



Università degli Studi di Parma
Dipartimento di Ingegneria e Architettura
Dipartimento di Scienze della Terra

MASTER UNIVERSITARIO INTERSEDE
IN SCIENZE COSTIERE APPLICATE
ANNO ACCADEMICO 2010-11

Relazione Finale di Ricerca

*Analisi degli interventi di difesa e tendenza evolutiva
del paraggio costiero di Monterosso al Mare*

Relatori

Chiar.ma Prof.ssa Ivana Delbono
Chiar.mo Dott. Carlo Cavallo

Candidato

Dott. Giacomo Borghesi



Università degli Studi di Parma
Dipartimento di Ingegneria e Architettura
Dipartimento di Scienze della Terra

MASTER UNIVERSITARIO INTERSEDE
IN SCIENZE COSTIERE APPLICATE
ANNO ACCADEMICO 2010-11

Relazione Finale di Ricerca

*Analisi degli interventi di difesa e tendenza evolutiva
del paraggio costiero di Monterosso al Mare*

Relatori

Ivana Delbono

Prof.ssa Ivana Delbono
ENEA-CRAM S. Teresa

Carlo Cavallo

Dott. Carlo Cavallo
Regione Liguria-Settore Ecosistema Costiero

Candidato

Giacomo Borghesi

Dott. Giacomo Borghesi

INDICE

1. Introduzione	1
2. Descrizione dell'area di studio	3
2.1. Inquadramento geografico e geomorfologico	3
2.1.1. Costa alta	6
2.1.2. Costa bassa	8
2.1.3. Costa armata o artificializzata	11
2.2. Inquadramento meteo-marino	12
2.3. Inquadramento geologico	13
2.4. Bacini idrografici	15
2.4.1. Apporti sedimentari	16
2.4.1.1. Apporti naturali	16
2.4.1.2. Apporti artificiali	17
3. Analisi degli interventi antropici sulla costa	18
3.1. Opere rigide	20
3.2. Ripascimento della spiaggia di Fegina	24
3.2.1. Monitoraggio del ripascimento	27
4. Evoluzione del litorale	32
4.1. Evoluzione storica del litorale	32
4.2. Evoluzione della spiaggia emersa	35
4.2.1. Spiaggia di Fegina	37
4.2.2. Spiaggia il Gigante	39
4.2.3. Spiaggia del Borgo	40
4.3. Rilievo 2011 dell'ampiezza di spiaggia emersa	43
4.4. Morfologia ed evoluzione della spiaggia sommersa	46
5. Conclusioni	51
6. Bibliografia	53

1. Introduzione

Il presente lavoro di tesi è una sintesi ed una prima analisi del lavoro di stage svolto a conclusione del Master in Scienze Costiere Applicate presso il Dipartimento Ambiente, settore Ecosistema Costiero della Regione Liguria. Questa è attualmente impegnata nella stesura del Piano di Tutela dell'Ambiente Marino e Costiero degli Ambiti 16 "Riviera spezzina", 17 "Cinque Terre" e 18 "Magra", per i quali si prevede la redazione delle relazioni dei paraggi costieri ricadenti all'interno di tali ambiti.

Il Piano di Tutela dell'Ambiente Marino e Costiero, previsto dalla Legge Regionale n. 20/2006 ha valore di Piano territoriale di settore e persegue l'obiettivo generale della gestione integrata della fascia costiera attraverso la difesa della costa dall'erosione nonché la conservazione e la valorizzazione degli habitat marino - costieri ivi presenti. In particolare il Piano si prefigge l'obiettivo di garantire ai litorali sabbiosi e rocciosi un livello di sicurezza adeguato rispetto ai fenomeni erosivi e di dissesto derivanti dall'azione del moto ondoso, nonché di tutelare la biodiversità e gli habitat marino-costieri rispetto a quelle problematiche non ancora sufficientemente risolte dalla pianificazione e normativa ambientale vigenti.

Come previsto dalla D.G.R. 1799 del 2009, recante gli indirizzi metodologici per l'elaborazione del Piano di tutela dell'ambiente marino e costiero, il Piano è costituito dagli elaborati di seguito descritti:

- Relazione generale
- Relazioni tematiche
- Relazioni per paraggio (una per ciascun "paraggio costiero" individuato nell'unità fisiografica oggetto di analisi)
- Norme di attuazione del Piano
- Piano degli Interventi
- Piano di monitoraggio

- Cartografia

In questa sede ci si sofferma esclusivamente sul materiale scientifico raccolto ed elaborato per la Relazione del “Paraggio costiero” di Monterosso al Mare, definito come il settore di costa più rappresentativo della dinamica indotta dagli eventi ondosi annuali o con frequenza di accadimento superiore all’anno.

In particolare scopo della presente tesi è lo studio della tendenza evolutiva del paraggio costiero di Monterosso al Mare e l’analisi delle opere di difesa costiere e degli interventi antropici realizzati dalla fine dell’Ottocento ad oggi su questo tratto di litorale.

L’indagine storica delle linee di riva, svolta su base bibliografica e cartografica, ha fornito il quadro evolutivo della fascia costiera negli ultimi due secoli, mettendo in evidenza l’impatto antropico sull’evoluzione del litorale. E’ stata anche realizzato un rilievo della spiaggia emersa nel mese di Agosto 2011 al fine di avere un riscontro ad oggi della posizione della linea di riva, seppur nel massimo stagionale di ampiezza di spiaggia e alterato dalla stagione balneare.

Per lo studio della tendenza evolutiva dei fondali prospicienti il litorale di Monterosso al Mare, è stata digitalizzata una carta di scandagliamento batimetrico dell’Ottocento ed acquisito un rilievo Multibeam del 2010. Dal loro confronto è stato quindi elaborato un modello numerico di bilancio sedimentario al fine di individuare aree in erosione o di accumulo.

2. Descrizione dell'area di studio

2.1. Inquadramento geografico e geomorfologico

Il paraggio costiero di Monterosso al Mare (Codice Identificativo 69), situato all'interno del Parco Nazionale delle Cinque Terre in Provincia della Spezia, appartiene all'Unità Fisiografica Cinque Terre che si estende da Punta Mesco a Capo di Montenero (Fig. 1).

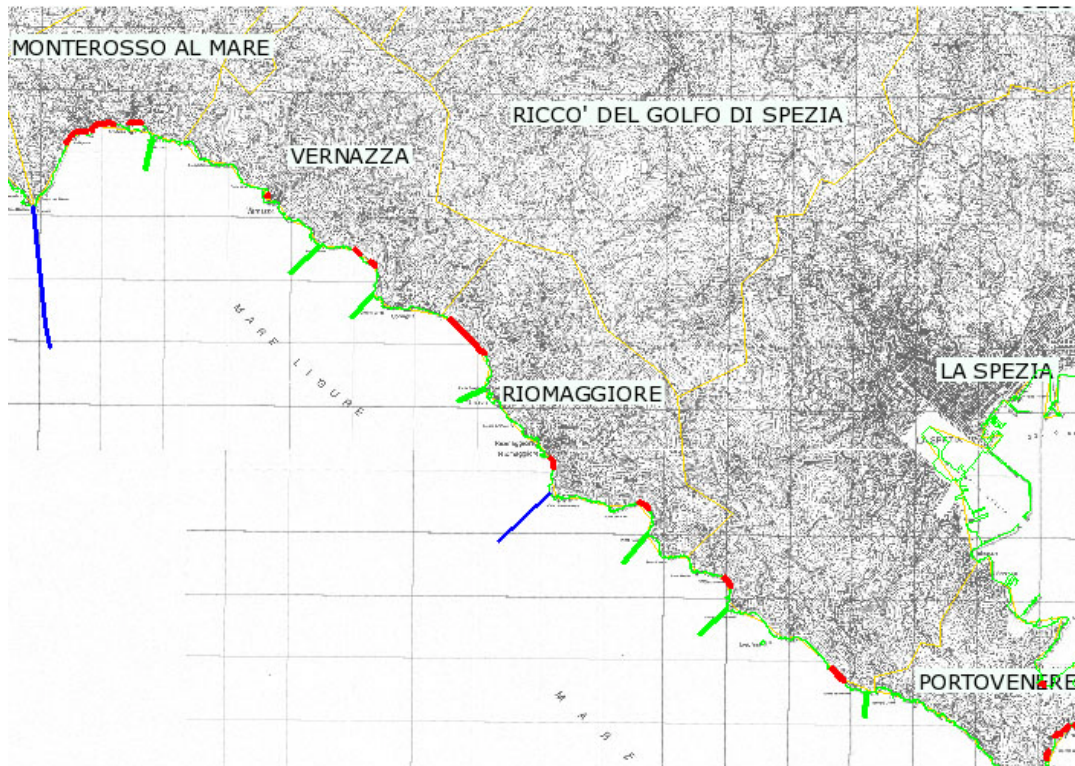


Fig. 1 - CTR 1:25000 con limiti di unità fisiografica (in blu), limiti di paraggio (in verde) e celle litorali (in rosso).

Il Piano di Tutela dell'Ambiente Marino e Costiero della Regione Liguria prevede la suddivisione del litorale regionale in ambiti territoriali, unità fisiografiche, paraggi costieri e celle litorali.

Gli **ambiti territoriali** vengono definiti come porzioni di territorio che comprendono una o più unità fisiografiche che presentano caratteristiche morfologiche simili o dimensioni tali da poter essere accomunate all'unità fisiografica adiacente.

Le **unità fisiografiche** sono aree litorali all'interno delle quali i sedimenti di spiaggia (emersa e sommersa) sono confinati e non vi sono interscambi di materiale con le unità fisiografiche limitrofe. I limiti delle unità fisiografiche possono essere costituiti sia da strutture naturali (promontori, canyon) sia artificiali (pennelli, porti, ecc.) che raggiungono batimetrie paragonabili alla profondità di chiusura della spiaggia ovvero che invertono il senso della deriva sedimentaria, interrompendo così il movimento naturale dei sedimenti lungo la costa.

I **paraggi costieri** sono settori di costa posti all'interno delle unità fisiografiche che possono essere considerati indipendenti per mareggiate ordinarie, ovvero con tempi di ritorno dell'ordine dell'anno.

Le **celle litorali** sono invece rappresentate da tratti di spiaggia che vengono considerati indipendenti in condizioni di mare calmo o con agitazioni ondose medie; esse rappresentano una suddivisione dei paraggi costieri e generalmente sono delimitate da strutture artificiali.

Il paraggio costiero di Monterosso al Mare è compreso tra due promontori rocciosi, Punta Mesco ad ovest e Punta Corone ad est, ed ha un'estensione di circa 3,5 km ricadenti interamente all'interno del territorio del Comune di Monterosso al Mare (Fig. 2). Esso può essere suddiviso in tre settori:

- **Settore Occidentale:** di circa 1,7 km, costituito dalle falesie del promontorio del Mesco, da due piccole spiagge ciottolose e dal porticciolo del circolo velico (costruito negli anni '60);

- **Settore Centrale:** di circa 1,1 km, costituito dalle spiagge di Fegina e del Gigante, con estensione totale di circa 600 m, comprese tra il porticciolo del circolo velico e il promontorio di San Cristoforo (Torre Aurora); esse sono separate da un terrapieno realizzato con i materiali di risulta dello scavo per il raddoppio della galleria ad ovest di Monterosso (costruito tra il 1963 e il 1970).
- **Settore Orientale:** di circa 700 m, si estende da punta San Cristoforo a punta Corone, ed è costituito dalla spiaggia del borgo antico e dalle falesie dei due promontori.

All'interno di quest'ultimo settore sono presenti un piccolo molo di attracco, posto nella parte orientale del promontorio di San Cristoforo, e una barriera frangiflutti emersa di lunghezza 120m (costruita nel 1984) posta a protezione della spiaggia.

