendenze), (Bacino Riu Solanas-Gavoi)

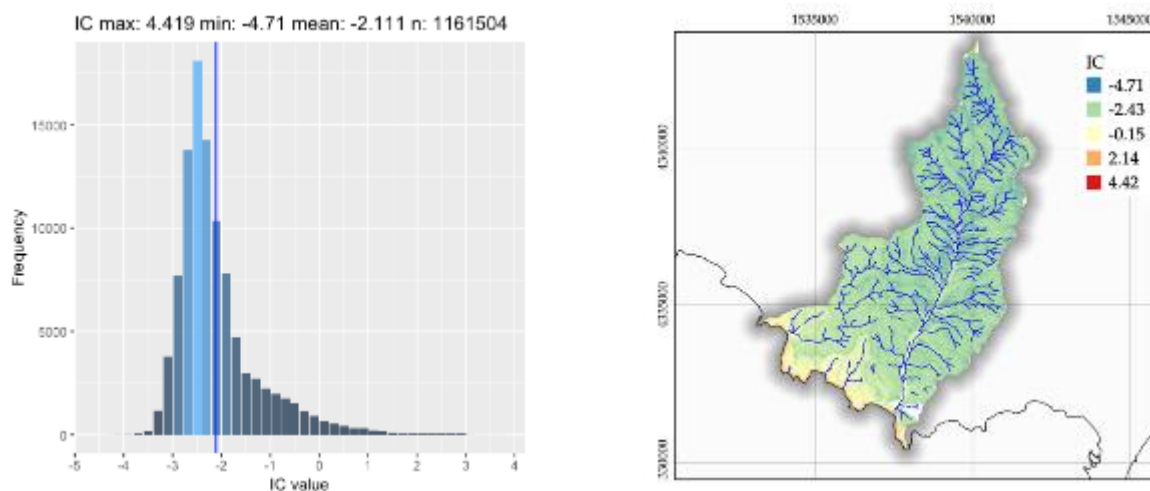


Figura 63 - Rappresentazione della distribuzione dell'indice di connettività (IC)

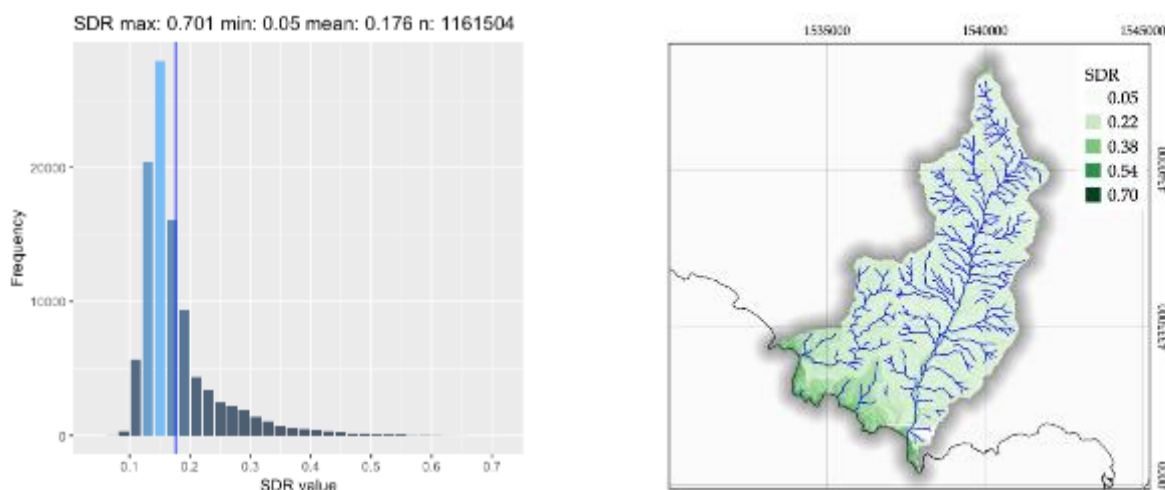


Figura 64 - Rappresentazione del rapporto di rilascio dei sedimenti SDR (Bacino Riu Solanas-Gavoi)

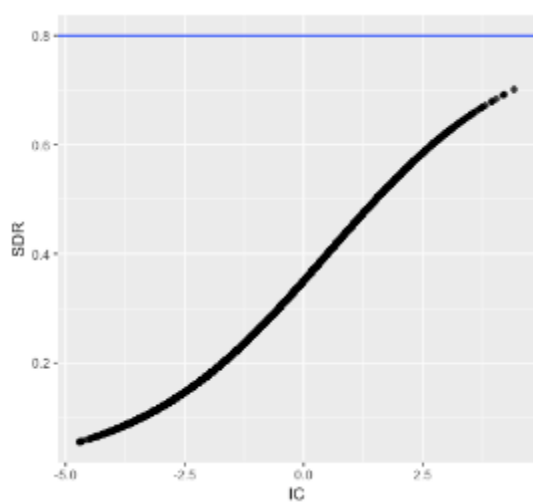


Figura 65 - Confronto tra IC e SDR (Riu Solanas-Gavoi)

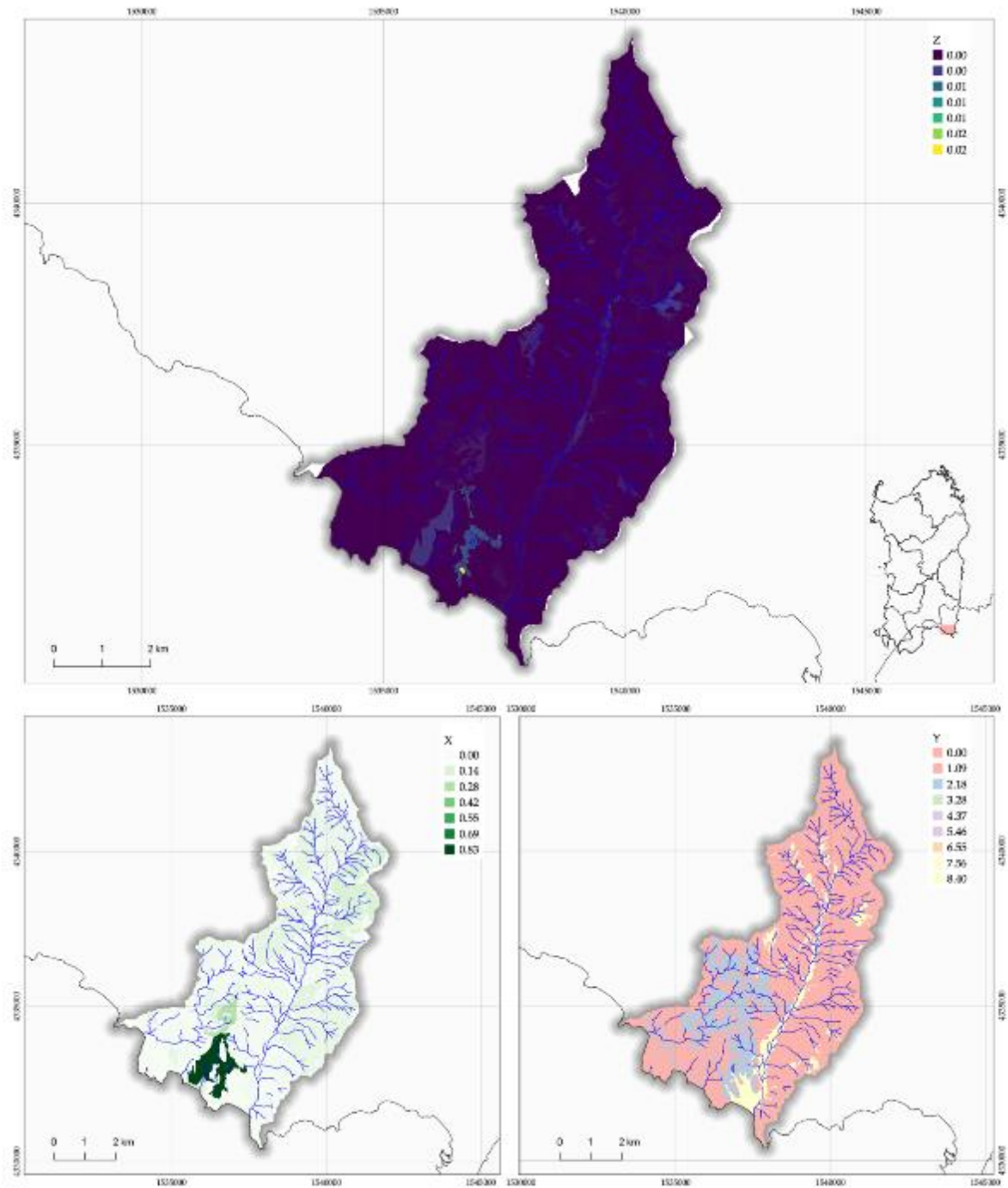


Figura 66 - Distribuzione spaziale dei coefficienti X (coefficiente inerente l'uso del suolo), Y (coefficiente inerente la litologia) e Z (coefficiente di erosione relativa) (Riu Solanas-Gavoi)

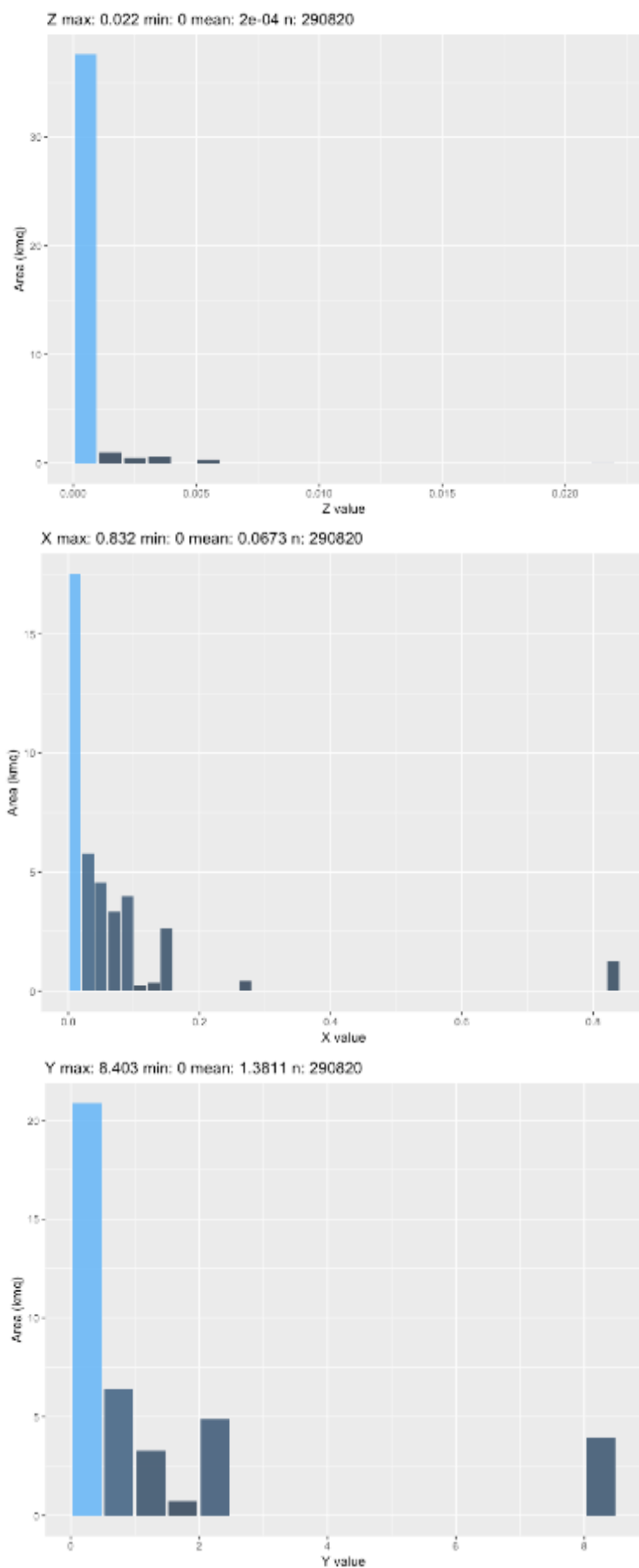


Figura 67 - Istogrammi della distribuzione dei coefficienti X, Y e Z in relazione alla superficie del bacino idrografico, espressa in Km² (Bacino Riu Solanas-Gavoi)

Stima della produzione di sedimenti e TS alla foce

Il processo dei dati e delle numerose informazioni disponibili ha consentito, con l'ausilio di hardware e disponibilità di "capacità macchina" di processamento e archiviazione e, a fronte di tempistiche congrue, il calcolo di materiale eroso trasportato annualmente ed in corrispondenza delle foci misurato pari a 3.279,28 mc/a per il Bacino del Rio Gavoi e 10.888,6 mc/a per il Bacino del Rio Solanas. I report sintetizzano, per ciascun bacino, i risultati del processo dei dati parametrizzati in relazione ai dati ed ai tematismi acquisiti dal software.

Report creato con il plugin EPMGIS-YES (version: 1.4.10b)

Calcolo dell'apporto sedimentario e del trasporto solido
 Bacino Bacino Riu Gavoi

W = 3279.28 m³/year

G = 527.96 m³/year

Uso del suolo (X)	0.241
Geologia (Y)	0.885
Idrografia (r)	0.066
Frane (g)	0.061
Pendenze (s)	0.46
Sediment Delivery Ratio (SDR)	0.161
Z	0.25
Pendenza media bacino (%)	32.67
Superficie totale (km ²)	10.19
Precipitazioni (mm)	647.12
Temperatura	15.75

GIS UDS 2019 Clip

a_DESCRIZ	COEFF.	AREA Km ²	% AREA BACINO
AREE A RICOLONIZZAZIONE ARTIFICIALE	0.6	1.049	10.289
AREE A RICOLONIZZAZIONE NATURALE	0.6	0.152	1.489
AREE AGROFORESTALI	0.6	0.243	2.389
AREE DUNALI COPERTE DA VEGETAZIONE DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M	0.4	0.036	0.351
AREE PREV. OCCUPATE DA COLTURA AGRARIE CON PRESENZA DI SPAZI NATURALI IMPORTANTI	0.4	0.273	2.677
BOSCO DI CONIFERE	0.05	0.094	0.927
BOSCO DI LATIFOGIE	0.05	0.403	3.954
CESPUGLIETI ED ARBUSTETI	0.6	1.192	11.699
FABBRICATI RURALI	0.0	0.02	0.196
FRUTTETI E FRUTTI MINORI	0.7	0.243	2.387
IMPIANTI A SERVIZIO DELLE RETI DI DISTRIBUZIONE	0.0	0.002	0.021
MACCHIA MEDITERRANEA	0.05	3.635	35.671
OLIVETTI	0.7	0.18	1.764
PARETI ROCCIOSE E FALESIE	1.0	0.013	0.126
PIOPPETI SALICETI EUCALITTETI ECC ANCHE IN FORMAZIONI MISTE	0.05	0.319	3.127
RETI STRADALI E SPAZI ACCESSORI	0.0	0.264	2.589
SEMINATIVI IN AREE NON IRRIGUE	0.4	0.076	0.744
SPIAGGE DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M	1.0	0.038	0.376
SPIAGGE DUNE E SABBIE	1.0	0.146	1.433
TESSUTO RESIDENZIALE RADO	0.0	1.561	15.314
TESSUTO RESIDENZIALE RADO E NUCLEIFORME	0.0	0.129	1.265

EPM GIS alterazioni v01 Clip

a_codice	COEFFICIENTE	AREA Km²	% AREA BACINO
A	1.95	1.923	18.865
B	1.55	0.965	9.468
C	0.4	5.31	52.1
Cx	0.4	0.123	1.205
D	0.8	1.583	15.535
E	1.15	0.114	1.119
Ex	1.15	0.174	1.707

EPM GIS FRANE

a_SIGLA	COEFFICIENTE	AREA Km²	% AREA BACINO
a1a	1.0	0.018	0.173
a1b	1.0	0.593	5.816
a1d	1.0	0.006	0.058
a3	1.0	0.003	0.027

GIS Idrografia s

cat	COEFFICIENTE	AREA Km²	% AREA BACINO
1	0.85	0.792	7.771

EPM GIS Pendenze s

DN	COEFFICIENTE	AREA Km²	% AREA BACINO
10	0.2	0.417	4.09
20	0.4	0.939	9.214
300	0.75	1.154	11.324
35	0.5	2.662	26.118
5	0.15	0.29	2.841
50	0.65	3.058	30.007

Calcolo dell'apporto sedimentario e del trasporto solido
Bacino Bacino Riu Solanas

W = 10888.6 m³/year

G = 2232.16 m³/year

Uso del suolo (X)	0.241
Geologia (Y)	0.885
Idrografia (r)	0.066
Frane (g)	0.061
Pendenze (s)	0.46
Sediment Delivery Ratio (SDR)	0.205
Z	0.25
Pendenza media bacino (%)	35.67
Superficie totale (km ²)	33.84
Precipitazioni (mm)	647.12
Temperatura	15.75

EPM GIS UDS 2019 Clip

a_DESCRIZ	COEFF.	AREA Km2	% AREA BACINO
AREE A PASCOLO NATURALE	0.6	0.255	0.754
AREE A RICOLONIZZAZIONE ARTIFICIALE	0.6	0.471	1.393
AREE A RICOLONIZZAZIONE NATURALE	0.6	0.402	1.189
AREE CON VEGETAZIONE RADA <5%E>40%	0.4	0.393	1.161
AREE PREV. OCCUPATE DA COLTURA AGRARIE CON PRESENZA DI SPAZI NATURALI IMPORTANTI	0.4	0.734	2.17
BOSCO DI CONIFERE	0.05	0.266	0.787
BOSCO DI LATIFOGIE	0.05	11.704	34.585
CANTIERI	0.0	0.124	0.367
CESPUGLIETI ED ARBUSTETI	0.6	1.187	3.508
COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE AD ALTREN COLTURE PERMANENTI	0.4	0.089	0.264
COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE ALL'OLIVO	0.4	0.117	0.345
DISCARICHE E DEPOSITI DI ROTTAMI	0.0	0.004	0.01
FABBRICATI RURALI	0.0	0.066	0.196
FORMAZIONI DI RIPANON ARBOREE	1.0	0.422	1.246
FRUTTETI E FRUTTI MINORI	0.7	0.925	2.732
GARIGA	0.6	0.276	0.816
INSEDIAMENTO DI GRADI IMPIANTI DI SERVIZI	0.0	0.007	0.021
LETTI DI TORRENTI DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M	1.0	0.014	0.042
MACCHIA MEDITERRANEA	0.05	10.019	29.607
OLIVETTI	0.7	0.132	0.389
PARETI ROCCIOSE E FALESIE	1.0	0.049	0.146
PIOPPETI SALICETI EUCALITTETI ECC ANCHE IN FORMAZIONI MISTE	0.05	0.012	0.034
PRATI ARTIFICIALI	0.4	1.019	3.01
RETI STRADALI E SPAZI ACCESSORI	0.0	0.785	2.319
SEMINATIVI IN AREE NON IRRIGUE	0.4	2.417	7.144
SISTEMI COLTURALI E PARTICELLARI COMPLESSI	1.0	0.11	0.325
SPIAGGE DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M	1.0	0.05	0.149
TESSUTO RESIDENZIALE RADO	0.0	0.511	1.511
TESSUTO RESIDENZIALE RADO E NUCLEIFORME	0.0	0.77	2.274
VIGNETI	0.7	0.046	0.136

EPM GIS alteraziom v01 Clip

a_codice	COEFFICIENTE	AREA Km ²	% AREA BACINO
A	1.95	6.412	18.948
B	1.55	4.688	13.853
C	0.4	11.824	34.941
Cx	0.4	0.28	0.828
D	0.8	6.142	18.151
E	1.15	3.553	10.498
Ex	1.15	0.941	2.781

EPM GIS FRANE

a_SIGLA	COEFFICIENTE	AREA Km ²	% AREA BACINO
a1a	1.0	0.492	1.454
a1b	1.0	1.823	5.388
a1c	1.0	0.01	0.029
a3	1.0	0.121	0.359

EPM GIS Idrografia s

cat	COEFFICIENTE	AREA Km ²	% AREA BACINO
1	0.85	3.926	11.6

EPM GIS Pendenze s

DN	COEFFICIENTE	AREA Km ²	% AREA BACINO
10	0.2	2.165	6.397
20	0.4	3.816	11.278
300	0.75	7.518	22.217
35	0.5	5.784	17.093
5	0.15	1.307	3.863
50	0.65	6.412	18.948

4.2 L'INSTABILITÀ DELLE COSTE ALTE

L'approccio metodologico adottato, partendo da una visione olistica dell'evoluzione e stabilità delle coste alte, ha previsto la valutazione del sistema unitario emerso-sommerso. Quale area pilota per la valutazione della metodologia proposta è stato scelto il promontorio di Torre delle Stelle, come rappresentativo di coste alte rocciose impostate su litologie granitiche.

Il modello topografico sommerso ed emerso

Modello topografico sommerso

Il modello topografico del settore sommerso è stato realizzato eseguendo un rilievo *single beam*. Di seguito si descrivono gli strumenti ed i mezzi utilizzati per l'esecuzione del rilievo batimetrico.

Ecoscandaglio Single Beam

L'ecoscandaglio utilizzato è di tipo idrografico con una risoluzione digitale di 1 cm (*single-beam Odom*, modello Hydrotrac). La frequenza adottata è di 210 KHz. Il cono di emissione dello strumento è di 9° per una elevata risoluzione. Per garantire la congruenza tra misure di profondità e planimetriche l'ecoscandaglio è stato posizionato in asse al ricevitore per la posizione planimetrica.

Frequency Agile	Operator selectable – 24, 33, 40, 200, 210 and 340 kHz
Output Power	•600 watts
Power Requirement	11-28 V DC (standard) 110/220 V AC (optional)
Communication	2 RS232 or RS422 ports
Depth Range	MAX = 600 m/1968 ft
Resolution	0.1 ft/0.01 m

Tabella 27 – Specifiche tecniche ecoscandagli *single beam Odom Hydrotrac* utilizzato per i rilievi batimetrici.

Strumentazione topografica

È stato utilizzato un GPS differenziale a doppia frequenza (L1-L2) con registrazione di codice e di fase e modalità RTK "on the fly" modello Leica System 1200 con modem, collegato alla rete Italpos che fornisce un servizio di correzione della posizione dalla stazione permanente più vicina.

Questa strumentazione garantisce una precisione, se opportunamente utilizzata, estremamente elevata (10mm + 2ppm rms in tempo reale e 3mm + 0.5ppm rms in modalità statica).

Il GPS è stato interfacciato via uscita seriale RS 232 con il software di navigazione per il posizionamento dei dati batimetrici; settando la stringa NMEA LLK è possibile ricevere la correzione della quota ellissoidica con la finalità di correggere tutte le oscillazioni date dal moto ondoso.

Software di navigazione

Il software gestisce l'acquisizione contemporanea dei dati provenienti dall'ecoscandaglio e dal sistema di posizionamento, il GPS in questo caso secondo le frequenze di arrivo prestabilite. Il software è compatibile con il formato prioritario della Leica "LLK" per l'acquisizione in tempo reale delle coordinate planimetriche e della quota provenienti dal GPS e già trasformate nel sistema di riferimento adottato.

Le rotte di acquisizione dei dati batimetrici SBES sono state eseguite secondo transetti sub ortogonali alla costa e con interlinea pari a 15 metri; l'imbarcazione utilizzata per i rilievi ha navigato con velocità costante non superiore ai 3-4 nodi con strisciata di scandagliamento lungo la rotta continua (Figura 68).

Alle fasi di processing dei dati sono state applicate procedure di controllo di qualità ed eliminazione di dati spuri. Ultimato il *despiking* ed applicata la compensazione è stato restituito il DEM (Digital Elevation Model) dell'area indagata attraverso l'utilizzo di software dedicati.

Per la creazione del DEM i dati sono stati “grigliati” utilizzando parametri adeguati alla scala ed alla risoluzione del rilievo (dimensione cella – 15 x 15 m; raggio di ricerca – 25 x 25 m). Il grigliato è stato successivamente restituito graficamente generando una mappa di distribuzione delle profondità relative all'intera area coperta dal rilievo attraverso isobate o attraverso variazioni cromatiche (“*colour shading*”). Il DEM prodotto ha consentito la restituzione della carta batimetrica georiferita in formato digitale dell'area indagata.

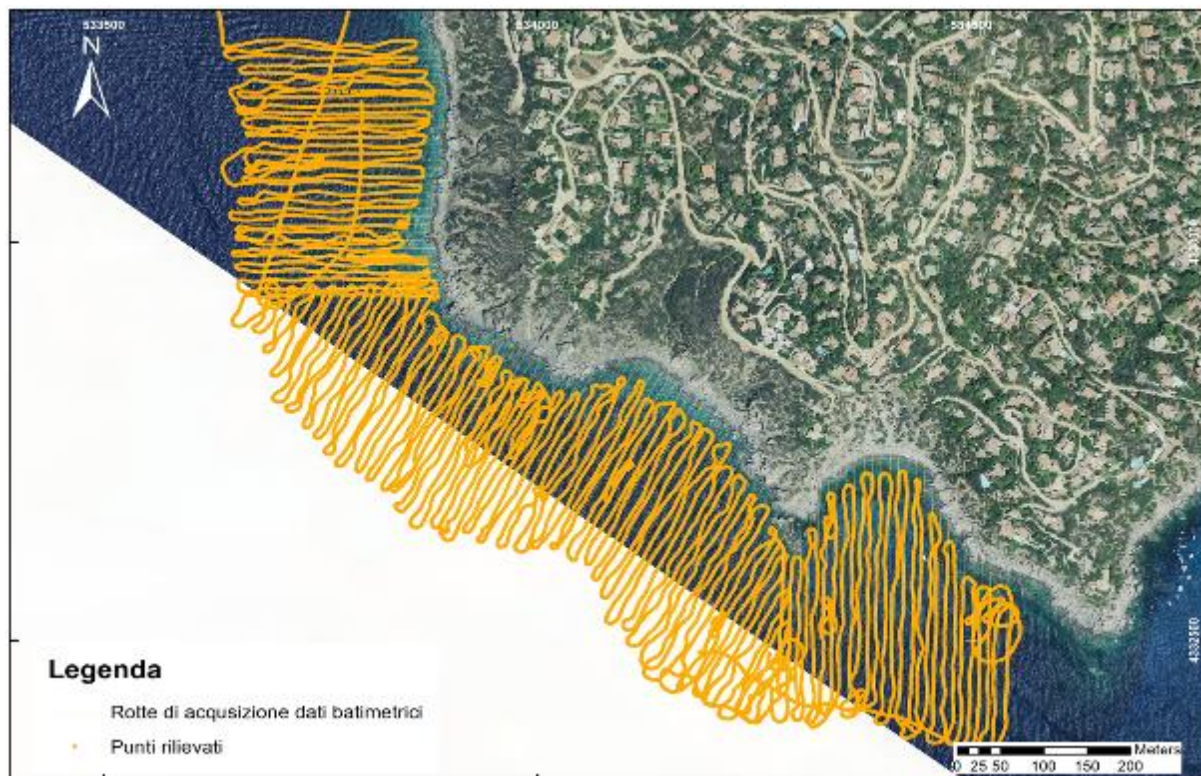


Figura 68 - Acquisizione del modello topografico dell'area sommersa; rilievo batimetrico con Single Beam.

Modello topografico emerso

Il modello topografico di dettaglio dovrebbe essere propedeutico a tutte le altre attività all'interno del sito pilota, in assenza di esso tutte le altre analisi sarebbero difficilmente applicabili e produrrebbero dei risultati poco attendibili. Il modello topografico del sito pilota di Torre delle Stelle è stato costruito attraverso l'utilizzo della fotogrammetria digitale, ciò ha consentito di rappresentare il territorio con un adeguato dettaglio indispensabile per tutte le analisi all'interno dell'area di studio.

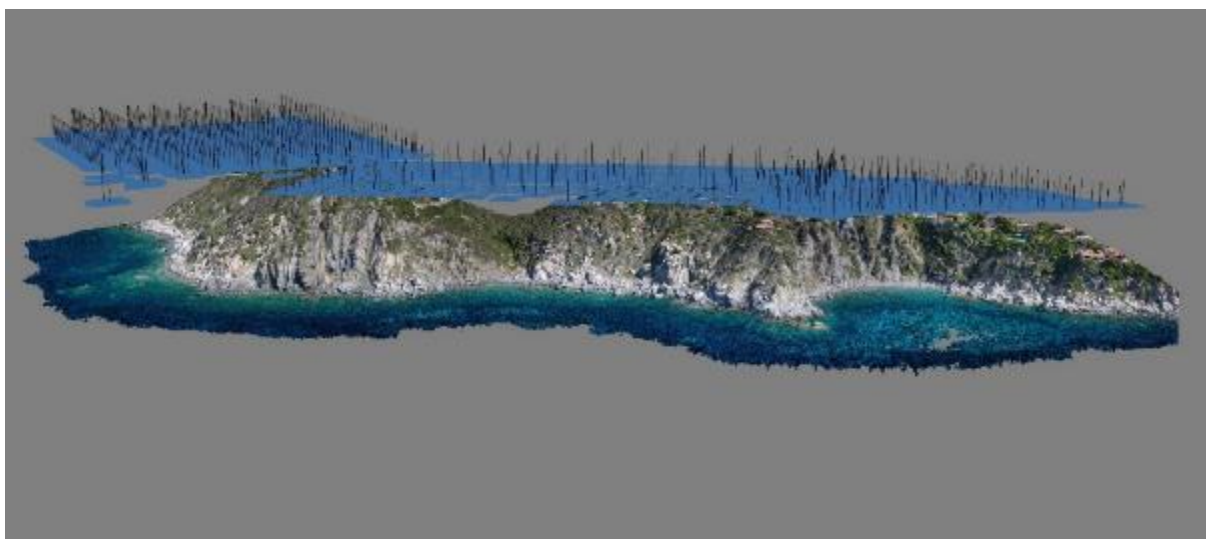


Figura 69 - Elaborazione della nuvola di punti con disposizione dei punti di presa dei fotogrammi.



Figura 70 - Nuvola di punti Torre delle Stelle.

L'utilizzo degli aeromobili a pilotaggio remoto (APR) ha permesso di raccogliere dati geospaziali ad alta risoluzione temporale e geometrica che permettono la generazione di DSM, DTM, ortofoto e modelli 3D (Figura 69, Figura 70, Figura 71, Figura 72).

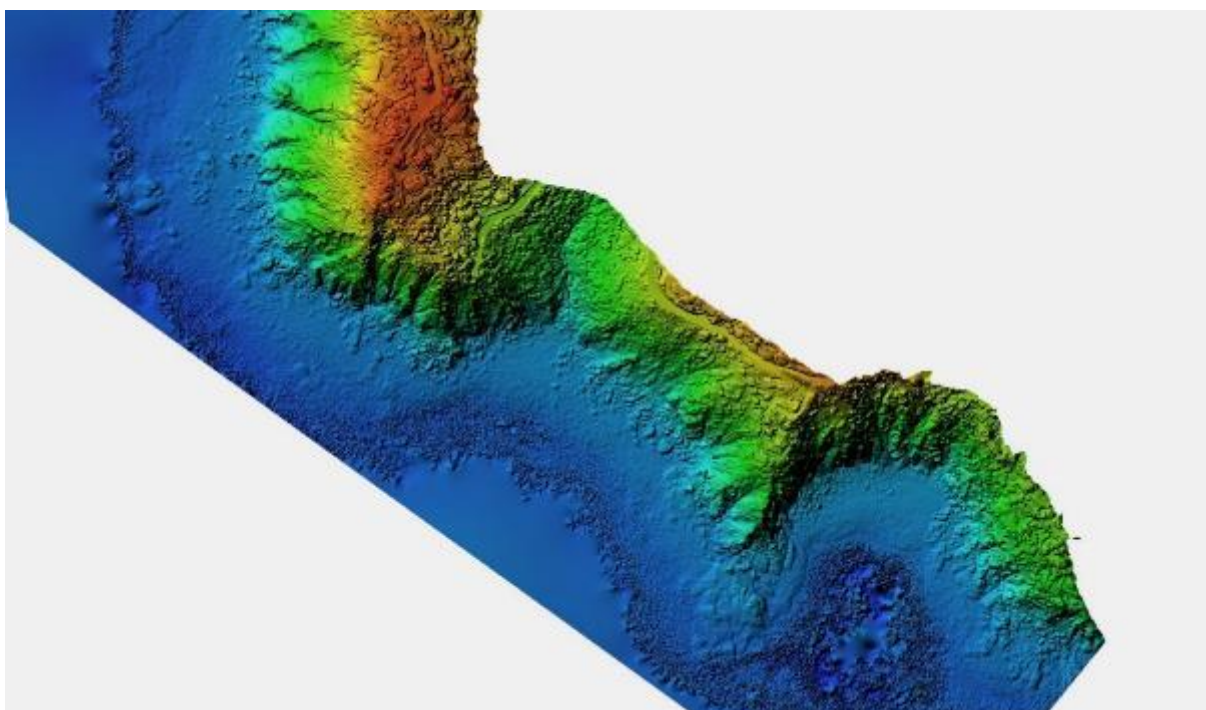


Figura 71 - DEM modello di elevazione digitale Torre delle Stelle.

Il modello topografico del sito pilota è stato realizzato attraverso l'utilizzo di un APR DJI Matrice 200. Questo drone è equipaggiato con una fotocamera Zenmuse X5S da 21 Mpx, e una termocamera Zenmuse XT2.

Il rilievo fotogrammetrico è stato realizzato attraverso le seguenti fasi:

- Posizionamento dei punti di controllo GCP (Ground Control Points): sono quei punti a terra (target) di cui è nota o viene calcolata precisamente la posizione e che sono usati per georeferenziare il rilievo aerofotogrammetrico. In questo lavoro sono stati utilizzati pannelli in forex delle dimensioni di 60x60 cm, colorati in giallo e nero ad elevata visibilità che ne permettano la localizzazione anche da foto aeree scattate a diversi metri di altezza (60-120 mt). Un numero variabile tra 10 e 20 target a terra, uniformemente distribuiti sulla superficie e sullo sviluppo verticale, sono sufficienti per georeferenziare il rilievo ed effettuare i controlli sull'accuratezza e sulla precisione della restituzione. La posizione dei GCP deve essere estremamente precisa, perché da questa dipende l'accuratezza del rilievo; pertanto la loro posizione viene rilevata con un GPS topografico oppure con l'ausilio di una stazione totale, a seconda delle condizioni in sito.
- Acquisizione dei fotogrammi: operazione riguardante la ripresa delle immagini fotografiche realizzata con un piano di volo che permetta la sovrapposizione dei fotogrammi del 80%; in questo studio è stato eseguito un volo con acquisizione nadirale dei fotogrammi e un altro con visione zenitale. Sono stati acquisiti 757 fotogrammi con una risoluzione di 21 Mpx.
- Restituzione: l'utilizzo del software di fotogrammetria (ad esempio, Photoscan) in questo studio ha permesso di costruire una nuvola di punti (64 milioni di punti) dal quale è stato ricavato un DMS con risoluzione di 8 cm/pixel, un DTM e un'ortofoto con risoluzione di 4 cm/pixel (vedere Ortofoto in scala 1:1000 in allegato).



Figura 72 - Ortofoto del settore di Torre delle Stelle.

Laser Scanner

Nell'area di Cala Delfino (Torre delle Stelle) è stato realizzato un secondo modello tridimensionale attraverso l'utilizzo del Laser Scanner (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** figura 73) che ha generato una nuvola di punti con una risoluzione di 3 cm. L'accuratezza del modello restituito ha permesso di ricostruire con estremo dettaglio le superfici esaminate, fornendo i dati molto utili all'analisi geostrutturale.

Il laser scanner misura in una regione di spazio le posizioni di punti presenti nelle 3 dimensioni. Il rilievo tridimensionale fornisce quattro informazioni: le tre coordinate del punto rilevato e il valore della riflettanza, che cambia a seconda della natura del materiale; il risultato è una nuvola di punti molto densa dalla quale è possibile ricavare un numero elevato di dati ed elaborazioni. La costruzione della

nuvola di punti (modello 3D) è stata utilizzata per la caratterizzazione geomeccanica da remoto (metodo indiretto).



Figura 73 - Rilievo Laser Scanner a Cala Delfino.

La caratterizzazione geomeccanica

Il sito di Torre delle Stelle è caratterizzato da un tratto costiero costituito da falesie e versanti molto acclivi. La difficile accessibilità dei versanti rende, in molti casi, problematica l'acquisizione diretta dei parametri geomeccanici e di conseguenza la caratterizzazione dell'ammasso roccioso. Pertanto, la caratterizzazione geomeccanica è stata effettuata attraverso indagini dirette e indirette. Gran parte delle analisi sono state concentrate a Cala Delfino, un'area all'interno del sito pilota molto importante essendo sede di una piccola spiaggia frequentata dai bagnanti nella stagione estiva. I parametri geomeccanici e geotecnici sono stati determinati in sito (prove sclerometriche, prove scissometriche e con penetrometro tascabile) e in laboratorio (*point load*, determinazione delle proprietà indice, caratterizzazione granulometrica e prove di taglio diretto). Le indagini indirette hanno riguardato l'analisi della nuvola di punti con software appositi (*CloudCompare*, *Photoscan*, ecc.).

Il rilievo geomeccanico è stato eseguito lungo una serie di *scan-lines* (Figura 74) in accordo con le linee guida della International Society for Rock Mechanics (ISRM 1978; 1985; 1993). Sulla base delle indagini dirette e indirette sono state distinte 6 unità geomeccaniche (sugli ammassi) e 3 unità litotecniche (sui terreni) costituite da domini con caratteristiche simili (Figura 74). Le unità geomeccaniche sono costituite da: U1 filoni gabbroidi fratturati con caratteristiche geomeccaniche mediocri; U2 rocce granitoidi fratturate con caratteristiche geomeccaniche buone; U3 rocce granodioriti fratturate con caratteristiche geomeccaniche mediocri; U4 rocce granodioriti fratturate con caratteristiche geomeccaniche buone; U5 filoni basici fratturati con caratteristiche geomeccaniche da mediocri a scadenti; U6 rocce granodioriti molto alterate con caratteristiche geomeccaniche scadenti (vedere Carta delle Unità Geomeccaniche in scala 1:1000 in allegato). Le unità litotecniche sono costituite da: UL1 principalmente granitoidi arenizzati; UL2 colate detritiche, falde di detrito, depositi di versante e coltri eluvio-colluviali; UL3 depositi di crollo (blocchi eterometrici, poligenici) e depositi di spiaggia (ciottoli e ghiaie elaborate). Sulla base dei domini omogenei determinati, sono stati prelevati i campioni su materiali lapidei e sui terreni per le successive caratterizzazioni in laboratorio.

Per ciascuna unità geomeccanica sono stati determinati resistenza a compressione monoassiale, RQD, spaziatura delle discontinuità, condizioni di alterazione e riempimento delle discontinuità, lunghezza, apertura, rugosità (JRC), riempimento, alterazione, condizioni idrauliche, orientazione delle discontinuità e le caratteristiche giaciture di giunti e versanti. I dati acquisiti sono stati utilizzati per effettuare la classificazione geomeccanica (RMR Rock Mass Rating di Bieniawski (1983), SMR Slope

Mass Rating di Romana (1985) e RMI Rock Mass index di Palmstrom (1995)). In Tabella 7 è riportata la sintesi delle resistenze a compressione monoassiale ricavate da prove Point Load rappresentative delle diverse unità geomeccaniche individuate e in Tabella 28 i risultati dell'analisi geomeccanica.

Unità Geomeccanica	Resistenza media (MPa)	Classificazione ISRM (1981)
U1	167	Alta (100-200 MPa)
U2	246	Molto alta (> 200 MPa)
U3	329	Molto alta (> 200 MPa)
U4	354	Molto alta (> 200 MPa)
U5	122	Alta (100-200 MPa)
U6	22	Molto bassa (< 25 MPa)

Tabella 28 - Risultati Point load test e classificazione ISRM.

Unità Geomeccanica	RMR di base	RMR corretto	SMR	RMI (MPa)	Resistenza a compressione (Mpa)
U1	66	51	46	54	167
U2	77	62	57	123	246
U3	70	55	50	79	329
U4	72	59	52	180	354
U5	57	42	23	21	122
U6	45	37	19	2	22

Tabella 29 - Principali caratteristiche delle Unità Geomeccaniche: $RMR \text{ di base} = RMR_b = A1 + A2 + A3 + A4 + A5$
 $RMR \text{ corretto} = RMR_c = (A1 + A2 + A3 + A4 + A5) + A6$.

Le unità litotecniche sono state caratterizzate in prossimità degli impluvi, in corrispondenza delle zone in cui affioravano spessori elevati di granitoidi arenizzati e di colate detritiche. Sono stati prelevati campioni di terreno indisturbati, attraverso l'utilizzo di una fustella tarata, per le successive analisi di umidità, peso di volume secco e apparente, e campioni disturbati per le analisi granulometriche. In situ sono state eseguite alcune prove di resistenza a compressione con il *Pocket Penetrometer*. Il range di valori di peso specifico dei grani, porosità, indice dei vuoti, peso di volume apparente e secco determinati per le diverse unità litotecniche sono riassunti in tabella 30. La sintesi dei risultati delle analisi granulometriche è riportata in Tabella 31.

Unità Litotecniche	Peso specifico dei grani (g/cm ³)	Porosità	Peso di volume secco (g/cm ³)	Indice dei vuoti
UL1	2,65 - 2,71	0,39 - 0,40	1,57 - 1,67	0,63 - 0,66
UL2	2,64 - 2,68	0,39 - 0,57	1,13 - 1,58	0,63 - 1,32

Tabella 30 - Peso specifico dei grani; Porosità; Peso di volume secco; Indice dei vuoti.

Unità Litotecniche	Ghiaia %	Sabbia %	Limo/Argilla %
UL1	2,00 - 4,10	95,74 - 97,88	0,69 - 0,92
UL2	2,68 - 13,49	85,89 - 97,02	1,03 - 3,73

Tabella 31 - Risultati analisi granulometriche

Si tratta generalmente di sabbie ghiaiose da scarsamente assortite povere in fini (colate detritiche e depositi di versante) a sabbie ghiaiose moderatamente ben assortite povere in fini (granitoidi arenizzati). I valori di angolo di attrito interno determinati per le diverse unità litotecniche analizzate sono compresi tra 29° e 44°. I valori di coesione sono bassi, trattandosi perlopiù di materiali sabbiosi privi di frazione fine e di argilla, e compresi tra 0 e 29 kPa (Tabella 32).

Unità Litotecniche	Angolo di attrito (ϕ°)	Coesione (kPa)
UL1	35 - 39	0 - 29
UL2	29 - 44	0 - 23
UL3	40 - 44	0 - 0

Tabella 32 - Risultati prove di taglio.



Figura 74 - Scan-Line Cala Delfino Unità Geomeccanica U2.

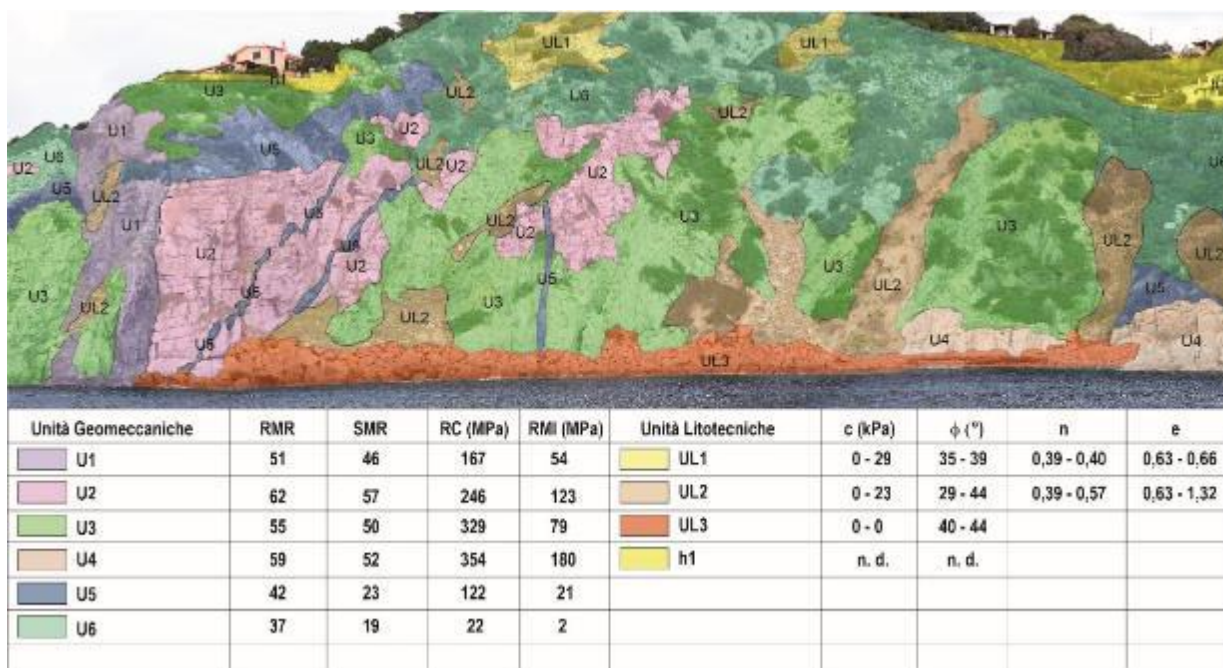


Figura 75 - Classificazione Geomeccanica e Litotecnica Cala Delfino.

Analisi Cinematica

L'analisi cinematica è un metodo utilizzato per verificare le potenziali modalità di rottura nei pendii rocciosi (scivolamento, rottura a cuneo, ribaltamento), che si verificano a causa della presenza di discontinuità orientate sfavorevolmente lungo il versante. Le discontinuità (giunti, faglie, stratificazione, foliazione e zone di taglio) possono generare potenzialmente piani di rottura. L'analisi cinematica si basa sul test di Markland (Hoek and Bray 1981). Secondo il test di Markland, è probabile che si verifichi una rottura lungo un piano quando una discontinuità immerge nella stessa direzione del versante, con un angolo meno inclinato dell'angolo del pendio ma maggiore dell'angolo di attrito lungo il piano di rottura. Una rottura a cuneo può verificarsi quando la linea di intersezione di due discontinuità forma un cuneo e immerge nella stessa direzione del pendio e l'angolo di immersione è inferiore all'angolo del pendio ma maggiore dell'angolo di attrito lungo i piani di rottura. Una rottura per ribaltamento può verificarsi quando una discontinuità che immerge con un angolo elevato in direzione opposta al pendio è parallela alla sua direzione (o almeno entro i 30°) (Hoek e Bray, 1981).

L'analisi cinematica ha solitamente valenza alla scala del versante, dal momento che l'instabilità dipende dalla relazione spaziale tra le giaciture delle discontinuità che interessano l'ammasso e la giacitura del versante. Inoltre, eventuali variazioni della giacitura del versante, frequenti in versanti naturali, possono incidere sull'accuratezza delle previsioni e quindi devono essere tenute in dovuto conto.

Nell'ambito della sperimentazione condotta nell'area pilota è stato proposto un approccio metodologico per poter estendere l'analisi cinematica desunta nelle stazioni di misura a tutta l'area in studio. Il primo passo è stato quello di individuare e cartografare in tutta l'area le Unità geomeccaniche come descritto al § 4.2.2 e per ognuna di esse valutare le condizioni di giacitura dei versanti nei quali affiorano per poi valutarne le condizioni di stabilità in relazione ai diversi cinematismi possibili. Infatti, le Unità geomeccaniche individuate possono essere considerate con caratteristiche dell'ammasso omogenee, pur mostrando piccole variazioni nella giacitura delle discontinuità legate a condizioni sito-specifiche. Ad esempio, l'U1 è rappresentata da corpi filoniani in cui le principali discontinuità sono riconducibili ai processi di raffreddamento, pertanto fortemente influenzate dalla giacitura dei filoni durante la loro messa in posto. Tali filoni hanno in genere direzioni tra loro parallele (NW-SE), tuttavia sono presenti anche filoni con direzioni N-S. Pertanto, le indicazioni di stabilità desunte risentiranno di un grado di incertezza, seppur limitato.

L'analisi è stata eseguita su alcune stazioni rappresentative delle unità geomeccaniche interessate da fenomeni di crollo e ribaltamento, compresi scivolamenti bi- e tridimensionali (U1, U2, U3, U4). Sono stati scelti per l'analisi in situ i versanti di Cala Delfino, risultati tra i più acclivi dell'area. Sono state esaminate circa 150 discontinuità principali estrapolate sia dalle *scan-line* eseguite sul campo che dall'elaborazione della nuvola di punti acquisite con il Laser Scanner ed analizzate attraverso il software *CloudCompare*.

La distribuzione e orientazione delle giaciture nelle unità geomeccaniche considerate è riportata in Figura 76. Come evidente, in tutte le unità, le famiglie di discontinuità più significative sono sub orizzontali e sub verticali, particolarmente nelle U1 e U2.

L'analisi di densità dei poli e il calcolo del polo medio delle famiglie di giunti è stata eseguita con il software *open source* SG2PS (Sasvári & Baharev, 2014) attraverso l'algoritmo di *clustering k-means*.

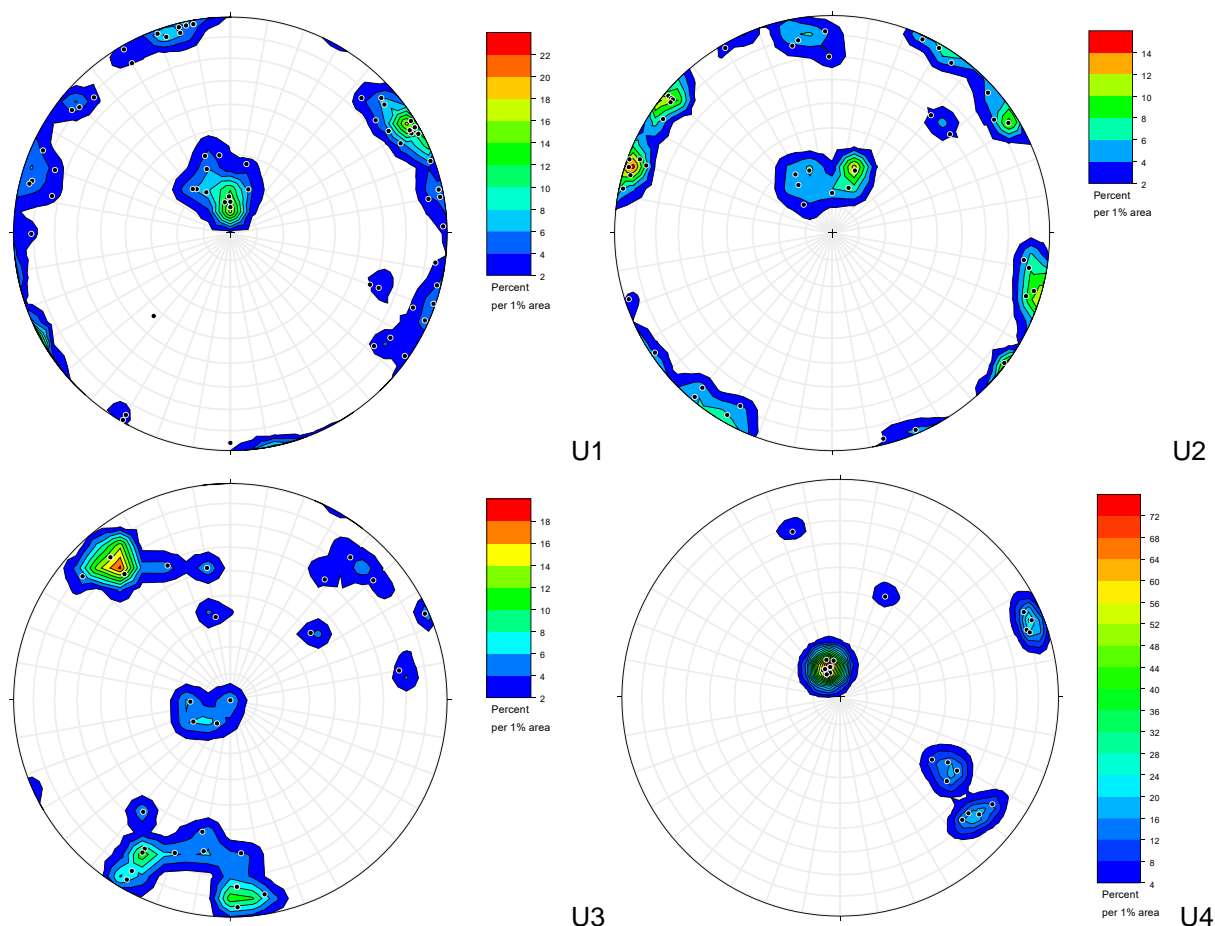


Figura 76 - Proiezione stereografica polare, equiarea e distribuzione statistica dei poli delle discontinuità nelle Unità geomeccaniche considerate mediante linee di uguale densità percentuale (software Stereonet 10 – Allmendinger, 2019).

Per l'analisi cinematica è stato utilizzato il software Dip Analyst 2.0 (Admassu, 2012). L'analisi ha evidenziato i potenziali meccanismi di rottura degli ammassi rocciosi (scivolamenti, rotture a cuneo, ribaltamenti) derivati dalla presenza di discontinuità orientate sfavorevolmente in rapporto alla giacitura dei versanti considerati. In tabella 33, per ciascuna unità, sono riportate le informazioni di giacitura del versante rispetto al quale è stata effettuata l'analisi cinematica, l'angolo di attrito determinato attraverso l'analisi geomeccanica proposta da Beniaowski (1989) e gli indici di instabilità relativi a ciascun cinematisma considerato. Ciascun indice di instabilità è dato dal rapporto fra il numero di discontinuità lungo le quali può avvenire l'instabilità secondo un determinato cinematisma e il totale delle discontinuità analizzate. Pertanto, maggiore è il valore dell'indice, maggiore è la probabilità che si verifichi il cinematisma considerato.

Unità Geomeccanica	Angolo di attrito ϕ (°)	Direzione di immersione e angolo di inclinazione del versante	Indice di Instabilità		
			Scivolamento piano	Ribaltamento	Scivolamento a cuneo
U1	38	120-75	0,01	0,14	0,06
U2	43	140-80	0	0,06	0,12
U3	40	130-70	0,09	0	0,17
U4	41	250-40	0	0	0

Tabella 33 – Unità geomeccaniche, angolo di attrito, direzione di immersione e inclinazione dei versanti per i quali è stata eseguita l'analisi cinematica e valore degli indici di instabilità per ciascun cinematisma considerato (scivolamento, ribaltamento, rottura a cuneo).

Per l'Unità geomeccanica U1 è stata eseguita l'analisi considerando una falesia con direzione di immersione media e inclinazione 120° - 75° e angolo di attrito medio calcolato di 38° ; l'indice di instabilità indica che per queste condizioni il cinematismo più probabile è il ribaltamento (tabella 33, figura 77).

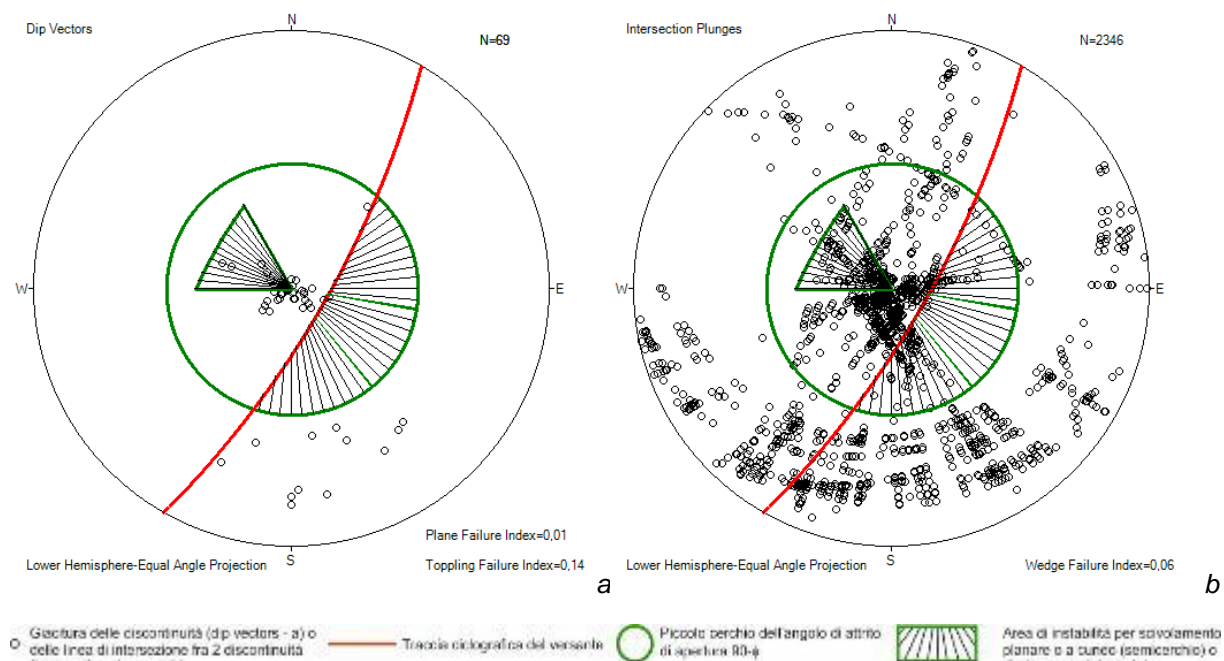


Figura 77 - Test di Markland per rottura planare e ribaltamento (a) e rottura a cuneo (b) per l'Unità geomeccanica U1 (Software Dip Analyst 2.0 - Admassu, 2012).

Per l'Unità geomeccanica U2, per una falesia con direzione di immersione media 140° , inclinazione 80° e angolo di attrito medio di 43° , il cinematismo più probabile è la rottura a cuneo (Tabella 33, Figura 78), così come per l'U3, considerando un versante 130° - 70° e angolo di attrito di 40° (Tabella 33, Figura 79). L'U4 risulta stabile per le condizioni di giacitura del versante considerato (250° - 40°), con angolo di attrito pari a 41° , maggiore dell'inclinazione del versante (Tabella 33, Figura 80).

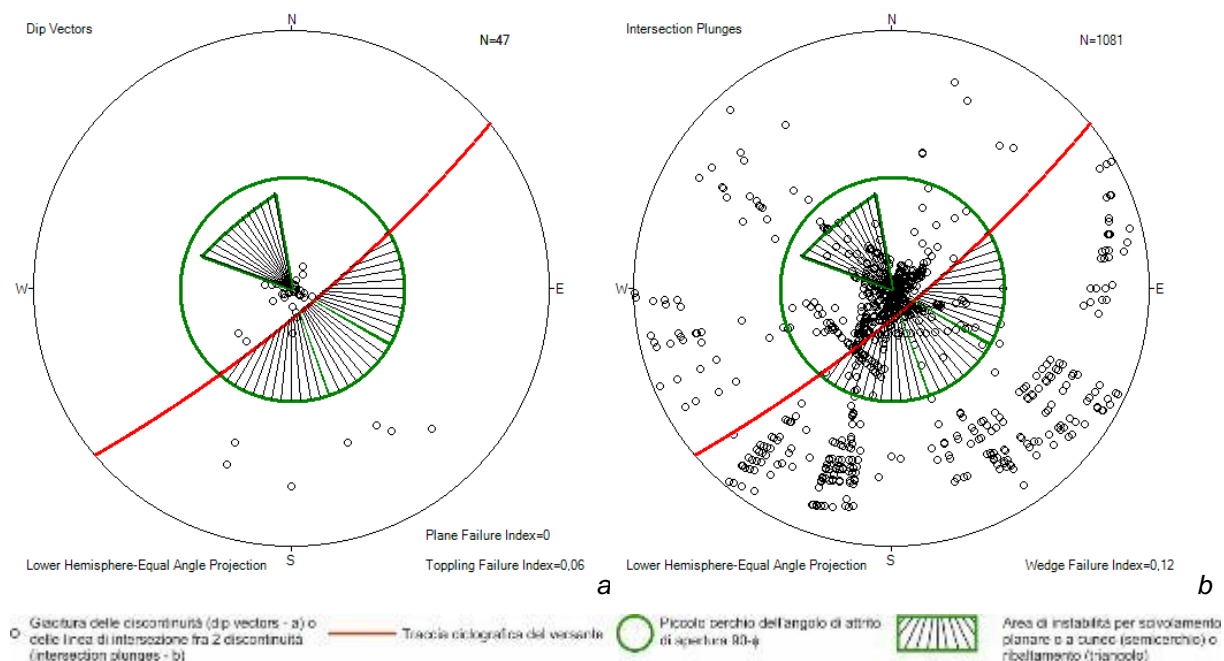


Figura 78 - Test di Markland per rottura planare e ribaltamento (a) e rottura a cuneo (b) per l'Unità geomeccanica U2 (Software Dip Analyst 2.0 - Admassu, 2012)

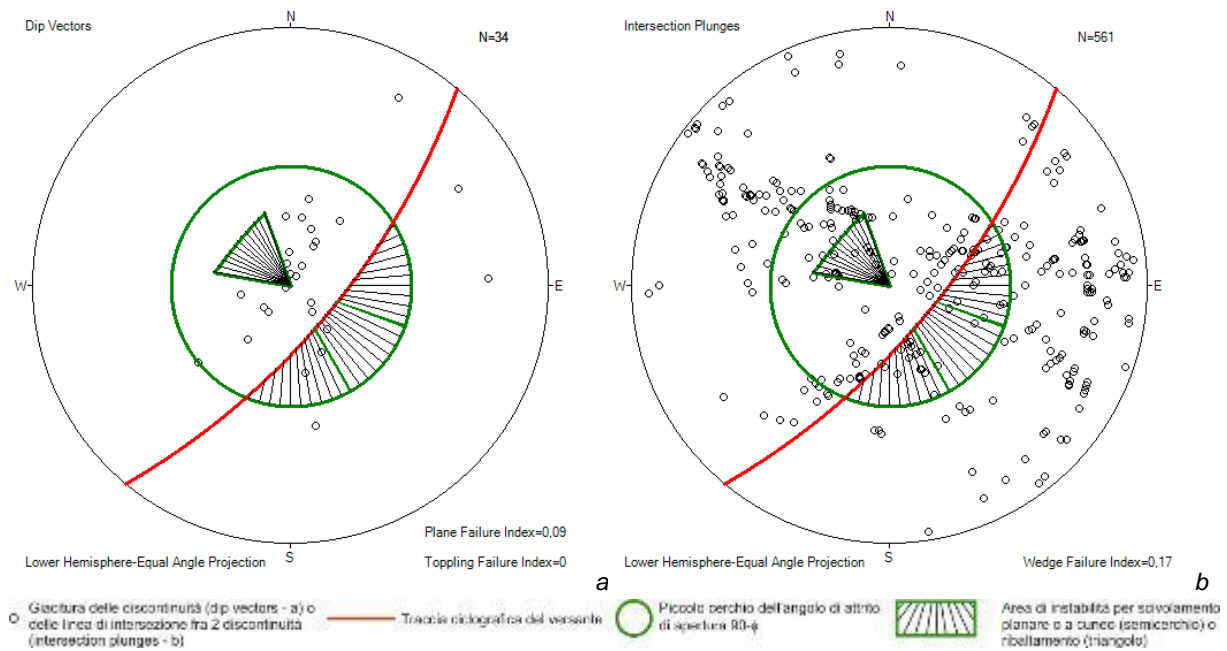


Figura 79 - Test di Markland per rottura planare e ribaltamento (a) e rottura a cuneo (b) per l'Unità geomeccanica U3 (Software Dip Analyst 2.0 - Admassu, 2012)

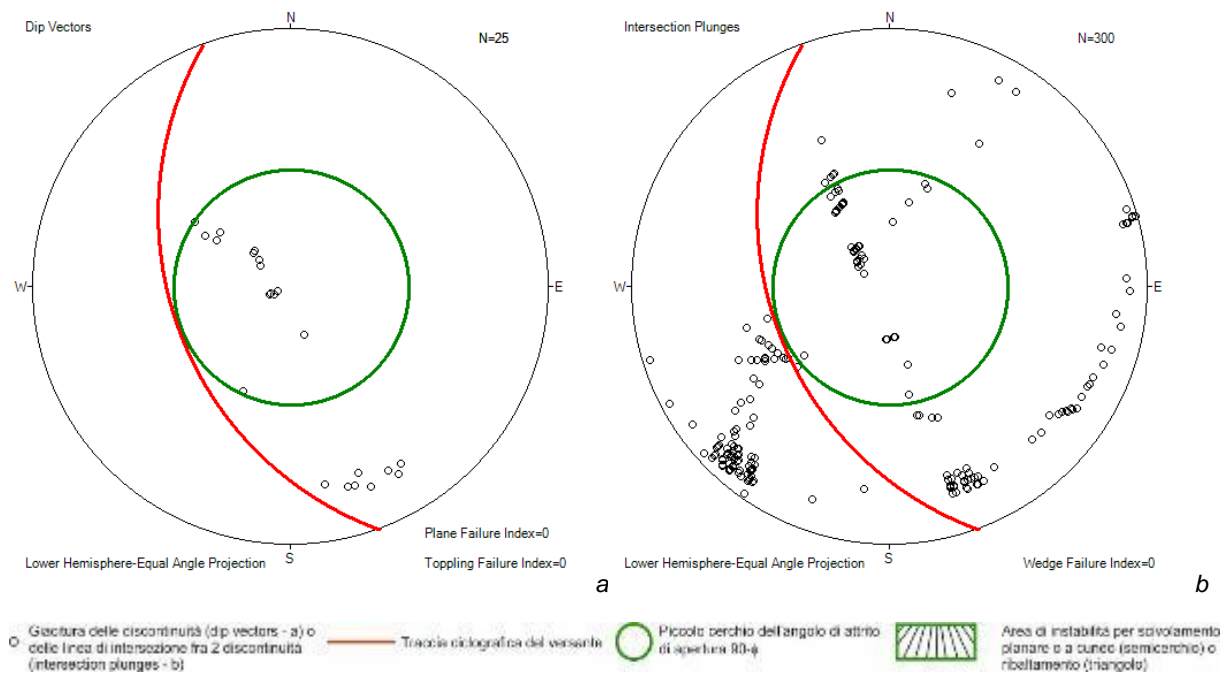


Figura 80 - Test di Markland per rottura planare e ribaltamento (a) e rottura a cuneo (b) per l'Unità Geomeccanica U4 (Software Dip Analyst 2.0 - Admassu, 2012). Notare l'assenza di aree instabili determinate dalla bassa inclinazione del versante, minore dell'angolo di attrito.

In tabella 34 sono riportati, per ciascuna unità geomeccanica, le principali famiglie individuate con l'analisi cluster (Figura 81) ed il cinemismo corrispondente a ciascuna famiglia o coppia di famiglie risultate instabili per le condizioni di giacitura del versante considerate. In tutti i casi, tranne per la U4 che risulta stabile per tutte le famiglie considerate, i cinemismi più probabili sono legati a rotture per cuneo e in alcuni casi (U1 e U2) a ribaltamento.

Unità Geomeccanica	Giacitura media delle famiglie di giunti	Famiglie di giunti soggette a instabilità		
		Scivolamento piano	Ribaltamento	Scivolamento a cuneo
U1	39-77; 113-81; 160-87; 172-18; 235-84; 263-87; 295-78	-	295-78	295-78/113-81 (equilibrio limite)
U2	37-85; 109-86; 130-86; 174-24; 174-77; 212-87; 228-76; 282-83; 342-88	-	342-88	109-86/228-76 212-87/174-77 37-85/174-77
U3	3-70; 30-70; 59-15; 142-70; 170-42; 231-68	-	-	30-70/142-70 170-42/231-68 3-70/142-70
U4	157-12; 164-68; 204-42; 249-82; 304-49; 311-71	-	-	-

Tabella 34 - Analisi cinematiche: Unità Geomeccaniche, Famiglie di discontinuità con Dip direction e inclinazione medie, Famiglie di discontinuità che danno scivolamento, ribaltamento, e rotture a cuneo.

