

COMUNE DI SANT'AGNELLO

PROVINCIA DI NAPOLI

LAVORI DI RECUPERO E SISTEMAZIONE SCOGLIERA DI CASSANO - 1° LOTTO DI COMPLETAMENTO -

PROGETTO ESECUTIVO

STUDIO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO
E SEDIMENTOLOGICO

TAVOLA N.

13

DATA
Agg. APRILE 2017

SCALA:

I PROGETTISTI

U.T.C. Geom. Francesco AMBROSIO

Ing. Antonino Fiodo

II GEOLOGO

Dott. Salvatore PALOMBA



CENTRO GEOLOGIA TECNICA
del dott. S. Palomba - A. Stabile - L. Starace
Vico 3° Rota, 30 - 80057 SORRENTO (NA)
Tel. & Fax: 0818772573 - Email: centrogeologia@libero.it
C.F.: 04180830632 P.I.: 01319101216

Dott. Geol. Salvatore Palomba

INDICE

1. GENERALITA'	2
2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	3
3. DESCRIZIONE DELL'UNITA' E DELLA SUB-UNITA' FISIOGRAFICA	3
4. CARATTERIZZAZIONE DELLA SPIAGGIA EMERSA E DELLA COSTA ALTA	5
4.1. <i>Aspetti geologici e idrogeologici</i>	5
4.2. <i>Aspetti geomorfologici, vegetazionali ed antropici</i>	5
4.3. <i>Analisi della evoluzione storica della linea di costa e dinamica recente della linea di riva.</i>	12
4.4. <i>Analisi quantitativa recente sui depositi della spiaggia emersa</i>	16
5. ASPETTI GEOLOGICI E GEOMORFOLOGICI DEL FONDALE	16
5.1. <i>Risultati del rilevamento geolitologico e geomorfologico subacqueo in ARA</i>	18
5.2. <i>Analisi delle variazioni volumetriche dei fondali</i>	19
6.1. <i>Metodologia adottata</i>	22
7. CARATTERIZZAZIONE DEI SEDIMENTI MARINI	22
8. INFORMAZIONI SEDIMENTOLOGICHE PRESENTI NEL P.S.D.C.	23
9. INFORMAZIONI SEDIMENTOLOGICHE DERIVANTI DAGLI STUDI PREGRESSI	25
10. ANALISI SEDIMENTOLOGICHE DERIVANTI DAI CAMPIONAMENTI DEL 2015	26
11. CONCLUSIONI	66

1. GENERALITA'

Il Comune di Sant'Agnello (NA), nell'ambito del progetto per la realizzazione dell'approdo turistico di località *Marina di Cassano*, in agro del medesimo comune, ha intrapreso le attività relative al completamento della scogliera di sopraflutto del molo esistente.

Pertanto, il sottoscritto *dott. geol. Salvatore Palomba*, iscritto al n. 287 dell'*Ordine dei Geologi della Regione Campania*, a seguito dell'incarico ricevuto dal *Comune di Sant'Agnello (NA)* con *Determina di Settore n.73 del 24/10/2016*, ha redatto il presente documento tecnico-specialistico dotato di indagini, cartografie tematiche e relazioni specialistiche.

Nello specifico, a supporto della progettazione succitata, il gruppo di lavoro individuato dall'amministrazione comunale ha provveduto a redigere una serie di studi tecnico-specialistici, tra cui il presente "*Studio geologico, geomorfologico e sedimentologico*", che risulta parte integrante del progetto.

Il presente elaborato è stato realizzato con lo scopo di:

- definire le caratteristiche geologiche e geomorfologiche salienti dei luoghi;
- valutare la dinamica recente della linea di riva;
- individuare le caratteristiche granulometriche dei sedimenti della costa nell'ambito del sito di intervento;
- effettuare considerazioni sulla natura e sui percorsi di trasporto del sedimento.

Tali considerazioni, insieme ad ulteriori valutazioni provenienti dagli altri studi specialistici redatti, sono propedeutici all'analisi degli effetti del completamento della configurazione portuale in parola, ai fini della valutazione degli effetti sulla dinamica costiera locale.

La documentazione prodotta è stata redatta in ottemperanza a quanto stabilito dalle *Norme di Attuazione del Piano Stralcio per la Difesa delle Coste (P.S.D.C.)* redatto dall'*Autorità di Bacino Regionale della Campania Centrale (ex-Sarno)*, del settembre 2012, relativamente agli studi e rilievi geologico-geomorfologici e sedimentologici (*Cap. I, par. 1.1 e 1.2. delle N.T.A.*).

Appositamente per questi studi è stata eseguita una campagna di indagini e rilievi in ambito marino svolta nei primi mesi del 2015 e commissionata direttamente dal Comune di Sant'Agnello alla ditta *Prisma S.r.l.* (vedi: documentazione Studio Prisma), i cui risultati sono alla base delle considerazioni contenute del presente studio; essa è consistita nel:

- prelievo di n. 25 campioni di sedimento in ambito di spiaggia e di fondale marino e nell'esecuzione di n. 24 analisi sedimentologiche di laboratorio;
- rilievo topografico della linea di riva attuale e della spiaggia (fig.8);
- rilievo *DTM*, con isobate, del fondale marino nell'area circostante la scogliera (fig.8);
- rilievo *Side Scan Sonar (SSS)* e fotomosaico con mappatura delle biocenosi;

- rilievo di profili topografici costa-mare;
- atlante fotografico dei luoghi.

In aggiunta a tali attività, sono stati eseguiti altri punti di rilievo sedimentologico, consistenti in ulteriori n.5 prelievi di campioni di sedimento in ambito di spiaggia e di fondale marino, ad integrazione di quelli già in possesso, per sottoporli ad analisi sedimentologiche di laboratorio (Allegato 4).

Abbinata alle succitate campagne di indagini e rilievi, sono state svolte attività di rilevamento geologico e geomorfologico della parte emersa e sommersa del litorale (Allegati 2 e 3).

Il presente studio tiene anche conto dei risultati delle indagini, rilievi ed elaborati tecnico-specialistici e di progetto del precedente lotto, già realizzato, consistenti in n.4 prelievi di campioni di sedimento in area di fondale marino (Allegato 1) e nel rilievo topografico dei fondali e della spiaggia Caterina (anno 2006).

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il sito di progetto si localizza all'interno della tavoletta IGM-STR, in scala 1:25.000, n.37 - "Sorrento", all'interno dell'elemento n. 466131 della Carta Tecnica Regionale (CTR), in scala 1:5.000, in agro del comune di Sant'Agello (NA) e ricade nel territorio di competenza dell'Autorità di Bacino regionale della Campania Centrale (ex-Sarno).

3. DESCRIZIONE DELL'UNITÀ E DELLA SUB-UNITÀ FISIOGRAFICA

La descrizione dell'unità e della sub-unità fisiografica in cui ricade il sito di interesse prende spunto da quanto riportato negli elaborati del *P.S.D.C. dell'Autorità di Bacino ex-Sarno*. Nello specifico il sito portuale di *Marina di Cassano* si colloca all'interno dell'unità fisiografica principale del Golfo di Napoli, delimitata a nord-ovest da Monte di Procida ed Ischia, e a sud-ovest dalla Punta della Campanella e dall'Isola di Capri.

In essa è possibile individuare alcune sub-unità fisiografiche minori quali il Golfo di Pozzuoli, la Baia di Bagnoli, la Baia di Napoli, il Golfo di Castellammare di Stabia, la Baia di Sorrento, ecc... In esse la circolazione dei sedimenti marini, apportati dai corsi d'acqua o dall'erosione diretta delle falesie costiere per opera del moto ondoso, risulta più o meno confinata, con minima evacuazione di sedimenti verso le maggiori profondità attraverso canyons e valli sottomarine.

Queste unità fisiografiche presentano differenti caratteri morfologici e strutturali della piattaforma e del margine continentale in dipendenza della loro storia geologico-strutturale e della evoluzione morfodinamica quaternaria. L'assetto attuale è il risultato delle specifiche interazioni tra i processi geomorfici prevalenti, gli episodi di tettonica e di vulcano-tettonica, delle oscillazioni glacioeustatiche, plio-pleistoceniche ed oloceniche.

Nello specifico, il sito d'interesse si colloca nell'«sub-unità fisiografica della "Penisola Sorrentina-M. ti Lattari", che si estende da Castellammare di Stabia, ad Est, fino alla Punta della Campanella, ad Ovest, e più specificatamente ci si riferisce a quella della "Baia di Sorrento" (cod. 3.2 del P.S.D.C. – Fig. 1), delimitata ad Ovest dalla Punta del Capo di Sorrento ed ad Est da Punta Scutolo (P.ta Gradelle), con uno sviluppo complessivo di circa 12,66 km. di costa (tab. 1, Rel. Gen. P.S.D.C.), quasi ovunque "alta", in cui si individuano una serie di piccole spiagge (pocket beach) legate all'azione di trasporto dei corsi d'acqua più importanti e di ripide falesie in roccia litoide.

In tale ambito territoriale s'individuano le foci di numerosi corsi d'acqua a prevalente carattere torrentizio (denominati "valloni") che drenano le acque della porzione settentrionale della dorsale sorrentina formando alcuni coni di deiezione attivi allo sbocco in mare. Tra essi si ricordano i valloni *Lavinola-Roselle*, *Formiello* e *S. Giuseppe*, a Meta e Piano di Sorrento, il *Vallone dei Mulini*, a Sorrento, il *vallone Golfo del Pecoriello* a Sant'Agnello.

Il sito portuale di località *Marina di Cassano* si colloca in corrispondenza della "spiaggia Caterina", piccolo arenile presumibilmente costituito in prevalenza dai depositi di deiezione localizzati allo sbocco in mare del vallone *S. Giuseppe*, che demarca il confine comunale tra Piano di Sorrento e Sant'Agnello (Fig. 2). Il tratto di costa compreso tra la località "Il Pizzo", ad ovest, e "Sopramare", ad est, è stato inteso come sub-unità fisiografica "elementare" sui cui insiste la scogliera in parola.

Gli studi del P.S.D.C., del 2012, classificano il tratto di costa in esame principalmente come "costa alta" con orlo di falesia tufacea "attiva" e/o "inattiva", di altezza maggiore di 25 m., e pendenza del fondale, da 0 a -5 m., pari a circa 2-3%. (tav. A2_2UF32_3).



Fig. 1 - Stralcio della carta delle sub-unità fisiografiche da P.S.D.C., anno 2012.

In effetti, nell'ambito del citato tratto di costa compreso tra la località "Il Pizzo" e "Sopramare" si riscontra ad est ed ovest una falesia "attiva" in tufo ($h > 40$ m.) che cade direttamente a mare, su un fondale di profondità media pari a circa $-4/-5$ m. ed affetta anche da diffusi fenomeni di frana; mentre, nel tratto intermedio di costa alta si riscontra la porzione di falesia "inattiva", in cui piede è ormai occupato da una stretta fascia di spiaggia sabbiosa, conservata e protetta dalla presenza di opere antropiche (scogliere) e dagli apporti sedimentari del vallone S. Giuseppe.

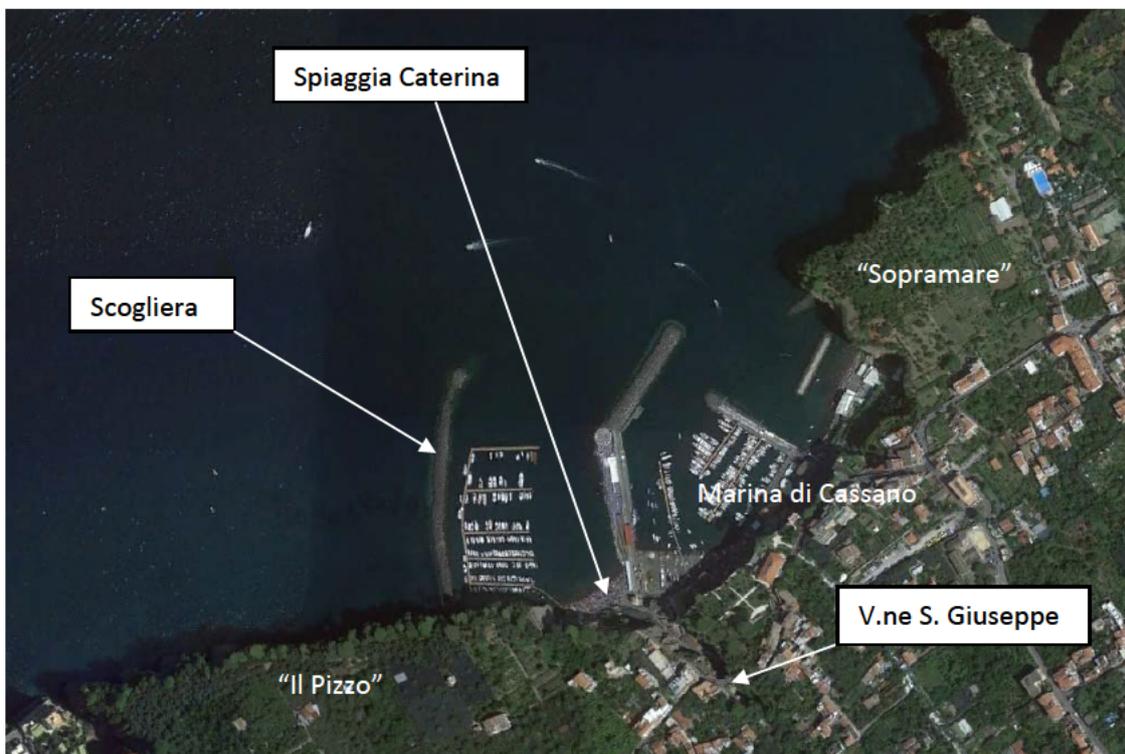


Fig. 2 – Localizzazione dei luoghi di progetto (fonte Google-Earth).

4. CARATTERIZZAZIONE DELLA SPIAGGIA EMERSA E DELLA COSTA ALTA

4.1. *Aspetti geologici e idrogeologici*

Dal punto di vista geologico il settore costiero in esame è contraddistinto dalla presenza, lungo tutta la costa alta della Piana di Sorrento, dagli affioramenti del Tufo Grigio Campano (c.a. 35.000 anni fa) che è visibile in maniera estesa e continua lungo tutta la falesia per spessori significativi superiori ai 50 m., estendendosi per alcuni metri anche al di sotto del l.m. (Foto 3 e 11 e figura 5 e 6). Tale formazione vulcanica, deposta in forma di flusso piroclastico ad elevata densità, mostra oltre alle tipiche forme di degasazione sub-verticali (fessurazione colonnare e linee di flusso) anche porzioni con differente stato di litificazione ed alterazione. Queste ultime presentano parametri geomeccanici e geotecnici più scadenti, con densità e peso di volume minore.

Il Tufo Grigio è ricoperto quasi ovunque, come visibile al tetto della falesia costiera, da terreni piroclastici da caduta, limo-sabbiosi e sabbioso-limosi, da sciolti ad addensati, di età olocenica, che sono stati messi in posto a seguito delle principali eruzioni vesuviane di cui quella pliniana del 79 d.C. ne rappresenta la maggior parte. Nella zona sovrastante la falesia in parola, la successione piroclastica mostra spessori complessivi che si aggirano sui 4-5 m.. All'interno dei depositi piroclastici si individuano anche lenti o livelli, più o meno continui, di pomici grigie e bianche, ascrivibili alla citata eruzione vesuviana.

Nell'area in esame, i principali depositi clastici, recenti ed attuali (Olocene-attuale), sono rappresentati dai depositi di spiaggia e da quelli alluvionali presenti lungo il tracciato del vallone *San Giuseppe*. Questi due depositi sono direttamente connessi tra loro, in quanto la piccola *spiaggia Caterina*, incastrata nella costa di tufo "a picco" sul mare, rappresenta la diretta manifestazione degli apporti alluvionali del torrente sul litorale. Essa, pertanto, è prevalentemente riconducibile ad accumuli alluvionali sabbioso-ghiaioso-limosi, distribuiti in forma di cono di deiezione, che trova diretta continuità anche al di sotto del livello del mare. Quindi, i depositi di spiaggia attuale sono riferibili a sabbie, da grossolane a fini, debolmente ghiaiose, in genere ben classate nella parte sommersa, che sono inquadrabili quindi come terreni di origine alluvionale, rielaborati dall'azione del mare e del vento.

Dall'analisi di sondaggi geognostici pregressi, realizzati nell'area del porto di *Marina di Cassano*, in possesso dello scrivente per pregresse attività professionali (anno 1989 e 2006, vedi Allegato 1) è stato possibile ricostruire il sottosuolo dell'area costiera e marina in esame. La formazione tufacea che, nella zona emersa forma l'intera falesia marina, nell'ambito di spiaggia e di fondale forma una modesta propaggine di pochi metri di spessore che si protende verso mare per alcune decine di metri dal piede dell'attuale falesia. Questo "lembo" di tufo, come riscontrato nei sondaggi (in S1 e S3 di CGT 1989; in S1 e S2 di Fondedile 1989; S1 e S2 CGT 2006 - All. 1), è ricoperto dai depositi marini e di spiaggia attuali ed è visibile in affioramento localmente solo nella zona subacquea al piede della falesia (foto 7s e 8s – All.3) all'esterno del molo. Al di sotto del Tufo Grigio, i sondaggi eseguiti, mostrano la diffusa presenza di successioni piroclastiche antiche, stratificate, di natura limoso-sabbiosa e sabbiosa grossolana, con spessori anche elevati (anche >30 m) di differente origine, sia detritico-alluvionale che marina (spiaggia). Questi depositi, si mostrano in forma di lenti e livelli, anche molto spessi (vedi sezioni in All. 1). I livelli piroclastici hanno una granulometria più fine, limo-sabbiosa, con pomici e scorie e talora clasti calcarei, che potrebbero far pensare a depositi piroclastici rimaneggiati,

abbastanza compatti ed addensati (a bassa permeabilità). Mentre, i depositi più francamente sabbiosi sono riferibili a sabbie vulcaniche, nerastre o grigie, ben classate e compatte, piuttosto permeabili, che si possono ricondurre ad una spiaggia “fossile” o a depositi torrentizi. In questi ultimi è presente una copiosa falda idrica artesianica, riscontrata nei sondaggi, che risale fino a poco meno di 1 m. al di sopra del p.c..

Al di sotto dei predetti depositi vulcanici rimaneggiati “antichi”, ad una profondità non precisamente valutabile (i sondaggi in All. 1 non la incontrano fino a -35 m. di profondità) ma solo stimabile per la presenza di sondaggi a terra profondi, si rinviene la successione terrigena arenaceo-pelitica, miocenica (*Arenarie del Deserto, ADD* – come da *Prog. CARG, F.lto n.466-485*) che costituisce il substrato locale dell’area costiera del graben di Sorrento e della costa antistante.

Dal punto di vista idrogeologico nell’area di interesse è presente una falda idrica in pressione, localizzata al di sotto del Tufo Grigio (meno permeabile), all’interno di lenti o livelli sabbiosi (spiaggia e torrentizi) dei depositi piroclastici “antichi”. Questa falda si manifesta con la presenza in zona di alcune sorgenti costiere e sottomarine, alcune delle quali si trovano anche nei pressi dello scalo di alaggio della spiaggia Caterina e lungo la costa delle località “Il Pizzo” e “Sopramare”.

4.2. Aspetti geomorfologici, vegetazionali ed antropici

Dal punto di vista geomorfologico e morfodinamico la spiaggia in parola, la costa alta ed il litorale subacqueo prospiciente presentano alcune specificità e singolarità che di seguito sono così riassumibili:

- la *spiaggia Caterina* è una “*pocket beach*” sabbiosa e sabbioso-ciottolosa, di probabile genesi mista, fluvio-torrentizia/marina, la cui dinamica è legata all’equilibrio tra gli apporti alluvionali del vallone *S. Giuseppe* e l’azione sotto costa del mare (Foto 1, 2 e 14 – All.2);
- sulla spiaggia è possibile individuare due berme, una di tempesta ed una ordinaria (area sopratidale-spiaggia emersa) (Fig.3 e Foto 4, 5 e 8 – All.2); mentre, in area di battigia (intertidale) si individuano alcune ampie forme concave legate a flutti montanti obliqui alla linea di riva. Poco al di sotto dello 0 m. si individua un piccolo ma netto “gradino” e la porzione di fondale di spiaggia sottomarina è privo di barre, ma mostra una regolare pendenza di circa 2°- 4° fino alla batimetrica di -3 m. circa;
- a partire dalla batimetrica di -3 m., si individua un terrazzo marino che si sviluppa con pendenze blande (circa 2°-3°) fino alla batimetrica di -7 m. circa, estendendosi entro ed anche al di fuori dell’area difesa dalla scogliera in parola (Fig. 5 e 6). Questo terrazzo mostra, nel tratto di fondale interno alla scogliera, uno “scalino”, di circa 3 m di dislivello e

pendenza fino a 10°, di raccordo con una nuova superficie terrazzata posta a -10/-11 m. di profondità, che si sviluppa ampiamente anche al di fuori della scogliera in parola e del porto di Marina di Cassano (Fig. 6). Questa superficie mostra valori di pendenza molto bassi, anche inferiori ad 1°. La predetta superficie rappresenta il piano di appoggio dell'ampliamento della scogliera in parola. Essa costituisce il bordo della piattaforma costiera nel tratto di mare antistante l'intera baia di Meta e Piano di Sorrento (Fig. 4, 5 e 6). Essa trova brusca interruzione verso il largo mediante un netto "gradino" morfologico (orlo di scarpata sottomarina) ubicato a partire dalla batimetrica di -7 m., al piede della falesia tufacea, e da quella dei -12/-13 m., all'esterno della scogliera, in direzione nord (Fig. 4, 5 e 6). Data la pendenza della scarpata, P_{media} di 13°-15° ma con valori finanche di 25°, si potrebbe supporre che essa sia frutto di processi di erosivi di litologie lapidee a diversa competenza (substrato miocenico arenaceo-pelitico);

- sul fondale del tratto di mare antistante la scarpata tufacea, ad ovest della scogliera, (da -4 a -5 m. circa) si individuano numerosi blocchi di tufo, plausibilmente legati a fenomeni di crollo o ribaltamento di masse rocciose instabili cadute dalla falesia (Foto 1s, 2s – All.3), ed è possibile osservare alcuni lembi di un piccolo terrazzo di abrasione in tufo parzialmente sommerso dalla sabbia e dalla ghiaia presente sul fondale (Fig. 5 e Foto 7s, 8s, 9s – All.3).
- lungo la falesia tufacea che si sviluppa ad ovest dello scalo di alaggio sono visibili alcune forme recenti di crollo/ribaltamento e si individuano addirittura cunei di roccia in precario equilibrio (Foto 11, 15 e 16 – All.2). Inoltre lungo la stessa falesia (loc. "Il Pizzo") si rilevano alcune cavità costiere (grotte o sgrottamenti) probabilmente prodotte dall'azione erosiva del moto ondoso sulla roccia tufacea (Foto 11 e 15 – All.2). La porzione subacquea delle grotte e del piede della falesia è caratterizzata dalla presenza di sedimenti molto grossolani (ghiaie e ciottoli), poligenici, a testimonianza della elevata dinamica e forza del moto ondoso (Foto 4s e 6s – All.3).
- dai rilievi batimetrici e morfometrici del *P.S.D.C.*, (Fig. 4) in corrispondenza dell'area subacquea antistante la *spiaggia Caterina* e quella del porto di Piano di Sorrento, si evince la presenza di un conoide di deiezione sottomarino del vallone *S. Giuseppe* ma si individua anche una morfologia depressa (paleo-canale) che recapitava i deflussi verso la zona più profonda della scarpata antistante la Marina di Cassano, oggi in parte obliterato dalla realizzazione delle strutture portuali.

Dal punto di vista vegetazionale la *spiaggia Caterina* non è dotata di una zona dunare ed essendo una pocket beach sabbiosa delimitata su tutti i lati da opere antropiche dello scalo di alaggio, del canale del vallone *S. Giuseppe* e del molo di Piano di Sorrento, non presenta alcun tipo di vegetazione spontanea (Foto 1 e 2 – All.2).

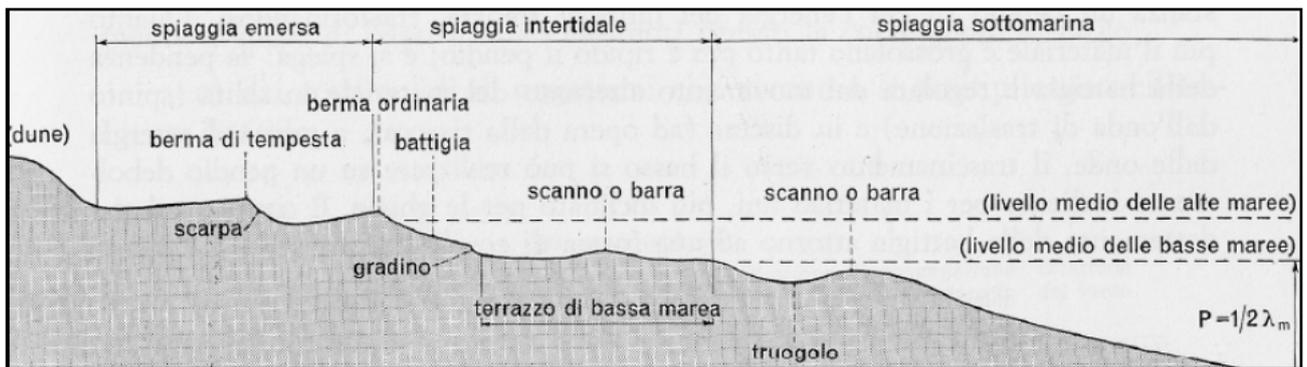


Fig. 3 – Geomorfologia della spiaggia (da Castiglioni).

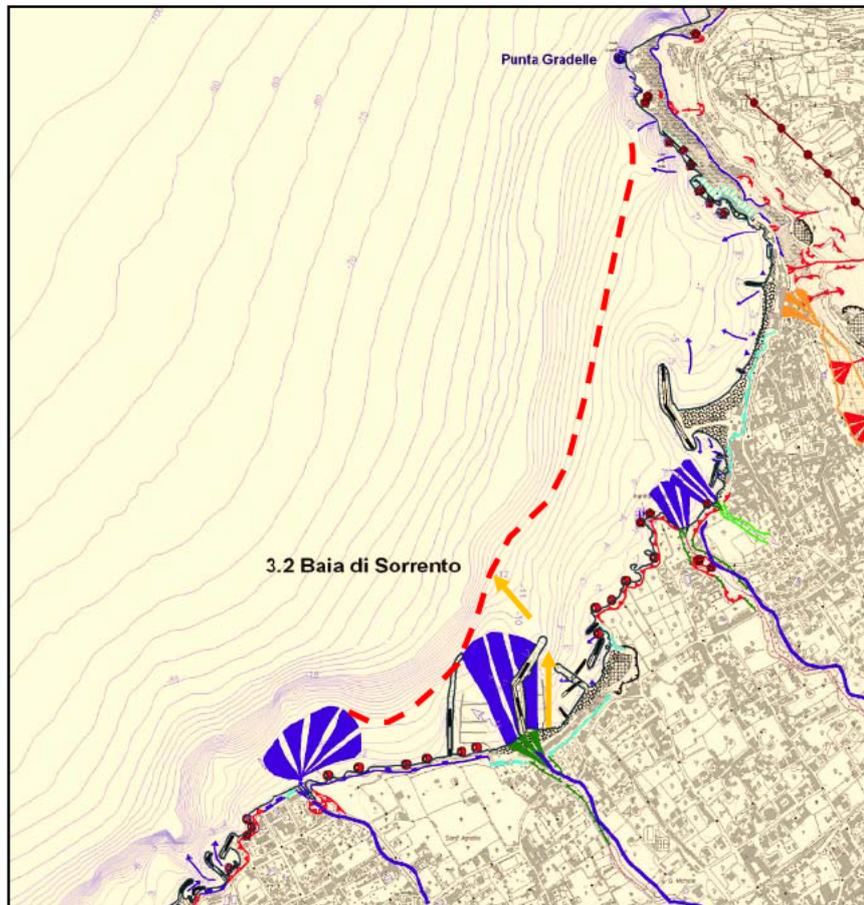


Fig. 4 - Stralcio della tav. Carta Geomorfologica del P.S.D.C. (elab. B4-GMF3). Linea **tratteggiata rossa** (orlo di scarpata di terrazzo); freccie **arancione** "depressione o canale" del fondale.

Nel retroterra, la stessa spiaggia, come detto, è interamente delimitata da opere antropiche che ne intrappolano i sedimenti presenti. Gli unici apporti esterni al sistema costiero spiaggia/fondale derivano dalle portate solide provenienti dal canale artificiale del vallone S. Giuseppe che corre intubato fino al mare in asse alla scogliera del molo di Piano di Sorrento, ubicato sul lato est della

spiaggia (Foto 9 e 10 – All.2). I sedimenti trasportati dal vallone sono così recapitati direttamente in mare e successivamente vengono ridistribuiti sul fondale al largo della *spiaggia Caterina*. Lo scalo di alaggio, presente sul lato ovest, presenta un ampio scivolo, realizzato in calcestruzzo ed in tufo, che si spinge in mare fino a circa - 1,5 m. di profondità (Foto 8 e 13 – All.2).

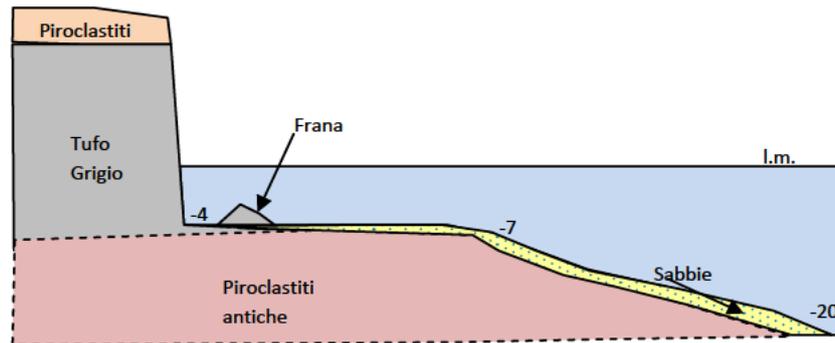


Fig. 5 – Sezione geologica schematica n.1 del litorale in questione – area falesia loc. Il Pizzo.

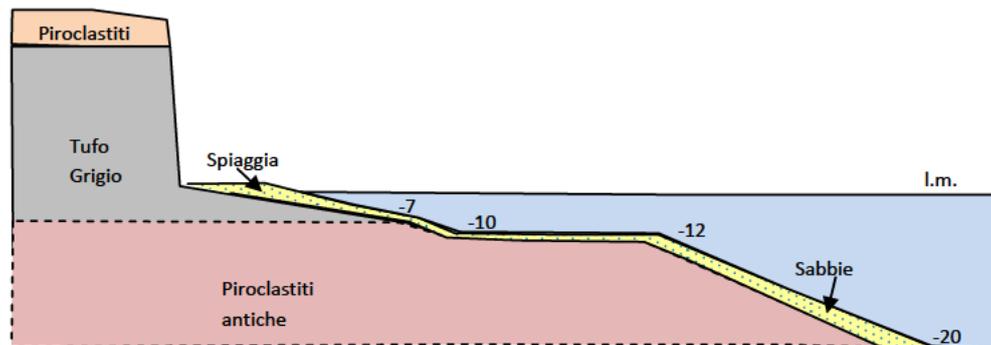


Fig. 6 – Sezione geologica schematica n.2 del litorale in questione – area spiaggia Caterina.