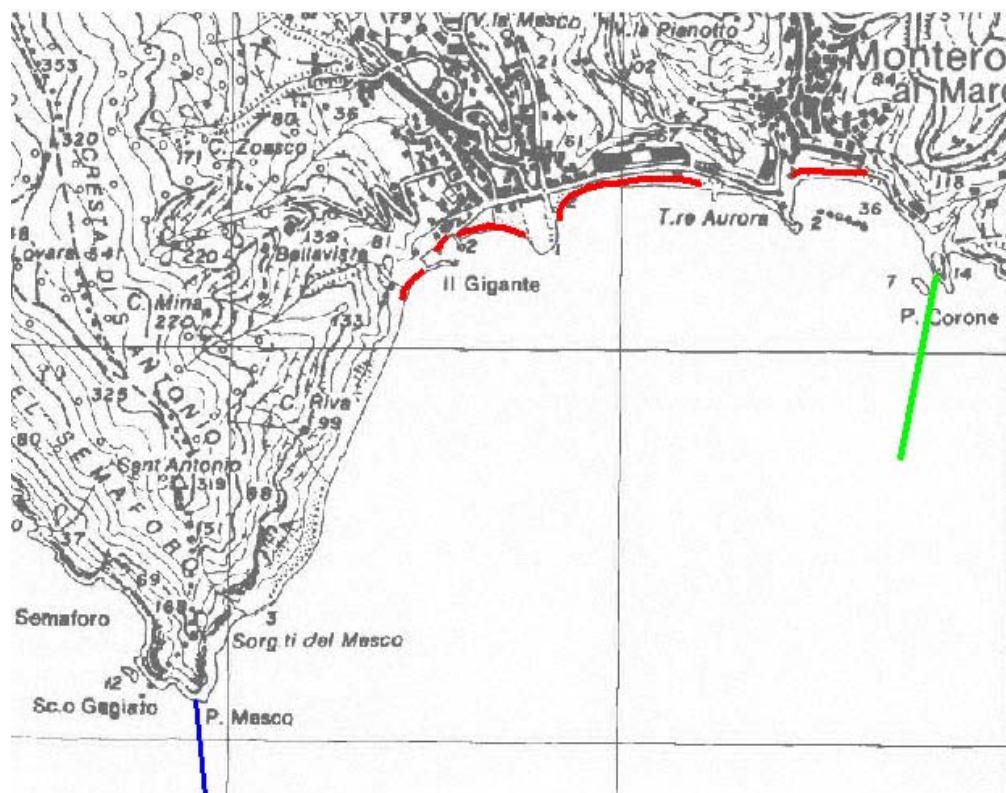


Fig. 2 - CTR 1:25000 del Paraggio costiero di Monterosso al Mare con limiti di unità fisiografica (in blu), limiti di paraggio (in verde) e celle litorali (in rosso).

All' interno del paraggio sono state individuate cinque celle litorali che da levante a ponente sono così denominate:

- **Cella: Monterosso centro** (ID 533)
Lunghezza: 184 m
- **Cella: Fegina** (ID 536)
Lunghezza: 404 m
- **Cella: Gigante** (ID 537)
Lunghezza: 172 m
- **Cella: Lega Navale** (ID 535)
Lunghezza: 37 m
- **Cella: Depuratore** (ID 534)
Lunghezza: 83 m

Il paraggio è costituito prevalentemente da tratti di costa alta e rocciosa anche se al suo interno si trovano le spiagge più grandi di tutte le Cinque Terre. La costa bassa occupa circa un quarto del litorale, ed è quasi completamente rappresentata dalle spiagge di Fegina e del Gigante; i restanti tratti di litorale sono occupati da opere di difesa radenti o moli e costituiscono la cosiddetta costa armata o artificializzata.

2.1.1.Costa alta

I tratti di costa alta rappresentano più del 46% dell'intero litorale del paraggio costiero e sono localizzati presso i promontori di punta Mesco, punta San Cristoforo e punta Corone.

Il promontorio di punta Mesco (circa 1,7 km) è costituito da un ripido versante caratterizzato da diffusa franosità e protetto al piede da vaste conoidi detritiche, costituite da materiale arenaceo, originatesi prevalentemente dai numerosi movimenti

gravitativi ed in parte derivanti dagli scarti di antiche cave di arenaria, ormai dismesse (Fig. 3).

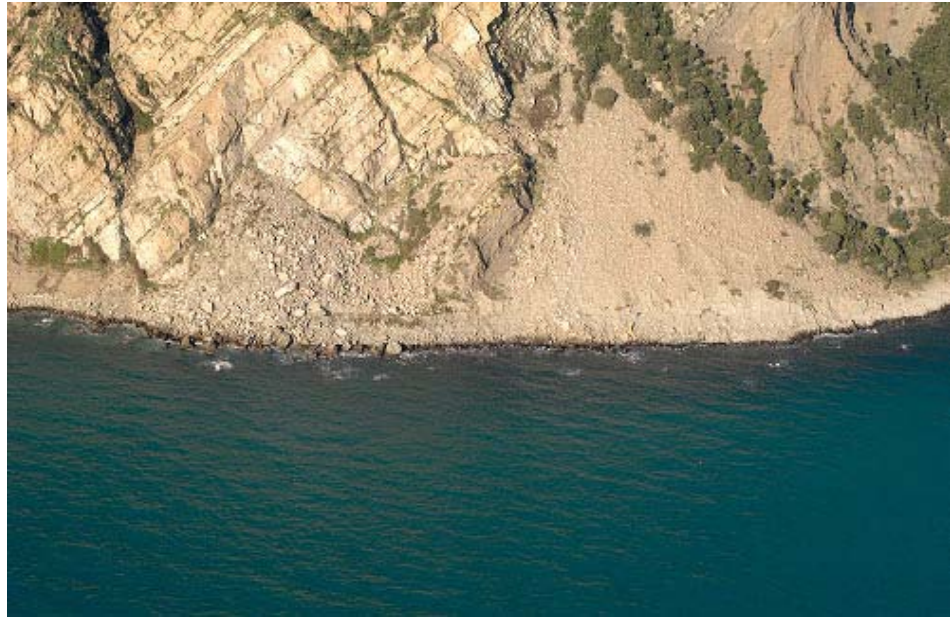


Fig. 3 - Conoidi detritiche presenti lungo il versante del promontorio del Mesco (Regione Liguria, 2010).

Dal punto di vista geologico il promontorio risulta costituito da un grosso nucleo di Ofioliti, rocce magmatiche intrusive, nella zona di radice e da una successione di formazioni sedimentarie che costituiscono la parte terminale del promontorio (Fig.4).



Fig. 4 - Promontorio di Punta Mesco (Foto Delbono I., 2004).

Nella zona di radice del promontorio sono presenti alcune piccole spiagge costituite da materiale ghiaioso-ciottoloso di origine arenacea ed un piccolo porticciolo turistico.

I promontori di San Cristoforo (circa 90 m) **e di Punta Corone** (circa 500 m) sono costituiti dalle Arenarie zonate appartenenti alla formazione del Macigno (Unità Toscana), con falesie verticali e in alcuni casi strapiombanti a picco sul mare.

2.1.2.Costa bassa

Nel paraggio di Monterosso al Mare sono presenti le più grandi spiagge di tutte le Cinque Terre; nonostante ciò i tratti di costa bassa e deposita occupano solo il 25% dell'intero litorale per un'estensione di poco inferiore ad 1km.

Le spiagge di maggiori dimensioni sono la spiaggia di Fegina, del Gigante e quella del Borgo antico di Monterosso; sono presenti altre due piccole spiagge ciottolose nei pressi della radice del promontorio del Mesco.

La spiaggia di Fegina è compresa tra il promontorio di San Cristoforo e il terrapieno, per una lunghezza di circa 500 m, ed è la più grande spiaggia del paraggio (Fig. 5).



Fig. 5 - La spiaggia di Fegina vista dal promontorio di S. Cristoforo (Foto Borghesi G., 2011)

Dagli inizi del secolo la spiaggia si è trasformata completamente, infatti ciò che oggi chiamiamo spiaggia di Fegina è ciò che resta della lunga spiaggia che si estendeva dal promontorio di San Cristoforo allo sperone roccioso del Gigante e che è stata suddivisa in due dalla realizzazione del terrapieno (anni '60 - '70) ad opera delle Ferrovie dello Stato. La realizzazione di quest'opera ha messo in crisi l'attuale spiaggia di Fegina che è entrata in erosione, per cui è stato necessario l'intervento di ricostruzione della spiaggia emersa e sommersa.

La spiaggia deposita di Fegina è costituita prevalentemente da sabbie grossolane di origine ofiolitica ed arenacee provenienti in prevalenza dal promontorio del Mesco ed in piccola parte dal bacino imbrifero del torrente Molinelli. A seguito del recente ripascimento effettuato al fine della ricostruzione della spiaggia emersa e sommersa (di seguito descritto), è stato rilevato un incremento della dimensione media

dei sedimenti costituenti la spiaggia in quanto, come previsto dal progetto, sono stati sversati materiali ghiaiosi.

La spiaggia del Gigante compresa tra l'omonimo sperone roccioso e il terrapieno ha un'estensione di circa 170 m (Fig. 6). Essa, a seguito della realizzazione del terrapieno, ha subito un forte avanzamento dovuto al fatto che il pennello intercetta gran parte del trasporto lungocosta.

La spiaggia del Gigante è caratterizzata dalla presenza di materiale eterogeneo costituito prevalentemente da sabbia grossolana e ghiaia fine di origine ofiolitica proveniente dalle falesie del Mesco.



Fig. 6 - Foto aerea prospettica della spiaggia del Gigante e delle piccole celle litorali
(Regione Liguria, 2010)

La spiaggia del borgo medievale di Monterosso ha un'estensione di poco inferiore ai 200 m ed è compresa tra il promontorio di San Cristoforo e Punta Corone (Fig. 7). Essa è costituita da materiali calcarei e arenacei provenienti per lo più dal bacino imbrifero del Rio Pastanelli (Arenarie del Macigno) che sfocia sulla spiaggia stessa (Fig. 6).



Fig. 7 - La spiaggia del borgo medievale di Monterosso al Mare (Foto Borghesi G., 2011).

Altre due piccole spiagge sono presenti alla radice del Promontorio del Mesco: una si trova all'interno del porticciolo del Circolo velico, ed ha un'estensione di poco inferiore ai 50 m, mentre la seconda si trova addossata al molo esterno del medesimo porticciolo ed ha un'estensione di 90 m. Entrambe sono costituite da materiale ghiaioso–ciottoloso proveniente dalla falesia soprastante.

2.1.3. Costa armata o artificializzata

Vengono così definiti i tratti di costa in cui sono presenti opere di difesa costiere quali pennelli, moli o banchine realizzati dall'uomo (Fig. 8).

Questo tipo di costa occupa circa il 28% dell'intero litorale, per un'estensione di circa 1 km, ed è localizzata prevalentemente presso il porticciolo del Circolo velico, l'approdo turistico del borgo antico e presso la testata del terrapieno.



Fig. 8 – Tratto di costa artificializzata presso l'approdo turistico del Borgo
(Foto Borghesi G., 2011).

2.2. Inquadrimento meteo-marino

Il paraggio costiero di Monterosso al Mare è esposto prevalentemente alle ondate di Libeccio (SW) e in secondo luogo a quelle di Scirocco (SE) (Fig. 9).

Dai dati sullo stato del mare, ricavati dalle osservazioni effettuate dall'Istituto Idrografico della Marina Militare, risulta che il paraggio è dominato da una mare stato 2-3 (60%), seguito da mare 0-1 (29%), mare 4-5 (9.6%) e mare 6-8 (0.8%).

Risulta inoltre che la direzione dominante annuale del mare sia sud-ovest (Libeccio), il mese di maggiore intensità del moto ondoso sia Marzo e il fetch massimo abbia direzione sud-ovest e lunghezza 500 miglia. L'ondata di Libeccio genera una corrente lungocosta diretta da ovest verso est.

Il tratto di litorale antistante il borgo antico risulta essere soggetto maggiormente alle ondate di scirocco poiché protetto dalle mareggiate di Libeccio dai fenomeni di rifrazione che si verificano a Punta San Cristoforo.