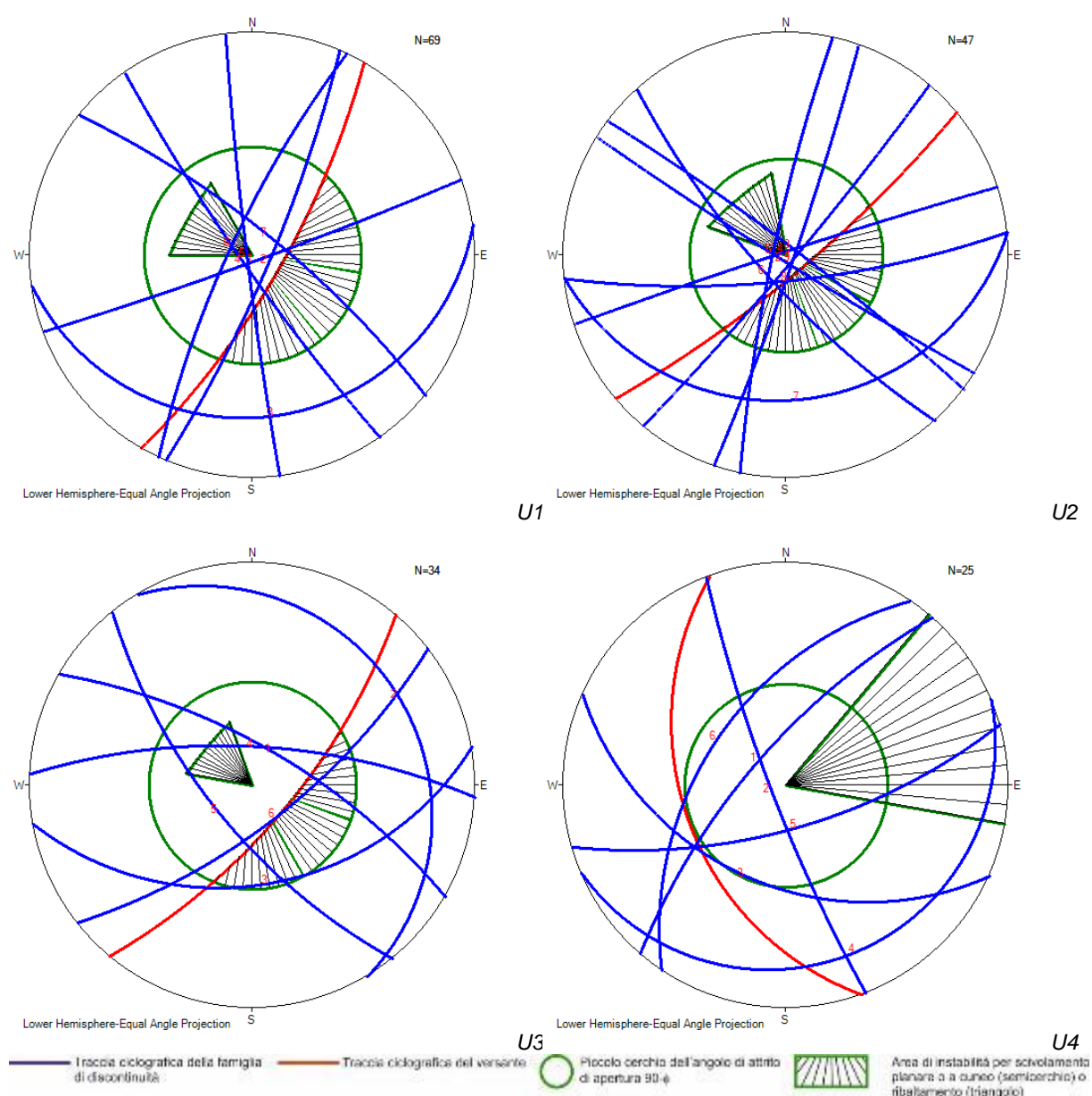


Figura 81 - Test di Markland per le famiglie di discontinuità individuate in ciascuna Unità geomeccanica (U1, U2, U3 e U4) (Software Dip Analyst 2.0 - Admassu, 2012). Le famiglie che possono generare fenomeni di instabilità sono riportate in Tabella 29.

Per tener conto delle variazioni di giacitura del versante legate alle disomogeneità nell'esposizione e nell'inclinazione delle falesie naturali, per ciascuna unità geomeccanica è stata valutata la variazione dell'indice di instabilità al variare della pendenza o della direzione di immersione del versante (Figura 82). In tutte le unità geomeccaniche la rottura planare è la meno probabile. Per le pendenze delle falesie analizzate l'U1 presenta la massima instabilità per ribaltamento, mentre in aree a pendenza intorno ai 90° il cinematisma più probabile sarebbe quello della rottura a cuneo. L'U2 mostra la massima instabilità per ribaltamento in un versante immergente intorno ai 300° e l'U3 per un versante immergente intorno a 180°. Inoltre, l'U3 mostra un prevalere dei cinematismi planari e a cuneo a partire da un'inclinazione del versante di 70°. L'U4 mostra moderata instabilità solo per pendenze superiori agli 80°. Questa elaborazione può essere utile, anche in aree diverse da quella in studio, per avere delle indicazioni della variazione dell'instabilità legata all'irregolarità del versante studiato.

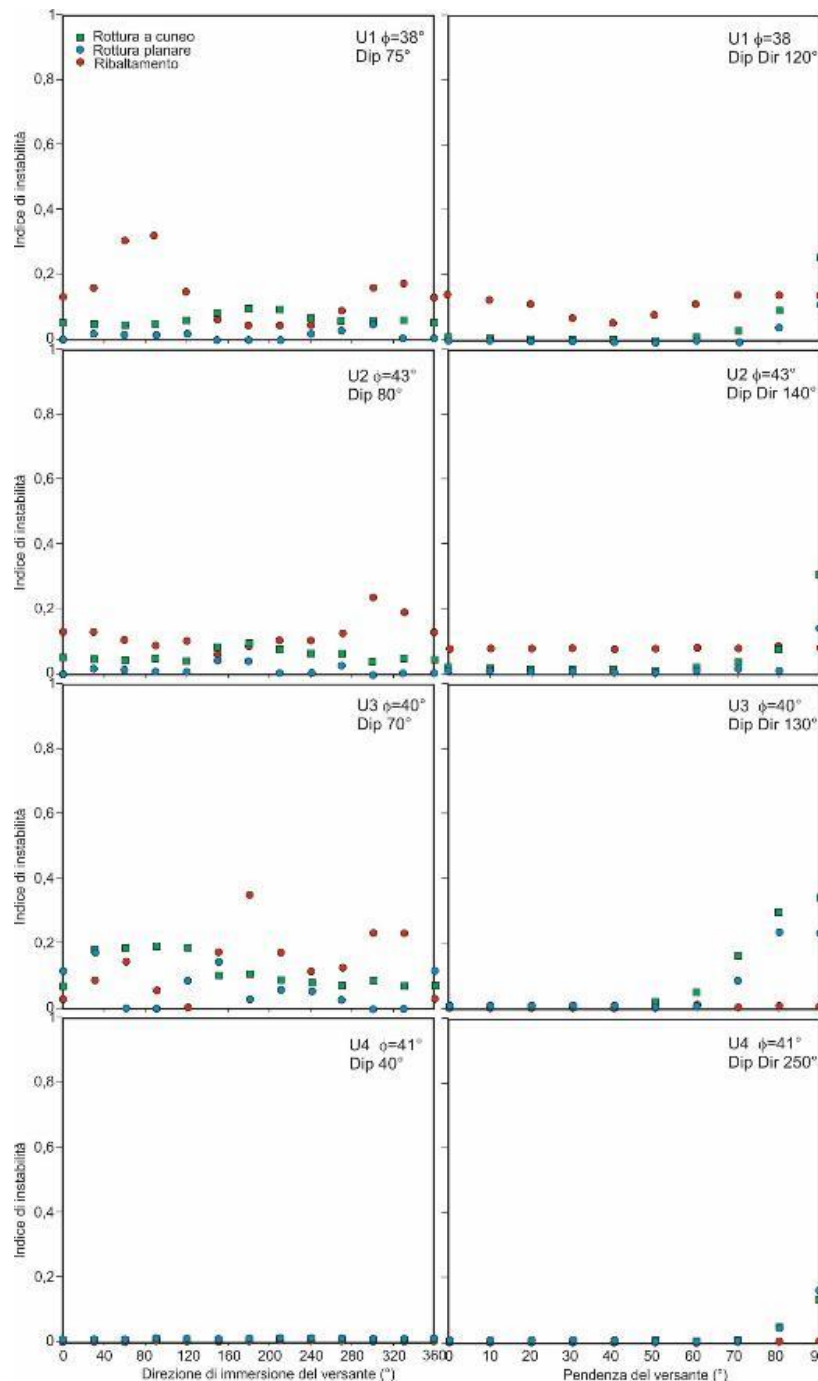


Figura 82 - Analisi della variazione dell'indice di instabilità nelle stazioni di misura considerate al variare rispettivamente della direzione di immersione (Dip Dir) o dell'inclinazione (Dip) del versante. L'analisi è stata effettuata per tenere conto di eventuali disomogeneità nell'esposizione e inclinazione delle falesie in cui è stato eseguito il rilevamento e quindi dell'incertezza delle analisi connesse con tali disomogeneità.

Al fine di estendere l'analisi cinematica all'intera area pilota per avere indicazioni sulla potenziale instabilità delle falesie, poiché per ciascuna unità geomeccanica l'indice di instabilità relativo a ciascun cinematisma cambia al variare della giacitura del versante, è stata effettuata una valutazione statistica della giacitura dei versanti su cui affiorano le diverse unità geomeccaniche utilizzando i dati della carta dell'acclività e dell'esposizione ricavate dal DEM (§ 6.1.2.1), individuati spazialmente sulla base della carta delle unità geomeccaniche e litotecniche (vedi tavole allegate).

In Figura 83 è riportata la distribuzione statistica dei poli della giacitura dei versanti per ciascuna Unità geomeccanica, rappresentate per densità areali.

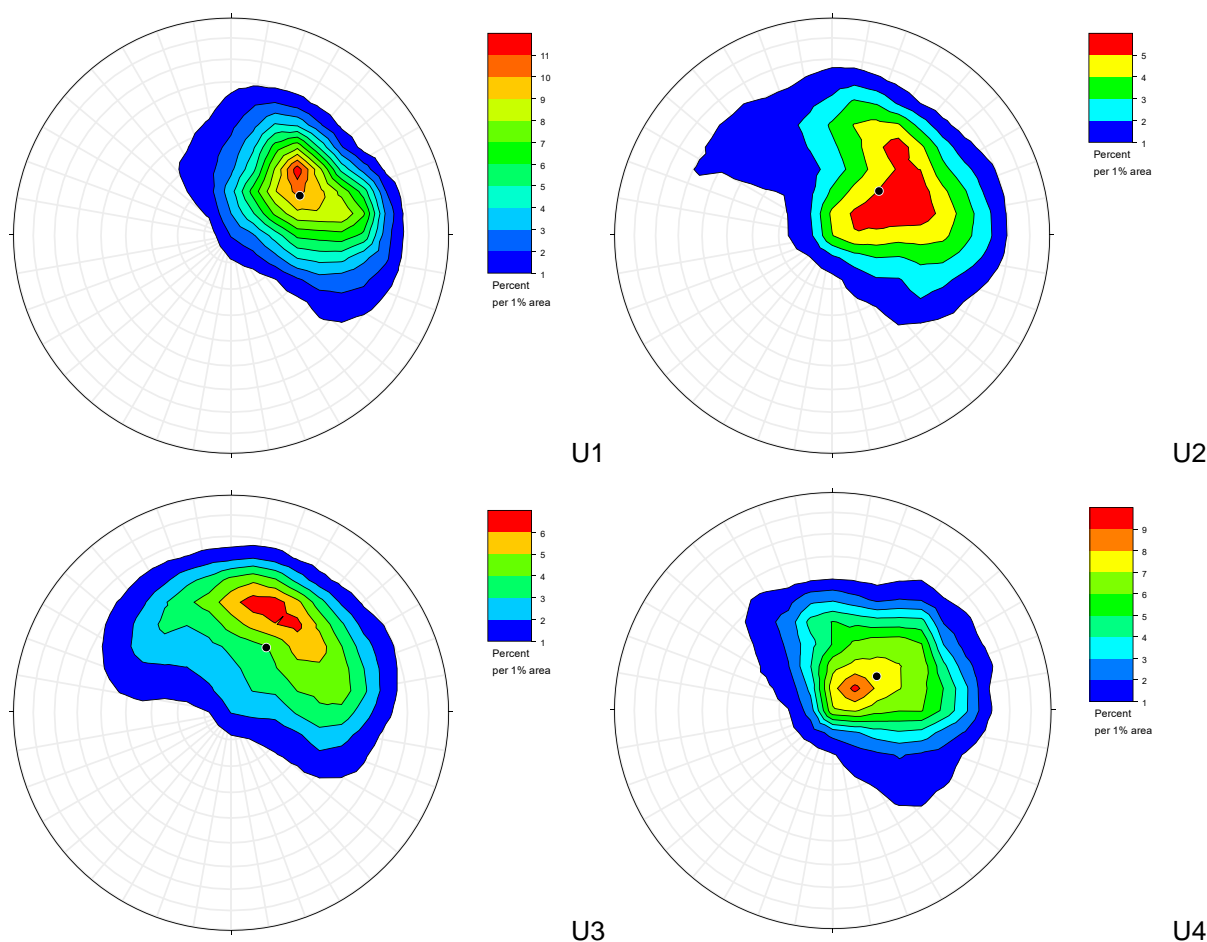


Figure 83 - Distribuzione statistica dei poli delle giaciture dei versanti per ciascuna Unità geomeccanica (software Stereonet 10 – Allmendinger, 2019).

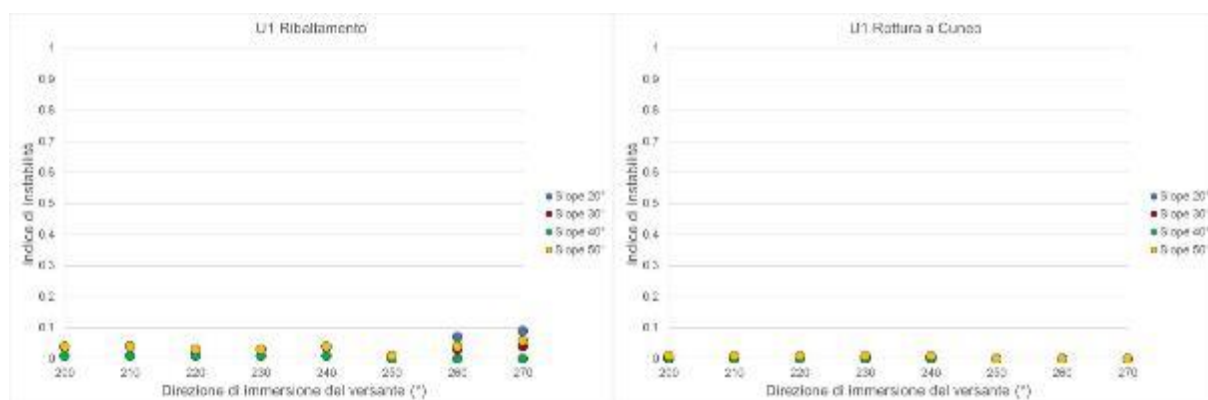
Le unità geomeccaniche affiorano su versanti che mostrano pendenze variabili prevalentemente fra 20° e 50°. Le minori pendenze sono presenti nell'U4. Le esposizioni più frequenti variano da S a W (Figura 84). Le distribuzioni dei due parametri sono sub-normali per tutte le unità considerate, con una leggera coda sinistra nei valori di esposizione della U1, U2 e U4. La popolazione U3 è leptocurtica, così come la U1, mentre la U4 e la U2 sono platicurtiche. Sulla base di queste evidenze l'analisi cinematica è stata condotta considerando l'intervallo compreso tra il 25° e il 75° percentile (Tabella 35).

	U1		U2		U3		U4	
	Dip Dir (°)	Dip (°)	Dip Dir (°)	Dip (°)	Dip Dir (°)	Dip (°)	Dip Dir (°)	Dip (°)
N	3404	3404	10583	10583	16949	16949	2724	2724
Min	0	0	0	0	0	0	2	0
Max	358	76	360	81	360	80	359	67
Media	235	37	220	38	207	41	222	31
Varianza	2045	200	4118	276	3365	210	3828	211
Dev.								
Standard	45	14	64	17	58	14	62	15
Mediana	240	37	228	40	209	42	229	31
25 percentile	212	27	184	26	169	31	186	20
75 percentile	264	47	264	51	248	51	262	41
Skewness	-0,97	-0,03	-0,63	-0,14	-0,21	-0,28	-0,73	0,04
Kurtosis	300	139	-5252	-3485	15403	13696	-66	-39
Giacitura media dei versanti	243	32	226	24	208	28	232	21
Giacitura modale dei versanti	230	34	238	29	209	41	224	12

Tabella 35 - Principali indicatori statistici dei valori di immersione (Dip Dir) ed inclinazione (Dip) ciascuna unità geomeccanica e giacitura media e modale dei versanti determinata con il software Stereonet (Allmendinger, 2019)

Tutte le unità geomeccaniche, esclusa l'U4 che mostra un indice di instabilità per scivolamento planare di 0,04 per giaciture tra il 190-50 e 220-50, non presentano instabilità legate a scivolamento planare.

L'U3 presenta la maggiore instabilità per ribaltamento (0,25) per giaciture dei versanti tra 180-60 e 200-60. L'U1 mostra il maggior indice di instabilità *per ribaltamento* (circa 0,1) per giaciture dei versanti comprese fra 260-20 e 270-20. L'U2 mostra la stessa tendenza, ma per inclinazioni intorno ai 60° (260-60, 270-60).



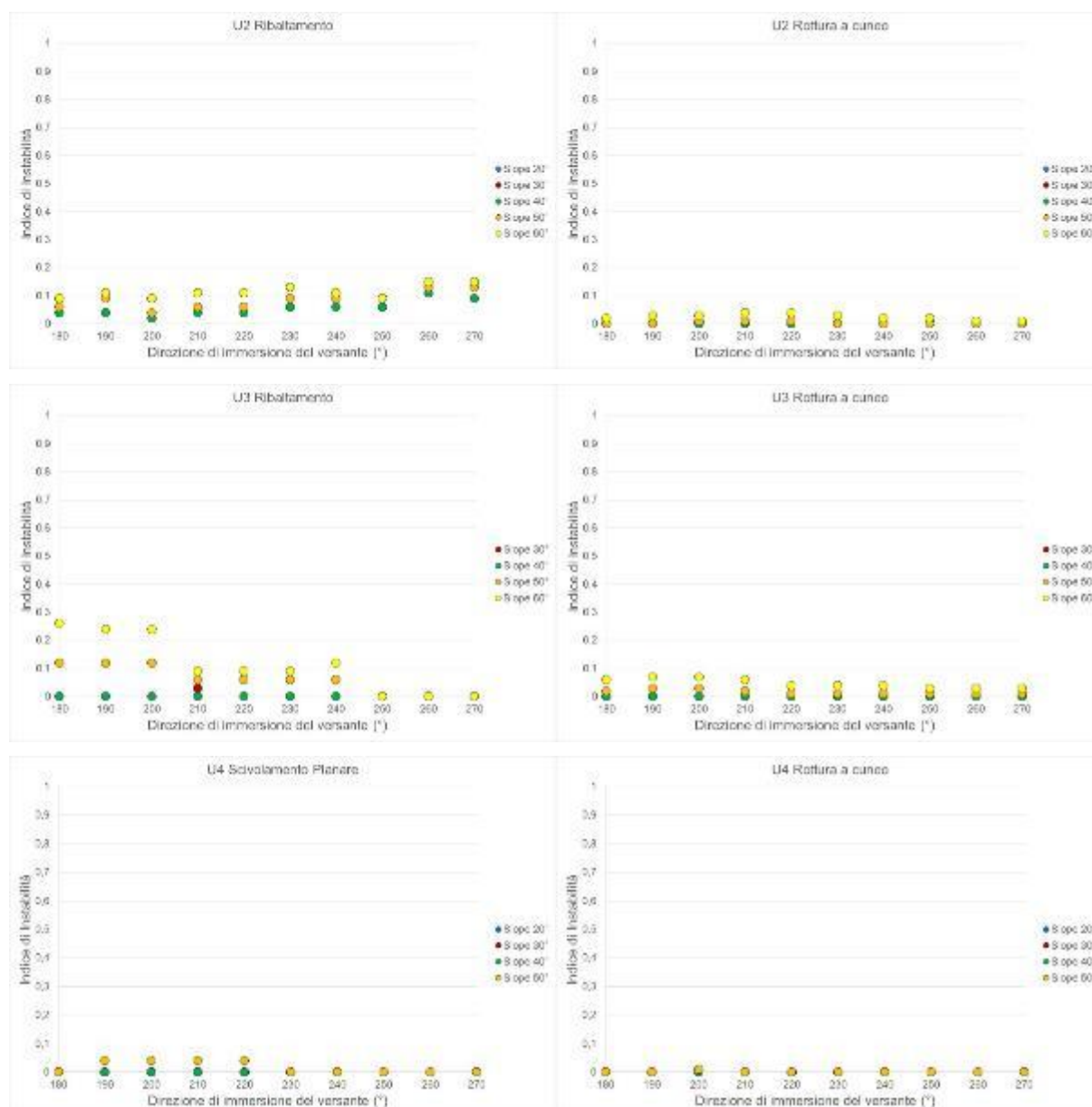


Figura 84 - Variazione dell'indice di stabilità al variare della direzione di immersione e dell'inclinazione del versante per le unità geomeccaniche U1, U2, U3 e U4 affioranti nell'area in studio.

L'analisi cinematica eseguita e l'approccio metodologico proposto hanno consentito di effettuare delle previsioni di stabilità delle falesie alla scala dell'area in studio, tenuto conto del grado di incertezza legato alle variazioni locali che in alcuni casi possono determinare variazioni delle giaciture delle discontinuità degli ammassi rocciosi considerati. Tale approccio può essere esteso anche ad altre aree, soprattutto dove la genesi delle discontinuità può essere ricondotta a campi di stress omogenei che conferiscono caratteristiche omogenee agli ammassi, e che possono pertanto essere individuabili come Unità geomeccaniche.

Definizione della magnitudo delle frane per crollo (*Rock Block Size Distribution*)

Per la quantificazione della pericolosità in riferimento alle frane di crollo e per la corretta progettazione degli interventi, uno dei problemi ricorrenti, oltre alla previsione dei tempi di ritorno, riguarda la definizione della magnitudo degli eventi (De Biagi et al., 2017). Successivamente al distacco, i blocchi rocciosi possono rimbalzare, scivolare o rotolare lungo il pendio prima di arrestarsi. Inoltre, l'impatto con il suolo lungo il percorso può provocare la frammentazione dei blocchi, ciascuno dei quali può seguire traiettorie indipendenti, con conseguenze sulle distanze di *run out*, sulle energie di impatto e sulla probabilità di raggiungere elementi a rischio (Evans & Hungr, 1993; Ruiz-Carulla et al., 2015; Marchelli et al., 2019). Il processo di frammentazione che avviene durante un evento di caduta massi che dà luogo alla distribuzione dei volumi al piede della parete rocciosa, può essere associato ad un processo di tipo frattale. L'introduzione della geometria frattale permette di considerare il processo di frammentazione e gli elementi risultanti da esso come indipendenti dalla scala (*scale invariant process*) (Crosta et al., 2007). Esso dipende sia da parametri geometrici (forma dei blocchi delimitati dalle discontinuità, morfologia e altezza del versante, scabrosità delle superfici, presenza della vegetazione), che dalle proprietà fisico-meccaniche del blocco e delle aree di impatto (Crosta et al., 2015; Marchelli et al., 2019). Diversi autori hanno evidenziato che la curva di distribuzione dei volumi delle coperture di detrito (*Rock Block Size Distribution* - RBSD), che si depositano ai piedi dei versanti come risultato di frane di crollo, permette di definire una relazione tra la magnitudo di un evento (in termini di volume del singolo blocco o dell'evento in toto) e la sua frequenza cumulata (Ruiz-Carulla et al., 2015; De Biagi et al., 2017; Marchelli et al., 2019).

Tale curva rispetta una legge di potenza del tipo: $F=aV^{-b}$

in cui F è la frequenza o la probabilità dell'occorrenza di blocchi di volume $>V$ e "a" e "b" sono delle costanti che si determinano tipicamente attraverso regressioni lineari o attraverso i metodi di stima della massima verosimiglianza (Dussauge et al., 2003): "a" rappresenta il valore di frequenza dell'occorrenza di un blocco di volume "V"; "b" rappresenta il coefficiente angolare della curva di regressione disegnata nel dominio logaritmico $\log F - \log V$ e la dimensione frattale del problema. Minore è il valore di "b", minore è la tendenza dei blocchi a fratturarsi (De Biagi et al., 2017). Pertanto, valori bassi della dimensione frattale ($<1,8$) sarebbero indicativi di processi di frammentazione avvenuti come singoli eventi e/o a bassa energia, mentre valori più alti (>2) rappresentano processi di frammentazione avvenuti attraverso eventi multipli e/o ad alta energia (Crosta et al 2007).

All'interno dell'area pilota, in particolare nell'area di Cala Delfino, è stata valutata la distribuzione granulometrica dei blocchi attraverso rilievi diretti, effettuati sul campo, e indiretti, dall'analisi delle ortofoto con risoluzione 4 cm/pixel ottenute attraverso i rilievi aerofotogrammetrici da drone descritti al paragrafo 4.2.1.2. I volumi sono stati calcolati assimilando i blocchi a delle "*balls form*" e quindi sferici (Fityus et al., 2013). Al fine ottenere un numero rappresentativo dei blocchi che costituiscono i depositi al piede della falesia, sono stati conteggiati 4670 blocchi, sia nei depositi di frana ai piedi della falesia (2768 blocchi) sia nei depositi di spiaggia costituiti da blocchi rimaneggiati dal moto ondoso (1549 blocchi). La Figura 85 e la Figura 86 illustrano il RBSD determinato per i due tipi di deposito.

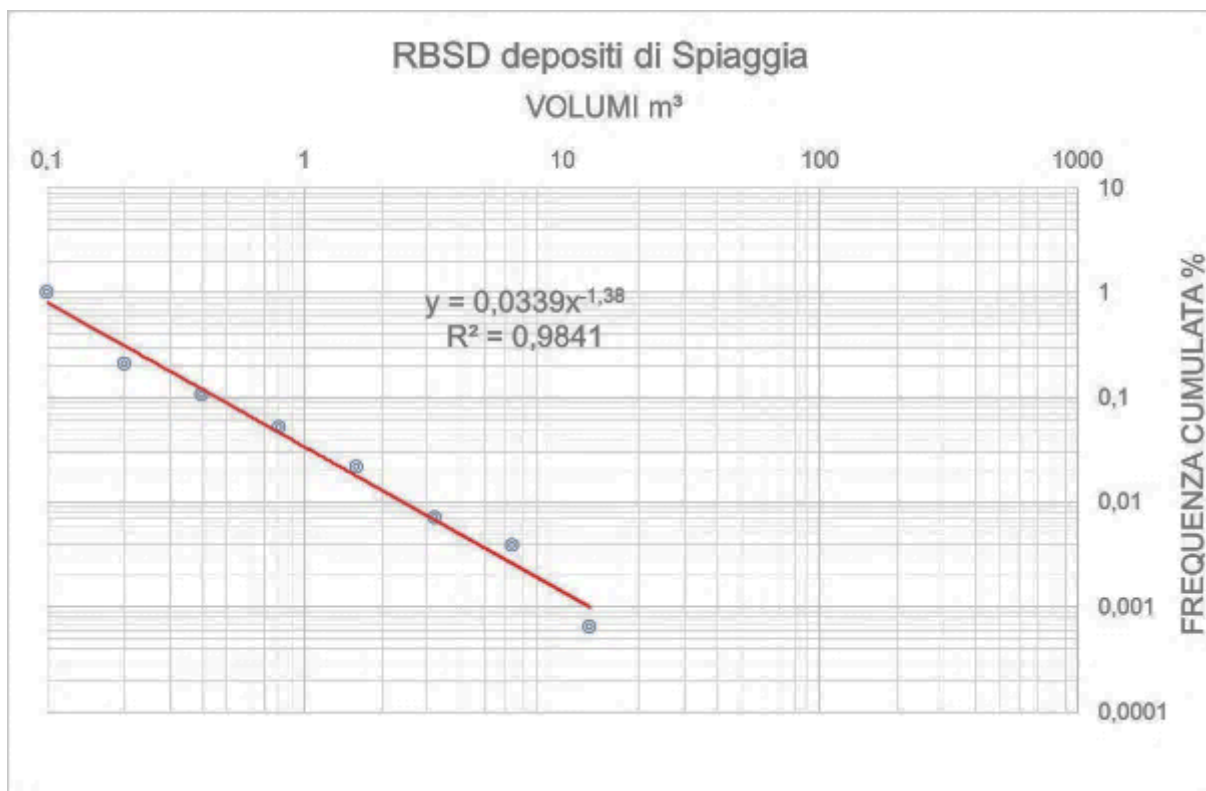


Figura 85 - Rock Block Size Distribution determinato per i depositi di Spiaggia (blocchi rimaneggiati dal moto ondoso)

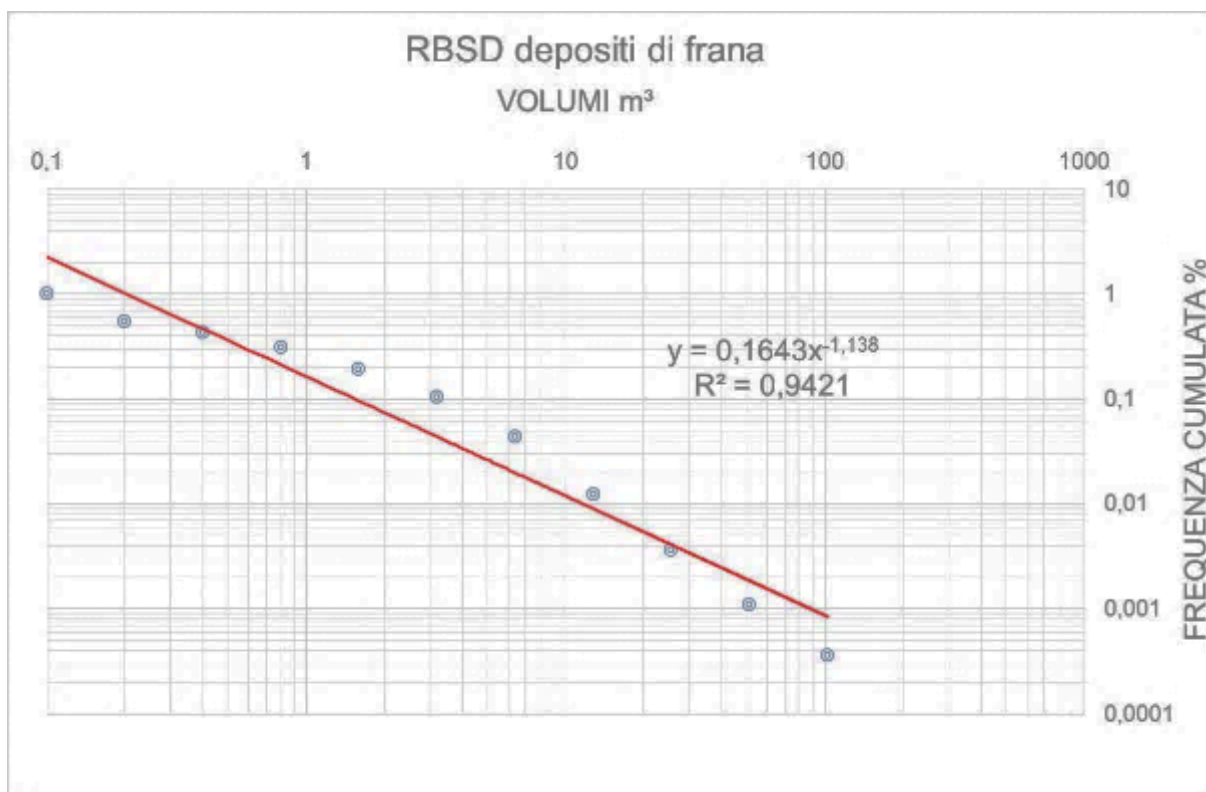


Figura 86 - Rock Block Size Distribution determinato per depositi di frana (blocchi accumulati a piedi della falesia e non rimaneggiati dal moto ondoso)

I grafici rappresentano le curve di frequenza cumulativa delle classi volumetriche presenti. Data la risoluzione delle immagini utilizzate, il valore minimo del volume dei blocchi misurabile con sufficiente accuratezza (<10%) è stato stimato pari a 0,1 m³, che rappresenta anche il limite minimo delle classi di frequenza utilizzate. Il deposito ai piedi della falesia è costituito da blocchi, di cui circa l'89% ha una

dimensione inferiore a 3 m³, di questi oltre il 50% ha dimensioni comprese tra 0,4 e <0,1 m³. Nell'area sono presenti anche blocchi di grosse dimensioni che superano i 10 m³; questi si concentrano ai piedi della falesia laddove essa è verticale. I depositi di spiaggia hanno dimensioni generalmente inferiori, circa il 95 % non supera 0,8 m³ di volume, mentre i blocchi di dimensioni superiori sono in numero ridotto e rappresentano il restante 5%. Entrambi i grafici evidenziano un'origine del deposito legata ad un processo di frammentazione probabilmente compatibile con eventi di crollo singoli e/o a bassa energia e non a fenomeni di massa ad alta energia.

Dall'analisi grafica delle due curve rappresentate in Figura 87 è evidente la differenza della distribuzione dimensionale dei blocchi tra i depositi di frana e quelli di spiaggia. In questi ultimi, al processo di frammentazione evidenziato dalla dimensione frattale della RBSD si somma il processo di rielaborazione ad opera del moto ondoso.

Quest'analisi è stata utilizzata per confrontare i volumi reali dei blocchi con l'analisi di simulazione delle traiettorie dei crolli descritta nel paragrafo 6.1.2.1

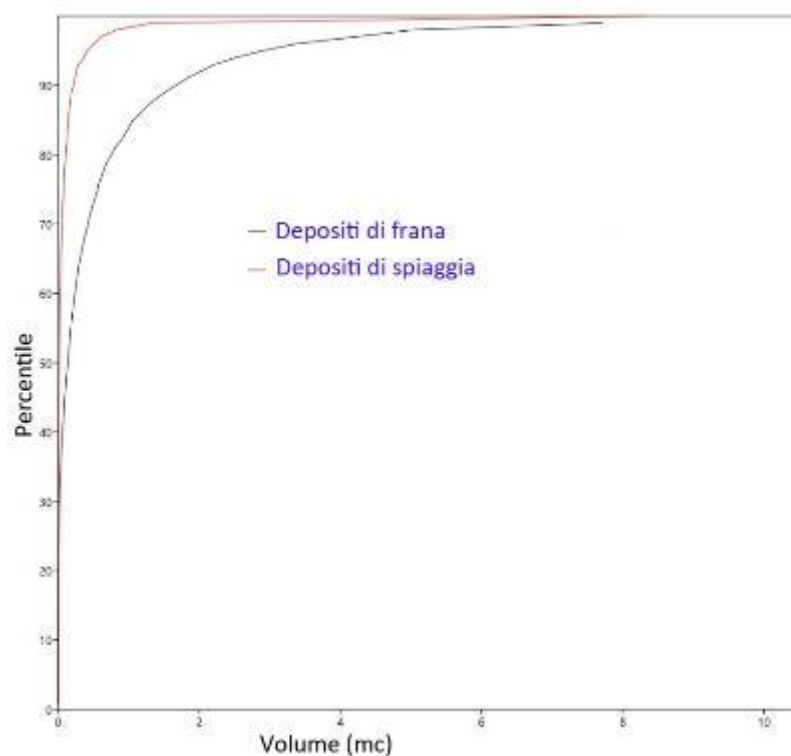


Figura 87 - Confronto della dispersione delle dimensioni dei blocchi dei depositi di frana (blocchi accumulati al piede della falesia) e dei depositi di spiaggia (blocchi rimaneggiati dal moto ondoso)

Modello d'erosione semplificato basato sull'interazione onda-falesia

L'esistenza di una relazione tra moto ondoso ed erosione di una costa rocciosa è comprovata nel caso di rocce poco coerenti con scarsa resistenza agli sforzi (cosiddette *soft rocks*). Meno chiaro, e poco studiato, è invece l'effetto delle onde su coste costituite da rocce tenaci, con una resistenza alla deformazione media o elevata. Questo anche perché i tassi di arretramento di questo tipo di falesie sono molto bassi, e spesso i fenomeni franosi sono concentrati in un brevissimo lasso di tempo a fronte di lunghi periodi di stabilità. La definizione di un approccio metodologico che descriva il contributo della sollecitazione del moto ondoso sull'arretramento di una falesia risulta quindi inscrivibile in un quadro complesso e multidimensionale (Figura 88). Lo scopo è quello di verificare se nell'area pilota di Torre delle Stelle-Geremeas possa esistere una relazione significativa tra onde generate durante eventi estremi, e quindi fortemente energetiche, e l'innescio di fenomeni d'instabilità nelle coste alte rocciose.

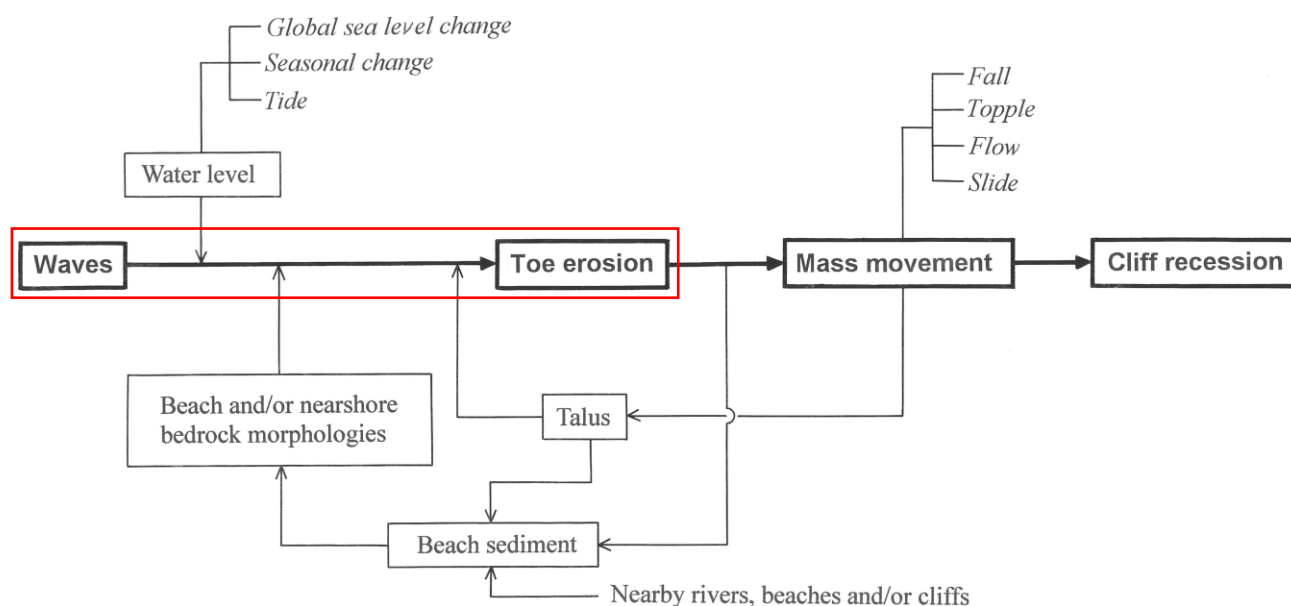


Figura 88 - Modello multidimensionale sull'erosione di falesia (Sunamura, 2015)

Il modello proposto sviluppa quello presentato da Sunamura (2012) e presenta le seguenti proprietà:

- Deterministico, in quanto le variabili sono assunte come note e non è associata una componente random o una distribuzione di probabilità;
- Concettuale, in quanto basato su leggi fisiche;
- A parametri concentrati;
- A scala di evento;
- Stazionario nel valore di livello medio mare.

Esso definisce un indice sintetico che descrive nello spazio e nel tempo la suscettività al crollo come funzione:

$$\text{Susceptività} = f(F_W, F_{R,s,t})$$

dove:

- F_R è la resistenza meccanica del materiale, riconducibile alla resistenza a compressione uniassiale di più immediata valutazione;
- F_W è la “forza distruttiva delle onde”, descrivibile in funzione dell’energia dell’onda, e dunque riconducibile all’ altezza d’onda. F_W è legato all’energia cinetica dell’onda al frangente che, con un approccio semplificato (Shore Protection Manual, 1984) ma sufficientemente accurato per i fini dello studio, può essere espressa in funzione dei parametri dell’onda al largo, anche rappresentata come onda monocromatica. In alternativa può essere oggetto di modellazione numerica con modelli d’onda.
- F_W potrebbe includere, oltre all’azione idraulica, l’azione meccanica esercitata dal materiale in sospensione o per rotolamento sul fondo.

Aspetto iniziale è dunque definire il database ondametrico che più rappresentativo per le finalità dello studio. È quindi utile ricordare come in Sardegna i dati ondametrici strumentali sono forniti dalle boe ondametriche della Rete Ondametrica Nazionale (RON) già gestita dal Servizio Idrografico e Mareografico dell'APAT (figura 89). Nel suo complesso, la RON comprende lungo la costa Sardegna le boe direzionali di Alghero, Cagliari e Capo Comino. I dati sono stati acquisiti in continuo su 30 minuti, con frequenze diverse nel periodo di riferimento. Dalle serie temporali sono forniti i parametri sintetici di altezza d'onda significativa spettrale H_s (m), periodo di picco T_p (s), periodo medio T_m (s) e direzione media di propagazione D_m (°N) e parametri spettrali per banda di frequenza di densità di energia, direzione media di propagazione, dispersione direzionale, asimmetria e curtosi. In Sardegna, i dati

Per l'area pilota di Torre delle Stelle – Solanas, il clima ondoso a largo è stato definito con riferimento alla serie storica rilevata dalla boa RON di Cagliari di tipo *directional waverider*. La boa è situata prossima a Capo Carbonara alle coordinate UTM-WGS84 39.115° N; 9.405° E (dal 2002) e 39.110° N; 9.454° E (dal 2009). La serie storica è costituita da:

- Altezza d'onda significativa spettrale (H_m0);
- Periodo medio dell'onda (T_m);
- Periodo di picco dell'onda (T_p);
- Direzione media di provenienza del moto ondoso (Dir);
- Massimo mensile di altezza d'onda significativa ("indicatore");
- Direzione associata al massimo mensile dell'altezza d'onda significativa ("indicatore").

Il periodo di misurazione per cui i dati sono liberamente scaricabili è:

- 07/02/2007 – 02/03/2008;
- 15/12/2009 – 31/12/2014.

La tabella bivariata altezza-direzione sintetizza la serie storica del clima ondoso ordinario (Tabella 5).

Sulla serie storica della boa è stata effettuata una elaborazione volta a ottenere una serie di dati omogenei e statisticamente indipendenti come successione di picchi di mareggiate da settori di provenienza omogenei dal punto di vista meteoroclimatico. L'analisi degli eventi estremi sulla serie ha incluso il confronto delle principali distribuzioni e metodi di stima dei parametri da letteratura scientifica del settore. Sono stati individuati un numero ridotto di paraggi (sei) come unità geomeccaniche uniformi. Per ogni paraggio è stato individuato il settore di provenienza principale e secondario (Figura 92). La scelta della distribuzione di Weibull con il metodo dei momenti ha permesso sui vari paraggi la stima dell'altezza d'onda significativa con tempo di ritorno pari a 10 e 100 anni.

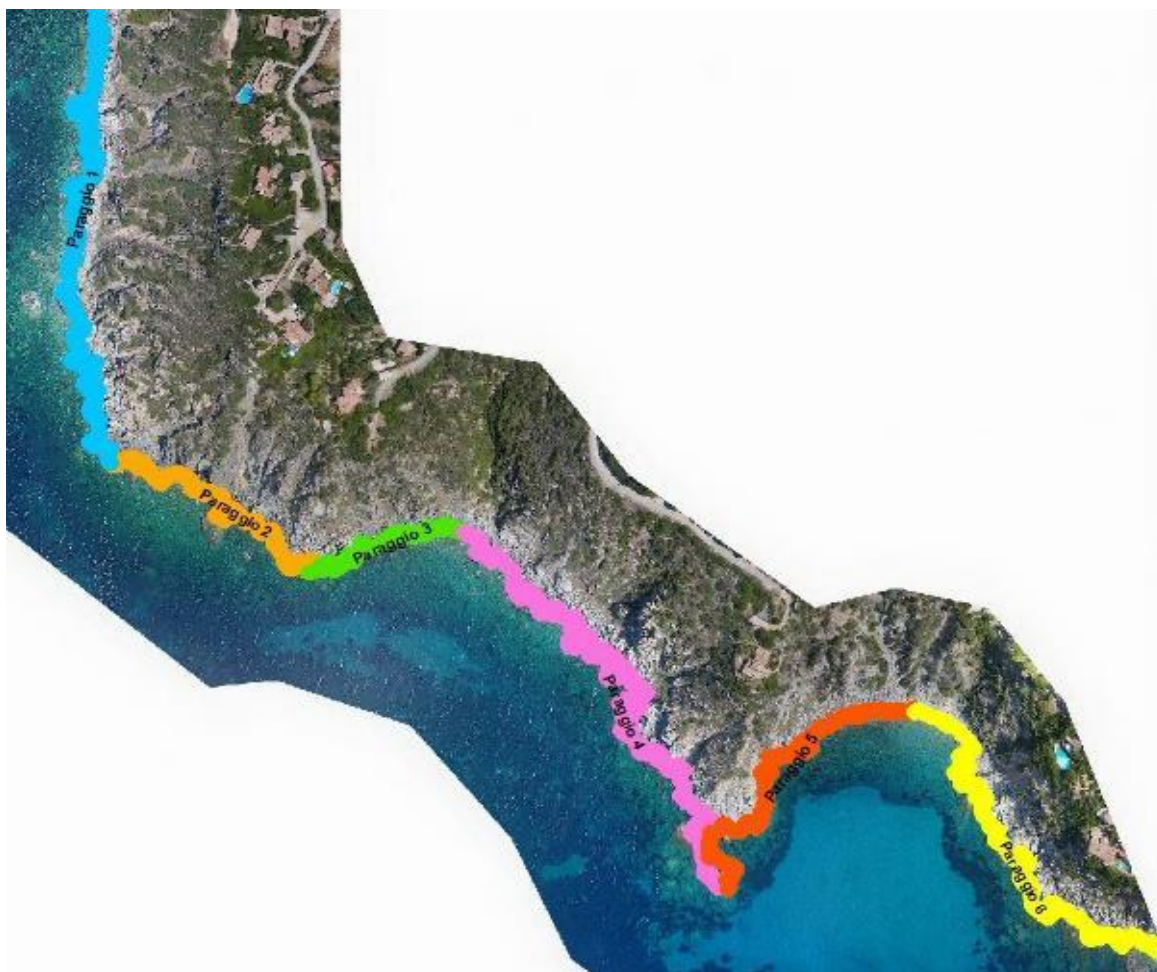


Figura 91 - Paraggi principali nel tratto di costa esaminato.

La Figura 91 riporta l'analisi degli eventi estremi per il paraggio n.4, includendo gli intervalli di confidenza al 90% e al 95%.

Questi valori sono stati trasposti in un modello numerico verso costa di cui è riportato il campo dell'altezza significativa per differenti cromatismi (Figura 93) che ha la forma:

$$SI = \frac{F_W}{F_R} = \frac{A}{B} \frac{\rho g H_b}{\sigma_c}$$

Il modello contiene il termine di resistenza a compressione uniassiale mentre il termine B sintetizza le proprietà di resistenza dell'intero ammasso roccioso.

Per quel che riguarda le proprietà del moto ondoso, il termine A, amplificativo della sollecitazione ondosa, è dato dal prodotto di tre termini che sintetizzano differenti proprietà della distribuzione di pressione dell'onda sulla parete e nello specifico:

$$A = A' \cdot A'' \cdot A'''$$

dove:

- A' rappresenta il rapporto tra altezza significativa e altezza massima dell'onda;
- A'' rappresenta la disuniformità spaziale di pressione su parete;
- A''' rappresenta l'effetto impulsivo dell'onda su parete.

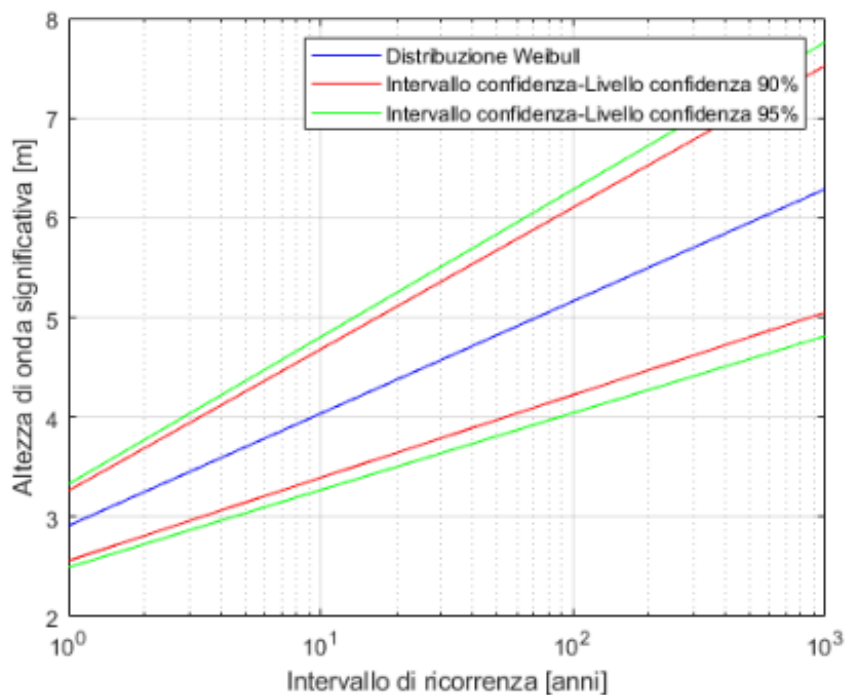


Figura 92 - Analisi eventi estremi per il paraggio n.4.

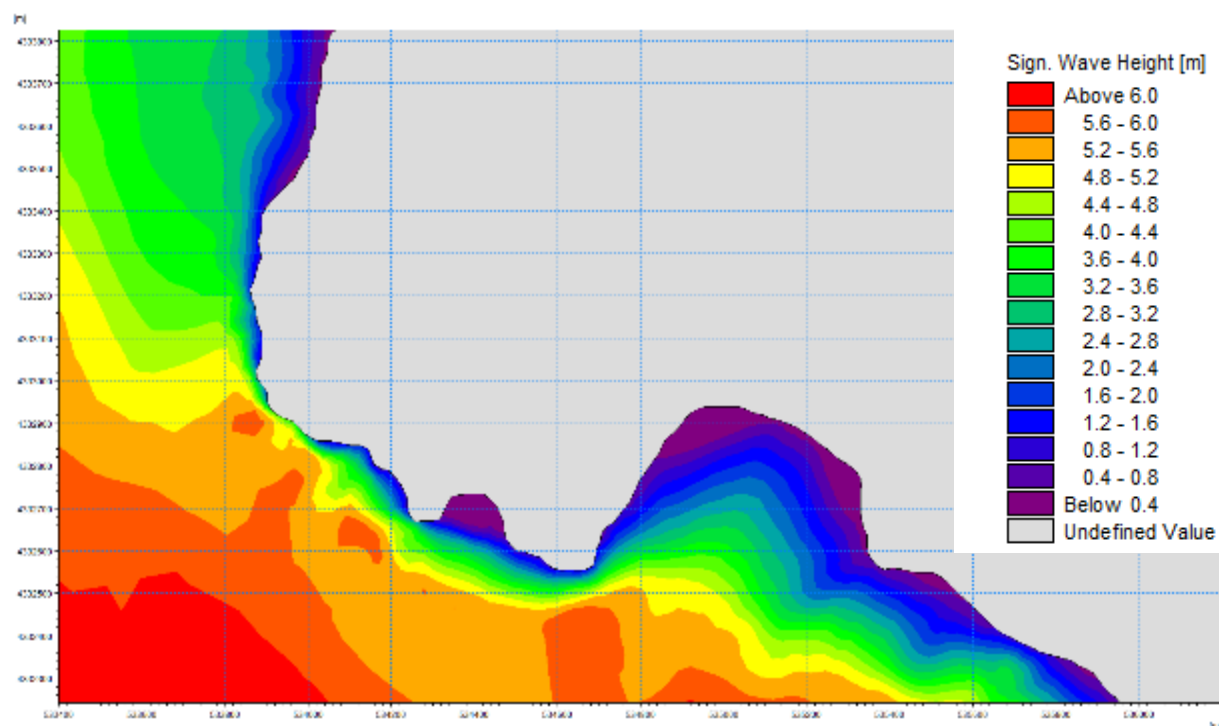


Figura 93 - Campi di altezza d'onda per la trasposizione del clima ondoso estremo. I valori estratti in prossimità del piede di falesia sono stati inseriti nel modello modificato di suscettività.

Intervalli direzionali [°N]		Intervalli di altezza dell'onda significativa [m]										SOMMA
		0-0.5	0.5-1.0	1.0-1.5	1.5-2.0	2.0-2.5	2.5-3.0	3.0-3.5	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	
0	10	0.04%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0,04%
10	20	0.04%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0,04%
20	30	0.08%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0,08%
30	40	0.42%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0,42%
40	50	1.74%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	1,75%
50	60	1.97%	0.04%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	2,01%
60	70	1.65%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	1,69%
70	80	0.77%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0,80%
80	90	0.45%	0.08%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0,54%
90	100	0.46%	0.12%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0,59%
100	110	0.66%	0.23%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0,91%
110	120	0.98%	0.48%	0.06%	0.01%	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	1,53%
120	130	1.32%	1.20%	0.36%	0.06%	0.02%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	2,98%
130	140	2.12%	2.93%	1.84%	0.65%	0.24%	0.05%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	7,87%
140	150	2.59%	3.00%	2.00%	0.64%	0.27%	0.11%	0.05%	0.04%	0.05%	0.01%	8,75%
150	160	2.63%	1.49%	0.53%	0.11%	0.04%	0.03%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	4,86%
160	170	2.17%	0.99%	0.42%	0.13%	0.02%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	3,74%
170	180	2.06%	0.76%	0.36%	0.06%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	3,26%
180	190	2.32%	0.69%	0.28%	0.09%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	3,39%
190	200	2.48%	0.74%	0.22%	0.13%	0.04%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	3,60%
200	210	2.82%	1.64%	0.37%	0.12%	0.03%	0.03%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	5,03%
210	220	3.09%	3.76%	0.93%	0.20%	0.11%	0.05%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	8,14%
220	230	2.47%	4.26%	1.95%	0.75%	0.16%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	9,63%
230	240	1.94%	3.01%	1.25%	0.51%	0.10%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	6,83%
240	250	1.69%	2.83%	1.13%	0.35%	0.05%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	6,06%
250	260	1.67%	2.61%	0.89%	0.26%	0.04%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	5,47%
260	270	1.39%	2.52%	0.83%	0.15%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	4,92%
270	280	0.67%	2.09%	0.40%	0.04%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	3,21%
280	290	0.25%	0.79%	0.21%	0.05%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	1,30%
290	300	0.07%	0.17%	0.04%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0,29%
300	310	0.05%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0,06%
310	320	0.04%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0,04%
320	330	0.04%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0,04%
330	340	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0,04%
340	350	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0,03%
350	360	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0,04%
SOMMA		43.22%	36.56%	14.12%	4.31%	1.18%	0.37%	0.13%	0.05%	0.05%	0.01%	100%

Tabella 36 - Tabella bivariata della boa RON di Cagliari.

La componente di sollecitazione del moto ondoso nel modello di suscettività proposto ha determinato i risultati riassunti in Tabella 37.

	Lunghezza (m)	Settore prov. (°N)	HS0, 10 (Tr = 10 anni)	HS0, 10 + Δ95	A	HSd, 10 + Δ95	d (m)	p10(kN/m2)
U1	398,13	180 -310	4,00	4,80	9	16,42	2,0	512
U2	275,58	120 -310	4,90	5,80	9	31,32	3,0	976
U3	176,63	150 -240	4,60	5,80	9	7,83	1,0	244

	Lunghezza (m)	Settore prov. (°N)	HS0, 100 (Tr = 100 anni)	HS0, Δ95	100 + A	HSd, Δ95	100 + d (m)	p100(kN/m2)
U4	696,82	160 -310	4,00	4,90	9	5,29	1,5	165
U5	393,9	100 -200	5,00	6,40	9	1,73	0,5	54
U6	446,52	160 -270	4,10	4,90	9	7,94	3,0	247
U1	398,13	180 -310	5,10	6,20	9	21,20	2,0	661
U2	275,58	120 -310	6,20	7,50	9	40,50	3,0	1262
U3	176,63	150 -240	6,00	7,60	9	10,26	1,0	320
U4	696,82	160 -310	5,20	6,30	9	6,80	1,5	212
U5	393,9	100 -200	6,80	8,90	9	2,40	0,5	75
U6	446,52	160 -270	5,30	6,40	9	10,37	3,0	323

Tabella 37 - Pressione dell'onda con Tr = 10 e 100 anni sui 6 paraggi del sito pilota

L'introduzione dei valori di pressione nel modello di suscettività alimentato dalle proprietà geotecniche dei vari paraggi, ha permesso di stimare il rapporto tra le due componenti come indice di suscettività della frana alla sola sollecitazione ondosa. Come indicatore delle caratteristiche di resistenza degli ammassi rocciosi delle unità geomeccaniche considerate è stato utilizzato il valore del Rock Mass Index (RMi) (Palmstrom, 1995; Budetta et al., 2000).

L'estratto in tabella 38, indica la condizione di maggior suscettività individuata nel sito per i principali paraggi; il paraggio n.6, dove sono localizzate le rocce a maggior grado di alterazione e proprietà geotecniche scadenti, è quello nel quale si riscontra l'indice di suscettività maggiore. Questo indice è risultato pari a 0,24. Questo risultato indica che la sola sollecitazione impulsiva di un'onda estrema non possa determinare la rottura per compressione di un ammasso roccioso per quanto alterato. L'estensione del modello da un modello a scala di evento ad un modello continuo (a scala di mareggiata) che rappresenti l'alternanza di sollecitazione per susseguirsi di cavi e creste d'onda potrebbe costituire un ulteriore sviluppo del modello di Sunamura.

Sigla	Descrizione	RMi [MPa]	p ₁₀₀ [kN/m ²]	p ₁₀₀ /RMi
U1	Rocce filoniane fratturate con caratteristiche geotecniche mediocri	54	661	0.000
U2	Rocce intrusive fratturate con caratteristiche geotecniche buone	123	1262	0.010
U3	Rocce intrusive fratturate con caratteristiche geotecniche mediocri	79	320	0.004
U4	Rocce intrusive fratturate con caratteristiche geotecniche buone	180	212	0.001
U5	Rocce filoniane fratturate con caratteristiche geotecniche mediocri	21	75	0.004
U6	Rocce intrusive alterate con caratteristiche geotecniche scadenti	1.3	323	0.245

Tabella 38 - Estratto della stima dell'indice di suscettività per la condizione con il maggior valore dell'indice nelle principali unità geomeccaniche.

Analisi multitemporale: evoluzione a breve e lungo termine

L'analisi multitemporale costituisce un potente strumento per arrivare a definire la pericolosità per dissesti franosi; di fatto la comparazione di foto aeree e immagini satellitari permette di determinare la frequenza con cui avvengono i fenomeni in studio. Questa potenzialità è però fortemente inficiata, o ridotta, dalla qualità del dato, e precisamente dalla disponibilità di immagini (o anche cartografie, in alcuni casi) distribuite in un intervallo temporale sufficientemente ampio da poter includere i tempi di ricorrenza dei fenomeni. Inoltre, il dettaglio (e quindi ad esempio la risoluzione al suolo delle immagini) deve essere tale da permettere il riconoscimento dei prodotti di tali fenomeni (ad esempio: il blocco crollato). Questo significa che se le frane avvengono con tempi di ricorrenza superiori all'intervallo di tempo disponibile o con volumi al di sotto della risoluzione delle immagini, l'analisi temporale non può essere fatta. Nel caso delle immagini disponibili all'interno del sito pilota di Torre delle Stelle la mancanza di un Data-Base significativo di foto storiche ha permesso di eseguire analisi comparative solo per tempi recenti, e le poche foto storiche esistenti (1968, 1977, 1995, ecc.) non presentano un dettaglio adeguato per poter apprezzare dissesti di una entità significativa. D'altronde le caratteristiche litologiche dell'area di studio (granitoidi e filoni) non sviluppano, in genere, estesi dissesti areali, eccezion fatta per alcune colate di detrito lungo i compluvi. La ridotta entità dell'arretramento tipica delle coste alte rocciose con caratteristiche geomeccaniche buone (soprattutto quelle con un'elevata resistenza come i granitoidi), diversamente da quelle con le cosiddette "*soft rocks*", non permette spesso neanche una valutazione significativa della variazione della linea di costa, se non in casi particolari in concomitanza di importanti dissesti. Solitamente al piede delle falesie si rivengono degli accumuli di blocchi granitoidi di dimensioni importanti (da 0,5 a 10 mc) che formano una sorta di barriera frangiflutti naturale; questi blocchi infatti non sono facilmente movibili dal moto ondoso a causa del loro volume, forma, e peso specifico.

Nonostante i risultati di questa analisi nell'area di studio siano stati poco interessanti, la stessa metodologia applicata in altri segmenti delle coste rocciose della Sardegna, ad esempio nell'area di Capo Altano nel Sulcis, nel promontorio di della Sella del Diavolo a Cagliari, o in Nurra, ha fornito risultati interessanti. Per questo motivo l'applicazione del metodo viene comunque descritta, evidenziandone le problematiche.

Nell'ambito del progetto si è proceduto ad effettuare uno studio modellistico multitemporale. In particolare, questa operazione si è proposta come obiettivo l'analisi dagli archivi delle foto aeree storiche disponibili presso la Regione Sardegna e l'Università di Cagliari, per sviluppare lo studio evolutivo costiero dal 1968 al 2008. Per la conduzione di queste attività sono state raccolte dall'Ufficio Cartografico della Regione Autonoma della Sardegna la riproduzione, in formato digitale, delle riprese aeree dell'archivio regionale relativamente alle campagne di acquisizione del 1968, 1968-1987, 1995, 1997, 1998, 1999, 2001, 2002 e 2008, ricadenti nelle aree pilota. A questa raccolta si è aggiunta quella relativa alla campagna di acquisizione del 1977, resa disponibile, in formato cartaceo, dal Dipartimento di Ingegneria Territoriale e Ambientale (DIGITA) dell'Università di Cagliari. Riguardo a questi ultimi fotogrammi, è stata realizzata, preliminarmente, la trasformazione in formato digitale attraverso la scansione in alta qualità (600DPI), per consentire l'elaborazione computerizzata al pari delle altre acquisizioni.

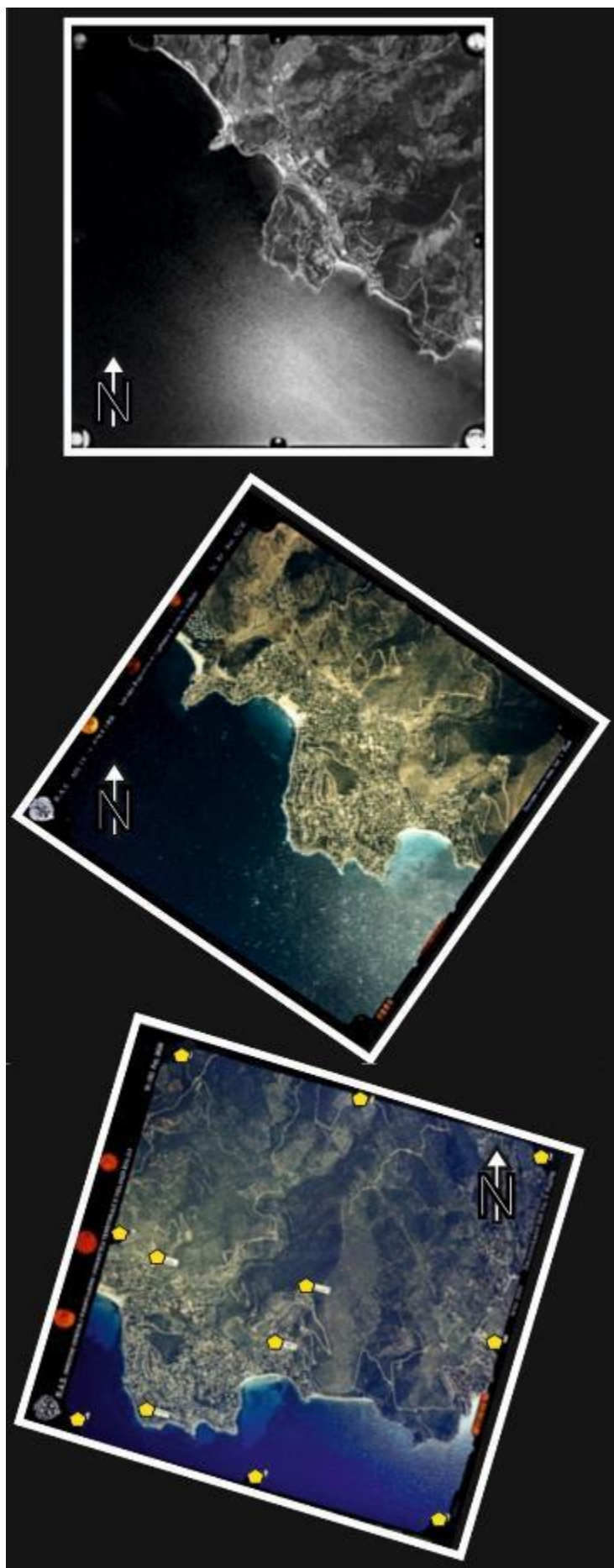


Figura 94 - Esempi di riprese aeree (dall'alto verso il basso: anni 1968, 1995, 2002) relativamente al sito pilota di Torre delle Stelle. Nella foto del 2002 (in basso), sono presenti i punti di controllo inseriti nelle 6 marche fiduciali della camera e in alcuni punti del territorio riconosciuti nella cartografia topografica CTC alla scala 1:2000, disponibile sul sito Sardegna Geoportale della Regione Sardegna.

La raccolta di dati digitali relativi alle varie riprese è stata quindi utilizzata per la ricostruzione di modelli stereografici delle aree pilota, attraverso l'utilizzo del modulo "Photogrammetry" del software ERDAS 2014. Questa operazione prevede il riconoscimento di una serie di punti di controllo (circa 30 per fotogramma) dei quali è necessario fornire i tre valori di coordinata geografica (x, y e z) allo scopo di supportare la collimazione automatica delle stereo-coppie con elementi di georeferenziazione. Dalla generazione dei modelli stereografici geograficamente corretti, l'applicazione permette di generare ulteriori prodotti, quali le ortofoto e i modelli digitali del terreno.

I dati processati sono stati quindi analizzati sia in visione stereoscopica sia nella visione orto rettificata. Considerata la risoluzione di acquisizione delle riprese (progettate per la restituzione alla diverse scale, da 1:23.000, figura 95, a 1:10.000, Figura 96, rispetto alle dimensioni generalmente ridotte dei fenomeni franosi nelle aree pilota, l'analisi ha portato a valutare i dati fotogrammetrici raccolti come poco adatti agli obiettivi di questo studio, non permettendo un riconoscimento certo e mappabile dei risultati dei fenomeni di crollo e scivolamento di materiale dalle pareti. Simili criticità di scala si riscontrano anche nella ricostruzione della linea di costa, della quale è possibile tracciare de i limiti privi del dettaglio richiesto dal progetto, anche a causa della

variabilità delle condizioni di moto ondoso che condizionano, anche in maniera importante, la lettura di alcune riprese.

