

AMPLIAMENTO MOLO DIREZIONE MARINA E RISTRUTTURAZIONE IMBOCCATURA DEL PORTO TURISTICO DI PORTO ROTONDO

INTEGRAZIONI ALLO STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE
RICHIESTE DAL SAVI A SEGUITO DELLA CONFERENZA
ISTRUTTORIA

prot. n° 25712 del 3 dicembre 2009



RELAZIONE GEOLOGICA

STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA

Dott. Geol. Giacomo Deiana
Via Fratelli Cervi 38 - 09020 - Ussana CA
Tel. +39 329 3651161
P.I 03053920926
C.F. DNEGCM80E27B354R

Committente:

Marina di Porto Rotondo s.r.l.
Ufficio direzionale marina
Loc. Porto Rotondo
P.I-C.F. :00157040908

INDICE

1. PREMESSA.....	2
2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO MARINO DELL'AREA VASTA.....	2
2.1 La piattaforma continentale	2
2.2 Stratigrafia della piattaforma continentale	8
3. ASSETTO GEOLOGICO DI DETTAGLIO DELL'AREA DIRETTAMENTE INTERESSATA DALLE OPERE PREVISTE IN PROGETTO.....	16
4. ASSETTO GEOMORFOLOGICO	17
4.1 Principali unità fisiografiche.....	18
5. CAMPAGNA DI ACQUISIZIONE DATI	20
5.1 Rilievo batimetrico.....	20
5.2 Rilievo morfologico della spiaggia.....	22
5.3 Campionamento dei sedimenti superficiali	29
6. ANALISI SUI CAMPIONI DI SEDIMENTO	33
7. PROGRAMMA DI MONITORAGGIO	34
8 .CONCLUSIONI.....	35
9. ALLEGATI	36

1. PREMESSA

Su incarico conferito dalla Società Marina di Porto Rotondo s.r.l., lo scrivente, dott. Geol. Giacomo Deiana, iscritto all'Ordine dei Geologi della Regione Sardegna con il n° 655, ha realizzato lo studio geologico-geomorfologico atto a definire: l'individuazione delle unità fisiografiche dell'area vasta, l'esecuzione di rilievi morfologici sui litorali sabbiosi, il prelievo dei campioni e analisi di laboratorio sui sedimenti ed infine un programma di monitoraggio dei parametri sedimentologici morfometrici degli settori litorali interessati dai lavori di allungamento, dragaggio e banchinamento.

Il lavoro di mappatura del fondale è consistito nella interpretazione in chiave geologica-geomorfologica del mosaico side scan sonar acquisito a profondità comprese tra -10 e -50 metri, durante la campagna oceanografica "Mappatura della praterie a Posidonia oceanica lungo le coste della Sardegna" (svolta tra giugno 2000 e luglio 2001), finanziata dal Ministero dell'Ambiente; per quanto riguarda il settore prossimale, compreso tra la linea di riva ed i -10 metri di profondità, lo studio si è basato sull'interpretazione delle ortofoto in formato raster *.ecw* a colori in scala 1:10000, acquisite dalla Regione Sardegna nel 2006. Le ipotesi interpretative sono state validate durante i rilievi morfologici e durante le indagini dirette in immersione.

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO MARINO DELL'AREA VASTA

2.1 La piattaforma continentale

L'area interessata dalla realizzazione delle opere in progetto ricade all'interno del Foglio n° 428 "ARZACHENA" (fig. 1) della Cartografia Geologia Ufficiale dello Stato in scala 1:50000.

La piattaforma continentale sarda relativa al Foglio geologico n°428, si estende per circa 10 mn verso mare con una debole pendenza fino al bordo (-110m/120m). Quest'ultimo si presenta frastagliato in quanto caratterizzato dalla presenza di una serie di testate (in arretramento) di canyon (Canyon Caprera, Canyon Cervo, Canyon Mortorio) che incidono la sottostante scarpata (Scarpata Gallurese; Ulzega, 1988).

La piattaforma continentale, definita da Ulzega (1988) come Pianu Gaddurese, si divide in: piattaforma interna o prossimale, molto articolata e complessa ed in piattaforma esterna o distale, che comprende l'intero settore nord-orientale del Foglio. La suddivisione risulta necessaria in quanto si esplicano differenti modalità della dinamica marina che condizionano in modo determinante i processi evolutivi sia delle coste che dei fondali.

La parte interna dell'unità fisiografica considerata, si estende dalla linea di riva alla batimetrica -50 m e comprende tutti i fondali prossimali in cui si trovano le isole maggiori e minori, gli scogli e le secche. In questo settore marino avviene la sedimentazione terrigena degli apporti terrestri e la dispersione dei sedimenti ad opera delle correnti di fondo, soprattutto in relazione all'elevata dinamica delle masse d'acqua mobilizzate lungo i canali tra le isole dalle mareggiate dei quadranti settentrionali.

La porzione esterna della grande unità, si estende dalla batimetrica -50m sino alla massima profondità di circa -90m che si raggiunge all'estremità nord-orientale del Foglio; non si raggiunge pertanto il bordo della piattaforma continentale.

L'area di piattaforma esterna è caratterizzata da debole sedimentazione a bassa energia su una morfologia estremamente regolare.

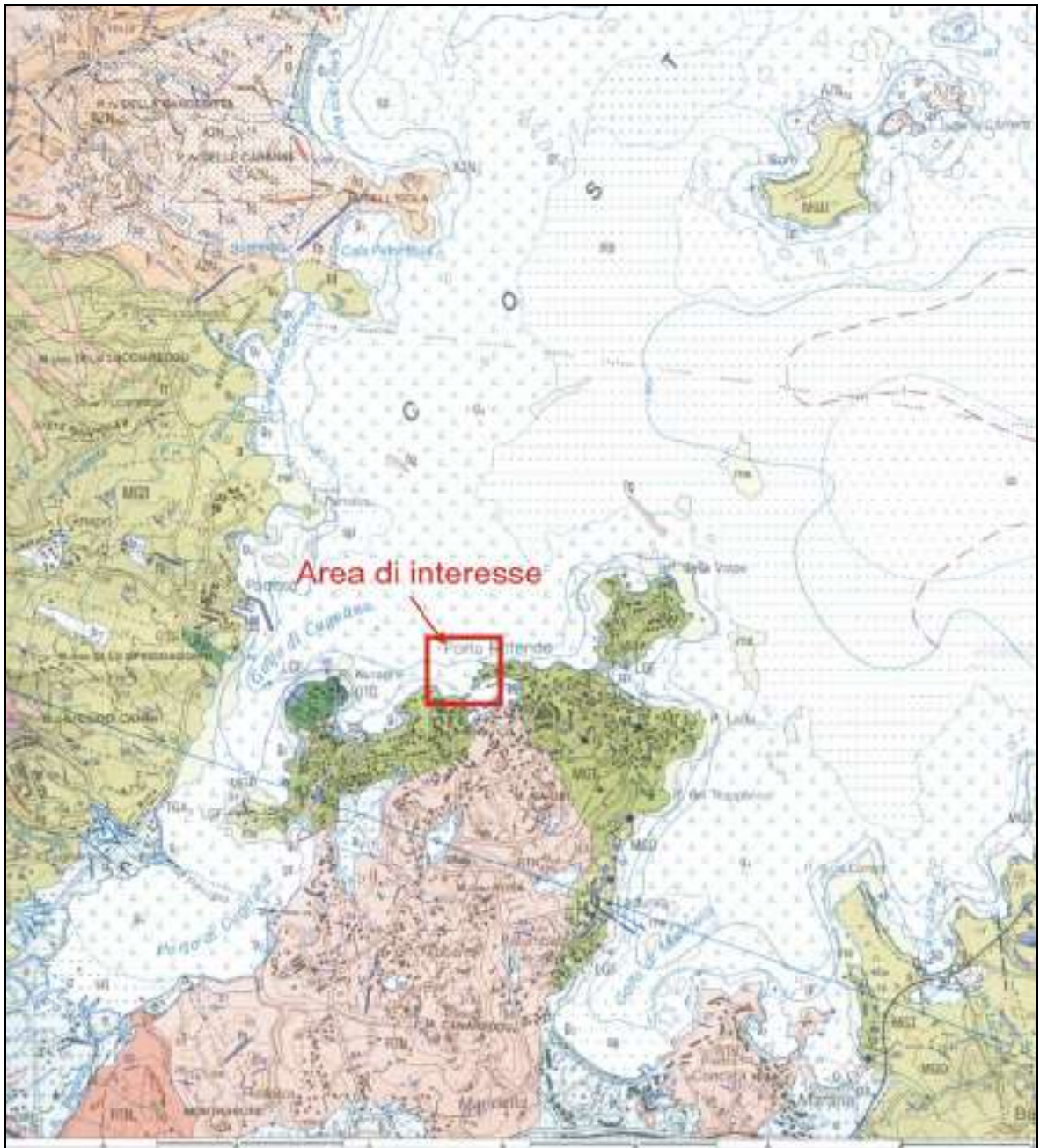


Figura 1 – Stralcio dalla nuova Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 F° 428 "Arzachena"; il riquadro rosso evidenzia il settore interessato dalla realizzazione delle opere previste in progetto.

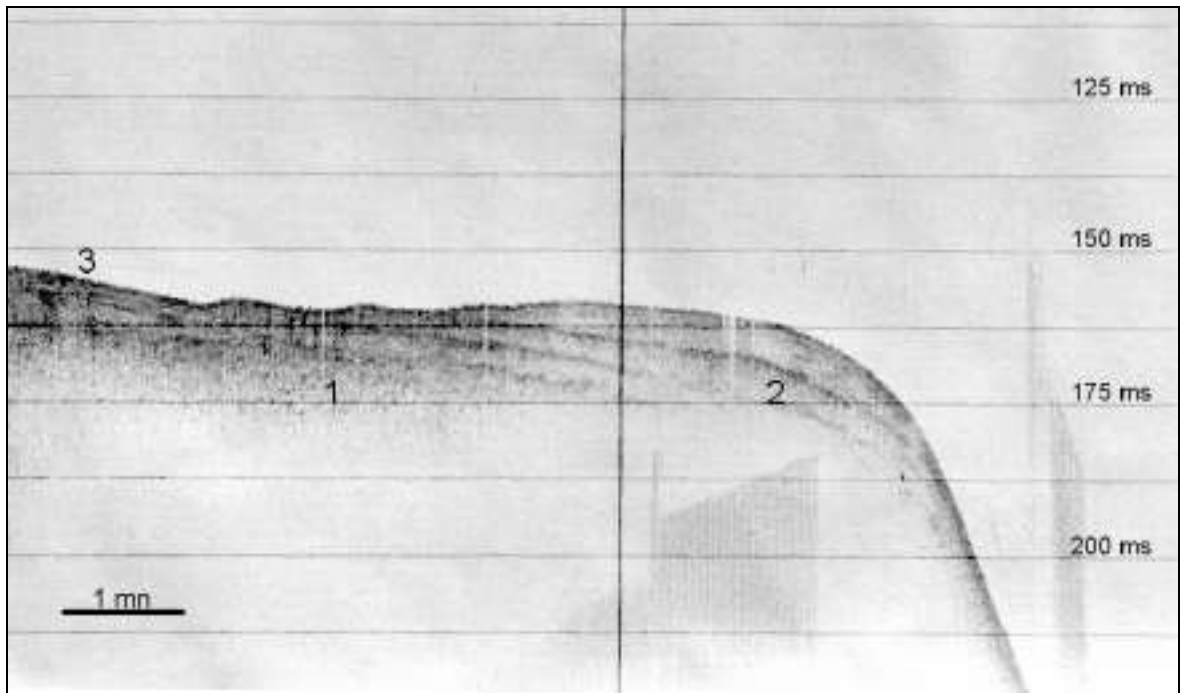


Figura 2 - Registrazione sismica Subbottom Profiler 3,5 Khz – Sezione in zona del bordo della piattaforma continentale 12 mn a E dell'Isola di Soffi: 1) substrato cristallino(Mg); 2) prisma di progradazione plio-quadernaria in facies sismica opaca è caratterizzata da rari riflettori inclinati, le geometrie sedimentarie sono rappresentate da foreset inclinati verso mare; 3) sedimentazione marina olocenica, limi e limi sabbiosi.