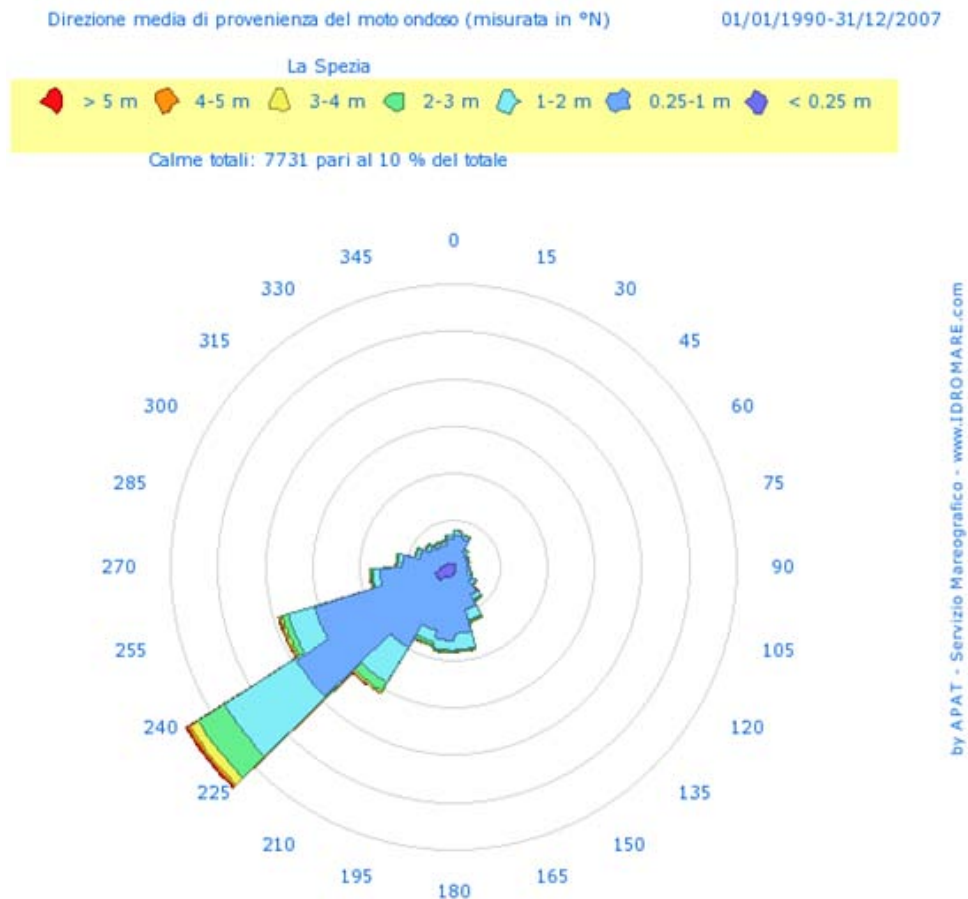


Fig. 9 - Direzione media di provenienza del moto ondoso (Ispra, 2011).

2.3. Inquadramento geologico

Dal punto di vista geologico il territorio di Monterosso al Mare è molto complesso in quanto sono presenti numerose formazioni geologiche appartenenti a differenti Unità (Unità Liguri e Falda Toscana) (Fig. 10).

La maggior parte del territorio del paraggio è occupata dalla Formazione del Macigno, appartenente al Dominio Toscano. Questa è la formazione che caratterizza maggiormente il territorio delle Cinque Terre ed è costituita da strati di spessore variabile di arenarie a grana medio-grossolana con intercalazioni di strati più sottili di argilliti siltose e peliti. Questa formazione risulta essersi formata intorno a 26 Milioni di anni fa (Mariotti, 1990).

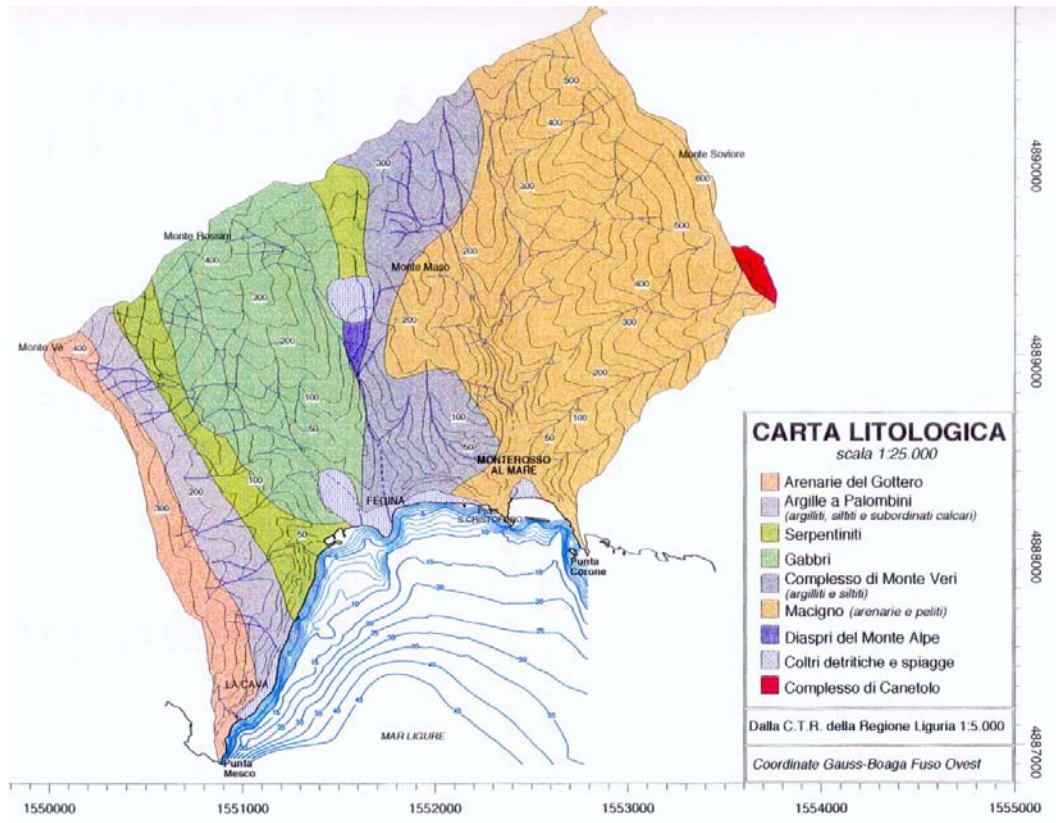


Fig. 10 - Carta litologica del paraggio costiero di Monterosso al Mare (Ruggiero, 1997).

Nel tratto centrale del paraggio costiero, sovrastante l'abitato di Fegina e la stazione ferroviaria, si trova il Complesso di Monte Veri; esso è costituito da argilliti stratificate in sottili foglietti intercalate a calcari a Palombini e siltiti. Queste rocce pare abbiano avuto origine circa 70-80 Milioni di anni fa (Mariotti, 1990).

Le formazioni appartenenti alle Unità Liguri si ritrovano esclusivamente presso il promontorio del Mesco.

La zona di saldatura tra il promontorio e la costa è costituita da un nucleo di Ofioliti appartenenti all'unità del Bracco (Gabbri e Serpentiniti). Le Ofioliti o rocce verdi sono rocce magmatiche intrusive formatesi 130–180 Milioni di anni fa (Mariotti, 1990) per lento raffreddamento del magma e successivamente sottoposte ad alterazioni.

Procedendo in direzione SW lungo il promontorio del Mesco si incontrano delle formazioni sedimentarie, denominate Argille a Palombini, adagate sul nucleo ofiolitico

ed immergenti verso sud-ovest costituite da straterelli di argilliti lamellari e siltiti con intercalazioni di calcari palombini.

Questa è una formazione sedimentaria detritica derivante da processi di erosione formatasi in ambiente marino profondo poco più di 100 Milioni di anni fa (Mariotti, 1990).

L'estremità di Punta Mesco è costituita da bancate di Arenarie del Monte Gottero che si adagiano sulle formazioni sedimentarie precedentemente descritte. Le arenarie del Monte Gottero sono una formazione sedimentaria depositatasi grazie a correnti di torbida, costituita da arenarie a grana medio-grossolana e conglomerati intervallati da strati pelitici.

2.4. Bacini idrografici

Il presente studio non si limita al solo tratto costiero ma anche alle aree retrostanti ed all'intero bacino idrografico che insiste sul paraggio di Monterosso al Mare.

Il bacino idrografico che insiste su tale costa ha estensione di 6.36 Km², all'interno del quale sono presenti numerosi corsi d'acqua a carattere torrentizio la cui portata annuale è molto modesta.

Il bacino afferente di maggior importanza presente all'interno del paraggio costiero di Monterosso è costituito dal Rio Pastanelli il quale sfocia sulla spiaggia del borgo antico. Altri due torrenti di minore importanza, il Rio Fegina e il Rio Molinelli, sfociano ai lati del terrapieno presente presso la spiaggia di Fegina e del Gigante. Il Rio Pastanelli trasporta prevalentemente sabbie e ghiaie provenienti dalla formazione del Macigno ed alimenta la spiaggia del borgo antico di Monterosso; mentre i secondi attraversano le formazioni ofiolitiche ed alimentano la spiaggia di Fegina.

Tutti e tre i canali emergono da canalizzazioni sotterranee presenti lungo il percorso che essi compiono attraverso i centri abitati e questo probabilmente ha contribuito alla riduzione degli apporti solidi dei torrenti.

Date le esigue dimensioni dei corsi d'acqua e il loro carattere torrentizio si ritiene che i loro apporti solidi siano trascurabili ed imputabili ai soli episodi di piena, per cui la principale fonte di alimentazione per le spiagge di Monterosso al Mare deriva dal detrito proveniente dalle ripide pareti rocciose del promontorio di Punta Mesco, ridistribuito dalla deriva litoranea da ovest verso est.

2.4.1. Apporti sedimentari

2.4.1.1. Apporti Naturali

La principale fonte di alimentazione del paraggio è costituita dalle falesie del promontorio del Mesco, i mari di scirocco e libeccio causano l'asporto dei materiali delle conoidi poste ai piedi delle falesie del promontorio ed un loro trasporto lungo costa da Ovest verso Est (Mariotti 1990).

Ad oggi questa risulta essere la prevalente fonte di alimentazione naturale per le spiagge del paraggio in quanto gli apporti da parte dei corsi d'acqua sono trascurabili e rilevanti solo in casi di piene eccezionali.

Nei secoli precedenti al '900 quando i corsi d'acqua erano privi di canalizzazioni ed opere di contenimento il loro trasporto solido era maggiore e contribuiva attivamente all'alimentazione delle spiagge del paraggio. Agli inizi del XX secolo, a seguito della crescente urbanizzazione del litorale, si è provveduto sempre di più a confinare i corsi d'acqua all'interno di canalizzazioni; oggi infatti essi scorrono in canali posti al di sotto del manto stradale per tutto il tratto in cui attraversano i centri abitati. Inoltre, a seguito di alcune piccole alluvioni, lungo i principali torrenti del paraggio sono state realizzate

opere atte a ridurre l'erosione della parte alta del bacino in modo da limitare il trasporto di materiale verso valle, in maniera da scongiurare il rischio di esondazione andando così a diminuire il potenziale trasporto solido dei rii locali afferenti alle spiagge.

2.4.1.2. Apporti artificiali

Molto difficile è ricostruire la storia dei versamenti artificiali effettuati nel tempo. Probabilmente i primi versamenti hanno avuto inizio verso la fine del XIX secolo, periodo in cui è avvenuta la costruzione della linea ferroviaria litoranea.

Successivamente, nel periodo 1960-1973 il materiale di scarto proveniente dalla scavo per il raddoppio della galleria ad ovest di Monterosso è stato versato in mare per la costruzione del terrapieno che oggi divide le spiagge di Fegina e del Gigante. Questo terrapieno, con una superficie di circa 10.300m², non sembra tuttavia essere costituito solamente dal materiale derivante dal raddoppio della galleria ferroviaria ma pare che sia rivestito esternamente da detrito aggiunto in seguito (Ruggiero 1997).