Quando il dissesto interessa volumi definibili alle scale di ripresa disponibili l'analisi multitemporale produce risultati interessanti. È il caso osservato nell'area di Cala Delfino (Figura , Figura e Figura 99), dove le immagini satellitari hanno evidenziato una colata detritica che ha mobilitato diversi metri cubi di detrito di versante frammisto a depositi di origina antropica (calcinacci e residui di attività edilizia). Lo scivolamento è avvenuto lungo una superficie tettonica non più attiva, che ha però favorito il colamento del materiale che dalla sommità della falesia ha raggiunto la linea di costa.

Considerando le data delle immagini disponibili e che in letteratura l'innescò di questa tipologia di frane, in cui è coinvolta una quantità importante di acqua, è fortemente correlato con piogge particolarmente intense, il colamento detritico è probabilmente riconducibile all'evento pluviometrico risalente a marzo 2015. Dall'analisi ed interpolazione dei dati delle stazioni pluviometriche adiacenti (stazione amatoriale di Geremeas a 2 km), le precipitazioni totali mensili hanno raggiunto i 171 mm contro una media di circa 50 mm. In particolare, tra il 21 e il 25 marzo 2015 sono caduti circa 114,8 mm dei quali 29,2 mm tra il 21 e il 22 marzo e 85,6 mm tra il 24 e il 25 marzo. Sicuramente il quantitativo pluviometrico correlato al tipo di deposito e all'acclività del versante può avere influenzato in modo determinante la stabilità del sito e sviluppato processi di instabilità lungo i versanti. Non è da escludere che l'accumulo, probabilmente abusivo, di materiale inerte al disopra del deposito di versante abbia incrementato la pericolosità da scivolamento di quest'ultimo.



Figura 95 - Foto aerea Torre delle Stelle 1968 (in scala 1:23.000)



Figura 96 - Foto aerea Torre delle Stelle 1977 (in scala 1:10.00)



Figura 97. Immagine satellitare Google Earth 14/4/2013.



Figura 98 - Immagine satellitare Google Earth 7/5/2015.

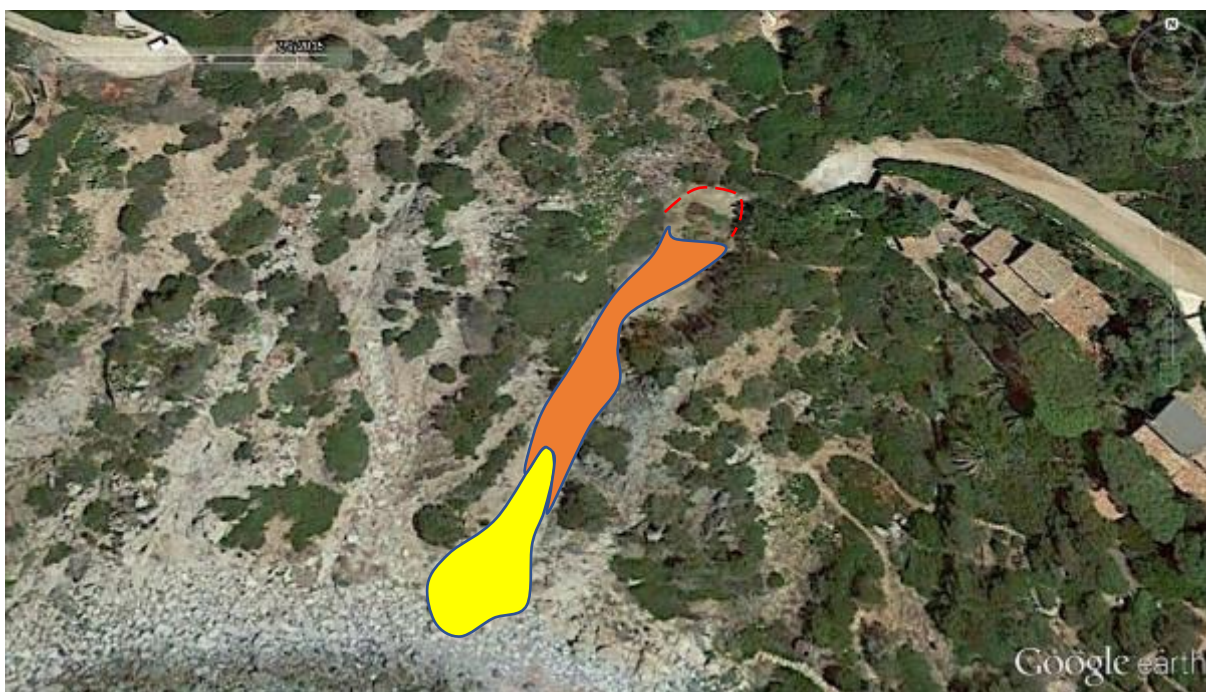


Figura 99 - Stessa immagine di Figura 98 con la colata di detrito evidenziata: in rosso zona di alimentazione, in arancione la zona di trasferimento, in giallo la zona d'accumulo.

Stazione amatoriale Geremeas			
DATA	mm	DATA	mm
01/03/2015	0	17/03/2015	0
02/03/2015	0	18/03/2015	0
03/03/2015	0	19/03/2015	0
04/03/2015	0,8	20/03/2015	0
05/03/2015	0,2	21/03/2015	9,8
06/03/2015	0	22/03/2015	19,4
07/03/2015	0	23/03/2015	0
08/03/2015	2,4	24/03/2015	71,8
09/03/2015	6	25/03/2015	13,8
10/03/2015	0,2	26/03/2015	0,8
11/03/2015	0	27/03/2015	0
12/03/2015	0	28/03/2015	0
13/03/2015	0	29/03/2015	0
14/03/2015	0,6	30/03/2015	0
15/03/2015	15,8	31/03/2015	0
16/03/2015	29,8	Totale	171,4

DATA	mm	Totale mm	Totale mm
21/03/2015	9,8	29,2	114,2
22/03/2015	19,4		
23/03/2015	0		
24/03/2015	71,8	85,6	
25/03/2015	13,8		
26/03/2015	0,8		

Tabella 39 - Pluviometria relativa a marzo 2015 (stazione amatoriale di Geremeas, gentile concessione SardegnaClima); a destra il dettaglio dell'evento del 21-23 marzo 2015 che potrebbe essere responsabile della colata detritica in Figura 98.

5. ANALISI DELLE TENDENZE EVOLUTIVE

La ricostruzione della storia evolutiva passata (indagine storica) collegata alla definizione dei processi attuali consente di pervenire alla impostazione delle ipotesi sulle tendenze evolutive future; questi aspetti risultano determinanti per la ottimizzata definizione della ricorrenza dei fenomeni e processi geomorfologici, in combinazione con altre metodologie complementari (analisi multitemporali, dati storici, ecc.).



Figura 100 - Cartografia del sistema idrografico (1840)

L'indagine storica ha previsto la raccolta bibliografica di tutte le informazioni utili a comprendere i fattori che hanno condizionato l'evoluzione del bacino idrografico e del tratto costiero indagato, inteso unitariamente come Unità Gestionale Costiera, determinandone l'attuale assetto.



Figura 101 – altro esempio di carta storica

I dati utilizzati sono di varie tipologie e, in particolare, **cartografie Storiche** a differenti scale di dettaglio (*Carte del Real Corpo di Stato Maggiore del 1840, Mappe Ademprivi e Cussorgie e Ufficio Tecnico Erariale in varie scale degli anni tra il 1900 e 1920, Cartografie IGM serie storiche 1897*), **foto d'epoca**, **cartografie recenti** (*Carta IGM, Carta Tecnica Regionale*), **carte tematiche ambientali**, **foto aeree**, (1942, 1954, 1968, 1977, 1986, 1997, 2000, 2002, 2003, 2006, 2008, 2010, 2013 e 2016), **immagini da satellite** (*Ikonos 2005, Spot 2009 Worldview 3 2018*), rilievi da Drone (2019 e 2020), **rilievi topografici e batimetrici** di dettaglio (*DTM, DSM, TBS, BMB, SSS, SBP*) geologico/geomorfologici/meteorologici dell'intera area esaminata e dell'alveo del corso d'acqua principale.

Il materiale raccolto è stato analizzato e valutato qualitativamente per il suo utilizzo e organizzato per essere utilizzato nel Sistema Informativo Geografico (SIT MAREGOT) costruito per le finalità specifiche richieste dal progetto. Tutti i dati sono stati georeferenziati e/o riproiettati nel sistema di riferimento adottato dal SIT al fine di consentire la corretta gestione, digitalizzazione ed elaborazione dei dati. I risultati delle elaborazioni diacroniche riferite all'unità fisiografica sono rappresentate nell'allegato specifico "Atlante dell'Evoluzione Morfologica degli alvei Fluviali, della linea di Riva e delle Spiagge".

Nel seguito si riporta una sintesi dell'analisi diacronica e una sintetica rappresentazione delle principali modificazioni riscontrate e suddivise per i due corsi d'acqua principali e per il sistema spiaggia.

Per completezza dell'analisi si rimanda, per un ulteriore approfondimento, al capitolo successivo, nel quale, sulla base dell'elaborazione dei dati meteorologici e morfodinamici, è stato possibile evidenziare le dinamiche sedimentarie e le tendenze evolutive delle spiagge.

5.1 TENDENZA EVOLUTIVA DEL SISTEMA COSTIERO

Evoluzione passata e valutazione delle condizioni attuali del Sistema idrografico

L'evoluzione morfologica dei corsi d'acqua è stata analizzata digitalizzando le aste principali del reticolo idrografico e le aree foci riferite ai dati temporali disponibili con particolare riferimento alle zone di alveo attivo e di piana alluvionale.

Per ogni rilievo (cartografico, fotografico ecc...) disponibile, è stato definito l'asse dell'alveo, tracciando la linea geometrica di mezz'acqua tra le due sponde che delimitano l'alveo attivo.

Le misure di larghezza sono state effettuate attraverso il software ArcGis, il quale ha permesso di rettificare le immagini e di assegnare un sistema di riferimento assoluto (georeferenziare) in modo da poterle sovrapporre tra loro ed effettuare il confronto temporale delle larghezze per i diversi anni analizzati in funzione delle distanze lungo l'alveo e valutare i trend temporali delle variazioni di larghezza. In sintesi l'analisi consente di evidenziare la morfologia del tracciato principale con la tendenza alle sue variazioni morfologiche nel tempo.

Nella Figura 102 viene rappresentato il sistema costiero e la rete idrografica principale e secondaria nello stato di totale naturalità precedente lo sviluppo turistico degli anni '60-'70.



Figura 102 – Estratto cartografia IGM 1:25.000

A partire da quegli anni tutta la zona costiera è stata oggetto di un importante sviluppo urbanistico edilizio che ha interessato le piane costiere e le valli fluviali, modificando i tracciati fluviali, interrompendo i tronchi vallivi ed i piccoli compluvi, tutti tributari di sedimenti verso le spiagge. Tale sviluppo urbanistico, accompagnato da un'importante crescita infrastrutturale ha richiesto un grande fabbisogno di materiali da costruzione soddisfatto a discapito sia delle sabbie del complesso dunale che delimitava le due spiagge di Torre delle Stelle e di Solanas, sia, parzialmente anche dal prelievo di sedimenti in alveo.

L'analisi dell'evoluzione storica evidenzia inoltre che il Riu Solanas ha avuto importanti variazioni morfologiche dell'alveo nel suo tratto semiconfinato anche a seguito di intensa attività agricola sviluppatasi nel periodo post bellico, di interventi di prelievo di inerti e opere idrauliche passando a partire dagli anni 80 da "rettilineo" a "sinuoso a barre alternate".

Viceversa, il Riu Gavoi, monocursale e, a tratti, meandriforme ha conservato storicamente la sua tipologia ed il suo tracciato ma perdendo nel suo tratto finale, canalizzato e totalmente artificializzato, la sua naturalità.

Nelle figure 103 e 104 successive vengono rappresentate le correlazioni fra le idrografie attuali e quelle storicamente documentate.

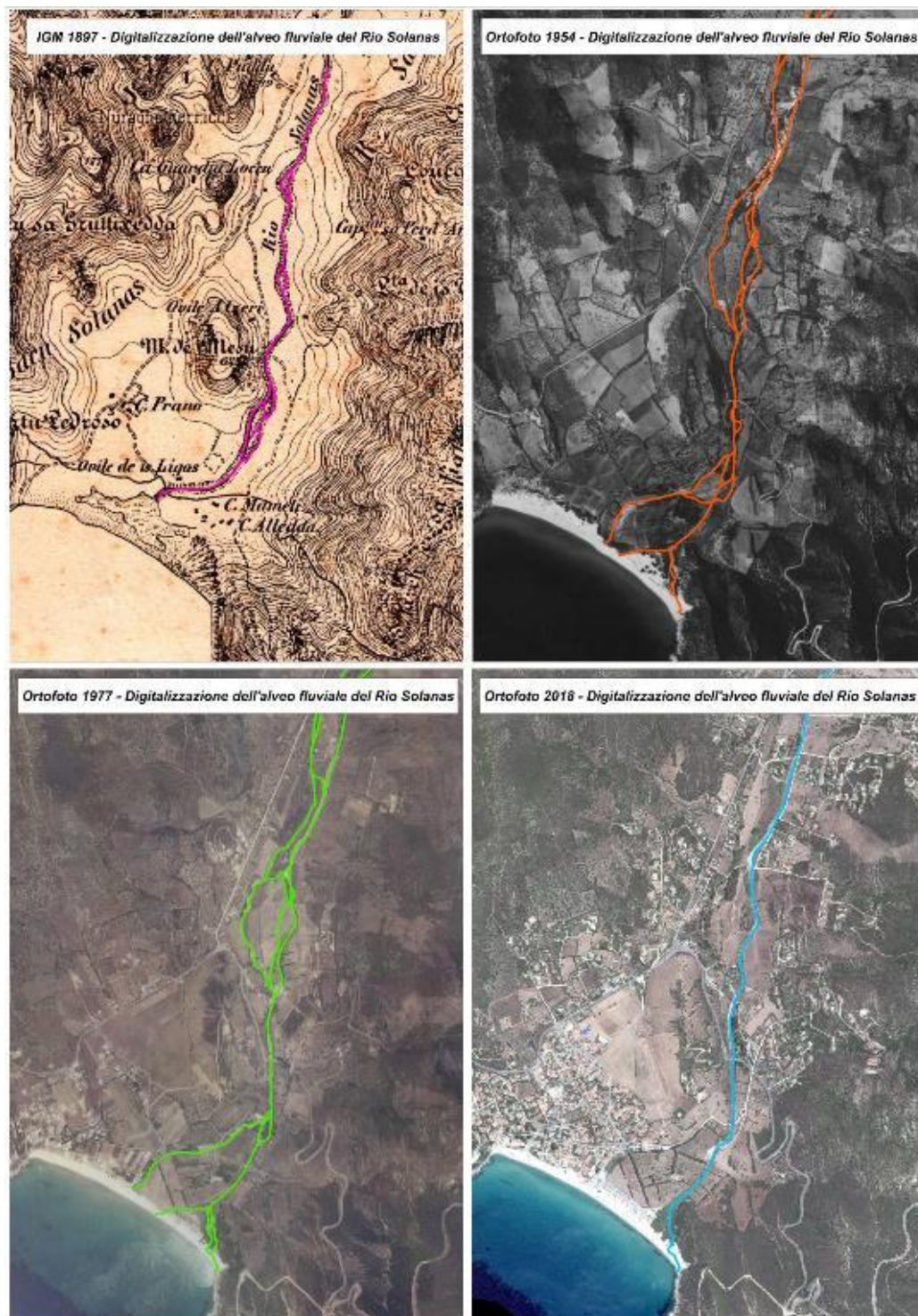


Figura 103 - Confronto storico tra le idrografie del rio Solanas

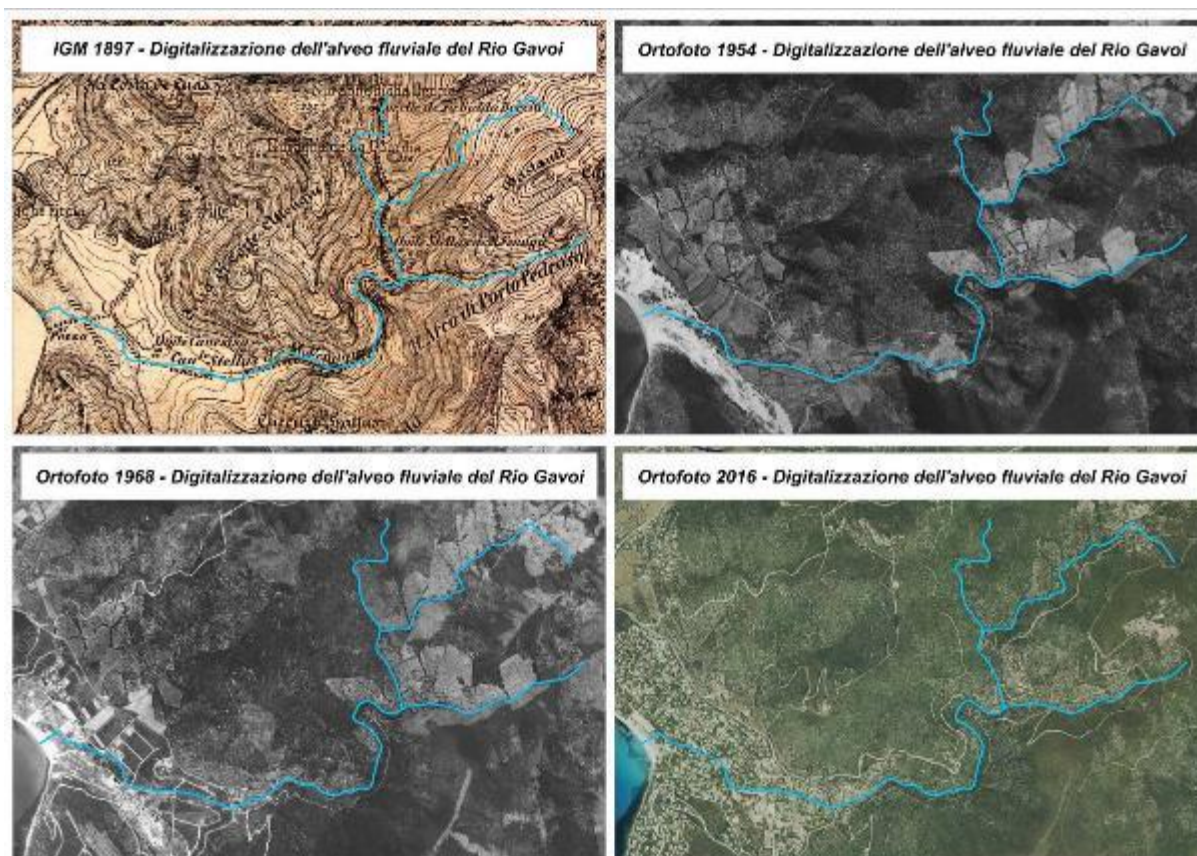


Figura 104 - Confronto storico tra le idrografie del rio Gavoi

Dalle immagini del tracciato del Riu Gavoi a fine '800 (IGMI) si può notare come la continuità morfologica e la evidente naturalità fino alla foce garantivano l'input sedimentario della spiaggia di Cann'e Sisa.

Oggi il tracciato del Riu Gavoi, come visibile nell'immagine del 2016, risulta completamente obliterato dall'espansione del turismo residenziale e dall'infrastrutturazione urbana.

Da una analisi diacronica, figura 105, è possibile osservare ancora meglio il rio Solanas e valutare le importanti variazioni morfologiche dell'alveo nel corso degli anni, anche, come già detto, a seguito di intensa attività agricola, sviluppatasi nel periodo post bellico, e di prelievo di inerti. Dalla sovrapposizione delle serie storiche è facilmente comprensibile quale siano le aree interessate dalle alluvioni alla foce e quali siano le infrastrutture attuali maggiormente coinvolte

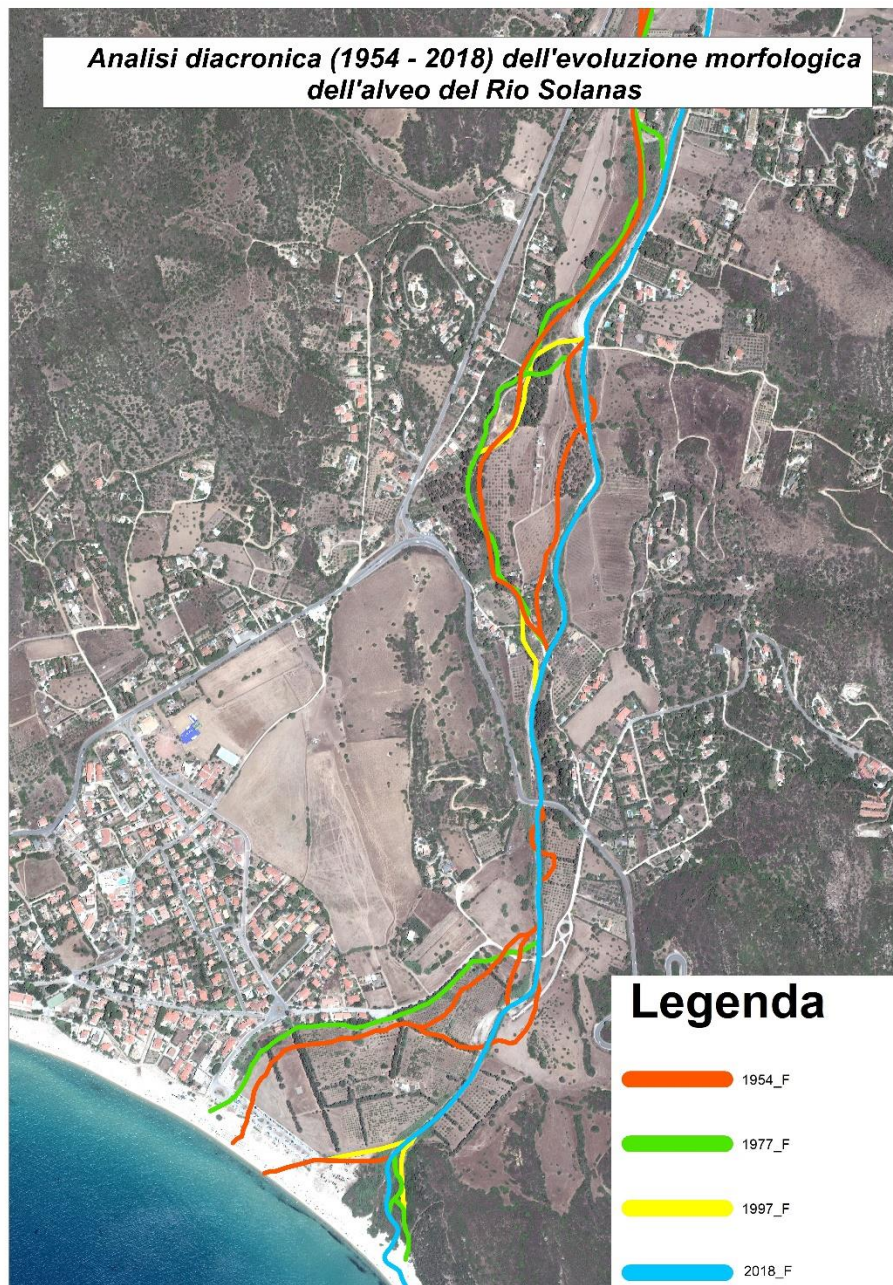


Figura 105 – Analisi diacronica del rio Solanas

Evoluzione futura: monitoraggio morfologico dell'alveo e del settore focivo

Come descritto precedentemente, la Metodologia IDRAIM adottata ha consentito la determinazione qualitativa e la misura degli indici morfologici che caratterizzano l'alveo attivo analizzato; partendo da tali dati e riferendoli alle modificazioni passate è stato possibile impostare il monitoraggio morfologico dell'alveo fluviale con particolare riferimento alle zone focive quale principale interfaccia del fiume con il settore costiero e sede dei principali fenomeni deposizionali e di alimentazione delle spiagge.

Evoluzione della linea di riva e della spiaggia

Analogamente a quanto sviluppato in ambito fluviale, per ciascuna spiaggia è stata fatta una analisi diacronica della linea di riva e della spiaggia emersa utilizzando le metodologie sopra esposte prendendo in considerazione un intervallo temporale di circa 150 anni. Pertanto, i dati analizzati sono di tipo cartografico con cartografie storiche di differente estrazione e dettaglio mentre dal 1945 ad oggi

si sono potute utilizzare foto aeree e immagini da satellite a differente risoluzione. Poiché l'esperienza mostra che un eventuale deficit del budget non è sempre messo in luce tanto dalla sola dinamica storica della riva ma anche attraverso lo spessore del profilo di spiaggia emersa, a supporto della analisi diacronica della riva ci si è avvalsi anche di diversi modelli digitali del terreno ottenuti tra il 1989 e il 2018, utilizzando anche dati radar ad alta definizione.

La digitalizzazione dei dati è avvenuta seguendo il criterio di visualizzazione delle informazioni alla massima risoluzione consentita dai singoli prodotti. Si è curato con attenzione la georeferenziazione dei dati ricercando la perfetta sovrapposizione e correttezza planimetrica. Ciò nonostante le elaborazioni possono risentire di valutazioni interpretative e soggettive dell'operatore. Per ogni spiaggia si riporta una sequenza diacronica delle principali immagini ritenute più significative con evidenziata la linea di riva, l'area di spiaggia comprensiva del complesso dunale e le variazioni significative ed una immagine riepilogativa dell'analisi commentata.

Sintesi dei risultati

Spiaggia di Cann'e Sisa

La spiaggia emersa di Cann'e Sisa ha uno sviluppo di circa 410m sulla linea di riva, orientata NW-SE. Essa è quindi esposta pienamente alle ondatazioni da Libeccio. Si tratta di una Pocket beach ben incassata fra i due aggetti rocciosi di Torre de Su Fenugu (Torre delle Stelle) a SW e Baccu MAndara a NE che le assicurano, coi loro prolungamenti in ambito subacqueo, sia un controllo geologico che una conseguente relativa protezione dei sedimentari entro la cella che appare del tutto priva di possibilità di scambio anche per eventi ondamentrici con lunghi tempi di ritorno.

Le foto aeree non rivelano uno stato modale con particolare variabilità longitudinale del profilo, per cui la spiaggia da tale punto di vista riscontrerebbe un certo dominio dissipativo; d'altro canto l'assetto cuspidato della battigia ne suggerisce anche un carattere riflettente. Si tratterebbe quindi di una spiaggia Intermedia (sensu Wright & Short, 1984).

Il confronto diacronico ha messo in evidenza come la spiaggia registri consistenti retrocessioni della linea di riva su base sessantennale, testimonianza questa, di uno stato sedimentario deficitario e di un relativo grave arretramento della linea di riva, come risultato di condizionamenti ed usi antropici, più che di una mera evoluzione naturale. Tale arretramento, mediamente superiore ai 20m, si rivela particolarmente evidente sul lato Sud, dove la retrocessione della riva varia dai 35m ai 40m. Non di meno a Nord risulta nel tempo più esposta la superficie a tetto della Beach rock, affiorante a pochi metri di profondità.

Nella sostanza si è trattato di un riadattamento del profilo con nuovo equilibrio morfodinamico, a valle del decremento di budget sedimentario. Dal confronto delle due immagini datate 1954/2018 emergono le modificazioni antropiche del reticolo idrografico e la scomparsa di una buona parte di un esteso sistema dunare retrostante che collegava le due spiagge di Cann'e Sisa e di Genn'e Mari (valutabile in diverse decine di migliaia di metri cubi di sabbie), a cui si lega l'evidente arretramento della linea di riva di entrambe. Dato il contesto idrografico e l'obliterazione del Riu Gavoi, tale concomitanza di condizioni appare di grave pregiudizio per l'assetto della spiaggia. Gli stessi scampoli del sistema dunare, letteralmente relitti, pur presentandosi in uno stato particolarmente degradato, debbono considerarsi la principale garanzia di sopravvivenza della spiaggia emersa.

Le correlazioni diacroniche in foto aerea oltre ad evidenziare la drastica retrocessione della linea di riva, fanno ammettere anche un abbattimento dello spessore dei profili di spiaggia, sia emerso che sommerso. Quest'ultimo appare variabile da uno a due decimetri nei primi metri di profondità, dove le sabbie sono evidentemente sovrapposte a Beach Rock olocenica, con 1,5m-2m di spessore al massimo nel settore assiale e centrale (è anche probabile che il contatto al letto, sia contrassegnato anche da ciottoli derivanti dallo smantellamento della B.R.).

Ciò malgrado, la spiaggia deve considerarsi decisamente poco vulnerabile in termini naturali ed il suo assetto complessivo ne rimarca la complessiva robustezza sedimentaria, a fronte del gravissimo quanto sottaciuto dissesto subito.

Entrambi i fenomeni sono quindi da ritenersi spiegabili solo se si ammette anche una ridefinizione del profilo modale della spiaggia, conseguente alla pressoché totale distruzione del sistema dunale che collegava fino agli anni '70 questa spiaggia con quella più orientale di Genn'e Mari e col degrado d'uso di quella residua.

Nelle immagini di figura 106, 107 e 108 sono chiaramente evidenti le modificazioni antropiche che, hanno interessato la foce del rio Gavoi, la scomparsa del compendio dunare retrostante le spiagge di Genn'e Mari (ed in particolare nel tratto a Sud che era in stretta connessione con la spiaggia di Cann'e Sisa a Nord) e l'evidente arretramento della linea di riva.

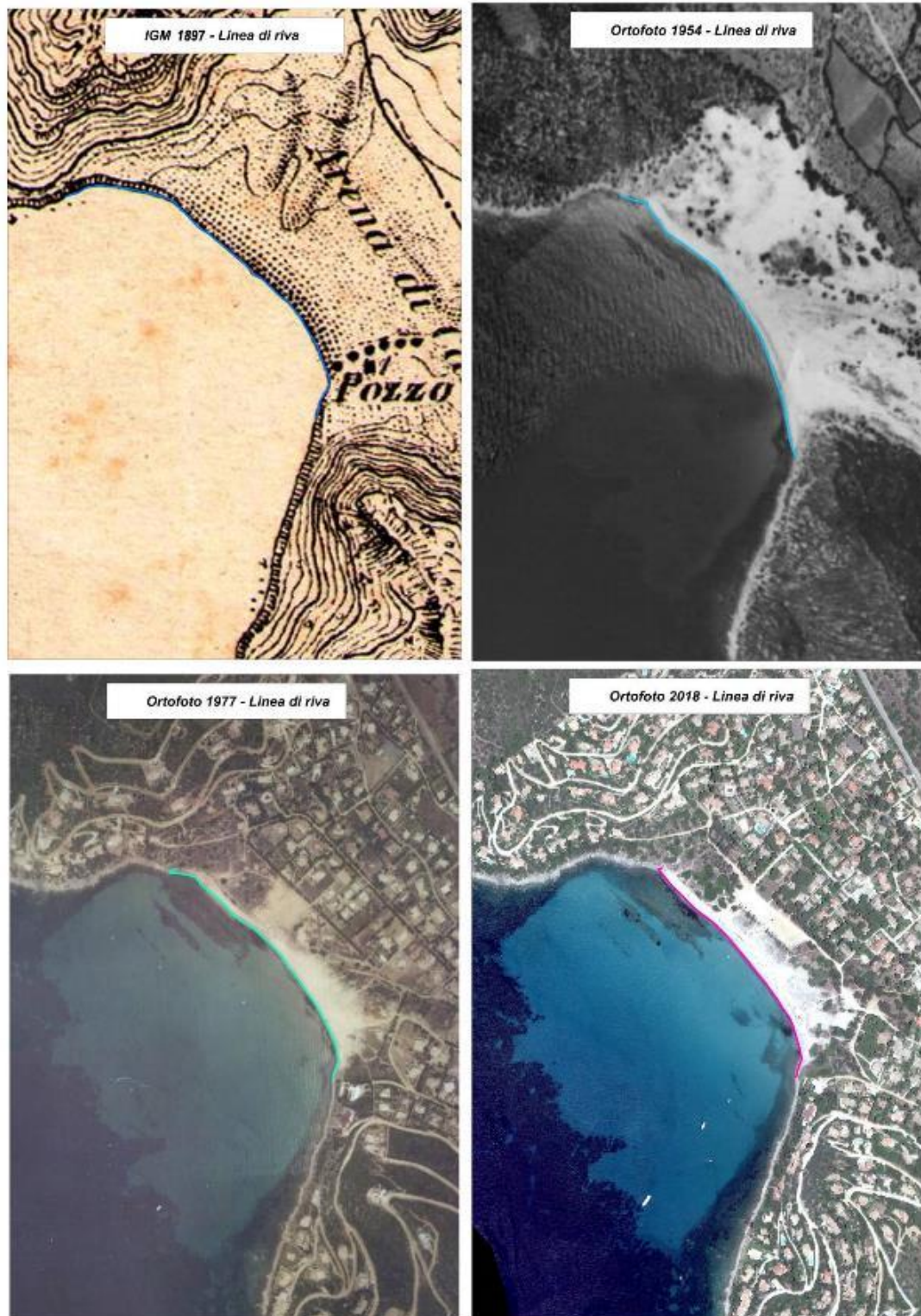


Figura 106 – Confronto storico della spiaggia di Cann'e Sisa



Figura 107 - Confronto storico dell'evoluzione della linea di riva della spiaggia di Cann'e Sisa

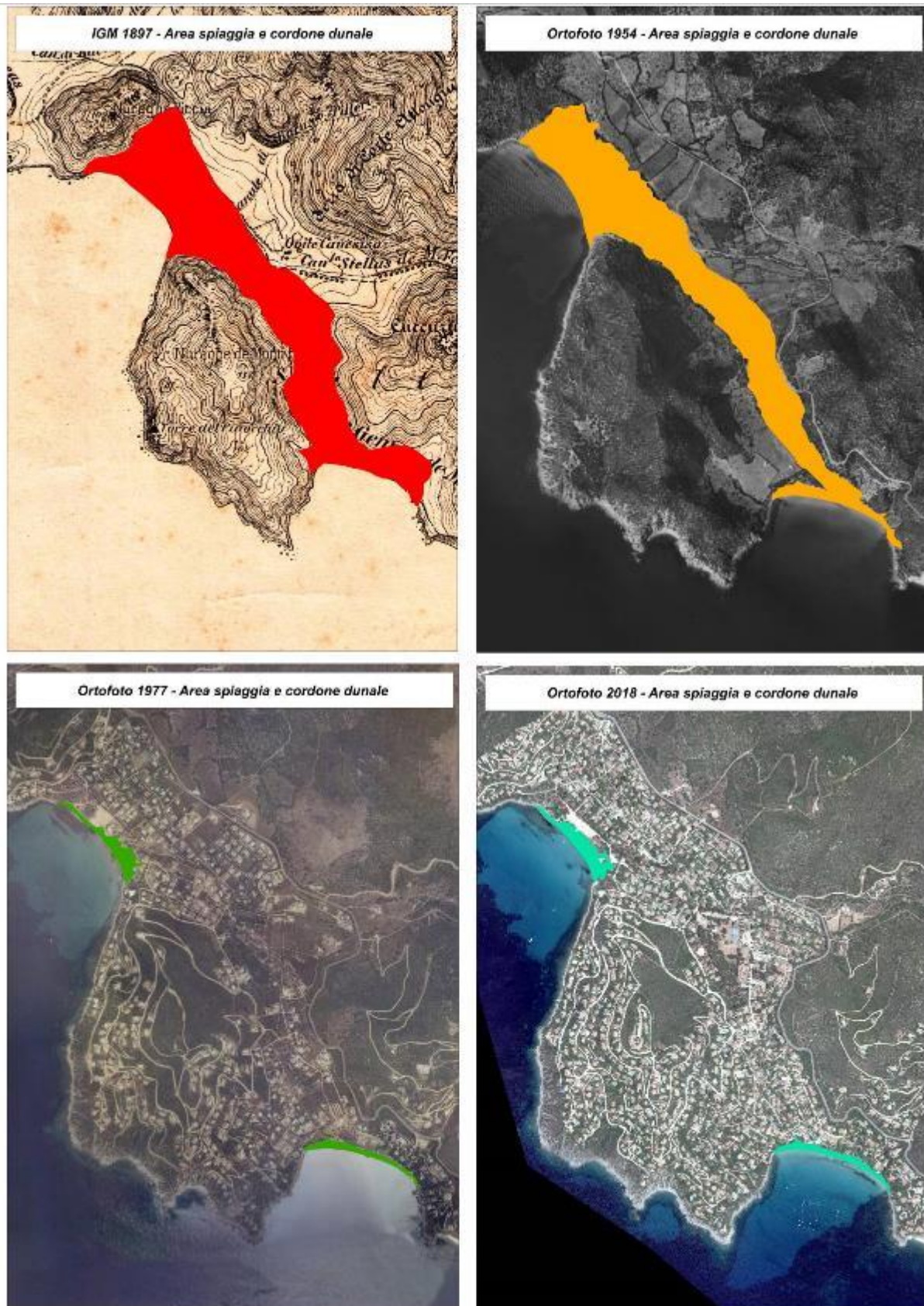


Figura 108– Confronto storico dell'evoluzione del sistema dunare della spiaggia di Cann'eSisa

Spiaggia di Genn'e Mari

La spiaggia di Genn'e Mari ha una lunghezza misurata sulla riva di circa 480m. L'assetto modale, estrapolabile su foto aerea, consente di ipotizzarne in via preliminare un'assegnazione ad un dominio intermedio, con tendenza allo sviluppo di barre trasversali e rip current, per effetto della combinazione fra dominio dissipativo e dominio laterale riflettente, ammesso e non concesso che in un contesto simile, così geologicamente condizionato (vedi oltre), sia possibile assumere i criteri di Wright and Short, 1984 etc. per la definizione di uno stato modale. Diversamente da altri casi, si ha inoltre una certa difficoltà nel caso specifico a disgiungere, solo sulla base dei confronti multitemporali in foto aerea, un assetto propriamente estivo di bel tempo da uno di cattivo tempo.

La linea di riva, (figure 109 e 110) dalle correlazioni multi temporali a partire dal 1954, appare strutturalmente arretrata, con deficit variabili da poco più di 30m sul transetto centrale, ai 25 m circa sul terminale occidentale, ai 20m del settore orientale. L'arretramento appare piuttosto sensibile dal 2005 ad oggi, con evidenza in media di circa 9-10m praticamente in ognuna delle tre ripartizioni trasversali, lievemente più accentuata nella parte centrale della falcata. Qui l'erosione ha via via denudato una parte della beach rock che, tende persino ad affiorare in ambiente di battigia.

Dalle immagini aeree si ricava anche in questo caso come in quello precedente di Cann'e Sisa, che il bilancio sedimentario storico della spiaggia è stato drammaticamente alterato dalla drastica distruzione dell'imponente sistema dunare orientato NW-SE che fino agli anni '70 connetteva tale paraggio con quello di Cann'e Sisa. Ne consegue che anche per questa spiaggia valgono le medesime considerazioni di Cann'e Sisa, circa il riadattamento del profilo emerso e sommerso ad un nuovo equilibrio in funzione della riduzione del budget. E' per questo che oltre ad un'accentuata retrocessione, ben evidente come detto nel settore centrale, si deve ammettere che siano diminuiti gli spessori sia della berma che della barra sommersa. Nonostante ciò, è di tutta evidenza che la spiaggia sottenda una cella dai caratteri particolarmente resilienti dato l'estremo controllo geologico dell'idrodinamica e della morfodinamica operato dai bassifondi rocciosi. Configurazione questa che, come si accennava in introduzione, per le sue caratteristiche fisiografiche, rende nettamente a sé stante questa Pocket beach. Ciò dal momento che l'esposizione apparente della falcata emersa non corrisponde a quella della spiaggia sommersa, proprio per il pronunciato effetto morfostrutturale operato dal prolungamento subacqueo del promontorio emerso SudEst sul moto ondoso da Scirocco e per l'ovvio effetto sulla rifrazione dell'onda, in particolare quella da SudEst all'avvicinamento alla costa. Non di meno, questo aspetto rende ancor più importante la riduzione strutturale del budget sabbioso per effetto della scomparsa della duna che andrebbe ad inquadrarsi in un particolare caso di danneggiamento ambientale permanente.

Da notare che in anche questo specifico contesto, la deposizione del fogliame di Posidonia oceanica non sembra costituire una criticità per l'uso della spiaggia poiché la morfodinamica la fa permanere residualmente sulle sole estremità.

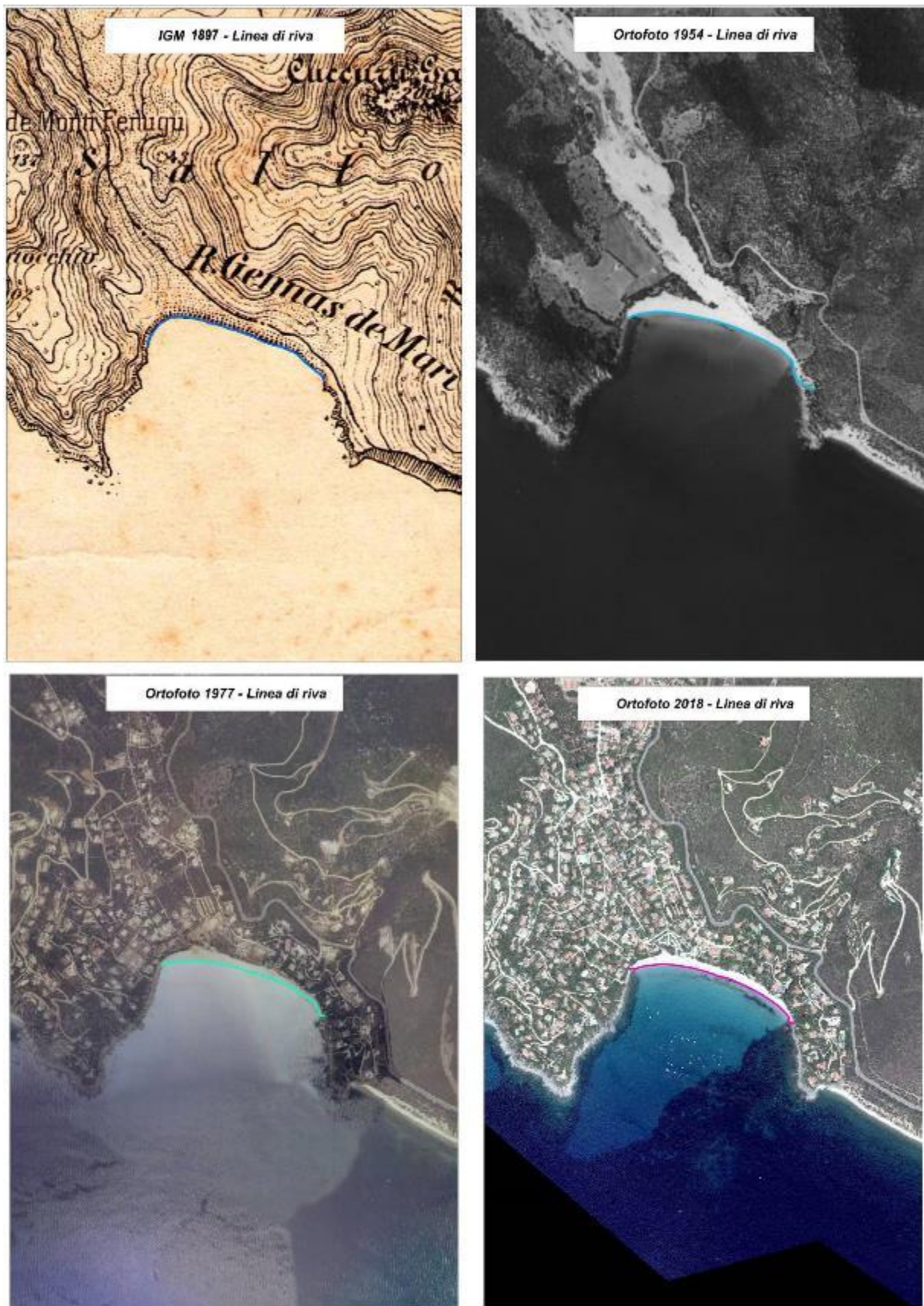


Figura 109 - Confronto storico della spiaggia di Genn'e Mari

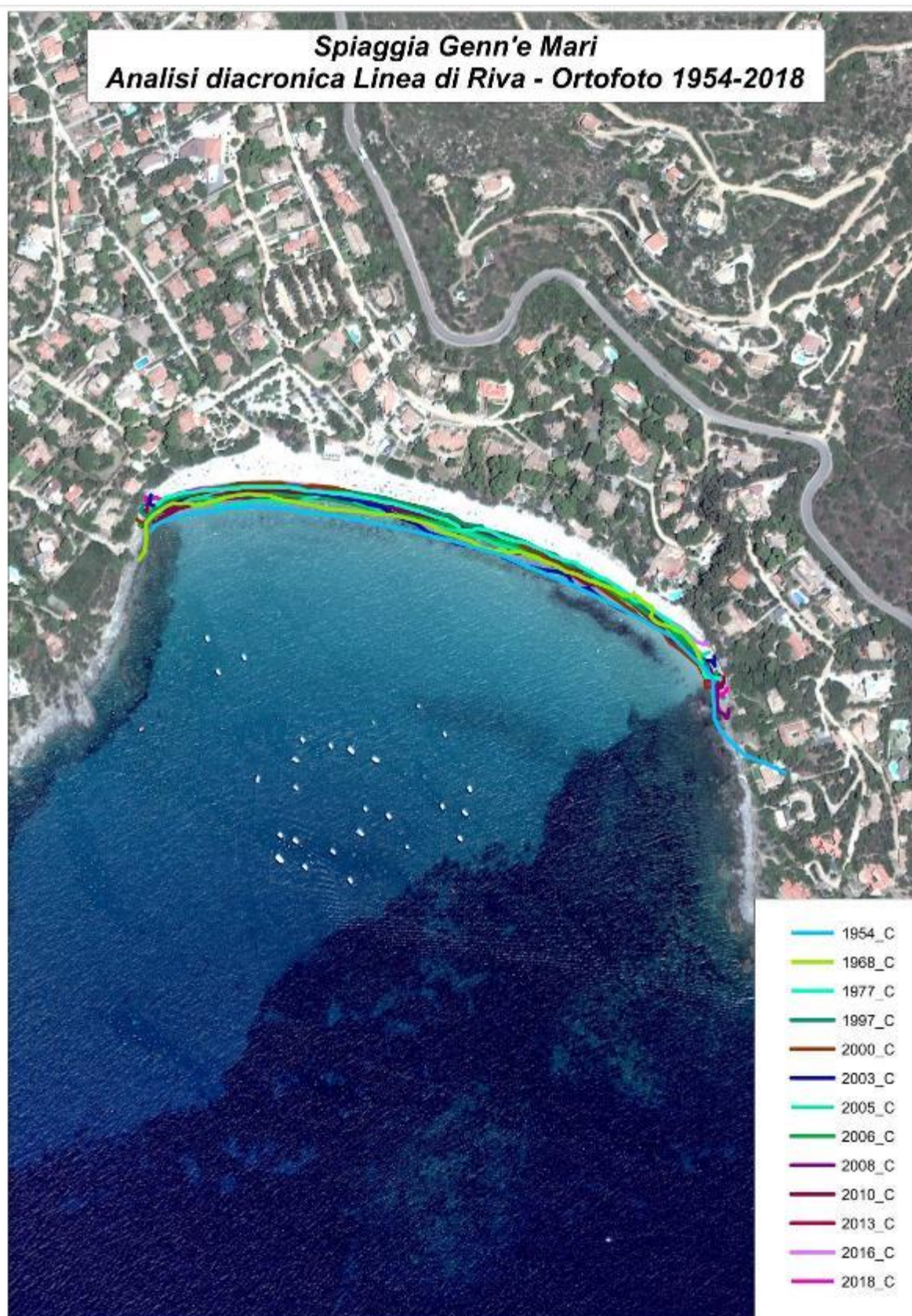


Figura 110 - Confronto storico dell'evoluzione della linea di riva della spiaggia di Genn'e Mari

Spiaggia di Solanas

L'assetto modale che si desume dall'esame multi temporale in foto aerea (figure 111, 112, e 113) è quello di una spiaggia multi barra con connotati intermedi, in parte cioè dissipativa e in parte anche riflettente (in particolare a causa della pendenza del *nearshore* a sua volta conseguente alla granulometria), in particolare in stato invernale, e con presenza di rip current. La barra che più si evidenzia è quella più prossima alla riva, ampia, poco convessa e stazionante a circa -2,5m/-3m di profondità, a distanza da poche decine di metri a qualche metro rispettivamente in assetto invernale ed in assetto estivo. I ripple marks sul fondo sabbioso in ogni caso ben si osservano da 2m fino a circa -6,5m di profondità, via via a minor lunghezza ed altezza. La sabbia non è mai fine neppure a -9m di profondità.

Sulla spiaggia emersa, malgrado la cella sia circoscritta dalla prateria di Posidonia, e quindi si debbano ammettere abbondanti produzioni invernali di fogliame morto, non si osserva nell'analisi multi-temporale in foto aerea alcuna tendenza a conservare i resti della deposizione su berma. Ciò è evidentemente la conseguenza dell'esposizione del paraggio agli effetti di almeno due ondate oblique sub ortogonali, che suggeriscono malgrado tutto l'esistenza di un elevato dinamismo *long shore*. Non si osservano tuttavia drastiche retrocessioni.

Periodiche alluvioni del torrente determinano allagamenti e dissesti non strutturali sulla spiaggia che si accompagnano ad un certo dinamismo della foce, attualmente traslata a Sud Est rispetto al passato, a conferma di una prevalente corrente longitudinale orientata verso Est (Demuro et al., 2015). In termini di bilancio sedimentario occorre sottolineare anche in questo caso il pesante abbattimento volumetrico subito dal sistema dunare, letteralmente fagocitato a beneficio della realizzazione di spazi destinati al parcheggio delle auto. Ciò ha evidentemente rideterminato l'equilibrio della spiaggia che, in ogni caso, non manifesta un particolare dinamismo sia in senso spaziale che temporale, al di là delle periodiche oscillazioni della linea di riva riscontrabili con più evidenza sulle porzioni laterali della falcata. Da notare che nella porzione terminale Ovest della spiaggia, esattamente al limite della concessione Demaniale marittima lì ubicata, si attiva periodicamente la foce di un sistema idrografico locale, amplificato da impermeabilizzazioni ed edificazioni a monte e da opere viarie a valle che, in caso di piogge concentrate, tende a convogliare sulla berma di spiaggia, ghiaie e fanghi da ruscellamento del versante estremamente acclive. Il fenomeno è stato osservato anche nell' Agosto del 2019 all'indomani di piogge del 28/08/2019.



Figura 111 - Confronto storico della spiaggia di Solanas

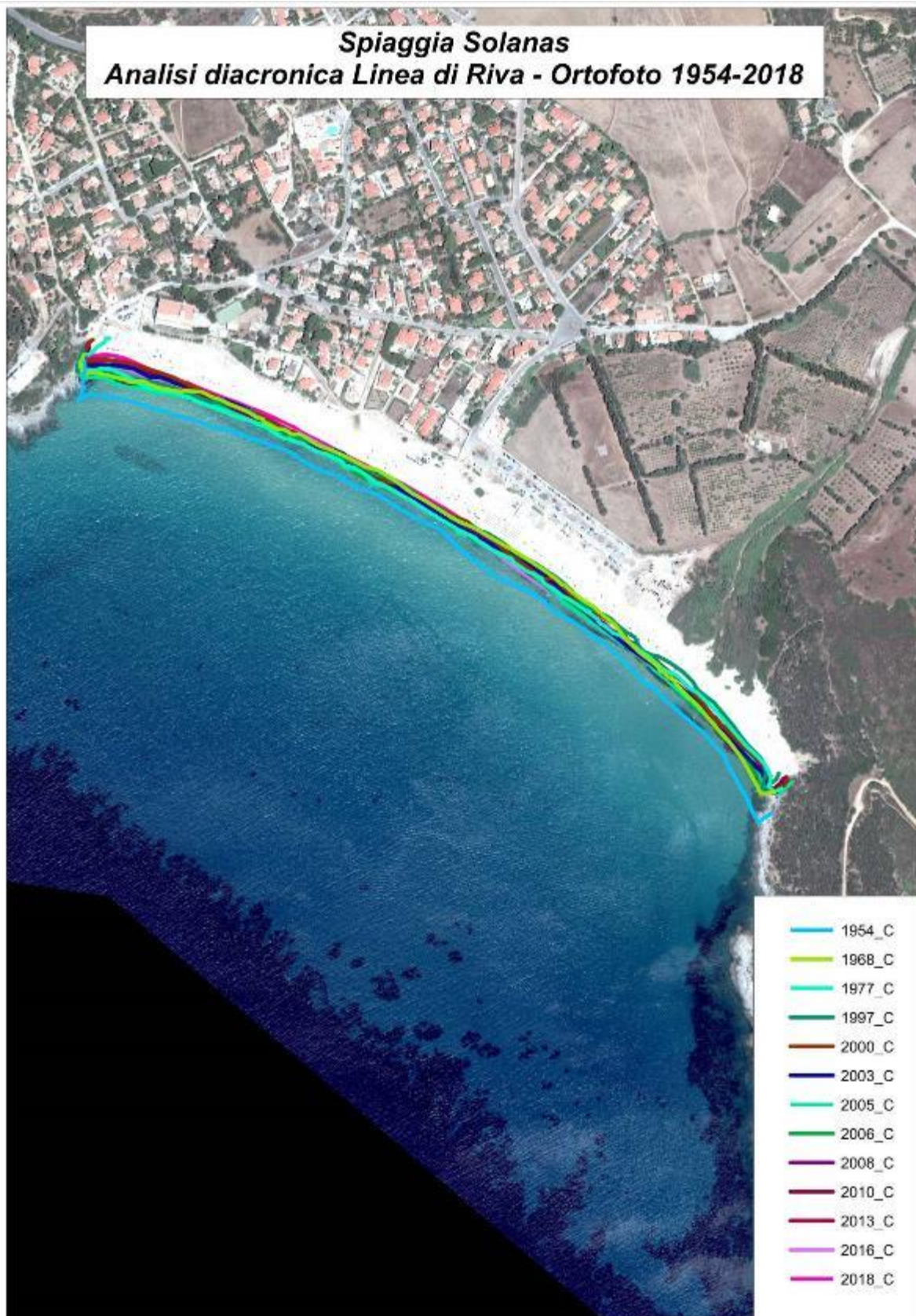


Figura 112 - Confronto storico dell'evoluzione della linea di riva della spiaggia di Solanas

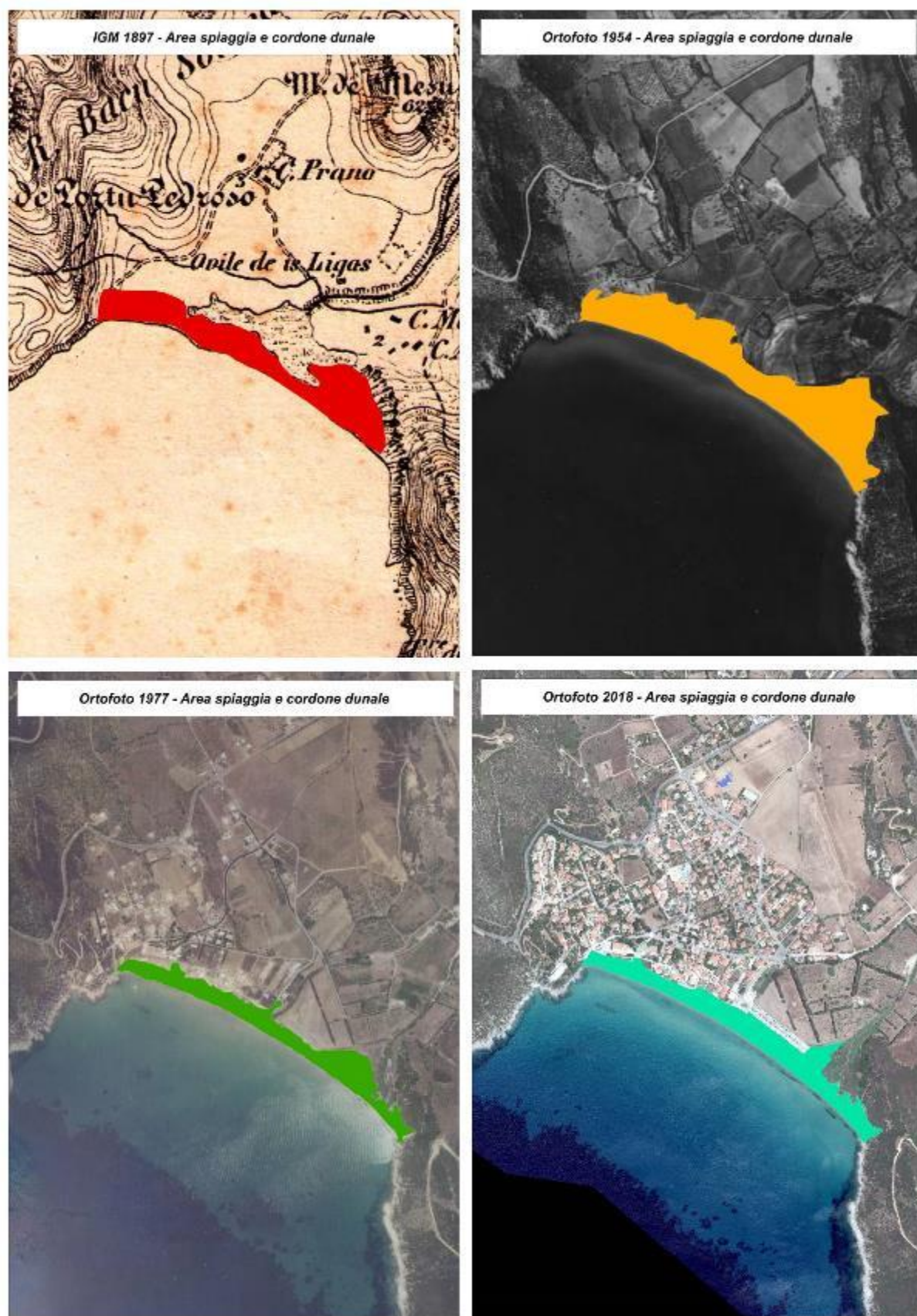


Figura 113 - Confronto storico dell'evoluzione del sistema dunare della spiaggia di Solanas

5.2 TENDENZA EVOLUTIVA DELLE COSTE ALTE

Analisi dell'evoluzione a breve e lungo termine

La tendenza evolutiva delle coste alte che caratterizzano l'aera pilota è fortemente influenzata dalle sue caratteristiche geologiche (nel senso più ampio) che qui richiamiamo in sintesi, ma sono estesamente descritte nel capitolo 3.

Il tratto costiero in esame (circa 2 km) presenta uno sviluppo irregolare, con una fitta alternanza di modesti promontori e piccole baie, ed è caratterizzato da falesie che localmente lasciano spazio a spiagge di piccola estensione (Cala Delfino 0,15 km), perlopiù costituite da ciottoli di dimensioni molto variabili. È prevalentemente modellato nelle rocce del complesso intrusivo tardo-paleozoico, costituito da granitoidi e dal complesso filoniano (dicchi prevalentemente basici); sono presenti anche depositi di versante concentrati soprattutto nei compluvi. L'ammasso roccioso ha una prevalente struttura massiva con un grado di fratturazione variabile; anche l'alterazione presenta una certa variabilità, producendo spessori anche rilevanti di materiale incoerente (granitoidi arenizzati). La natura litoide massiva non mostra un assetto giaciturale preferenziale se non quello dovuto alla presenza della fratturazione.

Date queste caratteristiche è prevedibile che la ripetizione di fenomeni d'instabilità della falesia emersa possano essere legati alla fratturazione (vedi i paragrafi su Caratterizzazione geomeccanica ed Analisi cinematica) ma anche alla mobilitazione dei materiali incoerenti, nei quali sono spesso inglobati blocchi isolati, con volumi che spesso superano il metro cubo. Per le sue caratteristiche non sembra essere significativa l'influenza delle acque sotterranee, mentre hanno sicuramente un ruolo importante lo scorrimento delle acque superficiali e il processo di alterazione delle superfici esposte allo *spray* marino, che causa quindi un deterioramento delle caratteristiche geomeccaniche.

Considerando l'interazione tra fenomeni marini e terrestri, il risultato dell'applicazione del modello d'erosione semplificato basato sull'interazione onda-falesia ha dimostrato che la pressione d'urto delle onde influisce debolmente sulle condizioni di stabilità della falesia, e lo fa principalmente in corrispondenza delle litologie meno resistenti e più alterate dove si osserva una maggiore erosione. Il modello prende in considerazione la serie degli eventi estremi assieme a un numero ridotto di tratti di costa (paraggi) che presentano esposizione al moto ondoso e caratteristiche geomeccaniche uniformi. Complessivamente comunque l'ammasso roccioso ha delle caratteristiche geomeccaniche abbastanza buone, di conseguenza l'azione del moto ondoso influenza in maniera molto ridotta l'evoluzione della costa soprattutto nel breve termine; questo dato è emerso soprattutto dall'analisi multitemporale delle foto storiche. Anche il fenomeno di scalzamento alla base per approfondimento di un solco di battente non sembra rilevante: di fatto non si osserva quasi un solco pronunciato, come invece accade in aree limitrofe ma con caratteristiche geologiche differenti (ad es. promontorio di Capo Sant'Elia – Sella del Diavolo).

Nella maggior parte dei casi solo alcune porzioni dell'ammasso roccioso mostrano condizioni di disequilibrio e le situazioni più critiche si manifestano in genere alla sommità della falesia, talvolta non lontano da edifici e infrastrutture, e in corrispondenza dei compluvi dove tendono ad accumularsi gran parte dei depositi di crollo e quelle derivanti dall'alterazione. Le principali criticità lungo il tratto costiero esaminato sono relative alle falesie che sono interessate da localizzati, ma ripetuti: crolli, ribaltamenti e scivolamenti di blocchi di dimensioni variabili (da 0,3 a 2 mc) e colate di detrito concentrate soprattutto in corrispondenza dei compluvi. I processi di frana sono localizzati prevalentemente nei settori superiori rispetto alla fascia di *wave run-up*; in particolare si rinvencono in maggior misura nei settori superiori e alti dei versanti analizzati. In questi settori gli agenti morfogenetici (dilavamento, alterazione chimico-fisica della roccia, ecc.), asportano i prodotti di alterazione e isolano ed espongono i blocchi a successivi processi gravitativi di crollo, crollo/ribaltamento e scivolamenti. Le caratteristiche di forma e di dimensione dei singoli blocchi sono in stretta relazione con la fratturazione dell'ammasso roccioso e l'intersezione tra le diverse famiglie discontinuità. Al di sotto dell'attuale limite di *wave run up* solo i depositi riferiti all'unità litotecnica UL3 e quelli dell'unità UL2 affioranti nella porzione occidentale (vedi la Carta geologica del settore emerso e sommerso e la Carta delle unità geomeccaniche e litotecniche allegata) sembrano poter essere interessati dall'effetto di dilavamento dell'onda estrema.

Per un'identificazione più dettagliata dei fenomeni d'instabilità che si potrebbero verificare in quest'area, si rimanda anche all'analisi della propensione al dissesto franoso elaborato tramite la valutazione dei "Certainty Factor" illustrata nel capitolo 6.

Tendenza evolutiva a breve termine

Nell'area di studio la tendenza evolutiva a breve termine è strettamente condizionata dai processi gravitativi come crolli, ribaltamenti e scivolamenti e dai processi di alterazione nell'ammasso roccioso, mentre le falde di detrito possono essere interessate da colate e scalzamento alla base ad opera del moto ondoso. Gran parte dei processi gravitativi lungo le falesie sono localizzati e di piccola entità, ma comunque estesi a gran parte dei versanti studiati; si tratta di dissesti con frequenze temporali lunghe e poco prevedibili ma distribuiti a scala areale. Le falde di detrito possono divenire instabili ed evolvere in vere e proprie colate soprattutto in corrispondenza di eventi pluviometrici di una certa entità, come quello verificatosi recentemente a marzo del 2015 (precipitazioni superiori a gli 80-100 mm giornalieri). La variazione della linea di riva, in corrispondenza del tratto di costa preso in esame, è poco marcata nel breve periodo a causa dell'elevata resistenza all'erosione delle litologie presenti, non produrrà variazioni significative rispetto alla situazione attuale, se non per la mobilitazione dei depositi appartenenti alle unità geomeccaniche e litotecniche UL1 ed UL2 per quote prossime all'attuale livello di base, come anche dimostrato dai campi di altezza d'onda da evento estremo riportato in Figura 93.

Tendenza evolutiva a lungo termine

La tendenza evolutiva a lungo termine prevede un possibile arretramento del piede della falesia dovuto a processi di alterazione ed erosione legati all'azione del moto ondoso, soprattutto in corrispondenza dei tratti costituiti da litologie meno resistenti e più esposti alle mareggiate. Un eventuale variazione della linea di costa potrebbe essere in gran parte ricondotta all'innalzamento eustatico determinato a sua volta dall'incipiente cambiamento climatico.

Gli ultimi studi dimostrano importanti variazioni del livello eustatico entro il 2100; l'IPCC ipotizza un aumento fino a 2 metri mentre la NASA, in base ad altre simulazioni ritiene che il livello dei mari salirà in modo meno marcato, di circa 90 centimetri da qui a fine secolo. Attualmente sulla base di nuovi studi e di nuovi modelli di simulazione, la Nasa si mostra più ottimista suggerendo una rettifica del 30% circa (arriveremmo quindi a una sessantina di centimetri in più rispetto ai livelli attuali). Ovviamente l'innalzamento eustatico, qualora i modelli previsionali fossero confermati, porterebbe ad un arretramento della linea di riva soprattutto in corrispondenza delle spiagge ciottolose lungo le cale, che verrebbero sommerse (es. Cala Delfino), ed esporrà ad una maggiore erosione la parte basale delle colate di detrito durante le mareggiate favorendone la mobilitazione; probabilmente anche le piattaforme di abrasione presenti diventeranno più estese.

Il modello di variazione dell'onda significativa riportato in Figura 93 evidenzia la probabilità di onde estreme alte fino a 5 m in 100 anni, il che comporterebbe la possibilità di frane che interessano volumi maggiori di depositi di versante prossimi alla linea di costa.

Monitoraggio

Il sito pilota di Torre delle Stelle è caratterizzato principalmente da processi di dissesto come crolli, scivolamenti e ribaltamenti presso le falesie e da flussi di detrito lungo i versanti. Le aree sorgente, dalle quali partono la maggior parte dei dissesti, sono fortemente condizionate dalle litologie e dai depositi ad esse connessi; di conseguenza gli strumenti utilizzati per il monitoraggio devono essere adeguati al tipo di dissesto e ai cinematismi di innesco. L'area più importante da monitorare (nelle coste alte all'interno dell'area pilota) è sicuramente quella di Cala Delfino. Un monitoraggio attento e continuo può essere utile nella gestione del rischio attraverso l'utilizzo di strumenti in grado di quantificare le variazioni nel breve e lungo periodo. Nelle aree sorgente, all'interno dell'ammasso roccioso, si dovrebbero monitorare l'apertura delle fratture tramite estensimetri, fessurimetri e mire ottiche; infatti è dalle aree sorgente che si distaccano i blocchi che poi vanno a interessare la cala sottostante. Visto il largo utilizzo e la facilità di eseguire i rilievi, sarebbe opportuno realizzare un monitoraggio attraverso rilievi fotogrammetrici con

intervalli di tempo regolari; i modelli restituiti dalla fotogrammetria possiedono un'elevata definizione che è in grado di valutare distacchi o movimenti con grande accuratezza. Essendo georiferiti, i modelli digitali prodotti, sono facilmente confrontabili nel tempo e di conseguenza utili per l'analisi multitemporale. Per quanto concerne le colate di detrito, vista la loro natura d'innescò, sarebbe opportuno installare una stazione meteorologica che trasmetta i dati in tempo reale; durante precipitazioni molto intense o dopo un periodo molto piovoso le colate di detrito possono innescarsi più facilmente, la disponibilità in tempo reale del dato pluviometrico favorirebbe la gestione del rischio in corrispondenza delle soglie di allerta. Le superfici di scivolamento del detrito di falda possono essere monitorate attraverso dei tubi inclinometrici che sono in grado di valutare gli eventuali movimenti dei depositi soprattutto in corrispondenza dei compluvi.