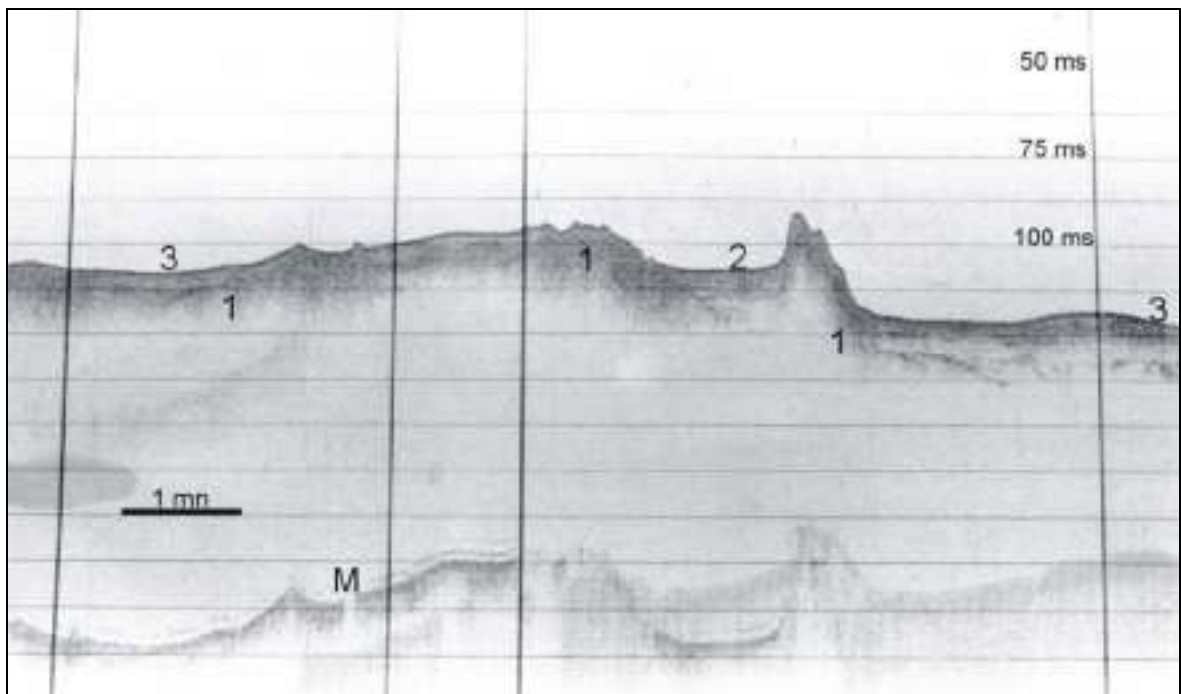


Figura 3 - Registrazione sismica Subbottom Profiler 3,5 Khz – Sezione in piattaforma distale 1 mn a ENE dell'Isola dei Nibani: 1) substrato cristallino (Mg); 2)) colmata a sedimenti sabbiosi, probabile sedimentazione di fine ciclo continentale; 3) sedimentazione olocenica a sabbie limose; M) multipla.

Il paesaggio sommerso della grande unità fisiografica (interna, esterna), è caratterizzato dalla presenza di depressioni che sulla base dell'interpretazione dei profili sismici (SubBottomProfiler – Campagne “Placers”), sono attualmente colmate da sedimenti olocenici e localizzate principalmente in corrispondenza delle grandi insenature (Golfo di Cugnana, Golfo di Marinella, Golfo del Pevero e Cala di Volpe), la cui genesi è di natura tettonica, sviluppandosi secondo le principali linee di faglia (direzione NNE-SSW) che caratterizzano l'area. Il loro modellamento è da imputarsi alle fasi glacio-eustatiche che caratterizzano il Quaternario, soprattutto durante la fase regressiva wurmiana (stage 4,3,2); in questo momento, infatti si verificano processi erosivi da parte sia degli agenti esogeni sia dei corsi d'acqua, determinando un paesaggio ben diverso dall'attuale, con la formazione di sistemi cordone litorale-laguna durante la progressiva regressione marina (massimo regressivo –110/120m) a cui è seguita la trasgressione versiliana che rimaneggia e rimodella le morfologie preesistenti (fig. 5).

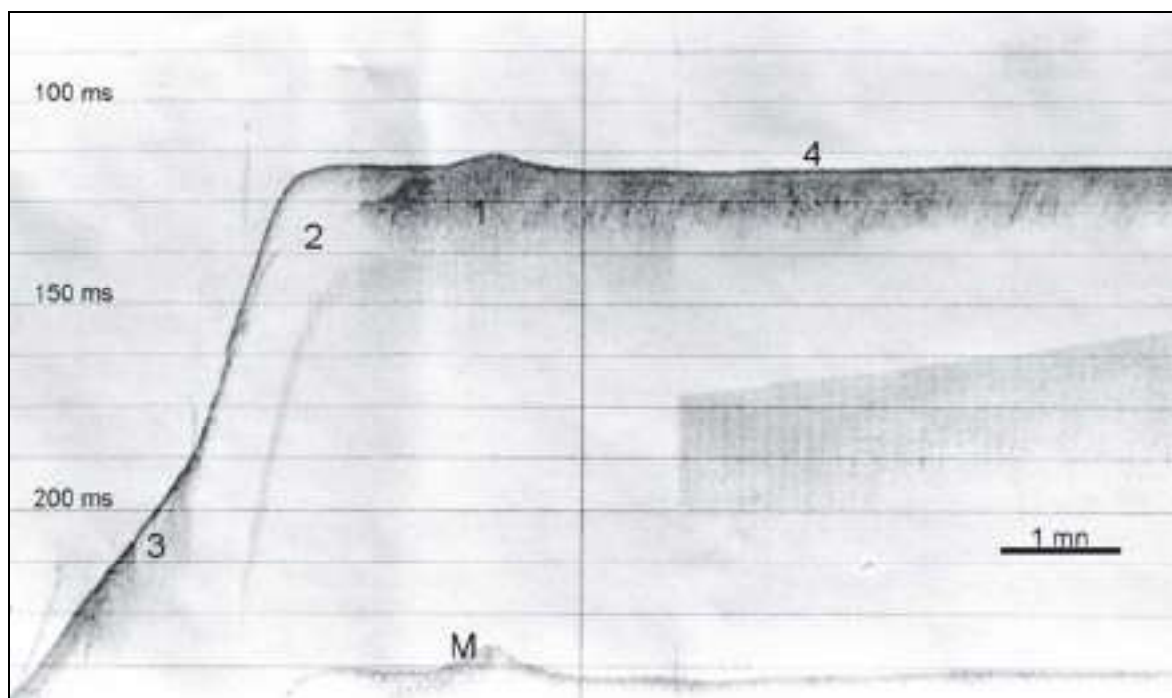


Figura 4 - Registrazione sismica Subbottom Profiler 3,5 KHz – Sezione in zona del bordo della piattaforma continentale, a 10 mn a ESE dell'Isola dei Nibani: 1) substrato cristallino (Mg); 2) prisma sedimentario progradante plio-quaternario con riflettori a geometria convessa; 3) sedimentazione olocenica da scivolamenti gravitativi; 4) sedimentazione marina olocenica, limi e limi sabbiosi; M) multipla.

Questa situazione è testimoniata dalla configurazione delle principali linee di drenaggio sommerse che terminano in corrispondenza delle testate dei canyon precedentemente citati. Ulteriori testimonianze morfologiche ben conservate si accordano a quanto scritto, legate alle fasi regressive e trasgressive quaternarie: si definiscono così morfologie litorali (cordoni litorali fossili, beach-rock), soprattutto relative all'ultimo sollevamento tardo-pleistocenico ed olocenico del livello del mare.

Si tratta in particolare di depositi di spiaggia cementati, in facies di beach-rock, localizzati a varie profondità: sono significativi i livelli a -70m, a -50m ed a quote via via superiori fino alle ultime beach-rock presenti in prossimità spiagge sia della Corsica che della Sardegna, che testimoniano l'ultimo sollevamento del livello del mare olocenico corrispondenza dell'*optimum climatico*.

In questo contesto non si esclude una componente tettonica polifasica (NNE-SSW ; NNW-SSE) che abbia predisposto il substrato per il modellamento finale sopra citato; infatti si rilevano le evidenze di faglie sepolte con direzione NNE-SSW che caratterizzano il settore sud-orientale del Foglio.

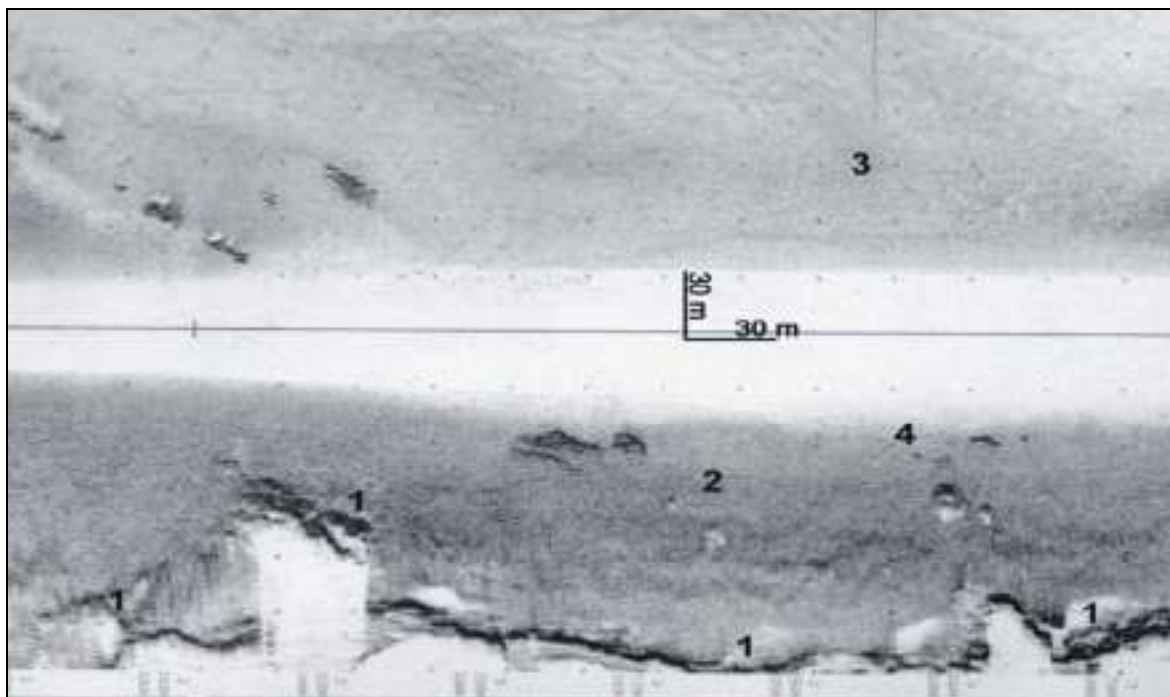


Figura 5- Registrazione Side Scan Sonar 100 Khz, fascia esplorata 150 m – Fondali antistanti la Falesia di Capo Figari - 1) piede di falesia calcareo dolomitica (GA) poggiate su metamorfiti interessate da manifestazioni filoniane ad andamento prevalente NO SE; 3) sabbie ghiaiose biogeniche organogene a prevalente composizione carbonatica (sg); 4) guglie residuali e grandi blocchi franati per arretramento della falesia.

2.2 Stratigrafia della piattaforma continentale

La definizione della distribuzione delle facies a sedimenti incoerenti e dei substrati rocciosi in un ambito areale significativo è stata effettuata sulla base dell'interpretazione del mosaico side scan sonar, acquisito a profondità comprese tra -10 e - 50 metri, durante la campagna oceanografica "Mappatura della praterie a Posidonia oceanica lungo le coste della Sardegna" (svolta tra giugno 2000 e luglio 2001), finanziata dal Ministero dell'Ambiente. Per quanto riguarda il settore prossimale, compreso tra la linea di riva ed i - 10 metri di profondità, lo studio si è basato sull'interpretazione delle ortofoto in formato raster .ecw a colori in scala 1:10000, acquisite dalla Regione Sardegna nel 2006.

Le ipotesi interpretative sono state validate attraverso la realizzazione di una campagna di indagini dirette in immersione durante la quale è stato effettuato il campionamento dei depositi superficiali al fine di eseguire le analisi di laboratorio (analisi granulometriche e analisi mineralogiche al microscopio ottico).