Negli ultimi anni è stato eseguito un ingente versamento artificiale di materiale proveniente da cava al fine di ricostruire la spiaggia emersa e sommersa di Fegina. In totale sono stati versati circa 66.000 m³ a partire dal 2005.

Sempre negli ultimi anni sono stati eseguiti alcuni ripascimenti stagionali del litorale, in particolar modo sulla spiaggia del borgo, ma dati gli esigui quantitativi di materiale versato durante ogni ripascimento non è stato possibile effettuare una stima dei volumi. Si può però affermare che data la frequenza di esecuzione degli interventi questi possano aver influito sul bilancio sedimentario recente.

3. Analisi degli interventi antropici sulla costa

Il paraggio costiero di Monterosso al Mare, come gran parte del litorale Italiano, è stato oggetto di numerosi interventi che hanno modificato notevolmente le dinamiche costiere e la morfologia del litorale.

Come descritto nel Paragrafo 2.1.3 più di 1 km di costa è occupato da diversi tipi di opere costiere che verranno descritte nel seguente capitolo.

I sistemi di protezione del litorale possono suddividersi principalmente in (Aminti e Pranzini, 1993):

- **Difese rigide** (difese aderenti, difese parallele distaccate da riva, pennelli ortogonali alla riva);
- **Difese morbide** (ripascimenti artificiali).

Le difese aderenti sono considerate opere di tipo passivo e sono posizionate a terra e poste, come dice il nome stesso, in aderenza alla linea di riva. Generalmente hanno lo scopo di proteggere infrastrutture come opere stradali e ferroviarie presenti in prossimità della linea di riva, o difendere l'entroterra da inondazioni marine conseguenti a mareggiate (Ferretti O., 2003).

Queste opere non interagiscono con il trasporto litoraneo ma comunque provocano una modifica del profilo di spiaggia in quanto innescano un processo di approfondimento dei fondali nella zona antistante l'opera dovuto alla variazione delle caratteristiche di riflessione del moto ondoso in prossimità della riva generato dall'opera stessa.

Le opere di difesa più diffuse sulle coste italiane sono le opere di difesa parallele distaccate da riva; esse sono realizzate nella maggior parte dei casi con scogliere ad asse principale parallelo, o poco inclinato, rispetto alla linea di riva in funzione della direzione di provenienza dell'onda incidente (Ferretti O., 2003).

La funzione di un sistema di barriere parallele è quella di provocare una dissipazione dell'energia del moto ondoso prima che le onde giungano sulla riva favorendo così i processi di sedimentazione con conseguente aumento della superficie della spiaggia.

Per ridurre il forte impatto ambientale sulla costa di queste opere sono state studiate e realizzate barriere sommerse; esse però forniscono un minor grado di protezione del litorale dal moto ondoso.

Le opere di difesa parallele oltre agli effetti positivi, derivanti dalla riduzione dell'energia del moto ondoso hanno anche influenze negative sulla dinamica dei sedimenti e provocano, a causa dell'aumento della riflessione del moto ondoso, un approfondimento dei fondali nella zona antistante l'opera che porta ad uno scalzamento dell'opera al piede.

Un altro tipo di opere rigide è rappresentato dai pennelli ortogonali alla riva, queste opere vengono utilizzate quando si è in presenza di un notevole trasporto solido longitudinale in quanto grazie alla loro disposizione ortogonale alla riva hanno lo scopo di arrestare in parte o completamente il trasporto litoraneo (Ferretti O., 2003).

Queste opere generano un forte accumulo nelle spiagge sopraflutto e una diminuzione del trasporto litoraneo verso le spiagge sottoflutto con una conseguente loro erosione; oltre a ciò si ha una selezione dei materiali in quanto le frazioni più grossolane tendono ad essere trattenute dal pennello mentre quelle più fini vengono sospinte oltre la testata del pennello e perse in fondali maggiori.

Le opere di difesa morbide, o ripascimenti artificiali, consistono nel rifornimento di una spiaggia con sedimenti trasportati mediante mezzi meccanici sia da terra che da mare o con impianti per il trasporto idraulico della sabbia (Aminti e Pranzini, 1993).

3.1. Opere rigide

L'intervento che maggiormente ha modificato la dinamica litorale e la morfologia litoranea del Golfo di Monterosso al Mare risulta essere la **realizzazione di un terrapieno** avvenuta negli anni tra il 1963 e il 1970 ad opera delle Ferrovie dello Stato (Fig. 11). Quest'opera, di superficie di circa 10.300 m², è stata realizzata come discarica dei materiali di risulta dello scavo per il raddoppio della galleria ad ovest di Monterosso al fine di ottenere un grande piazzale adibito a parcheggio nei mesi estivi e a campo di calcio in quelli invernali che, secondo le previsioni dell'epoca, avrebbe influito positivamente sull'economia locale dotando il paese di una struttura fondamentale per il suo sviluppo turistico.

In effetti la mancanza di un grande parcheggio poneva dei limiti allo sviluppo turistico dell'area e la sua realizzazione ha senz'altro influito positivamente sull'economia locale.

Da analisi effettuate in passato sembra che il terrapieno abbia una duplice composizione ovvero sia presente un nucleo centrale costituito da materiale ofiolitico, derivante dallo scavo della galleria ferroviaria, ed un rivestimento superficiale costituito prevalentemente da scarti di materiali da costruzione (Ruggiero 1997).

Ad oggi si può affermare che, data l'attuale morfologia della costa, il terrapieno agisca come un enorme pennello ortogonale alla linea di costa che ostacola il trasporto lungocosta del sedimento proveniente dalle falesie del Mesco (Ruggiero 1997).



Fig.11 - Foto aerea prospettica del Terrapieno (Regione Liguria 2010)

Con la realizzazione di tale opera la morfologia costiera del paraggio è stata completamente stravolta; fino agli anni '60 in Loc. Fegina era presente una lunga e stretta spiaggia che si estendeva dalla radice del promontorio di Punta Mesco fino al promontorio di San Cristoforo per un'estensione di quasi 1200 m. Attualmente, a seguito della realizzazione del terrapieno, la spiaggia di Fegina risulta essere suddivisa in due celle litorali distinte e caratterizzate da dinamiche opposte.

La cella posta sopraflutto, rappresentata dalla spiaggia del Gigante, negli anni immediatamente successivi alla realizzazione dell'opera ha subito un forte accrescimento probabilmente dovuto al versamento di parte dei materiali utilizzati per la realizzazione del terrapieno.

La cella sottoflutto, rappresentata dalla spiaggia di Fegina, ha subito lievi variazioni a seguito della realizzazione dell'opera, prevalentemente nella porzione immediatamente posta a ridosso del terrapieno che ha subito una rotazione andandosi ad appoggiare al terrapieno stesso.

Il primo ostacolo alla deriva litoranea che trasporta i sedimenti dalle pareti rocciose del promontorio del Mesco verso la parte centrale del paraggio costiero è rappresentato dal **Circolo velico** o meglio dal suo molo d'attracco (Fig. 12). Questa struttura, realizzata da un privato negli anni '60, determina una deflessione della deriva litoranea verso il largo causando così una dispersione di parte del sedimento che così non potrà andare ad alimentare le spiagge di Fegina e del Gigante.



Fig.12 - Immagine satellitare del Circolo velico e del terrapieno (Ministero dell'Ambiente, 2006)

Nel settore di levante della baia di Monterosso, presso il borgo antico, sono stati realizzati due interventi che influiscono con la dinamica litorale (Fig. 13):

Il **molo d'attracco del borgo di Monterosso**, realizzato tra gli anni '60 e '70 ridossato al versante orientale del promontorio di San Cristoforo è costituito da una banchina e da una scogliera artificiale che rappresenta la prosecuzione a mare della punta del promontorio.

In anni recenti la scogliera del molo d'attracco è stata prolungata di 25 m al fine di ottenere maggiore protezione per le imbarcazioni attraccate.

La **barriera frangiflutti emersa** parallela a costa e posta a protezione della spiaggia del borgo è stata realizzata a metà degli anni '80; essa inizialmente aveva una lunghezza di 120m ed un'emergenza di circa 1m, oggi, a seguito dei lavori di riqualificazione del litorale di Monterosso al Mare la sua lunghezza è stata ridotta di 15 m attraverso la rimozione dei massi posti nella parte occidentale a fronte di un avanzamento di 25 m del molo d'attracco.

Dall'analisi delle foto aeree scattate a partire dal 1944 è stato possibile seguire l'evoluzione della spiaggia del borgo evidenziando un forte arretramento della linea di riva negli anni precedenti alla costruzione della barriera frangiflutti, un avanzamento nei primi anni successivi alla sua costruzione seguito poi da un assestamento nella posizione attuale. Si può quindi concludere che la realizzazione della barriera abbia frenato l'erosione a cui era sottoposta la spiaggia anche se negli ultimi anni sono stati eseguiti vari ripascimenti stagionali di cui però non è stato possibile effettuare una stima dei volumi.



Fig.13 - Immagine satellitare della baia di Monterosso al Mare (Ministero dell'Ambiente, 2006)

3.2. Ripascimento della spiaggia di Fegina

La spiaggia di Fegina in anni recenti è stata oggetto di un ripascimento strutturale eseguito in più anni al fine di arginare i fenomeni di erosione in atto.

La linea di riva in alcune aree era arrivata a lambire il muro di sostegno della passeggiata pregiudicandone la stabilità; per questo al fine di ridurre i rischi di danni alla passeggiata stessa e alle infrastrutture presenti è stato redatto un progetto di ricostruzione della spiaggia emersa e sommersa in modo tale che la spiaggia stessa potesse funzionare da opera di difesa delle infrastrutture.

Questo tipo di intervento di ripascimento artificiale delle spiagge, detto anche difesa morbida , ha iniziato a prendere piede alla fine degli anni '90 e sta gradualmente sostituendo i tradizionali interventi di difesa rigida.

Il ripascimento artificiale consiste nel versamento di sedimento, avente opportune dimensioni granulometriche, proveniente da cave marine o terrestri su un tratto di litorale al fine di ricostruire la spiaggia sia per scopi balneari che per proteggere edifici o infrastrutture poste in prossimità della spiaggia stessa; il ripascimento può essere realizzato anche al fine di sostituire delle opere rigide con un intervento morbido.

Questo tipo di interventi possiede molti vantaggi rispetto alle tradizionali opere di difesa rigide in quanto risulta essere un intervento caratterizzato da una notevole semplicità che consiste nel sostituire il sedimento che non arriva più con il naturale trasporto solido con sedimento prelevato da altre aree marine o terrestri; inoltre il ripascimento determina un ampliamento della spiaggia che può portare ad un incremento del flusso turistico. Con la realizzazione di esso si evita la costruzione di opere rigide che possono avere effetti indesiderabili sia dal punto di vista ambientale - balneare che estetico e che possono rappresentare un pericolo per la balneazione.

Rispetto alle opere rigide il ripascimento artificiale possiede un grande svantaggio, quello di essere un intervento non definitivo che quindi deve essere ripetuto ciclicamente; inoltre per una sua buona riuscita è fondamentale una corretta caratterizzazione del sedimento nativo al fine di reperire materiali aventi caratteristiche granulometriche adatte ovvero aventi diametro medio uguale o di poco superiore a quello originario. Molto spesso per rendere più stabili gli interventi ed evitare la dispersione del materiale versato si progettano interventi di ripascimento artificiale protetti ovvero si realizzano, contemporaneamente al ripascimento, opere di difesa rigide come barriere sommerse e pennelli ortogonali.

Nello specifico caso il progetto di ricostruzione della spiaggia di Fegina, iniziato nel 2005 e ad oggi ancora in via di conclusione, prevede:

- L'eliminazione del pennello esistente, radicato al terrapieno, e la costruzione di un nuovo pennello (Pennello Ovest), in parte emerso ed in parte sommerso, in corrispondenza della foce del rio Molinelli avente lunghezza di 45 m nella parte emersa. e lunghezza di ulteriori 45 m nella parte sommersa;
- La costruzione di un pennello sommerso (Pennello Est), della forma approssimata ad una "T", radicato nei pressi dello scoglio del Mappasso posto a quota di -1.00 m s.l.m.;
- La costruzione del piede sommerso della spiaggia alla quota di -4.00 m s.l.m. e a distanza media di circa 75 m dalla nuova linea di battigia.
- La ricostruzione della spiaggia sommersa ed emersa mediante il versamento di circa 66.000 mc di materiale di pezzatura da 3 a 60 mm, con avanzamento medio previsto della linea di battigia di circa 10 – 15 m, per una lunghezza complessiva di 370 m.