Tipi di misure applicabili per il monitoraggio dell'area pilota.

- Misure fotogrammetriche: fotogrammetria aerea e terrestre (da drone e Laser Scanner);
- Misure topografiche: livellazioni; triangolazioni; misure distanziometriche; Stazione totale; Global Position System (modalità statica e cinematica); interferometria SAR satellitare o con sensori basati a terra; Permanent Scatterers; GPS cinematico.
- Misure su fratture e piani di discontinuità: gli spostamenti orizzontali o verticali possono essere quantificati attraverso misure dirette con estensimetri, fessurimetri, inclinometri; sensori a fibra ottica.
- Misure pluviometriche: stazione meteo con dati in tempo reale.

5.3 VALUTAZIONE DI PRESSIONI E IMPATTI SU HABITAT ED ECOSISTEMI COSTIERI

Indicatori di pressione e impatto per gli habitat marini


Scheda di monitoraggio della prateria a <i>Posidonia oceanica</i> situata tra Capo Boi e il promontorio di Baccu Mandara (data monitoraggio 31/01/2020)						
						
	Replic a 1	Replic a 2	Replica 3	Posidonia oceanica Rapid Easy Inex – PREI: 0.86		
Area 1	55	48	61	Profondità limite inferiore S03	37m	
Area 2	64	52	68	Tipo di limite	1(limite progressivo)	
Area 3	46	48	69	Densità dei fasci fogliari S03	227 fasci/m ²	
Substrato d'impianto			Matte e sabbia	Superficie fogliare media su 20 fasci	160 Cm ² /fascio	
Copertura prateria			90 %	Carico epifitico media su 20 fasci ortotropi	16 Epifiti/foglia	
Scalzamento dei rizomi			n.d	Temperatura dell'acqua nella stazione S03	13,5 °C	
Percentuale di matte morta			%	Censimento visivo della fauna alieutica	n.d.	
Misura della torbidità			n.d.	Prospetto metodologico	Vedi carta bionomica	



Figura 114 - Solchi nelle praterie di posidonia antistante la spiaggia di Solanas

La prateria a Posidonia oceanica nell'area esaminata risulta essere in uno discreto stato di conservazione, eccezion fatta (figura 114) per la prateria antistante la spiaggia di Solanas. In questa prateria sono stati riscontrati grossi solchi dovuti, probabilmente, ad un'azione meccanica dei divergenti di reti a strascico. Gli evidenti passaggi dei pescherecci dimostrano come questa tipologia di pesca è tutt'ora praticata a basse profondità. (in foto circa 15 m). Le azioni di tale tipo, perpetuate in modo costante in questa tipologia di prateria, innescano dei meccanismi di erosione intermatte che portano al depauperamento dell'habitat 1120.

Indicatori di pressione e impatto per gli habitat delle coste sabbiose, dune e vegetazione dunale

Specie vegetali terrestri alloctone

Le specie alloctone invasive sono una minaccia importante e in rapido aumento per la biodiversità del nostro territorio. Insediandosi in nuovi habitat, per loro inconsueti, sostituiscono la flora e la fauna autoctone e possono nuocere gravemente al territorio o agli habitat stessi. Una delle problematiche principali deriva dal fatto che le specie invasive, oltre ad avere un impatto sull'ambiente hanno anche un impatto sociale ed economico. Con l'aumento degli scambi commerciali, del turismo e del trasporto di merci tra paesi diversi si è accelerata la diffusione. Anche le isole del Mediterraneo, per quanto caratterizzate da una barriera geografica naturale, quale il mare, sono tutte interessate in misura rilevante dal fenomeno delle invasioni biologiche (Le Floc'h 1991; Camarda, 2001; Hulme *et al* 2008), la Sardegna per la sua posizione e l'elevato numero di coste, non fa eccezione.

***Carpobrotus acinaciformis* (L.) Bolus**

Famiglia	Aizoaceae
Nome scientifico	<i>Carpobrotus acinaciformis</i> (L.) Bolus
Nome comune	Fico degli Ottentotti comune
Biologia ed ecologia	Camefita reptante, crassulenta, con rami radicanti, a sviluppo autunnale-primaverile, fiorisce tra aprile e maggio, si propaga per seme e per stoloni. La ritroviamo su muri, rupi, spiagge, litorali, bordi delle strade e luoghi aridi da 0-700 m s.l.m.
Status in Sardegna	Coltivata, naturalizzata, fortemente invasiva
Habitat in Sardegna	Muri, rupi, spiagge, litorali, scarpate e cunette stradali, luoghi aridi
Attributi di invasività	Elevata produzione di semi (oltre 5.000 semi per frutto), forte resistenza alla aridità, elevata capacità di radicazione dei fusti striscianti, tolleranza al calpestamento.
Azioni di controllo	Non rilevate

Agave americana

Famiglia	Agavaceae
Nome scientifico	<i>Agave americana</i> L. subsp. Americana
Nome comune	Agave comune
Biologia ed ecologia	la pianta è formata da foglie succulente, disposte a rosetta, con forma allungata, che raggiungono i 2 m di lunghezza e sono larghe circa 20 cm, terminanti con una spina. Molto caratteristica la fioritura che avviene una sola volta per ciascuna pianta, quando raggiunge la maturità.
Status in Sardegna	E' stata introdotta in Italia nel 1500 per motivi ornamentali o più raramente commerciali. L'Agave americana è presente su tutte le coste della Sardegna, principalmente nei giardini e nei viali delle aree residenziali dove viene utilizzata a scopi ornamentali
Habitat in Sardegna	Questa specie invade principalmente scogliere e falesie costiere, dune, suoli aridi e rocciosi. Vive a lungo e si riproduce grazie all'emissione di abbondanti stoloni. In questo modo un singolo individuo può formare un popolamento molto

	denso. L'esatta origine di questo specie è incerta e vi sono molte sottospecie e varietà. Diffusa in tutta la Sardegna.
Attributi di invasività	Questa specie presenta un comportamento invasivo espandendosi in modo incontrollato in ambienti con fragili equilibri come gli ecosistemi della costa, determinando impatti considerevoli su specie e habitat di valore conservazionistico.
Azioni di controllo	Non rilevate
<i>Cortaderia selloana</i> (Schult. & Schult.f.) Asch. & Graebn.	
Famiglia	Poaceae / Poales/ Plantae
Nome scientifico	<i>Cortaderia selloana</i> (Schult. & Schult.f.) Asch. & Graebn
Nome comune	Erba della Pampa
Biologia ed ecologia	Emicriptofita cespitosa degli ambienti costieri, vegeta dai 0 ai 600 m s.l.m., si riproduce per seme (sino a 106 semi per individuo) da impollinazione incrociata e da auto impollinazione, la disseminazione è anemocora, i semi vengono trasportati dal vento per lunghe distanze sino a 30 km. Fiorisce da Agosto a Dicembre.
Status in Sardegna	Coltivata come ornamentale, naturalizzata, in vivace processo di diffusione, invasiva.
Habitat in Sardegna	Ambienti costieri, rupi, sabbie, garighe e macchie
Attributi di invasività	Elevata produzione di semi e diffusione per via anemocora, rizomi robusti e persistenti
Azioni di controllo	Non rilevate
<i>Amorpha fruticosa</i> L.	
Famiglia	Fabaceae
Nome scientifico	<i>Amorpha fruticosa</i> L.
Nome comune	Indaco bastardo
Biologia ed ecologia	Nanofanerofita cespitosa che si propaga tramite semi e per propagazione vegetativa. Epoca di fioritura giugno luglio, vegeta spontaneamente nei greti ed alvei fluviali, scarpate stradali da una quota minima di 0 m s.l.m. fino a 600 m s.l.m.
Status in Sardegna	Coltivata, naturalizzata, invasiva
Habitat in Sardegna	Greti ed alvei fluviali, scarpate stradali, giardini
Attributi di invasività	Elevata produzione di semi
Azioni di controllo	Evitare la diffusione dei semi e dei piccoli frammenti di fusti e radici. Le giovani piante possono essere eradicate e poiché rami e radici sono in grado di generare nuovi individui, tutte le parti della pianta vanno eliminate definitivamente.
<i>Acacia saligna</i> (Labill.) H.L. Wendl	
Famiglia	Fabaceae
Nome scientifico	<i>Acacia saligna</i> (Labill.) H.L. Wendl
Nome comune	Acacia saligna / Mimosa
Biologia ed ecologia	Fanerofita scaposa, cespitosa, sempreverde, si propaga per seme e per polloni radicali, fiorisce da febbraio a maggio, vegeta ad altitudini che vanno dal livello del mare fino ai 500 m s.l.m. Utilizzata come frangivento, rimboschimenti nelle zone litoranee, ornamentale
Status in Sardegna	Naturalizzata invasiva delle zone costiere
Habitat in Sardegna	Dune costiere, parchi, giardini.
Attributi di invasività	Altissima produzione di semi, elevata produzione di polloni radicali

Azioni di controllo	Le piante sottoposte al taglio devono essere trattate con erbicida (ad es. glyphosate) per ridurre la capacità di ricaccio.
----------------------------	---

Strategie di gestione e bio sicurezza

Non tutte le specie vegetali esotiche presenti sono da considerarsi invasive o potenzialmente invasive, cioè capaci di determinare impatti negativi all'attualità o in futuro. Molte di esse sono, infatti, da considerarsi del tutto innocue in quanto richiedono cure colturali costanti e sono presenti da lungo tempo esclusivamente in coltivazione come specie ornamentali o per altri usi presso giardini ed abitazioni. Il sistema EPPO fornisce delle informazioni più indirizzate a fissare delle priorità di gestione per specie aliene già introdotte nella zona d'esame. In questo senso, *Acacia saligna*, *Myoporum insulare*, *Opuntia ficus-indica*, *Senecio angulatus* sono le quattro specie potenzialmente invasive da considerare prioritarie per garantire che restino confinate nelle zone di attuale presenza, ovvero nelle immediate vicinanze delle abitazioni e delle zone di primo impianto. Le informazioni disponibili, dalle fonti bibliografiche, dai precedenti rilievi e dalle raccolte ex-novo sulla composizione della flora esotica e sulla abbondanza e distribuzione delle singole specie, consentono di individuare delle linee guida.

Rimozione localizzata, controllo delle specie presenti

1. Rimozione del *Carpobrotus acinaciformis*
2. Rimozione di tutte le specie vegetali esotiche presenti
3. Monitorare e se possibile programmare attività di controllo e rimozione

Altre specie sia invasive sia potenzialmente invasive (capaci cioè di determinare impatti negativi) come ad esempio *Asclepias fruticosa*, *Oxalis pes-caprae*, *Acacia saligna* ecc. sono allo stato attuale alquanto diffuse e quindi non sottoponibili ad interventi di eradicazione ma eventualmente da tenere sotto controllo in alcuni siti di particolare valenza ambientale.

Codice di buone pratiche e sensibilizzazione

Per poter limitare gli impatti delle specie aliene invasive gli enti amministratori del territorio, i vivai e le aziende che si occupano di verde pubblico dovrebbero seguire delle linee guida e buone pratiche per la gestione di queste problematiche. Sia come attività di prevenzione contro l'introduzione di nuove specie ornamentali che potrebbero sfuggire alla coltivazione, sia per limitare un'ulteriore diffusione di specie dannose già presenti sia per la mitigazione degli impatti sia per i danni potenziali causati da queste specie. Opportune attività di sensibilizzazione dovrebbero essere indirizzate a tutti i potenziali stakeholder (popolazione locale, turisti, operatori agricoli ecc.) al fine di limitare i rischi di introduzione accidentale di specie.

Analisi del rischio

Con il termine Biosicurezza si intende un approccio strategico ed integrato che abbraccia, tra gli altri, aspetti biologici, tecnici, sociali, gestionali e normativi per analizzare, gestire e mitigare rischi rilevanti per la vita e la salute dell'uomo, degli animali e del mondo vegetale, nonché più in generale per le attività economiche, per l'ambiente e la biodiversità. La biosicurezza riguarda il rischio potenziale collegato all'introduzione o re-introduzione di specie aliene in una particolare area dove potrebbero divenire invasive o dove lo sono già state, con impatti negativi. (FAO 2007; Hulme, 2104).

Carpobrotus sp danni ed impatti

L'espansione delle specie del genere *Carpobrotus* sp. negli habitat costieri costituisce una delle principali minacce alla conservazione della biodiversità e dei servizi ecosistemici relativamente alla fascia costiera in Italia e nel Mediterraneo (Affre & Médail, 2004). Si tratta di entità e forme ibride appartenenti alla famiglia delle *Aizoaceae*, originarie delle aree costiere della regione del Capo in Sud Africa. Sono piante perenni succulente con portamento prostrato, molto apprezzate dal grande pubblico per la rusticità e la fioritura abbondante e vistosa. Il loro valore commerciale è tuttavia molto modesto,

in quanto si tratta di specie di facilissima propagazione e reperibilità. I lunghi fusti striscianti possono raggiungere alcuni metri; durante la crescita si lignificano, si ramificano frequentemente e si sovrappongono gli uni agli altri, determinando la formazione di spessi tappeti, impenetrabili e inospitali per molte delle specie native delle dune (Brundu, Celesti-Grappow & Pretto, 2017). I fusti hanno inoltre la capacità di radicare ai nodi e produrre propaguli indipendenti. Questa forma di propagazione vegetativa rende le entità del genere *Carpobrotus* particolarmente adatte a sopravvivere e a diffondersi sulle dune. I frutti, carnosì e indeiscenti, ricchi di mucillagini, rimangono a lungo sulla pianta, dove si seccano o vengono ingeriti da mammiferi generalisti che ne disperdono i semi, prodotti in grande quantità. La germinazione è favorita dal passaggio attraverso il sistema digerente degli animali (Brundu, Celesti-Grappow & Pretto, 2017). Introdotte per ornamento e per la stabilizzazione delle dune e dei suoli (scarpate etc.), queste specie sono estesamente coltivate nei giardini delle località costiere di villeggiatura e direttamente sulla duna, generalmente nei pressi di strutture balneari. La loro diffusione allo stato spontaneo in Italia è nota già dalla metà del 1800 e negli anni recenti si è intensificata fino ad assumere caratteri di grande invasività lungo le coste dell'Italia centrale e meridionale, in particolare lungo il versante tirrenico e su alcune isole. (Filigheddu et al. 2012). I popolamenti di *Carpobrotus* tendono a modificare le proprietà chimiche dei suoli invasi aumentandone il contenuto di azoto e carbonio organico e riducendone il pH. Nelle aree invase le specie del genere *Carpobrotus* occupano gli ambienti molto simili a quelli in cui vivono nelle regioni originarie, soprattutto gli habitat costieri, le dune e le coste rocciose, dove possono sostituire la vegetazione preesistente. Gli impatti negativi dovuti all'invasione di habitat naturali da parte di *Carpobrotus* sono ben noti. La regione Toscana ne ha vietato l'utilizzazione, ai fini della realizzazione di opere di riforestazione, rinverdimento e consolidamento.

Prevenzione per ridurre il rischio di nuove introduzioni

Le misure di biosicurezza per ridurre a livelli di dispersione devono includere attività di educazione ambientale e sensibilizzazione verso tutti i residenti e frequentatori ed attività che favoriscano la conservazione in buono stato della vegetazione delle e la contemporanea riduzione di eventuali fattori di disturbo. (R. Filigheddu e G. Brundu 2016). In tal senso, è auspicabile che le autorità competenti promuovano tra i residenti e frequentatori la sensibilità verso questa problematica e l'adesione volontaria al "*Codice di comportamento per il Florovivaismo, verde ornamentale e specie esotiche invasive*" per limitare al massimo l'introduzione volontaria di *Carpobrotus*. Altri codici di buone pratiche che meritano di essere divulgato sono il "*Codice di condotta su Turismo internazionale e specie esotiche invasive*" e l'opuscolo "*Giardini mediterranei senza specie invasive*". La riduzione del disturbo sulle dune, ad esempio del calpestamento da parte dei frequentatori.

Le operazioni di rimozione finalizzate all'eradicazione di urgenza sono da eseguirsi manualmente con attrezzi idonei, incluso il disfacimento delle parti vegetali rimosse. L'eradicazione manuale è la tecnica di rimozione con minor impatto, perché consente di attivare una rimozione molto selettiva e ben controllata, e se eseguita sotto la guida di personale esperto. Le operazioni di rimozione devono essere condotte con estrema attenzione, avendo la massima cura nel non danneggiare la vegetazione autoctona circostante e di non favorire l'erosione eolica e l'asportazione di sabbia. Le operazioni di rimozione d'urgenza devono consentire la rimozione di tutto il materiale vegetale fresco di *Carpobrotus*, sia sopra che sotto il livello del suolo, incluse eventuali plantule, e incluso eventuale materiale secco, ma anche eventuali materiali di origine antropica (plastica ed altro) presenti nella lettiera o in prossimità delle piante di *Carpobrotus* in quanto parti dei frutti e semi di *Carpobrotus* (grazie alle mucillagini presenti nel frutto) potrebbero essere attaccate a tali materiali. Le azioni di rimozione devono cercare di asportare, per quanto possibile, anche tutto l'apparato radicale di *Carpobrotus*. Le operazioni di rimozione d'urgenza devono evitare con attenzione di asportare sabbia in eccesso in quanto vi potrebbe essere la presenza di semi o propaguli di specie vegetali autoctone. Le operazioni di rimozione devono essere effettuate preferibilmente prima della fioritura e fruttificazione di *Carpobrotus*. Via via che si procede con la rimozione, le piante estirpate, le radici e la lettiera di *Carpobrotus* vanno immediatamente depositate all'interno di sacchi di polietilene e questi movimentati chiusi e con cautela per evitare il rischio di disseminazione o propagazione di frammenti accidentale. È auspicabile che si mettano in atto tutte le possibili misure per limitare al massimo il rischio di introduzione volontaria o accidentale di nuove specie vegetali esotiche. Le autorità competenti, dovrebbero promuovere tra i la sensibilità verso questa

problematica e l'adesione volontaria al “*Codice di comportamento per il Florovivaismo, verde ornamentale e specie esotiche invasive*” per limitare al massimo l'introduzione volontaria di nuove specie esotiche, nonché la diffusione secondaria di quelle già presenti, possibile, ad esempio, in seguito all'abbandono di residui di potatura o di pulizia dei giardini, movimento di suolo o transito di mezzi (marini e terrestri) tra zone infestate e zone libere da specie esotiche.

Altri codici di buone pratiche che meritano di essere divulgati sono il “*Codice di condotta per gli alberi invasivi*” e il “*Codice di condotta su Turismo internazionale e specie esotiche invasive*”. Altro fondamentale documento è l'opuscolo “*Giardini mediterranei senza specie invasive*”.

Specie marine alloctone

Caulerpa cylindracea; *Asparagopsis* sp.; *Percnon gibbesi*; *Fistularia commersonii*.

6. IL RISCHIO COSTIERO

6.1 RISCHIO COSTIERO A LUNGO TERMINE

Inquadramento del clima meteo-marino

Lo studio condotto mira a determinare le caratteristiche meteo-marine del paraggio comprendente le spiagge di Cann'e Sisa, Genn'e Mari e Solanas sul litorale di Torre delle Stelle – Solanas – Cagliari, ed in particolare il clima anemologico, quello ondoso e le conseguenti dinamiche morfologiche e sedimentologiche collegate ai fenomeni di propagazione del moto ondoso. Gli input dell'analisi sono rappresentati dalle serie storiche di osservazioni anemometriche ed ondametrichi e dai rilievi batimetrici, sedimentologici ed ondametrichi appositamente eseguiti nelle spiagge di interesse. Le condizioni mete-marine vengono descritte in termini di venti, correnti marine, variazioni dei livelli marini (Sovralzi livelli idrometrici e maree), moto ondoso a largo e suo trasferimento a riva. Tali elaborazioni sono frutto soprattutto di analisi statistiche basate sulle osservazioni di dati. L'utilizzo di software di modellazione idraulico-marittima permette inoltre la definizione della propagazione del moto ondoso da largo verso riva per la conoscenza del clima meteo-marino sotto-costa, a partire dal quale è poi possibile, con appositi modelli numerici, analizzare le tendenze evolutive dei fondali.

Ubicazione ed esposizione dell'Unità Fisiografica

La corretta determinazione delle condizioni ondose caratteristiche di un dato paraggio è fondamentale sia per ricostruire il regime ondoso medio e la circolazione idrodinamica costiera. Il settore di traversia per il paraggio in esame (Figura 115) risulta limitato a sud-ovest da Capo Spartivento (dir. 230°N) e ad est da Capo Carbonara (dir. 110°N).



Figura 115 - Individuazione del settore di traversia principale

Per un'analisi rigorosa del settore di traversia si fa riferimento al cosiddetto fetch efficace, ovvero alla porzione di mare che costituisce, sotto l'azione diretta dei venti, l'area di generazione dell'evento di moto ondoso. Il litorale analizzato è ubicato nel settore sud-orientale della Sardegna, circa 40 km a sud-est di Cagliari e si affaccia sull'omonimo golfo. Per poter valutare gli effetti dell'azione del moto ondoso è necessario determinare i fetch in un sito posto a largo del paraggio (38°40'00" N; 09°20'00" E), in fondale caratterizzato da acque alte, dove cioè la propagazione dell'onda non risente della presenza del fondale. L'andamento dei fetch geografici ed efficaci è riportato graficamente in Figura 116 e 117. Il fetch di riferimento assunto è quello riferito alla formula di Seymour. Il fetch risulta limitato a nord dalla Sardegna, a sud-est dalla costa occidentale della Sicilia e a sud dalla costa africana.

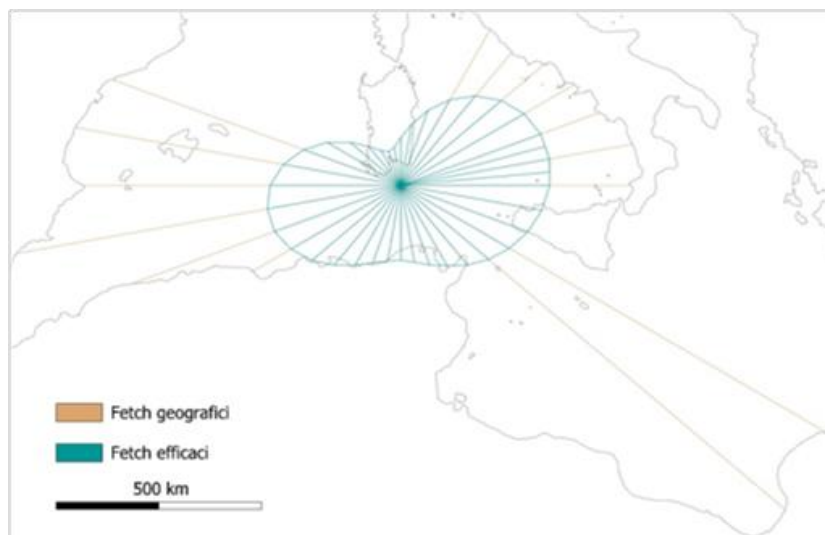


Figura 116 – Individuazione dei fetch geografici ed efficaci per il punto di coordinate 38°40'00" N, 09°20'00" E

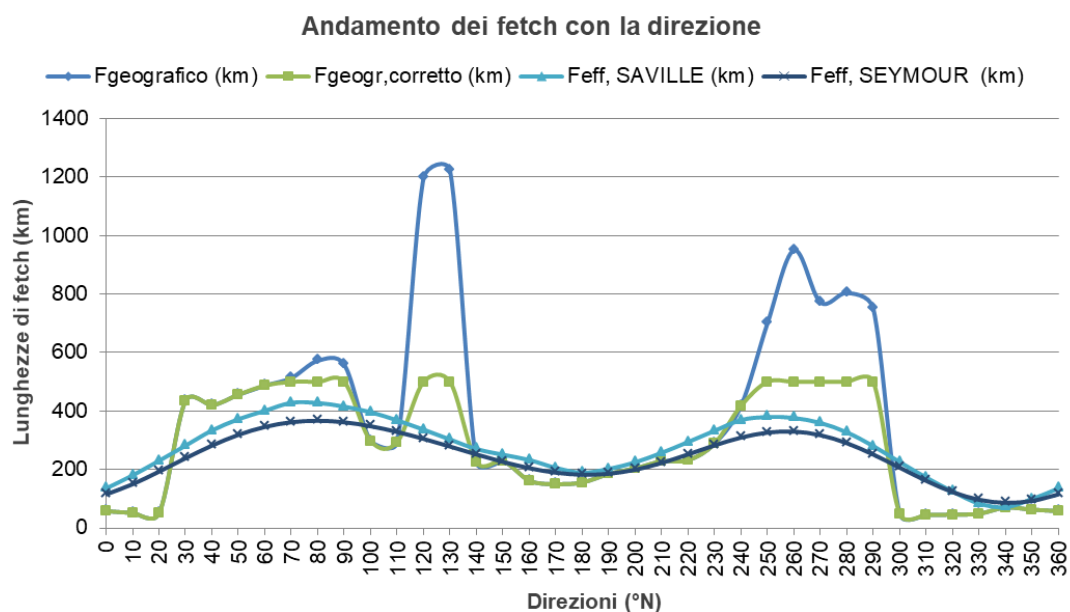


Figura 117 – Andamento delle lunghezze di fetch in funzione della direzione

Regime dei venti

Per determinare il regime dei venti si è fatto riferimento ai dati anemometrici della Rete Mareografica Nazionale (RMN); infatti, ogni stazione di misura RMN, oltre ad essere corredata di strumenti di misura della marea, è dotata di diversi sensori, tra cui il sensore anemometrico, che misura velocità e direzione del vento.

La stazione maggiormente significativa per il paraggio in esame è quella di Cagliari, localizzata presso il molo della Capitaneria di Porto di Cagliari (39° 12' 36.69" N, 09° 06' 51.38" E). Le serie di osservazioni di questa stazione coprono il periodo 1998-2019, pertanto rappresentano un database affidabile per le successive elaborazioni.

Dai risultati delle elaborazioni condotte risulta evidente come i venti regnanti, ossia più frequenti, siano quelli provenienti da N-O, centrati sulla direzione 320° N (venti di Maestrale), così come i venti dominanti, che spirano con maggiore velocità, provenienti principalmente dalle direzioni comprese fra i 300°-320° N. Non trascurabile risulta comunque la frequente presenza di venti nel secondo quadrante,

intorno alla direzione di 150°-160° N (venti di Ostro-Scirocco). La velocità media dei venti osservati si attesta intorno a 5.3 m/s.

L'istogramma di *Figura 118* evidenzia la frequenza percentuale (%) dei venti in funzione della direzione di provenienza, mentre la *Figura 119* riporta la stessa frequenza limitatamente ai venti di maggior intensità, ossia caratterizzati da velocità superiori ai 10 m/s. Analogamente a quanto si evince dalle tabelle nelle pagine precedenti, anche gli istogrammi di frequenza mostrano come nel IV quadrante siano comprese sia le direzioni dei venti regnanti (più frequenti) che di quelli dominanti (di maggiore intensità). Rilevante risulta anche la presenza di venti spiranti dal II quadrante.

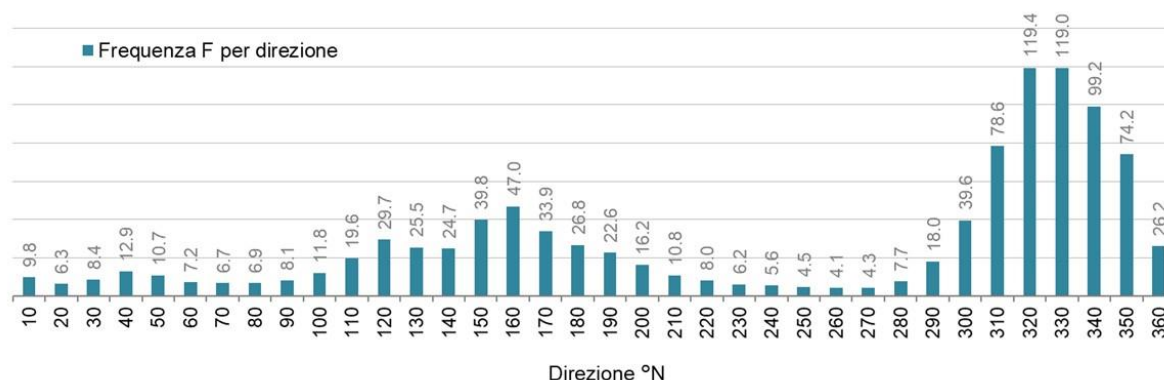


Figura 118 - Frequenza percentuale (%) dei venti in funzione della direzione di provenienza - stazione RMN di Cagliari

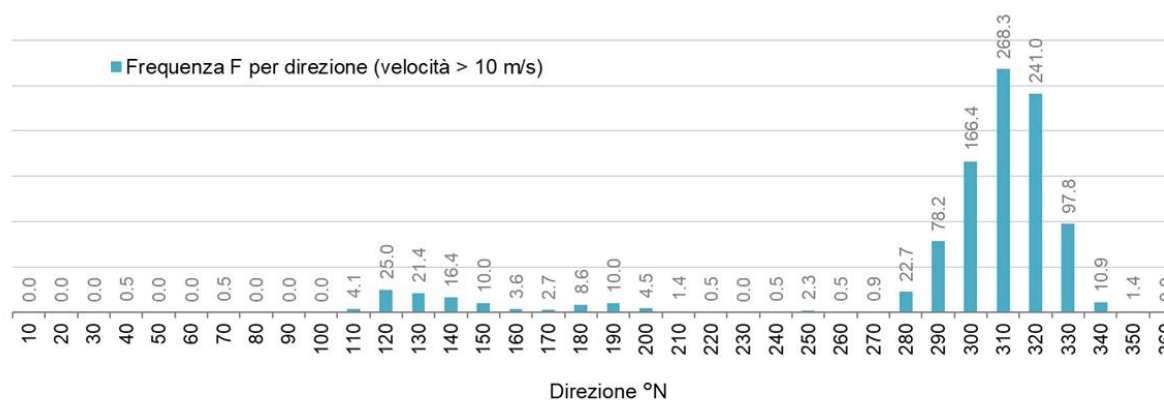


Figura 119 - Frequenza percentuale (%) dei venti con velocità maggiore di 10 m/s (in per mille) in funzione della direzione di provenienza - stazione RMN di Cagliari

Viene infine riportata la rosa dei venti con la frequenza percentuale (%) dei venti, suddivisi per direzione e classi di velocità (Figura 120).

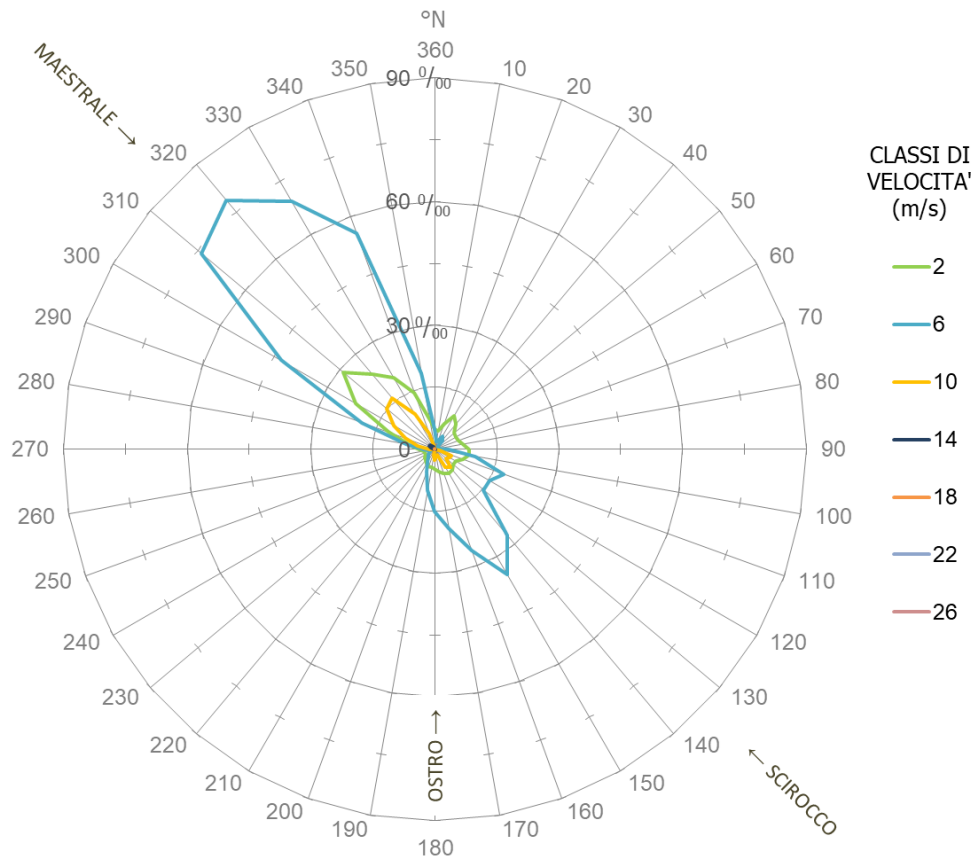


Figura 120– Rosa dei venti: frequenza percentuale (%) dei venti per direzione e classi di velocità (sopra) - stazione RMN di Cagliari

Correnti marine

Nel bacino del Mediterraneo le correnti superficiali sono solitamente deboli e di direzione variabile. La circolazione superficiale è fortemente influenzata dai venti che al largo possono generare correnti di intensità massima di 0.3 m/s. Poiché l'evaporazione dovuta all'effetto del sole è tale da non poter essere compensata dall'apporto di acqua fluviale e piovana, nel Mediterraneo è sempre presente una corrente entrante dallo stretto di Gibilterra, che fluisce verso est, dividendosi in un ramo principale ed in altri secondari. Il ramo principale, sotto l'effetto della forza di Coriolis, si dirige verso sud e si addossa alla costa africana; l'intensità della corrente si mantiene fra 0.05 ed 0.08 m/s lungo le coste dell'Algeria, quindi diminuisce procedendo verso oriente, perdendo intensità fino ad estinguersi. A questo andamento generale si sovrappongono numerose situazioni particolari. Lungo la penisola si osserva una corrente modesta di 0.08 m/s verso nord, che all'altezza della Sardegna devia per ridiscendere. Un'altra corrente, altrettanto modesta, sale lungo le coste del tirreno settentrionale e nel golfo di Genova per ridiscendere successivamente verso la Sardegna.

Per l'intera Sardegna, la velocità della corrente marina è stimabile in circa 0.1 m/s ed è tipicamente orientata parallelamente alla costa, in direzione NS.

Per una stima delle correnti indotte dal vento si può invece ricorrere alla teoria di Ekman. Applicando tale metodologia di calcolo all'intera serie dei venti misurati nei loro valori medi giornalieri, ed assumendo una profondità di circa 20 m, si ottiene la percentuale in funzione delle direzioni e delle classi di velocità, rappresentata graficamente in Figura 121.

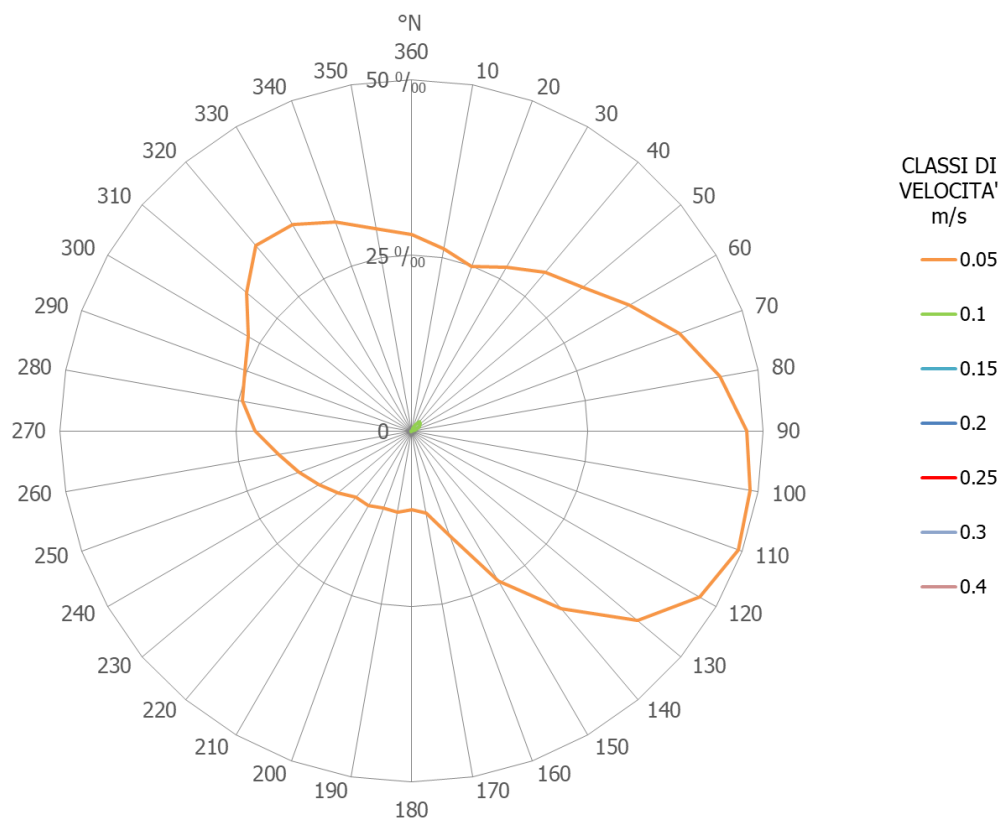


Figura 121 – Percentuali di occorrenza (%) delle correnti prodotte da vento per direzione e classe di velocità, ad una profondità di 20 m

I risultati mostrano come le correnti indotte da vento presentino, per circa il 99% dei casi, valori inferiori a 0.1 m/s, mentre il rimanente 1.5% non supera gli 0.2 m/s. La velocità media delle correnti è di circa 0.05 m/s; di conseguenza il loro effetto può ritenersi del tutto trascurabile nei confronti del moto ondoso, prevalendo su queste le correnti indotte dalle onde.

I risultati mostrano come le correnti indotte da vento presentino, per circa il 99% dei casi, valori inferiori a 0.1 m/s, mentre il rimanente 1.5% non supera gli 0.2 m/s. La velocità media delle correnti è di circa 0.05 m/s; di conseguenza il loro effetto può ritenersi del tutto trascurabile nei confronti del moto ondoso, prevalendo su queste le correnti indotte dalle onde.

Variazioni del livello marino

Sulla base dei dati rilevati dalla stazione mareografica della rete RMN posta nel Porto di Cagliari, è stato ricostruito l'andamento medio dei livelli idrometrici del mare.

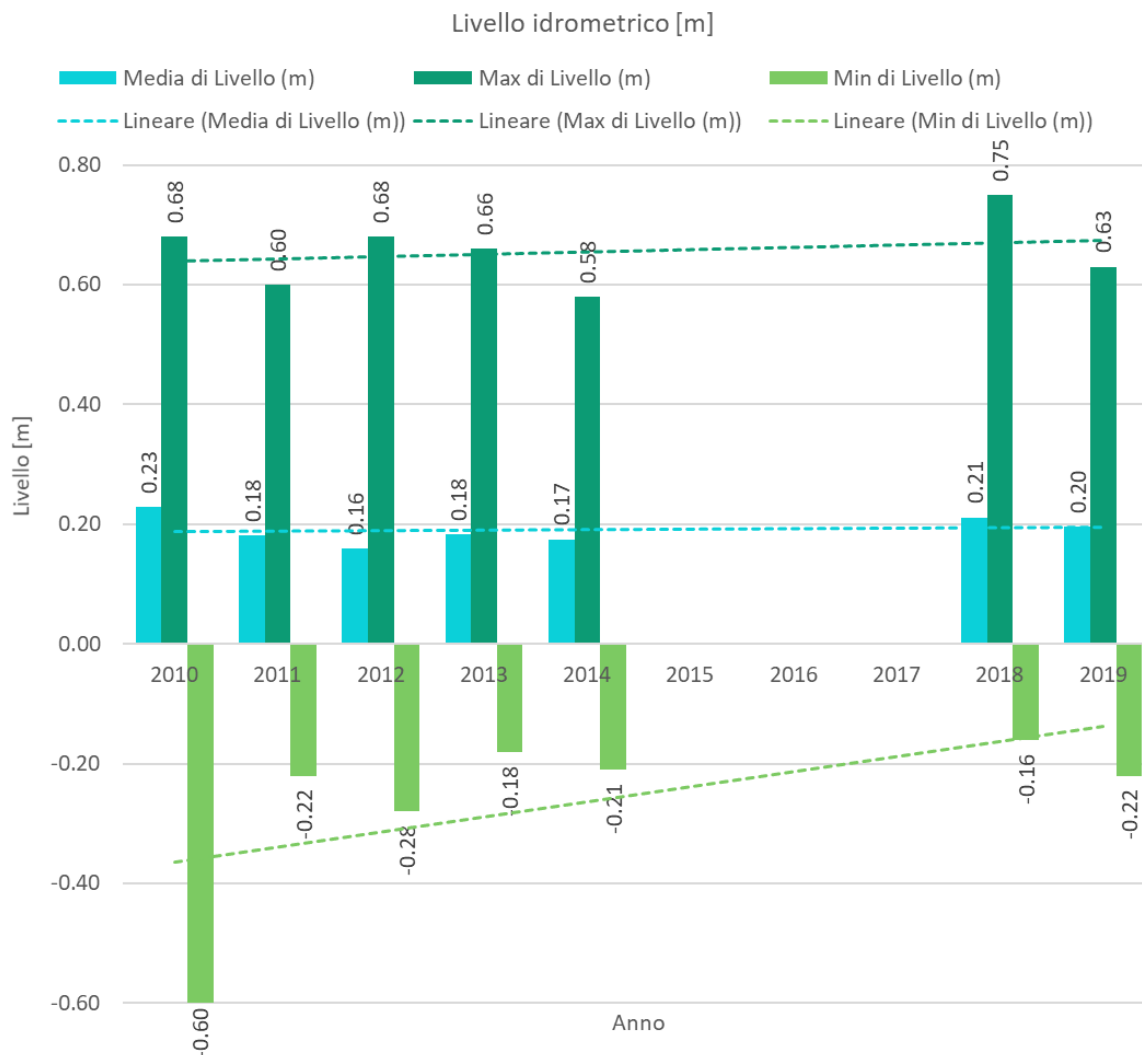


Figura 122 – Andamento temporale della media, dei massimi e dei minimi del livello idrometrico

Dalla Figura 122 si evincono gli andamenti temporali nell'ultimo periodo della media, dei massimi e dei minimi del livello idrostatico nel Porto di Cagliari: la media annuale presenta un trend pressoché stazionario, mentre sia i massimi che i minimi annuali mostrano una crescita, più marcata per questi ultimi. Ciò sembra evidenziare un lento innalzamento dei livelli idrostatici, in linea con le osservazioni a livello globale, ma il numero di anni in cui sono presenti osservazioni complete è comunque troppo limitato per poter considerare queste tendenze come statisticamente significative.

Per quanto riguarda le maree, esse sono il risultato della combinazione tra le oscillazioni dovute alla marea astronomica, a quella meteorologica, legata alle variazioni di pressione atmosferica, nonché all'azione del vento (sovrizzo di vento). La valutazione dell'effetto di marea astronomica può essere effettuata in riferimento alle costanti armoniche in cui può essere scomposta l'oscillazione. Per analizzarla sono stati acquisiti i dati mareografici della stazione RON di Cagliari, dai quali sono state ricavate le medie delle varie componenti di marea (ampiezza e fase) (Tabella 40). I valori di marea (alta e bassa) ottenuti con le analisi armoniche sono dell'ordine dei 25-30 cm e sono coerenti con i valori ricavabili dalle registrazioni del mareografo di Cagliari.

Per quanto riguarda la marea barometrica, poiché la diminuzione di pressione per gli ambiti del Mediterraneo è di circa 35 mbar, gli innalzamenti del l.m.m attesi sono dell'ordine di 35 cm. Il sovrizzo dato dal vento, assumendo una velocità del vento di circa 20 m/s, presenta un valore di circa 4 cm.

Media	Amp (m)	Fase (°)
O1	0.015350	91.31
P1	0.008479	158.49
K1	0.029882	166.39
N2	0.017615	187.74
M2	0.085646	195.74
S2	0.031091	225.82
K2	0.008698	219.64
M4	0.001308	135.40
MS4	0.000897	151.79

Tabella 40 - Principali componenti di marea per il paraggio in esame (da dati RON - Cagliari)

La somma di tutti i diversi contributi di marea varia intorno ai 70 cm. Tuttavia, è da considerare che, specialmente per gli eventi estremi, risulta improbabile il verificarsi contemporaneo di sovralti marini di varia natura. Pertanto si può cautelativamente assumere una riduzione del 25% della somma dei contributi di sovralto meteorologico e astronomico, ottenendo valori di circa 50 cm. Il valore sopra indicato non ha comunque significativi effetti sui fenomeni di propagazione del moto ondoso da largo verso riva.

Moto ondoso al largo

La conoscenza del moto ondoso a largo può basarsi sulla registrazione e successiva elaborazione di dati rilevati direttamente da ondometri, oppure attraverso una ricostruzione indiretta a partire dai dati anemometrici. Nello studio condotto sono state valutate entrambe le alternative. Si riporta un riassunto dei risultati, rappresentanti il clima ondoso medio, ottenuti dai dati ondometrici della stazione della Rete Ondametrica Nazionale (RON) di Cagliari.

I **mari regnanti**, più frequenti, provengono principalmente da S-E (150°) e secondariamente anche da S-O (230°).

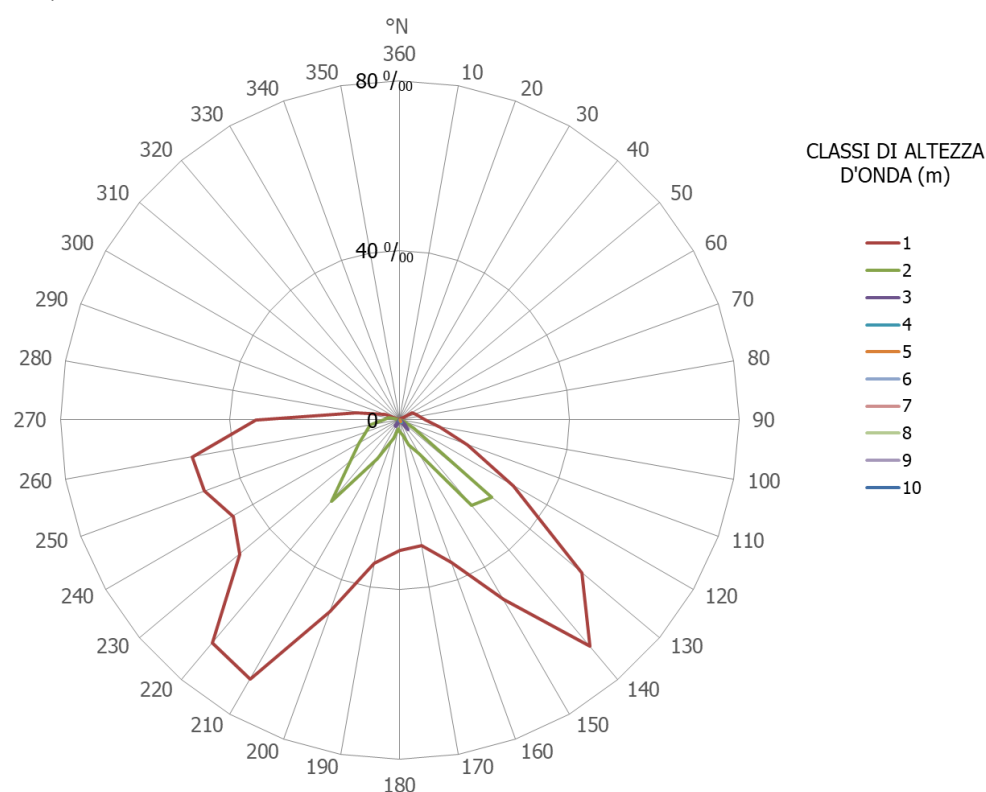


Figura 123 - Rosa dei mari presso la boa RON di Cagliari (Frequenza (%)) in funzione della direzione e della classe di altezza dell'onda)

Nella figura successiva sono invece riportati i soli eventi ondosi caratterizzati da altezze d'onda superiori ai 3 metri, dai quali si deducono i **mari dominanti**: essi provengono prevalentemente da S-E (140°).

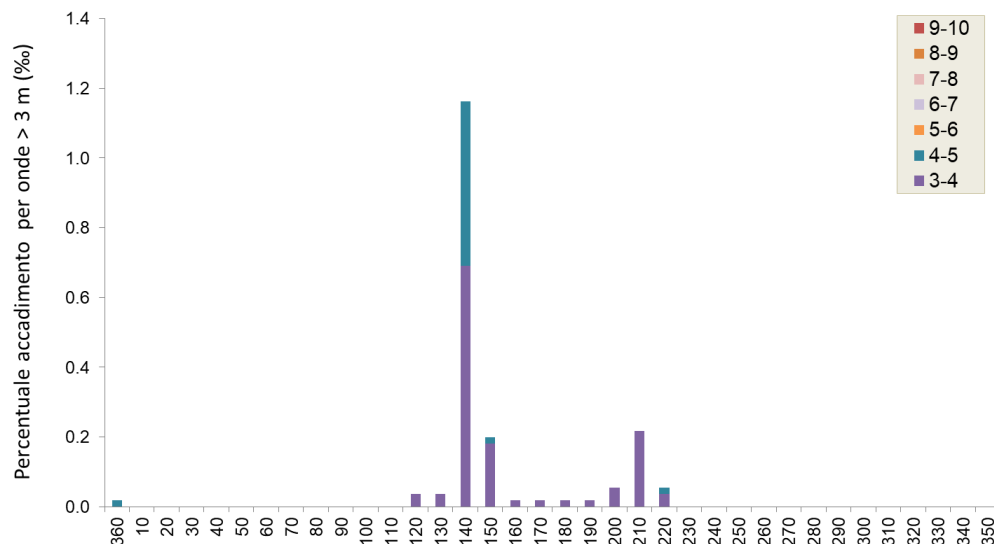


Figura 124 - Frequenza (‰) in funzione della direzione e della classe di altezza dell'onda (per onde di altezza > 3m)

A partire dalle serie di osservazioni (sia anemometriche che ondametriche) è stata inoltre condotta un'analisi statistica volta a caratterizzare gli **eventi marini estremi**, associandoli a vari tempi di ritorno.

Tali eventi sono riportati graficamente nella seguente figura.

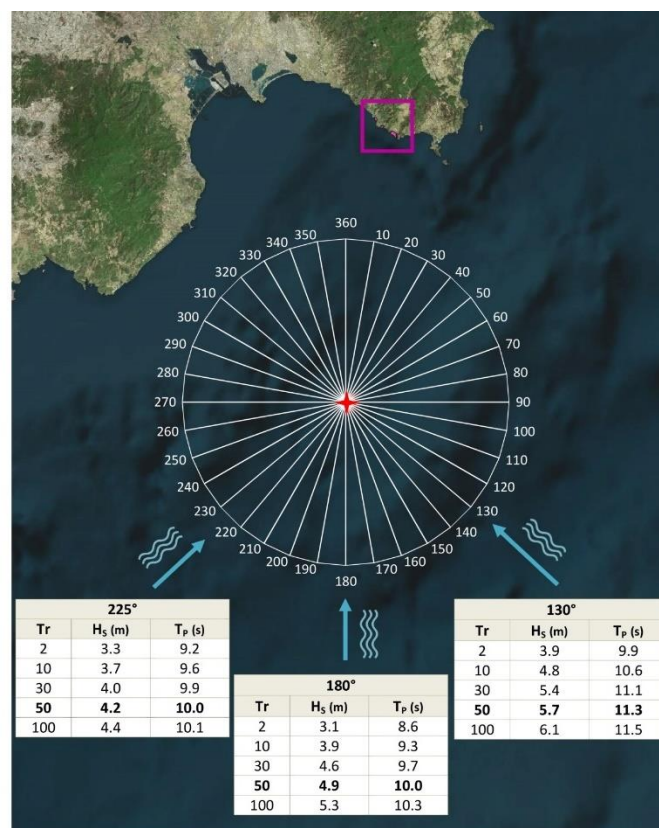


Figura 125 – Schema di partenza per le modellazioni idrauliche di propagazione del moto ondoso

Stima previsionale dell'erosione costiera nelle coste basse: l'evoluzione morfodinamica a lungo termine

Propagazione del moto ondoso verso riva

Le modellazioni idrauliche sono condotte per più livelli di dettaglio, pertanto a ciascuna di esse corrisponde una griglia di calcolo composta da celle di assegnate dimensioni. È stata definita una griglia di larga scala (*Griglia Madre*), tale da contenere l'intera area di studio, comprendente anche la zona di alti fondali nella quale si assegna lo spettro di moto ondoso proveniente dal largo (precedentemente calcolato su base statistica). Tale modellazione restituisce risultati su un'ampia area, con precisione spaziale dell'ordine di 50 m (data dalle dimensioni delle celle), pertanto non risulta idonea per lo studio in bassi fondali. È stata successivamente individuata, all'interno della *Griglia Madre*, griglie di minore dimensione ma con risoluzione maggiore (*Griglie Figlia*), le quali assumono come condizioni al contorno, non lo spettro ondoso a largo, bensì i risultati della griglia madre nei cosiddetti *nesting points*, punti posizionati lungo il lato di ingresso del moto ondoso nella *Griglia Figlia*. Partendo da questi risultati, la modellazione sulla griglia figlia li affina fino ad arrivare a risoluzioni spaziali dell'ordine di qualche metro.

	Caso	Tr	H _s (m)	T _p (s)	Dir (°N)
EVENTI ESTREMI	1	2	3.3	9.2	225°
	2	10	3.7	9.6	
	3	50	4.2	10	
	4	2	3.1	8.6	180°
	5	10	3.9	9.3	
	6	50	4.9	10	
	7	2	3.9	9.9	130°
	8	10	4.8	10.6	
	9	50	5.7	11.3	
	Caso	Durata	H _s (m)	T _p (s)	Dir (°N)
ONDA MORFOLOGICA DA VENTI - da largo	10	66 gg	1.66	7.4	143°
ONDA MORFOLOGICA DA ONDAMETRO AWAC - sottocosta	11	38 gg	1.09	7.4	149°

Tabella 41 – Eventi meteomarini oggetto di simulazione

Griglie Madri – Golfo di Cagliari costa sud orientale

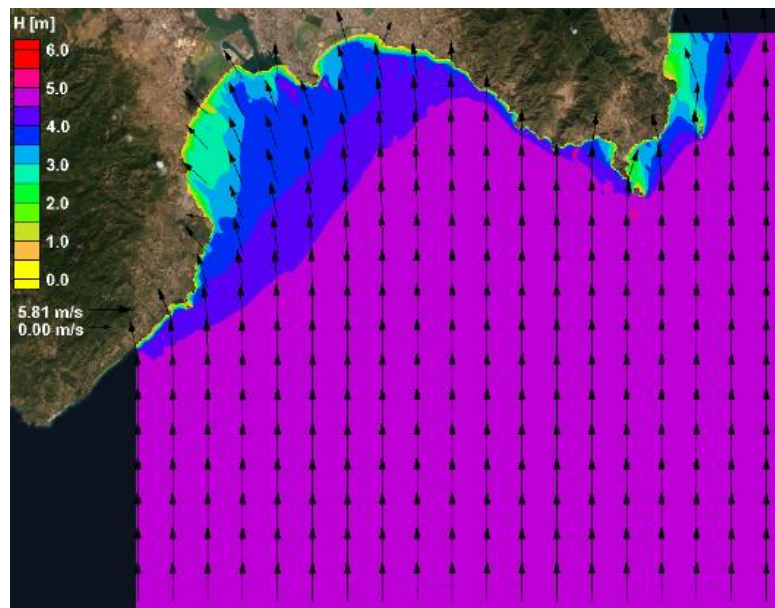


Figura 126 - Moto ondoso da 180° - Tr 50

Griglia figlia - Cann'e Sisa

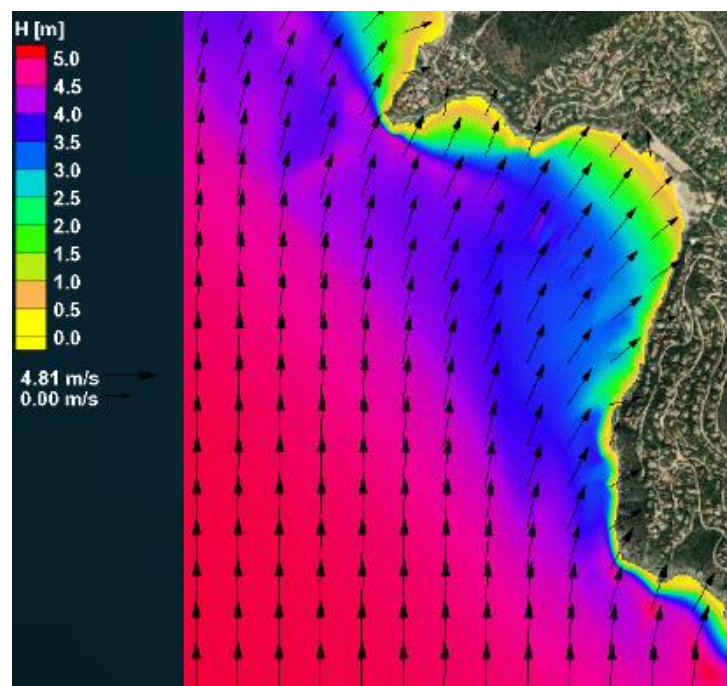


Figura 127 - Moto ondoso da 180° - Tr 50

Dall'analisi di propagazione del moto ondoso da largo del Golfo di Cagliari verso riva del paraggio di Cann'e Sisa si evince, nelle griglie figlie con risoluzione 5x5m, come la situazione più critica per la spiaggia in esame sia quella di attacco ondoso dalla direzione di 180°, seguita da quella da 130° ed infine da quella da 225°.

Griglia figlia - Genn'e Mari

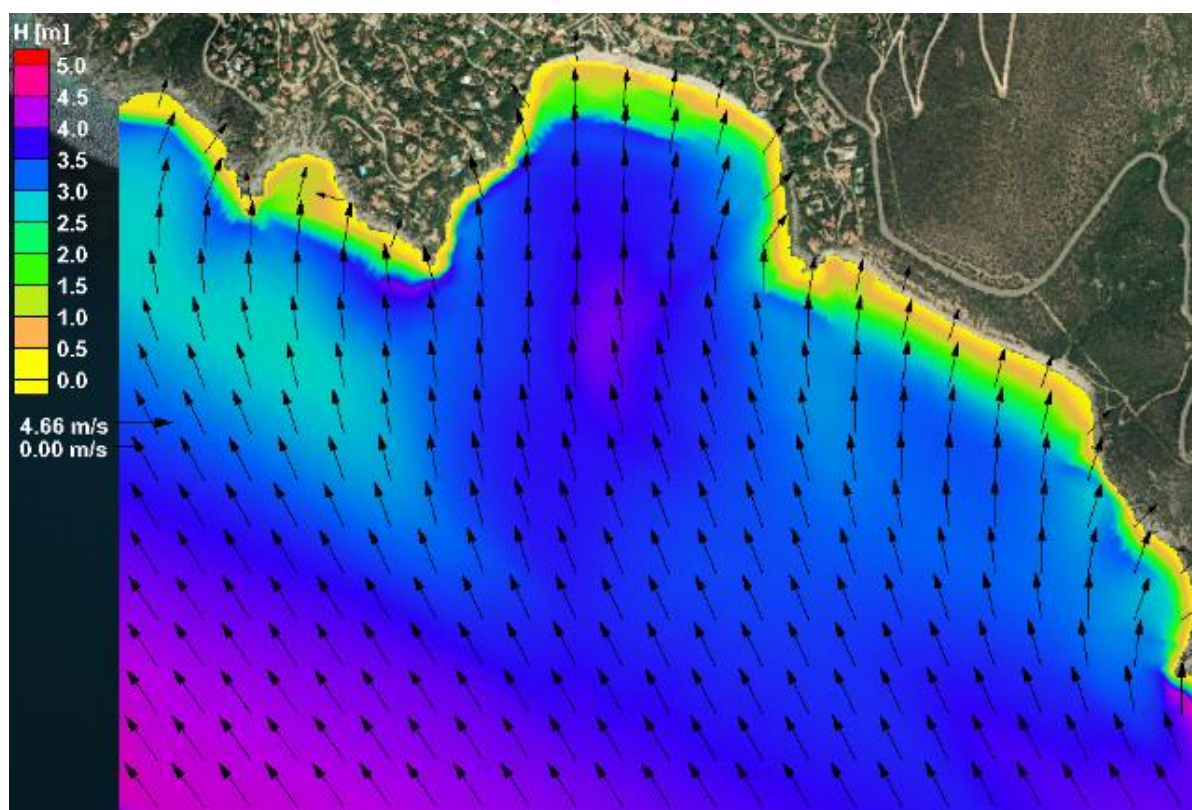


Figura 128 - Moto ondoso da 130° - Tr 50

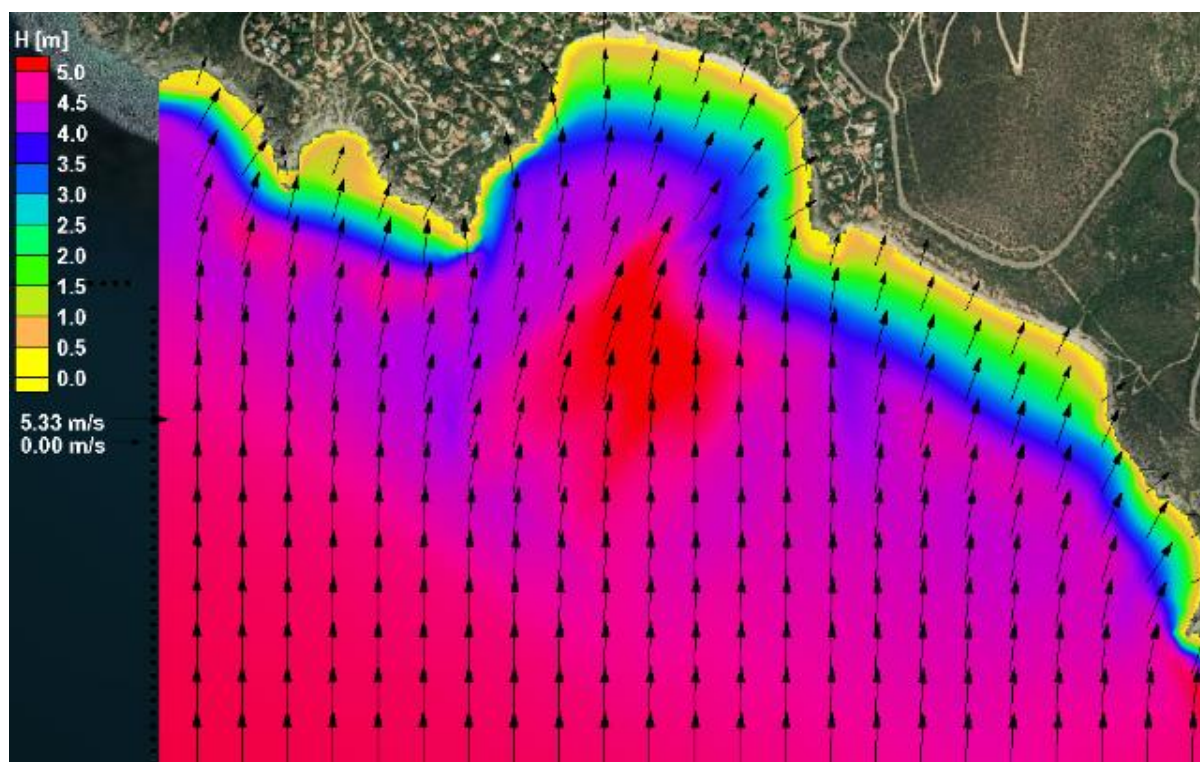


Figura 129 - Moto ondoso da 180° - Tr 50

Per il paraggio di Genn'e Mari, nel quadrante sud-orientale si nota sempre un forte aumento dell'altezza d'onda. Ciò è dovuto ad un alto morfologico del fondale connesso ad un affioramento roccioso, quale prolungamento sottomarino dell'antistante promontorio, che induce una concentrazione di energia, con forte aumento dell'altezza d'onda. Il litorale retrostante risulta in qualche modo protetto da tale conformazione geomorfologica del fondale.

Dall'analisi di propagazione del moto ondoso da largo del Golfo di Cagliari verso riva si evince, nelle griglie figlie con risoluzione 5x5m, come la situazione più critica per la spiaggia in esame sia quella di attacco ondoso dalla direzione di 180°, seguita da quella da 130° ed infine da quella da 225°.

Griglia figlia - Solanas

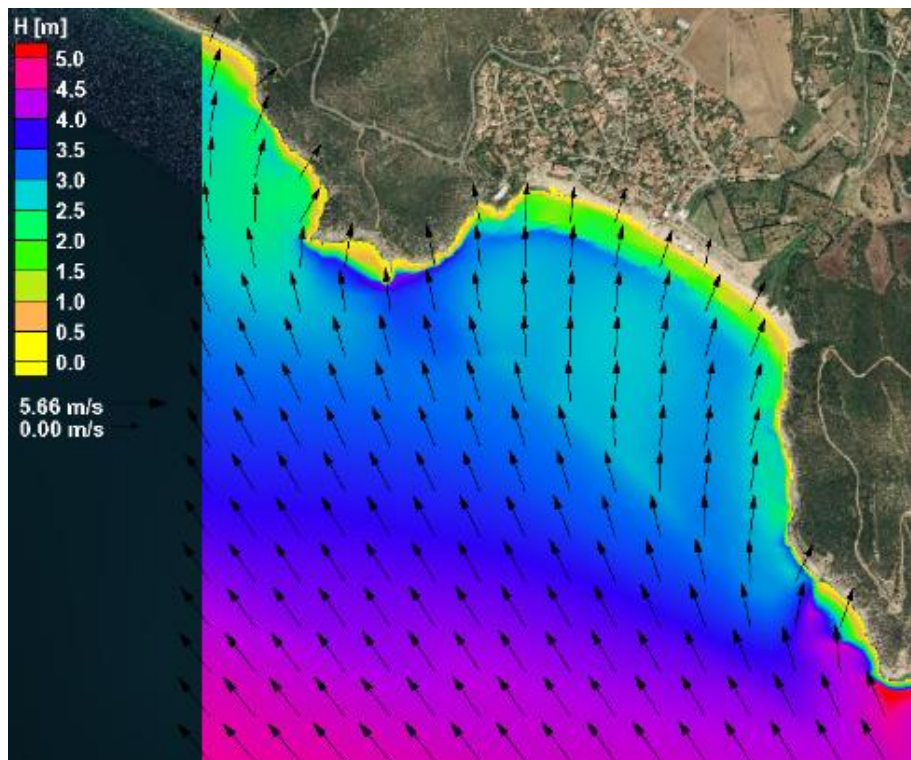


Figura 130 - Moto ondoso da 130° - Tr 50

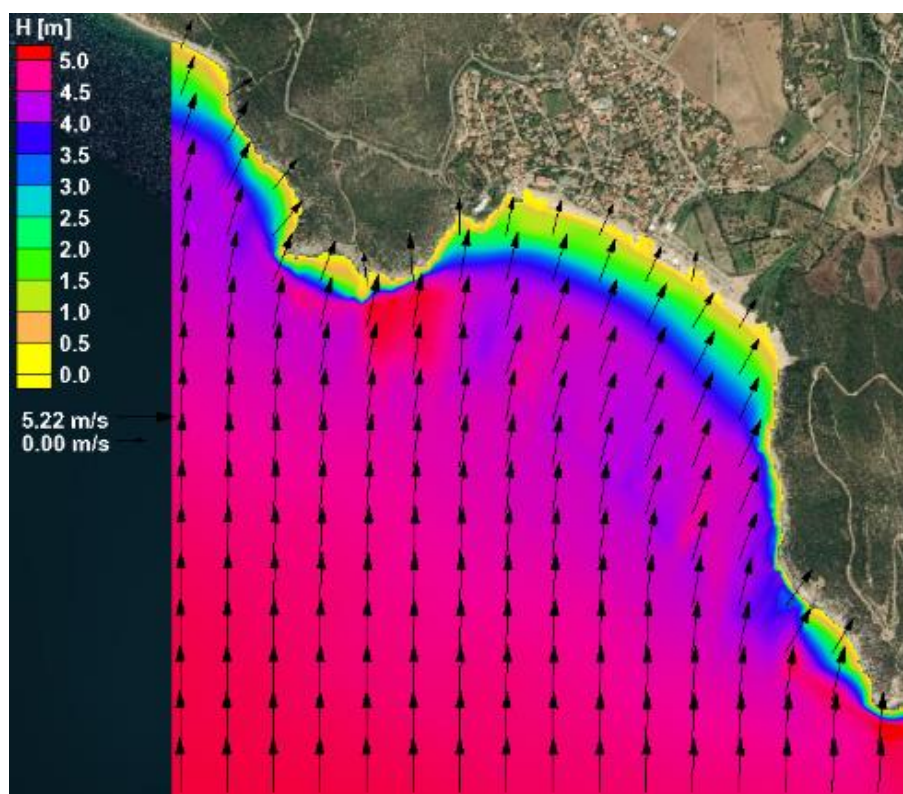


Figura 131 - Moto ondoso da 180° - Tr 50

Dall'analisi di propagazione del moto ondoso da largo del Golfo di Cagliari verso riva si evince, nelle griglie figlie con risoluzione 5x5m, come la situazione più critica per la spiaggia in esame sia quella di attacco ondoso dalla direzione di 180°, seguita da quella da 130° ed infine da quella da 225°.