Complessivamente sono state individuate e cartografate in scala 1:5000 (vedi allegato 1) 10 diverse tipologie di fondale (6 facies a sedimenti incoerenti, 2 facies a substrati rocciosi e 4 biocenosi), che partendo dalle facies litorali a quelle più distali sono:

Substrato roccioso affiorante e sub-affiorante (Cambriano?)

Il substrato roccioso affiorante e sub-affiorante è ascrivibile al Complesso metamorfico di alto grado; tali affioramenti sono caratterizzati da modesta estensione areale in piattaforma interna, mentre raggiungono maggiore estensione nelle aree pericostiere soprattutto in corrispondenza dei promontori.

Sabbie medie e fini silicoclastiche (Olocene sup)

Caratterizzano principalmente la spiaggia sommersa dei litorali sabbiosi e talvolta si riscontrano nelle piccole insenature. Sono rappresentate sia da sabbie fini che da sabbie medie di composizione quarzoso-feldspatica con una modesta frazione di frammenti conchigliari in prossimità della prateria a Posidonia oceanica. (fig. 9)

La dinamica marina regola la loro distribuzione, definendo zone a sedimentazione fine in aree a bassa energia (spiaggia di fondo baia) e aree con sedimenti più grossolani (sabbie medie) caratteristici delle zone più esposte ai venti dominanti (promontori). Verso il largo,

il limite è imposto dalla presenza della prateria a *Posidonia oceanica* (limite superiore), o dalla presenza di sedimenti di natura bioclastica rappresentata da frammenti di lamellibranchi, gasteropodi ed echinidi di dimensioni superiori a 2 mm, associati all'ecosistema della prateria a fanerogame marine. I depositi di spiaggia con dominanza litoclastica presentano notevoli differenziazioni sia in senso tessiturale che compositiva in relazione alle diverse caratteristiche lito-morfologiche comprese nell'area in esame. Le sabbie di spiaggia sommersa che rappresentano la porzione sommersa di corpi sedimentari di "poket beach", compresi in un morfotipo costiero a costa rocciosa molto acclive e piattaforme di abrasione sollevate; qui all'elevata energia del moto ondoso corrispondono caratteri tessiturali grossolani, compresi tra le ghiaie, ghiaiette e sabbie grossolane. La fascia di distribuzione sabbie litorali, è limitata dall'irregolare limite superiore della prateria di *Posidonia oceanica* (-5/-7 m) o da cornici in roccia che limitano verso terra piattaforme di abrasione incise nel substrato cristallino a diverse quote.

Sabbie medie bioclastiche (Olocene Sup)

Si tratta dei sedimenti più profondi della piattaforma prossimale; sono distinguibili due facies: la prima si estende dal piede delle praterie a *Posidonia oceanica* verso il largo ed è rappresentata da frammenti di organismi ad esoscheletro carbonatico (facies bioclastica) che vivono in associazione con le fanerogame marine, in particolare rappresentate da alghe rosse, foraminiferi, briozoi, echinidi, gasteropodi e lamellibranchi.

La facies più profonda (facies organogena) costituita in prevalenza da bioclasti e ciottoli biogenici legati all'attività di alghe rosse, a scheletro calcareo in particolare dei generi *Peyssonelia* e *Lithophyllum* (fig. 9). Questi depositi caratterizzano la fascia batimetrica tra -7m/-35m, localizzati sia nell'intorno della prateria a *Posidonia oceanica* sia nelle intramatte della prateria stessa. La tessitura eterogenea è talvolta molto grossolana favorendo processi di selezione granulometrica dovuti alle correnti trattive di fondo, notevolmente attive in piattaforma interna; è quindi frequente rilevare grandi strutture sedimentarie a mega ripples o a dune di selezione granulometrica. La stessa facies sedimentaria è rilevabile in aree confinate all'interno della prateria a fanerogame marine, in piattaforma continentale interna, qui le aree di accumulo dei sedimenti sono localizzate in corrispondenza di depressioni e canali intramattes, come per il settore a nord di Punta Nuraghe (fig. 10).

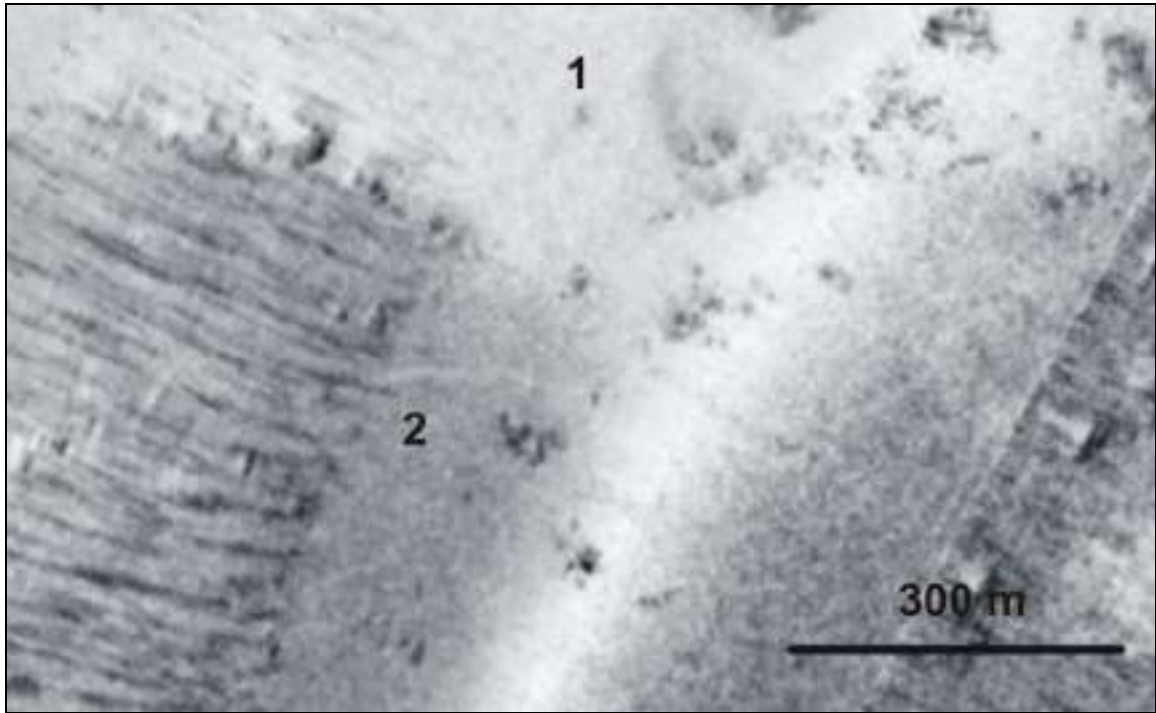


Figura 6 - *Registrazione Side Scan Sonar 100 Khz Zona a nord-ovest di Punta della Volpe – 1)Sabbie limose di piattaforma distale; 2) Sabbie medie bioclastiche*

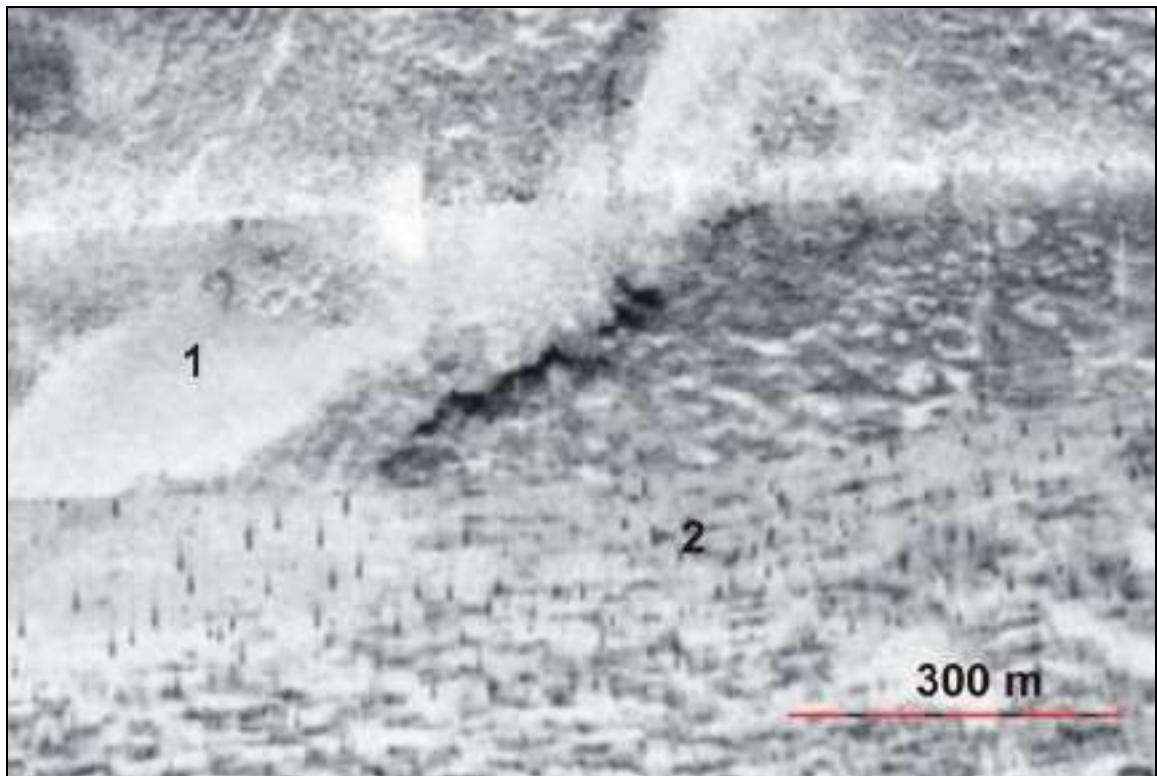


Figura 7 - *Registrazione Side Scan Sonar 100 Khz Zona a nord-ovest di Punta Nuraghe – 1) Sabbie medie bioclastiche; 2) Prateria a Posidonia oceanica su matte.*

Sabbie ghiaiose organogene

Definiscono le aree a forte energia e caratterizzano la fascia sottostante al limite inferiore della prateria a *Posidonia oceanica*.

Si tratta di ghiaie costituite in prevalenza da frammenti organogeni come bioclasti e ciottoli biogenici legati all'attività d'alghe rosse, a scheletro calcareo in particolare dai generi *Peyssonelia* e *Lithophyllum* (praline, meerle).

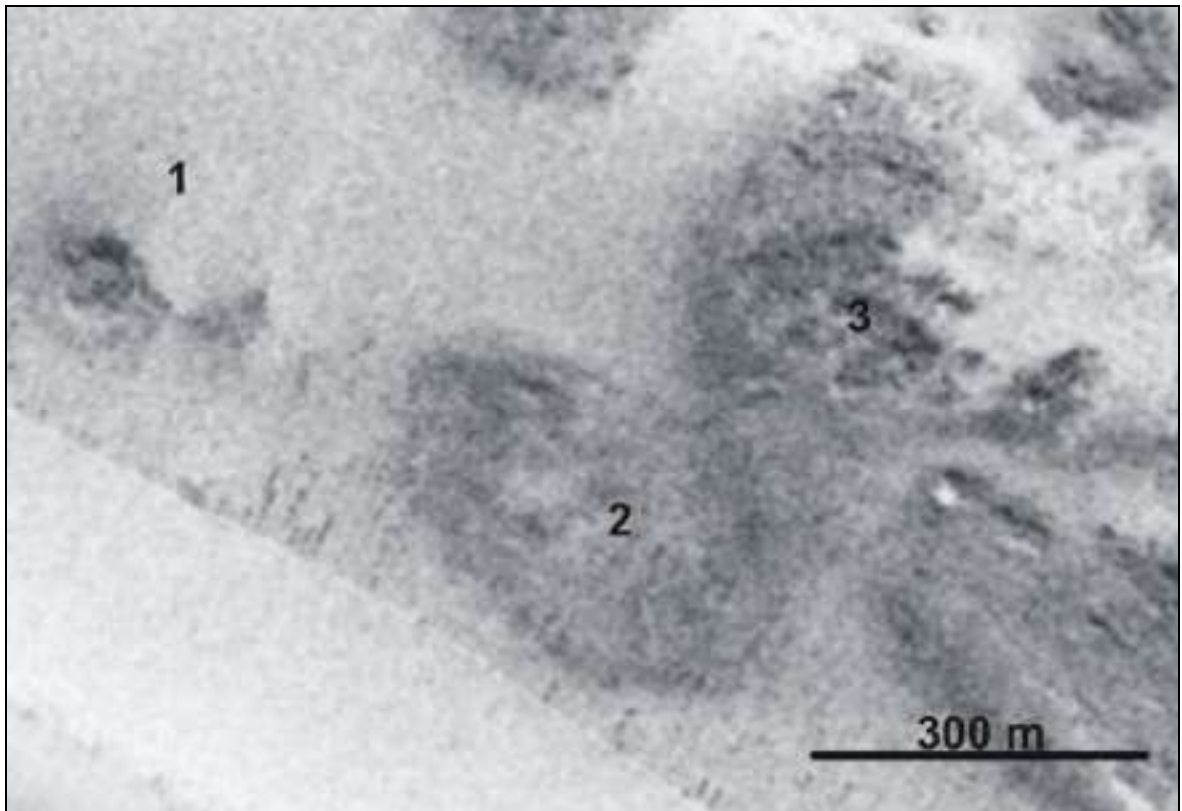


Figura 8 - Registrazione Side Scan Sonar 100 Khz Zona a nord-ovest di Punta Nuraghe – 1) Sabbie limose di piattaforma distale 2) Sabbie medie bioclastiche; 3) Roccia sub-affiorante.