I lavori previsti nel progetto sono stati realizzati in più lotti funzionali a partire dal tratto di spiaggia ad Ovest ove si erano verificati i massimi arretramenti della linea di riva.

- **Primo lotto funzionale (2005 - 2007)**: in questo lotto è avvenuta la rimozione del pennello esistente e la costruzione del nuovo pennello (Pennello Ovest), la costruzione di un primo tratto del piede sommerso della spiaggia e il versamento di circa 38.000 mc di materiale.
- **Secondo lotto funzionale (2008 – 2011)**: con questo secondo lotto si è completato l'intervento mediante la realizzazione del pennello sommerso posto presso lo Scoglio Mappasso (Pennello Est), il prolungamento del piede sommerso della spiaggia fino al raccordo con il Pennello Est ed il versamento di ulteriori 28.000 mc di materiale.

Questo lotto è ancora oggi in fase di completamento in quanto è previsto che, a fine stagione balneare 2011, vengano versati 6.000 mc di materiale che permetteranno di raggiungere il quantitativo totale previsto di circa 28.000 mc.

Per il ripascimento della spiaggia di Fegina è stato scelto di utilizzare materiale proveniente da una cava sita in Comune di Framura in quanto da essa vengono estratti materiali che sono risultati compatibili con quelli presenti sulla spiaggia di Fegina. Dalle analisi effettuate dal Dipartimento Provinciale di La Spezia di ARPAL sui campioni di materiale estratto dalla cava emerge che esso è formato da affioramenti di gabbro e quindi presenta caratteristiche ambientali compatibili con il sedimento nativo presente sul litorale che risulta essere composto in prevalenza da ciottoli e sabbie grossolane derivanti da formazioni calcaree, arenacee e ofiolitiche. Inoltre, dalle analisi granulometriche eseguite sempre dal Dipartimento Provinciale di La Spezia di ARPAL, risulta che i materiali provenienti dalla cava rispettino appieno le indicazioni previste

dalla Deliberazione Regionale n.253 del 2005 per le aree sensibili, ovvero presentino una percentuale di materiale pelitico inferiore al 5%.

Tab.1 Computo metrico totale del Ripascimento della spiaggia di Fegina

TIPOLOGIA DI MATERIALE	UTILIZZO	LOTTO 1 (mc)	LOTTO 2 (mc)	TOTALE (mc)
Massi	Opera al piede	2008	3646	5654
Massi	Pennelli	4896	6800	11696
Pietrisco 3 - 60 mm	Ripascimento	37796	28094	65890

3.2.1. Monitoraggio del ripascimento

Come previsto dalla D.G.R. 1793 del 2005 al fine di valutare l'evoluzione delle caratteristiche fisiche e geomorfologiche del litorale interessato dai lavori di ricostruzione della spiaggia di Fegina è stata avviata una campagna di monitoraggio a partire dal maggio 2007; questa campagna è tutt'oggi ancora in esecuzione come lo sono ancora i lavori di ripascimento della spiaggia.

Il monitoraggio ha previsto rilievi topografici a terra, rilievi batimetrici e rilievi sedimentologici sia della spiaggia emersa che sommersa, tutti eseguiti con cadenza annuale.

Dall'analisi dei **rilievi topografici** eseguiti negli anni 2007, 2008 e 2009 emerge che la spiaggia presenta ampiezze variabili da 14 m fino a 40 m ed un andamento piuttosto regolare con le quote che degradano con gradualità verso mare (Fig. 14).

Confrontando i dati del 2007 con quelli pre-opera si nota un forte avanzamento della linea di riva nell'area Ovest (circa 18 m) ed un modesto avanzamento nel settore centrale (circa 8 m); in questi settori sono stati effettuati i versamenti del I lotto del ripascimento.

Nel 2008 non si sono registrate rilevanti modifiche della linea di riva che risulta essere pressoché stabile ma si è registrato un innalzamento delle quote della spiaggia

di circa 10-20 cm rispetto al 2007, ciò indica la presenza di maggior quantità di materiale sulla spiaggia emersa.

Nel 2009 si è registrato un importante avanzamento della linea di riva nella parte orientale della spiaggia in quanto questa zona era oggetto dei lavori del II lotto del ripascimento; gli avanzamenti registrati risultano essere di circa 7 m rispetto al 2008 ed anche in questo caso le quote risultano essere più alte di circa 10-20 cm rispetto a quelle dell'anno precedente.

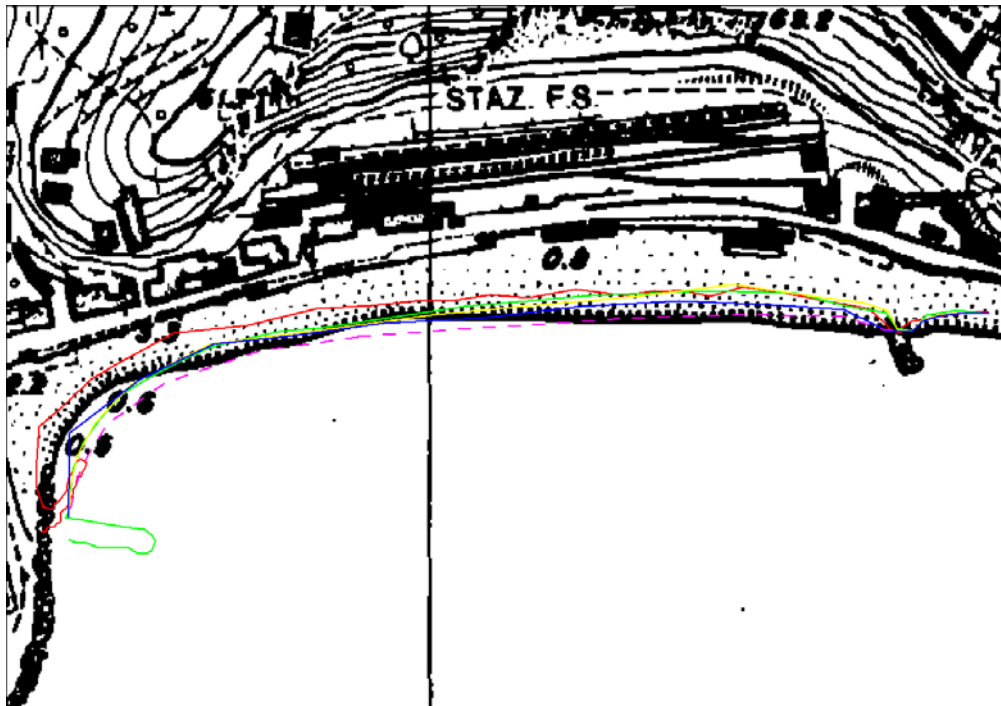


Fig.14 - Linee di riva anni: 2004 (in rosso), 2007 (in verde), 2008 (in giallo), 2009 (in blu) e 2011 (tratteggio violetto)

Il rilievo sedimentologico è stato eseguito mediante il prelievo, a cadenza annuale, di 9 campioni di sedimento lungo 3 transetti perpendicolari a costa compresi tra la battigia e i 6 m di profondità ad esclusione del campionamento eseguito nell'anno 2010 in cui sono stati prelevati 9 campioni di spiaggia sommersa alle batimetriche dei -3m, -5m e -8m lungo 3 transetti perpendicolari alla riva. Ad un esame visivo la spiaggia emersa nel 2007, a seguito dell'esecuzione del I lotto di ripascimento, presenta una

composizione eterogenea con alternanza di materiale preesistente in loco e materiale versato a seguito dei ripascimenti; risulta comunque evidente, in alcune aree, la differenza tra il sedimento nativo più sabbioso, in genere addossato al muro di sostegno della passeggiata, e i materiali ghiaiosi di ripascimento che occupano la fascia a mare (Fig. 15).

Negli anni a seguire si assiste ad una maggiore compenetrazione tra i sedimenti nativi e quelli versati a seguito del ripascimento anche se persiste in alcune aree la differenza tra i sedimenti nativi più sabbiosi, generalmente addossati al muro di sostegno della passeggiata, e i materiali più ghiaiosi di ripascimento che occupano la fascia a mare. Ovviamente questa maggiore compenetrazione tra sedimenti si verifica solo nelle aree in cui è stato effettuato il I lotto di ripascimento e non in quelle in cui sono in corso i lavori del II lotto.



Fig. 15 – Spiaggia emersa, si noti la differente granulometria dei sedimenti (Borghesi G., 2011)

Facendo un confronto tra i sedimenti prelevati negli anni 2007, 2008 e 2009 sulla battigia si evidenzia un forte incremento della granulometria, si passa infatti dalla presenza di sabbia grossolana, nel 2007, alla presenza di ghiaia a granulometria medio-fine nel 2009 (Tab. 2). Tale aumento è imputabile alle operazioni di ripascimento che sono avvenute sul litorale in quanto il materiale che è stato riportato risulta essere ghiaioso con granulometria compresa tra i 3 e i 60 mm.

Tab. 2 Confronto sedimenti prelevati sulla battigia (anni 2007, 2008, 2009). In giallo la classe granulometrica percentualmente più rilevante.

CAMPIONE	Mz(phi)	Mz(mm)	>64 mm	Gravel					Sand				
				Very Coarse	Coarse	Medium	Fine	Very Fine	Very Coarse	Coarse	Medium	Fine	Very Fine
				>32mm	>16mm	>8mm	>4mm	>2mm	>1mm	>500µ	>250µ	>125µ	>63µ
A1(2007)	-0,347	1,27	0,0%	0,0%	0,0%	5,9%	21,1%	28,9%	41,1%	2,7%	0,3%	0,0%	0,0%
A1(2008)	-1,866	3,65	0,0%	3,3%	4,7%	28,8%	53,7%	9,1%	0,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
A1(2009)	-2,915	7,54	0,0%	17,2%	43,3%	15,5%	13,8%	7,8%	2,0%	0,3%	0,0%	0,0%	0,0%
B1(2007)	1,157	0,45	0,0%	0,0%	2,4%	3,3%	1,2%	4,1%	21,4%	55,8%	11,7%	0,1%	0,0%
B1(2008)	-2,080	4,23	0,0%	3,1%	13,3%	35,0%	39,1%	1,6%	0,7%	6,1%	1,1%	0,0%	0,0%
B1(2009)	-2,257	4,78	0,0%	0,0%	31,8%	31,7%	18,7%	12,1%	5,2%	0,4%	0,1%	0,0%	0,0%
C1(2007)	-2,074	4,21	0,0%	9,8%	22,7%	17,5%	18,1%	30,9%	0,9%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
C1(2008)	-2,292	4,90	0,0%	1,8%	25,2%	26,0%	46,5%	0,6%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
C1(2009)	-2,831	7,12	0,0%	18,3%	15,3%	45,0%	20,2%	1,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Confrontando la granulometria dei sedimenti della spiaggia sommersa prelevati negli anni 2007, 2008 e 2009 non si evidenziano significative modificazioni delle caratteristiche granulometriche dei sedimenti anche se nel 2007 il diametro medio alle profondità rilevate risulta essere compreso tra 0.15 mm e 0.21mm mentre nel 2009 è compreso tra 0.18 mm e 0.25 mm (Tab. 3). La granulometria della spiaggia sommersa risulta essere piuttosto regolare, con diametri medi progressivamente decrescenti procedendo verso il largo.

Tab. 3 Sedimenti di spiaggia sommersa: sintesi delle analisi granulometriche.