Analisi morfodinamica

Si esamina nel presente paragrafo l'influenza del moto ondoso sulla dinamica evolutiva dei paraggi in esame. Si prende in considerazione sia l'onda morfologica derivante dall'elaborazione delle mareggiate registrate dall'ondametro AWAC posto nella baia di Genn'e Mari che quella calcolata dai dati anemometrici, sia le onde corrispondenti ai vari eventi estremi analizzati. I valori di input del moto ondoso sono visibili in Tabella 41, riportata nel precedente paragrafo.

I risultati che seguiranno sono il frutto di modelli **CMS-Flow** innestati sui dati di moto ondoso calcolati dai modelli **CMS-Wave**. I modelli morfodinamici degli eventi estremi sono stati fatti girare per un tempo simulato di 72 ore, caratteristico di un evento di mareggiata. I modelli dell'onda morfologica hanno invece simulato una durata di evento pari a quella calcolata nei precedenti paragrafi, essendo la durata una caratteristica intrinseca alla definizione stessa dell'onda morfologica (38 giorni per l'onda da ondametro AWAC e 66 giorni per quella da dati anemometrici). L'onda morfologica, il cui calcolo prende le mosse dalle registrazioni, presenta infatti durata, contenuto energetico (proporzionale a H^2T) e ripidità (proporzionale a H/T^2) rappresentativi della serie di onde registrate.

Dalle analisi granulometriche eseguite sono stati ricavati i diametri D50 per le varie spiagge sommerse, talvolta escludendo determinati campionamenti dall'elaborazione statistica, al fine di ridurre il coefficiente di variazione della distribuzione, nell'assumere un unico valore medio in rappresentanza dei vari campioni.

È stato quindi assunto un diametro di input pari a 0.3 mm per le spiagge di Genn'e Mari e Solanas e di 0.23 mm per quella di Cann'e Sisa.

Spiaggia sommersa	Diametro D50 medio [mm]	S: Scarto quadratico medio	Coeff. di variazione (=S/D50)
Cann'e Sisa	0.293	0.26	90%
	0.225 - escludendo campione M_CES_04	0.07	30%
Genn'e Mari	0.287	0.07	23%
Solanas	0.429	0.18	43%
	0.316 - escludendo i campioni a largo	0.03	8%

Sono stati inoltre determinati il peso specifico caratteristico e la porosità per ogni spiaggia:

Spiaggia sommersa	Peso specifico [kg/m³]	Porosità
Cann'e Sisa	2650	51%
Genn'e Mari	2650	51%
Solanas	2650	49%

Si riportano a seguire le immagini descrittive degli ulteriori parametri di input caratterizzanti la modellistica CMS-Flow.

A partire dal rilievo geomorfologico sono state assunte come erodibili le aree a fondale sabbioso e ghiaioso, per una profondità massima di scavo pari a 2 m al di sotto del fondale, per le batimetriche fino a 4 m; la profondità massima di scavo è stata invece ridotta ad un massimo di 1 m più a largo di tale batimetrica.

La scabrezza del fondale, nel parametro n di Manning, è stata assunta sulla base della geomorfologia, assegnando ai vari tipi di fondale i coefficienti riportati in Fig. 132.

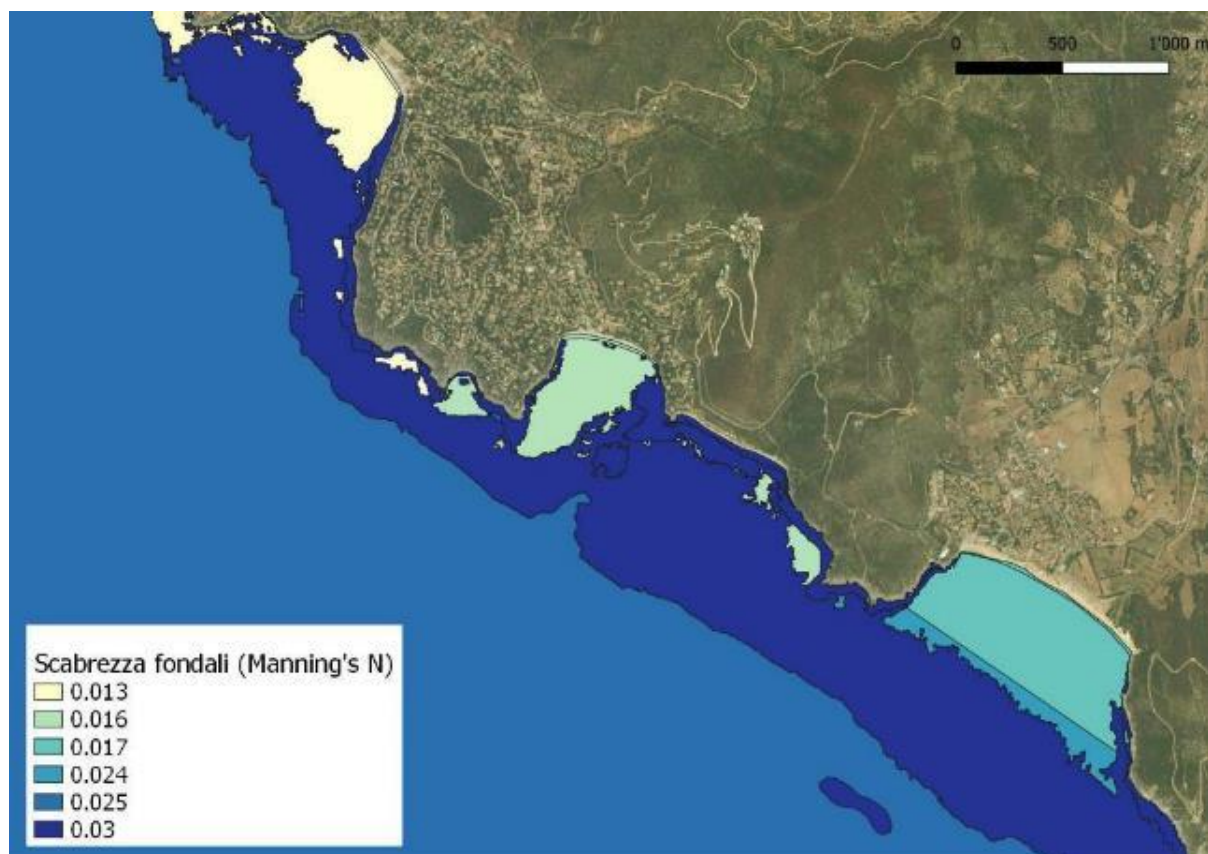


Figura 132 - Scabrezza dei fondali

Si riportano a seguire i risultati in termini di variazioni di fondale a seguito degli eventi simulati. Per quanto riguarda gli eventi estremi, essi sembrano produrre variazioni limitate, dell'ordine dei cm, per le quali è stata perciò assunta, per immediatezza di lettura, una scala cromatica di visualizzazione "normalizzata" tra 1 = **massimo accumulo**, e -1 = **massimo scavo**. Per quanto riguarda invece la simulazione dell'onda morfologica, soprattutto quella derivata dalle registrazioni dell'ondametro AWAC, essa provoca variazioni più consistenti, dovute anche al fatto che tale onda rispecchia il clima ondoso della stagione autunnale-invernale (per la quale erano disponibili le misurazioni), caratterizzata dalle mareggiate rilevate nell'intervallo temporale in cui ha registrato i dati (dal 22 Novembre 2019 al 01 Febbraio 2020).

Cann'e Sisa

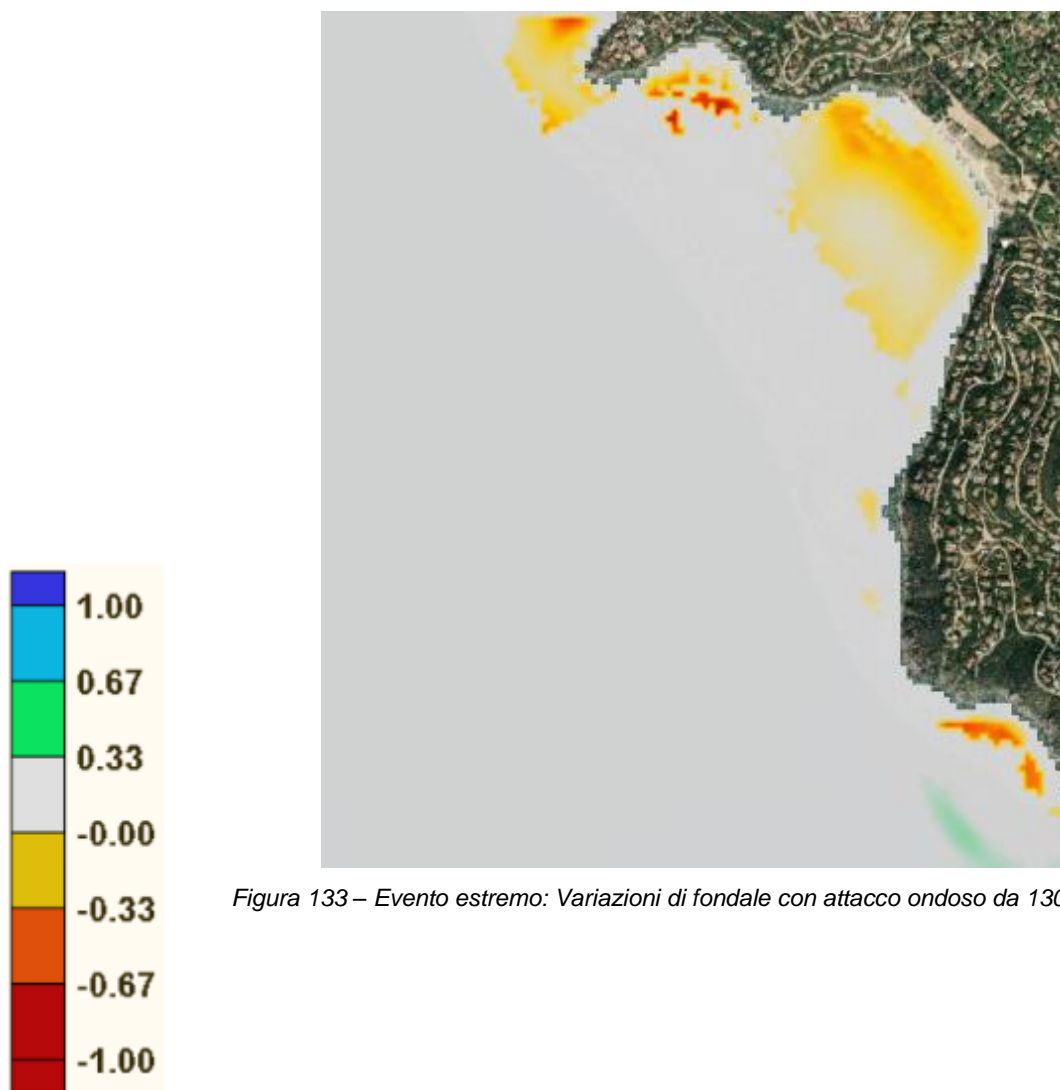


Figura 133 – Evento estremo: Variazioni di fondale con attacco ondoso da 130° - Tr 50

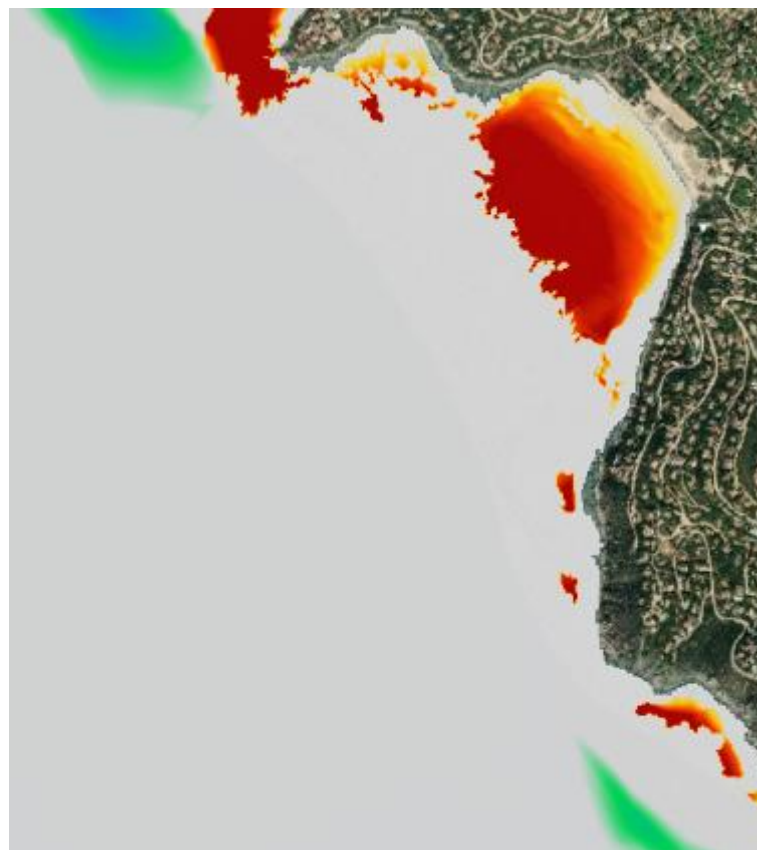
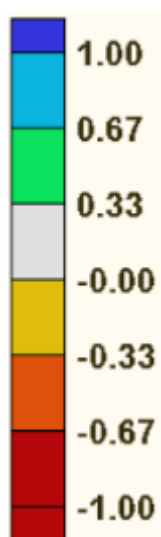


Figura 134 - Evento estremo: Variazioni di fondale con attacco ondoso da 180° - Tr 50

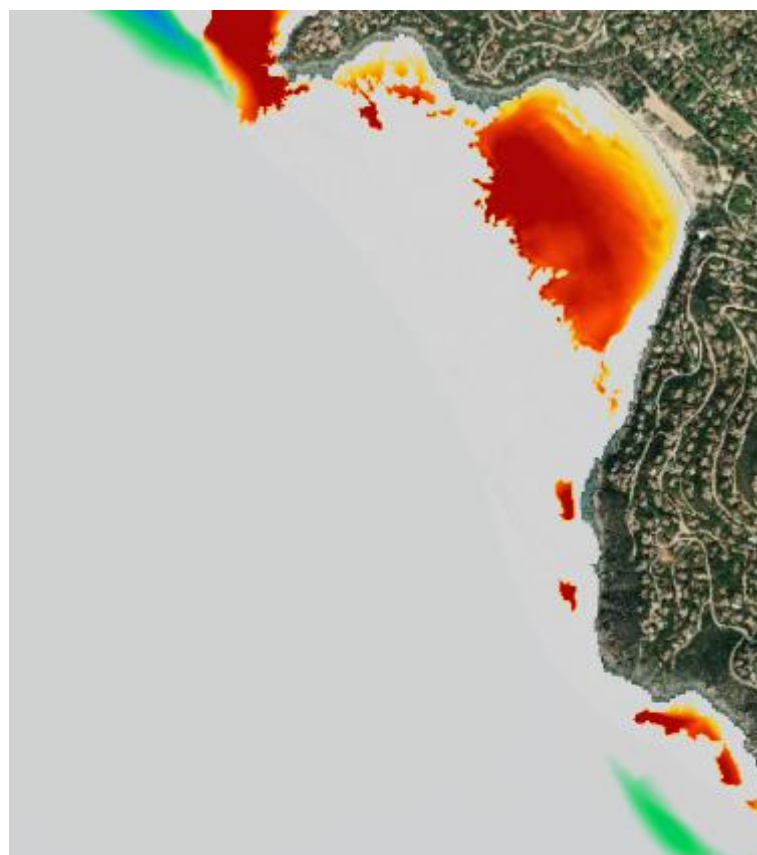


Figura 135 - Evento estremo: Variazioni di fondale con attacco ondoso da 225° - Tr 50

Dall'analisi morfodinamica per gli eventi estremi si evince come la tendenza sia quella erosiva e che la situazione più critica per la spiaggia in esame sia quella di attacco ondoso dalla direzione di 180° , che comunque produce variazioni di fondale davvero esigue, sub-decimetriche. Il trasporto solido, il cui verso è abbastanza costante nel tempo, risulta per lo più uscente dalla griglia in studio dall'angolo sud-occidentale. La fascia di spiaggia entro i 3 m di profondità è l'unica a mostrare un senso del trasporto variabile nel tempo, denotando un equilibrio medio.

L'onda morfologica dedotta da analisi anemometriche, indicativa del clima annuale medio, produce, nella spiaggia sommersa in esame, zone di erosione alternate ad altre di accumulo, nelle quali converge il sedimento preso in carico. A carattere puramente indicativo, il modello registra escavazioni e depositi comprese in un intervallo di +10cm e -10cm.

Al di fuori della spiaggia sommersa (*offshore*) il senso del trasporto è prevalentemente da riva verso largo, da NE verso SW. Esso è visibile nella figura successiva, la quale rappresenta la situazione ad un dato istante giudicato significativo ai fini dell'output finale, ma occorre sottolineare che il senso del trasporto risulta variabile nel tempo.

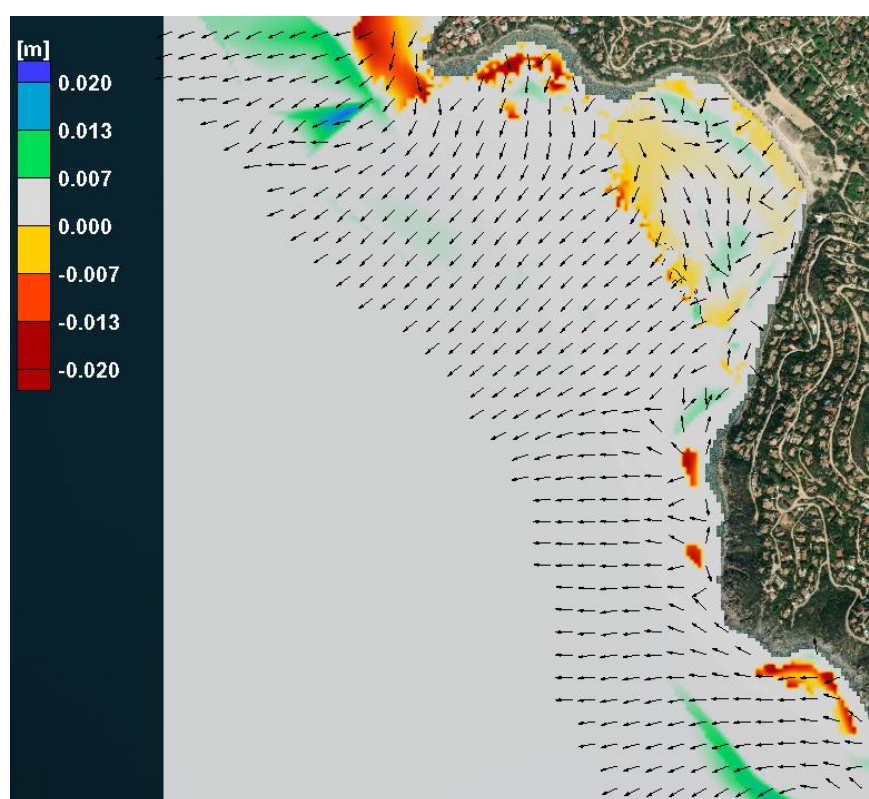


Figura 136 - Onda morfologica da dati anemometrici: passo temporale significativo per variazioni di fondale [m] e vettori di trasporto solido

Una rappresentazione interpretativa della dinamica morfo-sedimentaria "ordinaria" del paraggio di Cann'e Sisa, derivato dall'analisi modellistica con onda morfologica dei dati anemometrici, è illustrata in Figura 137. Il trasporto solido "prevalente" avviene attraverso una dinamica circolatoria dominante da NW verso SE nella *surf zone*, cui corrisponde una conformazione a barra e truogoli longitudinali, attraversati da risultanti correntometriche trasversali che convergono verso S-SW della baia, generando una zona a bassa energia di accumulo/sedimentazione. Nel settore esterno, in prossimità del margine *nearshore/offshore*, coincidente in questo caso con il limite superiore della Posidonia, gli input correntometrici si invertono con direzione da S verso N, indotti dai marosi dei quadranti meridionali; questi convergono verso N-NE all'estremo settentrionale della baia, in cui le correnti lungo riva (*longshore*) mettono in relazione la piccola insenatura più a nord con quella di Cann'e Sisa, con direzione prevalente di ingresso verso quest'ultima. Questa dinamica complessiva dei flussi

correntometrici, anche se caratterizzati da velocità mediamente modeste, inferiori a 0,01 m/s, sono responsabili dei fenomeni di trasporto sedimentario, confinati prevalentemente all'interno della baia. Il trasporto dei sedimenti più fini verso largo può verificarsi specie in concomitanza degli eventi più estremi, ma che da mare risulterebbero compensati dai sedimenti che verrebbero veicolati in ingresso soprattutto lungo il margine settentrionale e subordinatamente lungo quello meridionale della baia.

L'analisi morfodinamica, specie durante gli eventi estremi, denota una generale lieve tendenza evolutiva all'erosione. Processo evolutivo che potrebbe tuttavia essere compensato nel medio-lungo termine, raggiungendo un sostanziale equilibrio sedimentario, da altri serbatoi naturali delle componenti ambientali esterne, quali la prateria di Posidonia e il sistema dunare, sempreché risultino integri e ben conservati, avendo la capacità con le mareggiate estreme di alimentare spontaneamente la spiaggia.

Inoltre, il potenziale deficit sedimentario, dati i modesti volumi sedimentari mobilitati nell'evoluzione morfologica della spiaggia (stimabile in una perdita annuale netta di circa 600 mc su un totale movimentato di circa il doppio), potrebbe essere in ogni caso compensato dal trasporto solido veicolato attraverso il Rio Gavoi, il cui potenziale contributo alla foce è stato stimato pari a circa 3500 mc/a.

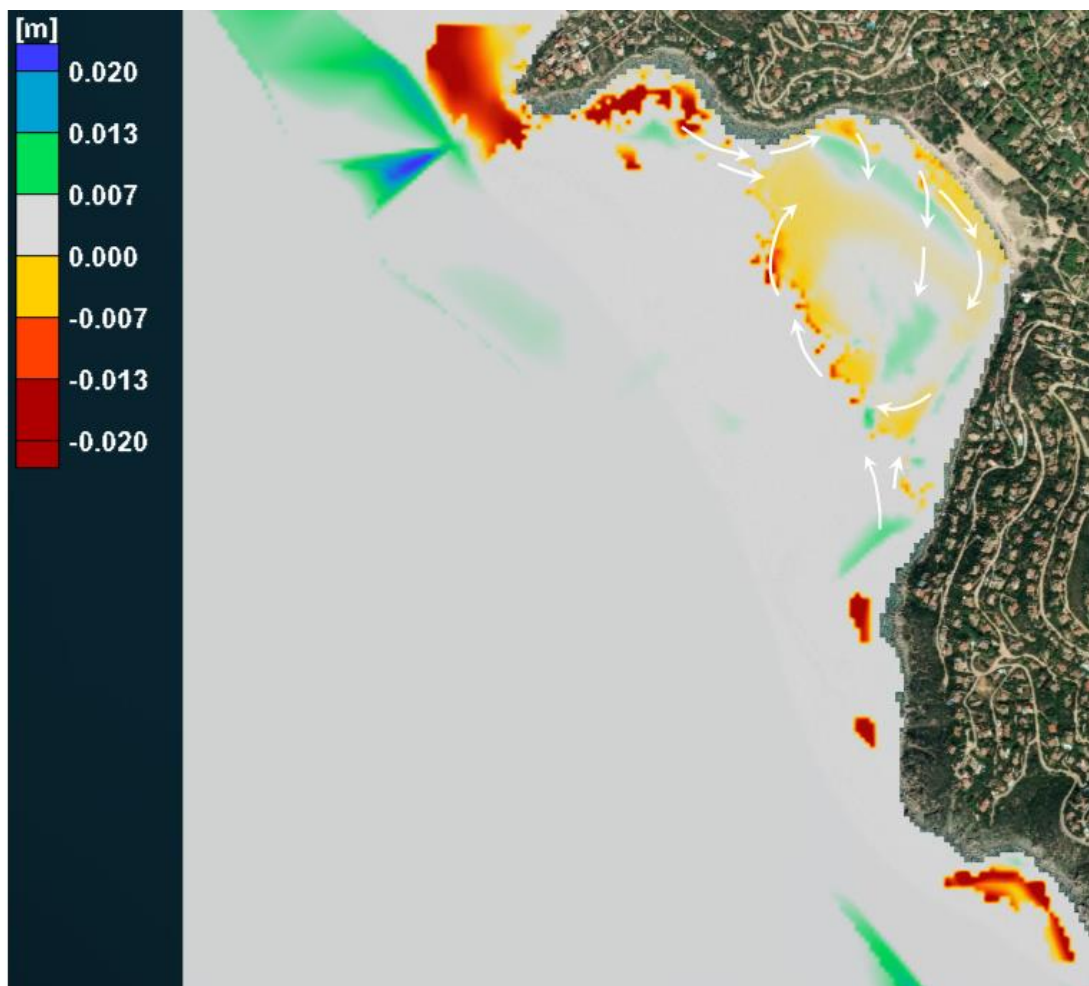


Figura 137 - Cann'e Sisa: rappresentazione interpretativa della dinamica morfo-sedimentaria "ordinaria", con variazioni del fondale, derivante dal modello con onda morfologica da dati anemometrici

Genn'e Mari

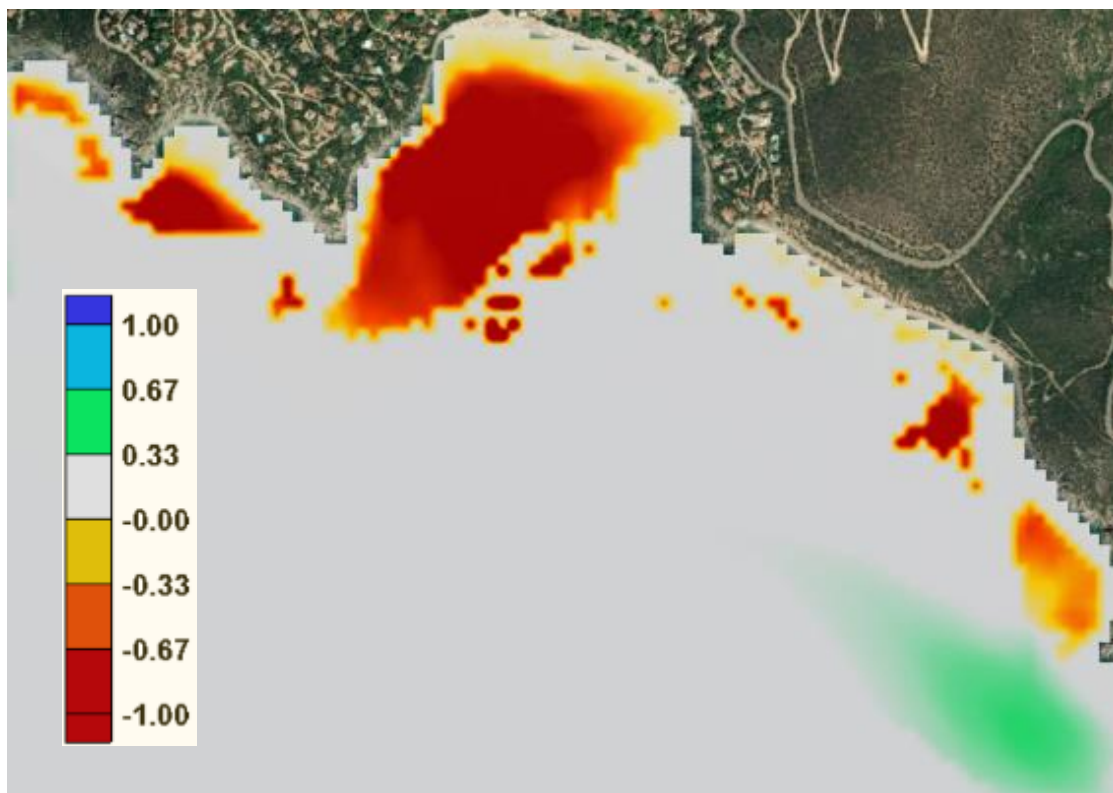


Figura 138 - Evento estremo: Variazioni di fondale con attacco ondoso da 130° - Tr 50

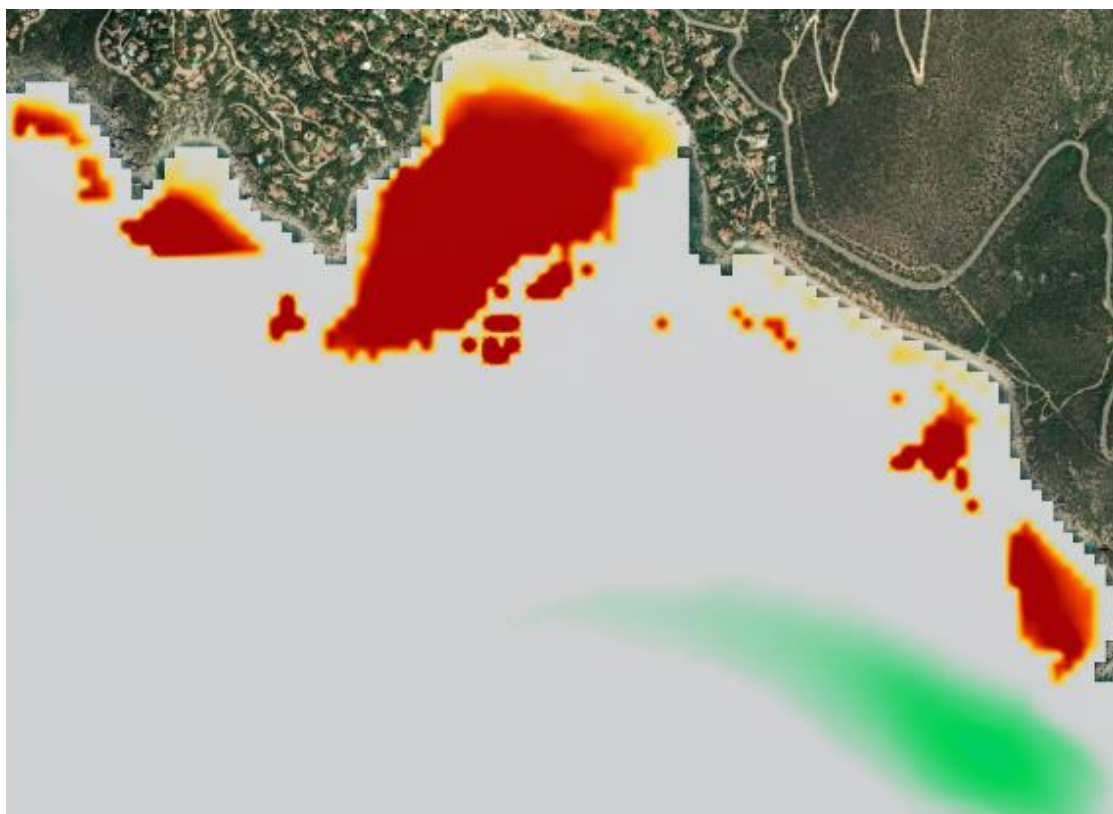


Figura 139 - Evento estremo: Variazioni di fondale con attacco ondoso da 180° - Tr 50

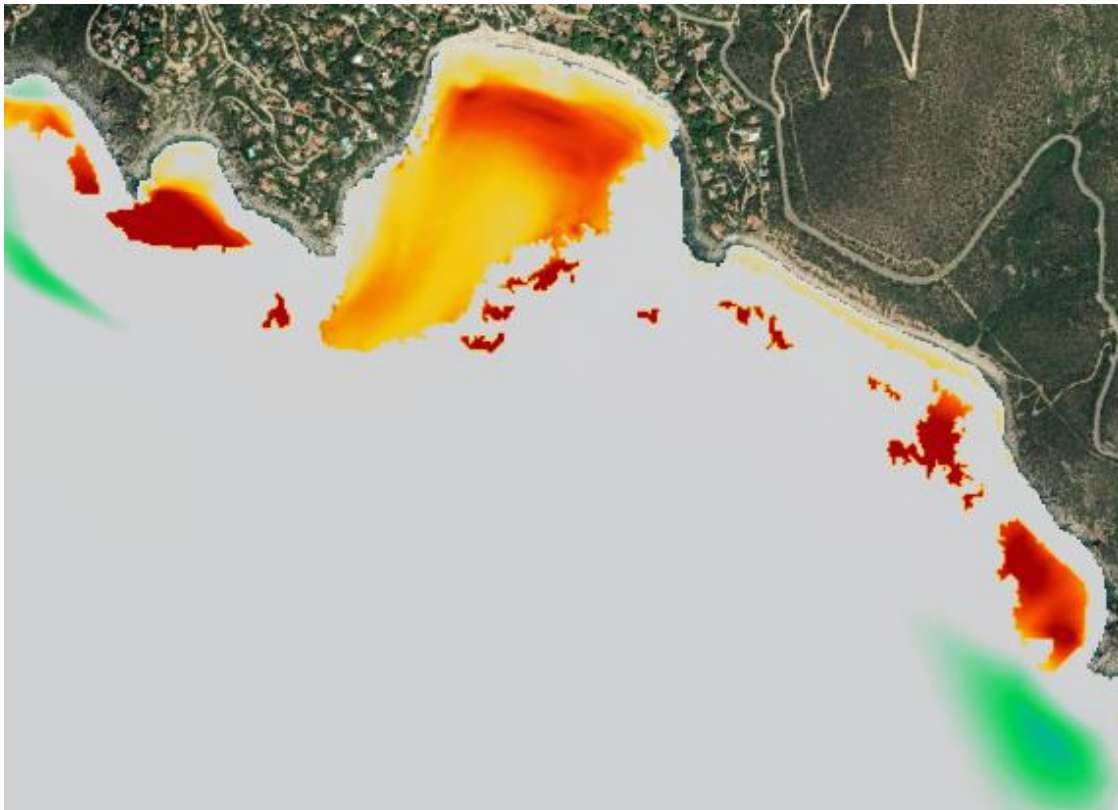


Figura 140 - Evento estremo: Variazioni di fondale con attacco ondoso da 225° - Tr 50

Dall'analisi morfodinamica per gli eventi estremi si evince come la tendenza sia quella erosiva e che la situazione più critica per la spiaggia in esame sia quella di attacco ondoso dalla direzione di 180°, seguita da quella da 130°, che comunque produce variazioni di fondale esigue.

Il trasporto solido, il cui verso è abbastanza costante nel tempo, risulta per lo più uscente dalla griglia-studio dal lato occidentale. La fascia di spiaggia entro i 2m di profondità è l'unica a mostrare un senso del trasporto variabile nel tempo, denotando un equilibrio medio.

L'onda morfologica dedotta da analisi anemometriche, indicativa del clima annuale medio, produce, nella spiaggia sommersa in esame, zone di erosione, alternate parallelamente a riva ad altre di accumulo, nelle quali si deposita il sedimento eroso a seguito di variazioni di direzione e di velocità delle correnti. A carattere puramente indicativo, il modello registra, erosioni fino a circa -40cm e depositi sino a circa +10cm.

La fascia di spiaggia entro i -6m di profondità è l'unica a mostrare un senso del trasporto abbastanza costante nel tempo. Esso è visibile nella figura successiva, la quale rappresenta la situazione ad un dato istante giudicato significativo ai fini dell'output finale.

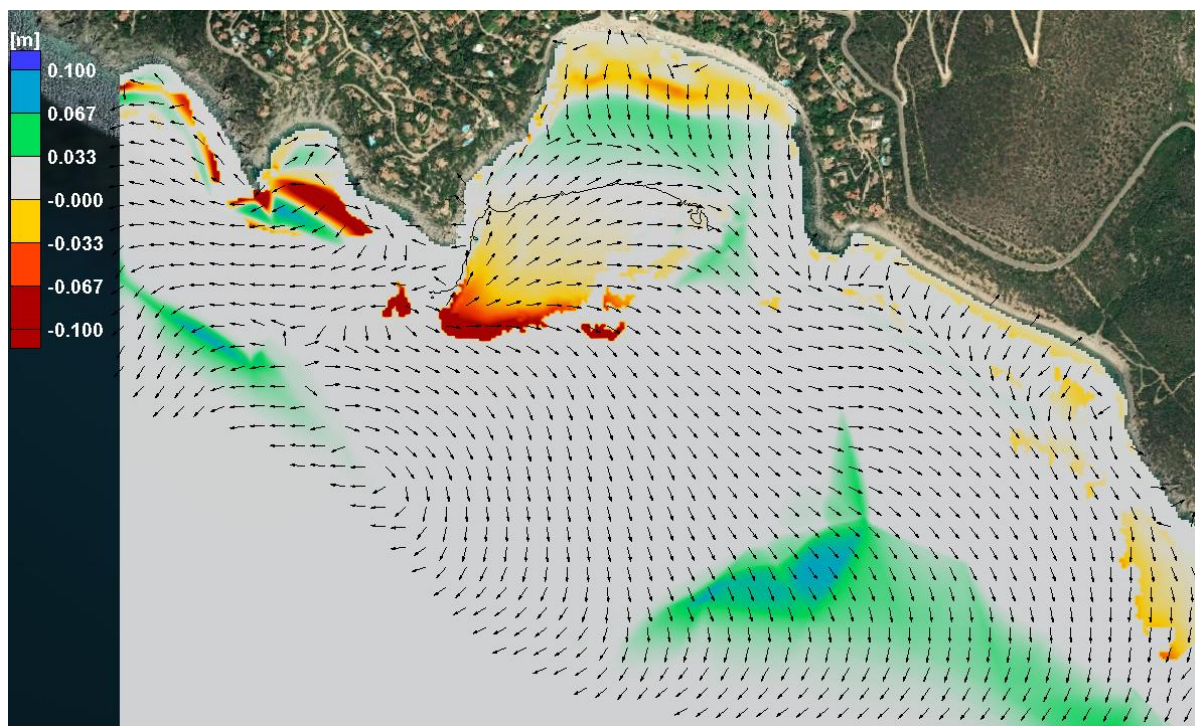


Figura 141 - Onda morfologica da dati anemometrici: passo temporale significativo per variazioni di fondale [m] e vettori di trasporto solido

Una rappresentazione interpretativa della dinamica morfo-sedimentaria “ordinaria” del paraggio di Genn'e Mari, derivata dall'analisi modellistica con onda morfologica dei dati anemometrici, è illustrata in *Figura* . Anche in questo caso il trasporto solido prevalente avviene attraverso una dinamica correntometrica *nearshore* dominante da NW verso SE, ma con una più marcata formazione di correnti trasversali a partire dall'arco settentrionale di spiaggia che, insieme ai flussi del settore meridionale, convergono verso il margine sud-orientale della baia, dove prevalgono i processi deposizionali, favoriti probabilmente anche dal particolare assetto geomorfologico della spiaggia sommersa, la quale in questo settore è delimitata da un alto morfologico allineato sulla direttrice geologico-strutturale NE-SW del promontorio. La dinamica attiva della spiaggia è confinata dalla profondità di chiusura alla batimetrica dei -8,5m circa. Tuttavia nelle condizioni meteo-marine più estreme il trasporto solido dei sedimenti sabbiosi con granulometrie inferiori alle sabbie fini potrebbe essere veicolato a largo attraverso il margine sud-occidentale del settore sommerso, in parte contrapposto ad una dinamica circolatoria in ingresso indotta dalle correnti provenienti dai quadranti meridionali, che tendono a confinare i sedimenti sabbiosi entro la baia. Anche in questo caso le velocità medie di corrente sono modeste, generalmente inferiori a 0,01 m/s (comparabili con i valori rilevati dalle sonde Acquadop e Awac), da cui discendono movimentazioni volumetriche dei sedimenti complessivamente dell'ordine di poche migliaia di metri cubi, stimabile in una perdita annuale netta di circa 1.800mc su un totale movimentato di circa 3.800mc. Questo deficit potrebbe essere tuttavia compensato da “serbatoi” esterni al paraggio, determinando un sostanziale equilibrio sedimentario in entrata e in uscita.

In sostanza le risultanze modellistiche denotano anche in questo caso una generale tendenza all'erosione, ammettendo le medesime considerazioni fatte per Cann'e Sisa. La spiaggia denota una generale vulnerabilità relativa, in quanto la tendenza erosiva è potenzialmente più accentuata rispetto a Cann'e Sisa.

I risultati delle modellazioni confermano inoltre la presenza di un'azione di scalzamento del limite superiore della Posidonia così come osservata dalle indagini svolte in campo. Tuttavia tale processo risulterebbe marginale rispetto ad un sostanziale equilibrio dei fenomeni di erosione-accumulo, in quanto probabilmente enfatizzato dal modello a seguito dei parametri di input utilizzati (scabrezza ed effetto della transizione tra superfici non erodibili ed erodibili). Ciononostante esso conferma che

all'estremo apice sud-occidentale del limite superiore, possono verificarsi delle turbolenze di fondo con scalzamenti erosivi.

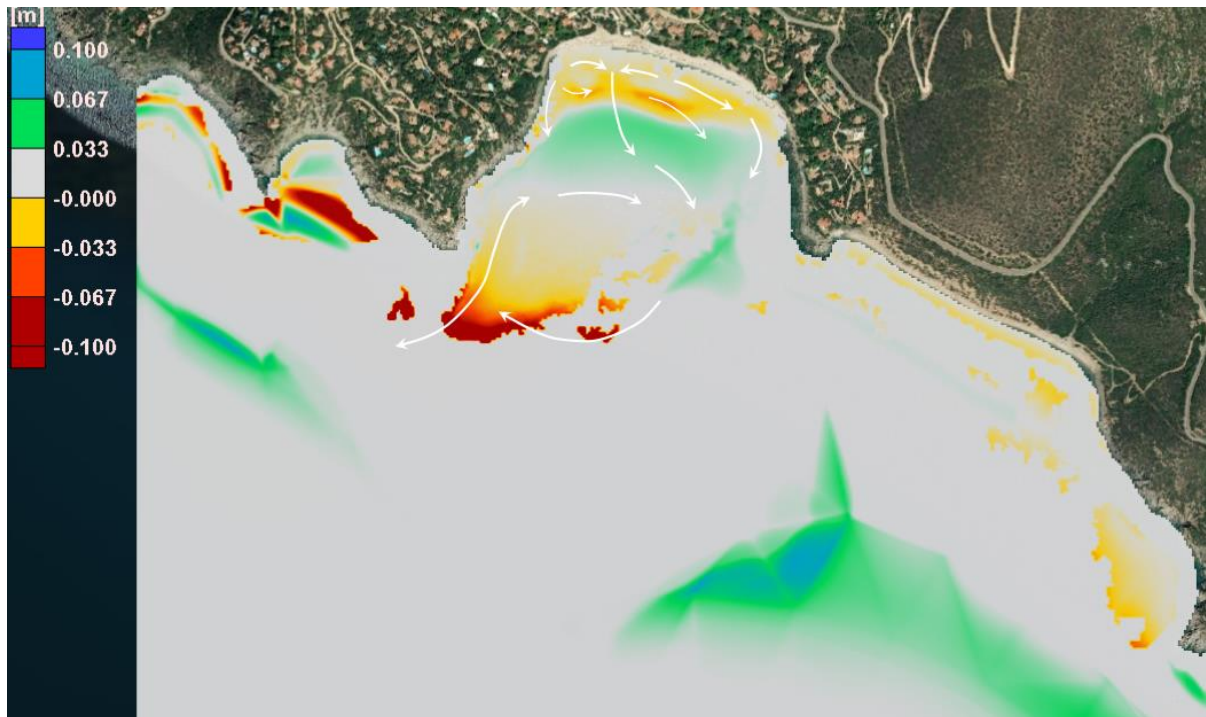


Figura 142 - Genn'e Mari: rappresentazione interpretativa della dinamica morfo-sedimentaria "ordinaria", con variazioni del fondale, derivante dal modello con onda morfologica da dati anemometrici

La simulazione con l'onda morfologica ricavata dall'ondametro AWAC, rappresentativa del clima meteo-marino autunnale-invernale, ha mostrato zone con tendenza erosiva nella porzione centrale della spiaggia sommersa, alternate a zone di basso accumulo prevalenti nei margini occidentale e orientale. E' interessante osservare che la tendenza evolutiva e la risposta della spiaggia sommersa all'onda morfologica da vento e da onda morfologica, ricavata con i dati dell'ondametro, in termini qualitativi è del tutto analoga.

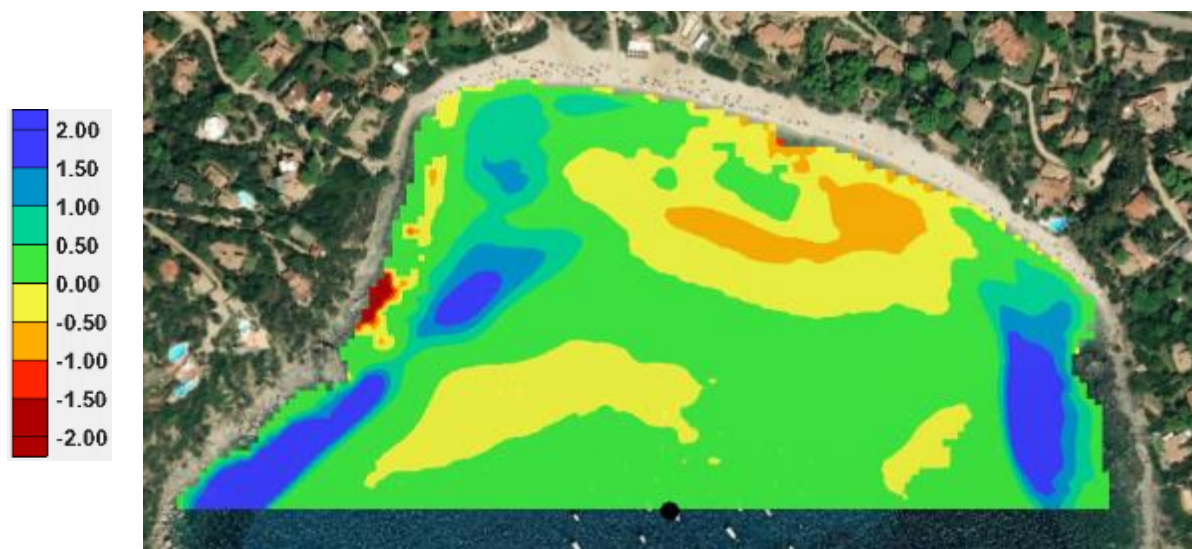


Figura 143 - Variazioni di fondale [m] con onda morfologica da ondametro AWAC (posizionato nel punto in nero)

Solanas

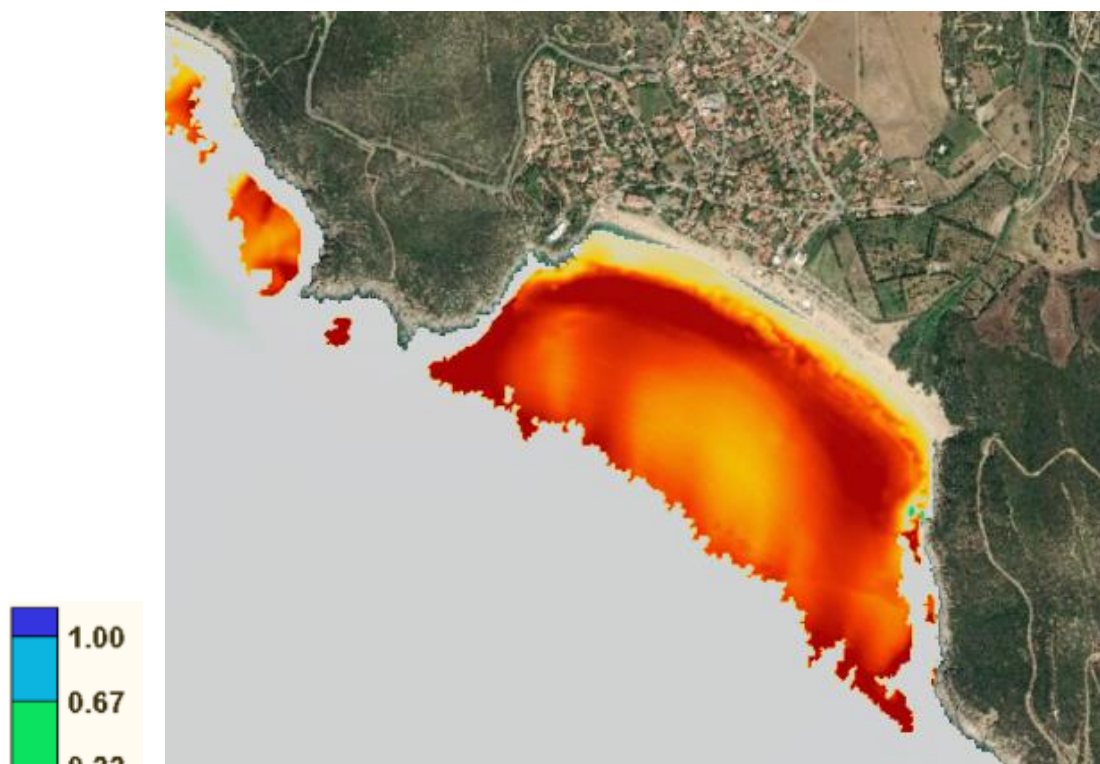


Figura 144 - Evento estremo: Variazioni di fondale con attacco ondoso da 130° - Tr 50

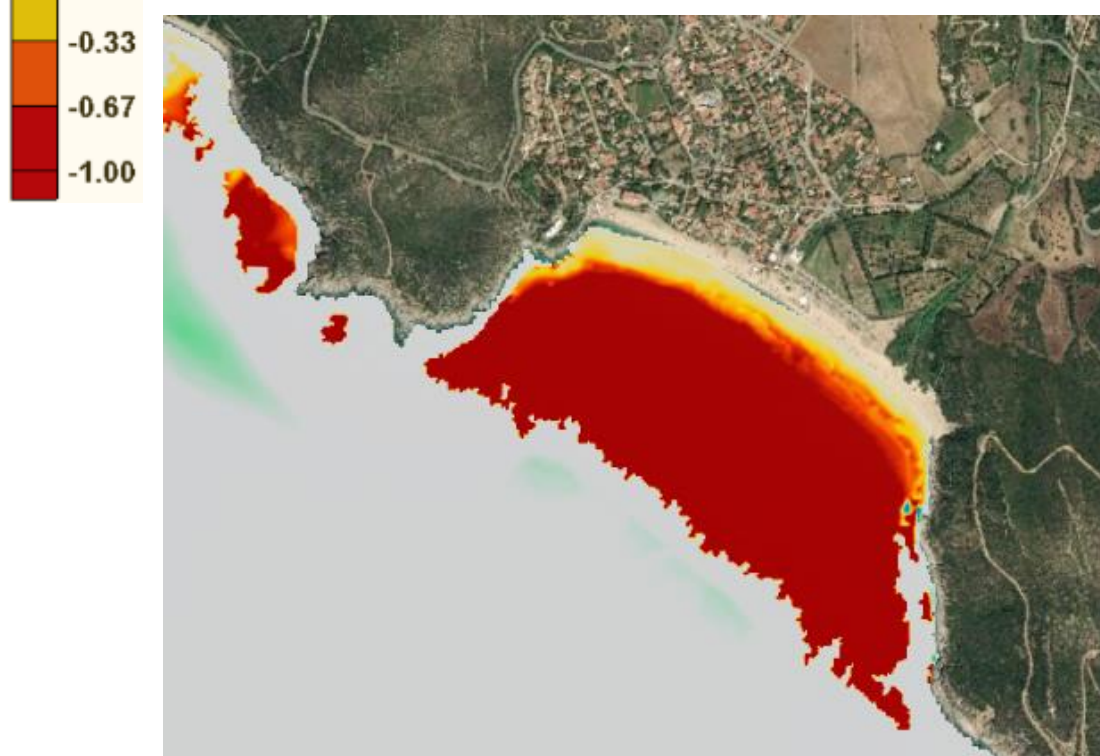


Figura 145 - Evento estremo: Variazioni di fondale con attacco ondoso da 180° - Tr 50

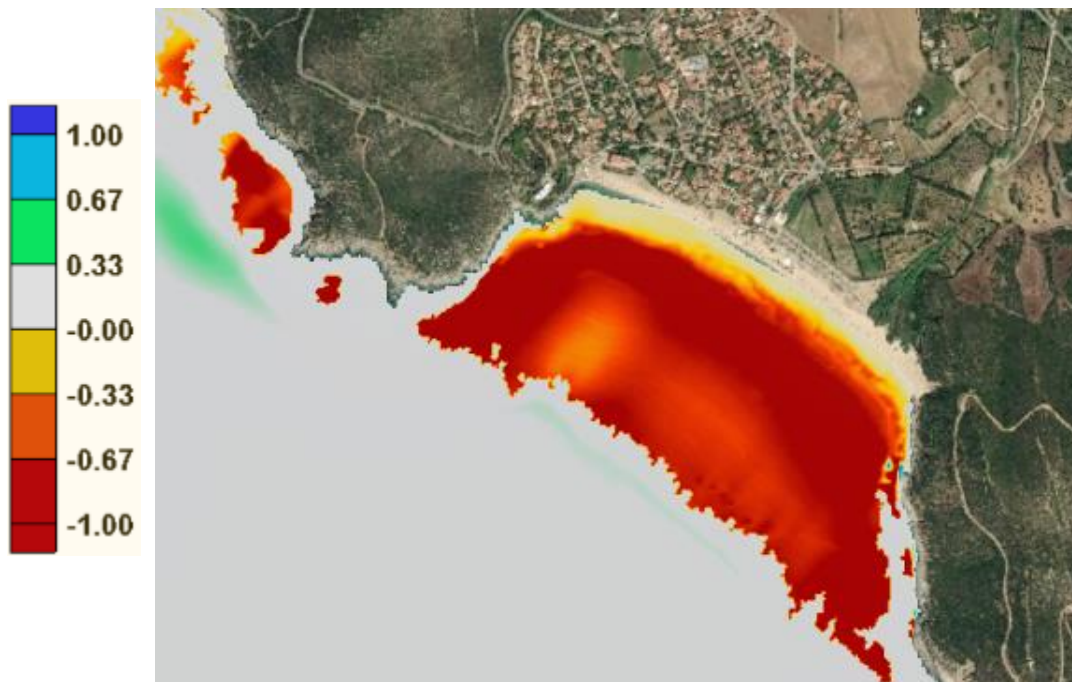


Figura 146 - Evento estremo: Variazioni di fondale con attacco ondoso da 225° - Tr 50

Dall'analisi morfodinamica per gli eventi estremi si evince come la tendenza sia quella erosiva e che la situazione più critica per la spiaggia in esame sia quella di attacco ondoso dalla direzione di 180°, seguita da quella da 225° ed infine da quella da 130°. Il trasporto solido, il cui verso è abbastanza costante nel tempo, risulta per lo più uscente dalla griglia studio dal settore sud-occidentale e convergono sulla diagonale NE/SW e si indirizzano verso il largo. La fascia di spiaggia entro i -2,5 m di profondità è l'unica a mostrare un senso del trasporto variabile nel tempo, denotando un equilibrio medio.

L'onda morfologica dedotta da analisi anemometriche, indicativa del clima annuale medio, produce, nella spiaggia sommersa in esame, zone di erosione, alternate parallelamente a riva ad altre di accumulo, con l'accrezione di una barra sabbiosa longitudinale ben definita. A carattere puramente indicativo, il modello registra, erosioni massime dell'ordine dei -25cm e depositi massimi dell'ordine dei +20 cm.

La fascia di spiaggia entro i -3,0 m di profondità è l'unica a mostrare un senso del trasporto abbastanza costante nel tempo, da riva verso largo, producendo erosioni lato riva ad accumuli lato mare. Oltre tale batimetrica il senso del trasporto è molto variabile nel tempo, producendo depositi al centro delle zone in cui si verificano i cambi di direzione decrementi della velocità delle correnti. Esso è visibile in Figura 147, la quale rappresenta la situazione ad un dato istante giudicato significativo ai fini dell'output finale.

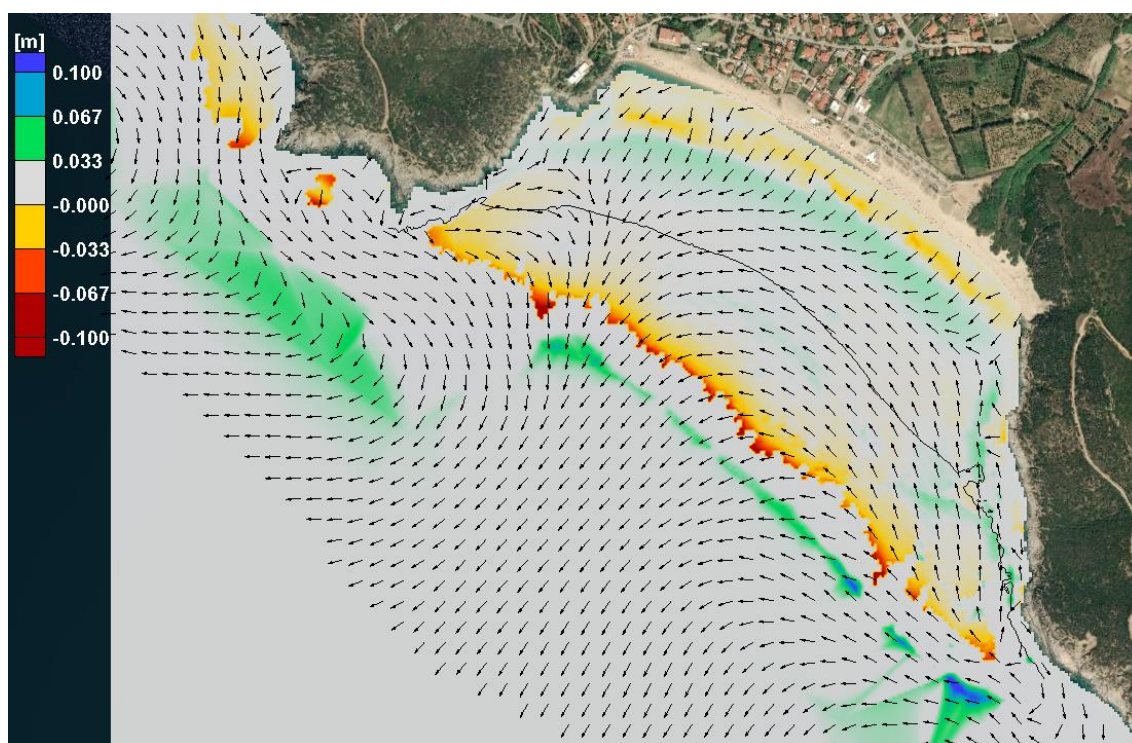


Figura 147 - Onda morfologica da dati anemometrici: Passo temporale significativo per variazioni di fondale [m] e vettori di trasporto solido

Una rappresentazione interpretativa della dinamica morfo-sedimentaria “ordinaria” del paraggio di Solanas, derivata dall'analisi modellistica con onda morfologica dei dati anemometrici, è illustrata in *Figura* . Nella *surf zone* il trasporto solido prevalente avviene attraverso una dinamica caratterizzata da correnti longitudinali ritmiche in direzione e velocità, ma con risultante dominante da NW verso SE, alternate a deboli correnti in uscita, nel settore centrale e periferico della falcata sabbiosa.

È marcata l'accrezione di una barra sabbiosa continua e la prevalenza dei processi di deposizione lungo il margine meridionale della baia e di erosione lungo quello settentrionale, dove le correnti litoranee agiscono sul trasporto solido in modo bidirezionale, alternato in funzione delle condizioni meteomarine, ma bilanciate in un sostanziale equilibrio.

La dinamica attiva della spiaggia è confinata alla profondità di chiusura di circa -8,5m, tuttavia nelle condizioni meteomarine più estreme il trasporto solido delle frazioni più fine potrebbe essere veicolato a largo attraverso il settore centro-settentrionale, in parte contrastato dai flussi correntometrici provenienti dai quadranti sud-orientali, che imprime una dinamica circolatoria tendente a confinare i sedimenti entro la baia. Anche in questo caso le velocità medie di corrente sono modeste, generalmente inferiori a 0,01 m/s, da cui derivano movimentazioni volumetriche dei sedimenti complessivamente dell'ordine di una ventina di migliaia di metri cubi, stimando una perdita annuale netta di circa 4.000 mc su un totale movimentato di circa 18.000 mc. Deficit che, anche in questo caso, potrebbe essere compensato da “serbatoi” esterni al paraggio, determinando un sostanziale equilibrio sedimentario in entrata e in uscita.

In sostanza le risultanze modellistiche denotano anche in questo caso una generale vulnerabilità all'erosione, ammettendo le medesime considerazioni fatte per i paraggi di Genn'e Mari e Cann'e Sisa, anche se la spiaggia in questione manifesta una maggior equilibrio dinamico, in cui la tendenza erosiva sembrerebbe meno accentuata e, peraltro, compensata dal potenziale contributo di “apporto solido” del Rio Solanas stimato pari a circa 13.000 mc/a.

I risultati delle modellazioni confermano, inoltre, la presenza di un'azione erosiva lungo il limite superiore della Posidonia, così come osservata dalle indagini subacquee in campo (rilievi in immersione eseguiti nell'estate del 2019), probabilmente indotta dai flussi correntometrici in ingresso dai quadranti meridionali, anche se tale evidenza potrebbe essere enfatizzata dal modello a causa dei parametri di

input utilizzati (scabrezza ed effetto della transizione tra superfici non erodibili ed erodibili); ciò giustificerebbe tale processo marginale, rispetto ad un sostanziale equilibrio dei fenomeni di erosione-accumulo, pur confermando che lungo il limite superiore possono verificarsi delle turbolenze di fondo con scalzamenti erosivi. Questo giustificerebbe anche la presenza, come rilevato, di sedimenti di fondo a granulometria tendenzialmente più elevata (sabbio medio-grossolane) rispetto agli altri settori della spiaggia sommersa.

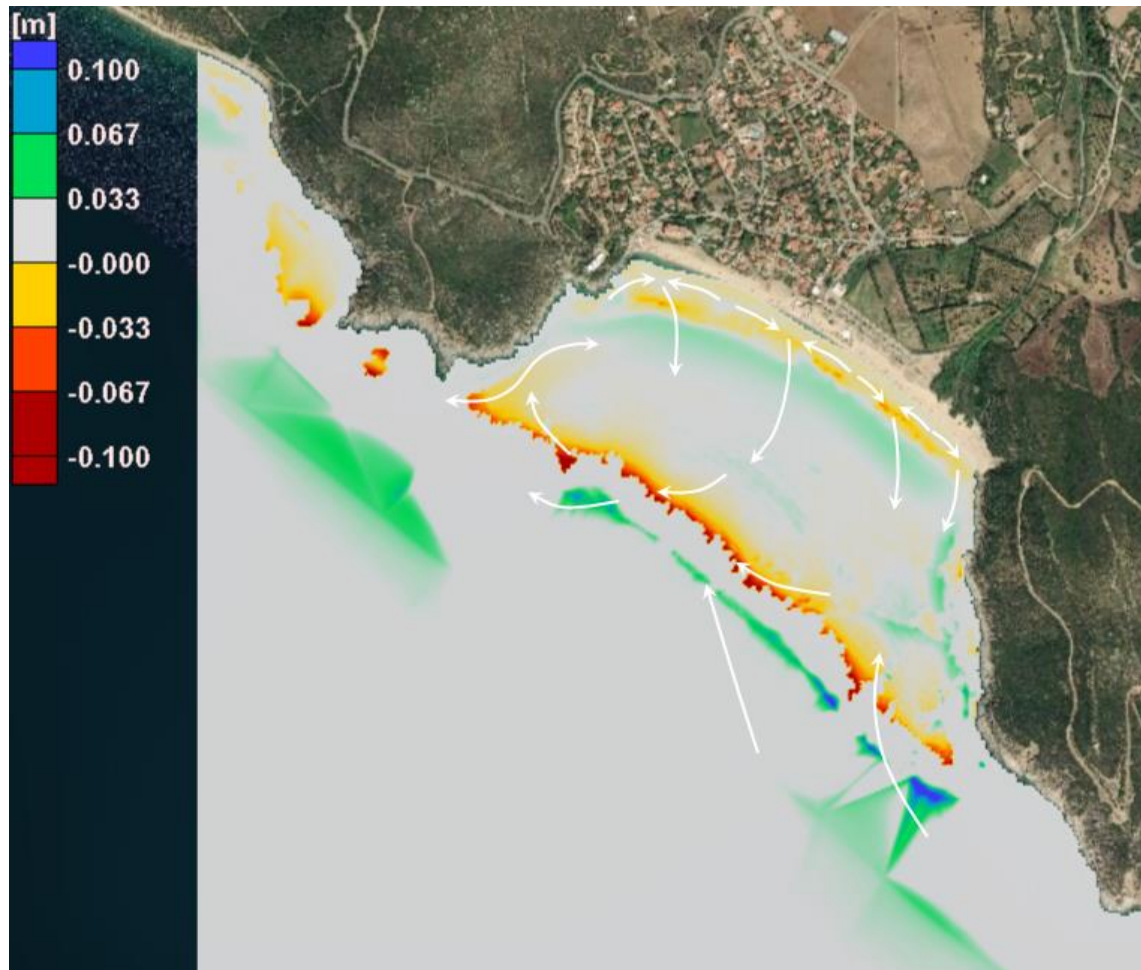


Figura 148 - Solanas: rappresentazione interpretativa della dinamica morfo-sedimentaria "ordinaria", con variazioni del fondale, derivante dal modello con onda morfologica dei dati anemometrici

Sintesi dei risultati

Le principali considerazioni che, alla luce delle modellazioni elaborate e delle indagini eseguite, si possono sviluppare sulla dinamica morfo-sedimentaria delle 3 spiagge, possono essere così sintetizzate:

- Gli eventi estremi, anche per tempi di ritorno di 50 anni, inducono estesi fenomeni di erosione in ampi spazi delle tre baie, ma raggiungono profondità di erosione estremamente contenute. In generale la modellazione indica una dispersione dei sedimenti verso largo, ma in quantità limitate. Tali sedimenti, oltrepassando la profondità di chiusura, difficilmente possono tornare a far parte del profilo attivo della spiaggia, anche se, viste le contenute velocità dei flussi correntometrici, l'allontanamento coinvolgerebbe solamente le frazioni più fini del materiale detritico. Possiamo dunque concludere che tale dinamica non determina effetti morfodinamici significativi sul budget.
- Le onde morfologiche e, di conseguenza, la tendenza ai mutamenti annuali, hanno un maggiore impatto a Genn'e Mari e Solanas. A Cann'e Sisa, anche grazie alla diversa esposizione del paraggio e alla protezione offerta dal promontorio di Torre delle Stelle, si osserva un andamento della spiaggia con minore morfodinamismo trasversale e longitudinale, come confermato anche dagli esigui volumi detritici movimentati.
- La dinamica morfo-sedimentaria per le tre spiagge (Sub Unità gestionali) appare simile per l'andamento dei flussi circolatori *nearshore* e *nearshore/offshore*, differenziandosi leggermente nella *surf zone*, dove le correnti trasversali e l'accrescimento delle barre longitudinali giocano un ruolo più significativo in quella di Solanas, rispetto a Genn'e Mari ed a Cann'e Sisa, anche se le velocità delle correnti risultano sempre moderatamente basse. La dinamica complessiva, in ogni caso, conferisce ai tre paraggi studiati un sostanziale equilibrio sedimentario, in cui gli scambi detritici tra la spiaggia sommersa, il largo e i paraggi attigui, risultano bassi e presumibilmente circoscritti alle sole frazioni granulometriche più fini. In questi termini, circa il 50% del materiale movimentato nelle spiagge di Cann'e Sisa e Genn'e Mari è potenzialmente veicolato all'esterno del paraggio (600 mc/a per Cann'e Sisa e 1600 mc/a per Genn'e Mari), mentre per Solanas le quantità sono più contenute e stimate intorno al 22% (4000 mc/a). Tuttavia, la maggiore tendenza erosiva nelle condizioni estreme è indice di una elevata vulnerabilità dei paraggi studiati, in quanto le dinamiche sedimentarie appaiono controllate da un certo equilibrio delle risultanti correntometriche, che contribuiscono a confinare parzialmente e in misura diversa i sedimenti all'interno dei paraggi stessi.
- Il risultato in termini qualitativi della simulazione con l'onda morfologica ricavata dalle registrazioni dell'ondametro AWAC posizionato a Genn'e Mari, in linea generale, rispetta la tendenza della batimetria misurata tra il 1° e 2° rilievo. Tale osservazione è una conferma ulteriore che gli studi e le modellazioni eseguite, in termini qualitativi, risultano affidabili nella rappresentazione evolutiva dei litorali investigati.