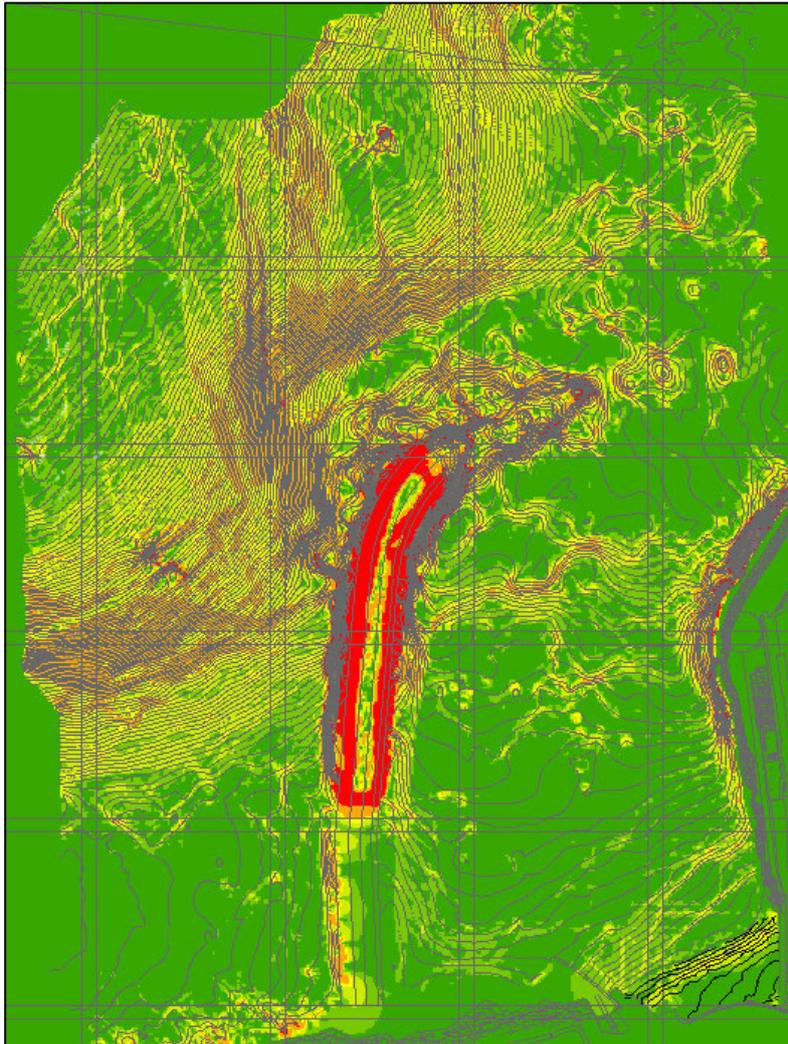


Fig. 7 – Carta delle pendenze del DTM del fondale marino (rilievo 2015).

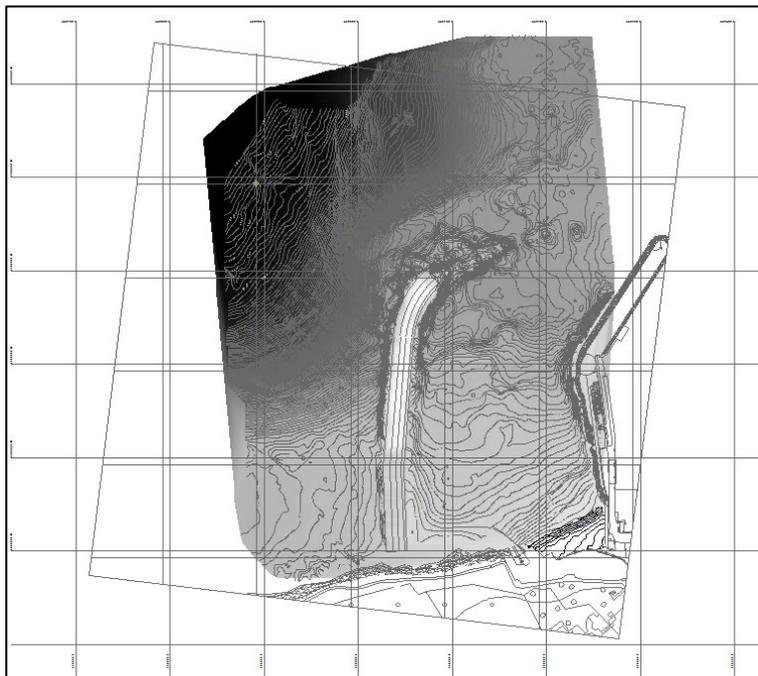


Fig. 8 – Rilievo DTM dei fondali e carta delle isobate (anno 2015).

4.3. Analisi della evoluzione storica della linea di costa e dinamica recente della linea di riva.

I rilievi della linea di costa della *spiaggia Caterina*, utilizzati nel presente studio per le valutazioni della sua evoluzione (storica e recente), sono relativi: alle cartografie ufficiali IGM in scala 1:25.000 (*STR F. n.37*, topografia del 1955, rilievo urbanizzato e costa del 1992, pubblicazione del 1998), alle CTR, in scala 1:5.000, (anni 1974-STR, 2002-Prov. Na, 2009-Re.Ca.), ed ai rilievi topografici di dettaglio delle aree di progetto (anni 2006 e 2015).

In particolare, questi ultimi due rilievi topografici, eseguiti per le diverse fasi progettuali della scogliera in parola (anni 2006 e 2015), consentono valutazioni di maggiore precisione anche in tema di analisi quantitative (anche volumetriche) delle variazioni più recenti durante le fasi di completamento della stessa scogliera.

Relativamente alle analisi dell'evoluzione storica della linea di costa del tratto di spiaggia d'interesse è possibile effettuare le seguenti considerazioni qualitative di carattere generale:

- 1) dalla CTR del 1974 (STR), in scala 1:5.000, si osserva qualitativamente la presenza di una piccola spiaggia che mostra, in assenza della scogliera in parola, una minore estensione verso mare di quella attuale (Fig. 9);
- 2) dal confronto qualitativo tra la predetta linea di costa della CTR del 1974 (Fig. 9) e quella dell'IGM, degli anni '90, in scala 1:25.000 (Fig. 10) (in cui compare già il primo tratto di scogliera), con le dovute approssimazioni dovute alla scala di rappresentazione, si constata un sostanziale avanzamento della linea di costa verso mare, a testimonianza del fatto che la presenza della "barriera" ha consentito il progressivo accumulo di depositi, marini e/o fluviali, in corrispondenza del tratto compreso tra le due scogliere, e quindi con la formazione di una zona dinamicamente più protetta dall'azione del moto ondoso. Analizzando poi le due predette linee di costa in raffronto a quella della CTR, in scala 1:5.000, del 2009 (in cui compare anche il primo ampliamento della scogliera), si osserva un progressivo arretramento, erosione della spiaggia (Fig. 9). E' opportuno precisare che la predetta progradazione della *spiaggia Caterina* si è protratta certamente in maniera intensa almeno fino agli anni 2000 circa (vedi studio Benassai - Fig. 13 e 14), per poi rallentare ed invertire la sua dinamica nel periodo 2000-2009;
- 3) dai rilievi della linea di costa più recenti, relativi al periodo compreso tra il 2006 e il 2015 (attuale), ed anche in raffronto con la linea del 2009, è possibile constatare, in termini qualitativi, che la linea di costa ha subito un lieve arretramento di posizione (erosione) sul lato ovest, mentre ha subito modificazioni più sensibili, anche in termini di orientazione, subendo una lieve "rotazione" oraria della linea di costa, evidenziando una azione erosiva più intensa, ancora "in atto", del tratto più prossimo alla scogliera del molo di Piano di

Sorrento (lato est), mentre risulta meno vigorosa nei pressi dello scalo di alaggio (lato ovest) (Fig. 12).

Tutto ciò è possibile dedurlo anche dall'analisi di quanto individuato nelle relative cartografie tematiche del P.S.D.C. del 2012, (*Carta dell'evoluzione storica della linea di costa - elab. D1-ELC4*), che analizza la finestra temporale 1998 – 2009 (Fig. 11) in cui osserva dapprima un generale avanzamento della spiaggia verso mare in corrispondenza dell'allungamento della scogliera e, successivamente, l'instaurarsi di un sostanziale equilibrio nella zona ovest e di erosione nella zona est, più vicina al porto di Piano di Sorrento.

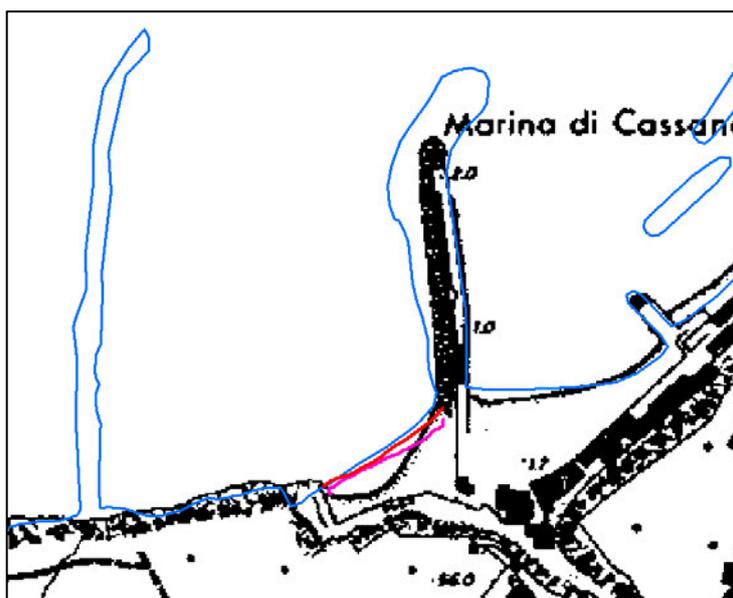


Fig. 9 - Tavola CTR, in scala 1:5.000, anno 1974. Confronto con le linee di riva del 2006 (rosso), 2009 (blu), e 2015 (fucsia).

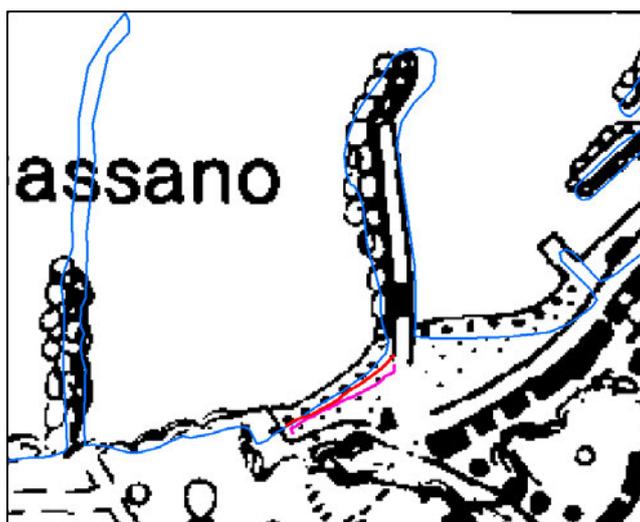


Fig. 10 - Tavola IGM 1:25.000, STR anni '90. Confronto con le linee di riva del 2006 (rosso), 2009 (blu) e 2015 (fucsia).

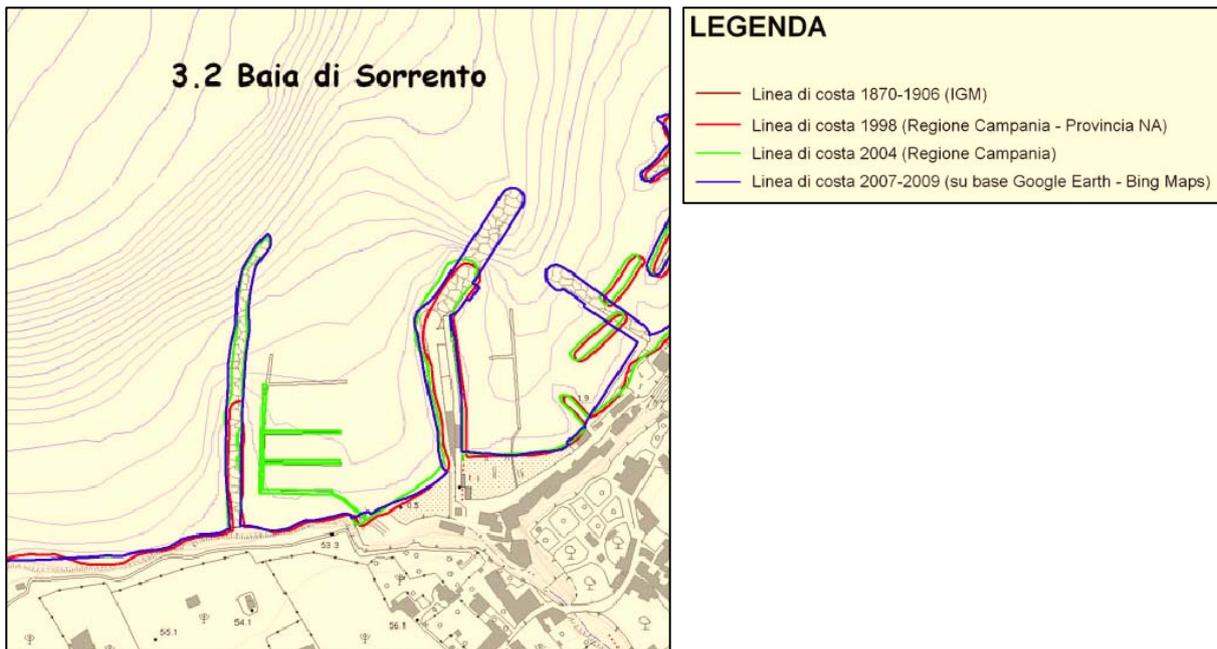


Fig. 11- Stralcio della Carta dell'evoluzione storica della linea di costa (da P.S.D.C.)(elab. D1-ELC4).

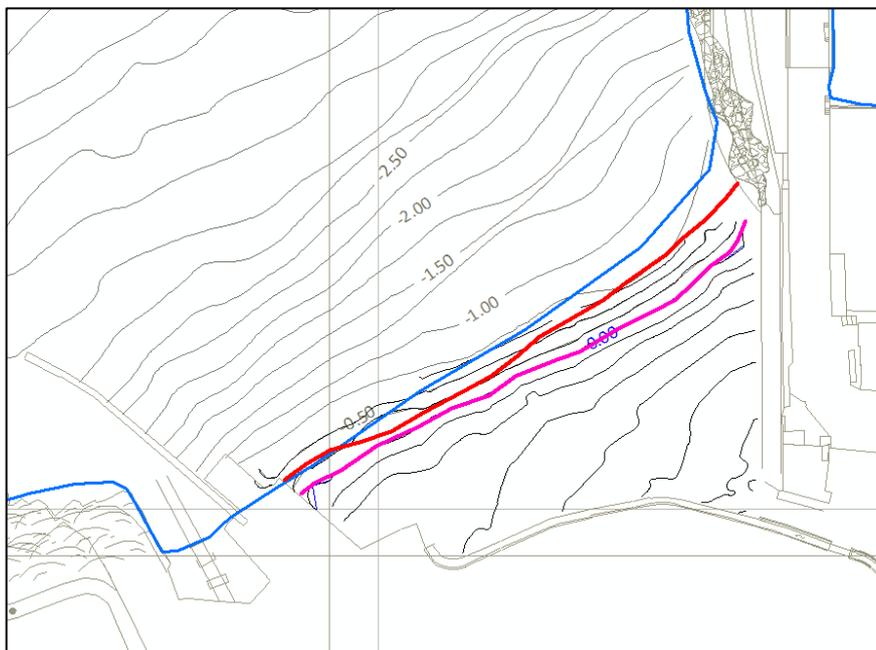


Fig. 12 - Linee di riva dei rilievi 2006 (rosso), 2009 (blu) e 2015 (fucsia).

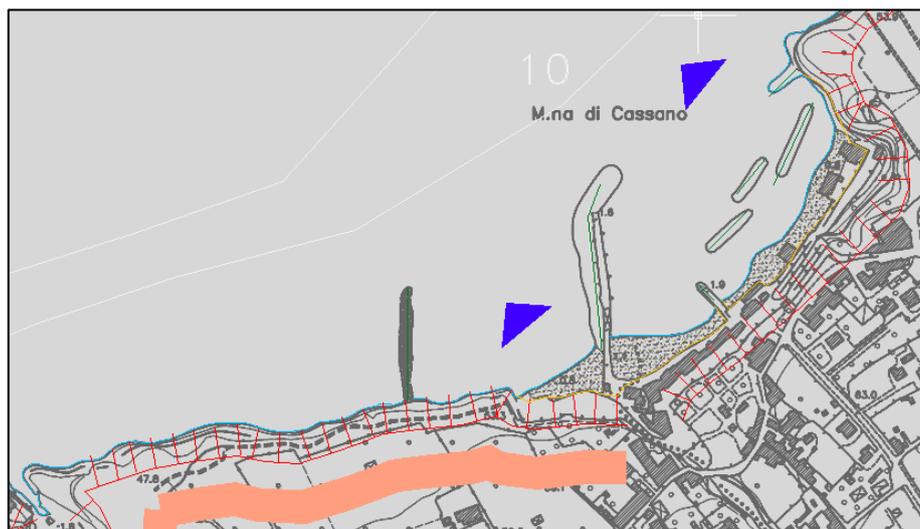


Fig. 13 - **Tavola STT-II 1.4** - Corografia d'Ambito - Analisi delle Criticità - Prov. Napoli, studio Prof. Benassai. La freccia blu indica la progradazione della linea di costa.

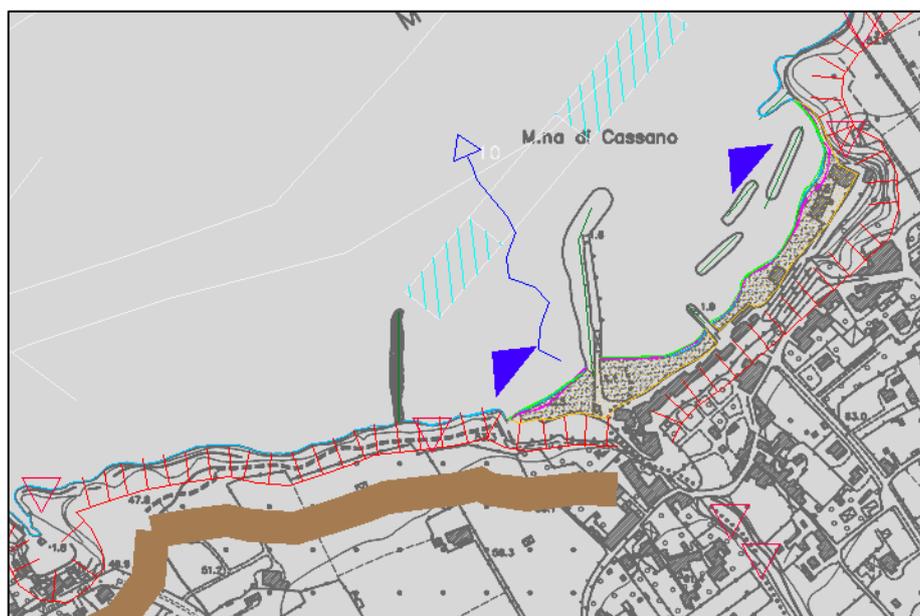


Fig. 14 - **Tavola STT II-2.4.2.** - Scheda territoriale sinottica, Ambito 5, Scheda P.S.2 - Analisi delle Criticità - Prov. Napoli, studio Prof. Benassai. La freccia blu indica la progradazione della linea di costa.

Questa tendenza di avanzamento era stata evidenziata anche dallo studio prodotto dalla *Provincia di Napoli, Area di Pianificazione territoriale e Urbanistica - Direzione Piano Territoriale di Coordinamento - S.I.T. - Piani di Settore - "Difesa geomorfologica dalla erosione della costa continentale e delle isole" - Studio di fattibilità, Prof. E. Benassai, Ass. Temp.: A.R.P.A.*. In esso si sottolinea che nel periodo di osservazione, 1984-2000, il tratto di costa della *spiaggia Caterina* era risultato in lieve progradazione (freccia Blu di figure 13 e 14).

4.4. **Analisi quantitativa recente sui depositi della spiaggia emersa**

In merito alle analisi quantitative delle variazioni planimetriche della linea di riva e volumetriche della "spiaggia Caterina", ed affinché si potesse avere una buona attendibilità del dato numerico, si è ritenuto di poter effettuare questa valutazione solo confrontando i rilievi topografici plano-altimetrici (DTM) in possesso; cioè quelli eseguiti per le due successive fasi progettuali del 2006 e del 2015. Pertanto, Tale analisi numerica quantitativa, finalizzata a valutare il tasso di deposizione/erosione della spiaggia, è stata eseguita in questo periodo di osservazione (9 anni circa) perché era l'unico in cui esistevano dei rilievi di dettaglio della spiaggia e della linea di riva che consentissero valutazioni attendibili. Il confronto, realizzato utilizzando metodi GIS con l'uso di due DTM rasterizzati (Fig. 16 e Tav. 13.a, 13.c, 13.d), ha fornito valori di erosione volumetrica per 588 m³ complessivi, con un tasso di erosione volumetrica media quantizzabile in circa 3,35 cm/a per unità di superficie, nei 9 anni di osservazione (vedi Tav. 13.h).

Spiaggia: analisi volumi movimentati (2015-2006)							
Area (mq)	Val. Min [2015-2006] (m)	Val. Max [2015-2006] (m)	Range [2015-2006] Val.Max-Val.Min (m)	Val. Mean [2015-2006] (m)	Volume [2015-2006] (mc)	Tasso medio di erosione (mc/anno)	Tasso medio di erosione (cm/anno)
1950	-0,81	0,07	0,89	-0,30	-588,34	-65,37	-3,35

In merito all'analisi quantitativa dell'evoluzione della linea di riva si rileva che essa ha subito un arretramento massimo stimabile (*D*) nell'ordine dei 6,0-7,0 m. nel tratto più eroso e di circa 1,3-1,5 m. nel tratto a minore spostamento; i valori medi dell'arretramento si stimano nell'ordine dei 3,3-3,8 m. lungo tutta la linea di riva (Fig. 15) nel medesimo periodo di riferimento (9 anni), con un tasso di spostamento rispettivamente di 0,66-0,77 m/a, per i valori massimi, 0,16 m/a per i minimi e 0,34-0,39 m/a per quelli medi.

5. **ASPETTI GEOLOGICI E GEOMORFOLOGICI DEL FONDALE**

In merito alle caratteristiche geologiche e geomorfologiche salienti delle aree di fondale antistante si rimanda a quanto già esposto nei paragrafi 4.1 e 4.2. ed alle Tavole 13.f e 13.g.

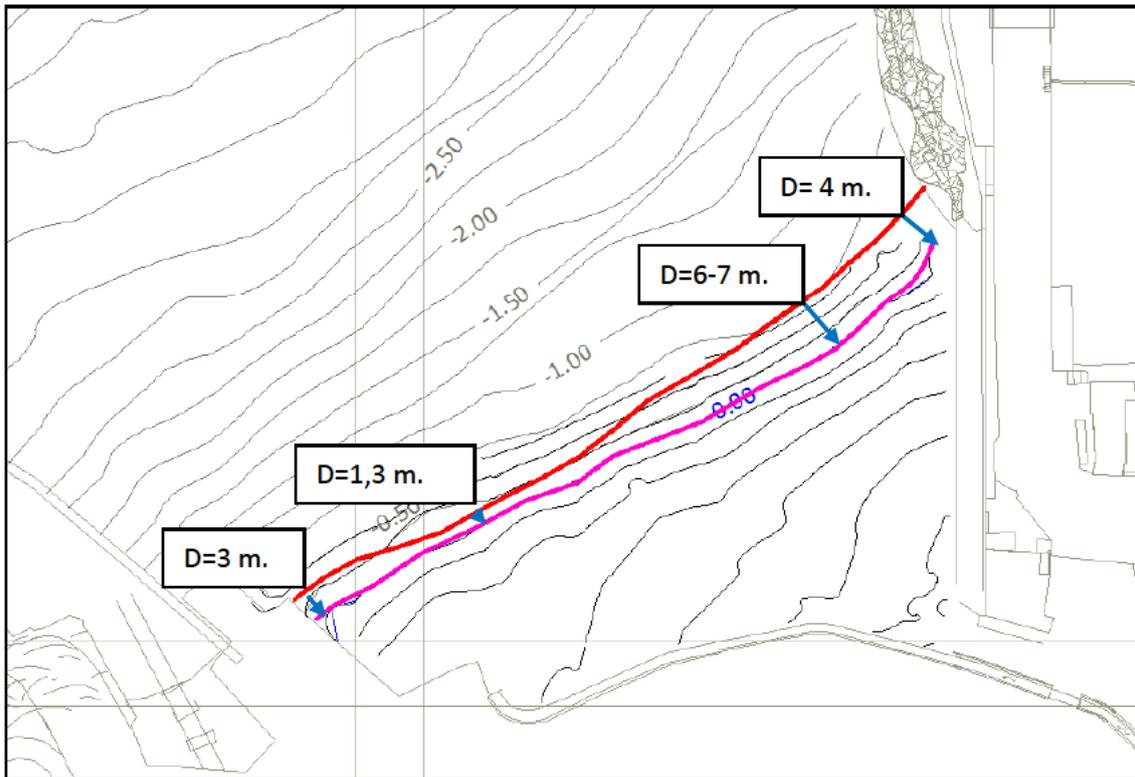


Fig. 15 – Analisi dell'arretramento della linea di riva, in rosso 2006 e fucsia 2015.

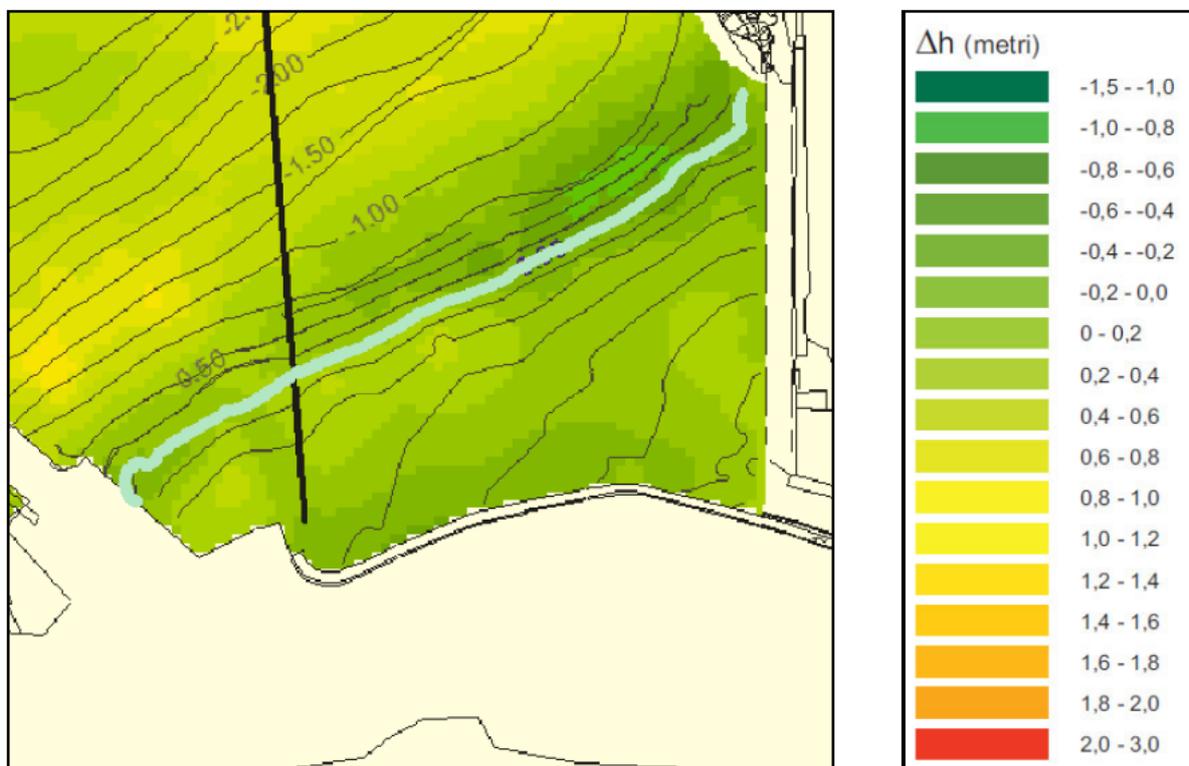


Fig. 16 – Confronto tra DTM raster del 2006 e del 2015 (da Tav. 13.h).

5.1. Risultati del rilevamento geolitologico e geomorfologico subacqueo in ARA

Per gli studi di geomorfologia e geolitologia del fondale antistante la costa in esame ci si è avvalsi: dei risultati del rilievo *Side Scan Sonar* (SSS) e della sua restituzione in fotomosaico; dei profili topografici rilevati del fondale; del rilievo *DTM*, maglia 1x1 m.; dell'*Atlante fotografico* redatto secondo le specifiche del *P.S.D.C.* (elaborati commissionati dal *Comune di Sant'Agnello* alla *Ditta Prisma s.r.l.*) (vedi: Studio Prisma) e si sono utilizzati anche gli esiti delle ispezioni in ARA effettuate, sul medesimo fondale, successivamente ai rilievi predetti, in ulteriori settori ritenuti importanti per la comprensione della geomorfologia del fondale ed i cui elaborati fotografici e cartografici si riportano in Allegato 3.

In merito a quanto emerso dagli studi commissionati e da quanto potuto costatare direttamente attraverso il rilevamento subacqueo appositamente eseguito, sono emerse le seguenti considerazioni specifiche:

- la zona di terrazzo a -4/-7 m. posta all'esterno della scogliera, a ridosso della falesia (da -4 a -5,4 m.), è contraddistinta da sedimenti prevalentemente sabbiosi (vedi Foto: 3s, 4s, 6s e 7s – All.3) in cui si evidenzia un chiaro aumento della granulometria dei clasti nella zona molto prossima alla falesia ed alla scogliera, con addirittura presenza di ghiaie e ciottoli, poligenici, nelle immediate vicinanze del piede subacqueo della falesia in tufo e nelle cavità (grotte) costiere al piede della scarpata (Foto 6s e 7s – All.3);
- al piede della falesia, sempre all'esterno del porto, si notano numerosi blocchi metrici di tufo (Foto 1s – All.3), franati dal costone e poggiati sul fondale sabbioso; ma il piede della falesia è in alcuni punti "sommerso" dai sedimenti del fondale (Foto 5s e 6s – All.3), mentre in altri è formato da una superficie rocciosa, debolmente inclinata verso il largo, che poi scompare "sommersa" dalla sabbia (Foto da 7s a 9s – All.3; Tav. 13.g). Questa appare come una superficie di abrasione in roccia (terrazzo). Vicino ai blocchi di tufo sparsi su fondo si notano alcune macroforme di eversione nei sedimenti, a testimonianza di una forte dinamica del moto ondoso (Foto 2s – All.3) ben evidente in molti massi presenti nella zona di sopraflutto;
- sul medesimo pianoro tra -4 e -7 m., al piede della falesia e nei pressi della scogliera sono visibili ampie zone in cui si riscontrano "ripple" da onda macroscopiche, simmetriche, a volte troncate in testa, di direzione N-NE e verso E-SE (Foto 3s e 4s – All.3; Tav. 13.g), che localmente si incurvano nelle aree più prossime al piede della scogliera, a testimonianza di una forte risacca del mare. Queste "ripple" si riducono di taglia (H e L) procedendo verso il largo ed i sedimenti presenti nel cavo e sulle sponde sono visibilmente più fini (Foto 10s – All.3).