Sabbie limose di piattaforma

Questi sedimenti sono distribuiti in piattaforma interna secondo una fascia estesa circa 2 miglia al largo della costa, qui i fondali presentano acclività poco accentuata e spessore del cuneo a sedimenti estremamente modesto; frequenti le discontinuità deposizionali dovute all'affioramento del substrato cristallino, a formare secche isolate interessate da

intensa fratturazione o allineamenti dovuti all'affioramento di filoni, in genere di chimismo acido, posti in rilievo dall'erosione differenziale (fig. 11).

Questi sedimenti sono caratterizzati da sabbie medio-fini a composizione quarzosa-organogena con una componente limosa. Le zone di maggiore distribuzione si rilevano nel settore nord-orientale dell'area studiata

Il passaggio tra questi sedimenti e i circostanti risulta essere sempre netto; talvolta sono direttamente a contatto con il limite inferiore della prateria a *Posidonia oceanica* ed inoltre si osserva come l'omogeneità della loro distribuzione sia interrotta dalla presenza di locali depositi di sedimenti bioclastici e dall'emergenza del substrato (settore a nord di Punta della Volpe).

Biocenosi:

a- Prateria a Posidonia oceanica su matte a elevata densità fogliare

Le praterie a fanerogame sono essenzialmente costituite da *Posidonia oceanica*, la cui distribuzione è principalmente localizzata secondo una fascia batimetrica compresa tra – 5m/-35m, che contorna il settore emerso.

Le aree di maggior sviluppo si rilevano a nord di Punta Nuraghe , dove affiora secondo una fascia larga circa 500 metri, lunga circa 1150 metri e orientata NE-SW, a sud e a nord dell'Isola di Portisco e in corrispondenza di Punta Lada.

I dati side scan sonar e le indagini dirette in immersione subacquea hanno evidenziato le condizioni di criticità in cui si trova la prateria a *Posidonia oceanica*; si osservano infatti fenomeni di arretramento del limite superiore o addirittura abbandono delle matte come per il settore immediatamente a nord dell'imboccatura del porto turistico di Porto Rotondo dove la matte morta è stata quasi totalmente colonizzata da *Caulerpa prolifera*.

Sono stati inoltre rilevati ampi settori caratterizzati da elevato degrado antropico a seguito dell'ancoraggio da parte di grosse imbarcazioni; localmente i solchi di abrasione raggiungono 850 metri di estensione lineare per una larghezza di qualche metro (fig. 9).

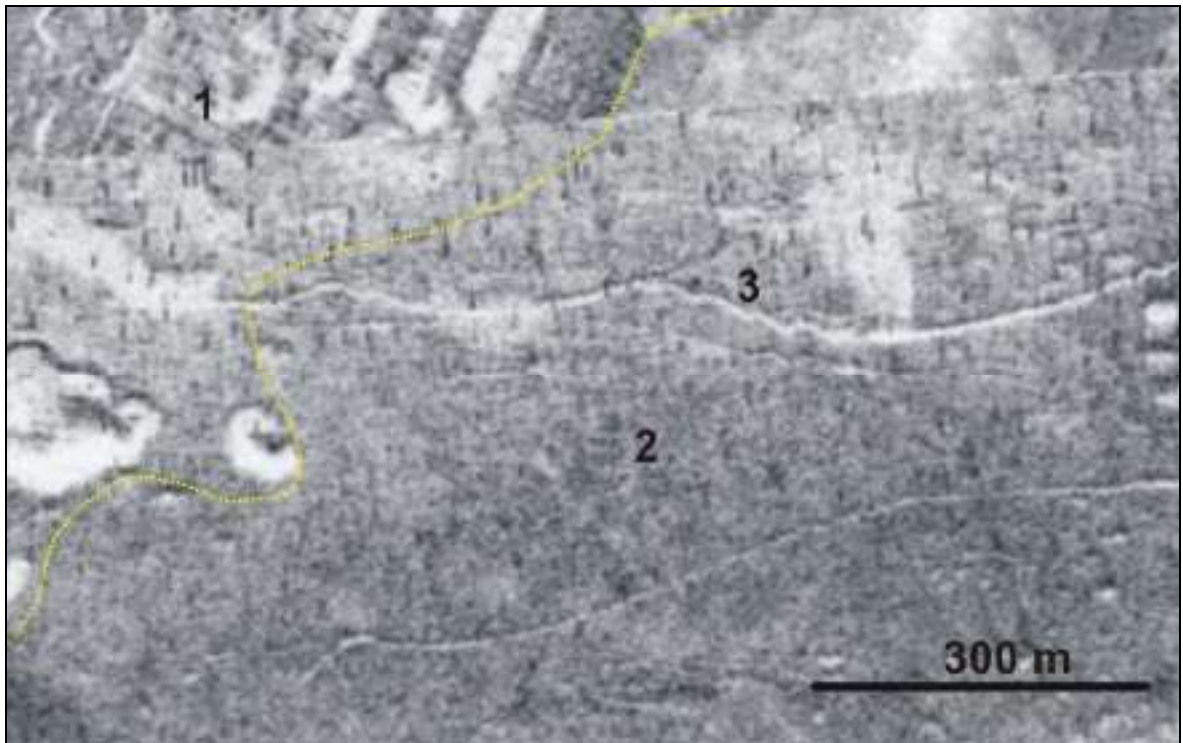


Figura 9 - Registrazione Side Scan Sonar 100 Khz Zona a nord-ovest di Punta Nuraghe – 1) *Posidonia oceanica* su matte; 2) Matte morta; 3) solco da ancoraggio.

*b-Mosaico a *Posidonia oceanica* su roccia e roccia affiorante*

Tale facies occupa i settori pericostieri caratterizzati da una elevata azione della dinamica litorale; l'affioramento più esteso è situato nel settore centro-orientale dell'area studiata, in corrispondenza del promontorio di Punta della Volpe.

*c-Matte morta di *Posidonia oceanica**

La facies a “matte morta di *Posidonia oceanica*” è ampiamente diffusa all'interno dell'area studiata soprattutto nel settore settentrionale; essa indica un importante fenomeno di regressione della matte viva ai danni del margine inferiore.

Localmente è possibile osservare tale facies ai danni del margine superiore, come riscontrato nell'area circa 400 metri a nord-est della via di accesso al porto turistico. (fig. 10 e 11)

*d-Mosaico a *Caulerpa prolifera* su matte morta*

Come scritto in precedenza, tale facies è indicativa di elevato degrado antropico della prateria a *Posidonia oceanica*. Particolarmente significativo, in relazione all'estensione areale, è l'affioramento situato immediatamente a nord del canale di accesso al porto turistico di Porto Rotondo (fig. 12 e 13).

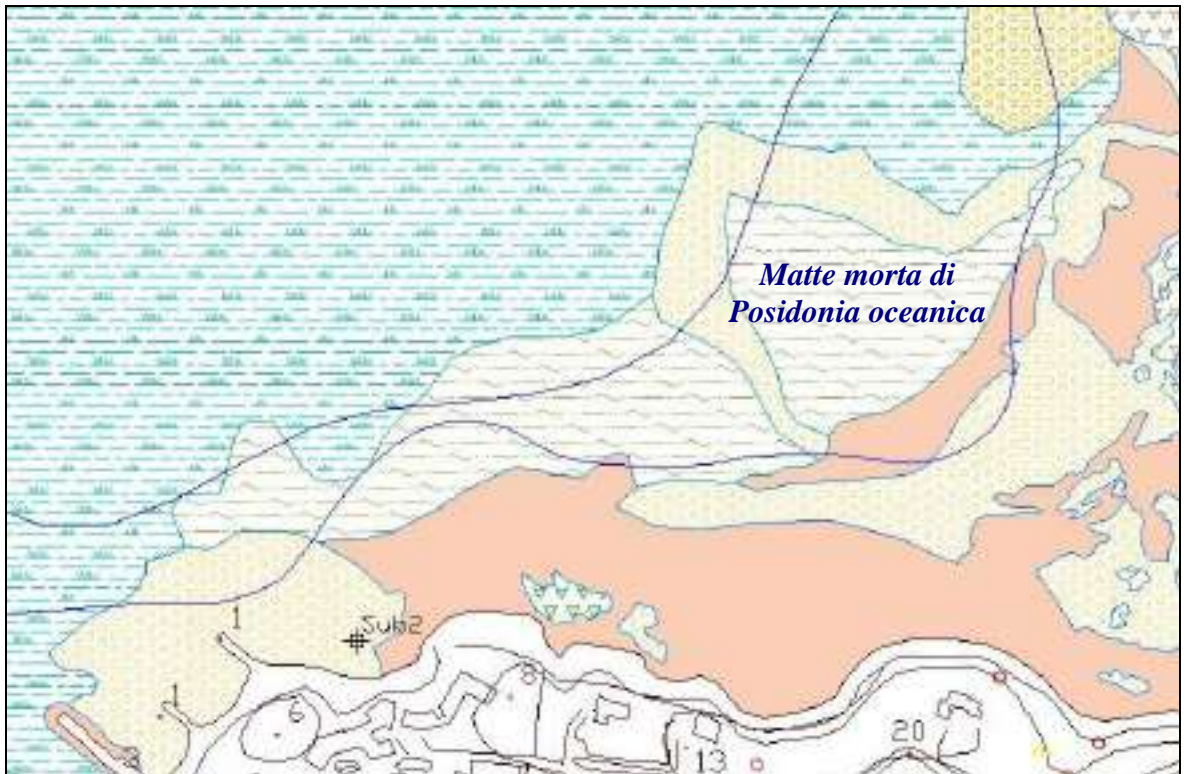


Figura 10 – Stralcio carta geomorfologica in scala 1:5000 restituita sulla base dell'interpretazione delle ortofoto e del mosaico Side Scan Sonar con in evidenza l'estensione areale della facies "Matte morta di Posidonia oceanica".



Figura 11 – Immagine acquisita durante le indagini dirette in immersione alla profondità di - 5.6 m mostrante la facies "Matte morta di Posidonia oceanica".