Zonazione della suscettività, pericolosità e rischio di frana a scala regionale: proposta metodologica

Calcolo della suscettività da frana tramite metodologia Certainty Factor (CF)

Al fine di ottenere una carta della suscettività da frana si è sperimentata nel sito pilota una procedura confortata da alcune esperienze maturate dal gruppo di lavoro.

Il metodo scelto è un metodo diretto, statistico di tipo probabilistico che per la valutazione del contributo dei diversi parametri correlati all'instabilità dei versanti, utilizza l'approccio del Certainty Factor (CF) ovvero "Fattore di Certezza".

Descrizione del metodo

Il modello dei dati utilizzato per questo metodo è il modello dei dati raster per cui il valore di CF è calcolato per ogni singolo pixel per ogni *data layer*. Il valore di CF esprime la variazione in termini di probabilità di verificare una certa ipotesi (area suscettibile al franamento) relativamente alla presenza o assenza di evidenze note in un intervallo di variazione che varia tra -1 e +1. Valori positivi del CF indicano una maggiore certezza dell'ipotesi fatta, mentre valori negativi determinano una diminuzione della certezza di eventualità di una frana. Un valore del CF prossimo allo zero indica invece che non è possibile fornire un'indicazione circa la probabilità che si verifichi l'ipotesi fatta. Innanzitutto, quindi, è necessario scegliere i parametri che sono ritenuti indicatori di instabilità da computare nel modello. Dal confronto tra la carta inventario dei fenomeni franosi (denominate nel progetto "aree sorgente") e le carte tematiche dei parametri scelti, si ricavano i valori di CF, seguendo la formula di seguito riportata:

$$CF = \begin{cases} \frac{pp_a - pp_s}{pp_a(1 - pp_s)} & \text{se } pp_a \geq pp_s \\ \frac{pp_s - pp_a}{pp_s(1 - pp_a)} & \text{se } pp_a < pp_s \end{cases}$$

I valori di *ppa* e *pps* sono i valori di probabilità che vengono utilizzati per il calcolo del CF. Il valore *ppa* viene calcolato come il rapporto tra l'area in frana appartenente ad una determinata classe e l'area totale di quella classe (es.: frane che interessa una litologia X / area della litologia X). Il valore *pps* è il rapporto tra la superficie delle aree in frana e la superficie dell'intera area di studio. Da notare quindi come il valore di *pps* non cambia ma resta costante.

Pertanto, i valori di probabilità vengono calcolati utilizzando i parametri:

1. Area in studio
2. Area totale in frana nell'area in studio (deriva dai poligoni delle frane censite)
3. Area totale di ogni determinata classe per ogni tematismo
4. Area interessata da frana di ogni classe per singolo tematismo

I valori numerici utilizzati sono misurati come numero di pixel.

Il Fattore di Certezza viene calcolato per ogni *data layer* ritenuto indicatore di instabilità, quindi si procede con la combinazione a due a due dei *layers*, per mezzo delle successive regole di integrazione (Chung e Fabbri, 1993):

$$z = \begin{cases} x + y - xy & \text{se } x, y \geq 0 \\ \frac{x + y}{1 - \min(|x|, |y|)} & \text{se } x, y \text{ sono di segno diverso} \\ x + y + xy & \text{se } x, y < 0 \end{cases}$$

in cui x e y sono i CF relativi a due *layer* differenti e z è la loro combinazione ossia il CF risultante. L'integrazione fra CF avviene quindi applicando le regole precedenti in maniera iterata sui tematismi considerati: il risultato della prima integrazione fra i primi due tematismi sarà combinato con il terzo tematismo, fornendo un risultato che andrà combinato con il quarto e così via fino ad esaurire i *data layer*.

I valori di CF calcolati sono infine da riclassificare in classi di instabilità potenziale ovvero di probabilità che si verifichi un fenomeno franoso.

Materiali e metodi

I dati di *input* per la creazione della mappa di suscettività da frana sono di seguito elencati

- Modello digitale del terreno (DTM) con passo 1 m
- Carta Geologica da rilevamento ex novo
- Carta della fratturazione
- Carta delle Unità Geomeccaniche
- Dataset dei fenomeni franosi ("aree sorgente")

Sulla base del modello digitale del terreno sono stati ottenuti dei prodotti derivati in maniera automatica o semiautomatica controllata tutti i parametri legati alla topografia: pendenza dei versanti, esposizione, indice topografico, carta delle fasce altimetriche.

Le cartografie elaborate sono riportate nelle successive figure (Figura 149, Figura 150, Figura , Figura 152, Figura 153, Figura 154, Figura 155 -, Figura 156).

Le aree sorgente rappresentano il nodo cruciale per il modello: in sostanza si tratta di aree di riferimento sulla base delle quali sono effettuati i calcoli statistici.

Al fine di poter disporre di una tecnica di controllo della metodologia adottata non tutti le 173 aree sorgente sono entrate come input nel modello: una parte è stata considerata solamente in ultima istanza per verificare se le classi di suscettività al dissesto comprendessero anche queste perimetrazioni. In particolare, 130 poligoni hanno funto come dataset di training e le restanti 43 sono state utilizzate come dataset di validazione.

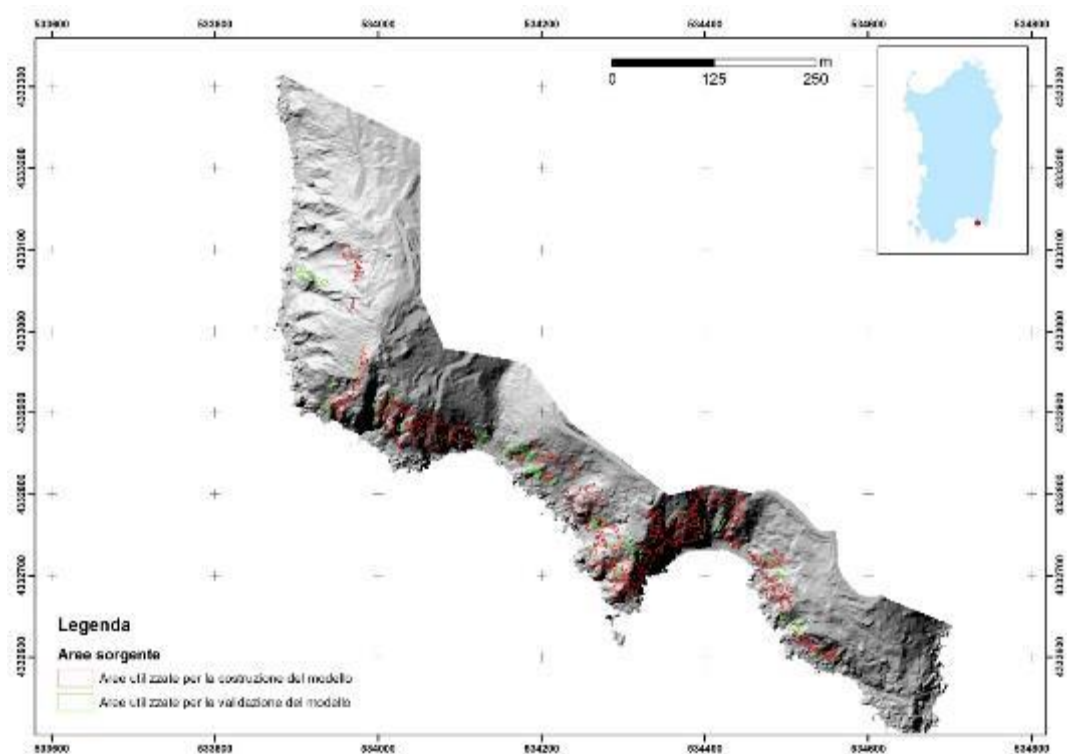


Figura 149 - Distribuzione delle aree sorgente utilizzate nel sito pilota di Torre delle Stelle.

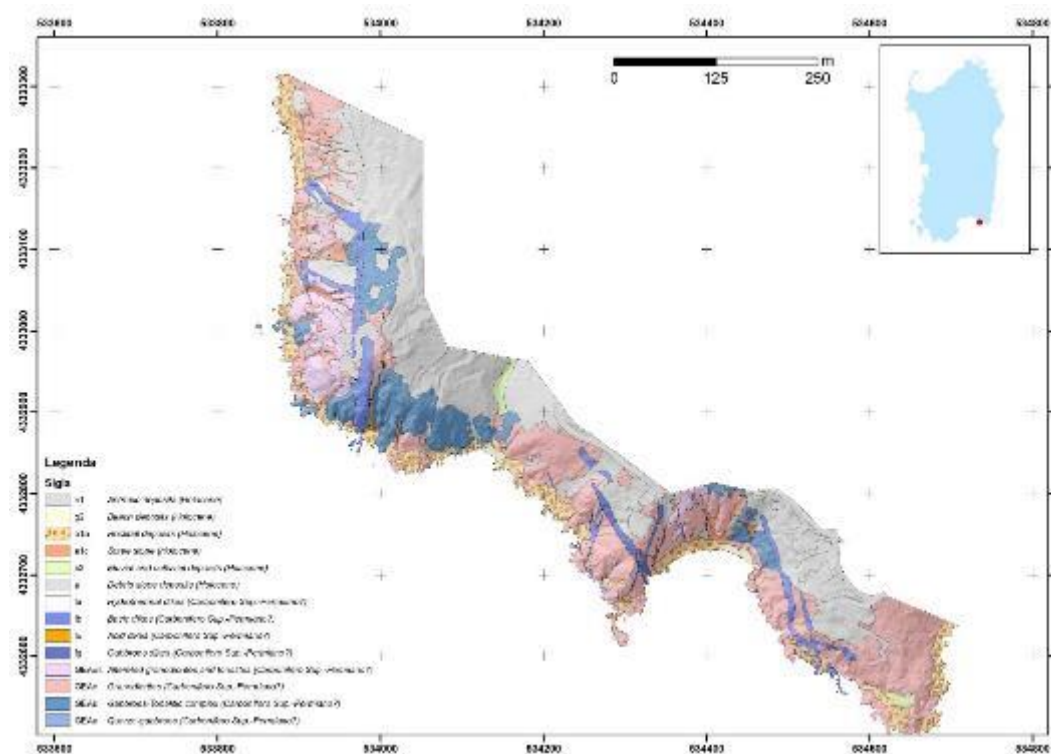


Figura 150. Carta Geologica del sito pilota di Torre delle Stelle.

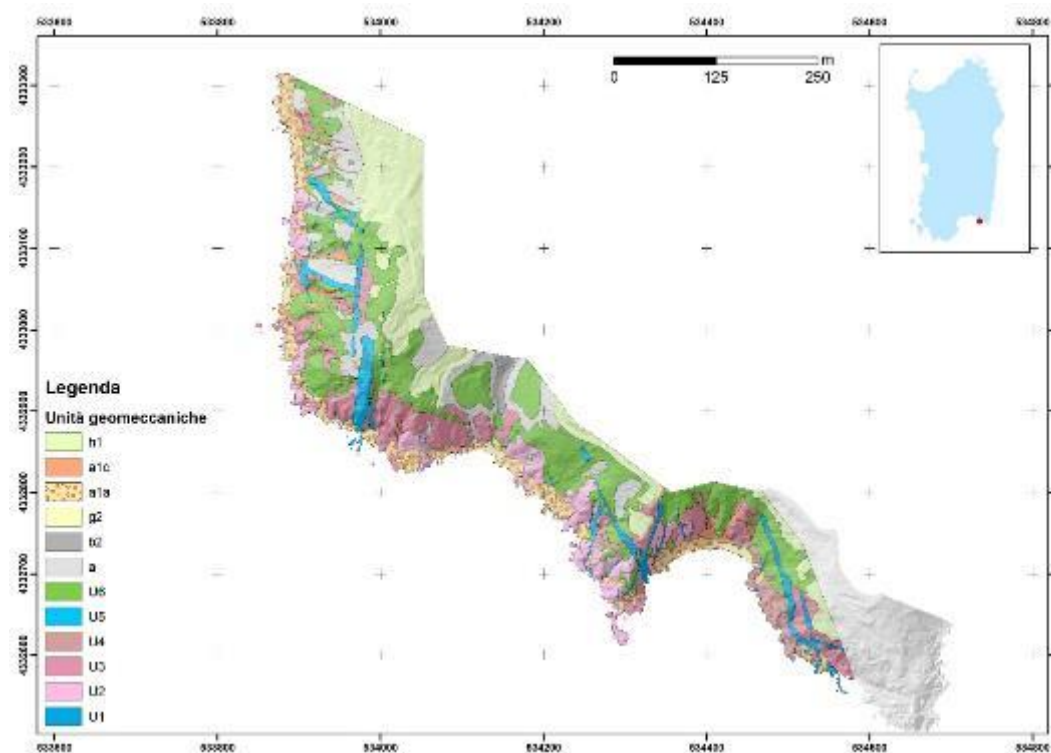


Figura 151 - Carta delle Unità Geomeccaniche utilizzata per il sito pilota di Torre delle Stelle.

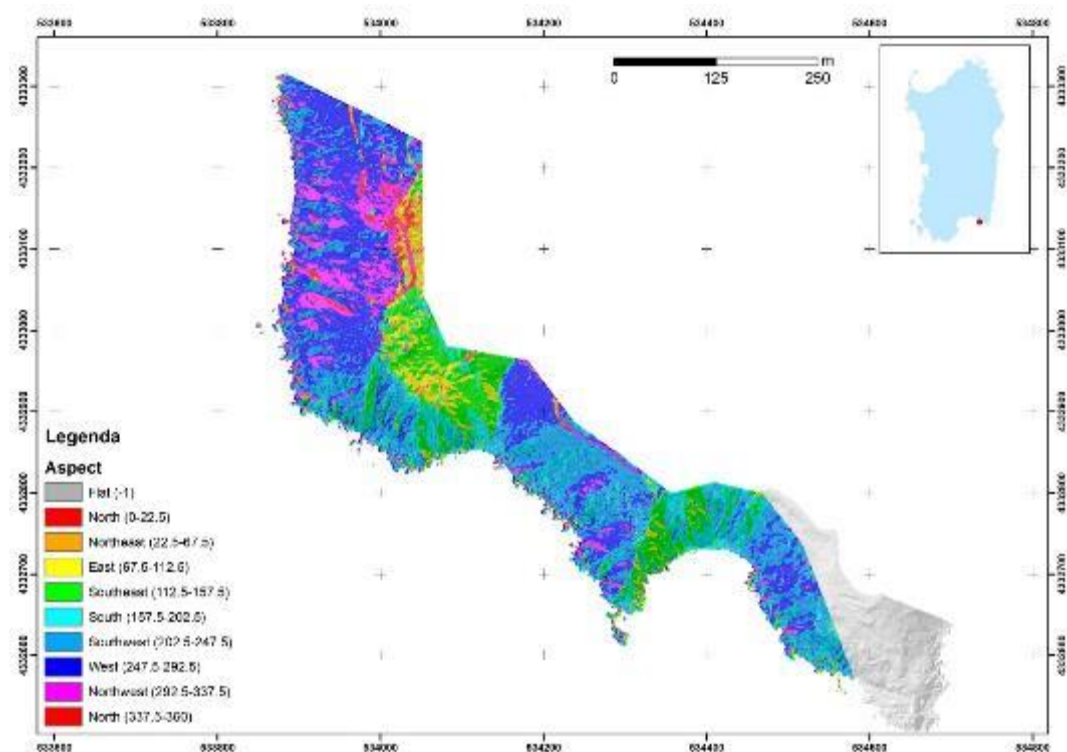


Figura 152 - Carta dell'esposizione dei versanti utilizzata per il sito pilota di Torre delle Stelle.

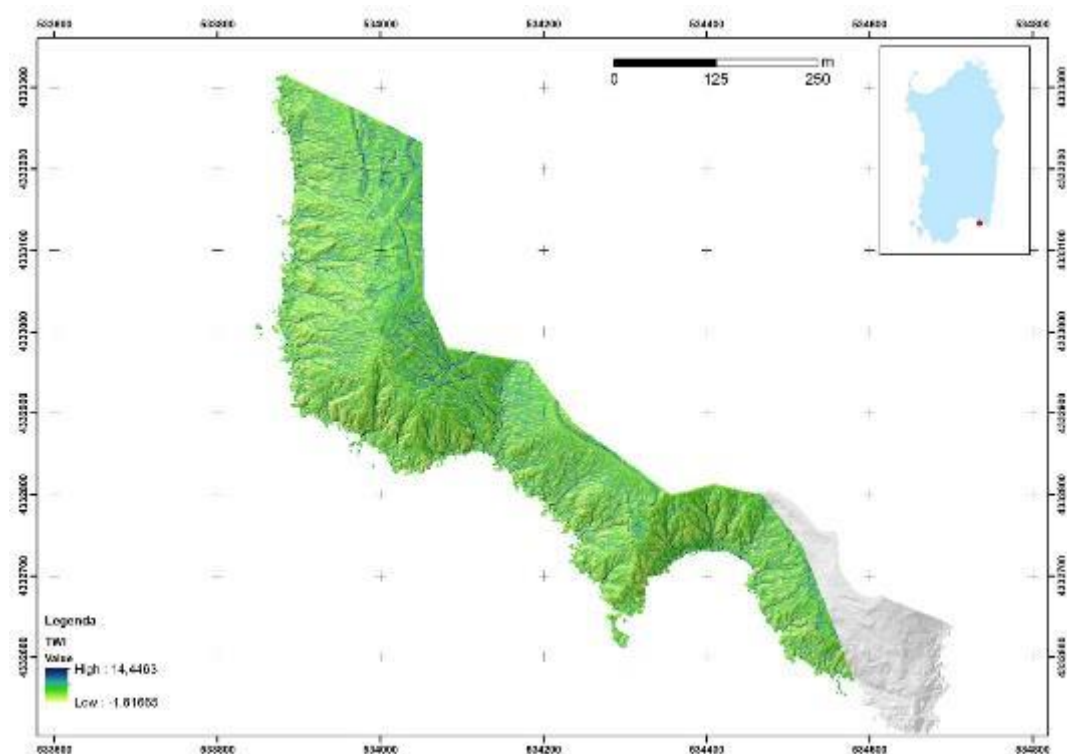


Figura 153 - Carta dell'Indice topografico TWI utilizzata per il sito pilota di Torre delle Stelle.

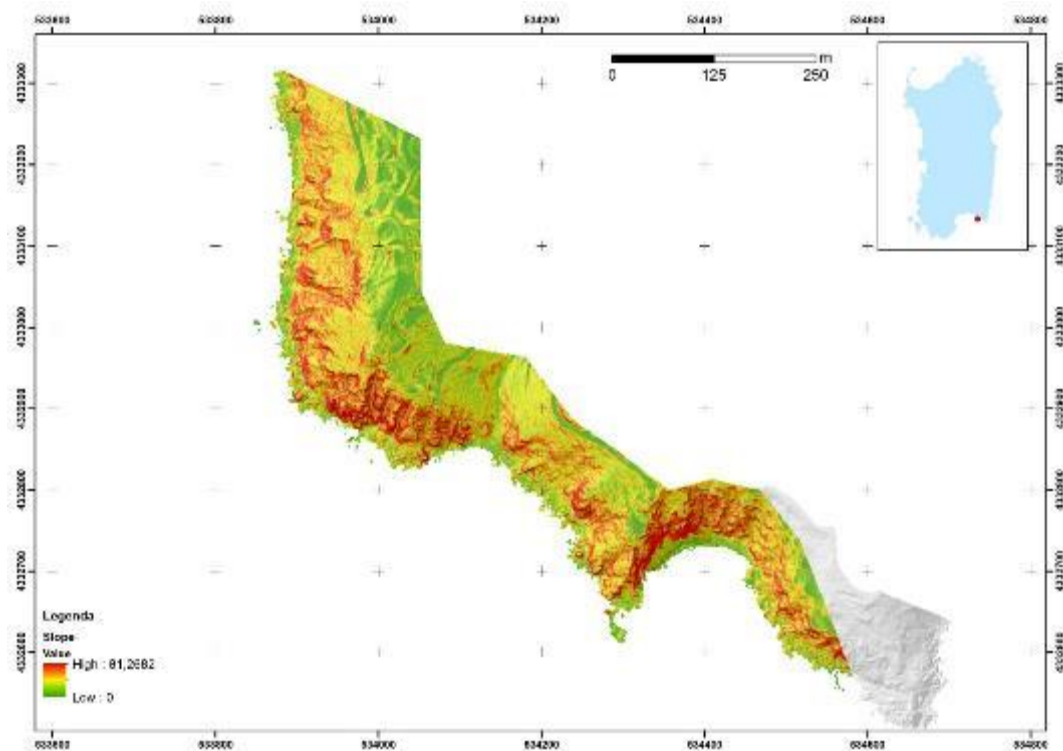


Figura 154 - Carta delle pendenze utilizzata per il sito pilota di Torre delle Stelle.

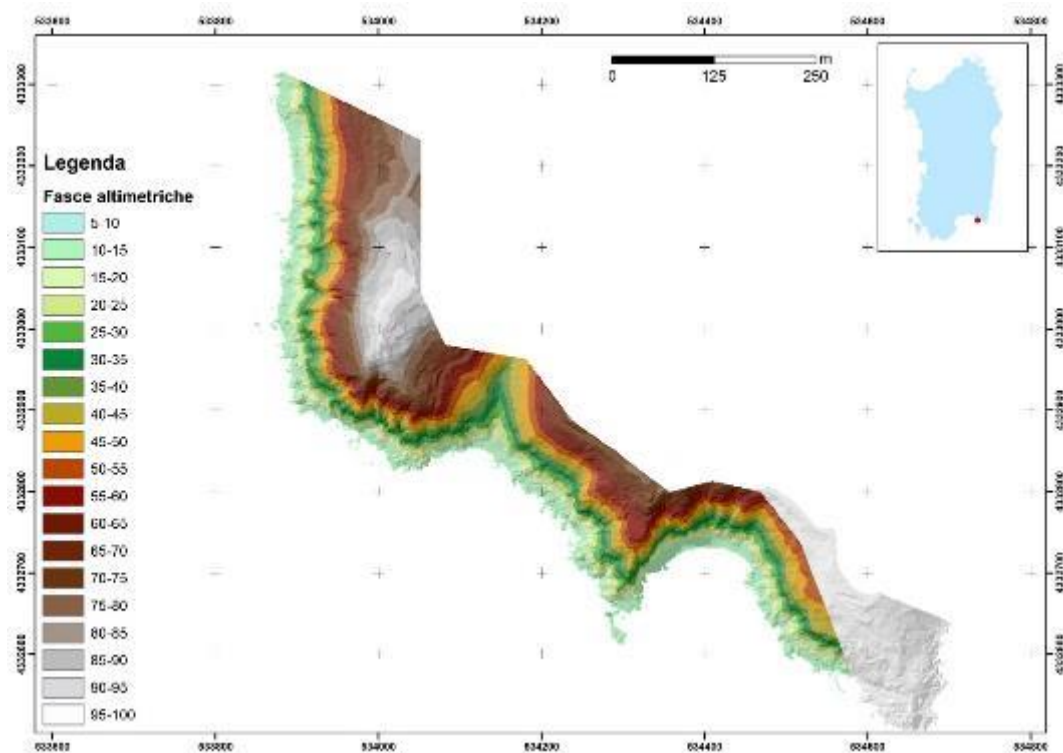


Figura 155 - Carta delle fasce altimetriche utilizzata per il sito pilota di Torre delle Stelle.

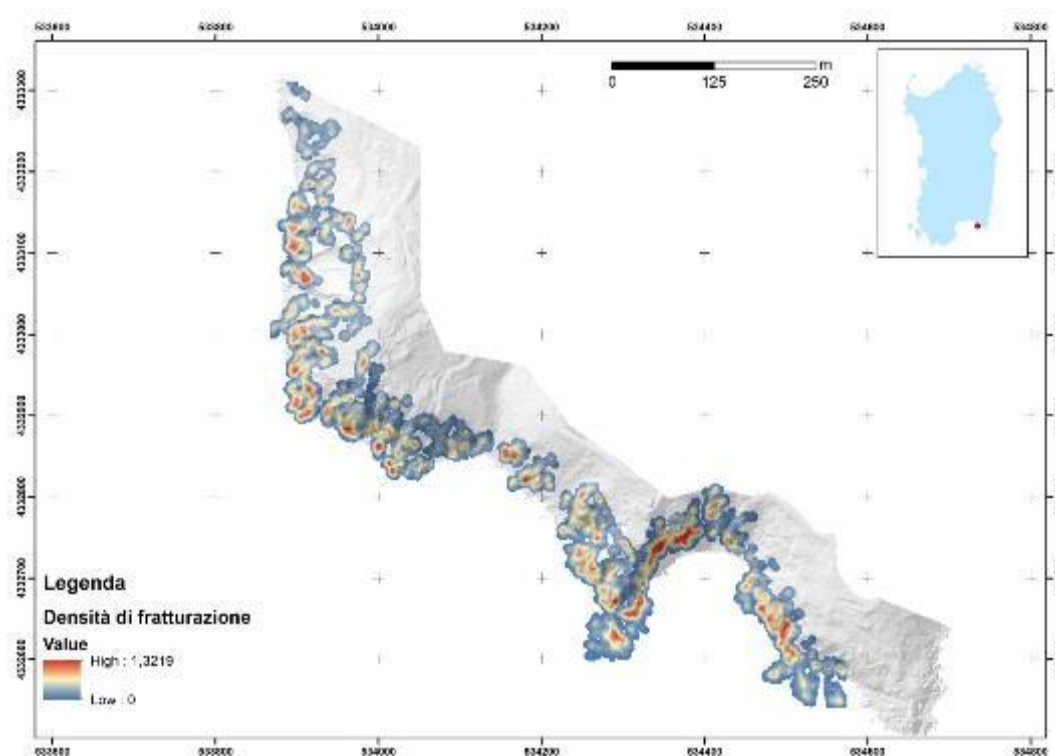


Figura 156 - Carta della densità di fratturazione utilizzata per il sito pilota di Torre delle Stelle.

Risultati e discussione

Ciascuna delle cartografie è stata successivamente riclassificata in modo da poter applicare il calcolo del CF, i cui risultati sono di seguito illustrati per dataset

Dataset Geologia

La carta geologica riclassificata è stata convertita in *raster* con passo 1 m (uguale a quello del DTM in uso). Applicando le formule su menzionate, si è ottenuto un nuovo strato informativo che rappresenta essenzialmente la carta geologica dell'area di studio riclassificata in termini del valore. Per ogni formazione geologica è stato calcolato il corrispondente valore del CF così come riportato nella tabella 41 e nella relativa rappresentazione cartografica (Figura 157).

Classe	Sigla	CF
1	a1a	-0,95
2	GEAc	0,55
3	fb	0,43
4	h1	-1,00
5	GEAb	0,63
6	GEAa	-1,00
7	a1c	0,17
8	g2	-1,00
9	a	-0,96
10	fc	-1,00
11	GEAalt	-0,47
12	fa	-1,00

13	fg	0,69
14	b2	-1,00

Tabella 42 - Valori del CF calcolato per il dataset Geologia.

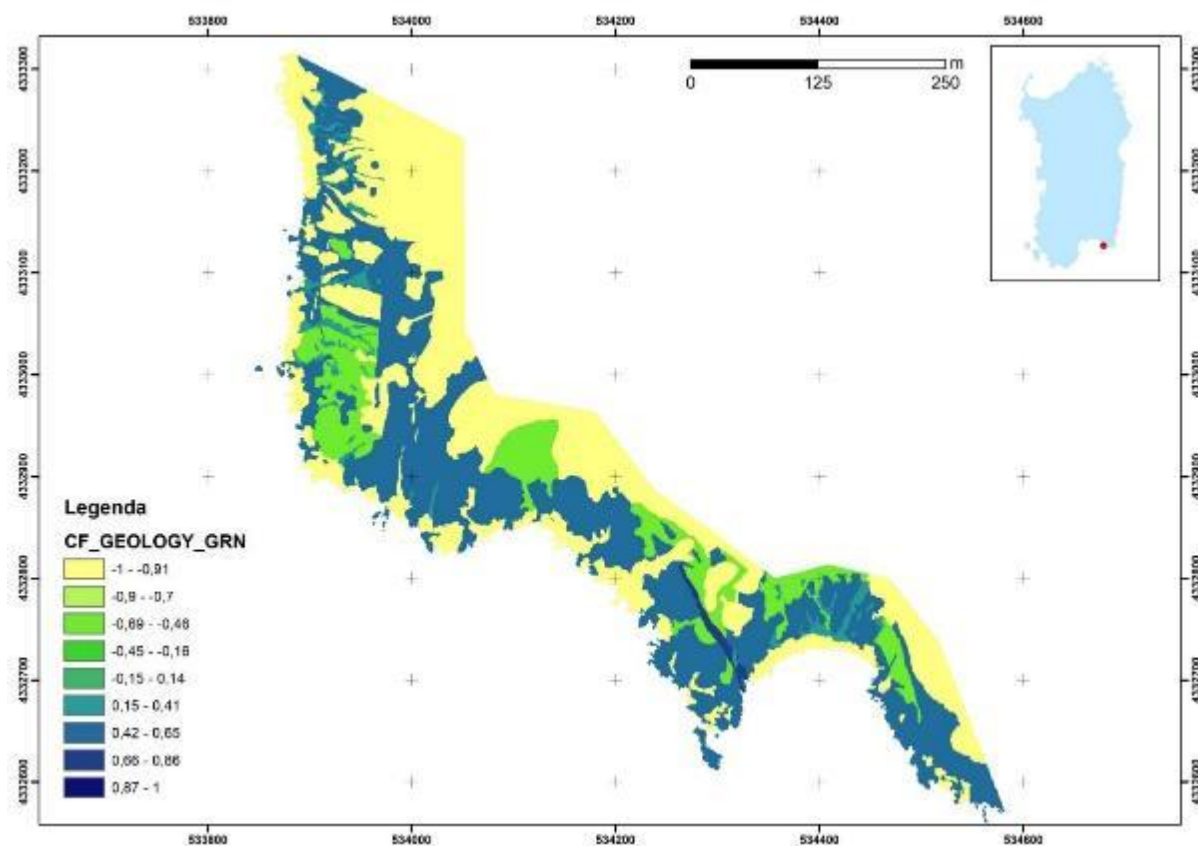


Figura 157 – Distribuzione del CF calcolato per il dataset Geologia.

Dataset Unità Geomeccaniche

Le unità geomeccaniche sono state accorpate sulla base del valore dell'indice SMR come in tabella 43 ed hanno prodotto la carta in Figura 158.

Valore SMR	Classe	CF
57.38	1	0,78
50.24	2	0,72
na	3	-0,95
52.20	4	0,51
30.57	5	0,22
46.31	6	0,69
32.64	7	-0,55

Tabella 43 - Valori del CF calcolato per il dataset Unità Geomeccaniche.

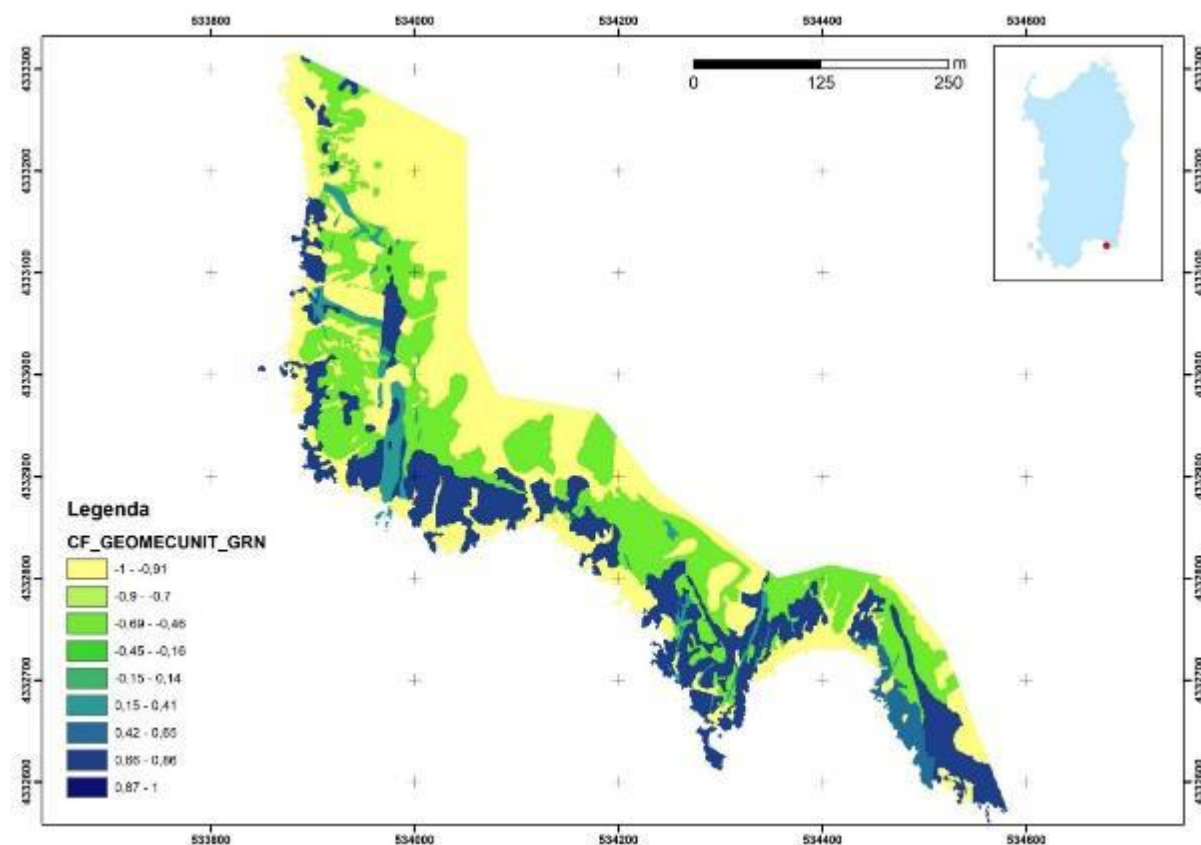


Figura 158 - Distribuzione del CF calcolato per il dataset Unità Geomeccaniche

Dataset Pendenze

La pendenza dei versanti si calcola in maniera automatica sul DTM in uso e viene calcolata pixel per pixel. Tale carta è stata riclassificata infine in 6 classi. Effettivamente, come ci si può aspettare, il valore del CF cresce positivamente al crescere della pendenza (Tabella , Figura 159). Viceversa, le zone pianeggianti o sub-pianeggianti mostrano un valore del CF negativo.

Intervallo (°)	Classe	CF
0 - 13,06	1	-0,99
13,06 - 24,85	2	-0,93
24,85 - 34,74	3	-0,74
34,74 - 43,98	4	-0,04
43,98 - 55,13	5	0,62
55,13 - 100	6	0,84

Tabella 44 - Valori del CF calcolato per il dataset Pendenze.

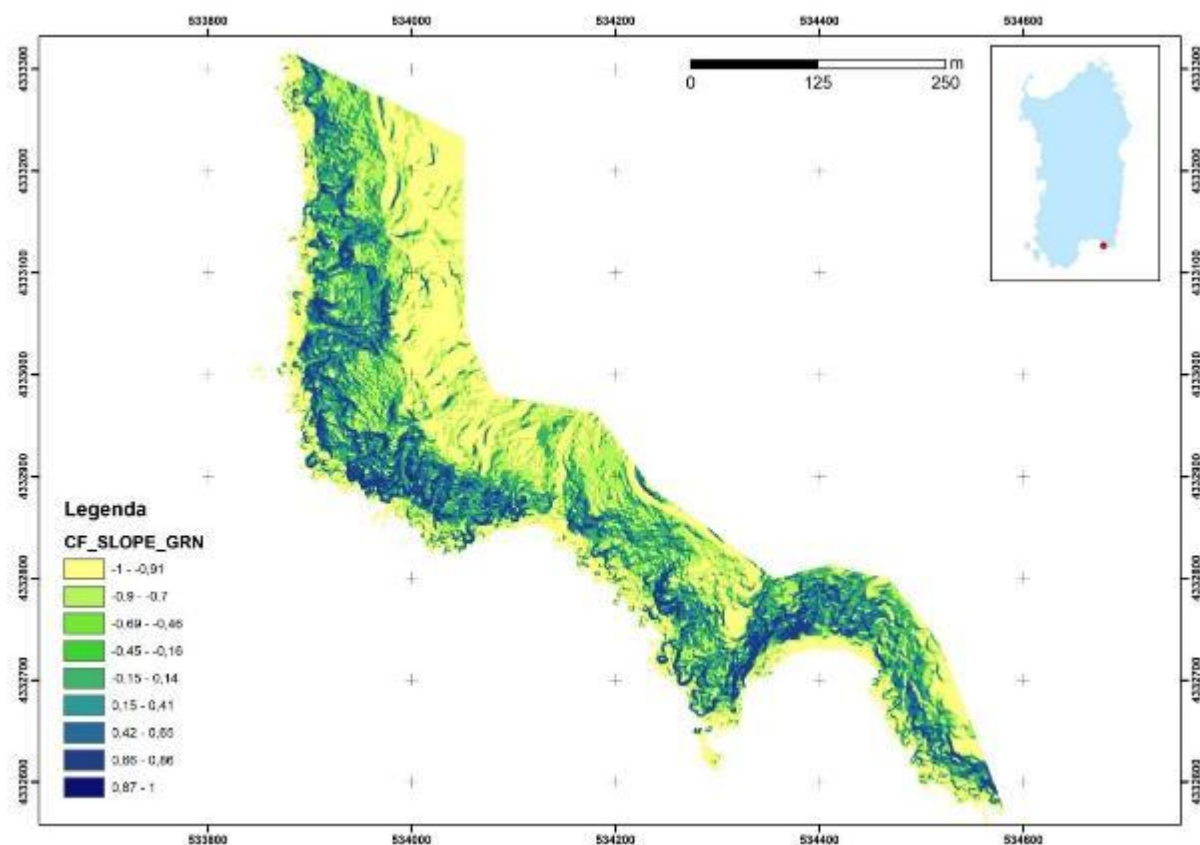


Figura 159 - Distribuzione del CF calcolato per il dataset Pendence.

Dataset Indice Topografico TWI

L'indice topografico individua le zone di concentrazione d'acqua e quindi indica la tendenza di una cella a produrre ruscellamento, in quanto le aree con alta concentrazione d'acqua sono le più soggette a divenire sature. Il calcolo di questo indice è stato effettuato secondo la formula di Beven e Kirkby (1979). Più alto è il valore di questo indice nella cella e più grande è la quantità di acqua che può essere trovata nella cella stessa. L'elaborazione ottenuta è stata riclassificata in 8 classi per ciascuna delle quali è stato effettuato il calcolo del CF (tabella 45 Figura 160).

Classe	CF
1	0,59
2	0,09
3	-0,27
4	-0,40
5	-0,38
6	-0,55
7	-0,82
8	-0,99

Tabella 45 - Valori del CF calcolato per il dataset Indice Topografico.

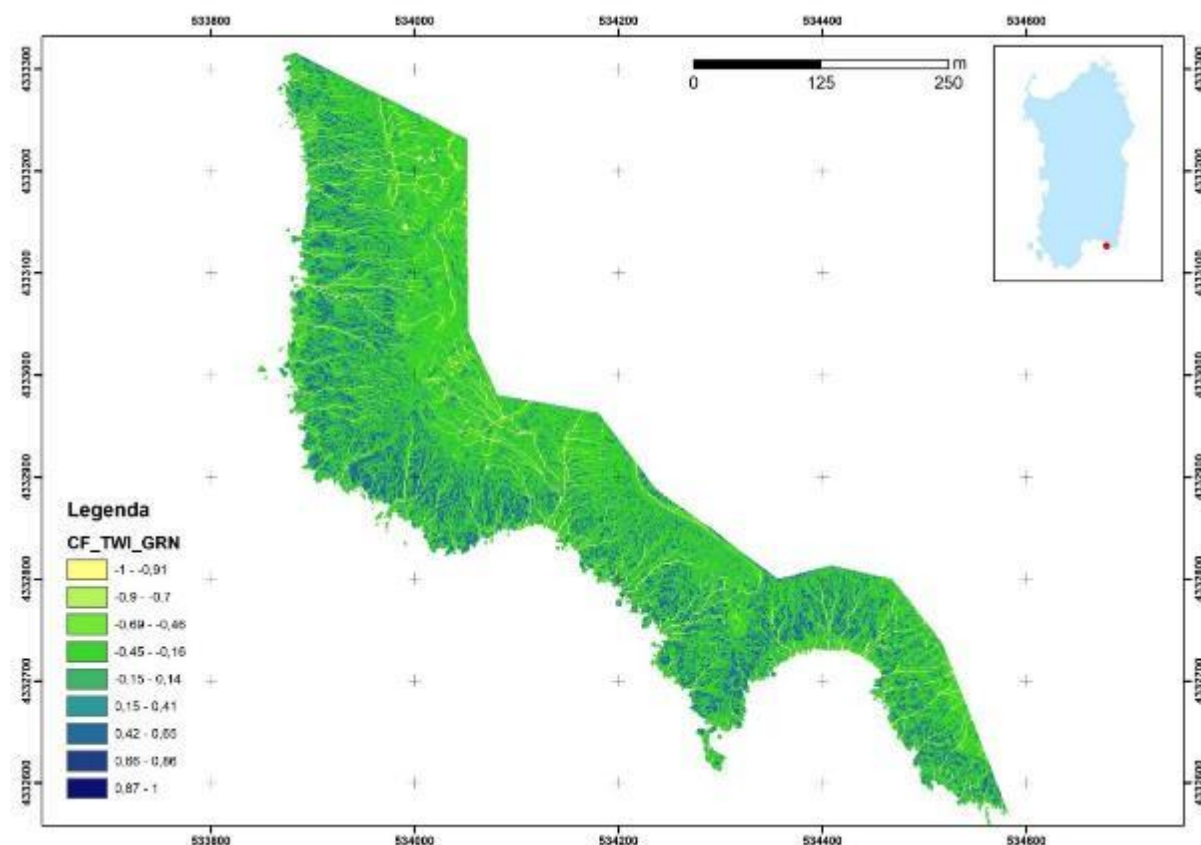


Figura 160. Distribuzione del CF calcolato per il dataset Indice Topografico

Dataset Fasce Altimetriche

L'area di studio è stata suddivisa in fasce altimetriche da 5 m calcolando per ognuna di esse il relativo CF e cercare di verificare l'esistenza di una relazione tra i dissesti e la quota assoluta sul livello del mare (Tabella 46, Figura 161).

Intervallo (m)	Classe	CF
0-5	1	-1,00
5-10	2	-0,92
10-15	3	0,37
15-20	4	0,70
20-25	5	0,64
25-30	6	0,59
30-35	7	0,50
35-40	8	0,34
40-45	9	0,12
45-50	10	-0,15
50-55	11	-0,19
55-60	12	-0,18
60-65	13	-0,56
65-70	14	-0,79
70-75	15	-0,82

75-80	16	-0,85
80-85	17	-0,84
85-90	18	-1,00
90-95	19	-1,00

Tabella 46 - Valori del CF calcolato per il dataset Fasce Altimetriche.

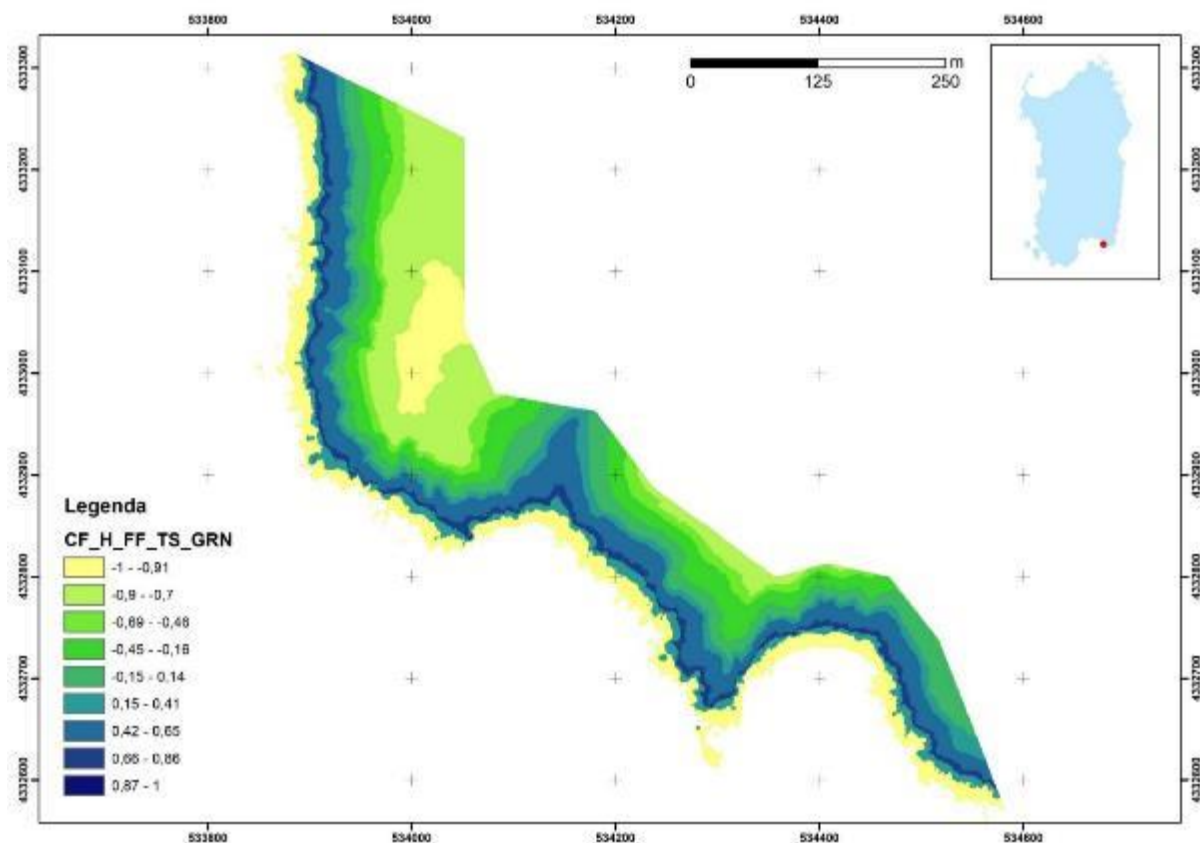


Figura 161 - Distribuzione del CF calcolato per il dataset Fasce Altimetriche

Dataset Densità di fratturazione

La disponibilità di una cartografia della fratturazione dell'area di studio ha consentito di realizzare mediante interpolazione una cartografia derivata riguardante la densità della fratturazione, ovviamente limitando il calcolo alle sole formazioni rocciose effettivamente fratturate. Appare interessante notare come i valori del CF più alto si attestano in prossimità delle zone fratturate (Figura , Tabella).

Classe	CF
1	-0,79
2	0,82
3	0,89
4	0,93
5	0,94

Tabella 47 - Valori del CF calcolato per il dataset Densità di fratturazione.

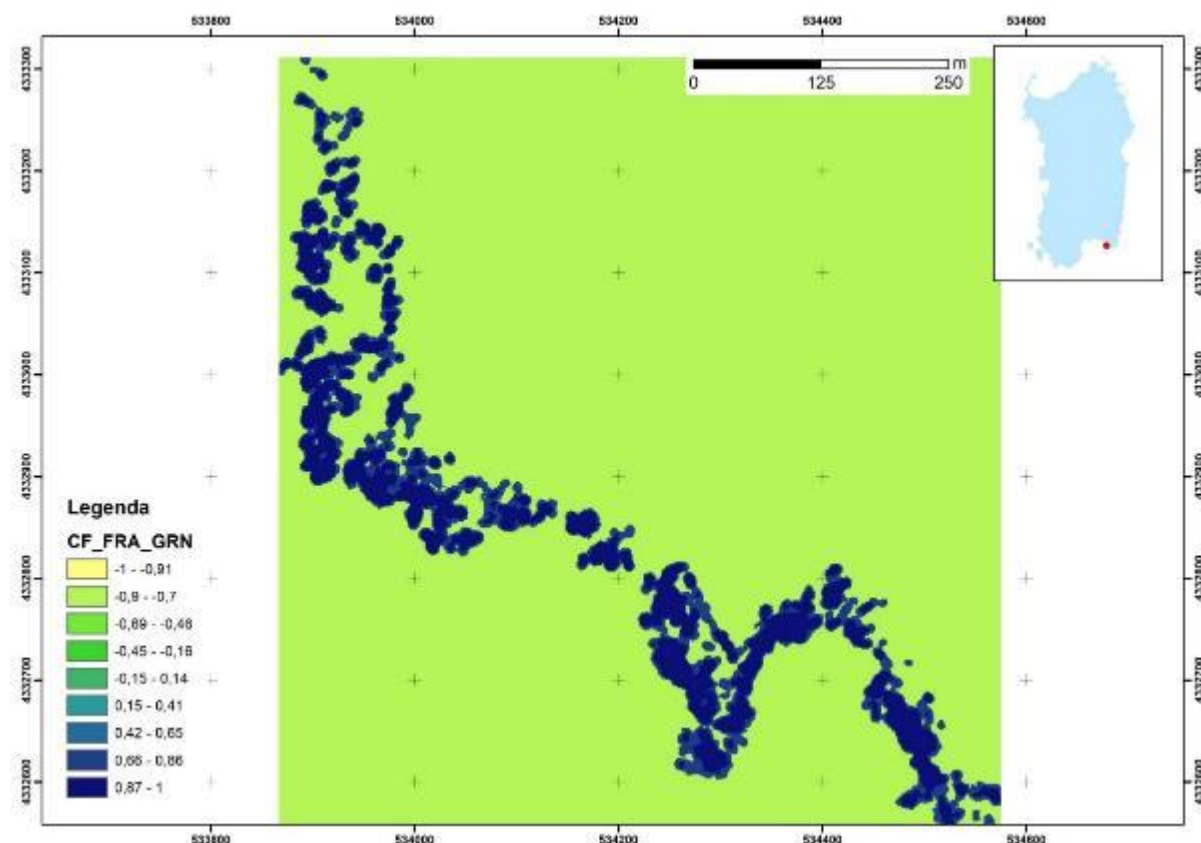


Figura 162 - Distribuzione del CF calcolato per il dataset Densità di Fratturazione

Integrazione dei dataset

I CF ottenuti sono stati integrati a coppie secondo la tecnica descritta in precedenza (l'ordine con cui avviene il procedimento di integrazione non è influente) ottenendo una carta di suscettività al dissesto o di instabilità potenziale in 6 classi di seguito rappresentata nella Figura 163.

La carta di suscettività ottenuta è in prima istanza un prodotto che per definizione possiede degli areali in cui la potenzialità del dissesto è incerta, non può essere determinata: si tratta delle aree della classe 3. Per queste aree il valore del CF risultato finale delle operazioni di integrazione è prossimo allo 0 e come tale non ha margini di affidabilità dal punto di vista statistico. Si può ipotizzare che il considerare ulteriori fattori nella catena di elaborazione possa ridurre ulteriormente le incertezze di queste aree, per altro superficialmente non elevate.

Per poter procedere a una validazione del prodotto ottenuto, si è proceduto a verificare se le classi di massima instabilità calcolata coincidessero con il set di dati non utilizzati come input nel modello, fornendo dei risultati buoni e incoraggianti: nelle classi di suscettività 1 e 2 rientrano poco più del 12% dei pixel, mentre nelle classi di instabilità 4-5-6 ricadono oltre l'87% dei dati come mostrato nel grafico della Figura 164.

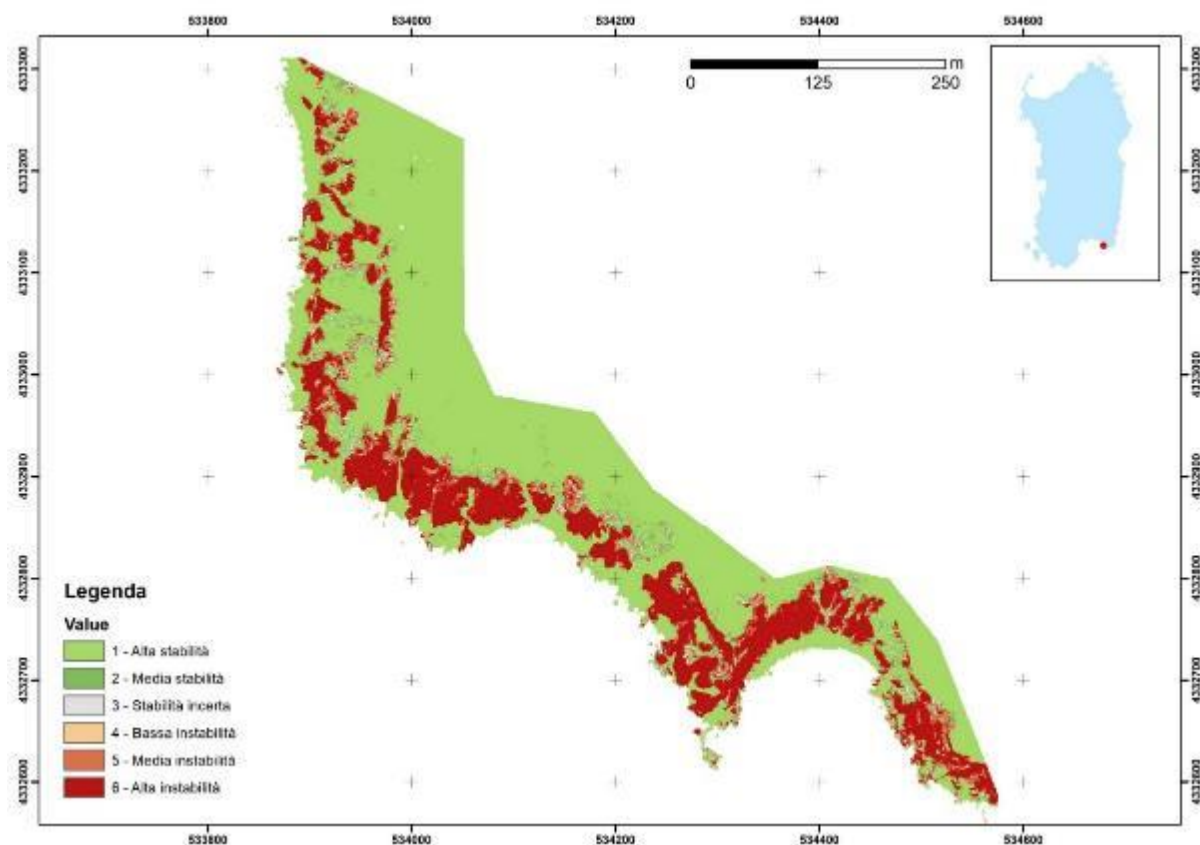


Figura 163 – Carta della suscettività da frana calcolata per il sito pilota di Torre delle Stelle.

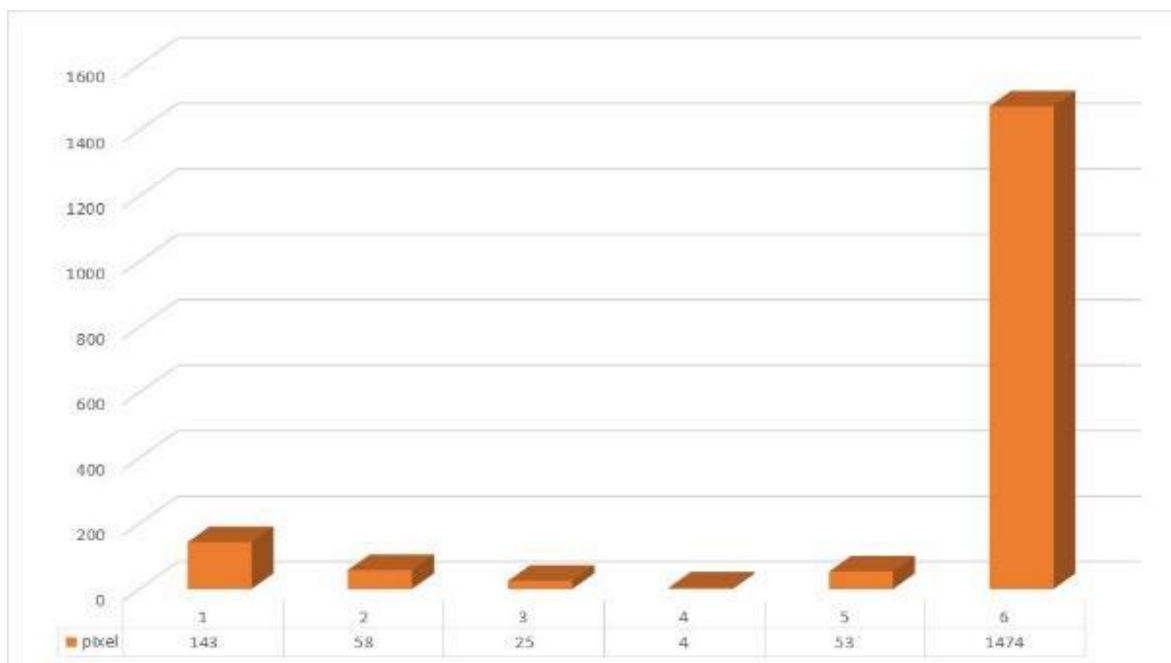


Figura 164 – Rapporto di validazione della carta di suscettività da frana: nelle classi 4-5-6 sono ricompresi oltre l'87% dei dati.

Zonazione della pericolosità basata sulla modellazione dei crolli

La modellazione dei crolli è stata realizzata attraverso l'utilizzo del software RockyFor3D. Rockyfor3D è un modello di simulazione tridimensionale che calcola le traiettorie di singoli blocchi che

cadono individualmente. Il modello è di tipo probabilistico, poiché combina algoritmi deterministici su base fisica con approcci stocastici. Rockyfor3D può essere utilizzato per simulazioni di caduta massi a scala locale e regionale. Per le simulazioni è stato utilizzato come base il DTM ad alta risoluzione costruito con fotogrammetria da drone, realizzato durante la campagna di acquisizione dati. L'area è stata suddivisa in aree con caratteristiche omogenee e su ognuna sono stati definiti gli attributi necessari per la modellazione. Come base di partenza sono state utilizzate le aree sorgente in cui sono stati individuati blocchi instabili. Queste aree rappresentano i punti da cui Rockyfor3D simula la caduta dei blocchi con moto parabolico. Per ogni area sorgente sono state effettuate simulazioni con traiettorie di caduta differenti. I dati di input sono stati determinati utilizzando dati ottenuti in situ e in laboratorio. I blocchi delle aree sorgente hanno dimensioni molto simili che non superano in nessun caso 2 mc, possiedono forma irregolare sub-sferica, raramente prismatica.

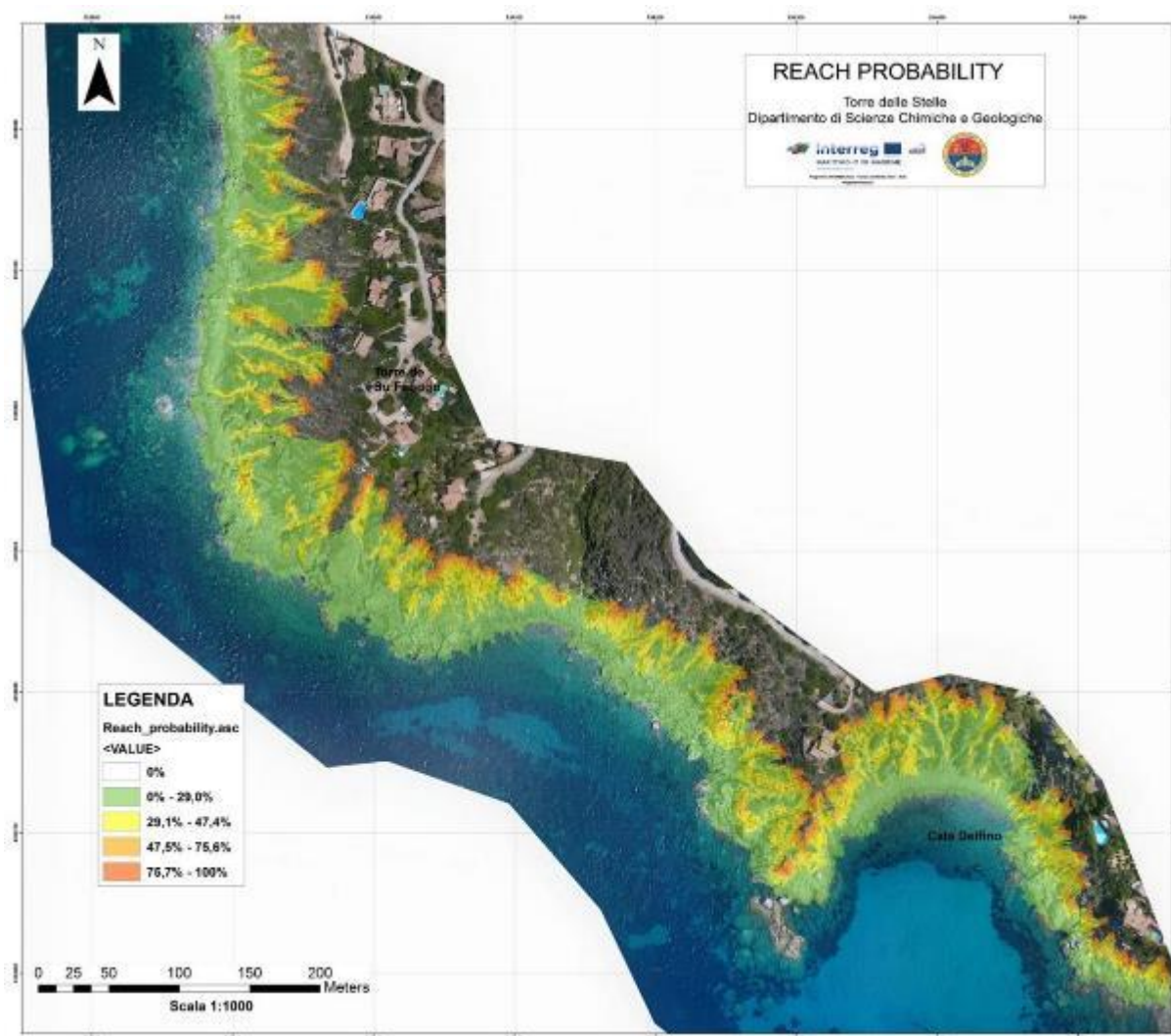


Figura 165 - Reach Probability.

Reach Probability.

La carta riportata in Figura 165 rappresenta la probabilità percentuale che i blocchi raggiungano una determinata area partendo dalle aree sorgente (Reach Probability); l'analisi ha mostrato che la probabilità è massima nelle aree in prossimità del punto di partenza dei blocchi, è elevata nei canali e nei settori più acclivi diminuisce man mano che ci si allontana dall'area sorgente, di conseguenza non tutti i blocchi potenzialmente instabili raggiungeranno la riva.

Propagation Probability.

La mappa rappresenta i percorsi lungo i quali è probabile che i blocchi si muovano una volta staccati dall'area sorgente (PropagationProbability). I percorsi più probabili si trovano in corrispondenza dei compluvi (Figura 166), evidenziando che i blocchi, durante il loro moto, seguono la morfologia del terreno e tendono a incanalarsi in determinate aree.

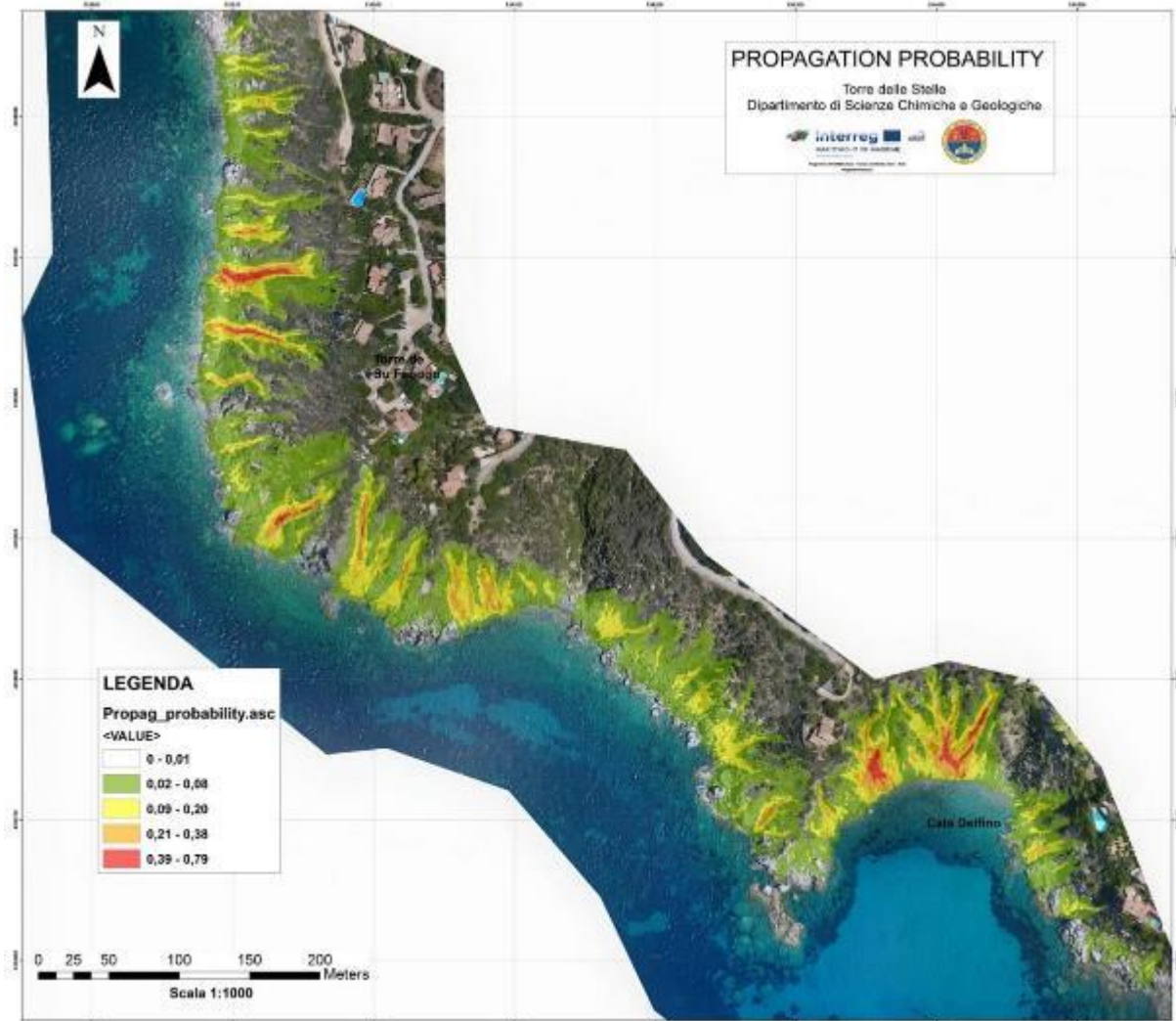


Figura 166 - Propagation Probability.