- non è stato possibile rilevare lungo l'orlo della scarpata del terrazzo, posta al largo tra i -7 ed i -13 m. di profondità, la presenza di affioramenti di roccia per la presenza sia dei sedimenti sabbioso-limosi che per la diffusa presenza delle praterie di posidonia e delle matte algali (Foto 12s e 13s – All.3), ma comunque esso è chiaramente apprezzabile come una repentina interruzione del terrazzo costiero ed un brusco cambio di pendenza. Tuttavia, si rinvenivano ampie zone in cui sono presenti ciottoli poligenici poggiati sul fondale (circa da -5,7 a -6 m.) (Foto 10s e 11s – All.3) a testimonianza di un substrato locale presumibilmente prossimo al fondale o alla presenza di un conoide detritico;
- la zona di testata sommersa del porto (da -10 a -11 m.) è anch'essa contraddistinta dalla presenza di sabbie da medie a grossolane (di sovente ricche di resti biogenici - gusci di lamellibranchi e molluschi), dove sono diffusamente visibili "ripple" da onda sempre di analoga direzione (N-NE) e verso (E-SE) ma lievemente più incurvate verso S (vedi Tav. 13.g). La loro taglia è ridotta rispetto a quella precedentemente descritta (Foto da 14s a 16s – All.3). Anche lì il ciglio e la scarpata del terrazzo è ben visibile in termini di rottura di pendenza ma risulta mascherato dalle posidonie. Il ripiano costiero circostante il sito della boa di segnalazione (Foto 16s – All.3) è praticamente pianeggiante, sebbene ondulato da zone depresse e rilevate;
- l'area interna alla scogliera (da -3 a -7 m.) è contraddistinta da un fondale visibilmente più ricco di sedimenti più fini (limosi), specie nella zona immediatamente retrostante la "massicciata" ed al di sotto della zona dei pontili galleggianti. Ivi si notano piccole ripple ed il fondale è più ripido proprio nei pressi del piede della scogliera, mentre "spiana" verso il centro della darsena, sebbene si avverte una lieve pendenza verso il largo. In superficie, sia presso la falesia interna alla scogliera che la spiaggia, si nota la presenza di acqua dolce mescolata a quella di mare, a conferma della presenza di sorgenti sottomarine o di orizzonti di emergenza prossimi al l.m..

I risultati e la rappresentazione delle citate valutazioni sono esposte nei seguenti elaborati:

- Atlante fotografico dei luoghi (da *Studio Prisma s.r.l.*);
- Atlante fotografico integrativo del rilevamento (in ara) geologico e geomorfologico dei fondali (Allegato 3).

5.2. *Analisi delle variazioni volumetriche dei fondali*

Analogamente a quanto riportato nel paragrafo 4.4 per la valutazione quantitativa delle variazioni plano-volumetriche dei sedimenti sul fondale si è effettuato un raffronto, con metodologie GIS, tra i due rilievi DTM del 2006 e del 2015 del fondale (Fig. 17 e Tav. 13.h).

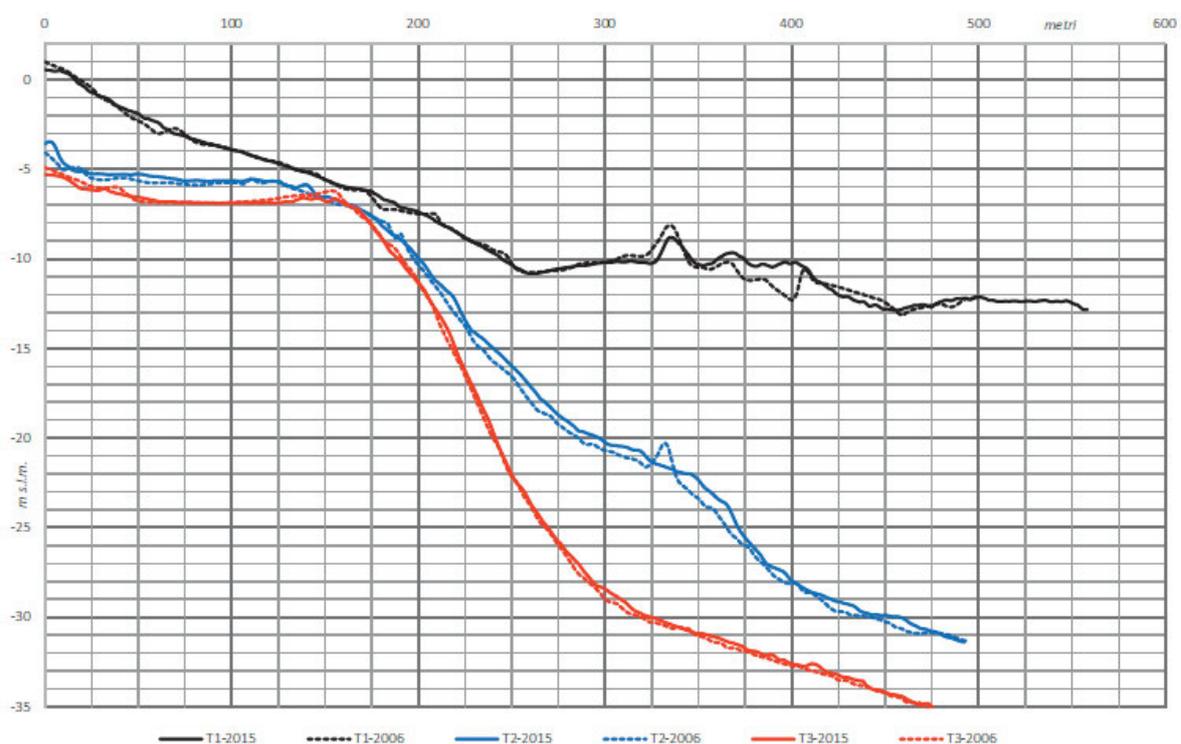
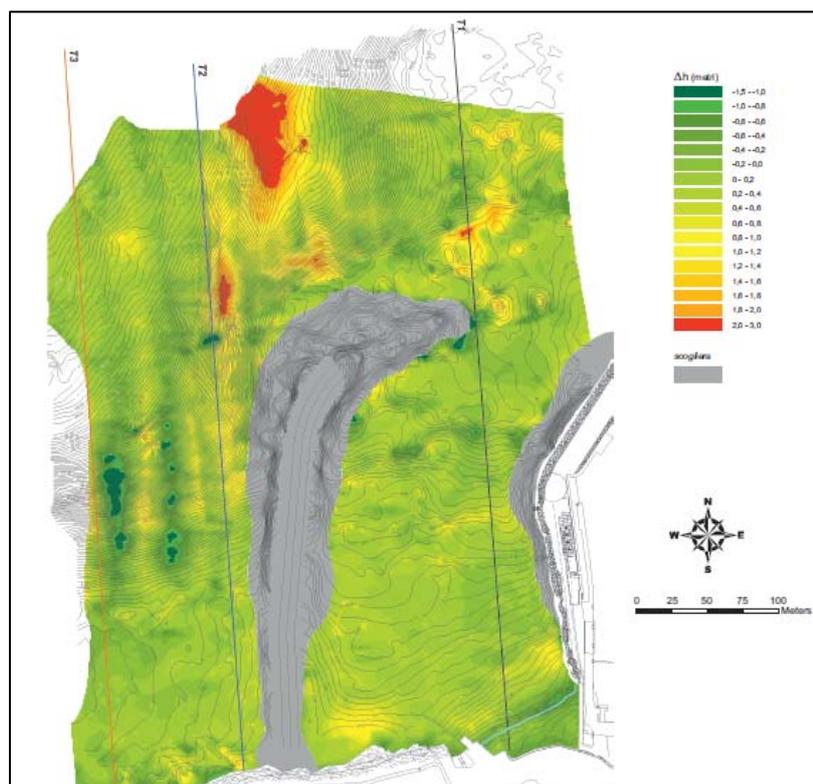


Fig 17 (da Tav 13.h) - Confronto tra i rilievi DTM del 2006 e del 2015 per la determinazione delle aree in erosione e in deposizione dei sedimenti sul fondale del porto, anche relativamente ai profili (transetti) T1, T2 e T3.

Inoltre, sono stati effettuati raffronti anche tenendo conto dei profili del fondale lungo i tre transetti realizzati (T1, T2 e T3). Dai confronti eseguiti è emerso che non sussistono sostanziali variazioni in

termini di erosione o di accumulo nelle aree interne al porto (Fig. 17 e Tav. 13.h) sia in termini di distribuzione areale che in termini quantitativi assoluti in riferimento all'arco temporale considerato (9 anni). Infatti, per le aree a ridosso della scogliera si nota una situazione in sostanziale equilibrio se si escludono alcune "zone" in deposizione nelle zone più ridossate nei pressi dell'immediato retroscogliera (in giallo), ed altre limitate aree in erosione (in verde scuro) nella zona più profonda nei pressi dell'imboccatura, intorno ai -9/-10 m. di profondità. Nelle aree esterne invece si costata la presenza di localizzate aree in deposizione (in rosso e giallo) lungo la scarpata e sull'orlo del terrazzo costiero di -11 m. di profondità. Mentre, le zone in erosione (in verde scuro) si localizzano in prevalenza lungo la scarpata esterna in zone più dinamiche e prossime alla falesia costiera (trasetto 3), al piede della medesima falesia e negli immediati pressi della scogliera stessa (sopraflutto).

6. STUDIO SEDIMENTOLOGICO

6.1. *Metodologia adottata*

La sedimentologia è una scienza che sta sempre più rivelando la sua utilità nel campo dell'ingegneria costiera.

I sedimenti di superficie, infatti, forniscono informazioni riguardanti l'energia dell'ambiente, i processi a lungo termine e i movimenti di materiale, come i percorsi di trasporto del sedimento, le aree d'origine e quelle di destinazione.

Elemento fondamentale per il corretto svolgimento di uno studio sedimentologico è la caratterizzazione dei sedimenti del sito, che devono essere ben rappresentativi e identificanti della situazione in atto. Ciò avviene tramite prelievo ed analisi, principalmente di tipo granulometrico ed eseguite con metodologie adeguate, di campioni di sedimento, in siti che devono essere ben scelti ed identificati.

I sedimenti di superficie sono raccolti sia in ambiente aereo che subacqueo e quindi analizzati usando le procedure standard di laboratorio (*ASTM*).

E' necessario, ovviamente, che ogni singolo campionamento venga georeferenziato con precisione, al fine di ottenere dati correlabili e utilizzabili per qualsiasi scopo si voglia.

Per l'elaborazione dei dati vengono adottati i parametri statistici proposti in bibliografia (es. *Folk e Ward, 1957*) ovvero con i diagrammi di *Shepard, 1954*, ecc..), come verrà meglio espresso nel prosieguo del presente documento.

Inoltre, sono state ben delineate le caratteristiche salienti dei sedimenti presenti nell'area tramite considerazioni sulle analisi granulometriche e sui percorsi di trasporto dei sedimenti stessi.

7. CARATTERIZZAZIONE DEI SEDIMENTI MARINI

Ai fini della caratterizzazione dei sedimenti marini presenti nei dintorni dell'area di progetto si è fatto riferimento:

- ai dati sedimentologici ed alle considerazioni emerse dagli elaborati del *P.S.D.C. dell'Autorità di Bacino Regionale (ex-Sarno)* del 2012, in settori analoghi prossimi al sito d'interesse;
- ai dati sedimentologici derivanti da studi pregressi, basati su campionamenti effettuati nel 2006 (Allegato 1 – *ILAG, 2006*);
- ai dati sedimentologici della campagna di campionamenti appositamente effettuata nel 2015 (Allegato 4 – *DIMMS, 2015* e Relazione e certificati dello Studio Prisma s.r.l. - 2015);

8. INFORMAZIONI SEDIMENTOLOGICHE PRESENTI NEL P.S.D.C.

Per una valutazione dei caratteri sedimentari generali sui sedimenti presenti sul fondale dell'area in parola si è preso a riferimento i dati e le considerazioni emerse dagli elaborati del P.S.D.C. dell'Autorità di Bacino Regionale (ex-Sarno) del 2012, relativamente a settori analoghi prossimi al sito d'interesse e più precisamente alle analisi sedimentarie eseguite nella vicina baia di Meta di Sorrento (loc. *La Conca* e porto) (Fig. 18).

Gli elaborati presi a riferimento fanno capo alla "Carta dei vettori di transito e distribuzione dei sedimenti" (elab. B2-VTS3), alla "Carta della morfodinamica e distribuzione areale della frazione fine (< 4 N)" (elab. B3-MFD3) ed all'Allegato 2 alla "Relazione Geologico Marina" (per i campioni da n.43 a n.52).

I risultati delle analisi condotte evidenziano quanto segue:

- che la distribuzione areale della frazione fine (< 4 N) è sempre inferiore al 10% (classe da 0 a 10%), a testimonianza della prevalenza di sedimenti più grossolani, sabbie e ghiaie (Fig. 19);
- che la maggior parte dei sedimenti riscontrati nei campionamenti ricade nel campo delle sabbie (fini e medie), con alcuni campioni collocati nel campo delle sabbie grossolane per le zone meno profonde (Fig. 18);
- l'area in parola è caratterizzata da una discreta forza della dinamica marina (da onda e corrente).

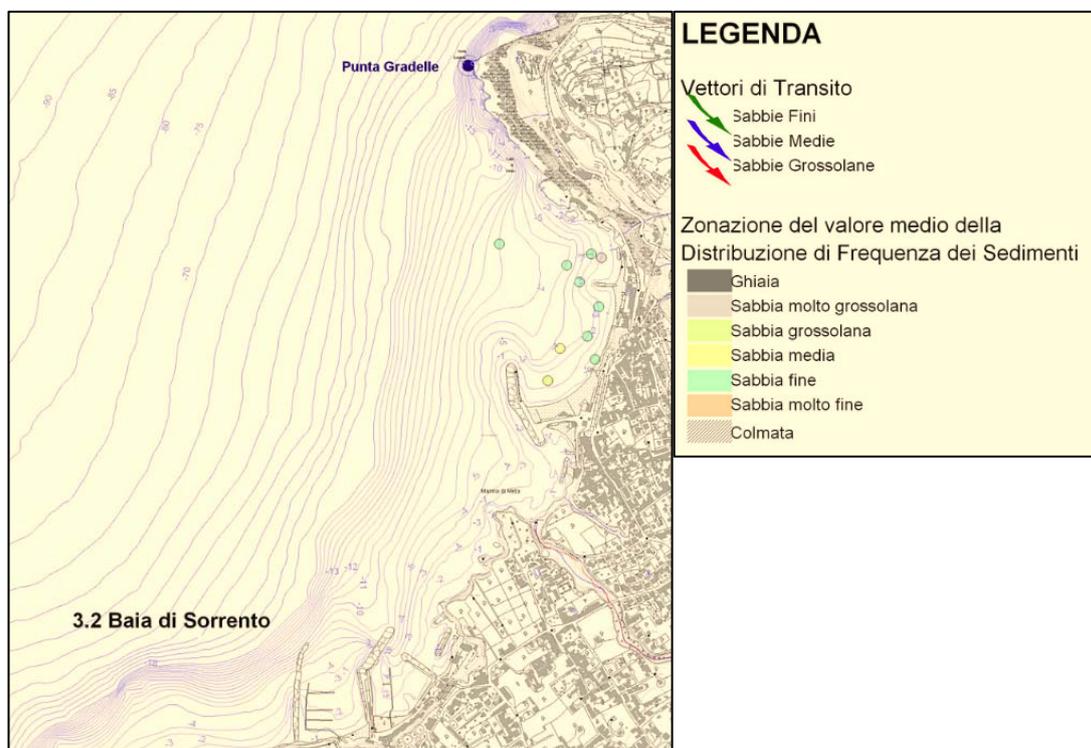


Fig. 18 – Stralcio della "Carta dei vettori di transito e distribuzione dei sedimenti" (elab. B2-VTS3) del P.S.D.C., del 2012.

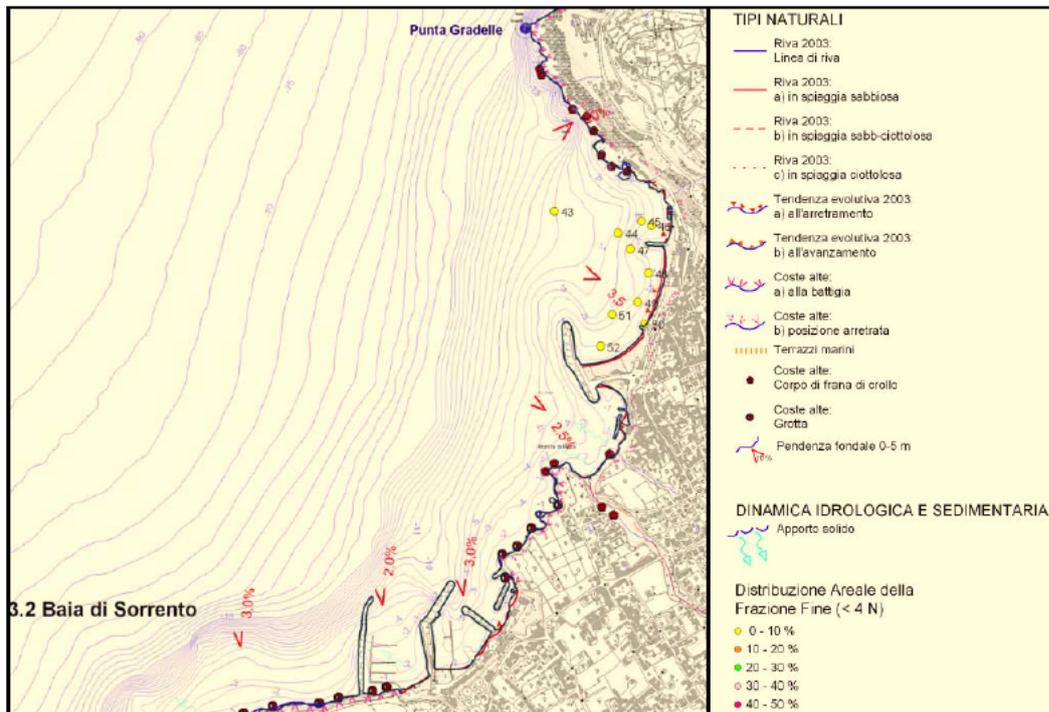


Fig. 19 – Stralcio della “Carta della morfodinamica e distribuzione areale della frazione fine (< 4 N)” (elab. B3-MFD3) del P.S.D.C., del 2012.

Tab. II - Composizione granulometrica e parametri statistici dei campioni di fondo marino mobile e di battigia

campione	profondità	ghiaia	sabbia	silt	valore medio	grado selezione	coeff. appuntimento	coeff. Asimmetria	definizione
34	-2,4	37,42	62,58	0	0	-0,53	1,25	1,06	0,29 sabbia m. gross
35	-2	98,3	1,7	0	0	-2,1	0,5	1,21	-0,09 ghiaia
36	0	0	99,97	0,03	0	2,30	0,42	1,11	-0,08 sabbia fine
37	-6,6	24,16	75,84	0	0	-0,85	0,69	1,23	-0,08 sabbia m. gross
38	-9,2	0	100	0	0	1,17	0,63	1,02	0,1 sabbia media
39	-13	0	99,95	0,05	0	1,06	0,64	1,1	0,1 sabbia media
40	-8,7	0	99,41	0,59	0	2,48	0,8	1,28	-0,19 sabbia fine
41	-4,8	6,51	93,37	0,12	0	0,45	0,94	1,16	-0,07 sabbia grossolana
42	-3,5	0,03	99,14	0	0	0,67	0,65	0,49	0,48 sabbia grossolana
43	-6,1	0	98,29	1,71	0	2,72	0,55	1,12	0,02 sabbia fine
44	-6	0	91,04	8,16	0	2,9	0,78	1,04	0,07 sabbia fine
45	-3,5	0	99,89	0,11	0	2,3	0,49	1,09	-0,11 sabbia fine
46	-2,2	6,57	91,4	0,03	0	-0,11	0,6	1,74	0,17 sabbia m. gross
47	-3,6	0	97,56	2,44	0	2,64	0,74	1,24	-0,09 sabbia fine
48	-2,3	0	99,73	0,27	0	2,30	0,44	1,13	-0,07 sabbia fine
49	-3,2	0	99,7	0,3	0	2,3	0,46	1,06	-0,02 sabbia fine
50	-1	0	99,95	0,05	0	2,26	0,41	1,06	0 sabbia fine
51	-4,4	0	99,96	0,04	0	1,59	0,56	1,01	0,01 sabbia media
52	-2,5	0	95,96	4,04	0	3,21	0,47	1,18	-0,04 sabbia molto fine
53	-10,1	0	86,34	13,66	0	3,23	0,73	1,03	-0,12 sabbia molto fine
54	-11,8	16,8	83,12	0,08	0	-0,06	0,97	0,98	-0,03 sabbia m. gross
55	-6,6	18,28	81,72	0	0	-0,08	1,01	1,05	-0,16 sabbia m. gross
56	-6,6	2,4	97,54	0,06	0	0,95	0,84	1,05	-0,01 sabbia grossolana
57	-11	46,59	53,43	0,02	0	-0,96	1,03	0,86	0,02 sabbia m. gross
58	-2,2	0,68	99,19	0,14	0	0,43	0,63	1,16	0,12 sabbia grossolana
59	-2,1	44,48	55,52	0	0	-0,94	1,19	0,67	-0,08 sabbia m. gross
60	-10,5	0,19	99,79	0,03	0	1,41	0,58	1	-0,08 sabbia media
61	-14,6	21,68	77,96	0,02	0	0,22	1,55	1,03	-0,59 sabbia grossolana
62	-16,2	25,17	74,83	0	0	-0,51	0,98	1,15	-0,08 sabbia m. gross
63	-14,2	26,48	79,52	0	0	-0,28	1,02	1,05	-0,01 sabbia m. gross
64	-12,4	21,28	78,72	0	0	0,08	1,28	0,88	-0,28 sabbia grossolana
65	-10,3	3,42	96,55	0,03	0	0,67	0,68	1,38	0,04 sabbia grossolana
66	-7,6	0	99,87	0,13	0	1,75	1	0,39	0,13 sabbia media
67	-6,4	3,25	96,73	0,01	0	0,77	0,93	0,91	-0,07 sabbia grossolana

Fig. 20 – Tavola II estratto da Allegato 2 della Relazione Geologico Marina del P.S.D.C., del 2012, con evidenziati i campioni da n.43 a 52.

In riferimento ai dati contenuti nella precedente figura n. 20 si osserva che i valori di “silt”, risultano quasi sempre molto bassi (inferiori all’1%) e solo in tre casi su dieci lo superano (C.n.44, $Silt_{max}=8,16\%$); le ghiaie sono quasi sempre assenti, tranne che nel campione n.46 ($Ghiaia_{max}=8,57\%$).

Il *valore medio (Mz)* varia da $3,21\phi$ (C.n.52) e $-0,11\phi$ (C.n.46), con valori più ricorrenti tra $2,9\phi$ ($0,13\text{ mm.}$) e $2,3\phi$ ($0,2\text{ mm.}$), cioè nel campo delle “sabbie fini”.

Il *grado di selezione (deviazione standard)* varia da $0,41$ (C.n.50) a $0,8$ (C.n.46), con valori più ricorrenti tra $0,44$ e $0,49$, con un sedimento prevalentemente “*bene assortito*”.

L’*indice di appuntimento (Kurtosi)* è compreso tra $1,74$ e $1,01$, con valori prevalenti tra $1,01$ e $1,13$, quindi con prevalenza mesocurtotici (normalmente appuntiti), e solo limitatamente leptocurtotici (più appuntiti).

Il *coefficiente di asimmetria (Skewness)* è compreso tra $-0,11$ (C.n.45) e $0,17$ (C.n.46), con valori più ricorrenti molto prossimi allo $(- +)0$.

9. INFORMAZIONI SEDIMENTOLOGICHE DERIVANTI DAGLI STUDI PREGRESSI

Per la realizzazione del progetto definitivo (anno 2006) furono svolti degli studi tecnici supportati da una campagna di campionamento di sedimenti raccolti sul fondale (febbraio 2006) in cui vennero raccolti n.4 campioni di sedimento (Fig. 21 e Tavola 13.e), su cui vennero effettuate analisi di laboratorio per la determinazione delle caratteristiche fisiche e granulometriche (Allegato 1 – ILAG, 2006). Tra questi campioni si osserva che il solo *D1* è stato prelevato in area interna al porto, mentre i campioni *A1* e *B1* sono posti, sul lato ovest, all’esterno della scogliera; mentre, il solo campione *C1* si trova, sempre all’esterno, nei pressi della parte terminale della scogliera.

Nella Tabella 1 seguente sono riportati i risultati delle analisi granulometriche e degli indici sedimentologici eseguiti sui citati quattro campioni.

Camp.	Prof. m.	Ghiaia %	Sabbia %	Limo %	Valore medio Mz in ϕ	Grado di selezione σ	Appuntimento Kg	Asimmetria Skj	Definizione
A1	-5,8	8,89	87,84	3,26	0,34	1,02	1,12	-0,04	Sabbia debolmente ghiaiosa
B1	-13,5	5,48	93,00	1,52	0,71	1,08	1,04	0,01	Sabbia debolmente ghiaiosa
C1	-10,5	2,80	90,96	6,24	0,78	0,74	1	-0,19	Sabbia debolmente ghiaiosa
D1	-5,0	1,13	98,82	0,05	2,86	0,55	1,68	0,04	Sabbia

Tabella 1 – sintesi dei dati sedimentologici dei campioni prelevati nel febbraio 2006.

In questo caso i valori di assortimento granulometrico rilevati, concordemente con quelli del P.S.D.C., confermano che i sedimenti si collocano nel campo delle sabbie, in cui i valori di limo/silt sono sempre inferiori al 10% e, comunque, spesso inferiori anche al 5%, a conferma della presenza di una frazione più grossolana relativamente più abbondante (ghiaie).

Ciò dimostra la presenza di diffusi sedimenti sabbiosi in prevalenza da medi a grossolani, dotati di una discreta quantità di ghiaie ed una minore o nulla abbondanza della frazione fine limoso-argillosa. Che quindi evidenzia una forte dinamica condizionata dal moto ondoso marino.

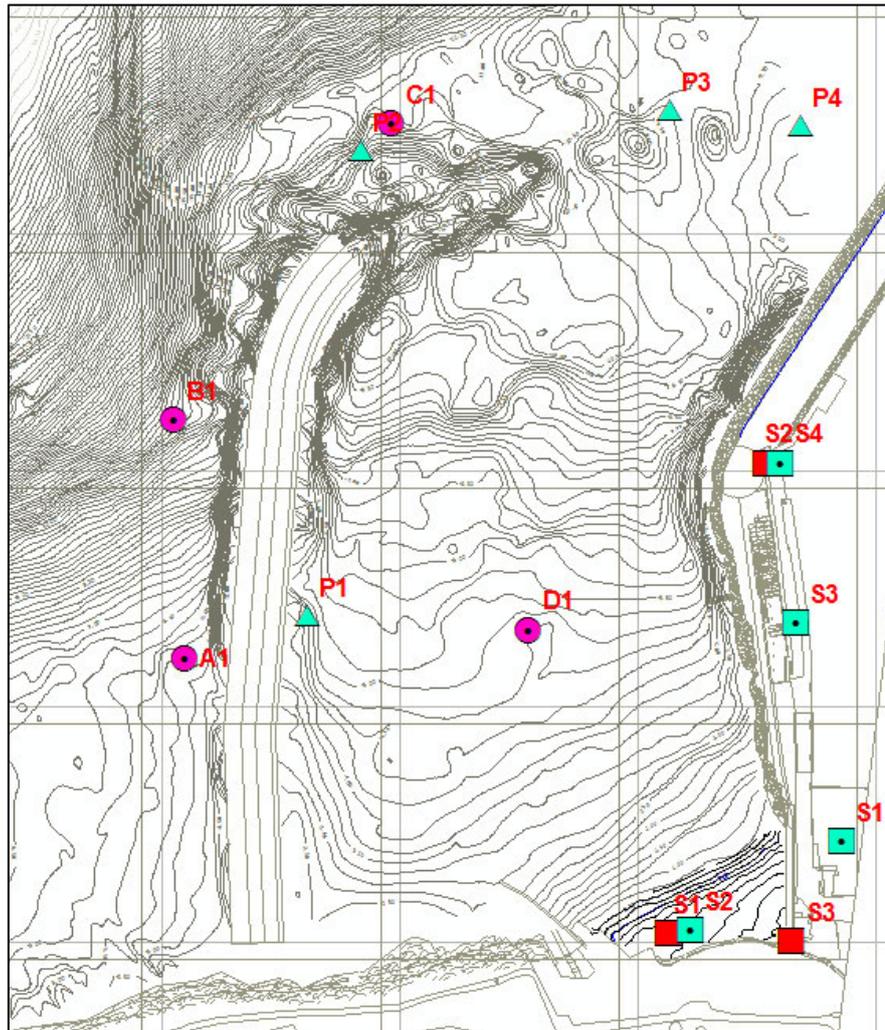


Fig. 21 – Ubicazioni delle indagini utilizzate per il progetto definitivo collocate sul rilievo batimetrico del 2015. In *fuksia* i 4 campioni del 2006; in *azzurro* le 4 penetrometrie (P) e i 4 sondaggi (S) (da Fondedile 1989) ed in *rosso* i 3 sondaggi (S) pregressi (CGT, 1989).

10. ANALISI SEDIMENTOLOGICHE DERIVANTI DAI CAMPIONAMENTI DEL 2015

Appositamente per il presente studio geologico-sedimentologico è stata effettuata una campagna di rilevamento e campionamento nei primi mesi del 2015. In particolare sono stati prelevati, in due

momenti, in totale 29 campioni (24+5), sia sulla spiaggia (3) che sul fondale (26). Di essi solo 1 campione (T1-15) non è stato possibile analizzarlo in laboratorio in quanto composto da troppi elementi vegetali di matra algale (posidonia). Di essi 24 campioni (certificati in *Studio Prisma*) sono stati prelevati lungo tre profili batimetrici terra/mare – *Transetti* (Fig. 22 e Tav. 13.e) a profondità definite (come da normativa del *P.S.D.C.*), cioè a 0, -1, -2, -3, -4, -5, -6, -7, -8, -10 e -15 m. di profondità. I Transetti n.2 e n.3 essendo localizzati all'esterno della scogliera e partendo al piede della falesia di tufo, su un fondale di -4 m. minimi di profondità, non presentano per ovvi motivi i campionamenti da 0 a -3 m. di profondità.

Successivamente, sono stati prelevati altri n.5 campioni di sedimento (DIMMS, 2015 – All.4) ritenuti necessari alla spazializzazione dei dati sedimentologici in settori, di fondale e di spiaggia, in cui precedentemente, per motivi tecnico-logistici, non è stato possibile prelevare campioni in maniera analoga (su Transetti).