2007			
CAMPIONE	Z	Mz(phi)	Mz(mm)
A2	-3,1	2,206	0,22
A3	-6,0	2,575	0,17
B2	-4,0	0,884	0,54
B3	-6,0	2,282	0,21
C2	-5,0	2,163	0,22
C3	-6,1	2,514	0,18

2008			
CAMPIONE	Z	Mz(phi)	Mz(mm)
A2	-3,0	0,282	0,82
A3	-6,2	2,094	0,23
B2	-4,1	2,064	0,24
B3	-5,9	2,288	0,20
C2	-5,0	2,339	0,20
C3	-6,5	2,504	0,18

2009			
CAMP	Z	Mz(phi)	Mz(mm)
A2	-3,0	2,017	0,25
A3	-5,2	2,191	0,22
B2	-4,0	2,009	0,25
B3	-5,7	2,529	0,17
C2	-4,7	-1,295	2,45
C3	-6,5	2,432	0,19

4. Evoluzione del litorale

4.1. Evoluzione storica del litorale

Dall'analisi delle cartografie storiche e delle foto di inizio '900 si nota una forte espansione degli abitati di Fegina e di Monterosso al Mare, questa espansione ha determinato un forte avanzamento delle opere antropiche verso mare; agli inizi del XX secolo la spiaggia, nel settore centrale di Fegina, lambiva le poche case presenti, negli anni a seguire sono state realizzate numerose costruzioni che hanno occupato vaste aree di spiaggia, tant'è che oggi di fronte alle case è presente una strada ed un'ampia passeggiata nonché, in alcuni tratti, dei piccoli giardini (Fig. 16).



Fig.16 - Litorale di Fegina all'inizio del XX secolo

Lo stesso è accaduto presso la spiaggia del borgo, le foto di inizio '900 mostrano una grande spiaggia che raggiunge il ponte ferroviario, anch'esso realizzato, alla fine dell'800, sulla parte terminale della spiaggia (Fig.17); oggi la spiaggia non

raggiunge più il ponte ferroviario in quanto sono state realizzate delle piazze e spazi verdi tra esso e la spiaggia.



Fig.17 - Spiaggia del Borgo di Monterosso al Mare agli inizi del XX secolo

Per ciò che riguarda le spiagge si può affermare che esse dagli inizi del '900 siano arretrate di svariati metri. Questo arretramento è più evidente in alcuni settori del litorale e meno in altri. Ad esempio il settore orientale della spiaggia di Fegina ha subito un forte arretramento come mostrato dal confronto tra le foto storiche di inizio '900 e quelle attuali (Fig. 18 e Fig. 19). Le foto storiche mostrano che il masso "Mappasso" era quasi completamente inglobato nella spiaggia e che quest'ultima raggiungeva il promontorio di San Cristoforo con una discreta ampiezza, ad oggi il masso è collegato alla spiaggia solamente da una piccola cuspide e la spiaggia, posta a ridosso del promontorio, è oggi scomparsa ed è stata sostituita da massi posti a protezione della falesia soprastante.



Fig.18 - Lungomare di Fegina agli inizi del XX secolo



Fig.19 - Lungomare di Fegina ai giorni nostri (Borghesi G., 2011)

Il forte sviluppo economico e turistico del litorale ha portato le comunità locali anche a costruire opere marittime quali il porticciolo del circolo velico e l'approdo turistico presso il borgo di Monterosso utilizzato per l'attracco dei traghetti che trasportano i turisti lungo l'intero tratto costiero delle Cinque Terre.

4.2. Evoluzione della spiaggia emersa

Attualmente nel paraggio costiero di Monterosso al Mare sono presenti tre grandi spiagge emerse, due delle quali poste presso l'abitato di Fegina ed una presso il borgo antico di Monterosso.

Presso l'abitato di Fegina vi sono la cella litorale denominata Fegina, composta dalla spiaggia posta a levante del terrapieno e la cella litorale denominata Il Gigante, posta a ponente rispetto al terrapieno (Fig. 20).

La cella Fegina si estende dalla radice del promontorio di San Cristoforo fino al lato orientale del terrapieno per un totale di 404 m e un'ampiezza che varia tra un massimo di 35 m e un minimo di circa 20 m. Essa forma un piccolo tombolo in corrispondenza del masso "Mappasso" che si trova all'estremo orientale della spiaggia.

La cella del Gigante si estende dal lato occidentale del terrapieno fino allo sperone roccioso del Gigante posto in prossimità della scogliera artificiale che delimita il Circolo velico, essa ha un'estensione di circa 172 m ed un'ampiezza che varia tra i 60 m, nella sua parte più ampia e prossima al terrapieno, e i 16 m nella parte occidentale.



Fig. 20 - Immagine satellitare del litorale di Fegina con le spiagge de Il Gigante e di Fegina

(Ministero dell'Ambiente, 2006)

Queste due celle litorali sono ciò che oggi rimane della grande spiaggia di Fegina che agli inizi del secolo scorso si estendeva dalla radice del promontorio di San Cristoforo fino a quasi metà del promontorio di Punta Mesco, ben oltre di dove oggi è presente il Circolo velico, per un'estensione totale di oltre 1200 m. Questa spiaggia, caratterizzata da un'ampiezza esigua soprattutto nella sua parte occidentale, comprendeva le attuali spiagge di Fegina e de Il Gigante, il terrapieno e il Circolo Velico.

La nuova configurazione del litorale si è venuta a creare nella seconda metà del '900 quando, a partire dagli anni '60, si è iniziato a realizzare dapprima il Circolo velico e successivamente il terrapieno. Queste opere, come precedentemente descritto, risultano essere quelle che maggiormente hanno modificato le dinamiche costiere del litorale ed in particolar modo l'opera che ha creato il maggior impatto risulta essere il terrapieno, in quanto con la sua costruzione si è proceduto alla compartimentazione della spiaggia di Fegina e si è posto un grosso ostacolo alla deriva litoranea che distribuisce i sedimenti provenienti dalle pareti del promontorio del Mesco lungo l'intero litorale.

Presso il borgo antico di Monterosso al Mare è presente una piccola spiaggia compresa tra il promontorio di punta Corone e l'approdo turistico realizzato lungo il versante orientale del promontorio di San Cristoforo (Fig.21); essa oggi ha un'estensione di poco inferiore ai 200 m ed un'ampiezza massima, nella sua parte centrale, di circa 40 m.



Fig. 21 - Foto aerea prospettica della spiaggia del borgo antico di Monterosso al Mare
(Regione Liguria, 2010)

4.2.1. Spiaggia di Fegina

Analizzando la linea di riva estrapolata da un volo aereo del 1973 e confrontandola con quella estrapolata da un precedente volo del 1944 si nota come la porzione di spiaggia più occidentale abbia ruotato appoggiandosi al terrapieno. Nello stesso periodo nella porzione più orientale si assiste ad un avanzamento della linea di riva probabilmente dovuto al materiale riversato in mare per la costruzione del terrapieno (Fig. 22).

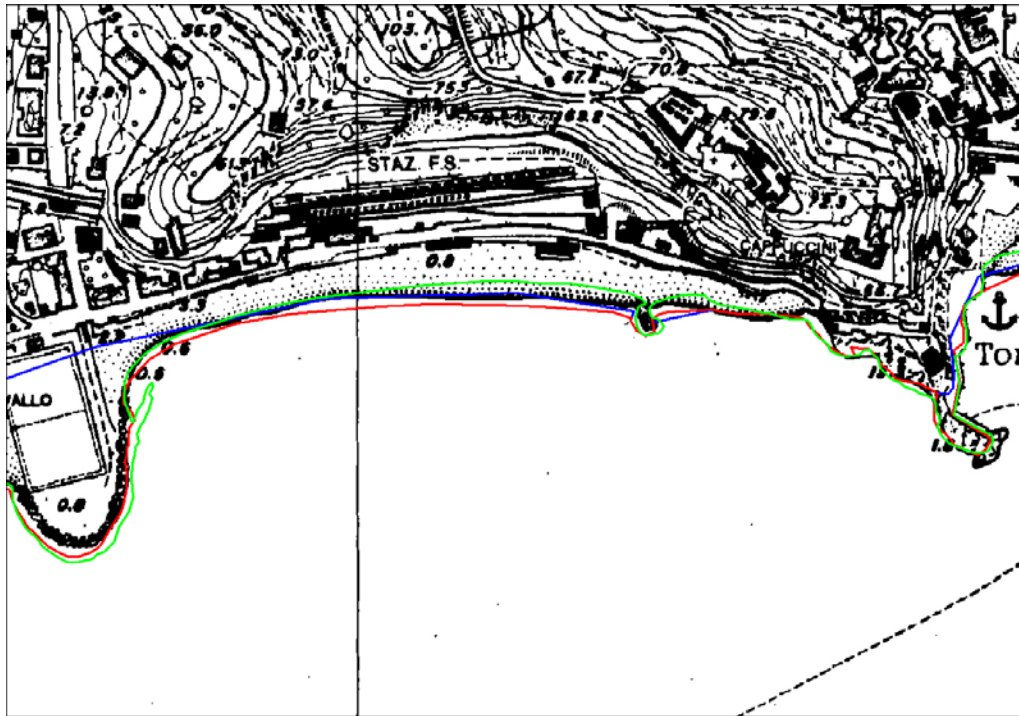


Fig. 22 - Confronto tra le linee di riva del 1944 (in blu), del 1973 (in rosso) e del 2003 (in verde).

Negli anni a seguire il 1973 si assiste ad un graduale arretramento della linea di riva che risulta essere più accentuato nel settore di levante in prossimità del masso "Mappasso", tratto maggiormente soggetto alle ondate di Libeccio. Questo forte arretramento nella porzione di spiaggia presso la radice del promontorio di San Cristoforo ha richiesto la posa in loco di massi al fine di proteggere il piede della falesia dallo scalzamento indotto dal moto ondoso.

Negli anni '90 viene realizzato un piccolo pennello a protezione della porzione di spiaggia addossata al terrapieno ma la costruzione di tale opera non pare essere efficace nel limitare l'erosione del litorale in quanto si è continuato ad assistere ad un arretramento della linea di riva lungo tutta la spiaggia di Fegina.

Questo continuo arretramento della linea di riva ha portato alla progettazione di un intervento di ricostruzione della spiaggia emersa e sommersa di Fegina al fine di ricostruire la spiaggia, fondamentale per la fruibilità turistica dell'area, e proteggere le

infrastrutture poste nella parte retrostante la spiaggia stessa che rischiavano di essere compromesse dalle forti mareggiate invernali data l'esigua ampiezza della spiaggia. Questo progetto, tutt'oggi in corso, prevede la ricostruzione della spiaggia, con versamenti di materiale di granulometria e caratteristiche litologiche adeguate, e la protezione dell'intervento mediante opere di difesa in massi, consistenti in un pennello parzialmente emerso sul lato Ovest, un'opera al piede in massi a sostegno della spiaggia e un pennello sommerso sul lato Est, in corrispondenza del masso "Mappasso", per difendere la nuova spiaggia ed evitare dispersioni di materiale.

4.2.2.Spiaggia "Il Gigante"

Confrontando le linee di riva estrapolate dai voli aerei del 1944 e del 1973 si nota come in questo arco temporale la spiaggia abbia cambiato completamente disposizione della falcata a causa della realizzazione delle opere antropiche precedentemente descritte ed in particolar modo a causa della realizzazione del terrapieno.

Tra il 1944 e il 1973 la spiaggia del gigante ha assunto una forma arcuata andandosi ad appoggiare al terrapieno ed è avanzata di circa 80 m nella porzione posta a ridosso del terrapieno e circa 10 m nel tratto presso lo sperone roccioso del Gigante probabilmente a causa del versamento di parte dei materiali utilizzati per la realizzazione del terrapieno (Fig. 23).

Negli anni a seguire e fino ad oggi la spiaggia sembra aver raggiunto una condizione di stabilità in cui la morfologia della spiaggia emersa resta pressoché invariata anche se negli ultimi anni si evidenzia un leggero arretramento della linea di riva.



Fig. 23 - Confronto tra le linee di riva del 1944 (in blu), del 1973 (in rosso) e del 2003 (in verde)
(Ministero dell'Ambiente, 2006).