E.95CL.

La mappa E.95CL rappresenta, la massima energia cinetica che acquisiscono i blocchi durante il loro percorso, valutata per ogni cella nell'intervallo di confidenza pari al 95% del limite di confidenza (CL) di tutti i massimi di energia cinetica registrati. Il valore 95% CL è calcolato come la media dei valori massimi di energia registrati in una cella + 2*deviazione standard, assumendo una distribuzione normale (Figura 167). Il valore di E95%CL può essere considerato come il massimo valore di energia registrato in una data cella e viene utilizzato per il dimensionamento delle misure di mitigazione nelle indagini di pericolosità da frana. Questo dato è di fondamentale importanza nella determinazione dell'intensità del fenomeno e per valutare le classi di danno per il calcolo della vulnerabilità, imprescindibile per determinare il rischio frana.

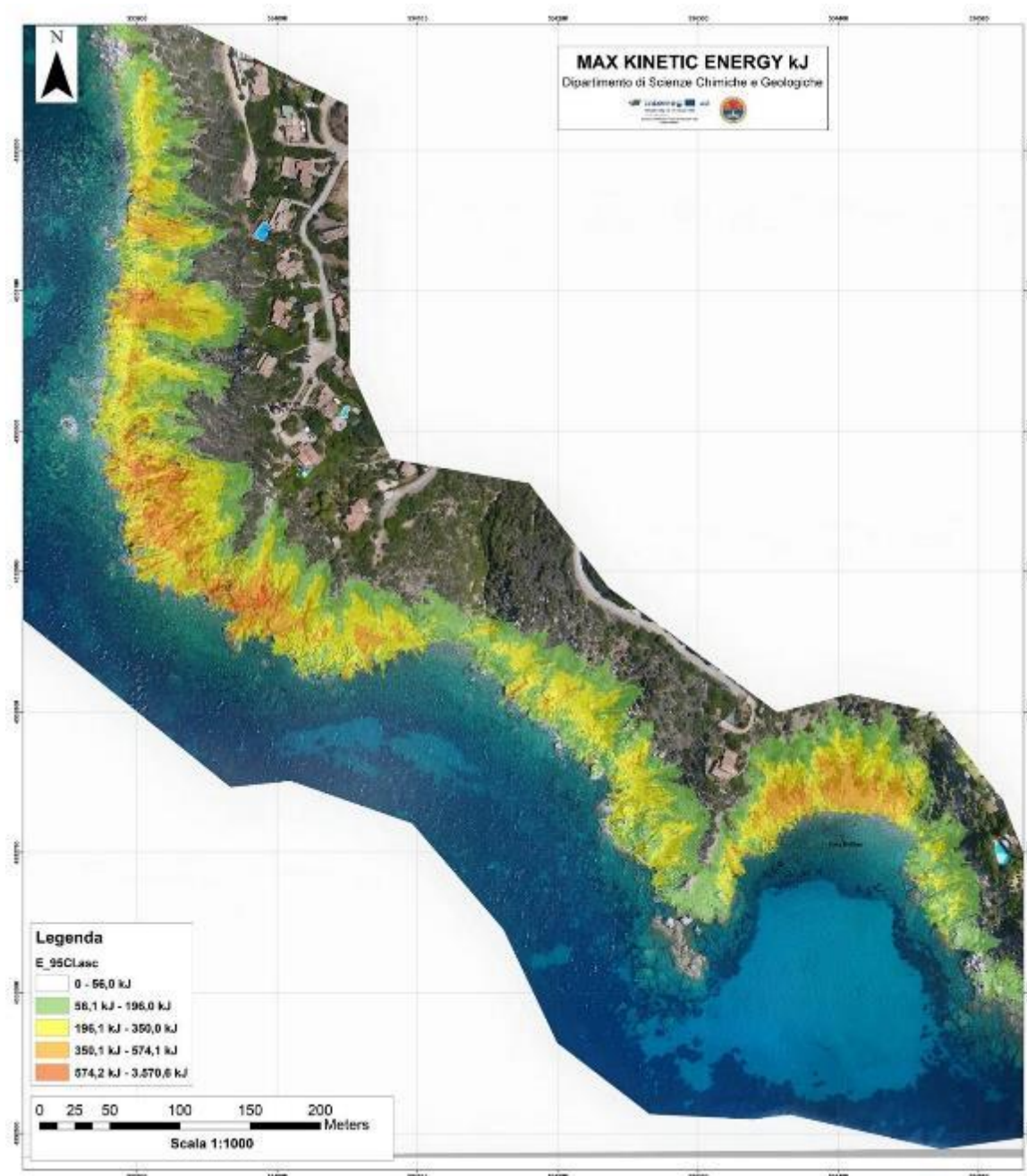


Figura 167 - Max Kinetic Energy.

Zonazione della Pericolosità.

La zonazione della pericolosità (Figura 168) basata sulla modellazione dei crolli è stata determinata attraverso l'elaborazione di cinque mappe con il metodo dell'*overlay mapping*: la probabilità di arrivo, la probabilità di propagazione e l'energia cinetica dei blocchi. I valori dei parametri di ogni carta per ogni cella sono stati classificati in 5 classi di pericolosità da 0 a 5. Sono stati sommati i punteggi di ogni carta ed i valori ottenuti sono stati riclassificati da 0 a 5 per la creazione della carta di pericolosità finale. Per la creazione dell'output sono stati sommati i punteggi della Reach Probability, Propagation Probability, E.95CL (l'intervallo di confidenza pari al 95% (CI) di tutti i massimi di energia cinetica). Le aree in rosso rappresentano quelle con una pericolosità molto elevata (da 0,75 a 1) e sono concentrate allo sbocco dei principali compluvi e nella parte più occidentale della cala lungo il versante fino alla sua base; le aree in arancione presentano una pericolosità elevata (da 0,50 a 0,75) e sono situate nei pressi dei compluvi e sotto le falesie. Le aree occupate dagli accumuli di crollo con pericolosità media (0,25 –

0,50) sono rappresentata in giallo, mentre quelle con pericolosità bassa sono rappresentate in verde (da 0 a 0,25).

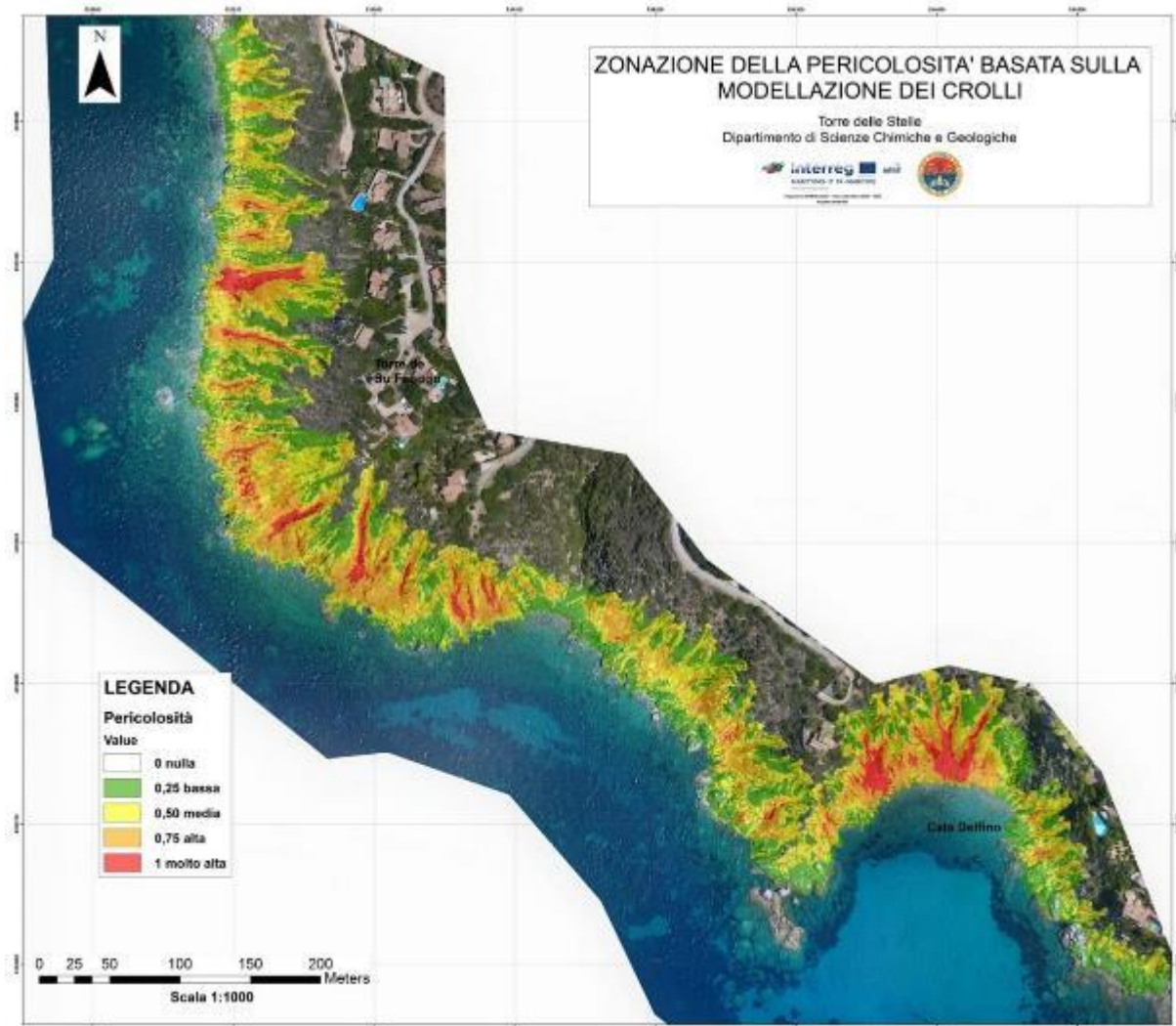


Figura 168 - Zonazione della pericolosità basata sulla modellazione dei crolli.

è già descritto nel paragrafo precedente 5.3

6.2 RISCHIO COSTIERO A BREVE TERMINE

Rischio da mareggiata

Effetti del moto ondoso sulle spiagge

Frangimento

Lo studio della propagazione del moto ondoso verso riva ha permesso di analizzare i profili ondosi e conseguentemente il fenomeno del frangimento per i vari paraggi. L'analisi è stata condotta per diversi profili (Figura 169) ed in particolare per transetti ortogonali alla linea di riva e prolungati fino ad una profondità di circa -12m. Per lo studio del frangimento è stato preso in considerazione il caso di attacco ondoso da una direzione a largo di 180°. Il tempo di ritorno considerato è di 50 anni.

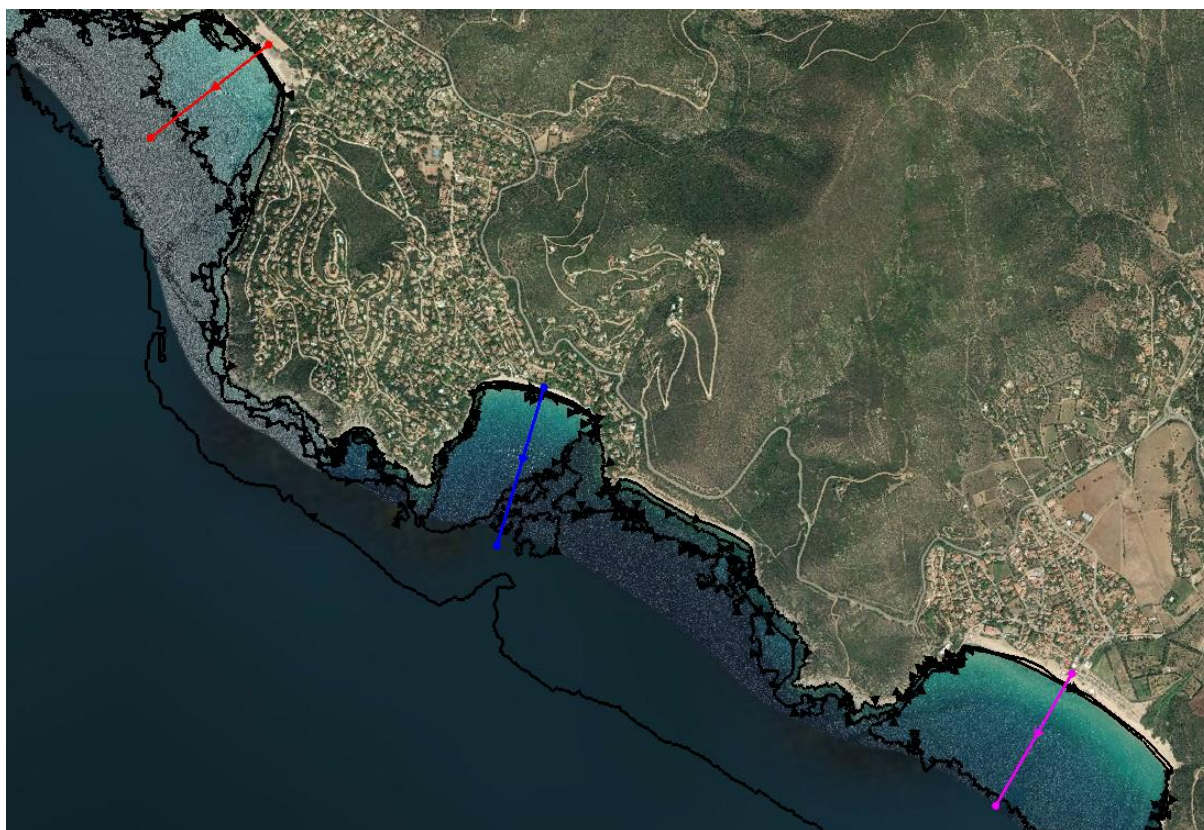


Figura 169 - Profili indagati per analisi del frangimento, rispetto alle aree evidenziate dal rilievo geomorfologico (nero)

Per quanto riguarda i modelli di Iribarren e quello australiano di Wright & Short, tutte le spiagge in esame, in tutti i casi analizzati caratterizzati da diverse direzioni di moto ondoso e tempi di ritorno, sono classificabili come spiagge dissipative con frangenti di tipo *spilling* (di scivolamento), tipica di spiagge composte da granulometria fine, ad elevata ondazione e breve periodo, come spesso accade nelle baie. La morfologia di questo tipo di spiagge in genere si caratterizza per la presenza di un'ampia zona di *swash* a basso gradiente e di un'ampia fascia di frangenza con dissipazione massima dell'onda entro una fascia di 300-500 m. Il trasporto dei sedimenti è elevato, ma la morfologia risulta relativamente stabile, con minime variazioni di profilo. Tuttavia, come dimostrano le analisi morfodinamiche, le spiagge possono assumere una lieve conformazione intermedia, specie per la generazione di serie di barre e truogoli longshore e ritmiche.

Cann'e Sisa

Per la spiaggia in esame si nota come il fenomeno del frangimento, per il caso di attacco ondoso da 180°, cominci a verificarsi intorno alla batimetrica di -6.5÷-7.0 m, per poi proseguire fino a riva con onde frangenti sempre minori. La distanza da riva a cui si trova tale profondità è di circa 315 m, identificando in questa fascia la *surf zone*. L'ampiezza di tale fascia è caratteristica di una spiaggia di tipo dissipativo.

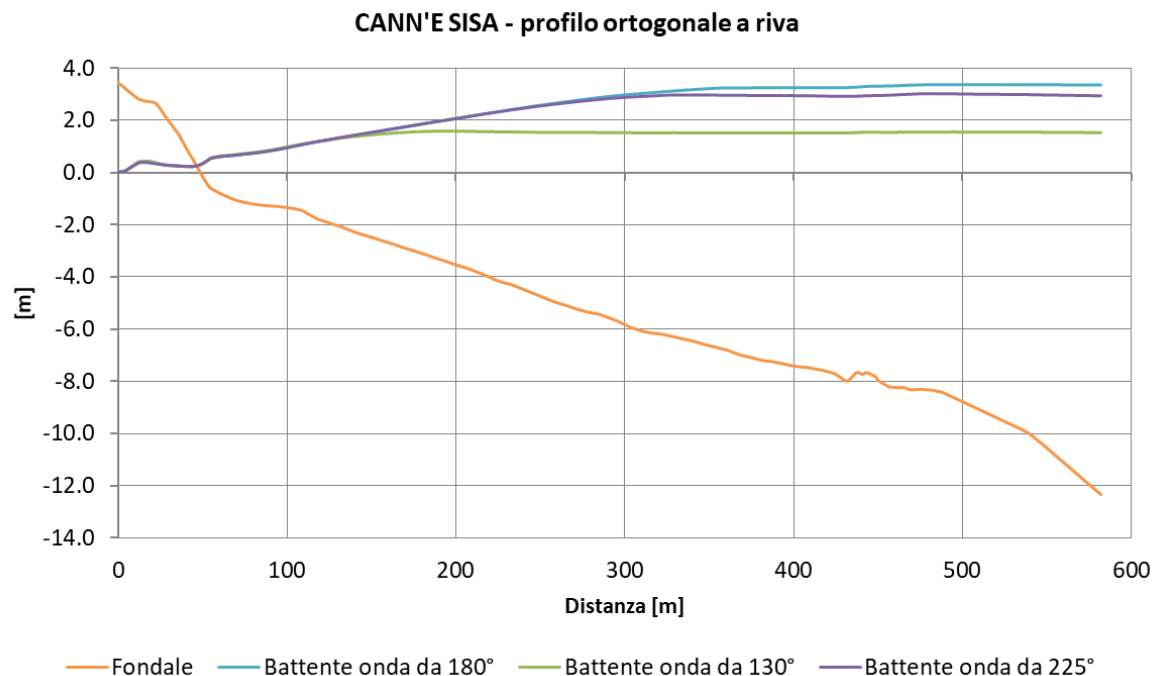


Figura 170 – Battente d'onda lungo il transetto ortogonale alla linea di riva, in confronto all'elevazione del terreno (distanza dalla spiaggia verso mare) Tr 50 - Dir. 180°



Figura 171 - Aree interessate da frangimento d'onda Tr 50 - Dir. 180°

Genn'e Mari

Per la spiaggia in esame si nota come il fenomeno del frangimento, per il caso di attacco ondoso da 180°, cominci a verificarsi intorno alla batimetrica di -8 m, per poi proseguire fino a riva con il frangimento di onde sempre minori. La distanza da riva a cui si trova tale profondità è di circa 250 m (*surf zone*). L'ampiezza di tale fascia è caratteristica di una spiaggia di tipo dissipativo.

Nel quadrante sud-orientale si nota inoltre un avanzamento verso largo dell'area interessata da frangimento. Ciò è dovuto alla presenza di un pronunciamento subacqueo delle strutture costiere, con rialzamento batimetrico del fondo roccioso, il quale provoca una concentrazione di energia, con forte aumento dell'altezza d'onda, che quindi frange più al largo in corrispondenza di batimetrie più profonde.

GENN'E MARI - profilo ortogonale a riva

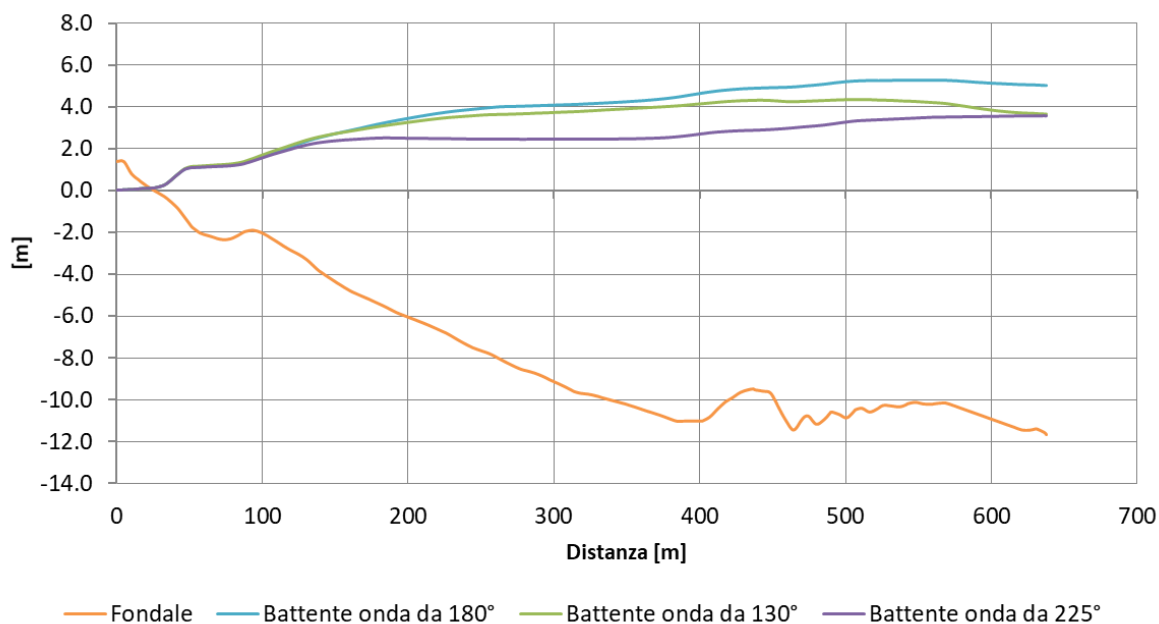


Figura 172 – Battente d'onda lungo il transetto ortogonale alla linea di riva, in confronto all'elevazione del terreno (distanza dalla spiaggia verso mare) Tr 50 - Dir. 180°

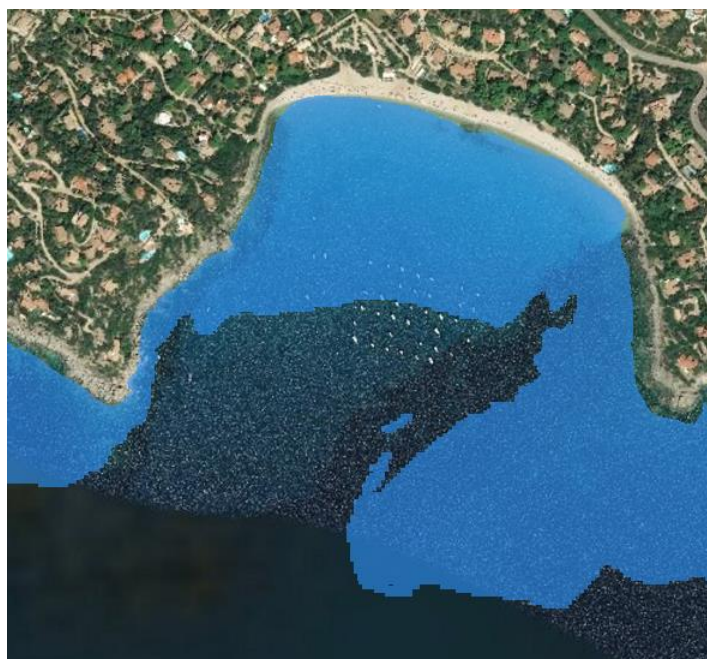


Figura 173 - Aree interessate da frangimento d'onda Tr 50 - Dir. 180°

Solanas

Per la spiaggia in esame si nota come il fenomeno del frangimento, per il caso di attacco ondoso da 180°, cominci a verificarsi intorno alla batimetrica di -8.5 m, per poi proseguire fino a riva con il frangimento di onde sempre minori. La distanza da riva a cui si trova tale profondità è di circa 300 m (surf zone). L'ampiezza di tale fascia è caratteristica di una spiaggia di tipo dissipativo.

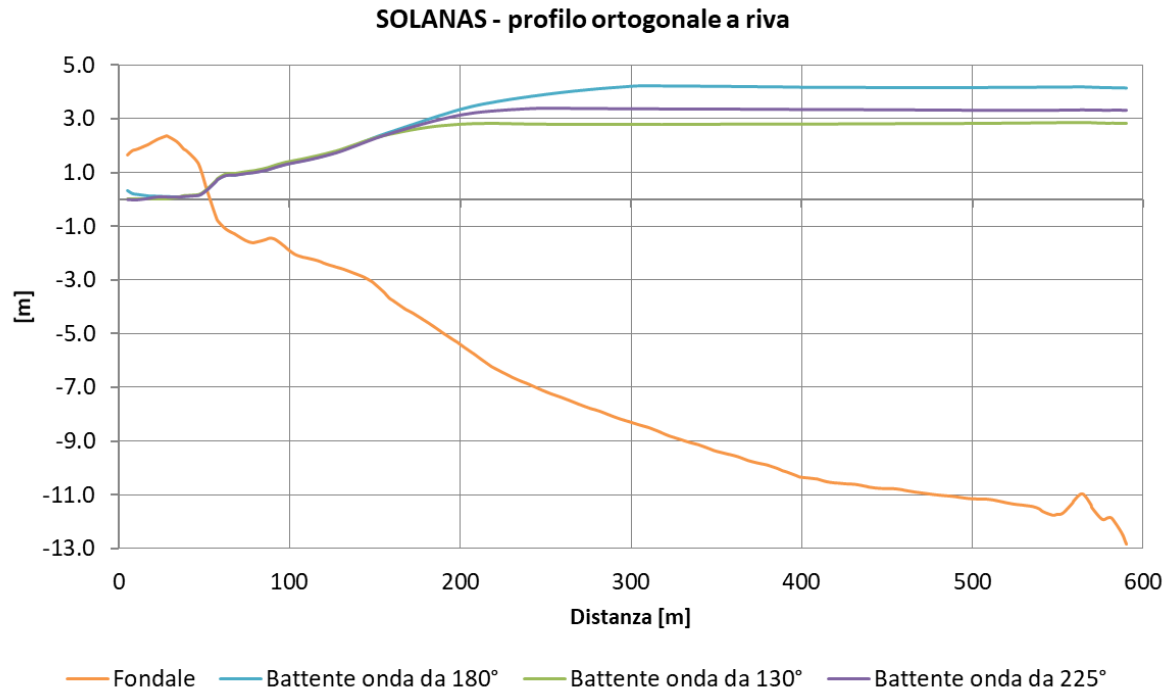


Figura 174 – Battente d'onda lungo il transetto ortogonale alla linea di riva, in confronto all'elevazione del terreno (distanza dalla spiaggia verso mare) Tr 50 - Dir. 180°



Figura 175 - Aree interessate da frangimento d'onda Tr 50 - Dir. 180°

Risalita dell'onda sulla spiaggia emersa

Lo studio della propagazione del moto ondoso verso riva ha permesso di calcolare la massima quota di risalita a riva del mare (*run-up*), di cui è indispensabile la conoscenza per valutazioni relative alla pericolosità di inondazione costiera e l'esposizione al rischio per manufatti e opere in genere. L'analisi è stata condotta per diversi profili (Figura 176) ed in particolare per transetti paralleli e prossimi alla linea di riva e per altri ad essa ortogonali, passanti per le zone di maggior inondazione della spiaggia. Per lo studio del *run-up* è stato preso in considerazione il caso di attacco ondoso che produce risultati più critici in termini di altezze d'onda, rivelatosi essere quello proveniente da una direzione a largo di 180° . Il tempo di ritorno considerato è di 50 anni.

L'estensione in pianta del fenomeno di risalita ondosa è successivamente esplicitata sia tramite viste planimetriche, che con profili longitudinali ed ortogonali alla riva.

Il battente d'onda rappresenta l'altezza massima dell'onda al di sopra dell'elevazione del fondale, mentre la massima altezza di risalita è stata calcolata sommando alle quote di elevazione del terreno l'altezza di semionda ad esso sovrastante.



Figura 176 – Profili indagati per analisi del *run-up* (rosso), rispetto alle aree evidenziate dal rilievo geomorfologico (nero)

Cann'e Sisa

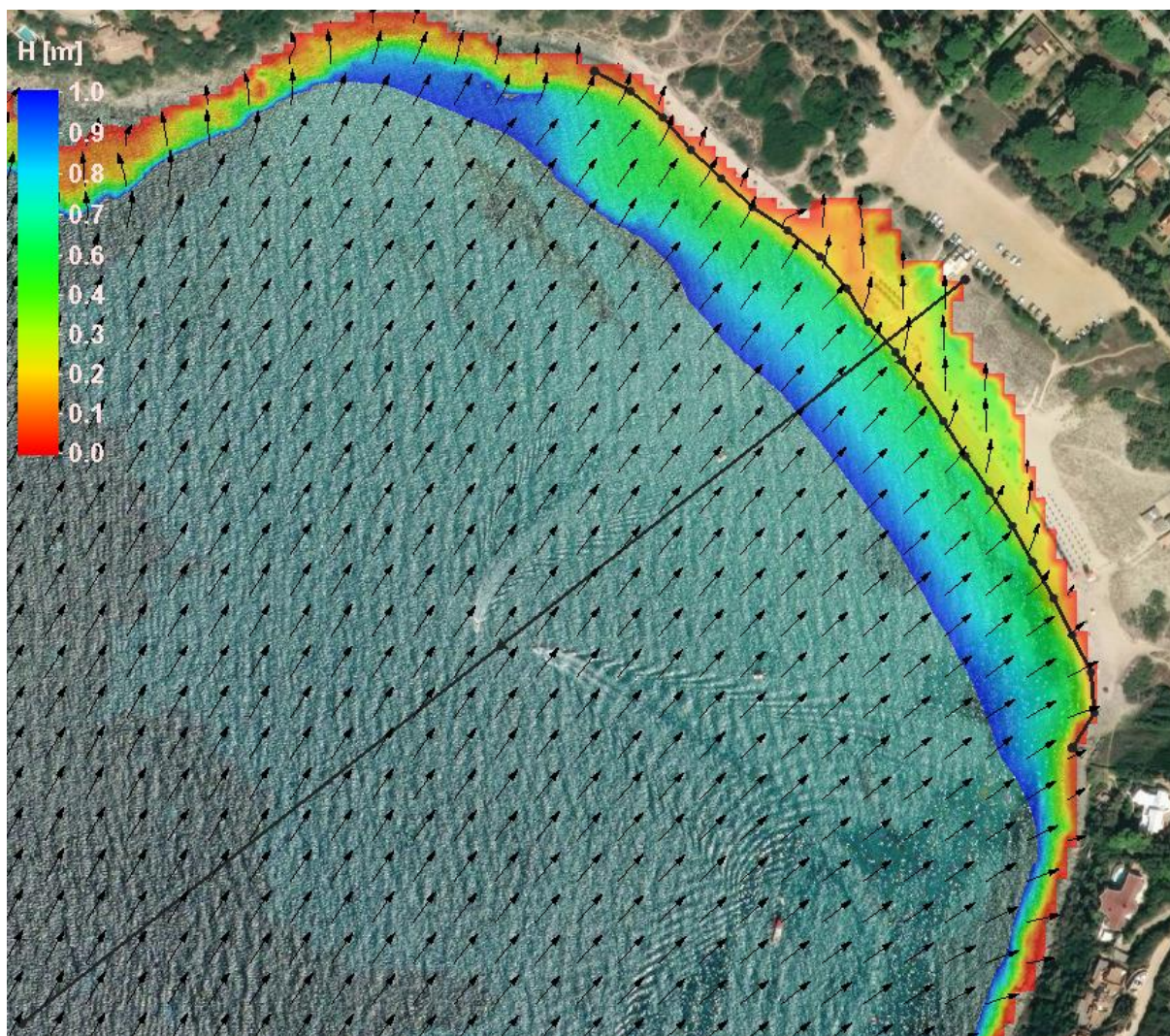


Figura 177 – Aree interessate da risalita ondosa: battente d'onda e direzione di risalita (in nero i transetti di studio). Tr 50 - Dir. 180°

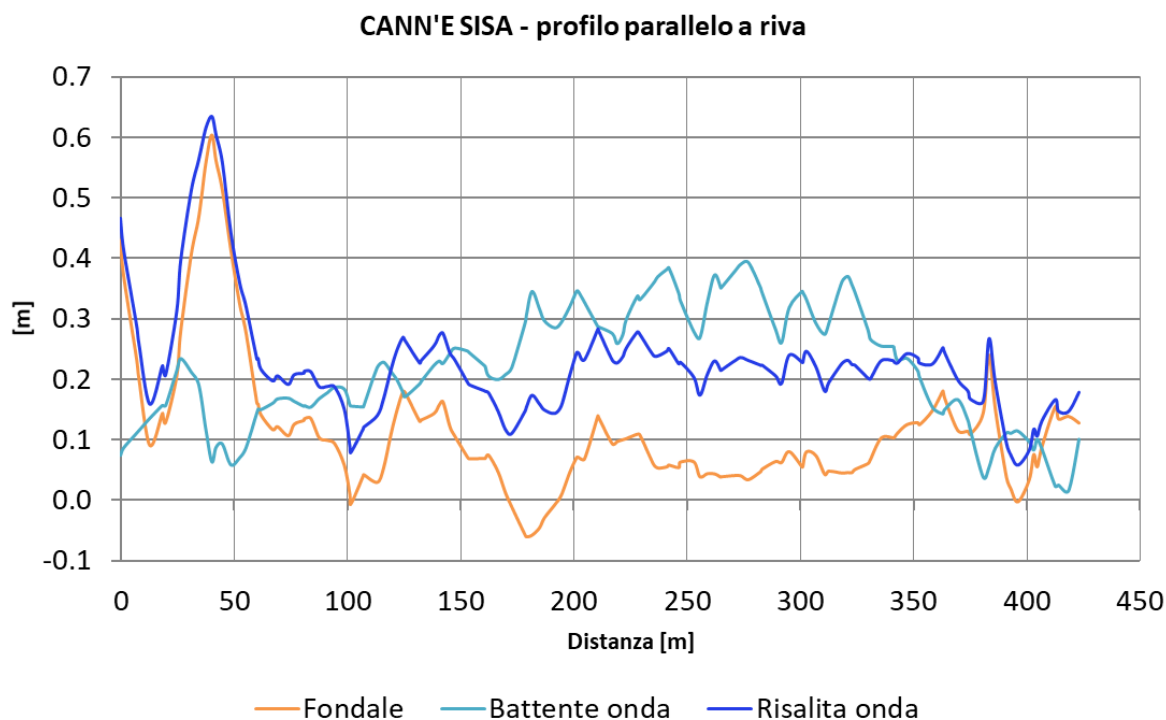


Figura 178 – Battente d'onda e altezza di risalita a riva lungo il transetto parallelo alla linea di riva, in confronto all'elevazione del terreno (distanza da ovest ad est) Tr 50 - Dir. 180°

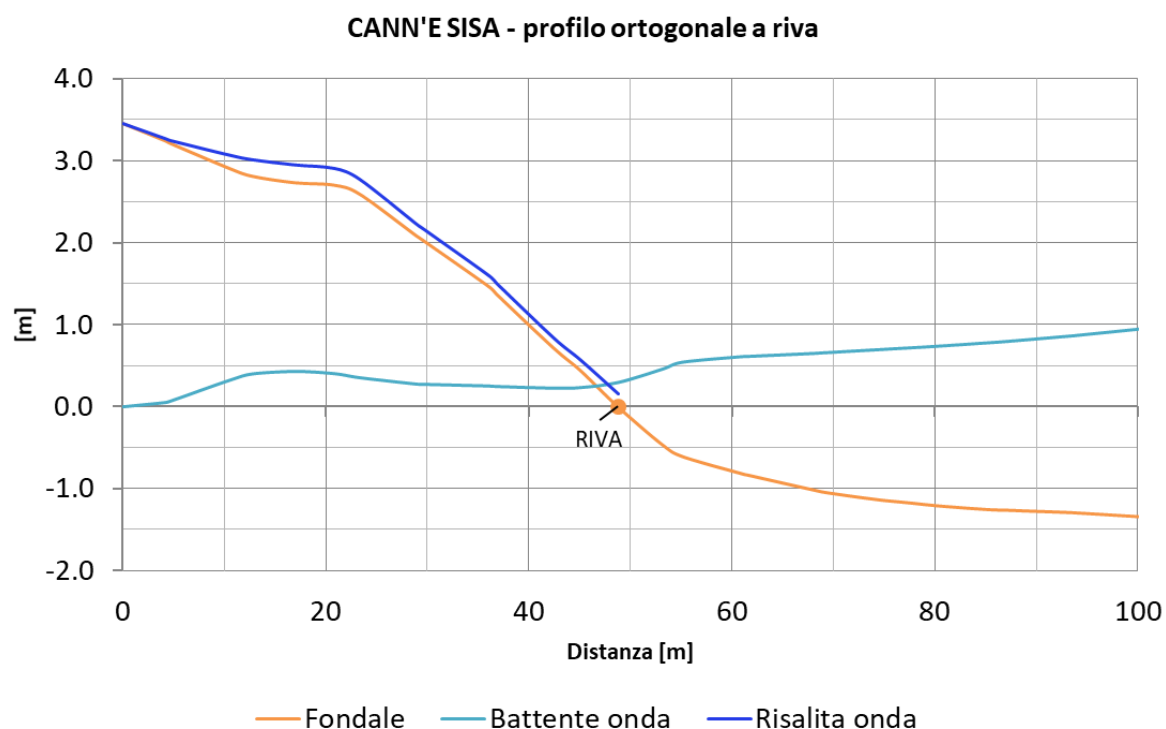


Figura 179 – Battente d'onda e altezza di risalita a riva lungo il transetto ortogonale alla linea di riva, in confronto all'elevazione del terreno (distanza dalla spiaggia verso mare) Tr 50 - Dir. 180°

Per un tempo di ritorno cinquantennale, nella situazione più gravosa di attacco ondoso da 180°, la spiaggia in esame, presso il transetto ad essa ortogonale, presenta le seguenti altezze di risalita ondosa, intesa come somma dell'elevazione del fondale e della semionda al di sopra di esso:

Tr 50		180°		130°		225°	
Distanza [m]	Elevazione [m s.l.m.]	Battente [m]	Risalita [m s.l.m.]	Battente [m]	Risalita [m s.l.m.]	Battente [m]	Risalita [m s.l.m.]
0.0	3.46	0.00	3.46	0.00	3.46	0.00	3.46
4.2	3.24	0.05	3.27	0.06	3.27	0.05	3.27
4.7	3.21	0.07	3.25	0.08	3.25	0.07	3.25
10.6	2.91	0.33	3.07	0.34	3.08	0.30	3.06
12.8	2.81	0.40	3.01	0.42	3.02	0.38	3.00
16.9	2.74	0.43	2.95	0.43	2.95	0.39	2.93
20.8	2.71	0.41	2.91	0.38	2.90	0.35	2.88
23.3	2.60	0.36	2.78	0.34	2.77	0.33	2.76
28.9	2.09	0.28	2.23	0.28	2.23	0.28	2.23
29.7	2.02	0.27	2.16	0.28	2.16	0.27	2.16
36.0	1.47	0.25	1.59	0.25	1.59	0.25	1.59
37.0	1.35	0.25	1.48	0.24	1.48	0.24	1.47
42.4	0.72	0.23	0.83	0.23	0.83	0.23	0.83
45.1	0.45	0.23	0.56	0.23	0.56	0.23	0.56
48.8	0.00	0.30	0.15	0.30	0.15	0.30	0.15

Tabella 48 - Calcolo della massima altezza di risalita (run-up)

Genn'e Mari

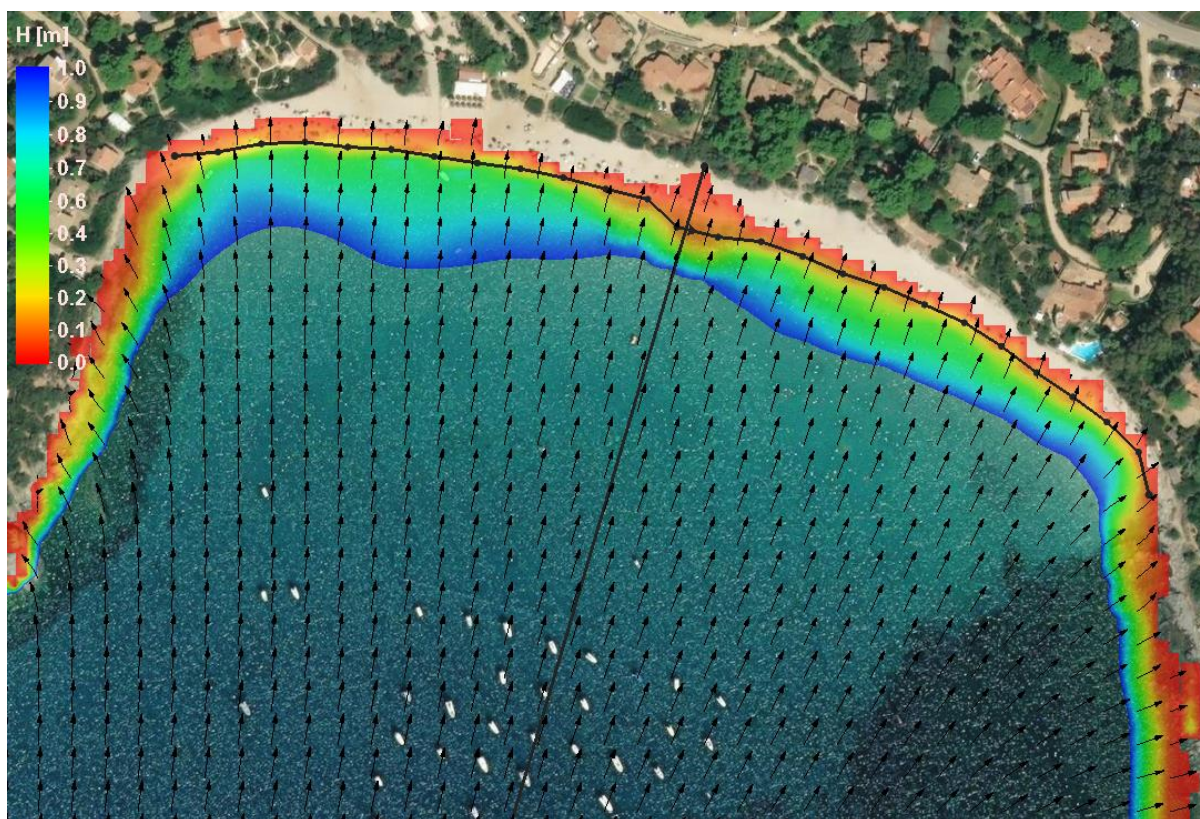


Figura 180 – Aree interessate da risalita ondosa: battente d'onda e direzione di risalita (in nero i transetti di studio). Tr 50 - Dir. 180°

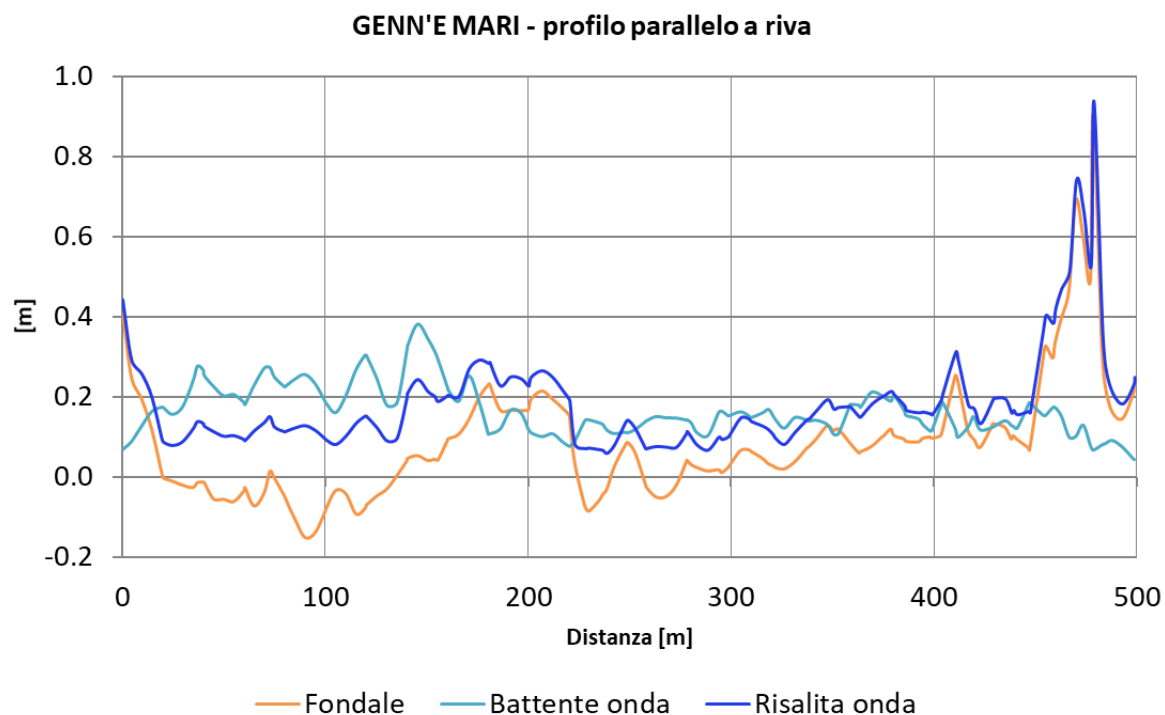


Figura 181 – Battente d'onda e altezza di risalita a riva lungo il transetto parallelo alla linea di riva, in confronto all'elevazione del terreno (distanza da ovest ad est) Tr 50 - Dir. 180°

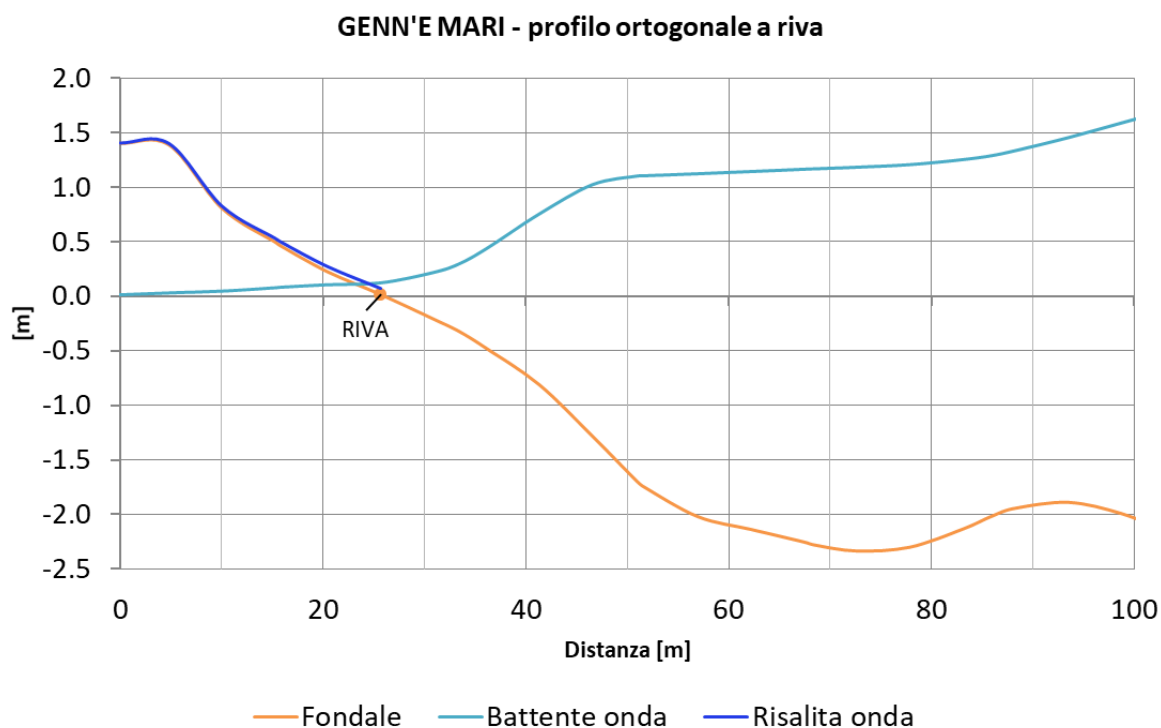


Figura 182 – Battente d'onda e altezza di risalita a riva lungo il transetto ortogonale alla linea di riva, in confronto all'elevazione del terreno (distanza dalla spiaggia verso mare) Tr 50 - Dir. 180°

Per un tempo di ritorno cinquantennale, nella situazione più gravosa di attacco ondoso da 180°, la spiaggia in esame, presso il transetto ad essa ortogonale, presenta le seguenti altezze di risalita ondosa, intesa come somma dell'elevazione del fondale e della semionda al di sopra di esso:

Tr 50		180°		130°		225°	
Distanza [m]	Elevazione [m s.l.m.]	Battente [m]	Risalita [m s.l.m.]	Battente [m]	Risalita [m s.l.m.]	Battente [m]	Risalita [m s.l.m.]
0.0	1.40	0.01	1.40	0.01	1.40	0.01	1.40
4.9	1.39	0.03	1.40	0.03	1.40	0.03	1.40
10.1	0.81	0.04	0.83	0.04	0.83	0.04	0.83
15.3	0.50	0.07	0.53	0.07	0.53	0.07	0.53
15.9	0.46	0.08	0.50	0.08	0.50	0.08	0.50
20.5	0.22	0.10	0.27	0.10	0.27	0.10	0.27
25.7	0.00	0.12	0.06	0.12	0.06	0.12	0.06

Tabella 49 - Calcolo della massima altezza di risalita (run-up)

Solanas

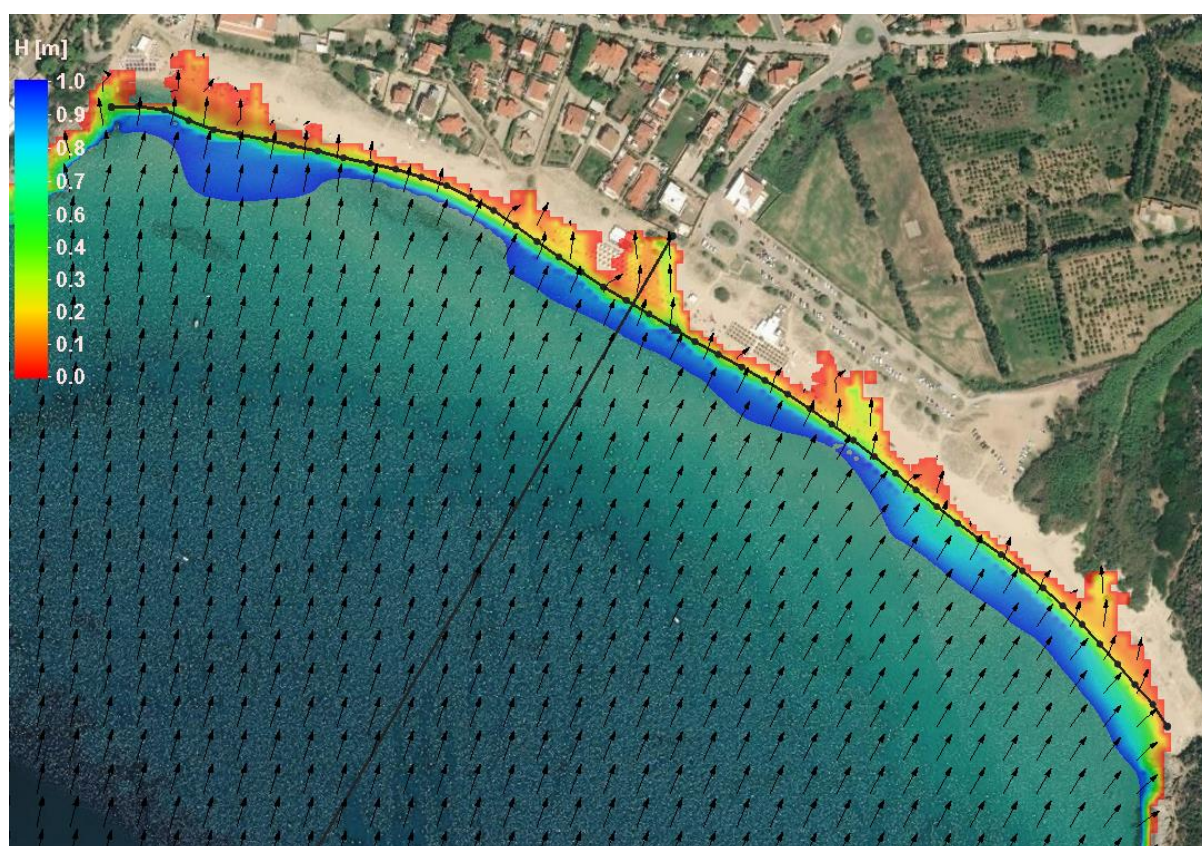


Figura 183 – Aree interessate da risalita ondosa: battente d'onda e direzione di risalita (in nero i transetti di studio). Tr 50 - Dir. 180°

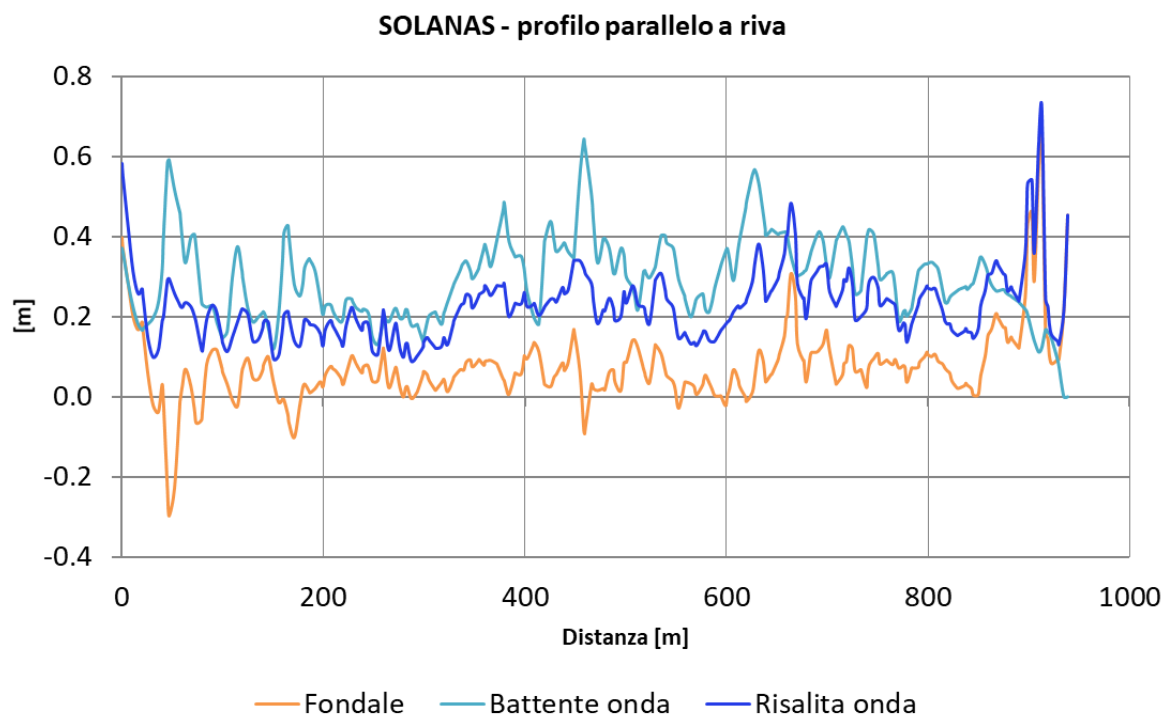


Figura 184 – Battente d'onda e altezza di risalita a riva lungo il transetto parallelo alla linea di riva, in confronto all'elevazione del terreno (distanza da ovest ad est) Tr 50 - Dir. 180°

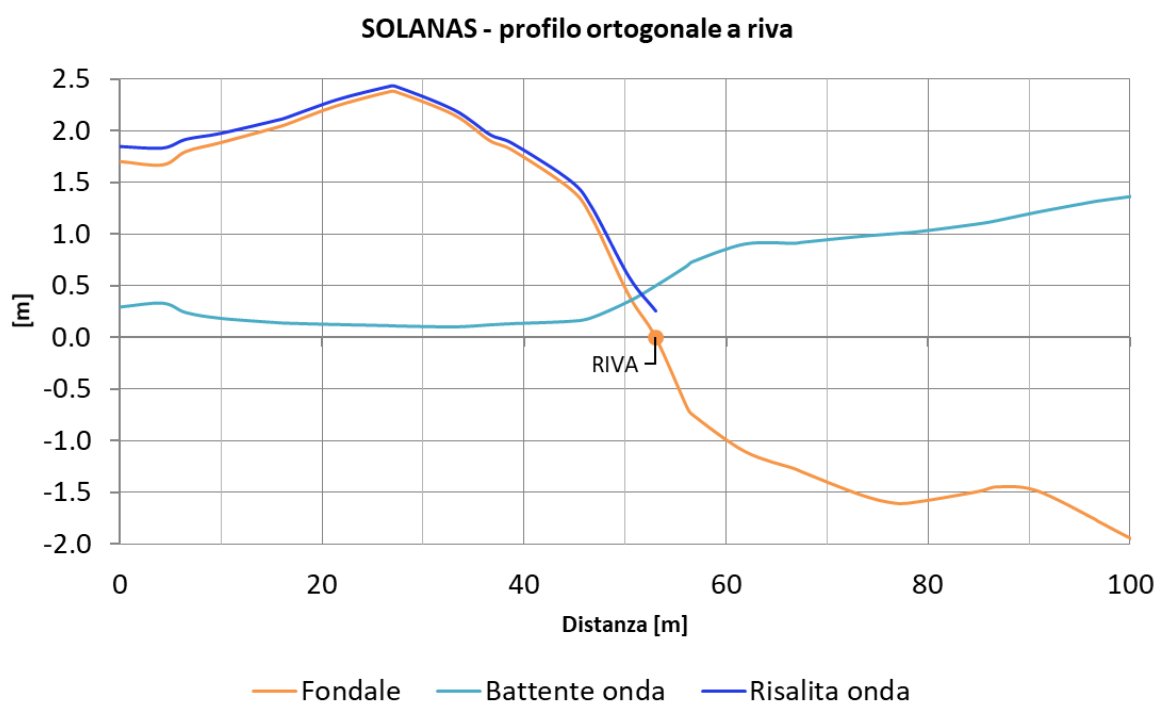


Figura 185 – Battente d'onda e altezza di risalita a riva lungo il transetto ortogonale alla linea di riva, in confronto all'elevazione del terreno (distanza dalla spiaggia verso mare) Tr 50 - Dir. 180°

Per un tempo di ritorno cinquantennale, nella situazione più gravosa di attacco ondoso da 180°, la spiaggia in esame, presso il transetto ad essa ortogonale, presenta le seguenti altezze di risalita ondosa, intesa come somma dell'elevazione del fondale e della semionda al di sopra di esso:

Tr 50		180°		130°		225°	
Distanza [m]	Elevazione [m s.l.m.]	Battente [m]	Risalita [m s.l.m.]	Battente [m]	Risalita [m s.l.m.]	Battente [m]	Risalita [m s.l.m.]
5.1	1.66	0.34	1.83	0.00	1.66	0.01	1.67
7.9	1.82	0.23	1.94	0.00	1.82	0.00	1.82
10.9	1.88	0.20	1.98	0.00	1.88	0.00	1.88
16.6	2.03	0.14	2.11	0.00	2.03	0.04	2.06
17.9	2.08	0.14	2.14	0.00	2.08	0.06	2.11
22.4	2.24	0.13	2.30	0.00	2.24	0.11	2.29
28.0	2.38	0.11	2.43	0.00	2.38	0.11	2.43
28.2	2.38	0.11	2.43	0.00	2.38	0.11	2.43
33.9	2.16	0.10	2.21	0.06	2.19	0.10	2.21
38.0	1.89	0.12	1.95	0.12	1.95	0.12	1.95
39.7	1.82	0.13	1.88	0.13	1.88	0.13	1.88
45.5	1.45	0.16	1.53	0.16	1.53	0.16	1.53
48.0	1.12	0.20	1.22	0.20	1.22	0.20	1.22
51.3	0.43	0.34	0.61	0.34	0.61	0.34	0.61
53.5	0.00	0.47	0.24	0.47	0.24	0.47	0.24

Tabella 50 - Calcolo della massima altezza di risalita (run-up)

Valutazione del Rischio da mareggiata

La valutazione del rischio associato agli eventi meteomarinari “estremi” si basa ed è stato ricavato mettendo in relazione gli “elementi a rischio” con le fasce “dinamiche” di spiaggia ritenute significative (definite per “attacchi ondosi da 180°” e corrispondenti a quelle con tempi di ritorno 50); tali fasce, classificate con un grado di “pericolosità moderata” corrispondono alle linee di massima risalita e altezza del *run-up* così come espresse nella tabella precedente e nelle figure rappresentative della risalita ondosa.

L'individuazione degli elementi a rischio è stata effettuata sulla base delle classi di uso del suolo individuate nell'ambito dell'unità fisiografica studiata e sulla base di un'ulteriore analisi del settore costiero attraverso le immagini aerofotogrammetriche ad alta risoluzione, quali strutture, servizi, infrastrutture e manufatti in genere che sono stati considerati tutti appartenenti ad uno stesso grado di vulnerabilità.

Pertanto nell'individuare le aree a rischio, come incrocio delle fasce dinamiche di spiaggia e degli elementi a rischio ivi presenti, è stato associato lo stesso “peso” a tutte le strutture presenti all'interno delle fasce stesse.

La spiaggia inoltre viene considerata come elemento da tutelare in quanto costituisce la naturale difesa e protezione delle opere a tergo oltre che bene demaniale marittimo.

Nelle spiagge studiate è possibile riconoscere unicamente una classe di rischio “moderato” che coincide con le “Aree interessate da risalita ondosa: battente d'onda e direzione di risalita Tr 50 - Dir. 180°”

Rischio da alluvionamento costiero

Il tema della pericolosità e del rischio associato ai fenomeni di alluvionamento costiero è stato trattato, nell'ambito della Pianificazione di Bacino attraverso il Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (in seguito denominato P.S.F.F.) che ha già assunto valore di Piano territoriale di settore ed è lo strumento conoscitivo, normativo, tecnico-operativo, mediante il quale dal 2015³ sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso riguardanti le fasce fluviali nel territorio della Sardegna.

³ Il piano è denominato “Studi, indagini, elaborazioni attinenti all'ingegneria integrata, necessari alla redazione dello Studio denominato Progetto di Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (P.S.F.F.)”. Approvazione in via definitiva per l'intero territorio regionale, ai sensi dell'art. 9 della L.R. 19/2006 come da ultimo modificato con L.R. 28/2015. Deliberazione del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino N.2 del 17.12.2015. Buras n.58 del 19/12/2015-parte prima.

Esso costituisce un approfondimento ed una integrazione necessaria al PAI ed è lo strumento che ha delimitato delle regioni fluviali (intese come fasce di pericolosità idraulica), ed è funzionale a consentire, attraverso la programmazione di azioni (opere, vincoli, direttive), il conseguimento di un assetto fisico del corso d'acqua compatibile con la sicurezza idraulica, l'uso della risorsa idrica, l'uso del suolo (ai fini insediativi, agricoli ed industriali) e la salvaguardia delle componenti naturali ed ambientali.

Nell'ambito dell'unità fisiografica studiata nel presente lavoro il Riu Solanas rientra tra i corsi d'acqua principali classificati e perimetrali dal P.S.F.F. e pertanto le aree di pericolosità in esso individuate sono state assoggettate alle vigenti norme di attuazione del PAI in riferimento al livello di pericolosità definito dai corrispondenti tempi di ritorno.

Nelle figure 186 e 187 sono riportate la mappa e la legenda, riferite al Rio Solanas, con la delimitazione delle fasce fluviali per i diversi tempi di ritorno, 50-100-200 anni e fascia geomorfologica C.

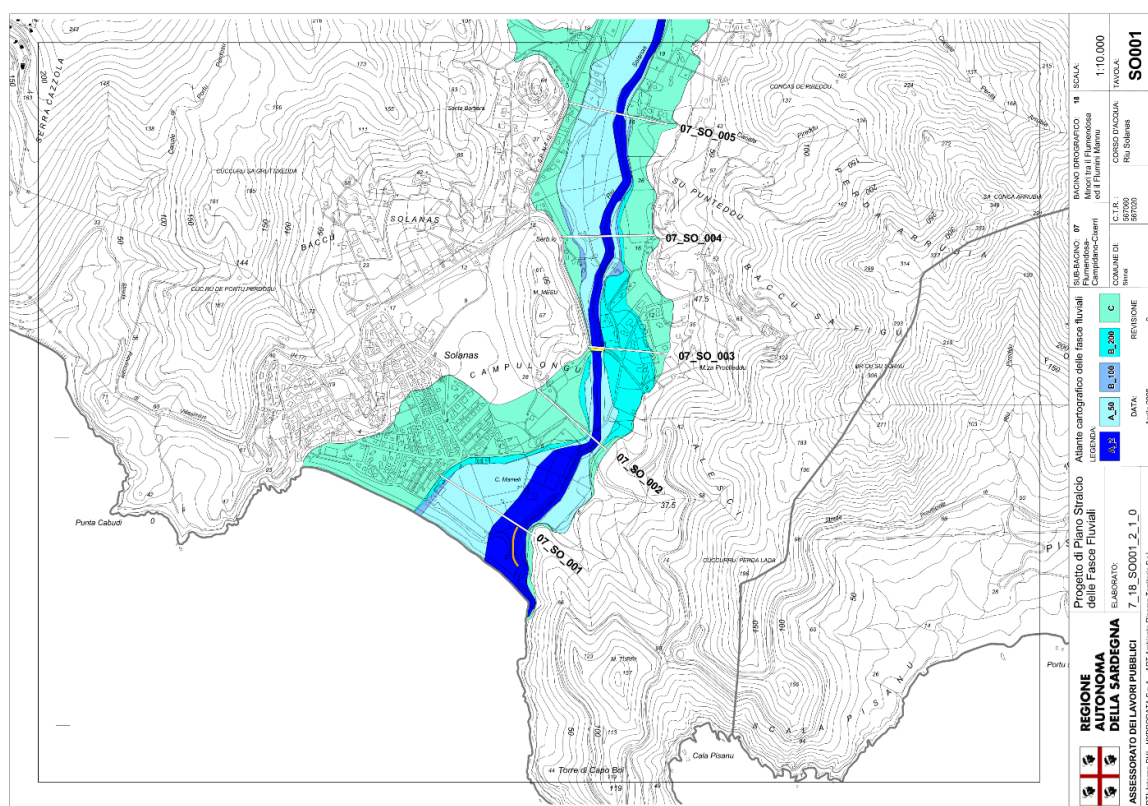
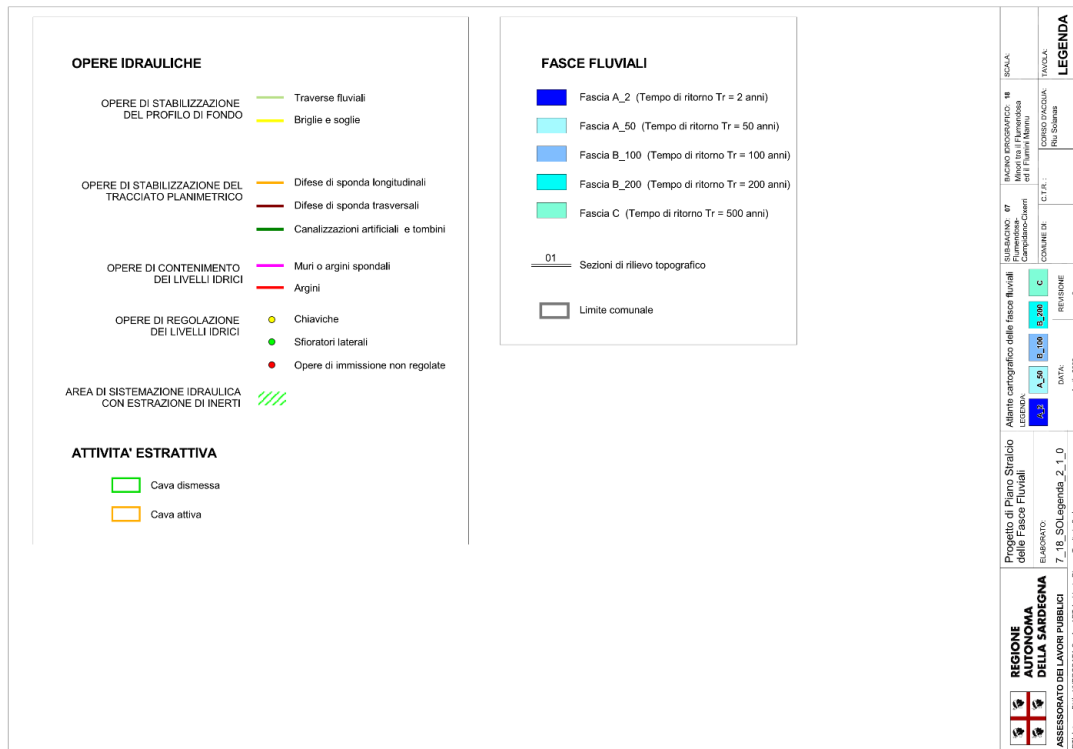


Figura 186 - Mappa fasce fluviali da P.S.F.F - Rio Solanas



In particolare dai risultati della dinamica morfo-sedimentaria “ordinaria” derivata dall'analisi modellistica con onda morfologica dei dati anemometrici e dalla sua interpretazione si ricava che sia su Cann'e Sisa (Figg.136 e 137) che su Genn'e Mari (Figg.141 e 142) e Solanas (Figg. 147 e 148) si generino correnti in uscita, di preferenza alle estremità delle falcate, ossia ai margini verso la costa rocciosa ma, nel caso di Solanas, anche nel settore centrale.