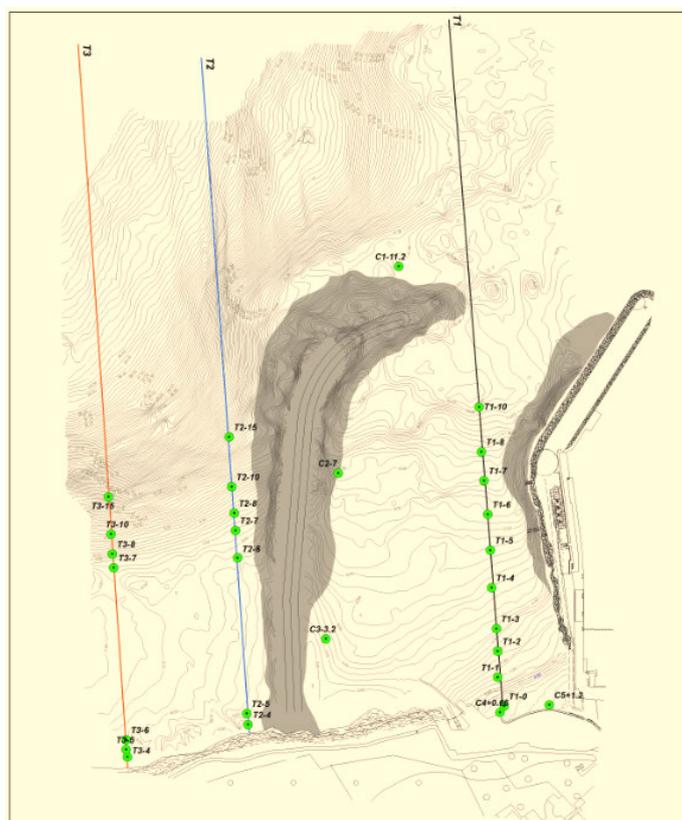


Fig. 22 – Ubicazioni dei punti di campionamento eseguiti per la campagna di prelievi del 2015.

Sui campioni di spiaggia emersa e sommersa (n.3 campioni in ambito di spiaggia emersa e battigia/spiaggia e n.26 in ambito di fondale) sono state effettuate analisi granulometriche e dinamico-modali, considerazioni statistiche, con realizzazione di tabelle, istogrammi, diagrammi, curve cumulate, carte tematiche di sintesi, ecc., ai fini delle consuete analisi sedimentologiche e dinamiche.

Per fare ciò, ognuno di questi campioni è stato sottoposto ad analisi granulometrica per setacciatura, presso il medesimo laboratorio (*DIMMS Control S.p.a.*), secondo la normativa *ASTM D422* ed utilizzando la cosiddetta “*phi scale*” ($\Phi = -\log_2 D$) [*Krumbein e Sloss (1963)*], al fine di elaborare i dati secondo classi omogenee e continue. In Allegato 4 e in *Studio Prisma s.r.l.* si riportano i relativi certificati delle analisi di laboratorio effettuate sui suddetti campioni.

Per i campioni analizzati il laboratorio ha fornito:

- i valori tabellati di trattenuto e passante (in scala metrica e Φ) dei setacci, con rappresentazione su diagramma granulometrico cumulato, in scala semilogaritmica (Fig. 23);
- i Coefficienti granulometrici sul passante: *D60*, *D50*, *D30*, *D10*, Coefficiente di uniformità ($C_u = D_{60}/D_{10}$), Coefficiente di Curvatura ($C_c = D_{30}^2 / D_{60} \times D_{10}$);
- la descrizione del campione secondo gli standard *A.G.I., 1977.*;
- i valori dei percentili di Folk: 5, 16, 25, 50, 75, 84, 95 %, in scala Φ ;
- le curve di distribuzione di frequenza e cumulative, gli istogrammi, con ordinata in scala di probabilità ed aritmetica, dei campioni in scala Φ (Fig. 23);
- gli indici sedimentologici: la *Moda*, la *Mediana* (*D50*), il *Diametro medio* (*Mz*), la *Deviazione standard* (σ_1), la *Kurtosi* (*Kg*), lo *Skewness* (*Skj*), la *Classazione* (*D*), il *Fattore idrodinamico* (*Fh*) e l'*Intervallo dimensionale* (*GT*).

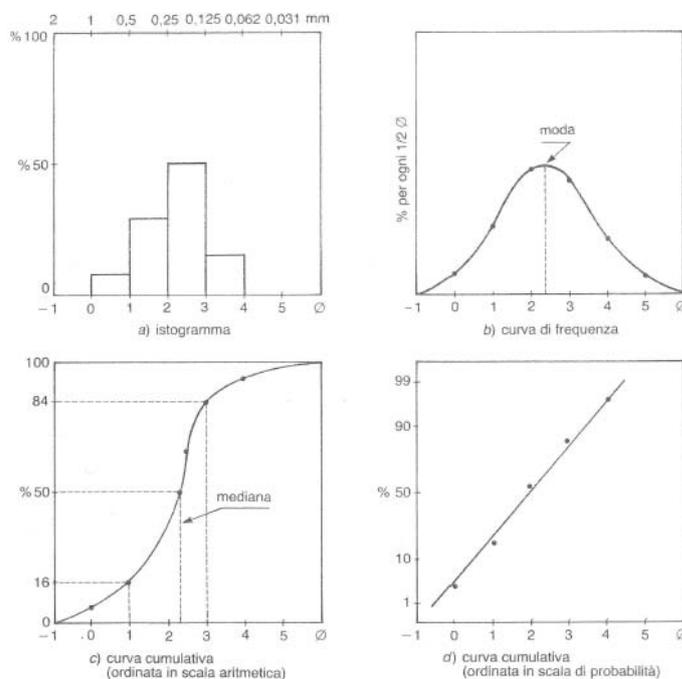


Fig. 2.5 – Metodi di rappresentazione grafico-statistica delle analisi granulometriche.

Fig. 23 – Metodi di rappresentazione grafico-statistica delle analisi granulometriche.

In merito alla classificazione sistematica dei sedimenti (ed delle rocce sedimentarie) i criteri che vengono comunemente seguiti in letteratura sono riferibili alla definizione di categorie (o classi) di appartenenza, più o meno ampie, utili alla distinzione di un sedimento da un altro in base alla loro granulometria ed abbondanza relativa. Le comuni classificazioni delle rocce sedimentarie fanno riferimento quindi prevalentemente a *diagrammi ternari* in cui si individuano campi caratterizzati, in maniera percentuale, dalla abbondanza relativa di tre componenti principali di un dato campione: l'argilla, la sabbia e il silt (o limo), ovvero la ghiaia, la sabbia e il silt (per i sedimenti grossolani). Esempi di *diagrammi ternari* maggiormente utilizzati sono il Diagramma di Shepard (1954) ed il Diagramma di Folk (1957). Pertanto, ai fini della classificazione dei sedimenti, i campioni analizzati sono stati inseriti nei predetti diagrammi di Shepard e di Folk, che nel caso in esame si riferiscono specificatamente ai soli sedimenti grossolani (Fig. 24 e 25).

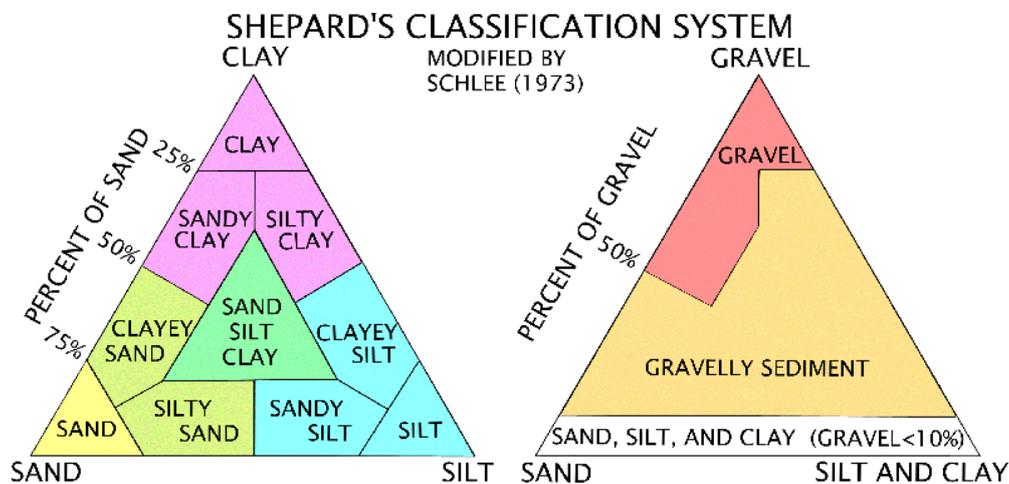


Fig. 24 – Esempio del diagramma ternario di Shepard (1954) modificato.

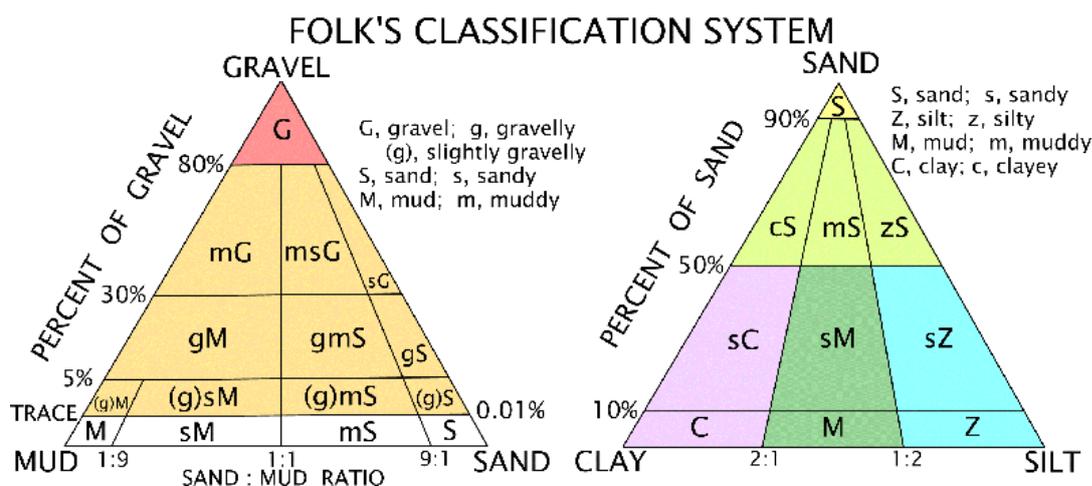


Fig. 25 – Esempio del diagramma ternario di Folk (1957).

Il calcolo dei parametri statistici per la definizione dei processi sedimentari prevalenti per le varie frazioni granulometriche sono stati eseguiti secondo i diagrammi di Riviere (1977) e di Visher (1969).

Infine, per l'analisi dinamico-modale dei campioni di fondale sono state individuate:

- le formule modali di ogni campione;
- la formula modale media della campagna di indagine;
- le subpopolazioni granulometriche della campagna di indagine;
- le curve di isodensità modale per ogni subpopolazione granulometrica riscontrata;
- gli assi di transito dei sedimenti di fondo per ogni subpopolazione;

Indici sedimentologici di Folk e Ward

Di seguito si riporta una descrizione sintetica sul significato dei principali parametri (indici sedimentologici) sopracitati, utilizzando per ogni campione gli indici secondo quanto stabilito dalle formule di *Folk e Ward (1957)*.

La Mediana (Md) rappresenta la dimensione dei grani corrispondente al valore di Φ_{50} .

Il Diametro medio (diametro medio M_z o M_ϕ) rappresenta il valore medio della dimensione dei grani corrispondenti alla parte centrale della curva granulometrica e viene calcolato mediante la formula:

$$M_z = \frac{\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}}{3}$$

La Deviazione Standard (*Dev Std* o σ_1 - *indice di classamento o cernita*) esprime l'ampiezza dello spettro dimensionale, ovvero caratterizza se il sedimento è costituito da poche o da molte classi granulometriche. Questo indice esprime sia i processi selettivi operati dal mezzo di trasporto e di sedimentazione che il grado di mescolamento di sedimenti di diversa origine. I valori di questo parametro si ricavano dalla seguente formula:

$$\sigma_1 = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6.6}$$

I valori di classamento vengono riferiti alla seguente classificazione:

Standard Deviation	
Phi Range	Description
<0.35	Very well sorted
0.35-0.50	Well sorted
0.50-0.71	Moderately well sorted
0.71-1.00	Moderately sorted
1.00-2.00	Poorly sorted
2.00-4.00	Very poorly sorted
>4.00	Extremely poorly sorted

Tabella 2 – Classificazione dell'indice di classamento.

L'Indice di asimmetria o Skewness (Sk_j o Sk_1) indica le concentrazioni del sedimento verso classi granulometriche di dimensioni maggiori o minori (asimmetria negativa o positiva). Questo parametro viene calcolato con la seguente formula:

$$Sk_1 = \frac{\phi_{16} + \phi_{84} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{\phi_5 + \phi_{95} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{95} - \phi_5)}$$

I valori di asimmetria vengono riferiti alla seguente classificazione:

Coefficient of Skewness	
<-0.3	Very coarse-skewed
- 0.3 to - 0.1	Coarse-skewed
- 0.1 to +0.1	Near-symmetrical
+0.1 to +0.3	Fine-skewed
>+0.3	Very fine-skewed

Tabella 3 – Classificazione del coefficiente di asimmetria o skewness.

L'indice di appuntimento o Kurtosi (K_G) indica la relazione tra il classamento della parte centrale e quello delle parti periferiche della curva di distribuzione granulometrica.

Tale indice viene calcolato attraverso la seguente espressione:

$$K_G = \frac{\phi_{95} - \phi_5}{2.44(\phi_{75} - \phi_{25})}$$

I valori di appuntimento vengono riferiti alla seguente classificazione:

Coefficient of Kurtosis	
<0.65	Very platykurtic (flat)
0.65-0.90	Platykurtic
0.90-1.11	Mesokurtic (normal peakedness)
1.11-1.50	Leptokurtic (peaked)
1.50-3.00	Very leptokurtic
>3.00	Extremely leptokurtic

Tabella 4 – Classificazione del coefficiente di appuntimento o kurtosi.

Il Coefficiente di uniformità (C_u) viene espresso come segue:

$$C_u = D_{60}/D_{10}$$

dove D_{60} e D_{10} sono il diametro delle particelle corrispondenti rispettivamente al 60% e al 10% del passante sulla curva granulometrica cumulativa.

In generale, dall'analisi della curva granulometrica di un terreno è possibile derivarne il tipo e il grado di assortimento delle particelle, cioè quanto le particelle che compongono il campione presentano eterogeneità di dimensioni. A questo proposito solitamente si considera un coefficiente di uniformità, definito come il rapporto tra il diametro delle particelle corrispondenti al 60% di passante e il diametro di particelle cui si ha il 10% di passante. Naturalmente tale coefficiente assume un valore pari a 1 nel caso di terreno perfettamente uniforme e valori via via crescenti all'aumentare dell'eterogeneità. Valori tipici del coefficiente di uniformità sono:

- 1 - 5: terreno uniforme (1-2 molto unif; 2-5/6 abbastanza unif);
- 5 - 15: terreno disuniforme (vario)
- 15: terreno molto vario

L'uniformità è massima per $C_u=1$, mentre il materiale si considera praticamente uniforme fino a $C_u=2$; il sedimento è poco gradato fino a $C_u=5/6$, risulta ben gradato per $5/6 < C_u < 15$ ed è decisamente ben gradato per $C_u > 15$.

Il Coefficiente di curvatura (C_c) viene espresso come segue:

$$C_c = D_{30}^2 / D_{60} \times D_{10}$$

dove D_{30} , D_{60} e D_{10} sono il diametro delle particelle corrispondenti rispettivamente al 30%, al 60% e al 10% del passante sulla curva granulometrica cumulativa.

10.1 Analisi e risultati dei sedimenti della spiaggia emersa

La caratterizzazione tessiturale dei sedimenti della spiaggia emersa è stata ottenuta dall'analisi dei dati granulometrici dei n.3 campioni prelevati nella campagna eseguita nei primi mesi del 2015. Attraverso l'elaborazione di questi dati è stato possibile ricavare per ciascun campione i parametri

statistici fondamentali che si riconducono al metodo grafico di *Folk & Ward (1957)*. Di questi parametri vengono considerati, per gli studi di sedimentologia costiera: il Diametro Medio (Mz), la Deviazione Standard (*dev std* o σ_f) e l'Asimmetria (Sk o Sk_j), l'Appuntimento (Kg o K_G). Essi ben definiscono la composizione granulometrica del campione evidenziando la frazione dominante, la presenza di uno scostamento dalla frazione prevalente ed anche se questo scostamento è da attribuire a sedimenti più sottili o più grossolani.

I n.2 campioni di sedimento (n.**C5+1,2** e **C4+0,66**, in rosso) prelevati sull'arenile entro i +1,2 m. s.l.m. sono stati attribuiti alla spiaggia emersa; mentre il campione **n.T1-0** (in azzurro) è stato considerato come appartenente alla zona di battigia (intertidale). Per essi si riscontrano i dati e gli indici sedimentari così come riportati nella seguente Tabella 5.

n.	ID	x (E)	y (N)	profilo	prof./quota m.	classificazione	ciottoli	ghiaie	sabbie	limi/argille	D60	D50	D30	D10	Cu	Cc	moda	medianaD50	Mz	dev std	skj	Kg	D	Fh	GT
1	T1-0	449210	4498704	1	0	sa_c_gh	0	38	62	0	1,995	1,845	1,56	1,072	1,86	1,14	-0,05	-0,88	-0,87	0,88	-0,23	2,65	0,04	2,61	-0,054
29	C4+0.66	449246	4498698	1	0,66	sa	0	2	98	0	0,581	0,521	0,369	0,243	2,39	0,96	1,53	0,95	0,92	0,94	-0,03	0,93	1,47	-0,54	-0,15
30	C5+1.2	449246	4498705	1	1,2	sa	0	1	98	1	0,449	0,391	0,299	0,185	2,43	1,08	2	1,333	1,2	0,97	-0,17	1,26	1,46	-0,19	-0,15

Tabella 5 – Dati ed indici sedimentologici dei campioni prelevati nella campagna anno 2015 (area di spiaggia).

Dove: **Cu** (coefficiente di uniformità), **Cc** (Coefficiente di curvatura), **Mz** (diametro medio – Folk & Ward, 1957 ; Weydert, 1971), **Dev.Std.** (Deviazione standard - Folk & Ward, 1957), **Sk** (Skewness - Folk & Ward, 1957), **Kg** (Kurtosi - Folk & Ward, 1957), **D** (classazione – Krumbein, 1936), **Fh** (Fattore Idrodinamico - Weydert, 1973), **Gt** (intervallo dimensionale – Riviere, 1952); Classificazione (AGI, 1977).

n.	ID	x (E)	y (N)	profilo	prof./quota m.	classificazione	ciottoli	ghiaie	sabbie	limi/argille	D60	D50	D30	D10	Cu	Cc	moda	medianaD50	Mz	dev std	skj	Kg	D	Fh	GT
1	T1-0	449210	4498704	1	0	sa_c_gh	0	38	62	0	1,995	1,845	1,56	1,072	1,86	1,14	-0,05	-0,88	-0,87	0,88	-0,23	2,65	0,04	2,61	-0,054
2	T1-1	449205	4498727	1	-1	sa_gh	0	18	81	1	1,159	0,933	0,575	0,318	3,65	0,9	0,38	0,11	0,12	1,35	-0,11	1,22	1,33	-0,11	-0,075
3	T1-2	449205	4498748	1	-2	sa	0	2	97	1	0,462	0,436	0,344	0,234	1,98	1,09	2	1,18	1,25	0,71	0,08	1,85	1,13	0,73	-0,107
4	T1-3	449204	4498766	1	-3	sa	0	2	97	1	0,441	0,391	0,305	0,204	2,16	1,04	2,03	1,36	1,36	0,75	-0,03	1,5	1,29	0,22	-0,214
5	T1-4	449200	4498799	1	-4	sa	0	1	98	1	0,428	0,379	0,299	0,196	2,18	1,07	2,03	1,39	1,46	0,66	0,12	1,45	1,28	0,18	-0,3
6	T1-5	449199	4498829	1	-5	sa	0	1	97	2	0,372	0,334	0,266	0,164	2,27	1,16	2,03	1,61	1,61	0,77	-0,03	1,42	1,41	0,01	-0,15
7	T1-6	449197	4498858	1	-6	sa	0	1	96	3	0,321	0,288	0,232	0,15	2,14	1,12	2,13	1,8	1,86	0,63	0,16	1,06	1,52	-0,46	-0,107
8	T1-7	449194	4498885	1	-7	sa	0	1	96	3	0,296	0,261	0,202	0,14	2,12	0,98	2,23	1,97	1,98	0,67	0,04	1,1	1,63	-0,53	-0,107
9	T1-8	449192	4498908	1	-8	sa_gh	0	13	86	1	0,871	0,714	0,526	0,358	2,43	0,89	1,05	0,51	0,31	1,1	-0,33	1,21	1,21	0	-0,075
10	T1-10	449190	4498944	1	-10	sa_gh	0	19	80	1	0,887	0,673	0,501	0,354	2,51	0,8	1,05	0,6	0,21	1,22	-0,46	1	1,4	-0,4	-0,075
11	T1-15	449167	4499244	1	-15	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	T2-4	449006	4498689	2	-4	sa_c_gh	0	48	51	1	2,506	1,919	1,358	0,681	3,68	1,08	-0,04	-0,96	-1,26	1,51	-0,26	1,14	0,79	0,35	-0,038
13	T2-5	449005	4498698	2	-5	gh_c_sa	0	53	47	0	3,006	2,133	1,34	0,625	4,81	0,95	-0,04	-1,08	-1,31	1,56	-0,18	0,97	0,98	-0,01	-0,054
14	T2-6	448997,7	4498823	2	-6	gh_c_sa	0	59	41	0	3,451	2,506	1,524	0,798	4,33	0,84	-0,22	-1,35	-1,41	1,41	-0,04	0,97	0,78	0,2	-0,054
15	T2-7	448996	4498845	2	-7	sa_gh	0	21	79	0	1,346	1,081	0,687	0,337	3,99	1,04	0,08	-0,15	-0,11	1,32	-0,03	1,2	1,22	-0,02	-0,063
16	T2-8	448995	4498859	2	-8	sa_c_gh	0	31	68	1	1,656	1,242	0,542	0,256	6,47	0,69	-0,07	-0,32	-0,13	1,66	0,11	0,96	1,75	-0,79	-0,063
17	T2-10	448993	4498880	2	-10	sa_gh	0	20	79	1	0,721	0,495	0,369	0,232	3,11	0,81	2	1,05	0,49	1,8	-0,5	1,22	1,88	-0,66	-0,054
18	T2-15	448991	4498920	2	-15	sa_gh	0	16	83	1	1,009	0,766	0,415	0,22	4,58	0,77	1,8	0,4	0,42	1,58	-0,08	1,17	1,75	-0,58	-0,038
19	T3-4	448910	4498663	3	-4	sa_gh	0	15	85	0	1,306	1,138	0,766	0,445	2,94	1,01	0,05	-0,17	-0,06	1,06	0,05	1,17	0,97	0,21	-0,075
20	T3-5	448909	4498669	3	-5	sa_gh	0	12	88	0	1,268	1,081	0,714	0,406	3,12	0,99	0,11	-0,13	0,04	1,04	0,13	1,2	1,01	0,19	-0,063
21	T3-6	448909	4498677	3	-6	sa_gh	0	15	85	0	1,4	1,219	0,887	0,458	3,05	1,23	0,05	-0,3	-0,11	1,17	0,06	1,58	0,82	0,76	-0,054
22	T3-7	448899	4498815	3	-7	sa_gh	0	14	86	0	1,4	1,208	0,863	0,436	3,21	1,22	0,02	-0,26	-0,07	1,03	0,17	1,18	0,87	0,31	-0,075
23	T3-8	448898	4498826	3	-8	sa	0	4	95	1	0,501	0,424	0,294	0,172	2,91	1	2	1,27	1,1	1,15	-0,2	0,96	1,74	-0,77	-0,107
24	T3-10	448897	4498842	3	-10	sa	0	1	98	1	0,387	0,34	0,264	0,162	2,39	1,11	2,04	1,55	1,6	0,75	0,08	1,15	1,48	-0,33	-0,063
25	T3-15	448895	4498872	3	-15	sa	0	0	98	2	0,384	0,348	0,277	0,172	2,23	1,16	2,04	1,53	1,6	0,62	0,19	1,18	1,34	-0,16	-0,214
26	C1-11.2	449126	4499057	1	-11,2	sa	0	2	97	1	0,634	0,57	0,524	0,41	1,55	1,05	1,05	0,8	0,69	0,53	-0,26	1,44	0,78	0,66	-0,214
27	C2-7	449078	4498891	n.c.	-7	sa	0	4	92	4	0,521	0,468	0,324	0,141	3,69	1,43	1,75	1,07	1,21	1,26	0,18	1,44	1,55	-0,1	-0,075
28	C3-3.2	449068	4498758	n.c.	-3,2	sa	0	0	96	4	0,294	0,253	0,164	0,126	2,34	0,73	2,25	1,95	2,03	0,85	0,16	1,06	1,94	-0,88	-0,3

Tabella 6 - Dati ed indici sedimentologici dei campioni prelevati nella campagna anno 2015 (area di fondale).

Dove: **Cu** (coefficiente di uniformità), **Cc** (Coefficiente di curvatura), **Mz** (diametro medio – Folk & Ward, 1957 ; Weydert, 1971), **Dev.Std.** (Deviazione standard - Folk & Ward, 1957), **Sk** (Skewness - Folk & Ward, 1957), **Kg** (Kurtosi - Folk & Ward, 1957), **D** (classazione – Krumbein, 1936), **Fh** (Fattore Idrodinamico - Weydert, 1973), **Gt** (intervallo dimensionale – Riviere, 1952). Classificazione (AGI, 1977).

I due campioni prelevati sulla spiaggia presentano valori percentuali nel "range" delle sabbie molto elevati (98%) e valori di ghiaia e limo quasi del tutto assenti (1-2%), mentre il campione prelevato sulla battigia conserva tipicamente un elevato valore di ghiaie (38%) e conseguentemente un valore percentuale minore in sabbie (62%) proprio per la presenza dell'azione diretta delle onde sulla battigia. I campioni di spiaggia mostrano valori di diametro medio (Mz) prossimi a 0,5-0,4 mm. (circa 1Φ) di diametro, nel campo delle sabbie medie, mentre quello di battigia ha valori di Mz in Φ negativo (circa 1,7 mm.) nel campo delle sabbie molto grossolane. Tutti e tre i campioni ricadono nel campo dei depositi moderatamente classati (Dev. Std). Il campione prelevato a +0,66 m. s.l.m. è quasi simmetrico, mentre i restanti due mostrano una moderata asimmetria della curva (Skj) verso le classi granulometriche maggiori. I valori di appuntimento della curva (Kg) sono grossomodo meso-leptocurtotici (normalmente appuntiti) per i campioni di spiaggia emersa, mentre risulta fortemente appuntito quello prelevato sulla battigia (molto leptocurtotico).

Interpretazione dei risultati dei Diagrammi ternari (area di spiaggia emersa e battigia).

I risultati delle analisi eseguite sui campioni della spiaggia emersa e della battigia secondo le classificazioni di *Shepard (1954)* e *Folk (1957)* sono riportati nella Tabella 8 e nelle Figure 26 e 27, mentre i dati di partenza derivanti dalle prove di laboratorio vengono riassunti nella Tabella 7.

Da quanto analizzato si constata che:

- la spiaggia emersa è tipicamente classificabile come "sabbia" (*sand*) o come "sabbia leggermente ghiaiosa" (*slightly gravelly sand*) nelle due classificazioni, tranne che per la zona di battigia in cui il solo campione presente è classificabile rispettivamente nel campo della "ghiaia sabbiosa" o tra i "sedimenti ghiaiosi", quindi il campione risulta più grossolano.

10.2 Analisi e risultati dei sedimenti sul fondale

Per quanto riguarda la caratterizzazione tessiturale dei sedimenti della spiaggia sottomarina ci si è riferiti alle campionature di sedimento eseguite lungo i n.3 transetti di Tavola 13.e, prelevati a profondità canoniche, e di quelli integrativi (n.3) necessari ad una più organica spazializzazione del dato sedimentologico nelle tavole tematiche.

I risultati della campagna sui fondali evidenziano innanzitutto una granulometria prevalentemente sabbiosa (medio-grossolana), con valori percentuali prevalenti da 98% a 51%, e localmente ghiaiosa, con valori percentuali di norma tra 1% e 20% ma che raggiungono punte del 38-59%. I limi variano di poco su valori percentuali molto bassi da 0 a 2%, con rare punte del 3-4%.

In particolare si osserva che i limi si rinvencono prevalentemente con percentuali più elevate (3-4%) nelle aree interne al porto e più prossime al retro della scogliera (area più protetta) a profondità comprese tra i -3 e i -7 m., mentre, in zone esterne al porto si nota solo un lieve

aumento con la profondità (da 1% a 2%) a partire dai -8 m. fino ai -15 m., cioè lungo la scarpata del terrazzo costiero.

Discorso congruente a quello predetto può essere fatto per le ghiaie che, nella zona interna al porto, a profondità da -2 a -7 m., sono percentualmente esigue (circa 1-2%). Esse sono più abbondanti solo in corrispondenza della battigia (da -1 a 0 m.) e nella zona più profonda prossima all'imboccatura del porto (-10/-11 m.), laddove il moto ondoso è più forte per la presenza anche della risacca del molo di Piano di Sorrento.

La zona esterna del porto conferma la forte presenza di ghiaie (da 12% a 59%), sul terrazzo costiero e sulla scarpata, a profondità comprese tra i -4 e i -15 m. sul transetto T2 (più vicino alla scogliera) e tra i -4 ed i -7/-8 m., sul terrazzo, lungo il transetto T3 (il più lontano). Ciò evidenzia che la risacca seleziona il sedimento verso le granulometrie più grossolane fino a profondità elevate (almeno fino a -15 m.), sul terrazzo e sulla scarpata, nei pressi della scogliera, mentre nel tratto a "costa alta" tale processo riguarda solo la parte di terrazzo costiero antistante la falesia tufacea.

I risultati sedimentologici della campagna di campionamento sono stati riassunti nella Tabella 6 e sono stati rappresentati nelle Tavole 13.i, 13.j., 13.k e 13.l.

Al riguardo, in merito al valore del diametro medio (M_z) si osserva che nel porto e lungo il transetto T1 i valori prevalenti di granulometria sono relativi: a sabbie grosse o molto grosse sulla battigia (fino a -1 m. e $d=-0,9 \Phi$); a sabbie medie o medio fini, nel tratto da -2 a -7 m. (con $d= 1,25/1,98 \Phi$) (zona più riparata); a sabbie grossolane per profondità superiori ai -8 m. (con $d=0,2/0,3 \Phi$).

Lungo i due transetti esterni alla scogliera si osserva che il diametro medio si sposta su valori più vicini alle ghiaie fini e sabbie molto grossolane. Infatti, si osservano valori di M_z nel campo delle ghiaie fini e delle sabbie molto grossolane (con d da -0,13 a -1,6 Φ), per profondità comprese tra i -4 e -6/-8 m., sul transetto T2 (più vicino alla scogliera) e poi valori nel campo delle sabbie grosse dai -8 ai -15 m..