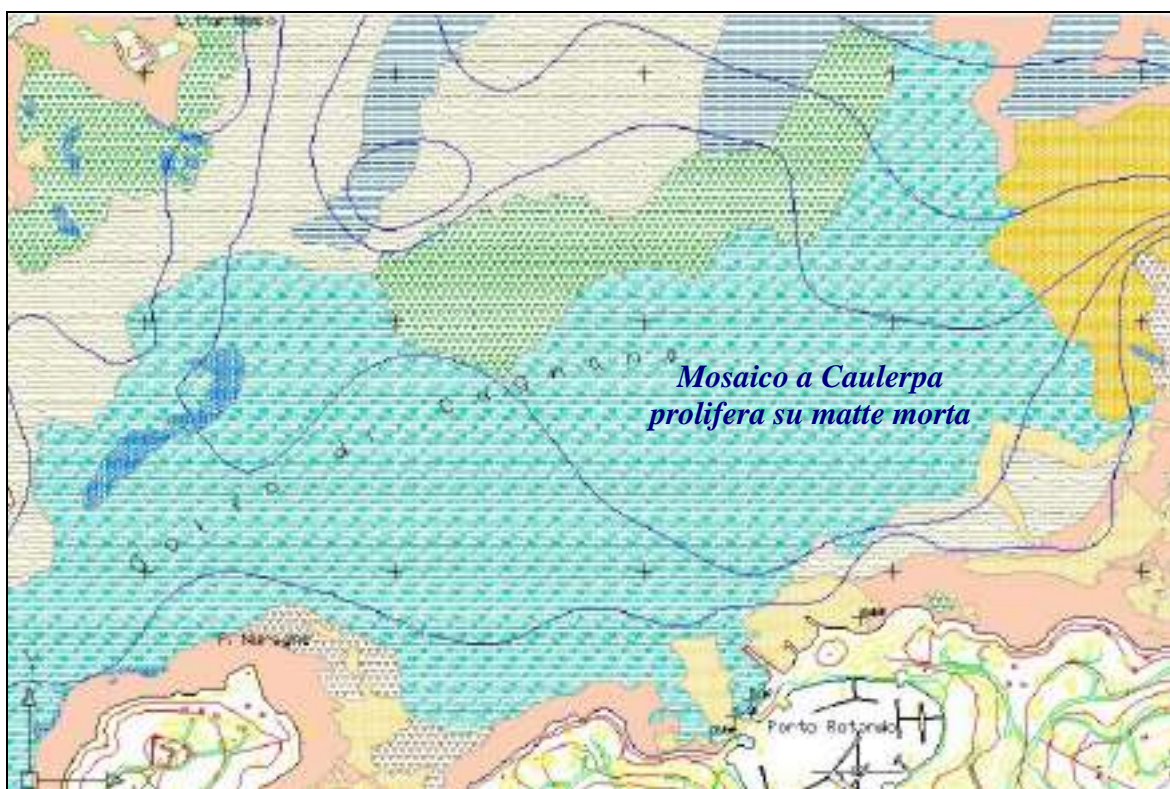


Figura 12 – Stralcio carta geomorfologica in scala 1:5000 restituita sulla base dell'interpretazione delle ortofoto e del mosaico Side Scan Sonar con in evidenza l'estensione areale della facies "Mosaico a Caulerpa prolifera su matte morta".



Figura 13 – Immagine acquisita durante le indagini dirette in immersione (STAZIONE "Sub 6") alla profondità di - 5.6 m mostrante la facies "Mosaico a Caulerpa prolifera su matte morta"

3. ASSETTO GEOLOGICO DI DETTAGLIO DELL'AREA DIRETTAMENTE INTERESSATA DALLE OPERE PREVISTE IN PROGETTO

Il rilevamento geologico di dettaglio eseguito nelle aree interessate dall'ampliamento del porto turistico, unitamente allo studio della documentazione bibliografica esistente, ha permesso di definire, a partire dal basso stratigrafico, la presente successione di depositi e affioramenti rocciosi (fig. 14):

- settore 1: a –Sabbie medie e fini silicoclastiche litorali;
 b - Mosaico a Caulerpa prolifera su matte morta;
- settore 2: a- substrato metamorfico indifferenziato riferibile al complesso metamorfico di alto grado;
 b –Sabbie medie e fini silicoclastiche litorali: lo spessore del deposito sedimentario è modesto e compreso tra 0,20 m e circa 1-2 m;
 c - Mosaico a Caulerpa prolifera su matte morta;

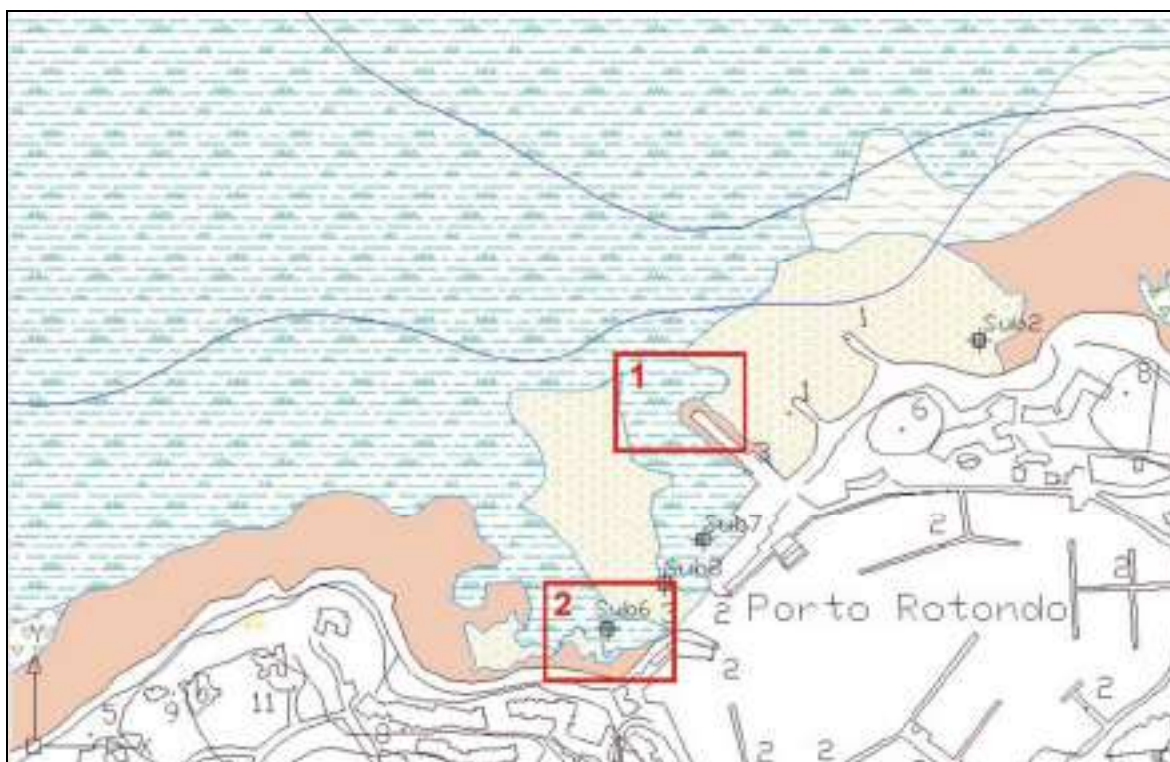


Figura 14 - Stralcio carta geomorfologica in scala 1:5000 restituita sulla base dell'interpretazione delle ortofoto e del mosaico Side Scan Sonar con in evidenza i due settori interessati dalla realizzazione delle opere previste in progetto.

4. ASSETTO GEOMORFOLOGICO

L'evoluzione geomorfologica dell'area è fortemente influenzata dalle caratteristiche del substrato, costituito da rocce appartenenti al basamento paleozoico Sardo, in genere massicce e fortemente fratturate. L'eredità strutturale ha svolto un ruolo importante nel modellamento dell'area dato che la maggior parte delle valli si approfondiscono lungo le faglie e le fratture della tettonica alpina orientate prevalentemente circa N-S e NE-SW. L'area in esame è caratterizzata da una morfologia fortemente accidentata in cui i processi costieri da un parte e quelli di alterazione su rocce granitiche e successivamente la rielaborazione da parte delle acque meteoriche dall'altra giocano ruolo predominante.

Lungo le zone maggiormente fratturate e fagliate si sono approfonditi i corsi d'acqua a generare un reticolo di drenaggio tipicamente angolare. I principali corsi d'acqua sono ubicati in corrispondenza di importanti elementi strutturali che si seguono per più ampie aree della Sardegna nord orientale.

La dinamica costiera è caratterizzata da un'alternanza di promontori scolpiti sulle rocce del basamento intrusivo e piccole spiagge tra un promontorio ed un'altro (pocket beach). Sono però frequenti anche le baie scolpite su roccia senza che siano presenti depositi litorali. In questi casi è verosimile che l'erosione marina abbia agito con maggiore rapidità lungo le linee di fratturazione preesistenti. Il reticolo angolare delle valli e di numerosi tratti costieri confermerebbe tale ipotesi. E' comunque indubbio che le insenature più profonde, come quella di Marinella e, soprattutto di Cugnana, costituiscono tipici esempi di *Rias* come quelli che caratterizzano numerose altre località della Sardegna nord orientale.

Si tratta di valli fluviali interessate da limitati fenomeni di riempimento durante l'ultima glaciazione e/o che comunque sono state interessate da importanti fenomeni di riesumazione durante la trasgressione versiliana. Tali morfologie suggerirebbero comunque la presenza di movimenti di lento abbassamento di questo settore dell'isola.

In quest'area sono inoltre presenti ripiani di erosione su roccia interpretabili come antichi terrazzi di abrasione marina. La loro estensione è estremamente variabile, in genere si presentano fortemente dissecati dall'approfondimento vallivo.

4.1 Principali unità fisiografiche

L'Unità fisiografica definisce un tratto costiero in cui il trasporto litorale netto indotto da onde e correnti è unidirezionale e continuo su una distanza di numerosi chilometri. Nella pratica, la delimitazione di questa unità implica l'introduzione di valori convenzionali di minima estensione comunemente stabiliti sulla base della scala di lavoro.

La definizione dell'Unità Fisiografica dipende quindi primariamente dalla morfologia della costa e dalla sua orientazione in rapporto alla dinamica delle correnti.

I limiti fisici che definiscono le Unità Fisiografiche, oltre all'ovvio caso di interruzione causata da un tratto di costa alta che inibisce il trasporto litorale, si può avere anche a che fare con zone di convergenza (spiagge di fondo baia) o di divergenza del trasporto (promontori rocciosi).

La definizione delle Unità Fisiografiche proposta implica che i limiti antropici al trasporto litorale (struttura portuale) non determina interruzione della stessa; questa esprime quindi il modello naturale del trasporto che prescinde dalla presenza di strutture sul litorale.

L'area vasta nella quale si inseriscono le opere previste in progetto si trova all'interno di un'unica Unità Fisiografica principale, estesa da Punta Nuraghe ad ovest e Punta della Volpe ad est; tale grande unità è suddivisibile in 5 sub-Unità (fig.15).

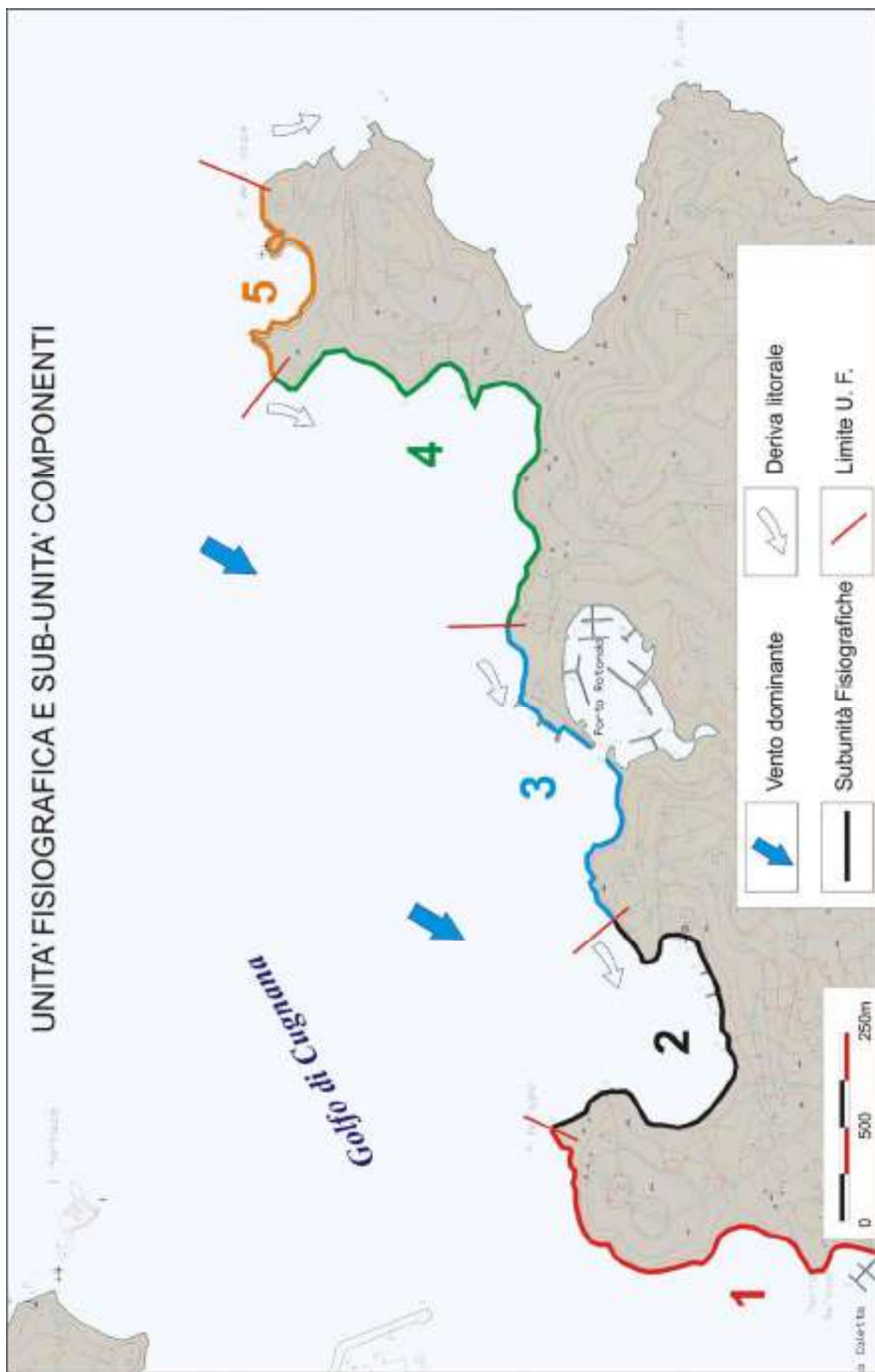


Figura 15 – Distribuzione geografica delle Unità Fisiografiche.