E' dunque evidente che la ricerca di tali correnti andrebbe più circostanziata e perfezionata ai fini della sicurezza della balneazione.

7. PIANO DI COMUNICAZIONE

7.1 OBIETTIVI

Tra le attività conoscitive e di studio condotte nell'area pilota, contenute nella presente relazione specialistica, è inclusa una attività di comunicazione rivolta agli attori locali direttamente interessati alla tematica dell'erosione costiera e alla gestione del rischio ad essa riconducibile, finalizzata alla inclusione degli stessi nel processo decisionale di individuazione della strategia di interventi.

Con l'implementazione di questa attività, si è inteso perseguire **l'obiettivo prioritario** di delineare una struttura di governance territoriale per il recepimento del piano di interventi di difesa costiera, ora in fase di redazione, all'interno degli strumenti di governo locale del territorio tra cui, fra tutti il Piano Urbanistico Comunale (PUC) e il Piano di Utilizzo dei Litorali (PUL) dei Comuni interessati.

La rilevazione e l'analisi dei fabbisogni locali, necessaria a comprendere le problematiche di maggiore interesse per il territorio; costituisce pertanto una importante fase operativa funzionale a individuare strategie di intervento più adeguate e sostenibili, una volta definito il quadro conoscitivo riguardante i processi morfoevolutivi in atto nel settore costiero e le interferenze con gli elementi vulnerabili sui quali focalizzare l'attenzione, prospettare scenari futuri e ipotizzare interventi.

Nell'ottica di massimizzare l'efficacia di questa attività all'interno dell'arco temporale di sviluppo del Progetto MAREGOT, si evidenziano alcuni obiettivi specifici inquadrabili come contributo al più ampio processo partecipativo, previsto peraltro nell'iter di approvazione di un piano di interventi nel territorio, come di seguito riportati:

- realizzare un confronto paritetico tra le istituzioni e soggetti rappresentativi effettivamente interessati
- favorire lo scambio di informazioni, dati e documenti pertinenti al tema trattato;
- accrescere la consapevolezza sui rischi legati ai fenomeni di erosione costiera e sviluppare un linguaggio comune;
- assicurare la attuazione degli interventi e la loro sostenibilità attraverso il riconoscimento di un programma condiviso;

7.2 I PORTATORI DI INTERESSE

La rete degli attori locali è realizzata attraverso un processo di identificazione che vede al centro gli Amministratori dei due Comuni interessati per territorio, Maracalagonis e Sinnai, coinvolti come parte attiva affinché assumano il ruolo di promotori dell'iniziativa nei territori di competenza.

Ci si attende di ricomporre una ampia rappresentanza espressione degli interessi in gioco, riportati nella tabella di seguito.

	Tipo		Tipo
Soggetti Pubblici	Comuni	Soggetti Privati/società civile	Concessionari aree demaniali
	Città Metr. CA		Residenti nei condomini limitrofi
	Altri uffici pubblici territoriali (Capitaneria di Porto – Corpo Forestale, Servizi demaniali)		Associazioni di protezione civile e tutela ambientale
	Enti Gestori di istituti pubblici		
	Altro		

7.3 INCONTRI TERRITORIALI

MAREGOT, nella articolazione delle attività di progetto ha previsto lo sviluppo della Componente Comunicazione, dedicata alla divulgazione dei temi portanti del progetto, quali prevenzione e gestione dei rischi derivanti dall'erosione costiera, intendendo contribuire concretamente *ad una crescita delle conoscenze e della consapevolezza dei principali portatori di interesse rispetto alla tematica ambientale della gestione costiera integrata*. Nell'ambito transfrontaliero e attraverso il travaso delle diverse esperienze presenti nei contesti locali del partenariato coinvolto, sono stati realizzati materiali informativi per una corretta comunicazione del rischio costiero alla popolazione e organizzati eventi territoriali per il confronto costruttivo con territori sui temi di maggiore interesse.

In coerenza con le previsioni della Componente Comunicazione, la Regione Sardegna ha avviato un percorso di sensibilizzazione e divulgazione che si è concretizzato in una serie di eventi territoriali con focus tematici sulle criticità locali discusse nel corso di tavole rotonde e dibattiti pubblici, che hanno riguardato in particolare le problematiche legate alla gestione dei depositi di posidonia nelle spiagge e agli interventi per il riequilibrio del bilancio sedimentario nei litorali in deficit.

Una azione specifica di comunicazione è stata indirizzata alla scuola secondaria di primo grado, realizzata attraverso attività ludiche incentrate sulla partecipazione attiva, con finalità di sensibilizzazione ed informazione sui posidonieti e sui depositi di posidonia in spiaggia, relativamente alla loro funzione ecologica e di contrasto all'erosione costiera.

Incontro territoriale: luogo e data	Partecipanti			
	Soggetti pubblici		Soggetti privati /Società civile	
	tipo	n	Tipo	n.
Evento regionale Cagliari 17.05.2018	Regione Sardegna Regione Toscana Regione Liguria Regione Emilia Romagna Dep. du Var Commune de Grimaud Città Metropolitana di Cagliari Comuni di: Sorso Pula Olbia Università ARPA BRGM Consorzio Lamma CNR Conservatoria delle Coste Sardegna	110	Sib Concocommercio Rappresentanti degli Ordini degli Ingegneri e Geologi Federparchi Parco Nazionale 5 Terre Legambiente Sardegna, Soggetti economici vari Cittadini	69
I Incontro territoriale Pula 15.02.2019	Regione Sardegna Città Metropolitana di Cagliari Comuni di: Domus de Maria Pula Università ARPA CNR ISPRA	55	Rappresentanti degli ordini degli ingegneri e geologi Cittadini Soggetti economici vari	19

II Incontro territoriale Alghero 30.05.2019	Regione Sardegna Provincia di Sassari Comuni di: Alghero Villanova Monteleone Sorso Stintino Valledoria Università ARPA LAORE	40	Rappresentanti degli ordini degli ingegneri e geologi Cittadini Soggetti economici vari WWF Italia Confcommercio Associazioni	26
I Evento sensibilizzazione con scuole Alghero 31.05.2019	Regione Sardegna Istituto Comprensivo 1 e 2 di Alghero	8	Studenti e insegnanti	105
III Incontro territoriale Cabras 25.10.2019	Regione Sardegna Comuni di: Cabras S. Vero Milis Santa Giusta Terralba Palmas Arborea Arbus CNR ARPA	30	IMC Oristano Soggetti economici vari	18
Evento di capitalizzazione Cagliari 21.01.2020	Regione Sardegna Regione Toscana Università ARPAS CNR Parco Naz.le ASINARA AMP Capo Carbonara ANCI Sardegna JS MED IUCN Region Of Central Macedonia Balearic Islands Gov. Management Authority Of Schinias Marathonnp Municipality Of Opcina Sali	47	Criteria SRL TERAVISTA Enalia Physis Ecocentro Sardegna Italia Nostra Sindacato Italiano Balnerari Impresa Mediomare Natura Jadera Cittadini	13
I Evento di governance Cagliari 13.02.2020	Regione Sardegna Comuni di: Maracalagonis Sinnai ARPA Università	17	Martech Srl	1

Incontri territoriali nell'area pilota

Le iniziative di condivisione e confronto sulla pianificazione degli interventi prevista nell'area pilota, sono state calendarizzate a partire da un primo incontro, di livello strettamente istituzionale, dedicato al coinvolgimento delle Amministrazioni comunali di Maracalagonis e Sinnai.

Con questo primo incontro si è inteso contestualizzare l'iniziativa nell'ambito del Progetto MAREGOT, descrivendone sinteticamente i temi e gli obiettivi, quindi condividere i contenuti degli studi specialistici di dettaglio condotti nell'area di interesse finalizzati alle valutazioni sui processi di erosione costiera e loro cause, relativamente al bilancio sedimentario delle spiagge, all'instabilità dei promontori rocciosi e allo stato degli habitat presenti negli ecosistemi costieri.

L'intento è quello di coinvolgere gli Amministratori comunali come parte attiva nel processo di governance, in quanto primi ricettori delle istanze della società civile e del pubblico interessato alle tematiche che si intende affrontare. Per dare concretezza a quest'aspetto, è stato distribuito un questionario alle due Amministrazioni, attraverso il quale le stesse Amministrazione hanno potuto rappresentare le problematiche locali, rilevare situazioni di pericolosità e rischio nei litorali di interesse, indicare le categorie della società civile e del pubblico interessato.

Un secondo incontro, aperto ai portatori di interesse indicati, è centrato sulle tematiche rappresentate e sul dibattito orientato alle possibili soluzioni, sostenibili rispetto alle evidenze scientifiche messe in luce dagli studi specialistici realizzati nell'area pilota.

7.4 LE ISTANZE DEL TERRITORIO

Le indicazioni emerse dai primi contatti avuti con gli amministratori dei Comuni interessati, evidenziano una significativa attenzione per gli interessi economici che insistono nell'area pilota, in particolare collegati alle lottizzazioni di Torre delle Stelle e Solanas che, storicamente, caratterizzano quel tratto litorale e che per la popolazione locale rappresentano ancora oggi una fonte di potenziale sviluppo.

Esiste una certa sensibilità nei riguardi degli impatti derivanti da una urbanizzazione così intensa, specie in corrispondenza delle spiagge di Genn'e mari, Cann' e sisa e Solanas dove segnalano fenomeni di intenso dilavamento da parte delle acque di corruzione non regimate nei settori urbanizzati, alterazioni degli equilibri nell'interfaccia foce fluviale e spiaggia a discapito dei sistemi dunali, ma anche problemi di interrimento degli arenili causati dagli apporti fluviali. Esiste inoltre una certa sensibilità verso gli impatti generati da eccesso di carico antropico nelle spiagge e dai rischi derivanti dalla elevata frequentazione dei promontori rocciosi interessati da una diffusa pericolosità geomorfologica.

Evidenziano inoltre che si tratta di insediamenti oggi abitati con sempre maggiore frequenza nell'intero arco dell'anno ma che nel periodo estivo sono particolarmente attrattivi per il turismo balneare e che, per i picchi di presenze che si registrano, non sono adeguatamente strutturati ad affrontare emergenze derivanti dai rischi alluvioni e incendi.

La sintesi dei risultati di questa fase partecipativa costituirà parte integrante, di premessa e orientamento per le soluzioni che saranno proposte nel Piano degli interventi.

8. BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. (1983) - NORTH AMERICAN STRATIGRAPHIC CODE. AAPG BULL. **67**: 841-875.
- ABIS A., CAMPO C., CAREDDU M. B., DERIU M. (2013). LA RETE PER IL MONITORAGGIO DELLE SPIAGGE. APPLICAZIONI ED ESPERIENZE SVILUPPATE NEL PROGETTO RESMAR (AZIONE DI SISTEMA A). TAPHROS PP. 1-257.
- ABIS A., CAMPO C., CAREDDU M. B., DERIU M. (2013). LE COSTE ROCCIOSE DELLA SARDEGNA. ATLANTE DEL TRATTO SUD DELL'ISOLA DA CAPO FERRATO A CAPO TEULADA. TAPHROS PP. 1-127.
- ALESSANDRINI A., BUONO V., LAZZERI V., LONGO D., MAGNI C., MANNI Q. G., NICOLELLA G. (2013). ACTA PLANTARUM NOTES 2. LE RACCOLTE DI ACTA PLANTARUM, COLLANA DI ESPLORAZIONI E NOTIZIE SULLA FLORA DEL TERRITORIO ITALIANO. P 171.
- ALONGI G. ET. ALII, 1993. PRIMA SEGNALEZIONE DI CAULERPA RACEMOSA (CHLOROPHYTA, CAULERPALES) PER LE COSTE ITALIANE. BOLL. ACC. GIOENIA SCI. NAT. CATANIA, 26:49-53.
- ANDREUCCI S., CLEMMERSEN L.B., MURRAY A.S. & PASCUCCHI V. (2009) - MIDDLE TO LATE PLEISTOCENE COASTAL DEPOSITS OF ALGHERO, NORTHWEST SARDINIA (ITALY): CHRONOLOGY AND EVOLUTION. QUAT. INT., **222**: 3-16, OXFORD.
- ANDREUCCI S., PASCUCCHI V. & CLEMMERSEN L. B. (2006) - UPPER PLEISTOCENE COASTAL DEPOSITS OF WEST SARDINIA: A RECORD OF SEA-LEVEL AND CLIMATE CHANGE. GEO ACTA, **5**: 79-96, BOLOGNA.
- ANGELINI P., AUGELLO R., BAGNAIA R., BIANCO P., CAPOGROSSI R., CARDILLO A., ERCOLE S., FRANCESCATO C., GIACANELLI V., LAURETI L., LUGERI F., LUGERI N., NOVELLINO E., ORIOLO G., PAPALLO O., SERRA B. (2009). IL PROGETTO CARTA DELLA NATURA. LINEE GUIDA PER LA CARTOGRAFIA E LA VALUTAZIONE DEGLI HABITAT ALLA SCALA 1:50.000. ISPRA
- ANGIOLILLO M., DI LORENZO B., FARCOMENI A., BO M., BAVESTRELLO G., SANTANGELO G., CAU A., MASTRASCUSA V., CAU A., SACCO F., CANESE S. (2015). DISTRIBUTION AND ASSESSMENT OF MARINE DEBRIS IN THE DEEP TYRRHENIAN SEA. MARINE POLLUTION BULLETIN 92 (2015) 149–159.
- APAT (2001) - GUIDA ALLA COMPILAZIONE DELLA SCHEDA FRANE IFFI. DIPARTIMENTO DIFESA DEL SUOLO, SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, ROMA.
- ARPA PIEMONTE (2004). SOGLIE PLUVIOMETRICHE. REDATTO DALLA REGIONE PIEMONTE PER IL PROGETTO "SISTEMA INFORMATIVO METEO-IDROLOGICO CHE INTEGRA LE RISORSE OSSERVATIVE E MODELLISTICHE A SUPPORTO DELLA GESTIONE DEL RISCHIO PER LA PROTEZIONE CIVILE NAZIONALE", CONVENZIONE TRA IL DIPARTIMENTO DELLA PROTEZIONE CIVILE E ARPA PIEMONTE STIPULATO NEL 2001 PER L'ASSISTENZA ALLA GESTIONE DELLE SITUAZIONI DI RISCHIO IDRO-METEOROLOGICO SUL TERRITORIO NAZIONALE.
- ASSORGIA A., BARCA S. & SPANO C. (1997A) - A SYNTHESIS ON THE CENOZOIC STRATIGRAPHIC, TECTONIC AND VOLCANIC EVOLUTION IN SARDINIA (ITALY). BOLL. SOC. GEOL. IT., **116**: 407-420, ROMA.
- ASSORGIA A., BARCA S. & SPANO C. (1997B) - LA "FOSSA SARDA" NELL'AMBITO DELL'EVOLUZIONE GEODINAMICA CENOZOICA DEL MEDITERRANEO OCCIDENTALE. LIBRO-GUIDA E RIASSUNTI, CONVEGNO-ESCURSIONE, 19-22 GIUGNO 1997, PP. 163, VILLANOVAFORRU (CAGLIARI).
- ASSORGIA A., BARCA S. & SPANO C. (1997C) - LINEAMENTI STRATIGRAFICI, TETTONICI E MAGMATICI DEL TERZIARIO DELLA SARDEGNA. ATTI CONVEGNO-ESCURSIONE LA FOSSA SARDA NELL'AMBITO DELL'EVOLUZIONE GEODINAMICA CENOZOICA DEL MEDITERRANEO OCCIDENTALE. 19-22 GIUGNO 1997, 13-25, VILLANOVAFORRU (CAGLIARI).
- ATZORI P. & TRAVERSA G. (1986) - POST-GRANITIC PERMO-TRIASSIC DYKE MAGMATISM IN EASTERN SARDINIA (SARRABUS P.P., BARBAGIA, MANDROLISAI, GOCEANO, BARONIE AND GALLURA). PER. MINERAL. **55**: 203- 231, ROMA.
- AUDDINO M., DOMINICI R., VISCOMI A.. EVALUATION OF YIELD SEDIMENT IN THE SFALASSÀ FIUMARA (SOUTH-WESTERN, (CALABRIA) BY USING GAVRILOVIC METHOD IN GIS ENVIRONMENT. REND. ONLINE SOC. GEOL. IT., **33**, PP. 3-7.
- AUTORITA DI BACINO REGIONE SARDEGNA. PIANO STRALCIO FASCE FLUVIALI. "STUDI, INDAGINI, ELABORAZIONI ATTINENTI ALL'INGEGNERIA INTEGRATA, NECESSARI ALLA REDAZIONE DELLO STUDIO DENOMINATO PROGETTO DI PIANO STRALCIO DELLE FASCE FLUVIALI (PSFF): METODOLOGIE DI ANALISI". GIUGNO 2007 (REV. 1) .

BACCHETTA G., BAGELLA S., BIONDI E., CASTI M., FARRIS E., FILIGHEDDU R., IIRITI G., PONTECORVO C. (2009). CARTA DELLE SERIE DI VEGETAZIONE DELLA SARDEGNA (SCALA 1:350.000).

BACCHETTA G., BAGELLA S., BIONDI E., FARRIS E., FILIGHEDDU R., MOSSA L. (2009). VEGETAZIONE FORESTALE E SERIE DI VEGETAZIONE DELLA SARDEGNA (CON RAPPRESENTAZIONE CARTOGRAFICA ALLA SCALA 1:350.000). FITOSOCIOLOGIA VOL. 46 (1) SUPPL. 1: 3-82.

BARCA S., CARMIGNANI L., OGGIANO G., PERTUSATI P.C., SALVADORI I. (1996) - CARTA GEOLOGICA DELLA SARDEGNA, SCALA 1:200.000. COORDINATORE DEL PROGETTO CARMIGNANI L. SERVIZIO GEOLOGICO NAZIONALE, REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA, ROMA.

BARCA S., DI GREGORIO F. & PALMERINI V. (1981) - LINEA DI COSTA PLEISTOCENICA NELLA PIANA DI S. PRIAMO (SARRABUS, SARDEGNA SUD-ORIENTALE). BOLL. SOC. GEOL. IT., **100**: 71-84, ROMA.

BARCA S., MELIS E., ANNINO E., CINCOTTI F., ULZEGA A., ORRU P. & PINTUS C. (2005) - NOTE ILLUSTRATIVE DELLA CARTA GEOLOGICA D'ITALIA. FOGLIO 557 CAGLIARI, ALLA SCALA 1:50.000. SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, REGIONE AUTONOMA SARDEGNA, ROMA.

BARCA S., MELIS E., ANNINO E., CINCOTTI F., ULZEGA A., ORRU P. & PINTUS C. (2005) - NOTE ILLUSTRATIVE DELLA CARTA GEOLOGICA D'ITALIA ALLA SCALA 1:50.000. FOGLIO 557 "CAGLIARI". SERV. GEOL. D'IT., REG. AUTON. SARDEGNA, S.EL.CA., 240 PP., FIRENZE.

BARCA S., SERRI R., RIZZO R., FORCI A., CALZIA P. & PERTUSATI P.C. (2009) - NOTE ILLUSTRATIVE DELLA CARTA GEOLOGICA D'ITALIA. FOGLIO 565 CAPOTERRA, ALLA SCALA 1:50.000. SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, REGIONE AUTONOMA SARDEGNA, ROMA.

BARRA A., CORONEO V., DESSI S., CABRASA P., ANGLONIA A. (2009). CHEMICAL VARIABILITY, ANTIFUNGAL AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF EUCALYPTUS CAMALDULENSIS ESSENTIAL OIL FROM SARDINIA. NATURAL PRODUCT COMMUNICATIONS, **5**: 329 – 335.

BECCALUVA L., DERIU M., MACCIOTTA G.P., SAVELLI C. & VENTURELLI G. (1977) - GEOCHRONOLOGY AND MAGMATIC CHARACTER OF THE PLIOCENE-PLEISTOCENE VOLCANISM IN SARDINIA (ITALY). BULL. VOLCANOL., **40** (3): 1-16, SPRINGER-VERLAG, BERLIN-HEIDELBERG.

BELLUOMINI G., BRANCA A., DELITALA L., PECORINI G. & SPANO C. (1986) - ISOLEUCINE EPIMERIZATION DATING OF QUATERNARY MARINE DEPOSITS IN SARDINIA, ITALIA. ZEIT. GEOMORPH., N.F., SUPPL. BD., **62**: 109-117, STUTTGART.

BIANCHI C. N. E MORRI C. . INDICATORI BIOLOGICI ED ECOLOGICI NELL'AMBIENTE MARINO. UNIVERSITA DEGLI STUDI DI GENOVA, DIP.TE.RIS, DIPARTIMENTO PER LO STUDIO DEL TERRITORIO E DELLE SUE RISORSE.

BIANCHI C. N., PRONZATO R., CATTANEO-VIETTI R., BENEDETTI-CECCHI L., MORRI C., PANSINI M., CHEMELLO R., MILAZZO M., FRASCHETTI S., TERLIZZI A., PEIRANO A., SALVATI E., BENZONI F., CALCINAI B., CERRANO C., BAVESTRELLO G., 2003A. MANUALE DI METODOLOGIE DI CAMPIONAMENTO E STUDIO DEL BENTHOS MARINO MEDITERRANEO. CAP. 6. I FONDI DURI. BIOLOGIA MARINA MEDITERRANEA, **10** (SUPPL.): 199-232.

BIANCHI C. N., ZURLINI G., 1984. CRITERI E PROSPETTIVE DI UNA CLASSIFICAZIONE ECOTIPOLOGICA DEI SISTEMI MARINI COSTIERI ITALIANI. ACQUA ARIA, **8**: 785-796.

BIANCHI C. N., ZATTERA A., 1986. ALCUNE CONSIDERAZIONI SULLA GESTIONE DELLA FASCIA COSTIERA. NOTIZIARIO DELLA SOCIETA ITALIANA DI BIOLOGIA MARINA, **10**: 25-29.

BISCI C., DRAMIS F. (1991) - IL CONCETTO DI ATTIVITA IN GEOMORFOLOGIA. GEOGR. FIS. DINAM. QUAT., **14**: 193-199, ROMA.

BOCCHIERI E., IIRITI G. (2007). L'ESPLORAZIONE BOTANICA NEI TERRITORI DEL SARRABUS-GERREI (SARDEGNA SUD ORIENTALE). RENDICONTI SEMINARIO FACOLTA SCIENZE UNIVERSITA CAGLIARI, VOL. **77**: 1-2.

BONIN B., ABLA AZZOUNI-SEKKAL, BUSSY F. & FERRAG S. (1998) - ALKALI-CALCIC AND ALKALINE POST-OROGENIC (PO) GRANITE MAGMATISM: PETROLOGIC CONSTRAINTS AND GEODYNAMIC SETTINGS. LITHOS, **45**:45-70, AMSTERDAM.

BORRELLI L. (2008) - CATEGORIE DI FRANE ED ELEMENTI CARATTERISTICI NEI PROFILI DI ALTERAZIONE. PHD THESIS. UNIVERSITY OF CALABRIA. 395 PP.

BORRELLI L., CRITELLI S., GULLÀ G. & MUTO F. (2012) – RILIEVO DEL GRADO DI ALTERAZIONE DI ROCCE CRISTALLINE. PRESENTAZIONE DELLA "CARTA DEL GRADO DI ALTERAZIONE E DEI MOVIMENTI

IN MASSA DELLA PORZIONE CENTRO-OCCIDENTALE DEL BACINO DEL F. MUCONE (CALABRIA, ITALIA)". GEOLOGI CALABRIA, ANNO 11, NUMERO SPECIALE.

BOUDOURESQUE C. F., AVON M., GRAVEZ V. (A CURA DI), 1991. LES ESPECES MARINES A PROTEGER EN MEDITERRANEE. GIS POSIDONIE, MARSEILLE.

BRALIA A., GHEZZO C., GUASPARRI G. & SABATINI G. (1981) - ASPETTI GENETICI DEL BATOLITE SARDO-CORSO. REND. SOC. IT. MIN. PETR., **38**: 701-764, MILANO.

BRAS, R.L. (1990). HYDROLOGY: AN INTRODUCTION TO HYDROLOGIC SCIENCE. ADDISON-WESLEY.

BROTZU P., CALLEGARI E. & SECCHI F. (1993) - THE SEARCH FOR THE PARENTAL MAGMA OF THE HIGH-K CALCALKALINE ROCK-SERIE IN THE SOUTHRENMOST SARDINIA BATHOLLITH. PER. MINERAL., **62**: 253-280.

BROTZU P., MORBIDELLI L. & TRAVERSA G. (1978) - CARATTERI PETROGRAFICI E CHIMICI DELLE SIENITI DEL SARRABUS MERIDIONALE (SARDEGNA SUD.ORIENTALE) - PER. MINERAL., **47** (1-2-3): 83-98

BRUNNER A., CELADA C., ROSSI P., GUSTIN M. (2002). SVILUPPO DI UN SISTEMA NAZIONALE DELLE ZPS SULLA BASE DELLA RETE DELLE IBA (IMPORTANT BIRD AREAS). RELAZIONE FINALE PAG 423.

CALCATERRA D., PARISE, M. & DATTOLA L. (1996) - CARATTERISTICHE DELL'ALTERAZIONE E FRANOSITA DI ROCCE GRANITOIDI NEL BACINO DEL TORRENTE ALACO (MASSICCO DELLE SERRE, CALABRIA). BOLL. SOC. GEOL. IT., **115**, 3-28.

CAMARDA I., CARTA L., LAURETI L., ANGELINI P., BRUNU A., BRUNDU G. (2015). IL SISTEMA CARTA DELLA NATURA DELLA SARDEGNA. ISPRA, SERIE RAPPORTI, 222/2015.

CARACCILO, D., DEIDDA, R., VIOLA, F. (2017). ANALYTICAL ESTIMATION OF ANNUAL RUNOFF DISTRIBUTION IN UNGAUGED SEASONALLY DRY BASINS BASED ON A FIRST ORDER TAYLOR EXPANSION OF THE FU'S EQUATION. ADVANCES IN WATER RESOURCES, **109**: 320-332.

CARMIGNANI L., BARCA S., DISPERATI L., FANTOZZI P., FUNEDDA A., OGGIANO G. & PASCI S. (1994) - TERTIARY COMPRESSION AND EXTENSION IN THE SARDINIAN BASEMENT. BOLL. GEOF. TEOR. APPL., **36**: 141-144, TRIESTE.

CARMIGNANI L., COCOZZA T., GHEZZO C., PERTUSATI P.C. & RICCI C.A. (1982) - LINEAMENTI DEL BASAMENTO PALEOZOICO SARDO - IN CARMIGNANI L., COCOZZA T., GHEZZO C., PERTUSATI P.C. & RICCI C.A. (EDITORS), GUIDA ALLA GEOLOGIA DEL PALEOZOICO SARDO. SOC. GEOL. IT., PP. 11-24

CARMIGNANI L., COCOZZA T., MINZONI N. & PERTUSATI P. C. (1980) - EXPLANACYTORY NOTES OF CROSS SECTIONS THROUGH SARDINIA HERCINIAN RANGE. IN SASSI F. B. ED., IGCP NO 5, NEWSLETTER, **2**: 93-96.

CARMIGNANI L., COCOZZA T., MINZONI N. & PERTUSATI P.C. (1978) -FALDE DI RICOPRIMENTO ERCINICHE NELLA SARDEGNA A NORDEST DEL CAMPIDANO - MEM. SOC. GEOL. IT., **19**: 501-510.

CARTOGRAFIA DEL GRADO DI ALTERAZIONE IN ROCCE CRISTALLINE : L'ESEMPIO DELLA CARTA DEL GRADO DI ALTERAZIONE REDATTA PER LA PORZIONE CENTRO-OCCIDENTALE DEL BACINO DEL FIUME MUCONE (CALABRIA, ITALIA)

CASCINI L. & GULLÀ' G. (1993) - CARATTERIZZAZIONE FISICO-MECCANICA DEI TERRENI PRODOTTI DALL'ALTERAZIONE DI ROCCE GNEISSICHE. RIVISTA ITALIANA DI GEOTECNICA, ANNO XXVII, 2, 125-147.

CASCINI L., CRITELLI S., DI NOCERA S., GULLA' G. & MATANO F. (1992) - GRADO DI ALTERAZIONE E FRANOSITA NEGLI GNEISS DEL MASSICCO SILANO: L'AREA DI S.PIETRO IN GUARANO (CS). GEOLOGIA APPLICATA E IDROGEOLOGIA, **27**, 49-76.

CASCINI L., GULLÀ' G. & SORBINO G. (2006) – GROUNDWATER MODELLING OF A WEATHERED GNEISSIC COVER. CANADIAN GEOTECHNICAL JOURNAL, VOLUME 43, 11, 1153-1166.

CASTORINA F., BARBIERI M., OTTONELLO G. & PETRINI R. (1989) -NEW GEOCHEMICAL CONSTRAINTS ON THE AGE OF THE SARDINIAN BATHOLITH. SOC. ITAL. MINERAL. PETROL., NOT., **7**: 54.

CASUSCELLI A., DI BELLO A., ANTONIO F., DOMINICI R., VACCA C. CALCOLO DELLA STIMA DI PRODUZIONE DI SEDIMENTI NEI BACINI IDROGRAFICI COMPRESI TRA I TORRENTI SARACENO, PAGLIARA E AVENA, MEDIANTE IL METODO DI GAVRILOVIĆ IN AMBIENTE GIS (CALABRIA NORD-ORIENTALE). 5° CONVEGNO NAZIONALE DEI GIOVANI GEOLOGI. 2015.

CHERCHI A. & MONTADERT L. (1982) - IL SISTEMA DI RIFTING OLIGO-MIOCENICO DEL MEDITERRANEO OCCIDEN-TALE E SUE CONSEGUENZE PALEOGEOGRAFICHE SUL TERZIARIO SARDO. MEM. SOC. GEOL. IT., **24**: 387-400, ROMA.

CHERCHI A. & TREMOLIERES P. (1984) – NOUVELLES DONNEES SUR L'EVOLUTION STRUCTURALE AU MESOZOIQUE ET AU CENOZOIQUE DE LA SARDAIGNE ET LEURS IMPLICATIONS GEODYNAMIQUES DANS LE CADRE MEDITERRANEEN. C. R. ACAD. SCI. PARIS, 298: 889-894, PARIS.

CHERCHI A. (1974) - APPUNTI BIOSTRATIGRAFICI SUL MIOCENE DELLA SARDEGNA (ITALIA). INTER. NÉOGÈNE MEDIT., LYON-1971, MEM. B.R.G.M., 78: 433-445, PARIS.

CHERCHI A., MARINI A., MURRU M. & ROBBA E. (1978) - STRATIGRAFIA E PALEOECOLOGIA DEL MIOCENE SUPERIORE DELLA PENISOLA DEL SINIS (SARDEGNA OCCIDENTALE). RIV. ITAL. PALEONT. STRAT., 9: 773-1036, MILANO.

CHOW, V.T., MAIDMENT, D.R., MAYS, L.W. APPLIED HYDROLOGY. MC GRAW HILL.

CIANFLONE G., DOMINICI R., VISCOMI A. (2015) - POTENTIAL RECHARGE ESTIMATION OF THE SIBARI PLAIN AQUIFERS

CINUS S., DEMURU S., DERIU M., FARRIS M., PATERI G., TILOCCA G., MARTELLI R. (2005). ANALISI DEL DISSESTO DA FRANA IN SARDEGNA. RAPPORTO SULLE FRANE IN ITALIA, CAPITOLO 25 PAG. 651 – 678.

COCHERIE A. (1985) - INTERATION MANTEAU-CROUTE: SON ROLE DANS LA GENÈSE D'ASSOCIATIONS PLUTONIQUES CALCO-ALCALINES, CONSTRAINTES GÉOCHIMIQUES (ÉLÉMENTS EN TRACE ET ISOTOPES DU STRONTIUM ET DE L'OXYGÈNE) - DOC. BRGM, 90: 246 PP.

COLI M., CASTORINA T. & LIVI E. (2011) - GEOSTRUCTURAL PROSPECTING FOR THE GEOMECHANICS CHARACTERIZATION OF A GRANITIC ROCK-MASS: THE CASE HISTORY OF THE TERRA MALA AREA (SARDINIA, ITALY). RENDICONTI ONLINE SOC. GEOL. IT., VOL. 15 (2011), PP. 43-47.

COLTORTI M., MELIS E., PATTA D. (2009) - GEOMORPHOLOGY, STRATIGRAPHY AND FACIES ANALYSIS OF SOME LATE PLEISTOCENE AND HOLOCENE KEY DEPOSITS ALONG THE COAST OF SARDINIA (ITALY). QUAT. INT. 222: 19-35, OXFORD.

COMASCHI CARIA I. (1959A) - IL MIOCENE IN SARDEGNA. BOLL. SOC. GEOL. IT., 77: 183-198, ROMA.

COMUNE DI SINNAI (2013). VERIFICA DI ASSOGGETTABILITA A VALUTAZIONE AMBIENTALE STRATEGICA.

COMUNE DI SINNAI (2014). CARTOGRAFIA SIC: DISTRIBUZIONE HABITAT DI INTERESSE COMUNITARIO - DISTRIBUZIONE SPECIE ANIMALI DI INTERESSE COMUNITARIO.

COMUNE DI SINNAI (2014). PIANO DI GESTIONE DEL SIC ITB040021 – COSTA DI CAGLIARI.

COMUNE DI SINNAI (2014). PIANO DI GESTIONE DEL SIC ITB040021 – COSTA DI CAGLIARI, VALUTAZIONE DI INCIDENZA AMBIENTALE.

COMUNE DI SINNAI. RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO: DOTT.ING. ANDREA SABA (2017). STUDIO DELLA PERICOLOSITA IDRAULICA. ALLEGATO 2.4 COROGRAFIA DEI BACINI IMBRIFERI.

COMUNE DI SINNAI. RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO: DOTT.ING. ANTONELLO COCCO (2019). INTERVENTI DI PULIZIA E MANUTENZIONE ORDINARIA DEI CANALI RICADENTI NEL CENTRO ABITATO DEL COMUNE. ALLEGATO 1 RELAZIONE TECNICA.

COMUNE DI SINNAI. RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO: DOTT.ING. ANTONIO MELONI (2009). INTERVENTI DI RIASSETTO IDRAULICO DEL RIO SOLANAS. RELAZIONE GENERALE.

CORTESOGNO L., CASSINIS G., DALLAGIOVANNA G., GAGGERO L., OGGIANO G., RONCHI A., SENO S. & VANOSSI M. (1998) - THE VARISCAN POST-COLLISIONAL VOLCANISM IN LATE CARBONIFEROUS-PERMIAN SEQUENCES OF LIGURIAN ALPS, SOUTHERN ALPS AND SARDINIA (ITALY): A SYNTHESIS. LITHOS, 45: 305-328, AMSTERDAM.

CRUDEN D.M. & VARNES D.J. (1996) – LANDSLIDES TYPES AND PROCESSES. IN: TURNER A.K. & SCHUSTER R.L. (EDS.) LANDSLIDES: INVESTIGATION AND MITIGATION. TRASPORTATION RESEARCH BOARD SPECIAL REPORT 247: 36-75. NATIONAL ACADEMY PRESS, WASHINGTON.

DAANSRGARD W., JOHNSEN S.J., CLAUSEN H.B., DAHL-JENSEN D., GUNDERSTRUP N.S., HAMMER C.U., HVIDBERG C.S., STEFFENSEN J.P., SVEINBJORNSDOTTIR A.E., JOUZEL J. & BOND G. (1993) - EVIDENCE OF A GENERAL INSTABILITY OF PAST CLIMATE FROM A 250-KYR ICE-RECORDS. NATURE, 364: 218-220, LONDON.

DE FALCO G, MURRU E, BAROLI M, CANCEMI G, PIERGALLINI G (2000) PHOTO-AERIAL IMAGE PROCESSING AND SEDIMENT ANALYSIS AS INDICATORS OF ENVIRONMENTAL IMPACT ON POSIDONIA OCEANICA IN THE MEDITERRANEAN SEA. PROCED. FOURTH INTERNATIONAL SEAGRASS BIOLOGY

WORKSHOP, BALAGNE CORSICA (FRANCE), 26 SEPT.-2 OCT 2000, PERGENT G., PERGENT-MARTINI C, BUIA MC, GAMBI MC (EDS.), BIOL. MAR. MED., 7(2) PP 349-352.

DE MURO S., IBBA A., KALB C. (2015). MORPHO-SEDIMENTOLOGY OF A MEDITERRANEAN MICROTIDAL EMBAYED WAVE DOMINATED BEACH SYSTEM AND RELATED INNER SHELF WITH POSIDONIA OCEANICA MEADOWS: THE SE SARDINIAN COAST. JOURNAL OF MAPS, 2016 VOL. 12, NO. 3, 558-572.

DE MURO S., KALB C. (2003). GEO-LITHOLOGICAL MAP OF SEAFLOOR BETWEEN CAPO BOI AND TORRE DE SU FENUGU. ATTI DEL CONVEGNO GEOSSED 2003.

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.

DEIDDA, R. (2016). EVOLUZIONE DEGLI STUDI SUGLI EVENTI IDROLOGICI ESTREMI IN SARDEGNA. SEMINARIO: L'ALLUVIONE, LE ALLUVIONI: MEMORIA E AZIONE, CAGLIARI 4 NOVEMBRE 2016.

DEIDDA, R., PIGA. E., SECHI G.M. (2000). ANALISI REGIONALE DI FREQUENZA DELLE PRECIPITAZIONI INTENSE IN SARDEGNA. L'ACQUA, 5, PAGINE 29-38, ISSN: 1125-1255.

DEL MORO A., DI PISA A., OGGIANO G. & VILLA I. (1991) - ISOTOPIC AGES OF TWO CONTRASTING TECTONO-METAMORPHIC EPISODES IN THE VARISCAN CHAIN IN NORTHERN SARDINIA. IN GEOLOGIA DEL BASAMENTO ITALIANO, SIENA 21-22 MARZO 1991

DEL MORO A., DI SIMPLICIO P., GHEZZO C., GUASPARRI G., RITA F. & SABATINI G. (1975) - RADIOMETRIC DATA AND INTRUSIVE SEQUENCE IN THE SARDINIAN BATHOLITH. - N. JB. MINER. ABH., **126**: 28-44.

DI GREGORIO F., ATZENI A., DE MURO S., PIRAS G., CARTA DEL RISCHIO GEOAMBIENTALE NELLE COSTE DELLA SARDEGNA - 2004 PUBBLICATO UNITAMENTE A : DI GREGORIO F., FEDERICI P.R., FIERRO G., GINESU., -ATLANTE DELLE SPIAGGE DELLA SARDEGNA.

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) R.A.S, CAGLIARI.

DI GREGORIO, F. DI, PUSCEDDU, M., ROMOLI, E., SERRELI, A., CARLO, T., & AMBIENTALE, G. (2010). VALUTAZIONE DEL RISCHIO D ' EROSIONE COSTIERA NELL ' AREA ARCHEOLOGICA DI NORA (SARDEGNA SW), 869-874.

DI GREGORIO, F., PUSCEDDU, M., & SERRELI, A. (2009). VALUTAZIONE DEL RISCHIO COSTIERO MEDIANTE TECNICHE GIS DEL LITORALE DI PULA (SARDEGNA SUD-OCCIDENTALE), 903-908.

DI SIMPLICIO P., FERRARA G., GHEZZO C., GUASPARRI G., PELLIZZER R., RICCI C. A., RITA F. & SABATINI G. (1974) -IL METAMORFISMO ED IL MAGMATISMO PALEOZOICO DELLA SARDEGNA. REND. SOC. IT. MINERAL. PETROL., **30**: 979-1068.

DINGMAN, S.L. (2014). PHYSICAL HYDROLOGY. PEARSON COLLEGE DIV, THIRD EDITION.

ECKIS R. (1928) - ALLUVIAL FANS IN THE CUCAMONGA DISTRICT, SOUTHERN CALIFORNIA. JOURNAL OF GEOLOGY **36**: 111-141, CHICAGO.

FEDERICO S., AVOLIO E., BELLECCI C., PASQUALONI L. (2009) - PRELIMINARY RESULTS OF A 30-YEAR DAILY RAINFALL DATA.

FELICE ANTONIO CASUSCELLI (*), ALESSANDRA DI BELLO (*), ROCCO DOMINICI (*), CARMINE VACCA (*) FERRARA G., RICCI C.A. & RITA F. (1978) - ISOTOPIC AGE AND TECTONO-METAMORPHIC HISTORY OF THE METAMORPHIC BASEMENT OF NORTHEASTERN SARDINIA - CONTRIB. MINERAL. PETROL., **68**:99-106.

FERRO, V. (2002). LA SISTEMAZIONE DEI BACINI IDROGRAFICI. MC GRAW-HILL.

FUNEDDA A., CARMIGNANI L., PASCI S., PATTA E.D., URAS V., CONTI P. & SALE V. (2009) - NOTE ILLUSTRATIVE DELLA CARTA GEOLOGICA D'ITALIA ALLA Scala 1:50.000. FOGLIO 556 ASSEMINI. ISPRA SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, REGIONE AUTONOMA SARDEGNA, 192 PP., ROMA.

GAVRILOVIC S. (1959) - METHODE DE LA CLASSIFICATION DES BASSINS TORRENTIELS ET EQUATIONS NOUVELLES POUR LE

GAVRILOVIC S. (1972) - ENGINEERING OF TORRENTS AND EROSION. IZGRADNJA, SPECIAL SPECIAL ISSUEISSUE, BEOGRAD.

GEOLOGICAL SOCIETY OF LONDON (1995) - THE DESCRIPTION AND CLASSIFICATION OF WEATHERED ROCKS FOR ENGINEERING PURPOSES - GROUP WORKING PARTY REPORT, QUATERLY JOURNAL OF ENGINEERING GEOLOGY N° 28.

GEOSTRUCTURAL PROSPECTING FOR THE GEOMECHANICS CHARACTERIZATION OF A GRANITIC ROCK-MASS: THE CASE HISTORY OF THE TERRA MALA AREA (SARDINIA, ITALY) - MASSIMO COLI, TOMMASO CASTORINA & ELISA LIVI.

GHEZZO C. & ORSINI J.B. (1982) - LINEAMENTI STRUTTURALI E COMPOSIZIONALI DEL BATOLITE ERCINICO SARDO CORSO IN SARDEGNA. IN: L. CARMIGNANI, T. COCOZZA, C. GHEZZO, P.C. PERTUSATI & C.A. RICCI (EDS.): «GUIDA ALLA GEOLOGIA DEL PALEOZOICO SARDO». GUIDE GEOLOGICHE REGIONALI, SOC. GEOL. IT., 165-181, ROMA.

GHEZZO C., GUASPARRI G. & SABATINI G. (1972) - LINEAMENTI GEOPETROLOGICI DEL CRISTALLINO SARDO. LE PLUTONITI E LA LORO SUCCESSIONE NEGLI EVENTI INTRUSIVI. MINERALOGICA ET PETROGRAPHICA ACTA, 18: 205-234, BOLOGNA.

GULLÀ G. & MATANO F. (1997) - SURVEYS OF WEATHERING PROFILE ON GNEISS CUTSLOPES IN NORTHERN CALABRIA, ITALY. PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ENGINEERING GEOLOGY AND THE ENVIRONMENT, IAEG, ATHENS, 133-138.

HARIK G., ALAMEDDINE I., MAROUN R., RACHID G., BRUSCHI D., ASTIASO GARCIA D., EL-FADEL M. (2016). IMPLICATIONS OF ADOPTING A BIODIVERSITY-BASED VULNERABILITY INDEX VERSUS A SHORELINE ENVIRONMENTAL SENSITIVITY INDEX ON MANAGEMENT AND POLICY PLANNING ALONG COASTAL AREAS. JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT (2017) 187E200.

HEARTHY P.J., BONFIGLIO L., VIOLANTI D. & SAZO B.J. (1986) - "AGE OF LATE QUATERNARY MARINE DEPOSITS OF SOUTHERN ITALY DETERMINED BY AMINOSTRATIGRAPHY, FAUNAL CORRELATION AND URANIUM-SERIES DATING". RIV. IT. PALEONT. STRAT., 92: 149-164, MILANO.

JOHNSEN S.J., DAHL JENSEN D., DANSGAARD W. & GUNDESTRUP N. (1995) - GREENLAND PALAEOTEMPERATURES DERIVED FROM GRIP BOREHOLE TEMPERATURE AND ICE CORE PROFILES. TELLUS, 47(B): 624-629, STOCKHOLM.

KALB C. (2008) - I SEDIMENTI SUPERFICIALI DELLA PIATTAFORMA INTERNA DEL GOLFO DI CAGLIARI. RELAZIONI TRA MOTO ONDOSO, CORRENTI INDOTTE E PROCESSI DI SEDIMENTAZIONE SU SISTEMI DI SPIAGGE CAMPIONE - DOTTORATO DI RICERCA IN SCIENZE DELLA TERRA - XX CICLO - UNIVERSITÀ DI CAGLIARI.

KALB C. (2008). I SEDIMENTI SUPERFICIALI DELLA PIATTAFORMA INTERNA DEL GOLFO DI CAGLIARI. PAG. 290.

KINDLER P., DAVAUD E. & STRASSER A. (1997) - TYRRHENIAN COASTAL DEPOSITS FROM SARDINIA (ITALY): A PETROGRAPHIC RECORD OF HIGH SEA LEVEL AND SHIFTING CLIMATE BELTS DURING THE LAST INTERGLACIAL (ISOTOPIC SUBSTAGE 5E). PALEO3, 133: 1-25, AMSTERDAM.

KOMAR P.D. (1998) - BEACH PROCESSES AND SEDIMENTATION, CHP. 04 - THE CHANGING LEVEL OF THE SEA, PRENTICE HALL.

LAROSA S., VACCA C., DOMINICI R., CIANFLONE G., VISCOMI G., DE ROSA R. .UN MODELLO PER IL CALCOLO DELLA DISTRIBUZIONE DEL VOLUME DEI SEDIMENTI PRODOTTI DA UN BACINO IDROGRAFICO ATTRAVERSO L'UTILIZZO DI UN PLUG-IN IN AMBIENTE PYQGIS. ASOTA 2015.

MAIONE, U. (1995). LE PIENE FLUVIALI. LA GOLIARDICA PAVESE.

MAIONE, U., MOISELLO, U. (1993), ELEMENTI DI STATISTICA PER L'IDROLOGIA. LA GOLIARDICA PAVESE.

MARTINEZ-POZA A. I., DRUGUET E. (2016). STRUCTURE AND TECTONIC SETTING OF THE SE SARDINIA Mafic DYKE SWARM. JOURNAL OF GEODYNAMICS.

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. & SHORT A.D. (1993) - THE EFFECT OF TIDE RANGE ON BEACH MORPHODYNAMICS AND MORPHOLOGY: A CONCEPTUAL BEACH MODEL, J. COASTAL RES., 9: 785-800.

MASSELINK G., HUGHES M.G. & KNIGHT J. (2011) - INTRODUCTION TO COASTAL PROCESSES & GEOMORPHOLOGY, 2ND EDITION ED., HODDER EDUCATION, LONDON.

MASSIMO COLI *, TOMMASO CASTORINA * & ELISA LIVI * MATTE P. (1986) - LA CHAÎNE VARISQUE PARMI LES CHAÎNES PALÉOZOÏQUES PÈRI ATLANTIQUES, MODÈLE D'ÉVOLUTION ET POSITION DES GRANDS BLOCS CONTINENTAUX AU PERMO-CARBONIFÈRE. BULL. SOC. GÉOL. FRANCE, 8: 9-24, PARIS.

MAXIA C. & PECORINI G. (1968) - IL QUATERNARIO DELLA SARDEGNA. ATTI X CONGRESSO INTERN. DI STUDI

MERELLA P., PAIS A., FOLLESA M. C., FARJALLAH S., MELE S., PIRAS M. C., GARIPPA G. (2016). PARASITES AND LESSEPSIAN MIGRATION OF *FISTULARIA COMMERSONII* (OSTEICHTHYES, FISTULARIIDAE): SHADOWS AND LIGHT ON THE ENEMY RELEASE HYPOTHESIS. *MAR BIOL* (2016) 163:97.

MOISELLO, U. (1999). IDROLOGIA TECNICA. LA GOLIARDICA PAVESE.

NICOLETTI M., ARDANESE L.R. & COLASANTI S. (1982). LA GRANODIORITE DI CAPO CARBONARA (SARDEGNA-ITALIA). ETÀ K/AR DI FASI MINERALI IN PARAGENESI. *REND. SOC. IT. MINERAL. PETROL.*, 38 : 765-769.

ORSINI J.B. (1976) - LES GRANITOIDES HERCYNIENNES CORSO-SARDE, MISE EN EVIDENCE DE DEUX ASSOCIATION MAGMATIQUE. *BULL. SOC. GEOL. FR.*, **18**: 1203-1206.

ORSINI J.B. (1980) - LE BATHOLITE CORSO-SARDE: ANATOMIE D'UN BATHOLITE HERCYNIEN. COMPOSITION, STRUCTURE, ORGANISATION D'ENSEMBLE. SA PLACE DANS LA CHAÎNE VARISQUE FRANÇAISE. PH. D. THESIS, UNIV. AIX-MARSEILLE III.

OZERA A., PASKOFF P. & ULZEGA A. (1980) - ESSAI DE CORRELATION DU PLEISTOCENE SUPERIEUR DE LA SARDAI- GNE ET DE LA TUNISIE. *C.R. ACAD. SC. PARIS*, 291: 801-804, PARIS.

PANZALIS P., NAVONE A., CATTANEO-VIETTI R., MONTEFALCONE M., MORRI C., BIANCHI C. N. : PRELIMINARY SURVEY OF THE HEALTH STATE OF THE POSIDONIA OCEANICA BED AT SPALMATORE DI TERRA, TAVOLARA-PUNTA CODA CAVALLO MARINE PROTECTED AREA (SARDINIA, WESTERN MEDITERRANEAN).

PASQUARÉ G., ABBATE E., BOSI C., CASTIGLIONI G.B., MERENDA L., MUTTI E., OROMBELLI G., ORTOLANI F., PAROTTO M., PIGNONE M., POLINO R., PREMOLI SILVA I. & SASSI F.P. (1992) - CARTA GEOLOGICA D'ITALIA - 1:50.000. GUIDA AL RILEVAMENTO. *SERV. GEOL. NAZ., QUAD. S. III, 1*: 203 PP., ROMA.

PECORINI G. & POMESANO CHERCHI A. (1969) - RICERCHE GEOLOGICHE E BIOSTRATIGRAFICHE SUL CAMPIDANO MERIDIONALE (SARDEGNA). *MEM. SOC. GEOL. IT.*, 8: 421-451, ROMA.

PECORINI G. (1961) – SU UN DEPOSITO LACUSTRE OLIGOCENICO DELLA NURRA DI ALGHERO. *ATTI ACC. NAZ. LINCEI*, 30: 67-73., ROMA.

PECORINI G. (1962) – NUOVE OSSERVAZIONI SUL PERMICO DELLA NURRA (SARDEGNA NORD-OCCIDENTALE). *ATTI ACC. NAZ. LINCEI*, 32: 377-380., ROMA.

PIAZZI L., BIANCHI C. N., CECCHI E., GATTI G., GUALA I., MORRI C., SARTORETTO S., SERENA F., MONTEFALCONE M. (2017). WHAT'S IN AN INDEX? COMPARING THE ECOLOGICAL INFORMATION PROVIDED BY TWO INDICES TO ASSESS THE STATUS OF CORALLINENOUS REEFS IN THE NW MEDITERRANEAN SEA. *AQUATIC CONSERV: MAR FRESHW ECOSYST.* 2017: 1-10.

PIRINU N. (1991) - LE SIENITI DEL SARRABUS MERIDIONALE (SARDEGNA SUD-ORIENTALE). TESI DI DOTTORATO. UNIV. NAPOLI.

PIRINU N., BROTTU P., CALLEGARI E. & SECCHI F. (1996). AGE AND FIELD RELATIONSHIP OF ALBITE-RICH MONZOSYENITE INTRUDED INTO THE SARRABUS GRANITOIDS (SE SARDINIA, ITALIA). *PER MINERAL.*, 65: 289-304.

PIRINU N., BROTTU P., CALLEGARI E., SECCHI F. (1996). AGE AND FIELD RELATIONSHIP OF ALBITE-RICH MONZOSYENITE INTRUDED INTO THE SARRABUS GRANITOIDS. *PER. MINERAL.* (1996) 65: 289-304.

PROGEMISA S.P.A. (2009) - CONVENZIONE PER ATTIVITA DI COLLABORAZIONE E SUPPORTO ALLO SVILUPPO DEL P.P.R.: CARTA GEOLOGICA DI BASE DELLA SARDEGNA, Scala 1:25.000 - RENDICONTAZIONE TECNICA FINALE. E. SARRIA (COORD.), REGIONE AUTONOMA SARDEGNA, ASS. ENTI LOCALI, FINANZE E URBANISTICA, ASS. INDUSTRIA, PROGEMISA S.P.A., 58 PP., CAGLIARI.

PROVINCIA DI CAGLIARI: ASSESSORATO PROGRAMMAZIONE E COORDINAMENTO POLITICHE DEL TERRITORIO (2011). DIFESA DEL SUOLO E PREVENZIONE DEI RISCHI DI DISSESTO IDROGEOLOGICO.

RAS (2006). CARTOGRAFIA; PIANO PAESAGGISTICO REGIONALE.

RAS (2006). PIANO PAESAGGISTICO REGIONALE. IL SISTEMA INFORMATIVO TERRITORIALE REGIONALE PER IL RIORDINO DELLE CONOSCENZE E PER LA GESTIONE DELLE TRASFORMAZIONI TERRITORIALI.

RAS (2006). PIANO PAESAGGISTICO REGIONALE; SEZIONE I RELAZIONE GENERALE.

RAS (2006). PIANO PAESAGGISTICO REGIONALE; SEZIONE II RELAZIONE GENERALE.

RAS (2006). PIANO PAESAGGISTICO REGIONALE; SEZIONE III RELAZIONE GENERALE.

RAS (2007). PIANO FORESTALE AMBIENTALE REGIONALE, DESCRIZIONE DELLE SERIE DI VEGETAZIONE.

RAS (2007). PIANO FORESTALE AMBIENTALE REGIONALE. ALL.1 SCHEDE DESCRITTIVE DI DISTRETTO (DISTRETTO 23 SETTE FRATELLI).

RAS (2007). PIANO STRALCIO DELLE FASCE FLUVIALI. SUB-BACINO 07 FLUMENDOSA-CAMPIDANO-CIXERI.

RAS (2013). PROGRAMMA AZIONE COSTE SARDEGNA - ALLEGATO 3 SCHEDE DI CLASSIFICAZIONE DELLE SPIAGGE.

RAS (2013). PROGRAMMA AZIONE COSTE SARDEGNA - ALLEGATO 3, FASCICOLO A – SCHEDE DI BASE DELLE UNITA DI LITORALE E DELLE SPIAGGE.

RAS (2013). PROGRAMMA AZIONE COSTE SARDEGNA - RELAZIONE GENERALE.

RATTU R., CILLO D. (2012). UNA NUOVA SPECIE DI CEBRIO DELLA SARDEGNA. ESTRATTO DAGLI ANNALI DEL MUSEO CIVICO DI STORIA NATURALE "G. DORIA" VOL. 104 - 20 SETTEMBRE 2012.

RINALDI M., SURIAN N., COMITI F. & BUSSETTINI M. (2016) – IDRAIM - SISTEMA DI VALUTAZIONE IDROMORFOLOGICA, ANALISI E MONITORAGGIO DEI CORSI D'ACQUA. ISPRA, MANUALI E LINEE GUIDA, 131/2016, ROMA, 262 PP.

RONCA S. & TRAVERSA G. (1996) - LATE HERCYNIAN DYKE MAGMATISM OF SARRABUS. PER. MINERAL., 65: 35-70, ROMA.

SALES F. (2016). A REASSESSMENT OF THE BROMUS MADRITENSIS COMPLEX (POACEAE): A MULTIVARIATE APPROACH. ISRAEL JOURNAL OF PLANT SCIENCES, VOL. 42, 1994, PP. 245-255.

SALVADOR A. (1987) – UNCONFORMITY-BOUNDED STRATIGRAPHIC UNITS. GEOL. SOC. AMERICA BULL. 98:232-237.

SALVADOR A. (1994) – INTERNATIONAL STRATIGRAPHIC GUIDE. A GUIDE TO STRATIGRAPHIC CLASSIFICATION, TERMINOLOGY AND PROCEDURE. THE INTERNATIONAL UNION OF GEOLOGICAL SCIENCES AND THE GEOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA, 214 PP., BOULDER.

SANNA D., MERELLA P., LAI T., FARJALLAH S., FRANCALACCI P., CURINI-GALLETTI M., PAIS A., CASU M. (2010). COMBINED ANALYSIS OF FOUR MITOCHONDRIAL REGIONS ALLOWED THE DETECTION OF SEVERAL MATRILINEAL LINEAGES OF THE LESSEPSIAN FISH *FISTULARIA COMMERSIONII* IN THE MEDITERRANEAN SEA. JOURNAL OF THE MARINE BIOLOGICAL ASSOCIATION OF THE UNITED KINGDOM, PAG 1-5.

SANNA D., SCARPA F., LAI T., COSSU P., FALAUTANO M., CASTRIOTA L., ANDALORO F., FOLLESA M. C., FRANCALACCI P., CURINI-GALLETTI M., CASU M. (2015). *FISTULARIA COMMERSIONII* (TELEOSTEA: *FISTULARIIDAE*): WALKING THROUGH THE LESSEPSIAN PARADOX OF MITOCHONDRIAL DNA. ITALIAN JOURNAL OF ZOOLOGY, 2015, VOL. 82, NO. 4: 499–512.

SCHARBERT S. (1978) - SUPPLEMENTARY REMARKS ON RB/SR AGE AND GEOPETROLOGIC EVOLUTION OF CRYSTALLINE ROCKS IN SOUTHERN SULCIS (SARDINIA). BY COCOZZA ET AL. (1977). N. JB. GEOL. PALAONT. MH., 1978, H, 1: 59-64.

SECCHI F. A., BROTTU P. & CALLEGARI E. (1991) - THE ARBURÈSE IGNEOUS BODY (SW SARDINIA, ITALY) - AN EXAMPLE OF DOMINANT IGNEOUS FRACTIONATION LEADING TO PERALUMINOUS CORDIERITE-BEARING LEUCOGRANITES AS RESIDUAL MELTS-. CHEM. GEOL., 92: 213-249.

SECCHI F., LORRAI M. (2001) – SOME GEOLOGICAL AND ENVIRONMENTAL ASPECTS OF THE SARRABUS-GERREI REGION (SE SARDINIA, ITALY). REND. SEM. FAC.SC.UNIV.CA. 71(2): 187-208, CAGLIARI.

SERRELI A. (2007) - DATABASE GEOGRAFICO E APPLICAZIONI GIS ORIENTATE ALLO STUDIO GEOMORFOLOGICO QUANTITATIVO E ALLA MAPPATURA DELLA PERICOLOSITÀ IDROGEOLOGICA DEL BACINO IDROGRAFICO DEL RIO SOLANAS (SARDEGNA SE). TESI DI DOTTORATO DI RICERCA IN DIFESA DEL SUOLO (UNIVERSITÀ DI CAGLIARI).

SERVELLO G., ANDALORO F., AZZURRO E., CASTRIOTA L., CATRA M., CHIARORE A., CROSETTA, F., D'ALESSANDRO M., DENITTO F., FROGLIA C., GRAVILI C., LANGER M., LO BRUTTO S., MASTROTOTARO F., PETROCELLI A., PIPITONE C., PIRAINO S., RELINI G., SERIO D., XENTIDIS N., ZENETOS A. (2019).

MARINE ALIEN SPECIES IN ITALY: A CONTRIBUTION TO THE IMPLEMENTATION OF DESCRIPTOR D2 OF THE MARINE STRATEGY FRAMEWORK DIRECTIVE. MEDITERRANEAN MARINE SCIENCE, 20(1), 1-48.

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, P.154. UNIVERSITÀ DI CAGLIARI.

SULIS A. IN PRESS - MINOR STRUCTURES FOR THE IMPROVEMENT OF WAVE DISTURBANCE IN A SMALL HARBOR. ADVANCES IN CIVIL ENGINEERING.

THOMAS D.S.G. (1997) - ARID ZONE GEOMORPHOLOGY. PROCESS, FORM AND CHANGE IN DRYLANDS. WILEY & SONS ED., CHICHESTER.

TRAVERSA G. (1969) - SULLA GIACITURA ED ETA DI ALCUNI FILONI BASICI NELLE VULCANITI IGNIMBRITICHE PERMIANE DELLA GALLURA (SARDEGNA SETTENTRIONALE). REND. S.I.M.P., 25: 149-155.

TWIDALE, C. R. (1982). GRANITE LANDFORMS. ELSEVIER PUBLISHING COMPANY, AMSTERDAM. 372 PP.

TWIDALE, C. R. AND VIDAL ROMANÍ, J. R. (1994). ON THE MULTISTAGE DEVELOPMENT OF ETCH FORMS. GEOMORPHOLOGY, 11, 157-186.

TWIDALE, C. R. AND VIDAL ROMANÍ, J. R. (2005). LANDFORMS AND GEOLOGY OF GRANITE TERRAINS. ED. BALKEMA .352 PP. AMSTERDAM. THE NETHERLANDS.

TWIDALE, C. R., VIDAL ROMANÍ, J. R., CAMPBELL, E. M. AND CENTENO, J. (1996). SHEET FRACTURES: RESPONSE TO EROSIONAL OFFLOADING OR TO TECTONIC STRESS?. ZEITSCHRIFT FÜR GEOMORFOLOGIE. Z.G. SUPPLBD. 106: 1-24.

ULZEGA A. & HEARTY J.P. (1986) - GEOMORPHOLOGY, STRATIGRAPHY AND GEOCHRONOLOGY OF LATE QUATER- NARY MARINE DEPOSITS IN SARDINIA. Z. GEOMORPH., N.F., SUPPL. BD., 62: 119-129, STUTTGART.

ULZEGA A. & OZER A. (1982) - COMPTES-RENDUS DE L'EXCURSION-TABLE ROND SUR LE TYRRHENIEN DE SARDEGNA ORIENTALE. INQUA, PP. 110, CAGLIARI.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA), NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE. TECHNICAL RELEASE 55: "URBAN HYDROLOGY FOR SMALL WATERSHEDS". JUNE 1986. [HTTP://WWW.NRCS.USDA.GOV/INTERNET/FSE_DOCUMENTS/STELPRDB1044171.PDF](http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/STELPRDB1044171.PDF).

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA), NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE. PART 630 HYDROLOGY, NATIONAL ENGINEERING HANDBOOK: "CHAPTER 9: HYDROLOGIC SOIL-COVER COMPLEXES". 210-VI-NEH, JULY 2004.

VARDABASSO S. (1956) - IL QUATERNARIO DELLA SARDEGNA. ATTI IV CONGR. INTERN. QUAT. ROMA-PISA, (1953), 2:995-1018, ROMA.

VARNES D.J. (1978) - SLOPE MOVEMENTS TYPE AND PROCESSES. IN: R.L. SCHUSTER & R.J. KRIZEK (EDS.): «LANDSLIDES, ANALYSIS AND CONTROL», TRANSP. RES. BOARD, SPE. REP., NAT. ACAD. SCI., WASHINGTON, DC, 176: 11-33, WASHINGTON.

WRIGHT L.D. & SHORT A.D. (1984) - MORPHODYNAMIC VARIABILITY OF SURF ZONE AND BEACHES. MARINE GEOLOGY 56: 93-118.

ZEM LJIC M. (1971) - CALCUL DU DEBIT SOLIDE-EVALUATION DE LA VEGETATION COMME UN DES FACTEURS ANTIEROSIF.

9. INDICE DELLA CARTOGRAFIA ALLEGATA

Tavola 1	Inquadramento geografico dell'area pilota in scala 1:10.000
Tavola 2	Carta Geologica in scala 1:10.000
Tavola 3	Carta Geolitologica in scala 1:10.000
Tavola 4.1	Carta delle "Unità Morfologiche" in alveo fluviale in scala 1: 4.000 (settore nord)
Tavola 4.2	Carta delle "Unità Morfologiche" in alveo fluviale in scala 1: 4.000 (settore sud)
Tavola 5	Carta delle Permeabilità dei substrati in scala 1:10.000
Tavola 6	Carta dell'Uso e della Copertura del Suolo in scala 1:10.000
Tavola 7	Carta delle "Classi del grado di erodibilità delle rocce" in scala 1:10.000
Tavola 8	Carta della distribuzione spaziale del valore di produzione di sedimenti in scala 1:10.000
Tavola 9	Carta degli habitat in scala 1:10.000
Tavola 10	Carta Bionomica dei fondali in scala 1:5.000 (UGC – Cann'e Sisa)
Tavola 11	Carta Bionomica dei fondali in scala 1:5.000 (UGC – Genn'e Mari)
Tavola 12	Carta Bionomica dei fondali in scala 1:5.000 (UGC – Solanas)
Tavola 13	Ortofoto Torre delle Stelle in scala 1:1.000
Tavola 14	Carta Geomorfologica in scala 1:1.000
Tavola 15	Carta Geologica Settore Emerso e Sommerso in scala 1:1.000
Tavola 16	Carta delle Unità Geomeccaniche in scala 1:1.000