4.2.3. Spiaggia del Borgo

Le foto aeree zenitali scattate a partire dal 1944 hanno permesso di tracciare la linea di riva degli ultimi 60 anni evidenziando i cambiamenti della spiaggia (Fig. 24). Nel 1944 la spiaggia non era protetta da alcuna opera di difesa, ancora non esisteva l'approdo turistico ed essa raggiungeva la massima ampiezza registrata in quest'arco di tempo. Oggi la spiaggia è protetta da un'opera di difesa parallela e da un pennello posto a difesa dell'approdo. Tra il 1944 e il 1973 venne realizzato l'approdo turistico nel versante orientale del promontorio di San Cristoforo e a difesa di questo venne realizzata una scogliera artificiale rappresentante la continuazione della punta del promontorio. La realizzazione di queste opere provocò una rotazione della falcatura della porzione occidentale della spiaggia

verso sud con un conseguente accrescimento della spiaggia a ridosso dell'approdo di circa 12 metri e un arretramento di pochi metri nella parte centrale.

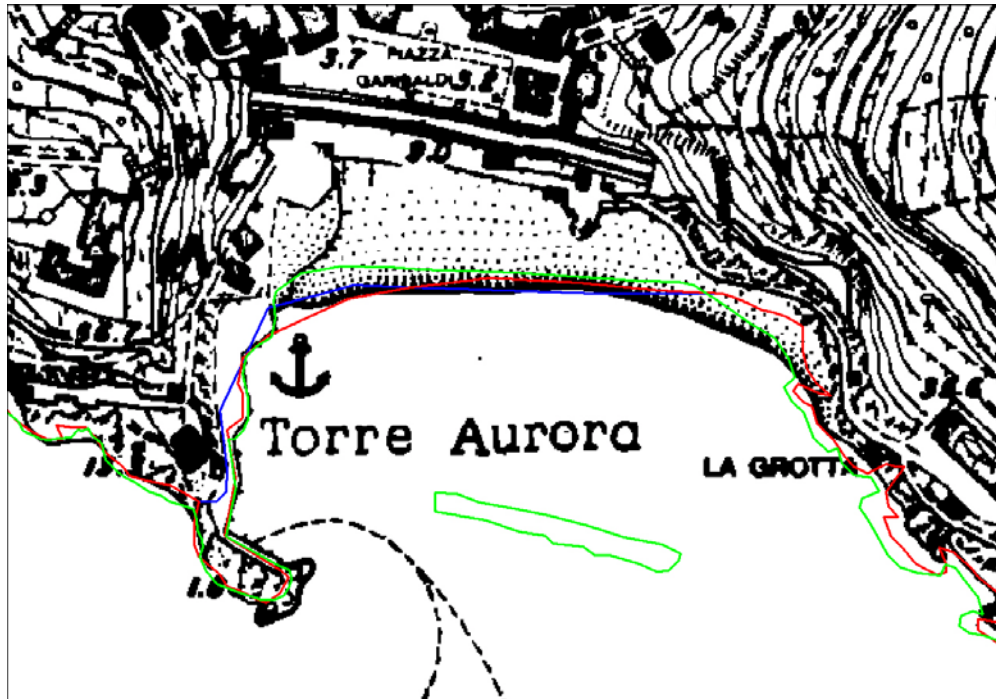


Fig. 24 - Confronto tra le linee di riva del 1944 (in blu), del 1973 (in rosso) e del 2003 (in verde).

Nei 10 anni successivi (1973-1983) si assiste ad un forte arretramento della linea di riva che raggiunge il massimo arretramento registrato dal 1944 ad oggi; rispetto alla posizione della linea di riva del 1973 si ha un arretramento di circa 18 m nella parte a ridosso dell'approdo e di circa 6 m nel settore orientale della spiaggia.

Tra il 1983 e il 1993 viene realizzata la barriera emersa di protezione della spiaggia, posta ad un centinaio di metri di distanza dalla linea di riva, avente lunghezza 120 m ed emergente per 1 m. La realizzazione di tale opera ha provocato un forte avanzamento della linea di riva del 1993 e conferito alla spiaggia una forma rettilinea; nella parte centrale si sono registrati avanzamenti di circa 12 m (Fig. 25). Data l'inclinazione della scogliera l'effetto di protezione di questa pare essere maggiore nel settore orientale della spiaggia e ridotto nel settore a ridosso dell'approdo.

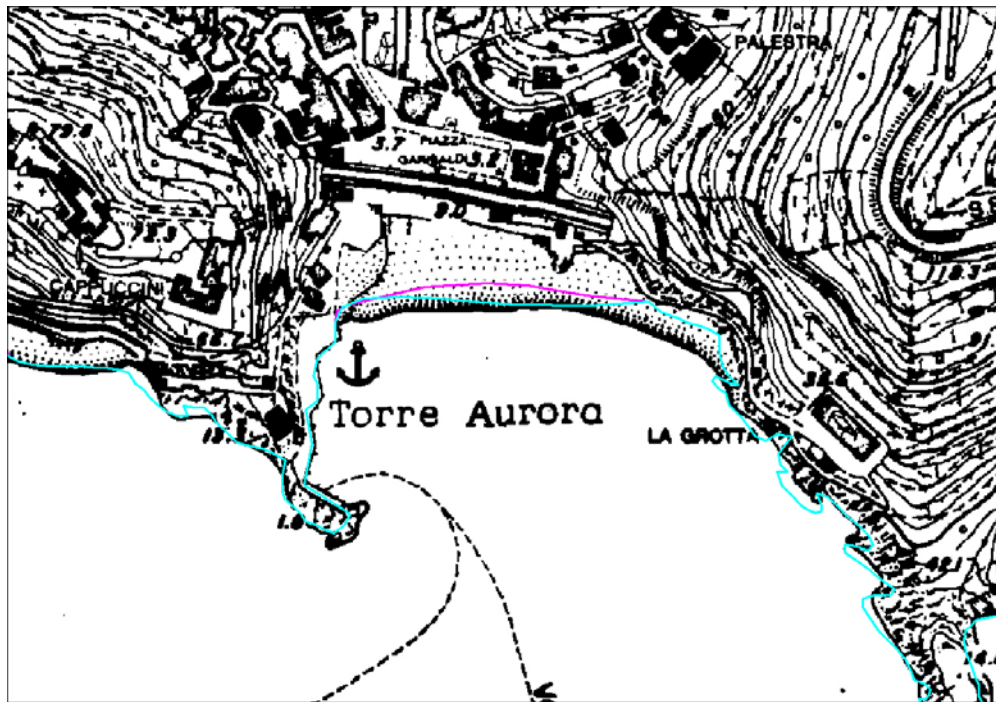


Fig. 25 - Confronto tra le linee di riva del 1983 (in violetto) e del 1993 (in azzurro).

Analizzando le linee di riva tracciate negli anni successivi al 1993, la situazione appare stabile in quanto sia la conformazione che l'ampiezza della spiaggia sembrano rimanere pressoché invariate.

Bisogna però aggiungere che più volte questo tratto di spiaggia è stato oggetto di interventi di ripascimento stagionali; vengono così definiti, nell'Allegato I della D.G.R. 1446 del 2009, tutti quegli interventi di ripascimento in cui il volume di materiale impiegato non è superiore a $10 \text{ m}^3/\text{m}$ lineare di spiaggia, riferiti alla lunghezza della cella litorale.

Siccome tali interventi di ripascimento stagionale sono stati ripetuti periodicamente e realizzati mediante versamenti di ridotti volumi in questa trattazione non se ne farà un'analisi dettagliata ma si ritiene più interessante focalizzare l'attenzione su un importante intervento progettuale di ricostruzione della spiaggia di Fegina.

4.3. Rilievo 2011 dell'ampiezza di spiaggia emersa

Nel corso della stesura di questa tesi sono state svolte alcune misurazioni sul campo indirizzate a rilevare l'ampiezza delle spiagge del paraggio. Per ognuna delle tre principali spiagge sono state eseguite due misurazioni dell'ampiezza della spiaggia emersa in punti significativi al fine di avere un riscontro dell'attuale posizione della linea di riva, seppur nel massimo stagionale di ampiezza.

Le misurazioni sono state effettuate mediante rotella metrica, misuratore laser e, al fine di localizzare il punto di misurazione, è stato preso il punto GPS mediante un semplice ricevitore GPS; ogni misura è stata corredata inoltre di documentazione fotografica dell'area.

Per la spiaggia del Gigante il rilievo effettuato può essere confrontato solamente con la linea di riva rilevata nel 2003 in quanto non esistono dati più aggiornati, da questo confronto emerge un arretramento di circa 5 m nel tratto di spiaggia posto a ridosso del terrapieno, mentre nel tratto a ridosso dello sperone roccioso del Gigante non è emersa alcuna significativa variazione della linea di riva (Fig. 26).



Fig. 26 - Confronto tra la linea di riva del 2003 (in azzurro) e il rilievo 2011 (in tratteggio Violetto).

Per quanto riguarda la spiaggia di Fegina è stato effettuato un confronto tra i dati rilevati nel 2011 e le linee di riva rilevate negli anni 2004, rilievo precedente al ripascimento, 2007 e 2009, rilievi eseguiti a seguito delle operazioni di ripascimento (Fig. 27).

Nei punti in cui sono state effettuate le misurazioni risulta che l'attuale linea di riva sia la più protesa verso mare ed in particolare emerge un avanzamento di circa 12 m rispetto alla linea di riva del 2004 conformemente a quanto previsto dal progetto di ripascimento. Rispetto alla linea di riva 2009 rilevata a seguito del ripascimento risulta, nei punti in cui sono state eseguite le misurazioni, un avanzamento di circa 5 m.

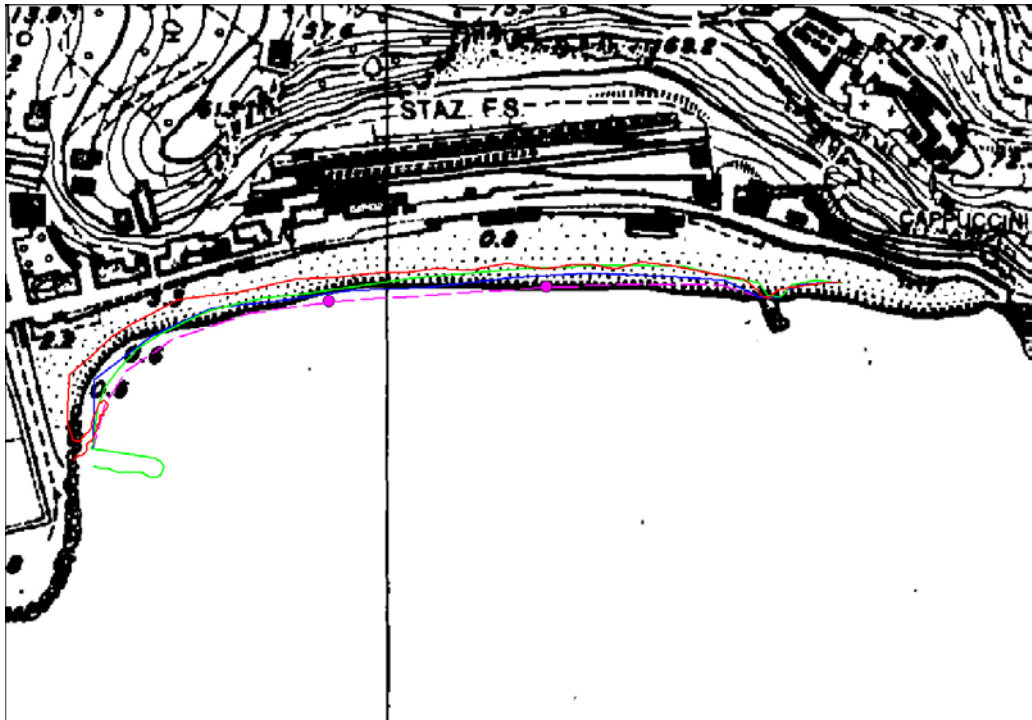


Fig. 27 - Confronto tra le linee di riva del 2004 (in rosso), del 2007 (in verde), del 2009 (in blu) e il rilievo 2011 (in tratteggio violetto).