Sul transetto T3, grossomodo alle medesime profondità, si riscontra un valore di M_z più sottile (con d da -0,1 a 0,1), che ricade nel campo delle ghiaie fini e sabbie molto grossolane a profondità da -4 a -7 m. e nel campo delle sabbie medie per profondità da -8 a -15 m..

In merito ai valori dell'assortimento (*Deviazione Standard*) si osserva che la zona interna al porto e lungo il transetto T1 si hanno valori (0,53/0,8) ricadenti nelle classi "*moderatamente ben assortito*" ed "*moderatamente assortito*" per le zone più protette (a profondità comprese tra -2 e -8 m.) e valori (1,1/1,35) ricadenti nella classe "poco assortito" dai -10 m. di profondità in poi.

I transetti T2 e T3 si presentano con valori di assortimento ricadenti prevalentemente nel campo "*poco assortito*". In particolare si ha che il transetto T2 mostra sempre valori (1,32/1,8) ricadenti nel

campo "*poco assortito*"; mentre il T3 mostra valori simili, ma più bassi (1,03/1,17), nel medesimo campo di assortimento solo fino a -10 m.; invece, assume valori (0,62/0,75) ricadenti nel campo "*moderatamente ben assortito*" per profondità superiori ai -10 m.

Ciò dimostra come le zone più dinamiche e più esposte (alle onde) sono quelle con sedimenti meno assortiti di quelle più protette o sottoposte ad una dinamica del moto ondoso meno vigorosa (più profonde).

I valori dell'*asimmetria* (*Skewness - SKj*) della curva mostrano che, per l'area del transetto T1 e dell'interno del porto, le zone più riparate (da -1 a -7 m.) risultano con valori di simmetria della curva maggiori, ricadenti nei campi "*quasi simmetrica*" o con simmetria verso il "*fine*", mentre, le zone più dinamiche (battigia e fondale, non protetto e più profondo) mostrano simmetria verso le granulometrie maggiori, ricadente nei campi a simmetria verso la porzione "*grossolana*" e "*molto grossolana*". Il transetto T2 mostra, il tratto più profondo (da -6 a -15 m.), con valori ricadenti nel campo "*quasi simmetrica*" e per profondità minori (da -6 a -4 m.) una simmetria ricadente nel campo "*grossolano*". Il transetto T3 è quasi ovunque caratterizzato da una curva "*quasi simmetrica*", localmente con simmetria nel campo delle granulometrie più "*fine*".

I valori del *coefficiente di appuntimento* (*curtosi - Kg*) della curva mostrano che, per l'area del transetto T1 e della parte interna alla scogliera, tutti i campioni risultano "*leptocurtotici*" (o "*appuntiti*") ad eccezione di quello della battigia che ha una curva "*molto appuntita*". Il transetto T2 mostra valori da "*meso*" a "*leptocurtotici*" (da "*normalmente appuntiti*" ad "*appuntiti*"), mentre quelli del transetto T3 sono tutti "*leptocurtotici*" (o "*appuntiti*").

Interpretazione dei risultati dei Diagrammi ternari (area di fondale marino).

L'interpretazione di quanto emerge dall'inserimento dei campioni di sedimento analizzati nei *Diagrammi ternari* di *Folk (1954)* e *Shepard (1957)* (Figure da 26 a 37) (Tavole 13.i, 13.j., 13.k e 13.l.) mostra, in analogia a quanto già precedentemente esposto, che:

- lungo il *transetto T1* e nelle zone più protette del porto, entrambe le classificazioni, evidenziano che esiste una zona più ricca di sedimenti sabbiosi o di sabbia leggermente ghiaiosa (*sand* o *slightly gravelly sand*) nella parte centrale del porto, a profondità compresa tra i -2 e i -7 m. (terrazzo marino interno);
- sempre lungo il *transetto T1*, a profondità più elevate (>-7 m.) ed in zone a maggiore dinamica, perché più prossime all'imboccatura (parzialmente protette dalla parte soffolta ed incompleta della scogliera) o perché in area di battigia, si nota un aumento della granulometria rappresentativa della classificazione del campione in entrambe le metodologie. In questo caso si osserva che i campioni ricadono nei campi "*gravelly*

sediment" e "*gravelly sand*", cioè nei "*sedimenti ghiaiosi*" e nella "*sabbia ghiaiosa*" delle due classificazioni;

- lungo il *transetto T2* si nota una classificazione dei sedimenti che ricade in prevalenza nel campo delle "*ghiaie sabbiose*" o delle "*sabbie ghiaiose*" (*Folk*), comunque con prevalenza di depositi classificabili nel campo delle ghiaie, grossomodo a prescindere dalla profondità. Ciò denuncia una forte energia del moto ondoso (risacca) anche a più di -15 m. di profondità;
- lungo il *transetto T3*, infine, si constata che i sedimenti, fino alla profondità di circa -7 m., al piede della falesia in tufo e in corrispondenza del terrazzo marino, sono classificabili nel campo delle "*sabbie ghiaiose*" ovvero come "*sedimenti ghiaiosi*" (più grossolani); mentre, man mano che si procede verso il largo e lungo la scarpata del terrazzo costiero, si nota che i sedimenti sono via via classificabili nei campi a granulometria sempre più fine (da "*sabbia leggermente ghiaiosa*" a "*sabbia*"). Ciò testimonia come si esplica l'azione del moto ondoso (risacca) solo sul tratto di falesia e sul fondale prospiciente.

ID	X UTM-WGS84 (m)	Y UTM-WGS84 (m)	GRAVEL (%)	SAND (%)	SILT/CLAY (%)
T1-0	449210	4498704	38	62	0
T1-1	449205	4498727	18	81	1
T1-2	449205	4498748	2	97	1
T1-3	449204	4498766	2	97	1
T1-4	449200	4498799	1	98	1
T1-5	449199	4498829	1	97	2
T1-6	449197	4498858	1	96	3
T1-7	449194	4498885	1	96	3
T1-8	449192	4498908	13	86	1
T1-10	449190	4498944	19	80	1
T2-4	449006	4498689	48	51	1
T2-5	449005	4498698	53	47	0
T2-6	448998	4498823	59	41	0
T2-7	448996	4498845	21	79	0
T2-8	448995	4498859	31	68	1
T2-10	448993	4498880	20	79	1
T2-15	448991	4498920	16	83	1
T3-4	448910	4498663	15	85	0
T3-5	448909	4498669	12	88	0
T3-6	448909	4498677	15	85	0
T3-7	448899	4498815	14	86	0
T3-8	448898	4498826	4	95	1
T3-10	448897	4498842	1	98	1
T3-15	448895	4498872	0	98	2
C1-11.2	449126	4499057	2	97	1
C2-7	449078	4498891	4	92	4
C3-3.2	449068	4498758	0	96	4
C4+0.66	449246	4498698	2	98	0
C5+1.2	449246	4498705	1	98	1

Tabella 7 - Contenuto in Ghiaia, Sabbia e Fango (Limo/Argilla) dei campioni dell'intera popolazione (spiaggia, battigia e fondale marino).

ID	SHEPARD_CLASS	FOLK_CLASS
T1-0	GRAVELLY SEDIMENT	SANDY GRAVEL
T1-1	GRAVELLY SEDIMENT	GRAVELLY SAND
T1-2	SAND	SLIGHTLY GRAVELLY SAND
T1-3	SAND	SLIGHTLY GRAVELLY SAND
T1-4	SAND	SLIGHTLY GRAVELLY SAND
T1-5	SAND	SLIGHTLY GRAVELLY SAND
T1-6	SAND	SLIGHTLY GRAVELLY SAND
T1-7	SAND	SLIGHTLY GRAVELLY SAND
T1-8	GRAVELLY SEDIMENT	GRAVELLY SAND
T1-10	GRAVELLY SEDIMENT	GRAVELLY SAND
T2-4	GRAVELLY SEDIMENT	SANDY GRAVEL
T2-5	GRAVEL	SANDY GRAVEL
T2-6	GRAVEL	SANDY GRAVEL
T2-7	GRAVELLY SEDIMENT	GRAVELLY SAND
T2-8	GRAVELLY SEDIMENT	SANDY GRAVEL
T2-10	GRAVELLY SEDIMENT	GRAVELLY SAND
T2-15	GRAVELLY SEDIMENT	GRAVELLY SAND
T3-4	GRAVELLY SEDIMENT	GRAVELLY SAND
T3-5	GRAVELLY SEDIMENT	GRAVELLY SAND
T3-6	GRAVELLY SEDIMENT	GRAVELLY SAND
T3-7	GRAVELLY SEDIMENT	GRAVELLY SAND
T3-8	SAND	SLIGHTLY GRAVELLY SAND
T3-10	SAND	SLIGHTLY GRAVELLY SAND
T3-15	SAND	SAND
C1-11.2	SAND	SLIGHTLY GRAVELLY SAND
C2-7	SAND	SLIGHTLY GRAVELLY SAND
C3-3.2	SAND	SAND
C4+0.66	SAND	SLIGHTLY GRAVELLY SAND
C5+1.2	SAND	SLIGHTLY GRAVELLY SAND

Tabella 8 - Classificazione dei sedimenti dell'intera popolazione (spiaggia, battigia e fondale marino) secondo i sistemi ternari di Shepard e di Folk.

dove: SANDY GRAVEL - ghiaia sabbiosa; GRAVELLY SAND - sabbia ghiaiosa; SLIGHTLY GRAVELLY SAND - sabbia leggermente ghiaiosa; SAND - sabbia (Folk class).

dove: GRAVEL - ghiaia; GRAVELLY SEDIMENT - sedimenti ghiaiosi; SAND - sabbia (Shepard class).

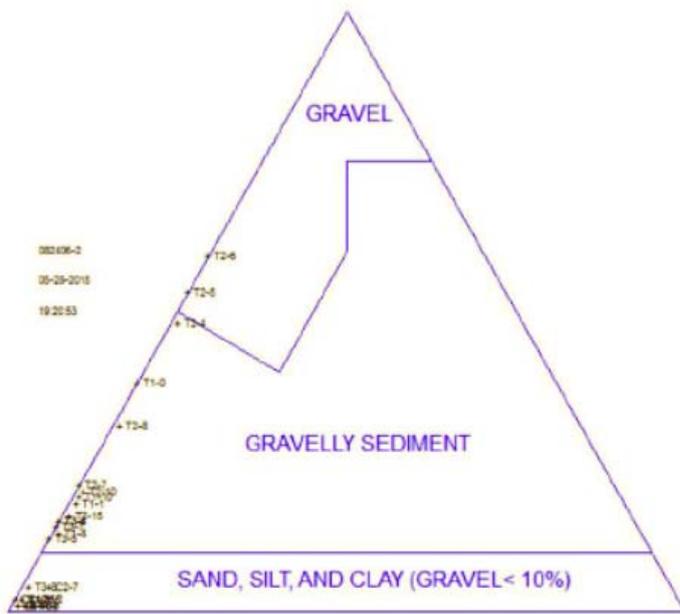


Figura 26 - Diagramma ternario di Shepard (per sedimenti grossolani) dell'intera popolazione.
 dove: GRAVEL - ghiaia; GRAVELLY SEDIMENT - sedimenti ghiaiosi; SAND - sabbia.

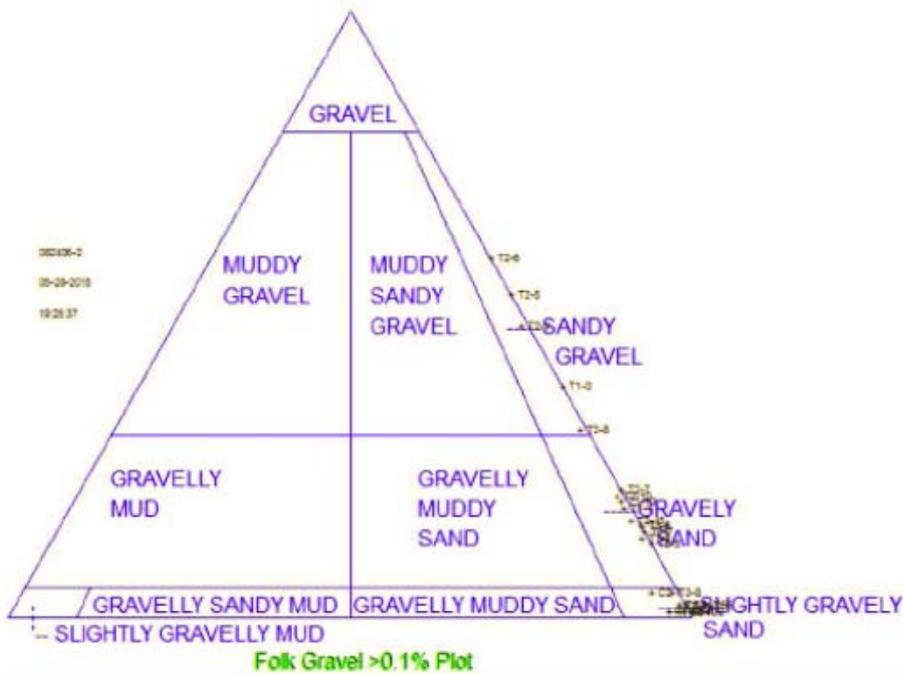
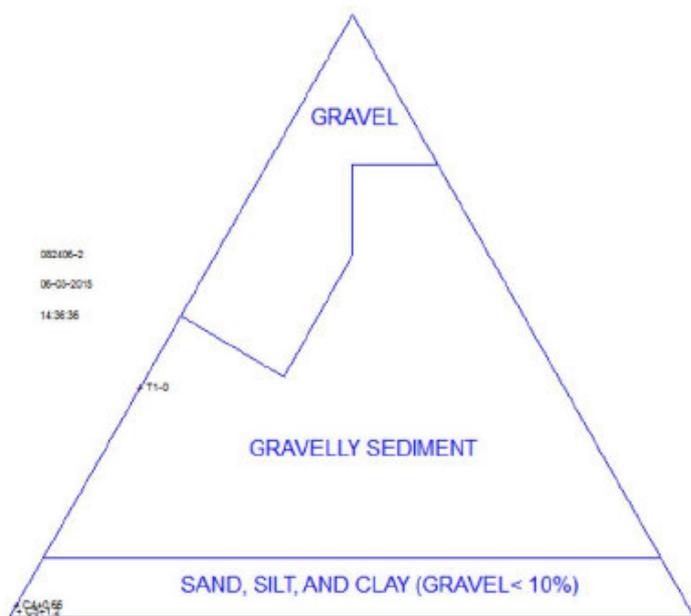


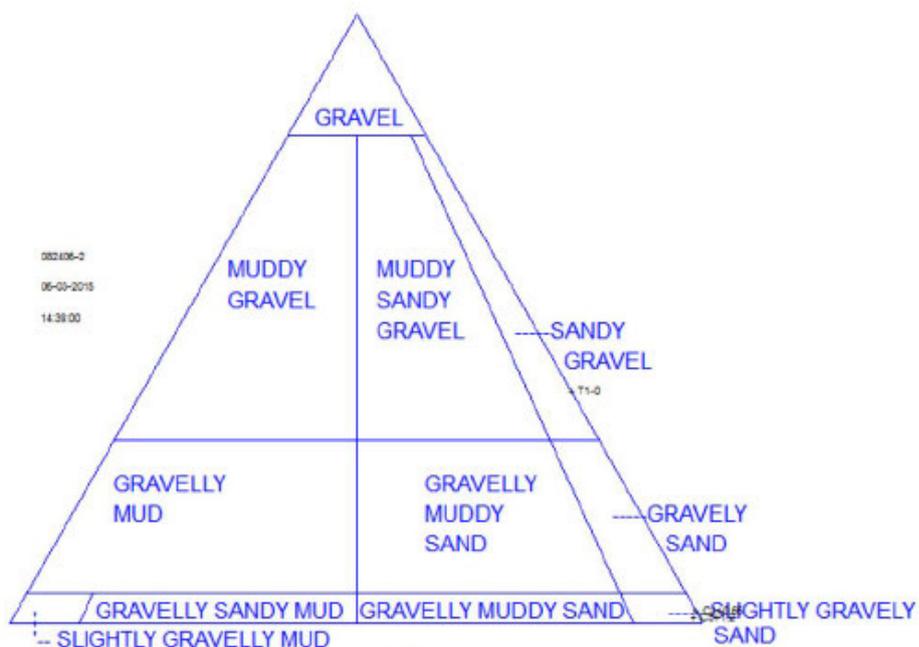
Figura 27 - Diagramma ternario di Folk (per sedimenti grossolani) dell'intera popolazione.
 dove: SANDY GRAVEL - ghiaia sabbiosa; GRAVELLY SAND - sabbia ghiaiosa; SLIGHTLY GRAVELLY SAND - sabbia leggermente ghiaiosa; SAND - sabbia.



Shepard Gravel >10% Plot

Figura 28 - Diagramma ternario di Shepard (per sedimenti grossolani) della spiaggia.

dove: GRAVEL - ghiaia; GRAVELLY SEDIMENT - sedimenti ghiaiosi; SAND - sabbia.



Folk Gravel >0.1% Plot

Figura 29 - Diagramma ternario di Folk (per sedimenti grossolani) della spiaggia.

dove: SANDY GRAVEL - ghiaia sabbiosa; GRAVELLY SAND - sabbia ghiaiosa; SLIGHTLY GRAVELLY SAND - sabbia leggermente ghiaiosa; SAND - sabbia.

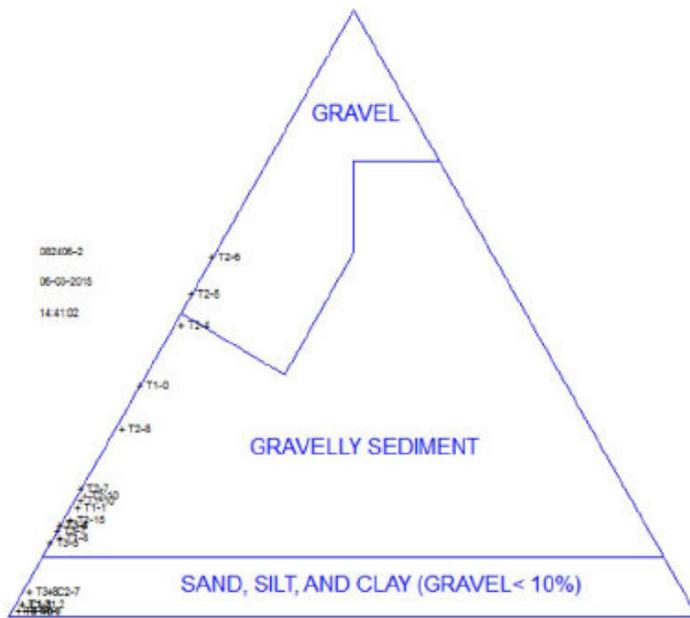


Figura 30 - Diagramma ternario di Shepard (per sedimenti grossolani) del fondale.

dove: GRAVEL - ghiaia; GRAVELLY SEDIMENT - sedimenti ghiaiosi; SAND - sabbia.

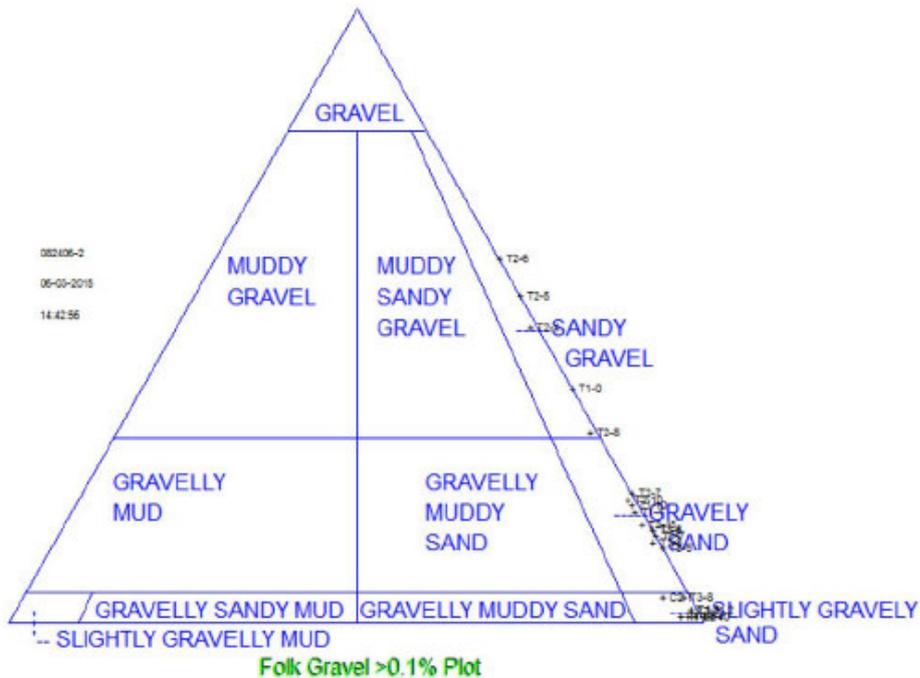
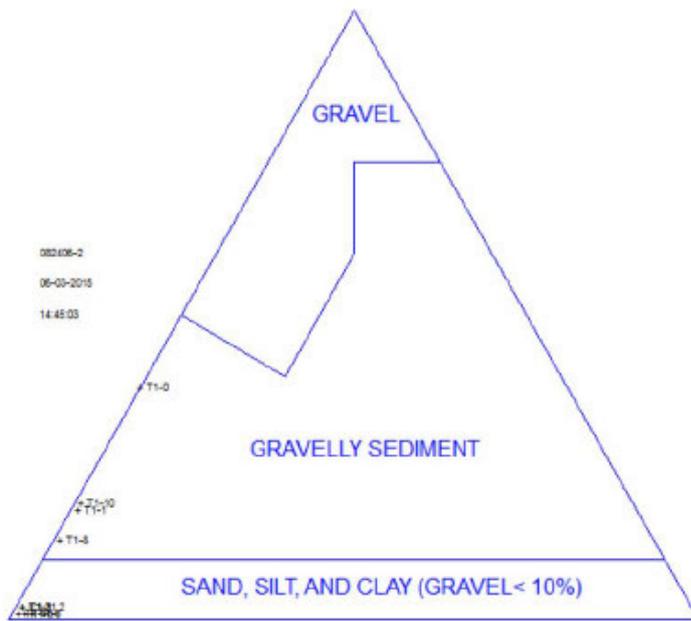


Figura 31 - Diagramma ternario di Folk (per sedimenti grossolani) del fondale.

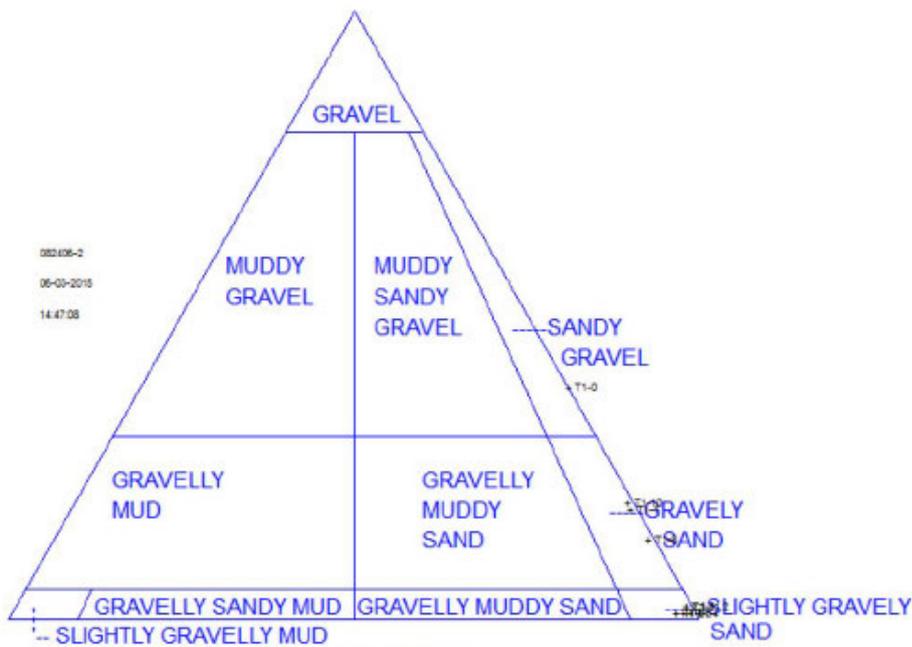
dove: SANDY GRAVEL - ghiaia sabbiosa; GRAVELLY SAND - sabbia ghiaiosa; SLIGHTLY GRAVELLY SAND - sabbia leggermente ghiaiosa; SAND - sabbia.



Shepard Gravel >10% Plot

Figura 32 - Diagramma ternario di Shepard (per sedimenti grossolani) del Transetto T1.

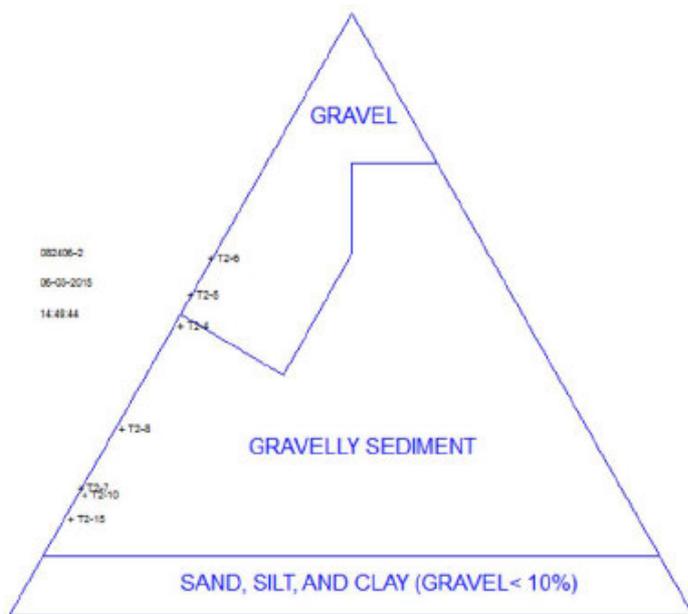
dove: GRAVEL - ghiaia; GRAVELLY SEDIMENT - sedimenti ghiaiosi; SAND - sabbia.



Folk Gravel >0.1% Plot

Figura 33 - Diagramma ternario di Folk (per sedimenti grossolani) del Transetto T1.

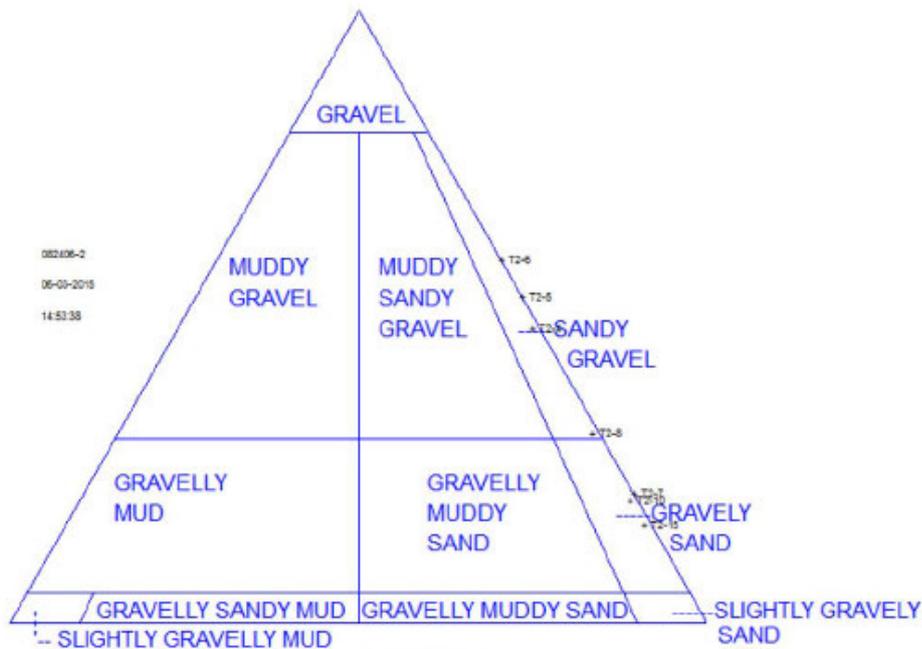
dove: SANDY GRAVEL - ghiaia sabbiosa; GRAVELLY SAND - sabbia ghiaiosa; SLIGHTLY GRAVELLY SAND - sabbia leggermente ghiaiosa; SAND - sabbia.



Shepard Gravel >10% Plot

Figura 34 - Diagramma ternario di Shepard (per sedimenti grossolani) del Transetto T2.

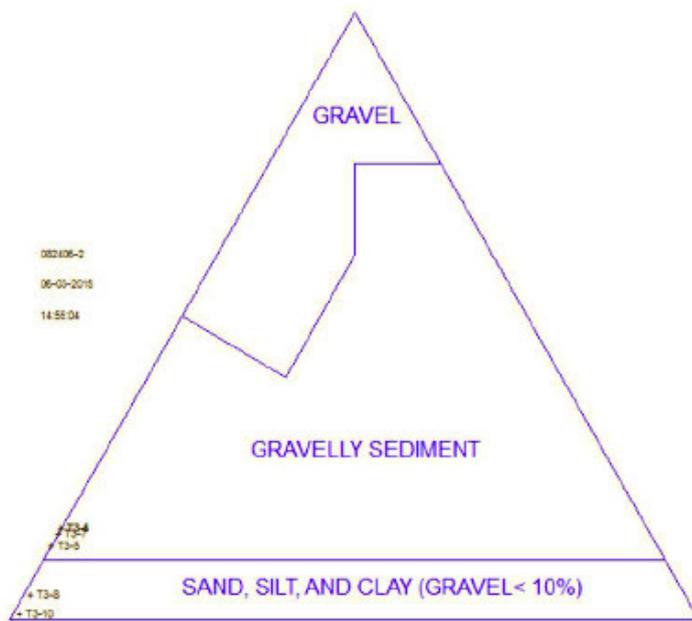
dove: GRAVEL - ghiaia; GRAVELLY SEDIMENT - sedimenti ghiaiosi; SAND - sabbia.



Folk Gravel >0.1% Plot

Figura 35 - Diagramma ternario di Folk (per sedimenti grossolani) del Transetto T2.

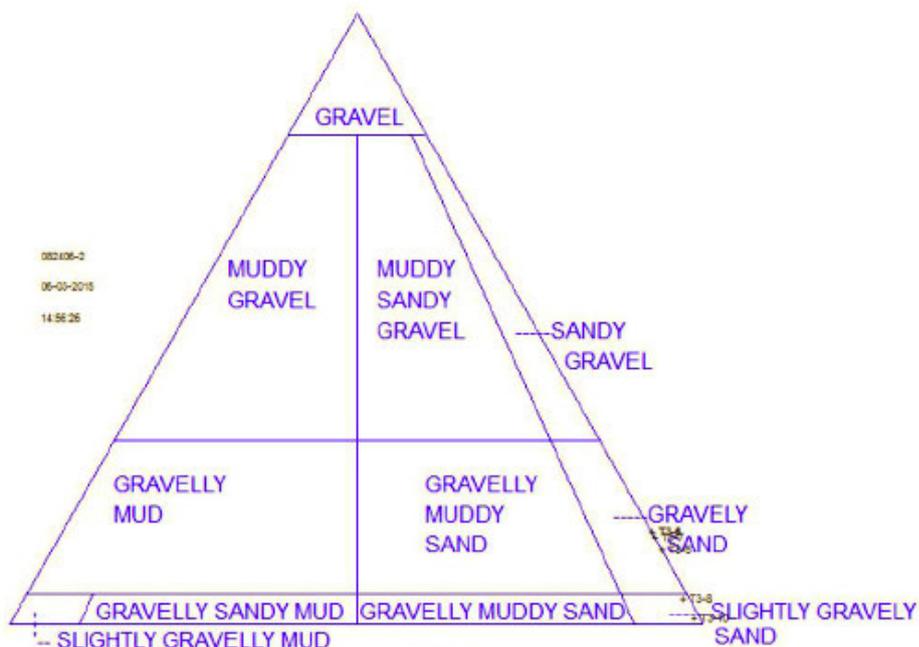
dove: SANDY GRAVEL - ghiaia sabbiosa; GRAVELLY SAND - sabbia ghiaiosa; SLIGHTLY GRAVELLY SAND - sabbia leggermente ghiaiosa; SAND - sabbia.