5. CAMPAGNA DI ACQUISIZIONE DATI

5.1 Rilievo batimetrico

Al fine di restituire la morfologia del settore marino direttamente interessato dall'ampliamento del porto turistico di Porto Rotondo e in un ambito areale significativo ed implementare la banca dati necessaria all'elaborazione delle simulazioni modellistiche relative alle modificazioni delle dinamiche litorali, è stato eseguito un rilievo batimetrico single beam.

Personale:

- dott. Geol. Giacomo Deiana e dott. Enrico Paliaga

Strumentazione:

- Mezzo nautico: gommone
- Sistema di posizionamento: sistema GPS differenziale TRIMBLE 5700.
- Ecoscandaglio: Furuno LS 6000 – 50 Hz

Software di acquisizione ed elaborazione dati:

- Navigazione: software Navigator Professional della Communication Technology
- Restituzione: GlobalMapper10, Surfer8 Golden Software.

Prima della mobilitazione della strumentazione, tutti i sistemi sono stati testati e, ove forniti, sono stati controllati i certificati di garanzia. In particolare sono stati verificati i certificati di calibrazione (Ecoscandaglio e DGPS). Tutte le calibrazioni ed i test di funzionamento sono stati eseguiti secondo le specifiche fornite dai produttori.

Durante la fase di mobilitazione tutti i sistemi sono stati installati, verificati e calibrati.

Posizionamento e piano delle rotte

Il posizionamento dei dati acquisiti e la restituzione cartografica sono stati riferiti al Datum geodetico WGS84, con proiezione Universal Traversa di Mercatore.

Allo scopo di garantire la totale copertura delle aree investigate, è stato preventivamente realizzato un piano delle rotte di cui è riportato uno schema in figura 16.

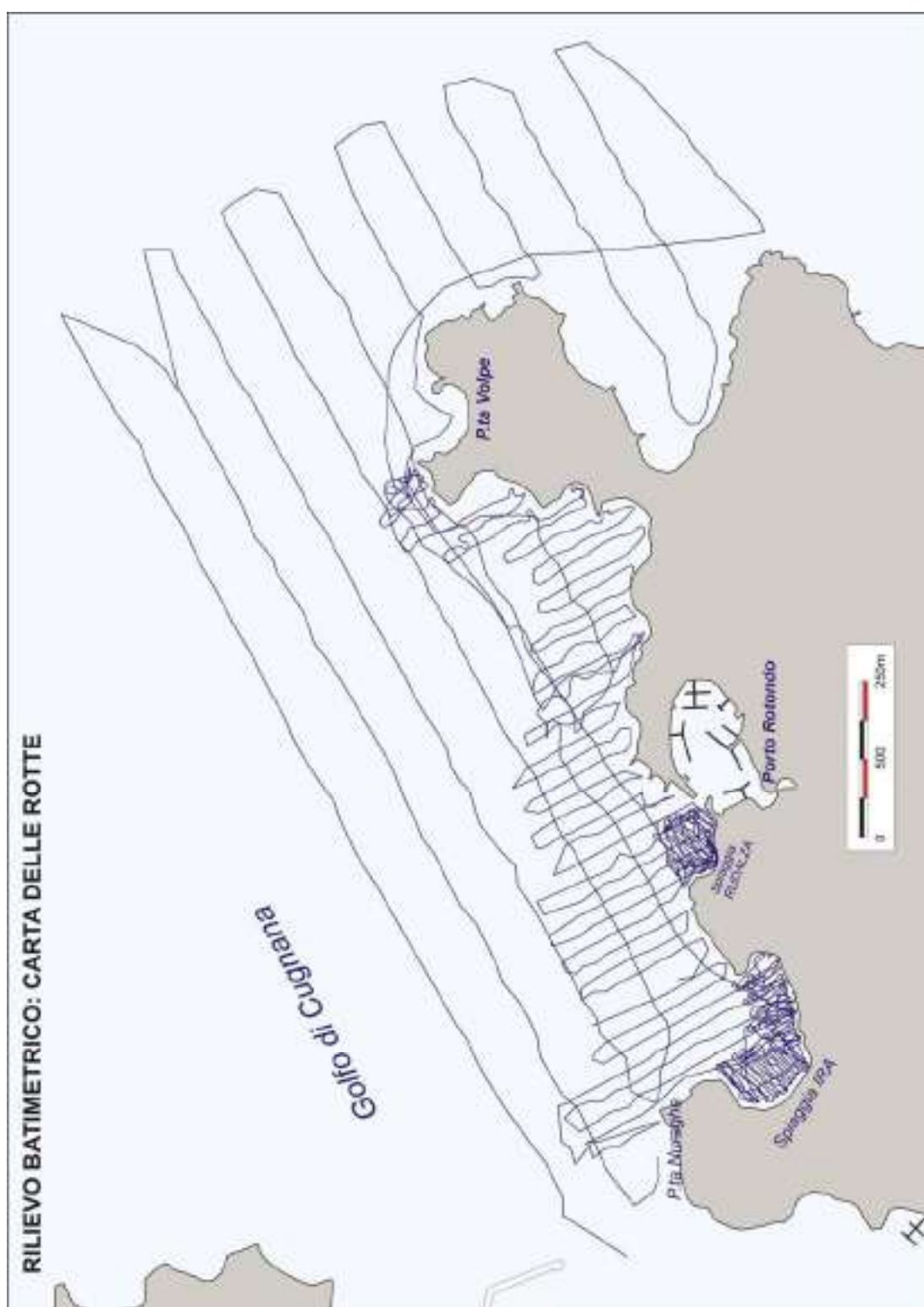


Figura 16 – Rilievo batimetrico single beam: carta delle rotte reali.

Per le aree a maggiore profondità si è operato in maniera da acquisire secondo rotte parallele distanziate 200 m; per i settori pericostieri secondo rotte parallele distanziate 50 metri mentre per le aree gli ambiti di maggiore criticità (spiaggia sommersa IRA e RUDALZA) si è scelto di operare secondo rotte parallele distanziate 5 metri.

Elaborazione e restituzione dei dati acquisiti

Tutti i dati batimetrici e di posizionamento acquisiti sono stati elaborati in una loro prima fase con il software Navigator Professional e, nella fase successiva, con il software Global Mapper.

Per ciò che riguarda l'elencazione ed il controllo successivo di dati di profondità, posizionamento e delle rotte, è stato utilizzato il software MS Excel.

L'elaborazione dei dati ha consentito la restituzione di un DTM e di una carta batimetrica di elevato dettaglio per l'intero settore rilevato (fig. 17).

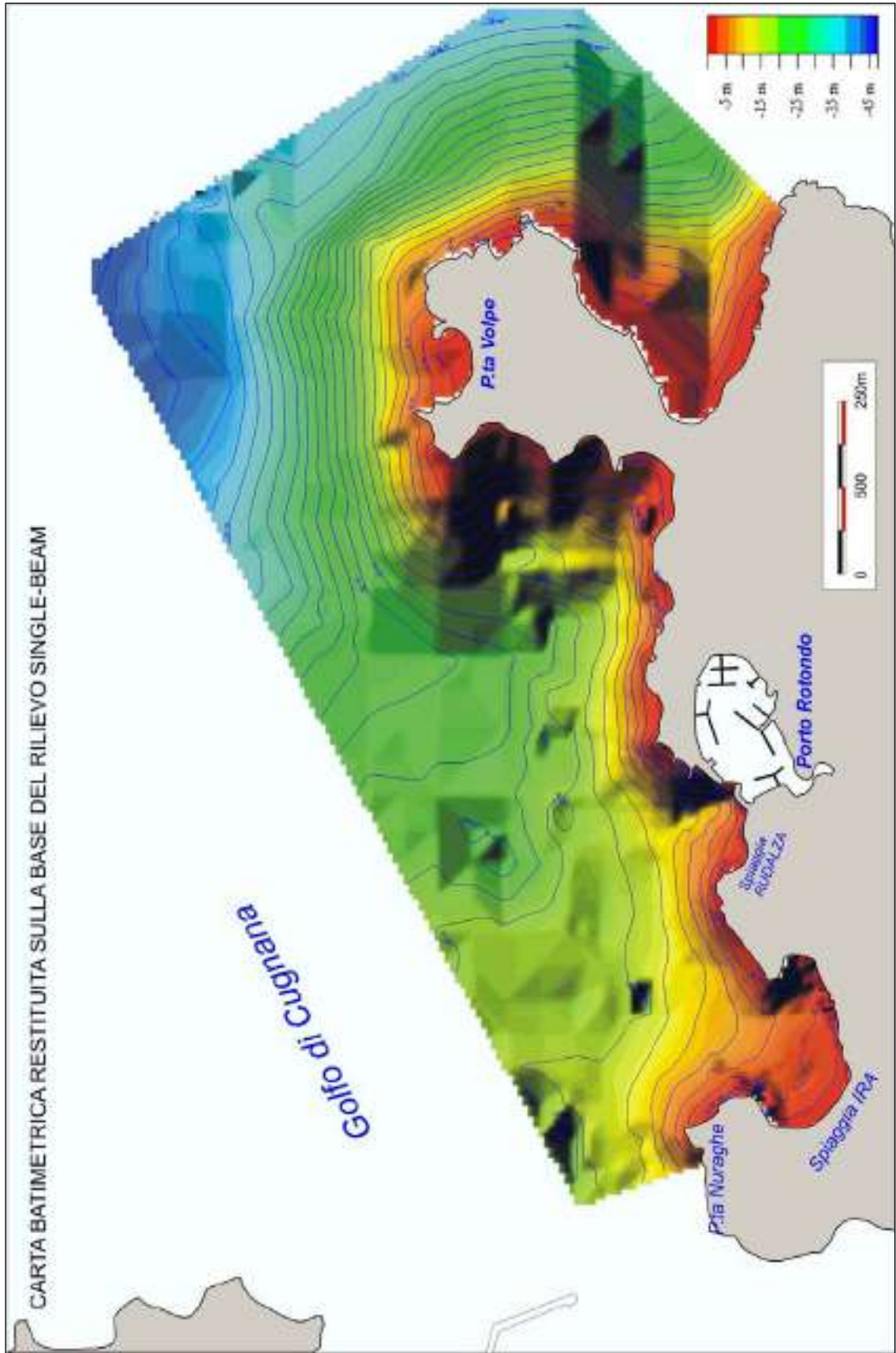


Figura 17 – Carta batimetrica e DTM restituito sulla base dei dati Single beam acquisiti.

5.2 Rilievo morfologico della spiaggia

Sulla base dello studio geomorfologico dell'area vasta sono stati individuati la spiaggia dell'Ira (circa 950m a sud-ovest delle opere previste in progetto) e la spiaggia di Rudalza (circa 200 m a ovest dell'imboccatura del porto) come unici ambiti litorali potenzialmente sensibili a seguito di modificazioni nelle dinamiche litorali indotte dall'ampliamento del porto turistico di Porto Rotondo.

Spiaggia dell'Ira

La spiaggia dell'Ira, con estensione parallela alla linea di riva di circa 240 metri e ortogonale di circa 40 metri, rientra nella tipologia delle pocket beach e si inserisce tra due promontori granitici (fig. 18).



Figura 18 – Ortofoto AIMA Regione Sardegna scala 1:10000 con localizzazione delle spiagge dell'Ira e di Rudalza.

In particolare il sistema litorale dell'Ira è costituito da:

- 1) Retrospiaggia: l'arenile presenta un retrospiaggia di modesta estensione areale caratterizzato morfologia sub-pianegginate.
- 2) Spiaggia emersa: il corpo di spiaggia, è caratterizzato da sabbie medie e fini silicoclastiche; localmente in corrispondenza della linea di riva sono localizzate delle cuspidi di sedimenti più grossolani e ghiaie e affioramenti del substrato granitico (fig. 19).
- Spiaggia sommersa: il settore meridionale presenta più sistemi di barre litorali mentre in quello settentrionale è stata rilevata la presenza del substrato granitico.



Figura 19 – Foto mostrante: 1) cuspidi a sedimenti grossolani: ghiaie e ciottoli; 2) affioramento del substrato granitico.

Spiaggia di Rudalza

La spiaggia di Rudalza presenta ridotta estensione areale (circa 25 metri parallelamente alla linea di riva e circa 4.5 metri in senso ortogonale) ed è caratterizzata da sedimenti eterogenei: sabbie medie e fini per il settore centrale e ghiaie e ciottoli per quello settentrionale e meridionale (fig. 20).

Date le ridotte dimensioni per questa spiaggia non è possibile distinguere le diverse variazioni morfologiche caratteristiche del retrospiaggia, della spiaggia emersa e sommersa.



Figura 20– Foto acquisita durante i rilievi morfologici della spiaggia di Rudalza: 1) ghiaie e ciottoli granitici; 2) sabbie medie e fini silicoclastiche.

I rilievi morfologici di dettaglio, finalizzati alla definizione degli elementi significativi del profilo di equilibrio di spiaggia emersa e sommersa, quali cresta di berma ordinaria, gradino di spiaggia, truogolo e barra sommersa (fig. 21), sono stati eseguiti mediante l'utilizzo di un GPS geodetico a doppia frequenza (Leica 1200) in grado di acquisire dati plano-altimetrici con precisione centimetrica.

In allegato 2 si riporta la restituzione dei profili morfometrici acquisiti.

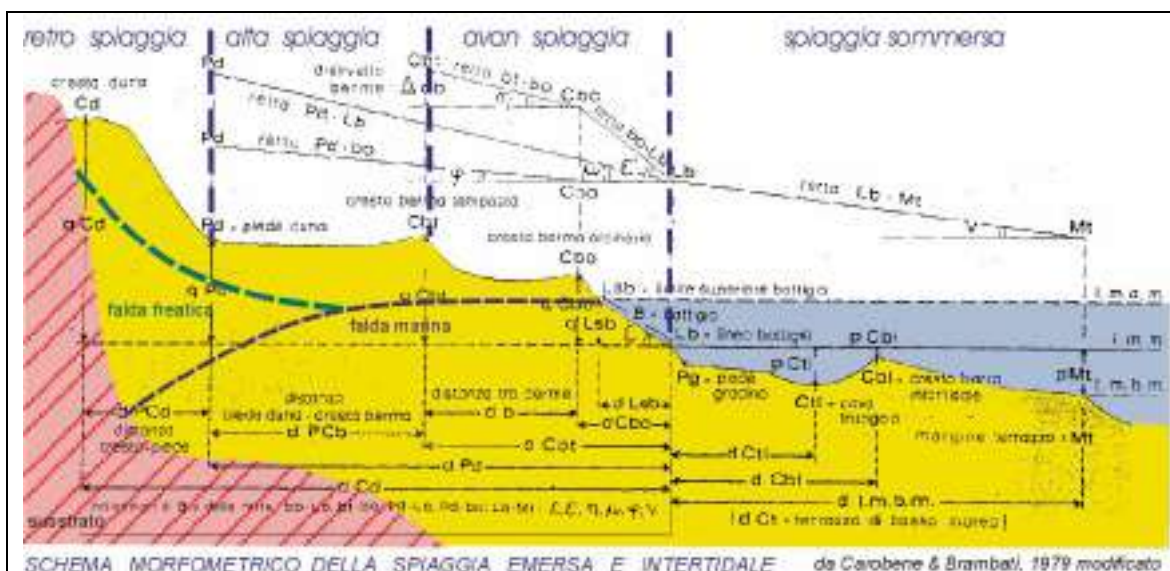


Figura 21 – Schema morfometrico della spiaggia emersa ed intertidale.

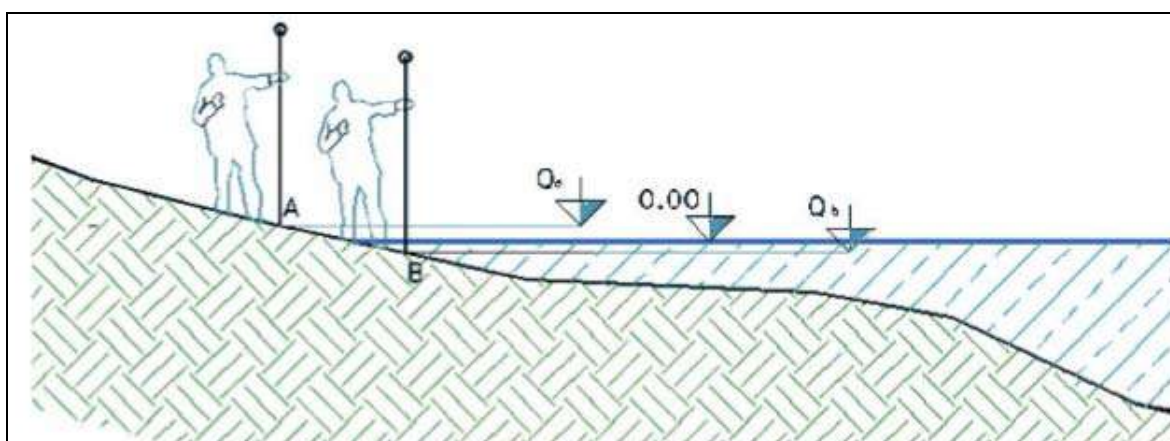


Figura 21- Per rilevare la linea di riva sono stati presi due punti, in coincidenza con la cresta del gradino e del limite superiore della battigia, poi successivamente interpolati con il software Global Mapper

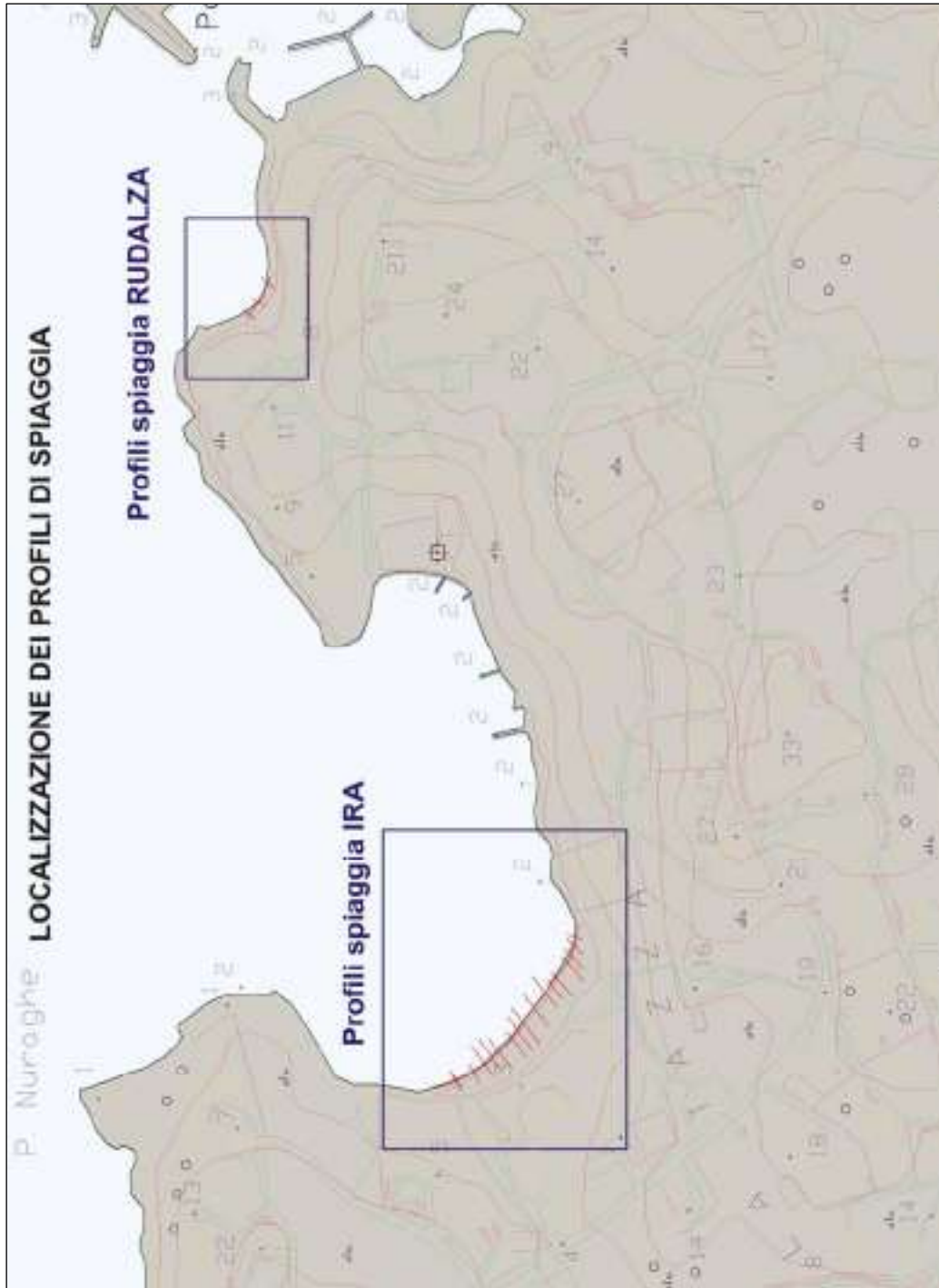


Figura 23 – Rilievo morfotopografico di dettaglio.

5.3 Campionamento dei sedimenti superficiali

Durante i rilievi morfologici della spiaggia emersa e le indagini dirette in immersione è stato effettuato il campionamento dei depositi superficiali; in totale sono stati prelevati 24 campioni significativi dei sedimenti (8 per la spiaggia emersa dell'Ira e 16 per i fondali pericostieri). Nella spiaggia dell'Ira, in data 5 marzo 2010, sono stati effettuati 4 pozzetti stratigrafici (fig. 24) di profondità massima pari a -0,5 metri rispetto al p.c.