Shepard Gravel >10% Plot

Figura 36 - Diagramma ternario di Shepard (per sedimenti grossolani) del Transetto T3.

dove: GRAVEL - ghiaia; GRAVELLY SEDIMENT - sedimenti ghiaiosi; SAND - sabbia.



Folk Gravel >0.1% Plot

Figura 37 - Diagramma ternario di Folk (per sedimenti grossolani) del Transetto T3.

dove: SANDY GRAVEL - ghiaia sabbiosa; GRAVELLY SAND - sabbia ghiaiosa; SLIGHTLY GRAVELLY SAND - sabbia leggermente ghiaiosa; SAND - sabbia.

Interpretazione idrodinamiche delle distribuzioni granulometriche.

Le distribuzioni granulometriche derivanti dalle analisi dei campioni di sedimento e i loro valori numerici sono molto utili ai fini dell'interpretazione delle condizioni idrodinamiche in cui sono stati rinvenuti questi sedimenti e di come questi si sono organizzati in equilibrio con il sistema dinamico in cui si trovano. A tale scopo, comunemente in letteratura, ci si avvale di alcuni Modelli sperimentali basati sulla distribuzione delle dimensioni di un singolo campione come ad esempio i Modelli di *Visher*, di *Doeglas*, di *Riviere*, di *Balsillie*, ecc..

MODELLO DI VISHER

Il *Modello di Visher (1969)* considera che le distribuzioni *formato-frequenza* di un campione non corrispondono ad una singola popolazione *log-normale*, ma la distribuzione delle dimensioni può essere una miscela di diverse distribuzioni *log-normali* (almeno tre); ognuna di queste popolazioni, rappresentandola su un diagramma in ordinate di probabilità, sarà rappresentata da una retta.

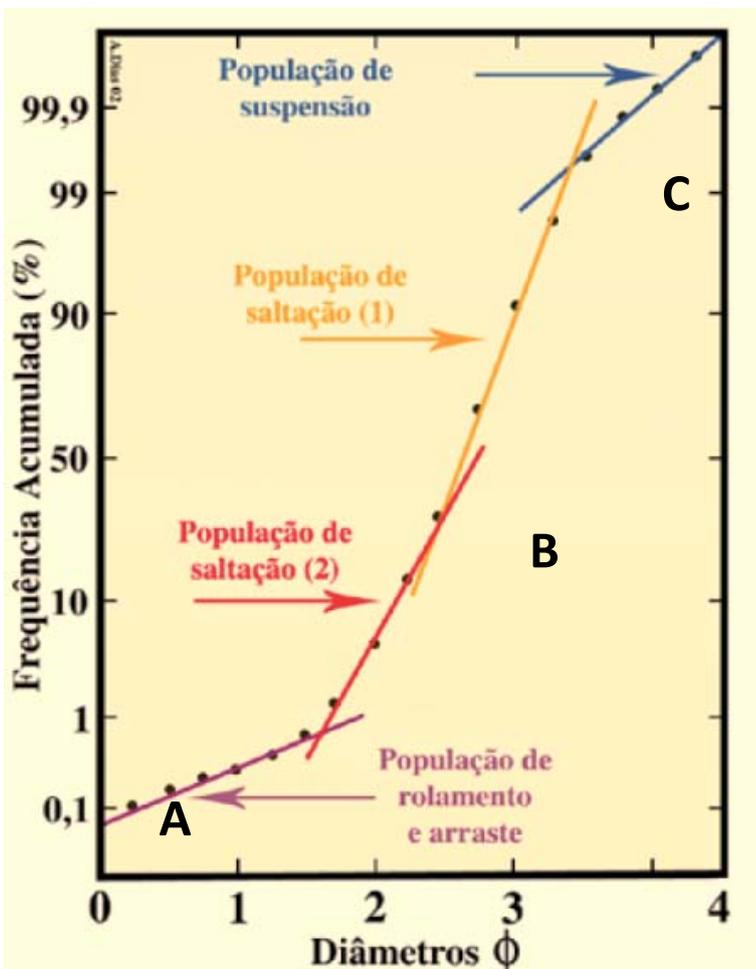


Fig. 38 – Esempio di Diagramma di Visher (1969).

Così le diverse rette di un campione s'intersecano tra loro, e permettono di definire i limiti di ciascuna distribuzione. Le distribuzioni più complesse mostrano almeno tre rette principali (Fig. 38) dotate di diversa dinamica di movimentazione: 1) La retta A è rappresentativa della popolazione di trazione/rotolamento; 2) la retta B rappresenta la popolazione per saltazione. A volte questa popolazione si compone di due segmenti (*B* e *B'*) dotati di pendenza leggermente diversa tra loro; 3) la retta C corrisponde alla popolazione movimentata in sospensione. La percentuale di ciascuna di tali popolazioni, la loro selezione, grado di miscelazione e il punto di intersezione o troncamento tra le rette rappresentative di ciascuna delle popolazioni può essere caratteristico di alcuni mezzi di sedimentazione.

Analizzando il grafico completo è possibile vedere se è possibile separare le diverse popolazioni. Nel caso specifico del *Modello di Visher*, ognuna delle popolazioni è legata ad uno specifico tipo di trasporto: scorrimento superficiale o rotolamento, saltazione e sospensione. La prima popolazione (la più grossolana), e la terza (la più fine) sono confinate alle code della curva granulometrica cumulativa. I caratteri e l'importanza relativa di queste tre subpopolazioni forniscono la base per determinare i processi dinamici responsabili del trasporto e dell'accumulo di ogni unità sabbiosa.

Di norma il selezionamento risulta ottimale quando la corrente opera in maniera continua e costante (es spiaggia). Quindi, in termini dinamici, ne consegue che le correnti costanti selezionano meglio di quelle che variano di intensità. Le spiagge dove le onde attaccano vigorosamente le falesie o le spiagge vicine allo sbocco dei fiumi avranno sedimenti molto meno selezionati di quelle piatte e stabili, lontane da importanti aree di apporto sedimentario.

I risultati dell'analisi dei campioni di spiaggia e di fondale marino prelevati sono rappresentati nelle seguenti Figure da 39 a 53, la cui interpretazione può essere riassunta nei seguenti punti salienti:

- 1) tutti i campioni, di spiaggia e di fondale, hanno una prevalente componente di movimentazione per *saltazione (ramo B)*, una subordinata per *scorrimento/rotolamento (ramo A)* ed una minore per *sospensione (ramo C)*;
- 2) in merito ai campioni di spiaggia si osserva che il campione di battigia *T1-0* è l'unico che presenta elevati valori relativi di porzione di sedimento movimentati per *scorrimento/rotolamento (ramo A)* e minori per *saltazione (ramo B)* rispetto ai due restanti della spiaggia emersa;
- 3) i campioni di fondale del *transetto T1* evidenziano valori relativi più elevati di trasporto per *sospensione (ramo C)* rispetto agli altri due transetti, poiché lo stesso è interno al porto (area protetta). Inoltre, si constata come rispettivamente aumenta la porzione della frazione movimentata per *sospensione* nella parte del terrazzo interno tra -5 e -8 m. di profondità. I valori di movimentazione per *scorrimento/rotolamento* di fondo (*ramo A*) sono evidentemente più elevati in prossimità della spiaggia, ma apparentemente anomali anche

nella parte più profonda; ciò si riscontra probabilmente per la presenza della zona di risacca della scogliera del porto di Piano di Sorrento, posta poco più sottoflutto;

- 4) i campioni di fondale del *transetto T2* evidenziano elevate porzioni di frazioni movimentate per *scorrimento/rotolamento* di fondo (*ramo A*), specie a profondità minori, per la presenza della risacca a ridosso della scogliera esterna, di contro di hanno valori bassi della porzione di popolazione per *sospensione* (*ramo C*), che comunque cresce lievemente con la profondità. In assoluto i valori di porzione di *saltazione* (*ramo B*) risultano più bassi di quelli del *transetto T3*, anch'esso esterno alla scogliera ma più distante da essa;
- 5) i campioni del *transetto T3* sono di gran lunga i più omogenei in merito alla distribuzione dei sedimenti in termini movimentazione dei tre rami della spezzata di *Visher* sia in base alla profondità che alla granulometria relativa.

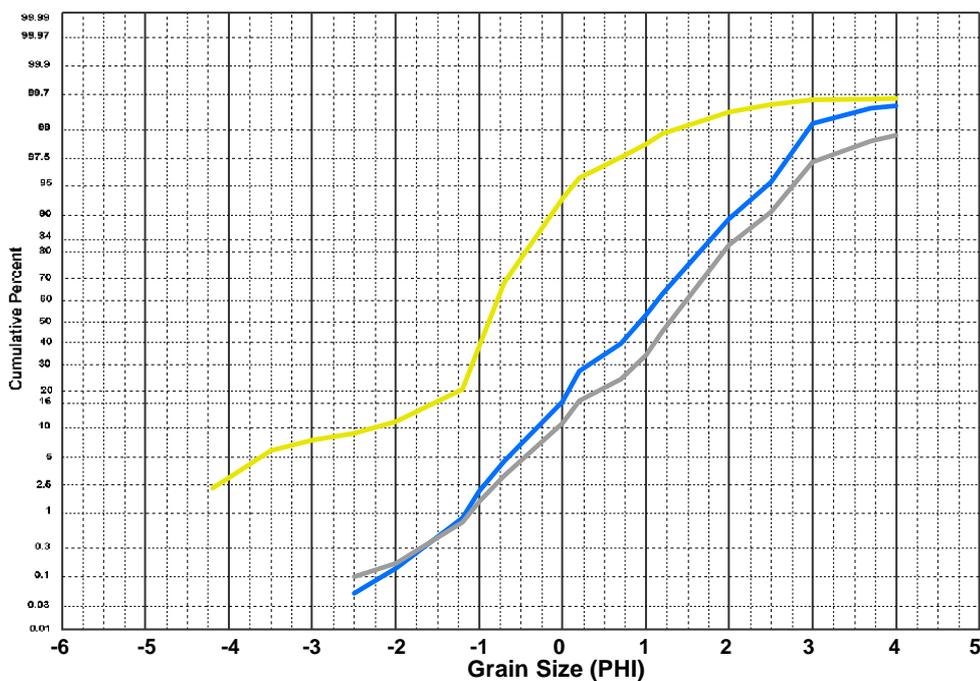


Figura 39 – Curve granulometriche cumulative dei campioni di spiaggia inserite in un diagramma con ordinate di probabilità.

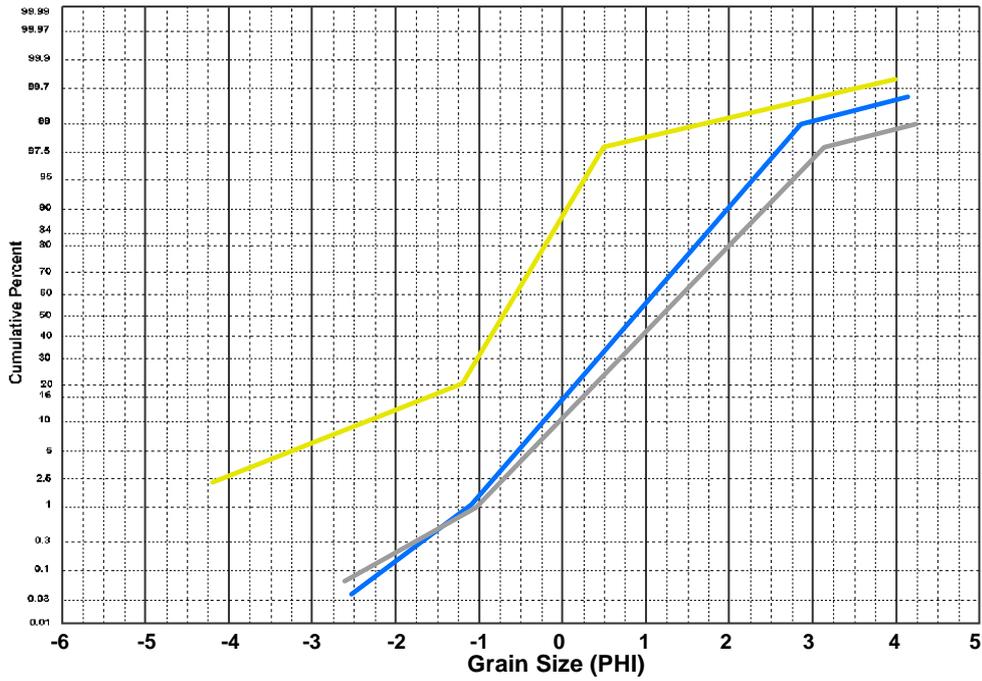


Figura 40 – Analisi di Visher dei campioni di spiaggia inserite in un diagramma con ordinate di probabilità.

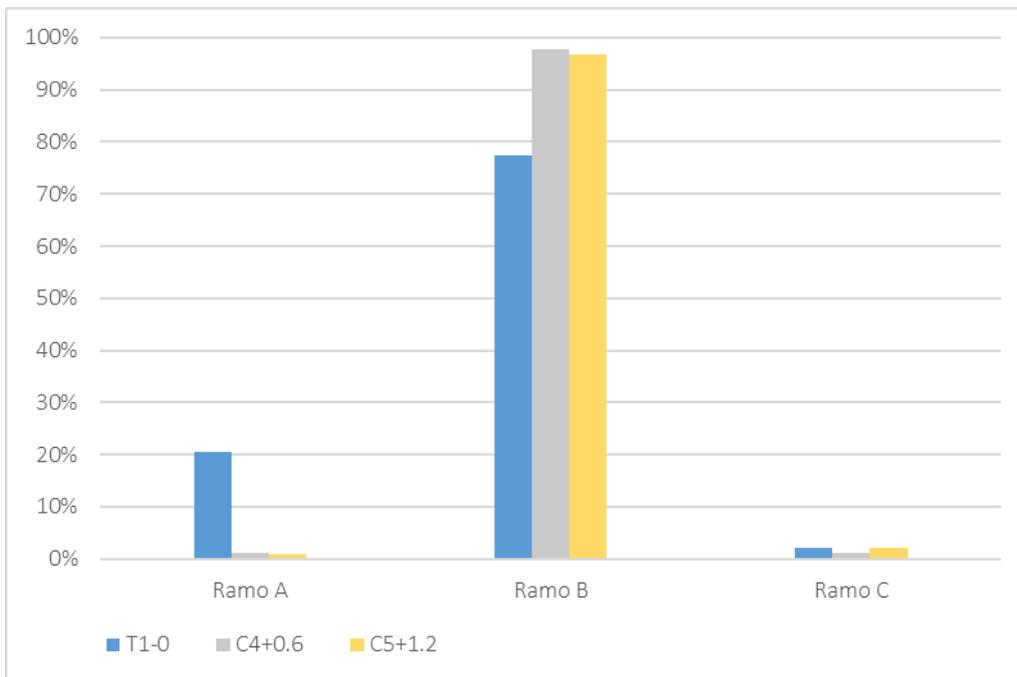


Figura 41 – Istogrammi di frequenza percentuale dei tre rami della spezzata di Visher per i campioni di spiaggia.

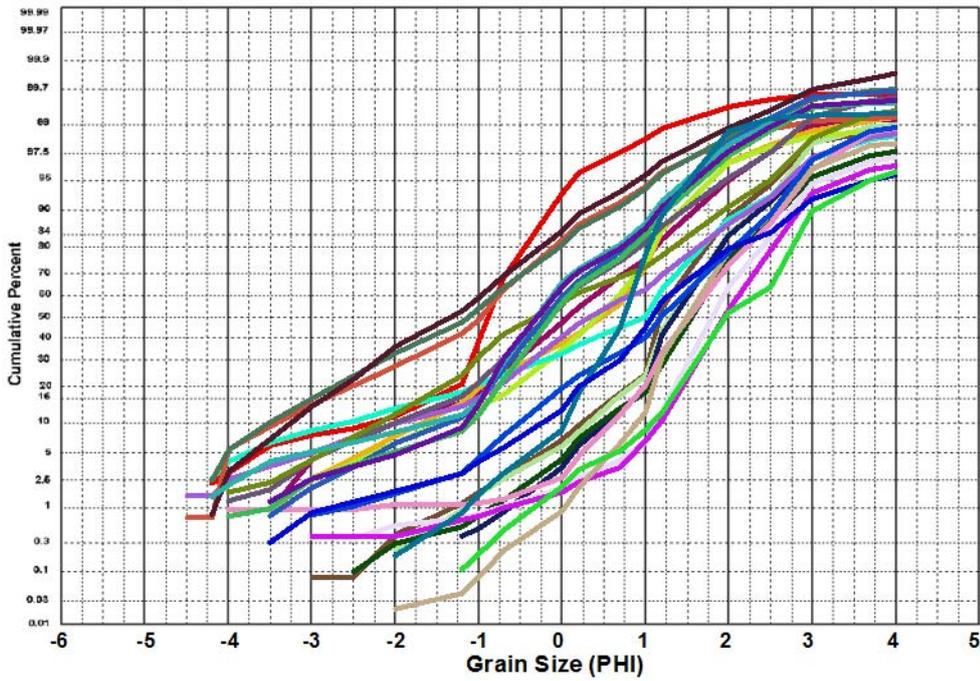


Figura 42 – Curve granulometriche cumulative dei campioni di fondale inserite in un diagramma con ordinate di probabilità.

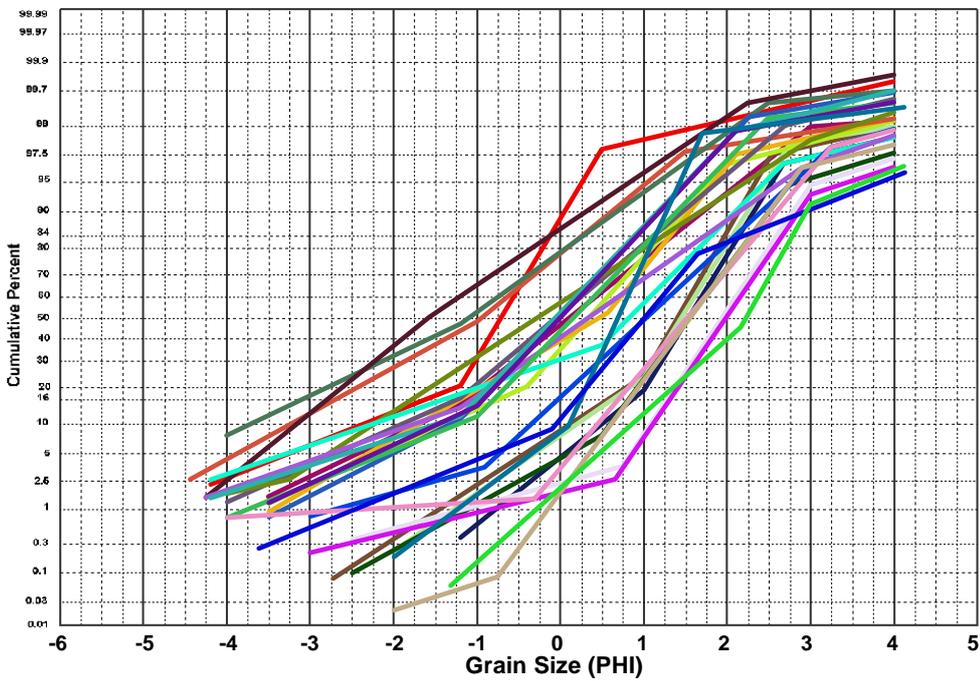


Figura 43 – Analisi di Visher dei campioni di fondale inserite in un diagramma con ordinate di probabilità.

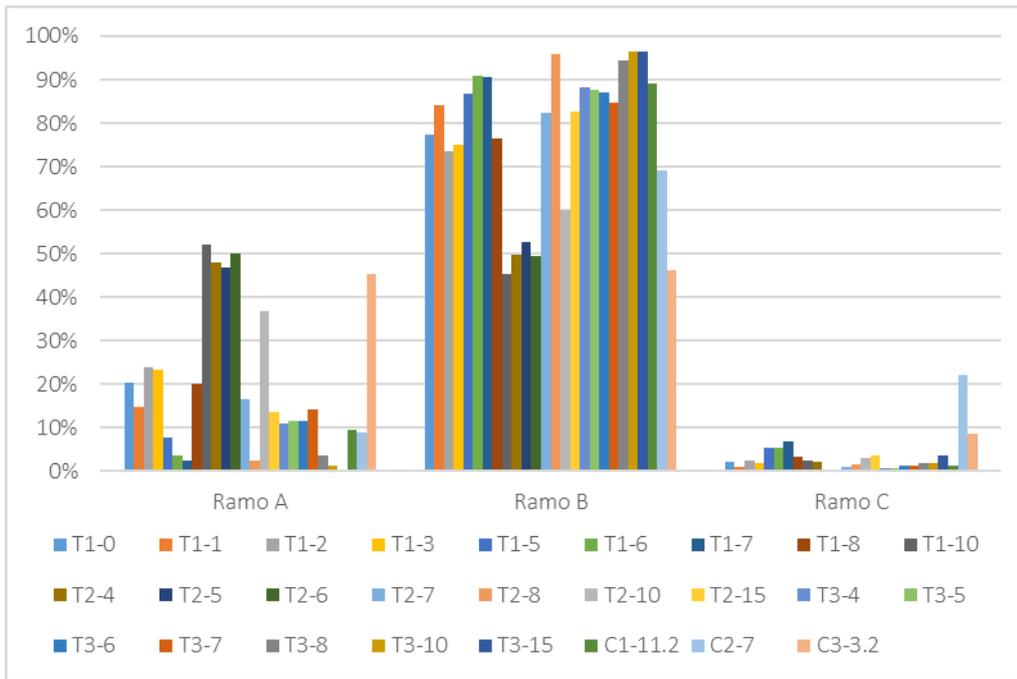


Figura 44 – Istogrammi di frequenza percentuale dei tre rami della spezzata di Visher per i campioni di fondale.

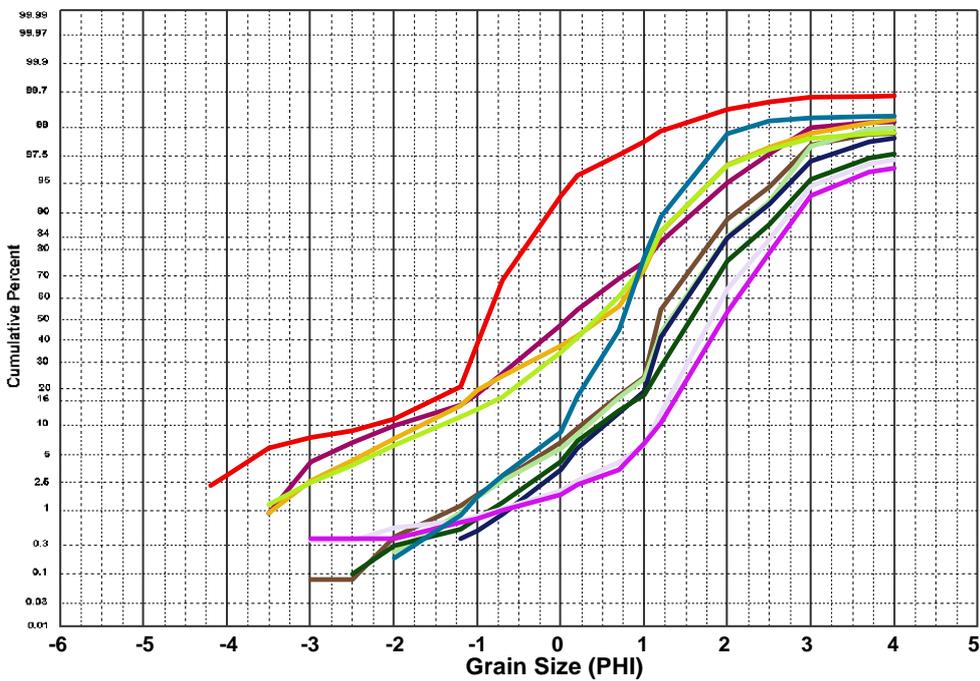


Figura 45 – Curve granulometriche cumulative dei campioni di fondale (transetto T1) inserite in un diagramma con ordinate di probabilità.

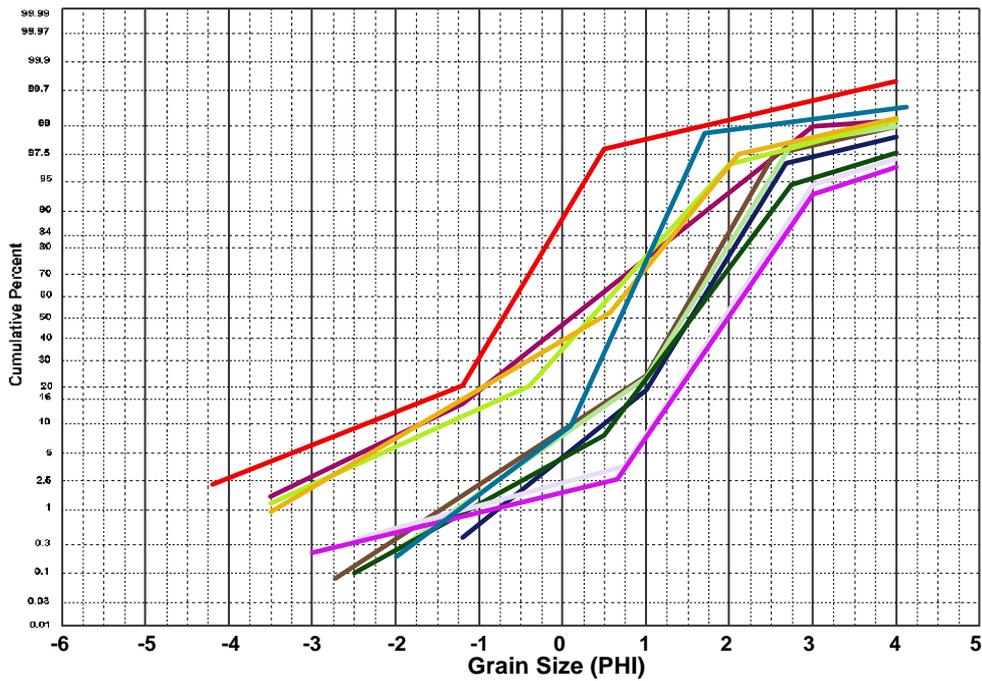


Figura 46 – Analisi di Visher dei campioni di fondale (transetto T1) inseriti in un diagramma con ordinate di probabilità.

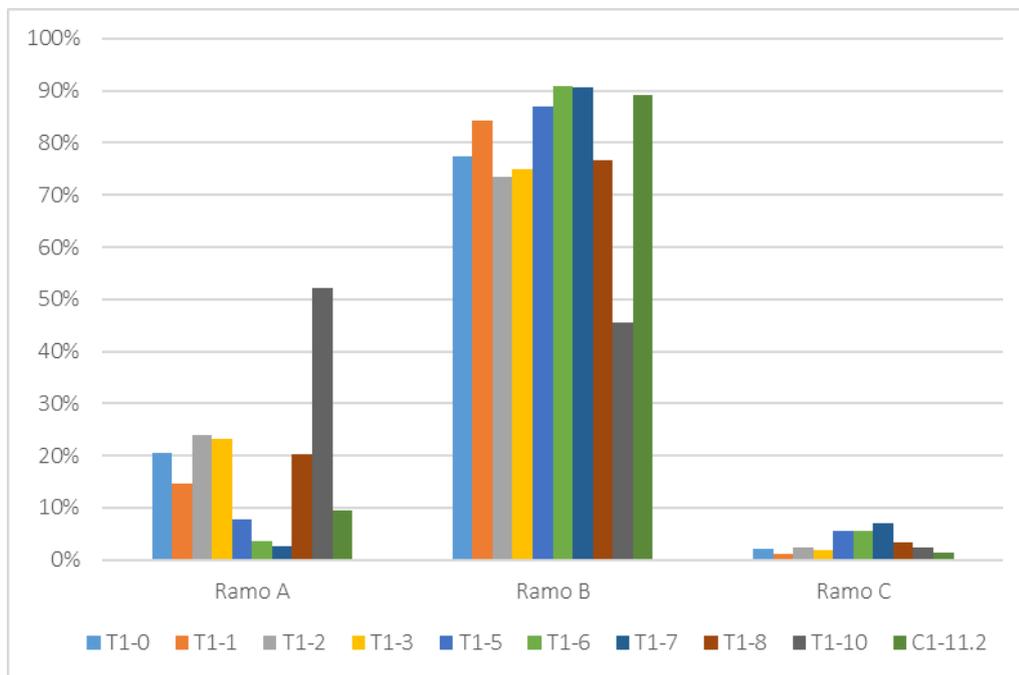


Figura 47 – Istogrammi di frequenza percentuale dei tre rami della spezzata di Visher per i campioni di fondale (transetto T1).

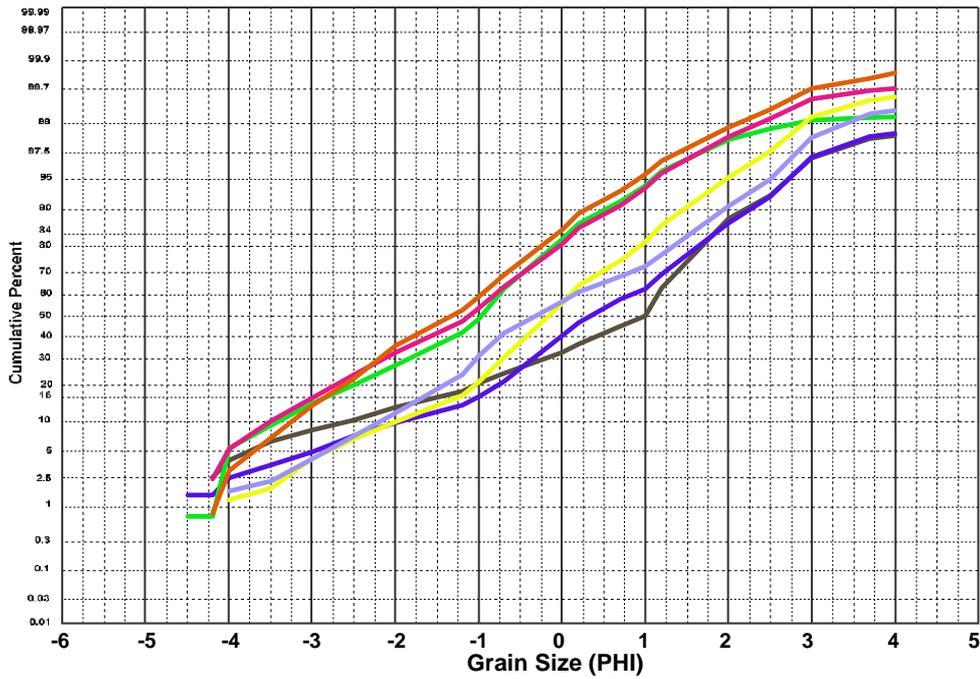


Figura 48 – Curve granulometriche cumulative dei campioni di fondale (transetto T2) inserite in un diagramma con ordinate di probabilità.

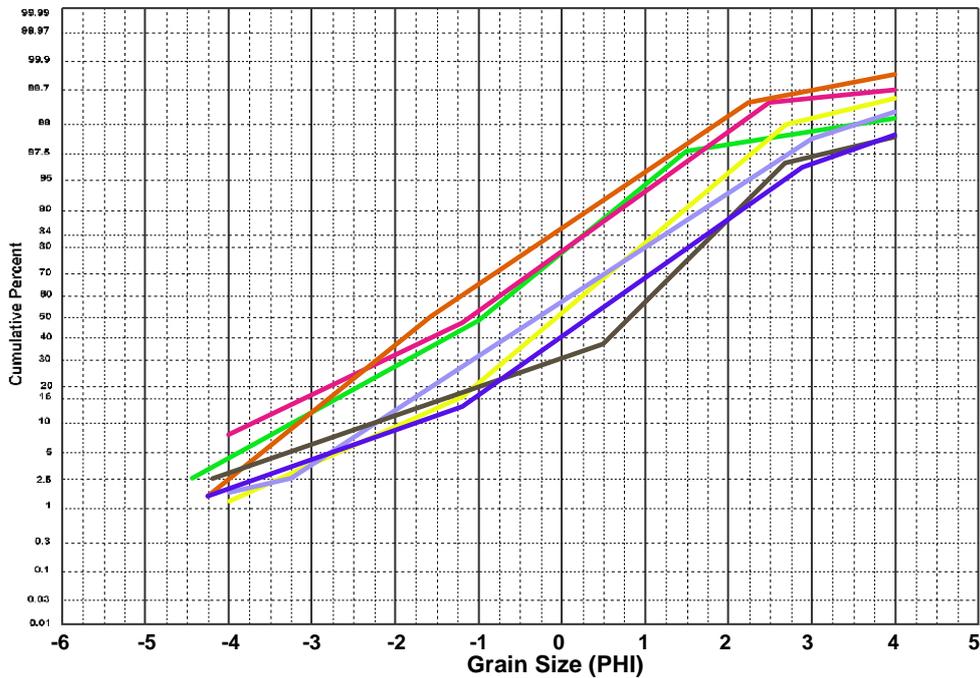


Figura 49 – Analisi di Visher dei campioni di fondale (transetto T2) inseriti in un diagramma con ordinate di probabilità.

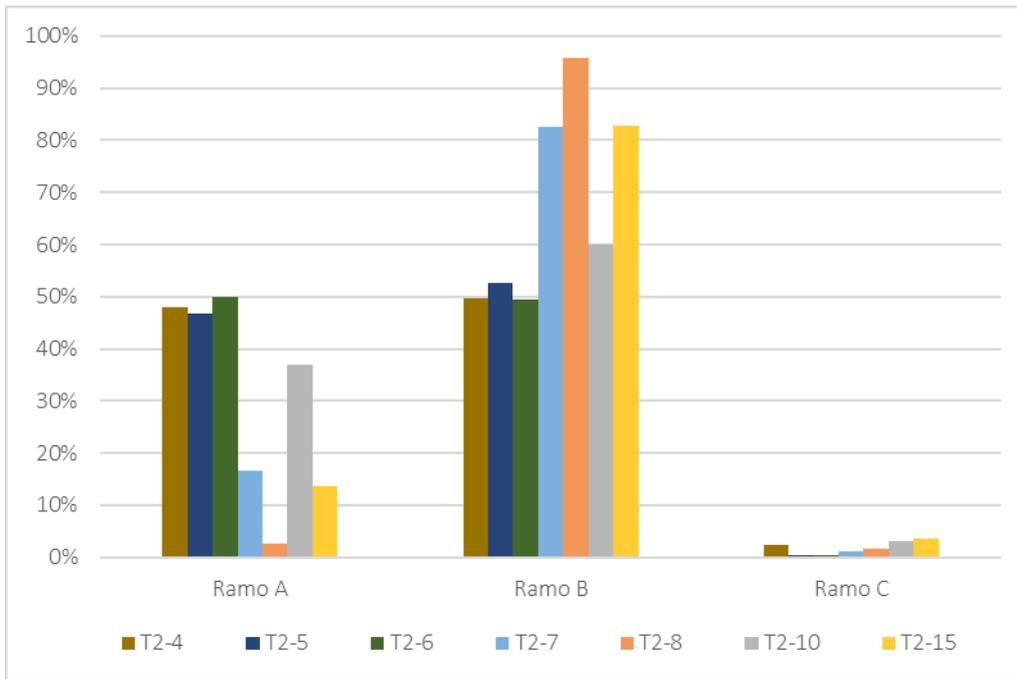


Figura 50 – Istogrammi di frequenza percentuale dei tre rami della spezzata di Visher per i campioni di fondale (transetto T2).

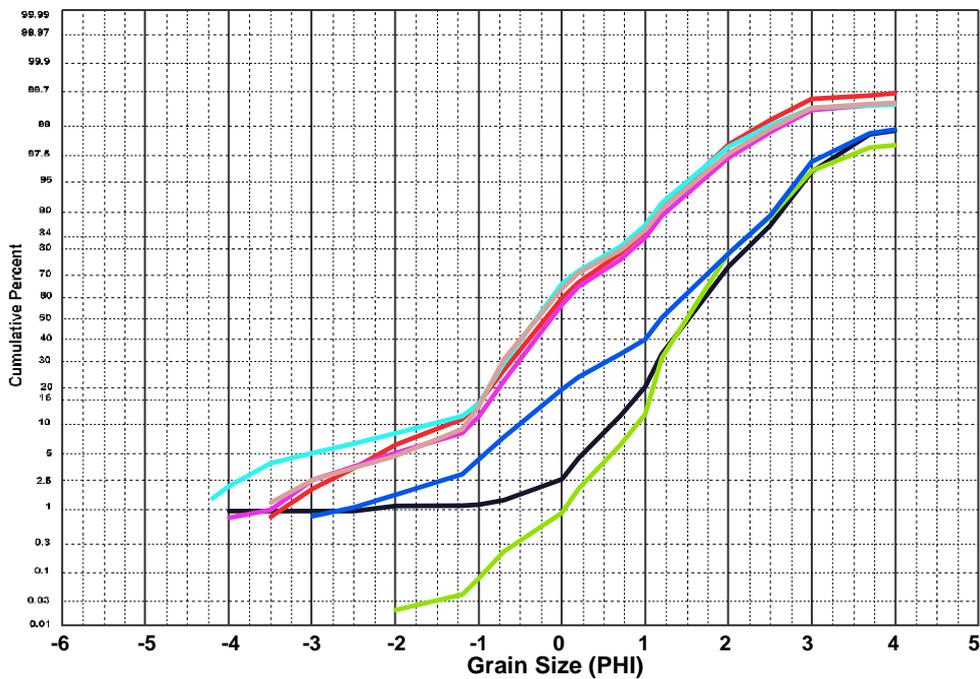


Figura 51 – Curve granulometriche cumulative dei campioni di fondale (transetto T3) inserite in un diagramma con ordinate di probabilità.

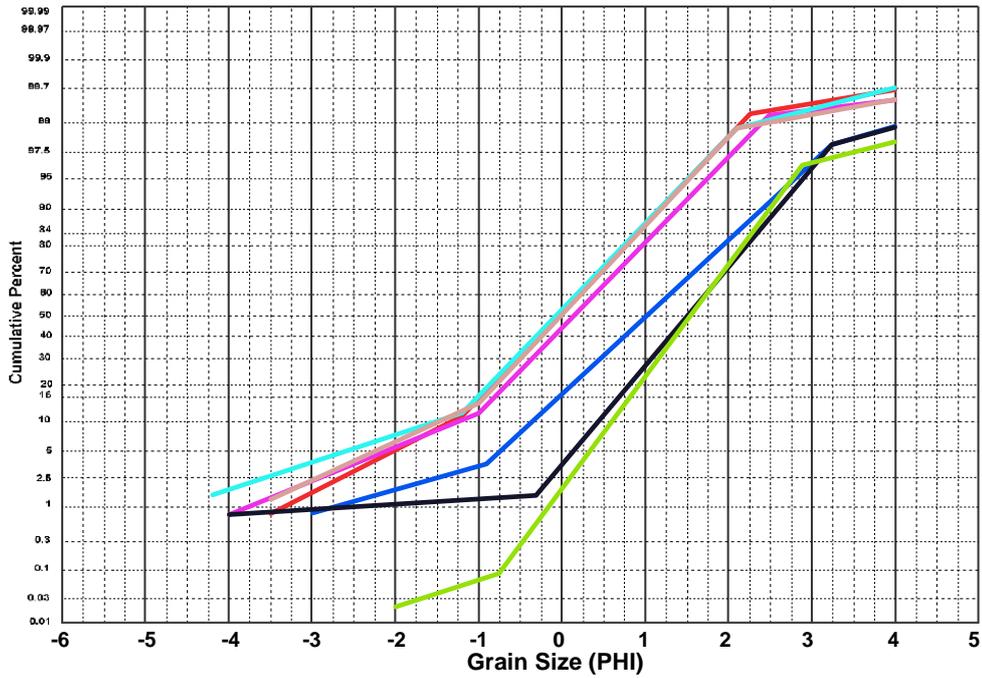


Figura 52 – Analisi di Visher dei campioni di fondale (transetto T3) inseriti in un diagramma con ordinate di probabilità.

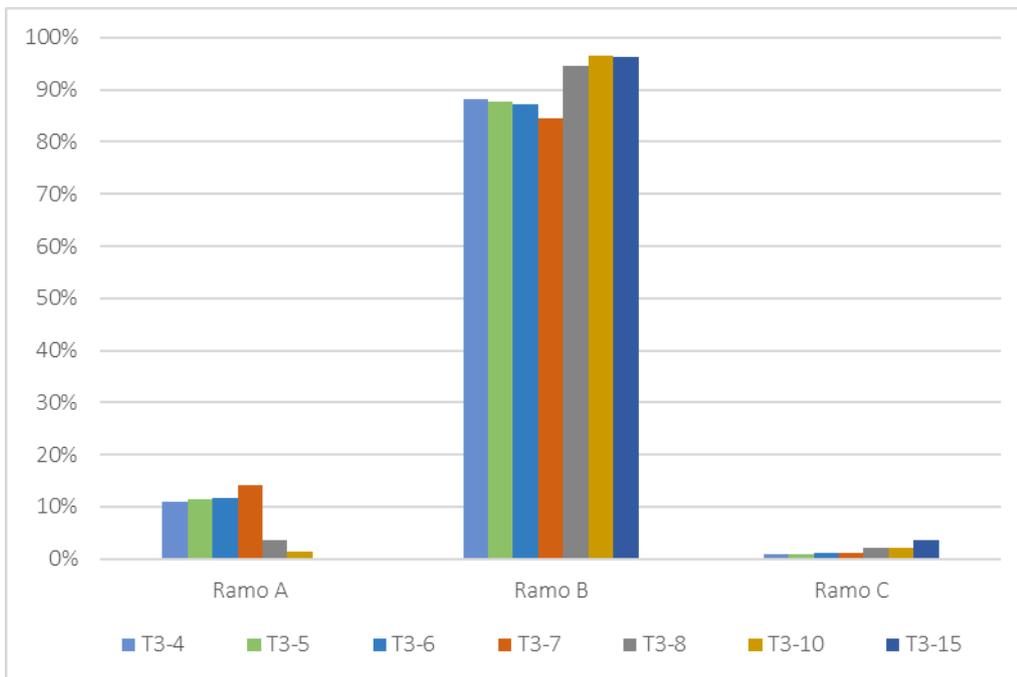


Figura 53 – Istogrammi di frequenza percentuale dei tre rami della spezzata di Visher per i campioni di fondale (transetto T3).

MODELLO DI RIVIERE

Nel 1952, Rivière ha sviluppato un metodo, grafico e numerico (Fig. 56), per esprimere tutta la curva granulometrica a partire da una equazione matematica di tipo $y = ax^N + b$. Da allora, vari metodi di calcolo sono stati proposti per definire il valore di N , specificando il significato dinamico di questo parametro.

Il valore di N (*Indice di evoluzione granulometrica*), quantificando la concavità o convessità della forma generale della curva granulometrica cumulata, riflette direttamente il livello di energia prevalente durante il trasporto e la deposizione dei sedimenti (Fig. 57).

Il *Modello di Riviere (1977)* considera che le distribuzioni di dimensioni dei sedimenti fini non sempre seguono una distribuzione *log-normale*, come avviene alle estremità delle curve, ottenendo diversi tipi di curve.

Il metodo, grafico e numerico, del calcolo dell'Indice di evoluzione N richiede la conoscenza successiva dei parametri \underline{x} (media, calcolata con il metodo dei momenti), G (indice di classamento), v (parametro per la determinazione NG).

Ogni curva granulometrica cumulata può essere caratterizzata dall'*Indice di evoluzione granulometrica (N)*, con ($N = n + 1$), essendo n l'esponente dell'equazione generale di tutte curve granulometriche:

$$y = a x^n$$

- la *Facies lineare* $N=1$ corrisponde a sedimenti non evoluti, come suoli, prodotti dall'alterazione, in genere a materiali poco selezionati.
- la *Facies parabolica* $0 < N < 1$, è caratteristica di sedimenti fluviali, con caratteristiche intermedie tra i due.
- la *Facies logaritmica* $N=0$, è formata da sedimenti ben elaborati propri di fiumi, estuari, dune, spiagge, ecc.
- le *Facies iperboliche* $0 > N > -1$, è corrispondente a depositi tranquilli a partire da sospensioni uniformi per flocculazione o sedimentazione (decantazione) (vedi fig. 54).

Indices		Concavité	Courbe	Grano-faciès	Mode de dépôt
\mathcal{N}	$n = \mathcal{N} - 1$	<i>Accentuation</i>	<i>Sens</i>		
> 1	> 0	très forte	\nearrow	ultraparabolique	excès de charge équilibre avec le courant décantation zone calme
$= 1$	$= 0$	forte	\nearrow	linéaire	
$0 < \mathcal{N} < 1$	$-1 < n < 0$	variable	\nearrow	parabolique	
$= 0$	$= -1$	nulle	$=$	logarithmique	
< 0	< -1	variable	\searrow	hyperbolique	
< -1	< -2	forte	\searrow	infrahyperbolique	

Fig. 54 – Interpretazione del parametro “Indice di evoluzione granulometrica” (\mathcal{N}).

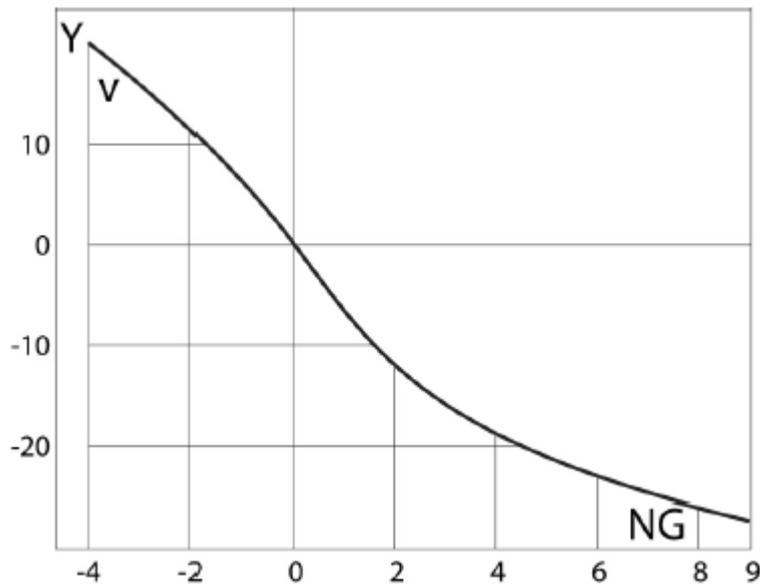


Fig. 55 – Determinazione grafica (abaco) del valore dell'indice \mathcal{N} in funzione di \underline{x} e x_{100} .

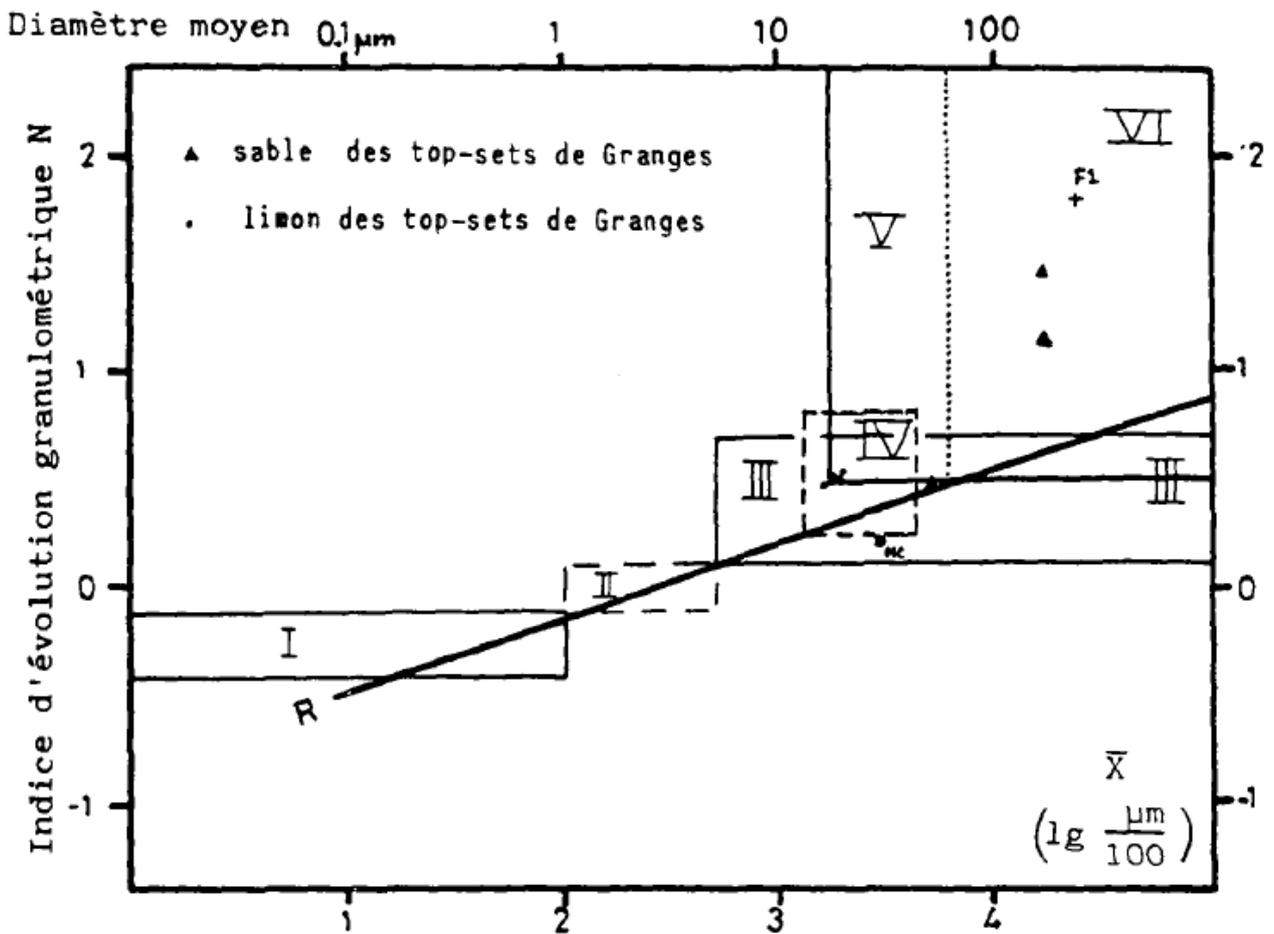


Fig. 56 – Esempio di Diagramma di Rivière.

Interpretazione delle facies:

- la facies parabolica ($0 < N < 1$) è rappresentata da una curva arcuata, la cui concavità verso l'alto, termina verso i termini grossolani con uncino a concavità verso il basso. I sedimenti a facies paraboliche corrispondono alle condizioni di deposizione in una corrente relativamente veloce. Le facies paraboliche sono facies di trasporto che appaiono nelle prime fasi dell'evoluzione dei sedimenti fluviali. Il carico sedimenti dell'acqua non è ancora adattato al vettore corrente. Le particelle grossolane sono in eccesso nella sospensione e si depositano in maggiore abbondanza (Fig. 58).

- i sedimenti a facies logaritmiche ($N=0$) sono rappresentati da curve rettilinee nella grande parte centrale oppure in forma di S molto appiattita (la parte centrale nelle dimensioni dei limi). Le curve cumulate si incurvano verso i termini grossolani in un "uncino" a facies iperbolica e verso i termini fini con un "uncino" a facies parabolica. Nei sedimenti a facies logaritmiche, le particelle fini sono generalmente più abbondanti che nelle facies iperboliche. La facies logaritmica è una facies di trasporto evoluto (sviluppata), vale a dire in cui viene raggiunto un equilibrio tra le composizioni granulometriche delle particelle della carica solida di acqua e sedimenti. Si verifica così uno

“scambio” di particelle tra la fase solida in sospensione e la fase di sedimentato. Questo scambio favorisce la ritenzione di particelle ultrafini negli interstizi di grani depositati all'interfaccia acqua/sedimento.

- i sedimenti a facies iperbolica ($0 > n > -1$) si trovano in facies più tranquille dove le particelle portate dall'acqua sono ferme in modo permanente. Si tratta di una sedimentazione in facies di decantazione. La granulometria media è in genere fine. La coda della distribuzione verso la porzione più fine si traduce in un range granulometrico molto limitato.

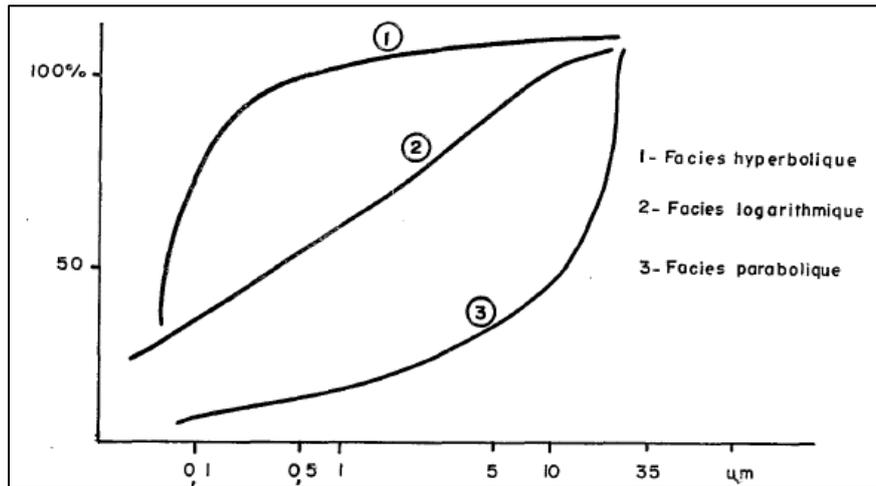


Fig. 57 - Differenti facies dei sedimenti fini dei depositi.

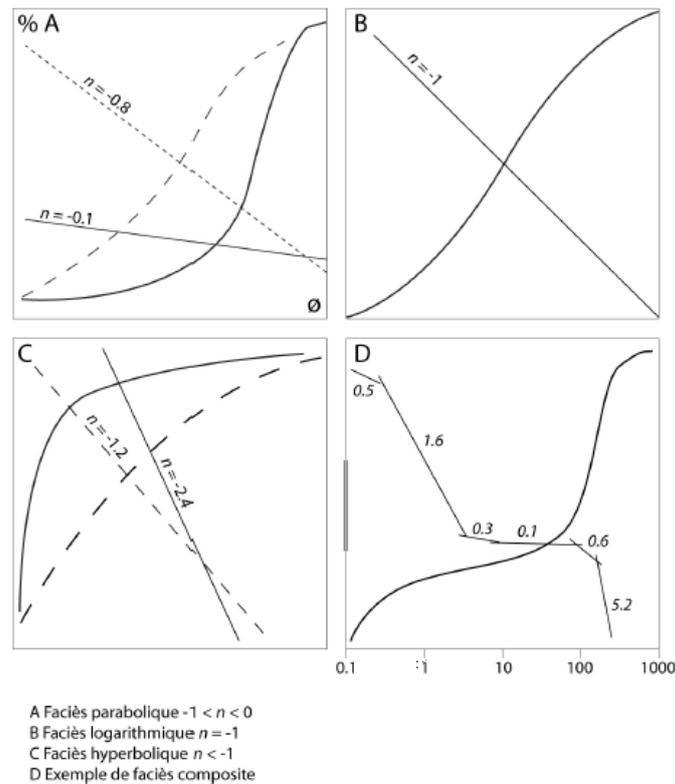


Fig. 58 – Facies Parabolica, Logaritmica, Iperbolica e Composita.

I risultati dell'analisi di *Riviere* svolta sui campioni di sedimento prelevati nella campagna di rilevamento del 2015 hanno prodotto i valori dell'*Indice di evoluzione granulometrica (N)* così come riportati nella seguente tabella 9 :

ID	N (NG/G)	Facies Granulometrica
T1-0	0,236	Parabolica
T1-1	0,085	Parabolica
T1-10	0,036	Parabolica
T1-2	-0,268	Iperbolica
T1-3	-0,155	Iperbolica
T1-4	-0,012	Iperbolica
T1-5	-0,346	Iperbolica
T1-6	-0,528	Iperbolica
T1-7	-0,581	Iperbolica
T1-8	0,018	Parabolica
T2-10	-0,110	Iperbolica
T2-15	-0,118	Iperbolica
T2-4	0,243	Parabolica
T2-5	0,310	Parabolica
T2-6	0,336	Parabolica
T2-7	0,053	Parabolica
T2-8	0,052	Parabolica
T3-10	-0,481	Iperbolica
T3-15	-0,294	Iperbolica
T3-4	0,132	Parabolica
T3-5	0,021	Parabolica
T3-6	0,051	Parabolica
T3-7	0,145	Parabolica
T3-8	-0,207	Iperbolica
C1-11.2	0,158	Parabolica
C2-7	-0,266	Iperbolica
C3-3.2	-0,417	Iperbolica
C4+0.66	-0,053	Iperbolica
C5+1.2	-0,197	Iperbolica

Tabella 9: Valori dell'Indice di evoluzione granulometrica (N) per i campioni della campagna anno 2015.

Dall'analisi dei risultati del *Metodo di Riviere* si constata che i *n.29* campioni prelevati nella campagna di campionamento del 2015 appartengono a due tipologie di curva: Parabolica (14 record) e Iperbolica (15 record), con rari casi di valori prossimi a $N=0$ (Logaritmica) (T1-8, T1-10, T3-5).

Quindi, come detto, i sedimenti a *facies paraboliche* corrispondono alle condizioni deposizione in una corrente relativamente veloce, mentre, quelle *iperboliche* si trovano in facies più tranquille dove le particelle portate dall'acqua sono ferme in modo permanente (decantazione).

In relazione alla distribuzione dei relativi valori di *N* in base alla profondità ed ai singoli transetti si constata che:

- per il trasetto T1 si constatano: valori di *facies iperbolica* da -2 a -7 m., all'interno dell'area più ridossata e tranquilla, e valori di *facies parabolica* per la zona di battigia-spiaggia e per la zona più profonda (-8 a -10 m.) e più prossima all'imboccatura laddove la dinamica del moto ondoso è più elevata;
- per i trasetti T2 e T3 si constatano: valori di *facies parabolica* da -4 a -8 m. relativamente alla fascia di terrazzo antistante la falesia tufacea all'esterno della scogliera, dove la risacca influenza la dinamica sedimentaria; mentre, si ottengono valori di *facies iperbolica* per la zona di scarpata per profondità superiori ai -10 m., dove la sedimentazione è più tranquilla e meno influenzata dal moto ondoso;
- i valori più prossimi al $N = 0$ (*facies logaritmica*) si ottengono all'esterno della scogliera a profondità di circa -5/-6 m. ed all'interno intorno ai -4 m. e -8 m. di profondità.

I succitati valori tabellati sono stati poi inseriti nel *Diagramma di Riviere* (Fig. 59) in cui sono riportati, in ordinate il valore di N , e in ascisse il valore di \underline{x} (o X_m) espresso in $\log \mu\text{m}/100$.

Pertanto, la retta di regressione con equazione:

$$N = 0,7545 X_m - 1,4722$$

con un $R^2 = 0,822$

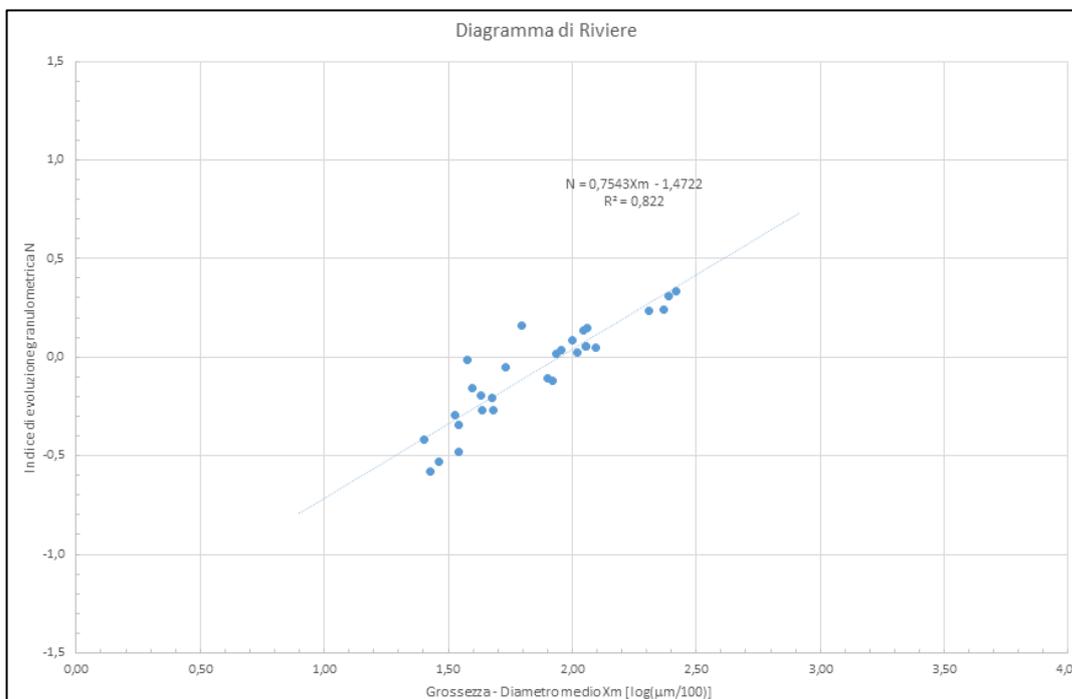


Fig. 59 – Diagramma di Riviere dei campioni della campagna eseguita nel 2015.