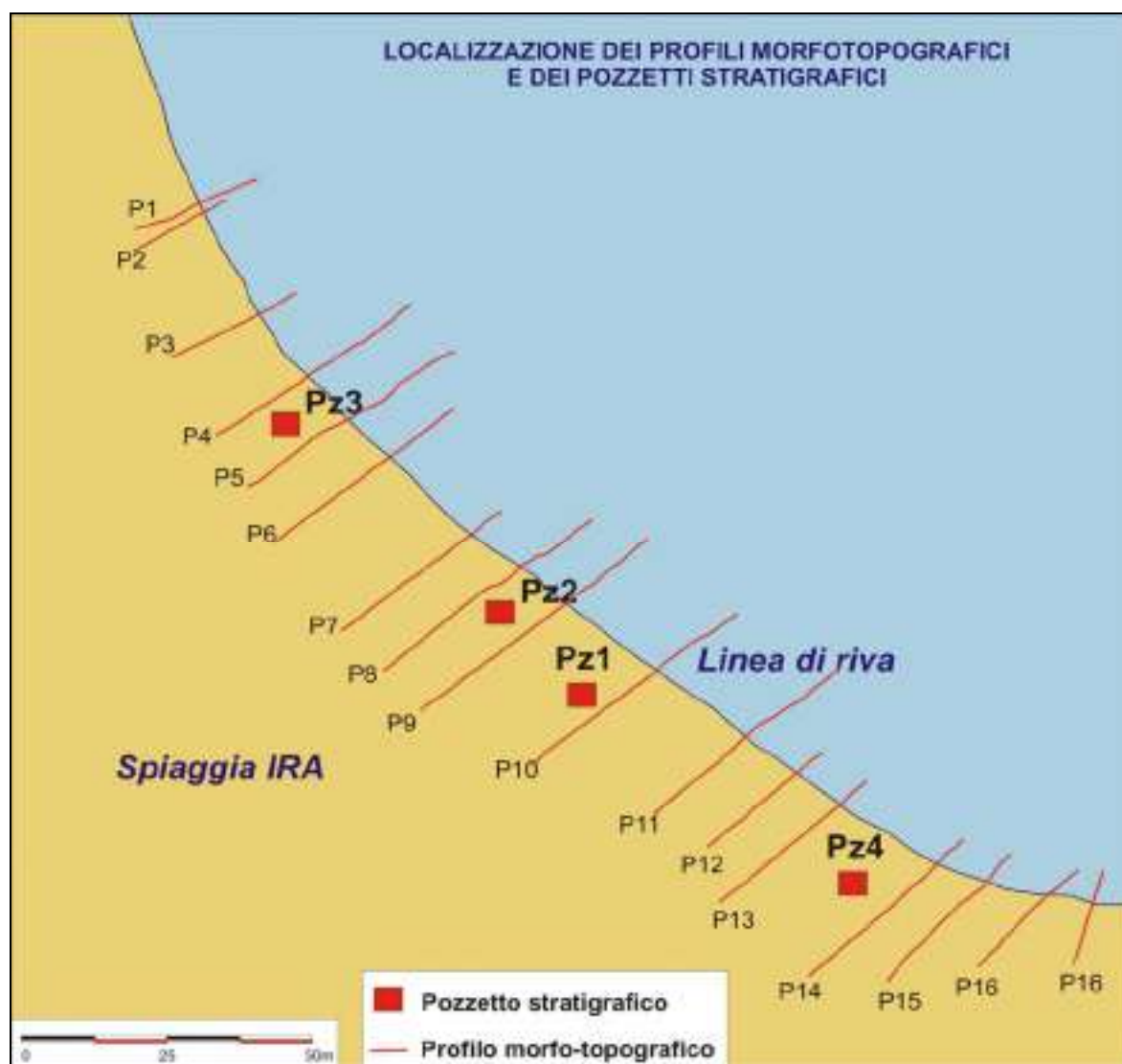


Figura 24–Localizzazione dei pozzetti stratigrafici e dei profili morfotopografici.



Figura 25 – Pozzetti stratigrafici 1 e 4.



Figura 26 – Pozzetti stratigrafici 2 e 3.

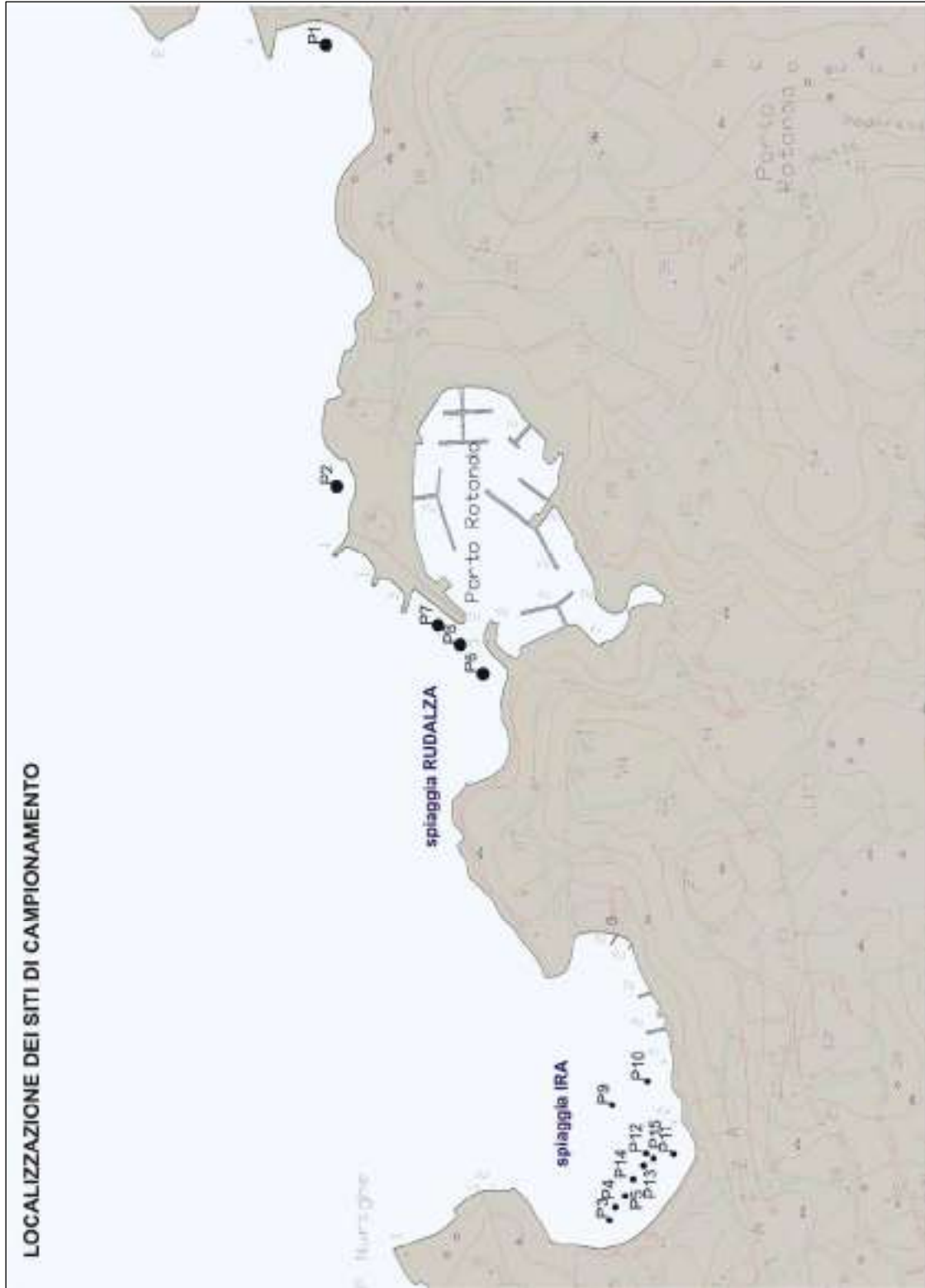


Figura 27 – Localizzazione dei siti di campionamento subacqueo.

Il posizionamento dei pozzetti è stato garantito attraverso l'acquisizione delle coordinate (xyz) con il GPS geodetico.

All'interno di ogni pozzetto sono stati prelevati due campioni: uno per la porzione superficiale, caratterizzata da sabbie silicoclastiche medie e fini (compreso tra 0 e -0,20 metri di profondità rispetto al p.c) ed uno per la porzione inferiore, caratterizzata da sabbie silicoclastiche medie e grosse (compreso tra -0,20 e -0,50 di profondità rispetto al p.c.)

Durante le indagini dirette in immersione, la scelta dei siti di campionamento dei sedimenti superficiali, è stata basata sulla interpretazione dei dati side scan sonar e delle ortofoto.

6. ANALISI SUI CAMPIONI DI SEDIMENTO

I campioni prelevati sono stati preventivamente sottoposti a un controllo visivo e mescolati accuratamente al fine di evitare accumuli di materiale più fine sul fondo del contenitore che li racchiudeva, in modo da conservare la reale distribuzione granulometrica del sedimento anche nella frazione analizzata.

La caratterizzazione dei parametri sedimentologici e mineralogici è stata eseguita attraverso le seguenti analisi di laboratorio:

- analisi granulometrica tramite vibrovagliatura a $\frac{1}{2} \phi$ NORMA ASTM E11
- determinazione della composizione mineralogica da sedimenti sciolti, al microscopio ottico.

Per quanto concerne i risultati delle analisi di laboratorio si rimanda all'allegato 3.

7. PROGRAMMA DI MONITORAGGIO

Il monitoraggio è un elemento essenziale sia nella progettazione che nella gestione di qualunque intervento e questo è ancor più vero quando ci si trova di fronte a progetti i cui fattori di rischio non sono legati solo alla loro realizzazione ma anche e soprattutto al loro funzionamento, come nel caso delle opere di ingegneria portuale.

Le attività di monitoraggio proposte tengono conto dell'esigenza di protezione dei settori litorali e quindi sono state pensate sia per fornire ulteriori informazioni da usare nelle successive fasi progettuali che per analizzare gli eventuali effetti indotti dalla realizzazione delle opere previste in progetto negli anni successivi alla messa in opera.

Il metodo di controllo ormai universalmente accettato come il migliore per valutare gli impatti di un intervento è il BACI (Before-After/Control-Impact) (es. Anderson et al. 1999). In sintesi esso si basa sulla valutazione dello stato delle risorse prima (Before) e dopo (After) l'intervento, confrontando l'area soggetta alla pressione (Impact) con siti in cui questo non avviene (Control).

Quindi, una sintesi del protocollo di studio degli eventuali impatti indotti dall'ampliamento del porto turistico sui settori litorali con particolare riferimento a quelli sabbiosi (Subunità fisiografica 1 e 2: spiagge dell'Ira e di Rudalza), è la seguente:

- Rilievo morfotopografico e plano-altimetrico di dettaglio del corpo deposizionale di spiaggia emersa mediante l'utilizzo di GPS geodetico a doppia frequenza con lo scopo di individuare gli elementi significativi del profilo di equilibrio di spiaggia (cresta di berma ordinaria cBo, cresta di berma di tempesta cBt, ecc (vedi fig. 21) con particolare riferimento al monitoraggio della linea di riva;
- Rilievo morfotopografico e plano-altimetrico di dettaglio del corpo deposizionale di spiaggia sommersa mediante la realizzazione di un rilievo batimetrico single-beam con lo scopo di individuare gli elementi morfologici significativi quali gradino, truogolo e barra;
- Rilievo mediante indagine diretta in immersione e prelievo di campioni di sedimento superficiale;

- Monitoraggio dei parametri sedimentologici di spiaggia emersa e sommersa attraverso analisi di laboratorio: analisi granulometriche (mediante vibrovagliatura a $\frac{1}{2} \phi$) e mineralogiche (mediante osservazioni al microscopio ottico) sui campioni prelevati in maniera da controllare la distribuzione e la migrazione dei sedimenti del corpo di spiaggia;

Il monitoraggio delle spiagge dovrà avere cadenza di rilevamento stagionale, per una durata di almeno due anni dalla messa in opera delle opere previste in progetto.

8 .CONCLUSIONI

Il presente studio geologico-geomorfologico ha consentito di effettuare:

- l'individuazione della unità fisiografica all'interno della quale si inseriscono 5 sub-unità;
- il rilievo geologico di dettaglio dei settori litorali emersi e sommersi mediante indagini dirette in immersione;
- il rilievo batimetrico singlebeam dell'area vasta con lo scopo di restituire la morfologia del settore marino direttamente interessato dall'ampliamento del porto turistico di Porto Rotondo e implementare la banca dati necessaria all'elaborazione delle simulazioni modellistiche relative alle modificazioni delle dinamiche litorali;
- il prelievo di campioni di sedimenti dei corpi di spiaggia emersa e sommersa e relative analisi granulometriche e mineralogiche (allegato 3);
- la restituzione cartografica di dettaglio dei fondali in scala 1:5000 (allegato 1) atta a definire la distribuzione delle facies a sedimenti incoerenti e dei substrati rocciosi e delle biocenosi a fanerogame marine in un ambito areale significativo,
- l'acquisizione e restituzione dei profili morfologici di dettaglio degli ambiti litorali indagati (allegato 2);
- la definizione di un programma di monitoraggio multitemporale dei parametri sedimentologici e morfometrici per i settori interessati dalla realizzazione delle opere previste in progetto.

9. ALLEGATI

Allegato 1: Carta geologica in scala 1:5000;

Allegato 2: Profili morfotopografici di spiaggia;

Allegato 3: Risultati analisi granulometriche e mineralogiche;

Allegato 4: Schede immersione.

Cagliari, aprile 2010

Il tecnico