Interpretazione dell'analisi dinamico-modale e degli Assi di transito

Dall'analisi granulometrica eseguita sui campioni di sedimento della battigia e dei fondali, si sono ricavate, con l'applicazione delle tecniche dell'analisi modale utilizzata da *Barusseau (1973)*, *Cortemiglia (1978 e 1979)*, le relative *formule modali* di ogni campione (Tabella 10), da cui si evidenzia la presenza nel sedimento di 3 subpopolazioni granulometriche così come riportate nella Tabella 10, la cui frequenza di apparizione delle mode risulta graficamente rappresentata nella Figura 60.

ID	FORMULE MODALI									classificazione	Subpopolazioni			
	M1 (ϕ)	M1 (mm)	F1	M2 (ϕ)	M2 (mm)	F2	M3 (ϕ)	M3 (mm)	F3		POP 1	POP 2	POP 3	
T1-0	-0,77	1,71	100%								unimodale	0%	100%	0%
T1-1	-2,68	6,41	13%	-0,39	1,31	40%	1,03	0,49	46%		trimodale	13%	40%	46%
T1-2	1,40	0,38	100%								unimodale	0%	0%	100%
T1-3	1,42	0,37	100%								unimodale	0%	0%	100%
T1-4	1,48	0,36	100%								unimodale	0%	0%	100%
T1-5	1,56	0,34	100%								unimodale	0%	0%	100%
T1-6	1,65	0,32	100%								unimodale	0%	0%	100%
T1-7	1,93	0,26	100%								unimodale	0%	0%	100%
T1-8	0,49	0,71	100%								unimodale	0%	0%	100%
T1-10	-1,14	2,20	31%	0,81	0,57	69%					bimodale	0%	31%	69%
T2-4	-3,19	9,13	26%	-0,64	1,56	74%					bimodale	26%	74%	0%
T2-5	-2,95	7,73	33%	-0,65	1,57	62%	1,25	0,42	5%		trimodale	33%	62%	5%
T2-6	-2,68	6,41	39%	-0,67	1,59	61%					bimodale	39%	61%	0%
T2-7	-0,07	1,05	100%								unimodale	0%	100%	0%
T2-8	-2,59	6,02	10%	-0,73	1,66	57%	1,56	0,34	33%		trimodale	10%	57%	33%
T2-10	-0,48	1,39	53%	1,47	0,36	47%					bimodale	0%	53%	47%
T2-15	-2,38	5,21	16%	-0,73	1,66	26%	1,30	0,41	58%		trimodale	16%	26%	58%
T3-4	-0,17	1,13	100%								unimodale	0%	100%	0%
T3-5	-0,45	1,37	61%	0,91	0,53	39%					bimodale	0%	61%	39%
T3-6	-0,47	1,39	72%	0,99	0,50	28%					bimodale	0%	72%	28%
T3-7	-0,51	1,42	68%	0,93	0,52	32%					bimodale	0%	68%	32%
T3-8	-0,42	1,34	20%	1,55	0,34	80%					bimodale	0%	20%	80%
T3-10	1,57	0,34	100%								unimodale	0%	0%	100%
T3-15	1,55	0,34	100%								unimodale	0%	0%	100%
C1-11.2	0,60	0,66	100%								unimodale	0%	0%	100%
C2-7	1,11	0,46	100%								unimodale	0%	0%	100%
C3-3.2	1,95	0,26	100%								unimodale	0%	0%	100%

Tabella 10 – Definizione delle formule modali dei campioni di sedimento prelevati sul fondale.

dove: si riportano, per ogni campione (ID), il valore (in mm. o in ϕ) della moda (da M1 a M3) con la relativa frequenza percentuale (da F1 a F3); la classificazione del campione e l'appartenenza percentuale alla singola subpopolazione.

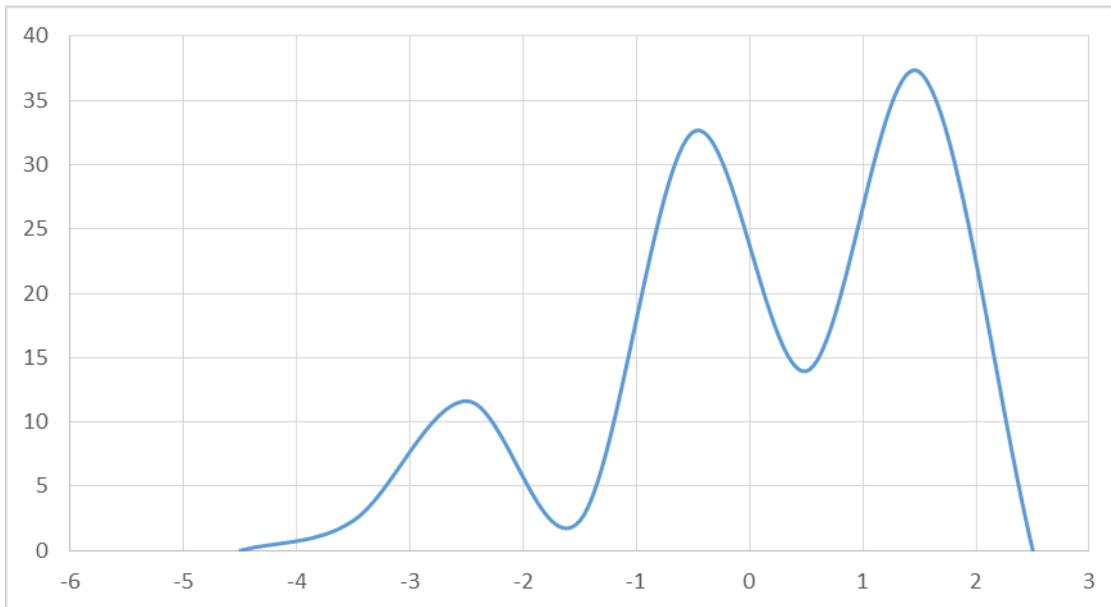


Figura 60 – Diagramma di frequenza di apparizione modale dell'intera popolazione dei sedimenti marini – in ascisse il diametro (ϕ) ed in ordinata frequenza modale (%).

Subpopolazione	sub 1			sub 2			sub 3	
Diametro (ϕ)	-3,19	-2,38		-1,14	-0,07		0,49	1,95
Diametro (mm)	9,126	5,205		2,204	1,050		0,712	0,259
Moda (ϕ)	-2,6			-0,41			1,42	
Moda (mm)	6,063			1,329			0,374	
Percentuale (%)	13,00			42,00			45,00	

Tabella 11 – Schema riassuntivo delle tre subpopolazioni di sedimento individuate.

La formula modale media dell'intera popolazione di sedimenti marini si può facilmente ricavare dai risultati riportati nella Tabella 11, in cui sono ritratti i "range" granulometrici delle tre subpopolazioni di sedimento marino (espresse in *mm.* o ϕ), la relativa moda (in *mm.* e ϕ) e la relativa percentuale.

Pertanto, la formula modale media è:

$$(-2,6) \times 13\% + (-0,41) \times 42\% + (1,42) \times 45\% \quad : \text{ in } \phi$$

$$(6,063) \times 13\% + (1,329) \times 42\% + (0,374) \times 45\% \quad : \text{ in } \textit{mm.}$$

Da ciò deriva che i sedimenti della costa sommersa, appartenenti alle 3 subpopolazioni granulometriche individuate, sono tipicamente rappresentate proporzionalmente da sabbie medie e grossolane, da sabbie molto grossolane e da ciottoli fini. Il sedimento del fondale risulta così costituito da un'associazione delle suddette 3 subpopolazioni, mescolate in proporzioni variabili.

Se dall'analisi granulometrica di ciascun campione, si estraggono le frequenze relative alle varie classi, è possibile tracciare graficamente la loro dispersione sul fondale a mezzo di "curve di isofrequenza". Il risultato di tale elaborazione individua la percentuale distributiva delle varie frazioni granulometriche sul fondale (Tav. 13.m), fornendo dati sulla loro partecipazione alla dinamica litorale. Al fine di ricavare l'andamento generale dei "principali assi di transito" e di smistamento del materiale, sulla base dei risultati riportati nella tabella 10, sono state tracciate le "linee di isodensità modale" del sedimento per ciascuna delle tre *subpopolazioni* di cui è costituito (Tavola 13.n).

I risultati delle analisi dinamiche eseguite sui campioni del fondale analizzato sono graficamente esposte nelle Tavole 13.m e 13.n in cui si sono riportati i valori di frequenza delle tre *subpopolazioni* ed i cui valori sono stati poi spazializzati con metodi di interpolazione.

Dall'analisi di quanto emerge dalle cartografie così redatte, relativamente alle 3 *subpopolazioni* individuate in precedenza, si constata quanto segue:

- per la *subpopolazione 1* (ciottoli fini, con $5,21 \leq D \leq 9,13$ mm.), quella più grossolana ma meno abbondante, si constatano valori di frequenza più elevata (circa 39%) in corrispondenza delle aree di sopraflutto della scogliera e del piede della falesia, ed anche parzialmente in corrispondenza della zona di battigia. Per essa l'analisi derivante dal tracciamento degli assi di transito denota per questi settori un progressivo arricchimento della frazione più grossolana (direzione O-E nell'area di sopraflutto della scogliera ed alla base della falesia), in luogo di quella più fine (vedi *subpop.3*), denotando così un carattere di ambiente di alta energia con prevalente movimentazione da onda. Inoltre si osservano assi minori diretti in maniera divergente lungo la parte esterna della scogliera.
- per la *subpopolazione 2* (sabbie molto grossolane, con $1,05 \leq D \leq 2,20$ mm.), quella intermedia come taglia e quantità, si constatano valori di frequenza più elevati nelle aree di terrazzo costiero e di battigia, ma con una maggiore diffusione areale di frequenza. Per essa l'analisi derivante dalla individuazione degli assi di transito denota un progressivo arricchimento in sabbie grossolane nelle zone a maggiore movimentazione, in luogo della frazione più fine (vedi *subpop. 3*), con assi diretti sia verso la scogliera, verso la falesia e la zona di battigia interna al porto, evidenziando oltremodo ambiti dinamici di ambienti di alta-media energia fino ad interessare l'intero terrazzo di -7/-10 m. di profondità. Lungo la falesia si osserva anche un asse orientato da E verso O, mentre nell'area dell'imboccatura del porto in questione si osservano assi diretti in corrispondenza del terrazzo dei -10 m., probabilmente legati alla presenza della scogliera del vicino porto di Piano di Sorrento.
- per la *subpopolazione 3* (sabbie medie, con $0,26 < D < 0,71$ mm.), quella più fine e più abbondante, si constatano valori di frequenza più elevati nelle aree più profonde e/o ridossate, pur conservando una elevata diffusione areale di frequenza. Per essa l'analisi

derivante dal tracciamento degli assi di transito denota un progressivo allontanamento dei sedimenti più fini dalla zona di sopraflutto, dal piede della falesia e dalla battigia della Spiaggia Caterina. Le direttrici rilevate evidenziano una movimentazione diretta verso il largo, nell'area esterna alla scogliera; mentre, viene orientata verso il centro dell'area ridossata del porto per la zona protetta dalla scogliera.

Risulta così evidente che la massima parte del sedimento costituente il fondale è rappresentato da *sabbie medie e medio-grossolane (subpop.3)*, che risulta mediamente distribuito in percentuali vicine al 100% all'interno del porto a varie profondità ed all'esterno nella zona più profonda al di sotto delle isobate di -8/-10 m (vedi Tavola 13.m).

La frazione sabbiosa fortemente grossolana della *subpopolazione 2* raggiunge termini di frequenza elevati (prossimi a 100%) solo nelle zone più vicine alla scogliera o alla falesia; mentre per valori di frequenza compresi in un range comunque superiore al 40%, si denota una distribuzione di frequenza che predilige la zona di terrazzo marino esterno alla scogliera e la zona di battigia fino all'isobata di -1 m. circa (vedi Tavola 13.m).

La frazione ghiaiosa fine appartenente alla *subpopolazione 1* raggiunge valori massimi $\geq 30\%$ circa in zone molto localizzate (due campioni) in aree di sopraflutto della scogliera; mentre, i valori più consistenti di distribuzione areale, con valori in termini percentuali $\geq 15\%$, si localizzano solo nella zona di sopraflutto della scogliera (vedi Tavola 13.m). La restante parte del sedimento presente sul fondale è quasi del tutto priva di frazione ghiaiosa della *subpopolazione 1* che raggiunge valori compresi nel range 0%-5%.

11. CONCLUSIONI

Il *Comune di Sant'Agnello (NA)*, nell'ambito del progetto per la realizzazione dell'approdo turistico di località *Marina di Cassano*, ha intrapreso le attività relative al completamento della scogliera di sopraflutto del molo esistente, dando incarico al sottoscritto *dott. geol. Salvatore Palomba* la redazione di uno studio geologico-tecnico-specialistico dotato di indagini, cartografie tematiche e relazioni.

La documentazione è stata redatta in ottemperanza a quanto stabilito dalle *Norme di Attuazione del Piano Stralcio per la Difesa delle Coste (P.S.D.C.)* redatto dall'*Autorità di Bacino Regionale della Campania Centrale (ex-Sarno)*, del settembre 2012, relativamente agli studi e rilievi geologico-geomorfologici e sedimentologici (*Cap. I, par. 1.1 e 1.2. delle N.T.A.*).

Il presente studio geologico, sedimentologico, geomorfologico ed evolutivo del tratto di litorale interessato dal progetto è stato svolto basandosi sul rilevamento di campagna (anche subacqueo), sull'analisi di prove e indagini pregresse (anni 1989 e 2006) ed appositamente effettuate (anno

2015) e sulla conoscenza dei luoghi maturata in precedenti esperienze professionali nelle aree in parola.

Per l'area di progetto è stato ricostruito il Modello geologico, idrogeologico e geomorfologico, sono stati valutati gli aspetti vegetazionali ed antropici della parte emersa e sommersa, sono state ricostruite, qualitativamente e quantitativamente, le modificazioni nel tempo: della spiaggia (emersa e sommersa), della falesia in tufo, del torrente *S. Giuseppe*, della linea di riva e dei fondali sottocosta. Infine, si sono effettuate considerazioni ed analisi sedimentologiche sui campioni di sedimento raccolti nelle campagne del 2006 e, più specificatamente, del 2015.

L'esplorazione geomorfologica diretta dei fondali, specie quelli all'esterno del porto, ha permesso di rilevare la presenza di un terrazzo di abrasione marina (-4 a -7 m.) in roccia tufacea al piede della falesia che localmente emerge dal fondale, ricoperto da sabbia e ciottoli. Il rilevamento svolto ha permesso di individuare la presenza di una scarpata che si estende dai -7 ai -13 m. di profondità, sul cui orlo si rinvenivano numerosi ciottoli poligenici. Sul fondale la diffusa presenza di *ripple* da onda testimoniano la vigorosa azione del mare, così come, la presenza ai piedi della falesia di blocchi di tufo, evidenzia la sua elevata propensione ai dissesti per frana da crollo/ribaltamento (erosione/arretramento della costa alta).

L'analisi qualitativa dell'evoluzione storica della linea di costa della *Spiaggia Caterina* (dal 1974 ad oggi) ha mostrato una sua sostanziale variazione legata alla realizzazione nel corso degli anni dei vari tratti della scogliera, caratterizzata da una iniziale significativa "*progradazione*" che poi si è recentemente (post anni 2000) stabilizzata, fino a trovarsi attualmente in fase di lenta erosione (arretramento anni 2006-15), probabilmente legato anche allo scarso apporto di sedimenti del vicino torrente *S. Giuseppe* (ormai canalizzato e intubato fino a mare negli ultimi anni).

L'analisi quantitativa delle variazioni plano-volumetriche dei sedimenti recenti (dal 2006 al 2015) del fondale e della spiaggia emersa ha evidenziato: a) per la spiaggia, un tasso di erosione volumetrica media quantizzabile in circa $3,35 \text{ cm/a per u.sup.}$, nei 9 anni di osservazione, e un tasso di spostamento rispettivamente di $0,66-0,77 \text{ m/a}$, per i valori massimi, $0,16 \text{ m/a}$ per i minimi; b) per il fondale, non sussistono (per distribuzione o per quantitativo) evidenti variazioni in termini di erosione o di accumulo nelle aree interne al porto (sostanziale stabilità per il periodo temporale considerato), se si escludono locali aree a diffusa e leggera erosione o accumulo; nella zona esterna si denota una progressiva erosione nelle zone al piede della falesia e della scogliera, con accumulo lungo la scarpata del terrazzo costiero.

Per lo *studio sedimentologico*, ai fini della caratterizzazione dei sedimenti marini e di spiaggia, si sono utilizzati:

- i dati sedimentologici e le considerazioni degli elaborati del *P.S.D.C. dell'Autorità di Bacino Regionale (ex-Sarno)* del 2012, in settori prossimi al sito d'interesse;

- i dati sedimentologici di studi pregressi, con campionamenti effettuati nel 2006 (Allegato 1 – ILAG, 2006);
- i dati sedimentologici delle campagne di campionamento appositamente effettuate nel 2015 (Allegato 4 – DIMMS, 2015 e *Studio Prisma s.r.l.*, 2015).

L'analisi sedimentologica dei 4 campioni raccolti per gli studi effettuati nel 2006 ci evidenzia che i valori di assortimento granulometrico rilevati, concordemente con quelli del *P.S.D.C.* (10 campioni), confermano che i sedimenti ricadono in prevalenza nel campo delle *sabbie* (in tal caso da *medie a grossolane*), con valori di *limo/silt* <10% (spesso anche <5%), con presenza di una frazione ghiaiosa relativamente più abbondante; ciò evidenzia una forte dinamica condizionata dal moto ondoso.

L'analisi dei dati sedimentologici, derivante dalle campagne di campionamento eseguite nel 2015 (Allegato 4 e *Studio Prisma*), evidenzia che:

per la spiaggia e la battigia:

- la spiaggia emersa è formata da sabbie per circa il 98% e quasi nulli valori di ghiaia e limo (1-2%). Essa è formata in prevalenza da sabbie medie (circa 1Φ), classificabili come “sabbie” nelle comuni classificazioni (*AGI, Shephard e Folk*), moderatamente classate (*Dev. Std.*) e meso-leptocurtotiche;
- la battigia è formata da sabbie grossolane, con percentuale di sabbie circa 62% e ghiaie 38%, prive di limi. Classificabili come “sabbia ghiaiosa” e leptocurtotiche (*Skj*).

per l'area di fondale:

- i depositi analizzati in prevalenza sono riconducibili a sedimenti *sabbiosi, medio-grossolani*. Laddove l'ondazione e la risacca è più forte, aumenta la percentuale di ghiaie (vedi aree esterne di terrazzo costiero di abrasione o interne di spiaggia sommersa), il deposito è poco assortito e leptocurtotico (appuntito); con un grado di assortimento che aumenta con la profondità del fondale. La simmetria della curva è minore e spostata verso i depositi più grossolani. Laddove, l'ondazione è minore (aree riparate interne o esterne più profonde) aumenta la frazione limosa e si riscontra un maggiore assortimento; la curva è meno appuntita (mesocurtotica) e simmetrica verso i depositi più fini;
- le suddette considerazioni sono confermate dalle analisi sulla classificazione dei sedimenti (*AGI, Shephard e Folk*) che mostrano la presenza di “sabbie” nelle zone protette di terrazzo costiero interno al porto ed a profondità elevate fuori di esso; mentre, si osservano sabbie ghiaiose e ghiaie sabbiose in zone a maggiore dinamica, quali quelle di terrazzo esterno, di imboccatura del porto e di battigia. La porzione al piede della falesia è caratterizzata da sedimenti ghiaiosi.

Le interpretazioni in chiave idrodinamica delle distribuzioni granulometriche attraverso alcuni *Modelli Sperimentali* basati sulla distribuzione delle dimensioni di un singolo campione (es. *Visher, Riviere, Doeglas, Balsillie*, ecc..), hanno prodotto i seguenti risultati:

Modello di Visher:

- tutti i campioni, di spiaggia e di fondale, hanno una prevalente componente di movimentazione per *saltazione*, una subordinata per *scorrimento/rotolamento* ed una minore per *sospensione*;
- in merito ai campioni di spiaggia si osserva che l'unico campione di battigia presenta elevati valori relativi di porzione di sedimento movimentati per *scorrimento/rotolamento* rispetto ai due restanti della spiaggia emersa;
- per i campioni di fondale, si evidenziano valori relativi più elevati di trasporto per *sospensione* nella zona di terrazzo più protetta interna al porto e per le profondità più elevate lungo la scarpata di terrazzo esterna alla scogliera; quelli di movimentazione per *scorrimento/rotolamento* di fondo sono più elevati in prossimità della spiaggia sommersa, nella zona di risacca della scogliera del porto di Piano di Sorrento e nella zona di risacca, a bassa profondità, nei pressi sia della falesia di tufo che della porzione esterna della scogliera in parola. I valori di porzione per *saltazione* sono più presenti a maggiore distanza dalla linea di costa e per profondità intermedie di terrazzo esterno e di ciglio di scarpata.

Modello di Riviere:

L'interpretazione grafico-numerica dell'*Indice di evoluzione granulometrica (N)* e la relativa interpretazione delle "*facies*" (*parabolica, logaritmica, iperbolica*) dei campioni raccolti ha evidenziato che:

- i campioni appartengono a due tipologie di curva: *Parabolica* (14 record) e *Iperbolica* (15 record);
- la zona dotata movimentazione più elevata (*facies parabolica*) si rileva in corrispondenza della spiaggia sommersa, all'imboccatura del porto, all'esterno della scogliera e nei pressi della falesia; mentre, la *facies* più "tranquilla" (*iperbolica*) si riscontra sul terrazzo interno al porto ed lungo la scarpata esterna oltre i -10 m. di profondità.

In merito ai risultati e all'interpretazione dell'*analisi dinamico-modale* e all'individuazione degli *assi di transito*, si evidenzia che:

- è stata individuata *formula modale* media dell'intera popolazione di sedimenti marini e di battigia, che così si riassume:

$$(-2,6) \times 13\% + (-0,41) \times 42\% + (1,42) \times 45\% \quad (\text{in } \Phi)$$

- si è individuata la presenza di n.3 *subpopolazioni granulometriche*, rappresentate proporzionalmente: da *sabbie medie e grossolane*, da *sabbie molto grossolane* e da *ciottoli fini*. Di esse le prime due sono percentualmente preponderanti (45% e 42%) su quella più grossolana (solo 13%);
- dall'analisi granulometrica di ciascun campione, sono state estratte le frequenze relative alle varie classi, tracciando graficamente la loro dispersione sul fondale a mezzo di *curve di isofrequenza*. A partire poi dai risultati dell'*analisi modale* di ogni campione, sono state tracciate le *linee di isodensità modale* del sedimento per ciascuna delle 3 *subpopolazioni* di cui è costituito e, successivamente, sono stati tracciati i principali *assi di transito* delle singole subpopolazioni (Tav 13.m e 13.n);
- l'analisi degli *assi di transito* evidenzia che:
 - a. per la frazione più grossolana (*subpop.1*), concentrata nei settori di sopraflutto della scogliera e della falesia esterna (freq. max 39%), si osserva un progressivo arricchimento della frazione più grossolana in queste aree (con direzione O-E nell'area di sopraflutto della scogliera ed alla base della falesia), in luogo di quella più fine (vedi *subpop.3*);
 - b. per quella intermedia (*subpop.2*), come taglia e quantità, si constatano valori di frequenza più elevati nelle aree di terrazzo costiero e di battigia. Il tracciamento degli *assi di transito* denota un progressivo arricchimento in sabbie grossolane nelle zone a maggiore movimentazione, in luogo della frazione più fine (vedi *subpop. 3*), con assi diretti sia verso la scogliera, verso la falesia e la zona di battigia interna al porto. Lungo la falesia si osserva anche un asse orientato da E verso O;
 - c. per quella più fine e più abbondante (*subpop.3*), si constatano valori di frequenza più elevati nelle aree più profonde e/o ridossate, pur avendo una elevata diffusione areale di frequenza. L'analisi derivante dal tracciamento degli *assi di transito* denota un progressivo allontanamento verso il largo dei sedimenti più fini dalla zona di sopraflutto, dal piede della falesia e dalla battigia della *Spiaggia Caterina* (per quest'ultima verso il centro dell'area ridossata del porto).

Sorrento, aprile 2017

dott. geol. Salvatore Palomba

ELENCO ALLEGATI E TAVOLE

Allegato 1: Quaderno delle indagini pregresse (sondaggi, penetrometrie e campioni)

Allegato 2: Documentazione fotografica

Allegato 3: Atlante fotografico integrativo del rilevamento (in ara) geologico e geomorfologico dei fondali.

Allegato 4: Certificati delle prove di laboratorio integrative (DIMMS, 2015).

Allegato 5: CD-ROM con files dei rilievi.

TAVOLE

Rilievi topografici/batimetrici e prelievo di campioni (spiaggia emersa, sommersa e fondali)

- a. Planimetria di rilievo con indicazione dei profili topo-batimetrici, in scala 1: 2.000;
- b. Monografia dei capisaldi;
- c. Carta batimetrica dei fondali (o delle Isobate) e topografica, con rilievo della linea di riva, in scala 1: 1.000 (su CD-ROM, in file per GIS/CAD in UTM-WGS84)
- d. DTM dei fondali e della spiaggia emersa, in scala 1: 1.000 (su CD-ROM, in file GIS in UTM-WGS84)
- e. Carta con l'ubicazione delle indagini geognostiche, dei campioni (fondali e spiaggia emersa) e dei transetti, in scala 1: 1.000;

Studio geologico e geomorfologico (spiaggia emersa, sommersa e fondali)

- f. Carta geolitologica della fascia costiera emersa, della spiaggia sommersa e dei fondali, in scala 1: 1.000
- g. Carta geomorfologica della fascia costiera emersa, della spiaggia sommersa e dei fondali, con individuazione delle frane della costa alta, in scala 1: 1.000
- h. Carta delle variazioni planimetriche e volumetriche della linea di riva, della spiaggia e dei fondali, in scala 1: 2.000

Studio sedimentologico (spiaggia emersa, sommersa e fondali)

- i. Carta della distribuzione areale dei sedimenti (argille/limi, sabbie, ghiaie), in scala 1:4.000
- j. Carta della classificazione granulometrica dei sedimenti (AGI, Shephard, Folk e contenuto in argilla/limo, sabbia e ghiaia), in scala 1: 4.000
- k. Carta della distribuzione degli Indici Sedimentologici dei sedimenti (Moda, Mediana, Diametro medio, Deviazione standard, Skewness, Kurtosis), in scala 1: 4.000
- l. Carta della distribuzione areale degli Indici Sedimentologici dei sedimenti (Moda, Mediana, Diametro medio, Deviazione standard, Skewness, Kurtosis), in scala 1: 4000
- m. Carta della dispersione dei sedimenti per ogni subpopolazione granulometrica, in scala 1: 4.000
- n. Carta della dispersione dei sedimenti, a curve di isodensità modale, con indicazione degli assi di transito per ogni subpopolazione granulometrica, in scala 1: 4.000

Studio PRISMA s.r.l.

- **Relazione** - Indagini geomorfologiche e sedimentologiche relative al progetto di completamento della scogliera antistante la spiaggia Caterina in località Marina di Cassano nel Comune di Sant'Agnello.
- **Tavola I** - DTM - Digital Terrain Model con indicazione delle isobate dell'area di indagine – scala 1:1.000.
- **Tavola II** – Side Scan Sonar fotomosaico con mappatura delle biocenosi - scala 1:1.000.
- **Tavola III** – Atlante fotografico subacqueo – scala 1:1.000.
- **Tavola IV** – Profili topo-batimetrici da PR1 a PR6 – scala 1:1.000 – e Planimetria di rilievo con indicazione dei profili topo-batimetrici – scala 1:2.000.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI:

BARUSSEAU J.P. (1973)- Evolution du Plateau continental rochelais (Golfe de Gascogne) au cours du Pleistocene terminal et de l'Holocene. Les processus actuels de la sedimentation. These Univ. Bordeaux I, pp. 1-363.

CORTEMIGLIA G.C. (1978)- Valutazione quantitativa della variazione di fondale fra la foce del Magra e il porto di Marina di Carrara ed individuazione dei principali assi di transito del trasporto litoraneo. Mem.Soc.Geol.It. 19,407-419.

CORTEMIGLIA G.C. (1978)- Le modificazioni dell'assetto strutturale del litorale di Lavagna quale fattore erosivo della spiaggia. Mem.Soc.Geol.It. 19,369-380.

CORTEMIGLIA G.C. (1978) - Applicazione di curve di isodensità carbonatica per classi granulometriche modali nello studio della dinamica litorale. Mem.Soc.Geol.It. 19,321-330.

CORTEMIGLIA G.C. (1994) – L'apport dell'analisi morfometrica allo studio del trasporto del materiale grossolano. Studi e Ricerche di geografia. XVII – 1- 1994.

FOLK R.L. & WARD W.C. (1957) - Brazos river: a study in the significance of grain size parameters. Journ. Sedim. Petrol., 27, 1, 3-26.

FOLK R.L. (1968)- Petrology of sedimentary rocks. 170 pp., Hemphill's, Austin, Texas.

KRUMBEIN W.C. (1938) – Size frequency distribution and the normal phi curve. Journ. Sed. Petrol., 8, 84-90.

SHEPARD F.P. (1954) - Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. Journal of Sedimentary Petrology, 24, 3, 151-158.

RIVIERE A. (1977) – “Méthodes granulométriques. Techniques et interprétations. Masson & Cie, Paris. 170.

UDDEN J. A. (1914) – Mechanical composition of clastic sediments Bull. Geol. Soc. Am., 25, 655-744.

VISHER G.S. (1969) - Grain size distribution and depositional processes. Journal of Sedimentology Petrology, 39, n°3, 1074-1106.

WENTWORTH C.K. (1922) – A scale of grade and class term for clastic sediments. Journ. Geol., 30, 377-392.

PENNETTA M., VALENTE A., ABATE D., BOUDILLION G., DE PIPPO T., LEONE M., TERLIZZI F. (1998) Influenza della morfologia costiera sulla circolazione e sedimentazione sulla piattaforma continentale campano-laziale tra Gaeta e Cuma (Italia meridionale). Boll. Soc. Geol. It., 117, 281-295.

DE PIPPO T., DONADIO C., PENNETTA M. (2004) – Morphological Control on sediment dispersal along the southern tyrrhenian coastal zones (Italy). Geol. Romana, 37 (2003-2004), 113-121.

AA.VV. (1977) - "Raccomandazioni sulla Programmazione ed Esecuzione delle Indagini Geotecniche". A.G.I. Associazione Geotecnica Italiana.

AA.VV. (2012) - "Relazione Geologico Marina" – REL 3 ed allegati, del Piano Stralcio di Bacino per la Difesa delle Coste, redatta da ex - Autorità di Bacino regionale del fiume Sarno, sett. 2012.

CASTIGLIONI G.B; (1986) – Geomorfologia. 421pp, UTET- Torino.

RICCI LUCCHI F. (1972-1980) - Sedimentologia, parte I, II, III. CLUEB, Bologna.

BOSELLINI A. (1991) - Introduzione alla studio delle rocce carbonatiche. Italo Bovolenta editore.

BOSELLINI A., RICCI LUCCHI F., MUTTI E. (1989) - Rocce e successioni sedimentarie. UTET.

ALVEIRINHO DIAS J. (2004) - A análise sedimentar e o conhecimentos dos sistemas marinhos. V.P., Univ.de do Algarve – Faro.