Sulla spiaggia del Borgo antico è stata effettuata un'unica misurazione dell'ampiezza della spiaggia emersa in quanto la linea di riva risulta essere pressoché rettilinea.

Dal confronto tra la misurazione attuale e le linee di riva precedenti, tracciate negli anni 2007 e 2009, emerge un avanzamento della linea di riva di circa 5 m (Fig. 28).

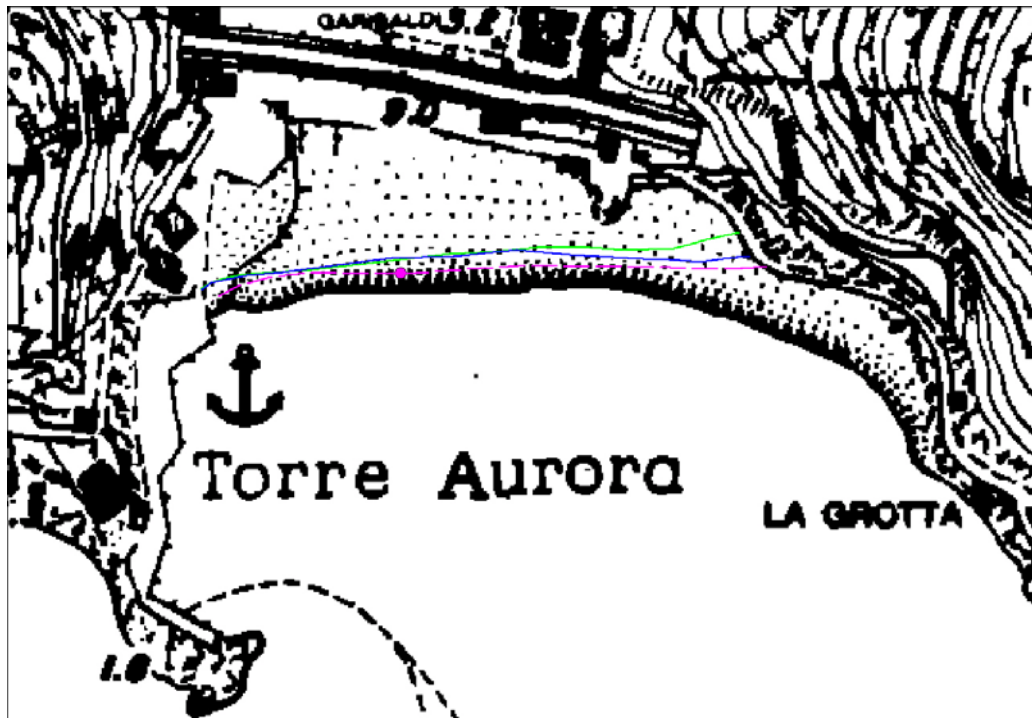


Fig. 28 - Confronto tra le linee di riva del 2007 (in verde), del 2009 (in blu) e il rilievo 2011 (in tratteggio violetto).

4.4. Morfologia ed evoluzione della spiaggia sommersa

Dall'analisi dei dati Multibeam (rilievo Regione Liguria 2010) emerge che il fondale compreso tra il terrapieno e Punta Corone sia prevalentemente di tipo sabbioso ad esclusione delle aree poste immediatamente a ridosso del terrapieno e dei promontori di San Cristoforo e Punta Corone; in queste aree il fondale risulta essere roccioso o costituito da massi posti a protezione dei promontori stessi (Fig. 29).

Il fondale compreso tra il terrapieno e Punta Mesco risulta essere caratterizzato dalla presenza di materiali più grossolani e grossi blocchi, probabilmente prodotti dalla franosità che contraddistingue i versanti del promontorio, posti per lo più al piede della falesia entro la batimetrica dei -20 m.

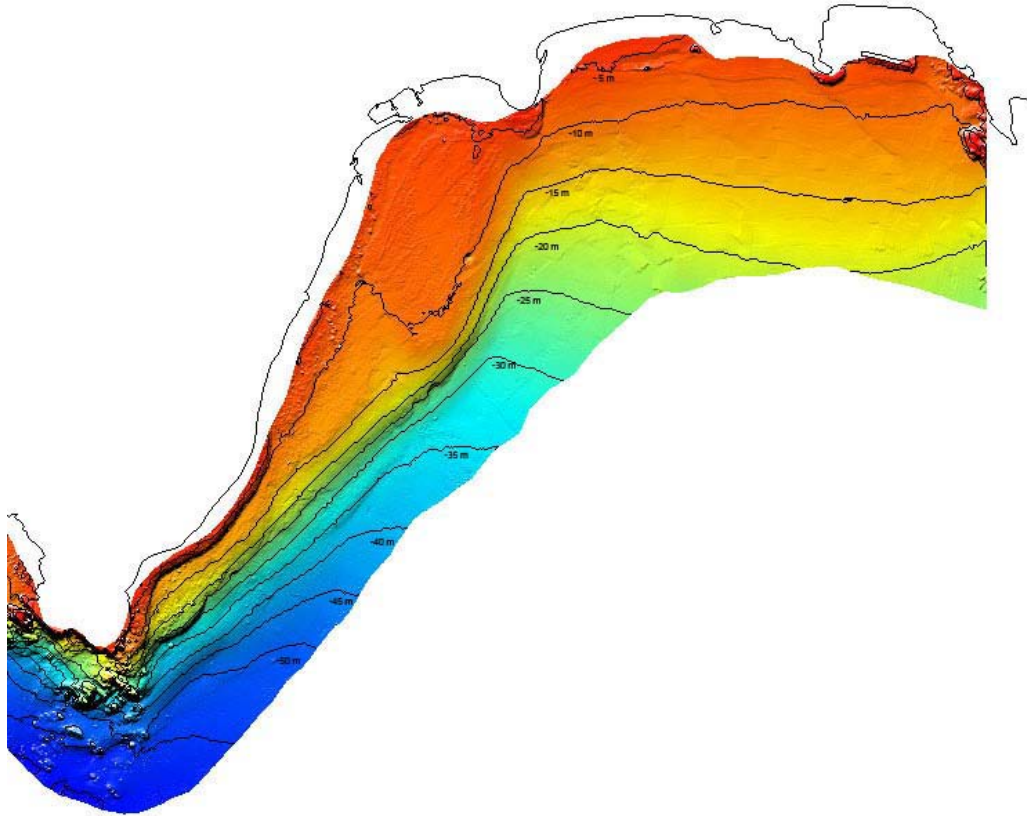


Fig.29 – Elaborazione dati Multibeam (rilievo 2010) del paraggio costiero di Monterosso al Mare, isobate ogni 5 m.

La morfologia della spiaggia sommersa nel tratto centro orientale del paraggio, compreso tra il terrapieno e Punta Corone, risulta essere molto uniforme. Le isobate risultano avere un andamento regolare e disposte parallelamente alla linea di riva (Fig. 30).

La zona occidentale del paraggio, compresa tra il terrapieno e Punta Mesco, è caratterizzata da un fondale che degrada dolcemente verso mare e che si estende fino alla batimetrica dei -15 m e dalla presenza di una brusca variazione di pendenza che rapidamente porta il fondale a raggiungere la profondità di -25 m ed oltre.

L'ampiezza di questa "piattaforma" risulta essere maggiore nella parte della radice del promontorio del Mesco e tende poi ad assottigliarsi procedendo in direzione SW lungo il versante del promontorio stesso.

Nei tratti di fondale posti presso località La Cava è evidente il limite inferiore dell'accumulo sedimentario, posto alla profondità di -10 m, rappresentato dai materiali di scarto della cava. In questo tratto la rottura di pendio è poco visibile, a causa della presenza del materiale proveniente dalla cava.

La rottura di pendio è presente poi fino all'area posta di fronte alla spiaggia del Gigante dove perde via via pendenza per poi raccordarsi alle batimetriche della zona centrale, aventi andamento regolare e parallelo alla linea di riva, nei pressi del terrapieno.

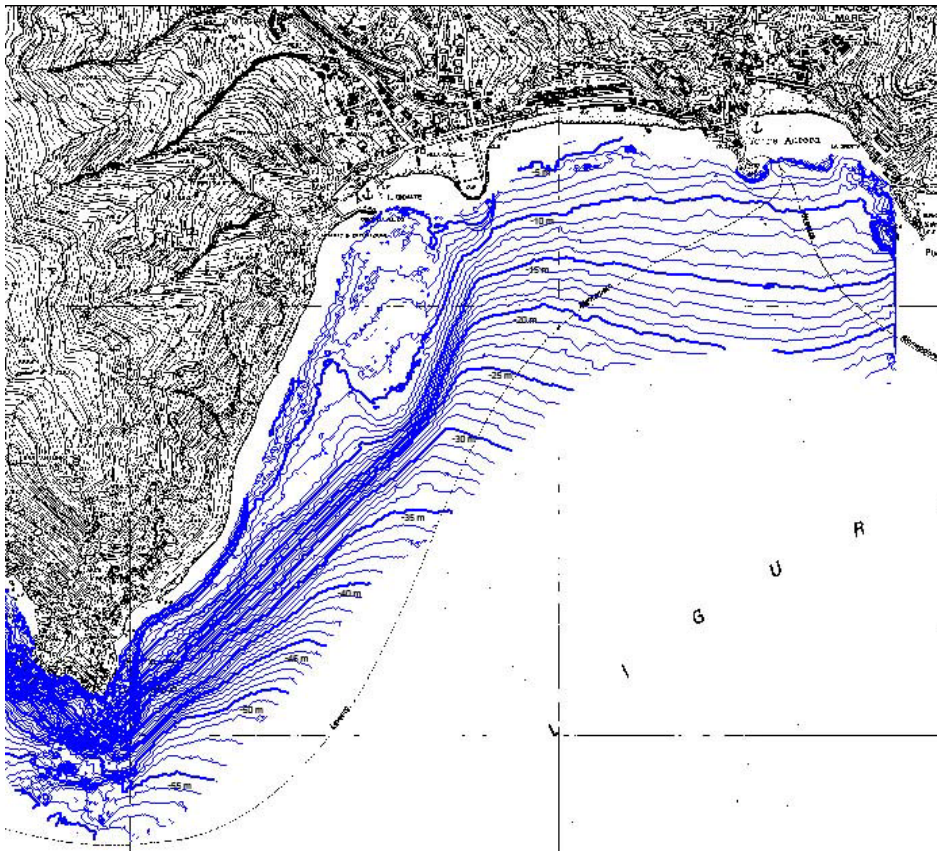


Fig.30 Carta Batimetrica dal paraggio costiero di Monterosso al Mare, spaziatura isobate 1 m.

Lo studio dell'evoluzione della spiaggia sommersa e dei fondali del paraggio è stato effettuato mediante il confronto dei dati batimetrici storici digitalizzati da una carta batimetrica dell'Istituto Idrografico della Marina Militare del 1885 e i risultati delle indagini batimetriche eseguite dalla Regione Liguria mediante strumentazione

Multibeam nel 2010. Il confronto è stato effettuato mediante elaborazione con software MapInfo® corredato del modulo VerticalMapper®; il grid di confronto ha una maglia di risoluzione pari a 1m x 1m (Fig. 31).

Dai risultati del confronto emerge la presenza di un'ampia zona in erosione posta lungo il versante orientale del promontorio del Mesco e localizzata prevalentemente al di sotto della batimetrica dei -20 m. Questa zona di erosione è localizzata in una tratto di fondale caratterizzato da forte pendenza, proprio questa ripidità del fondale fa pensare che la zona di erosione sia caratterizzata da fenomeni gravitativi, assimilabili a quelli presenti in superficie lungo le pendici del promontorio del Mesco, che portano il materiale a maggiori profondità.

I tratti di fondale caratterizzati da accumulo risultano essere molto pochi e di dimensioni ridotte, di particolare interesse risulta essere l'area prossima alla testata del terrapieno in cui si registra un moderato accumulo, probabilmente legato alla dispersione di materiale dal terrapieno.

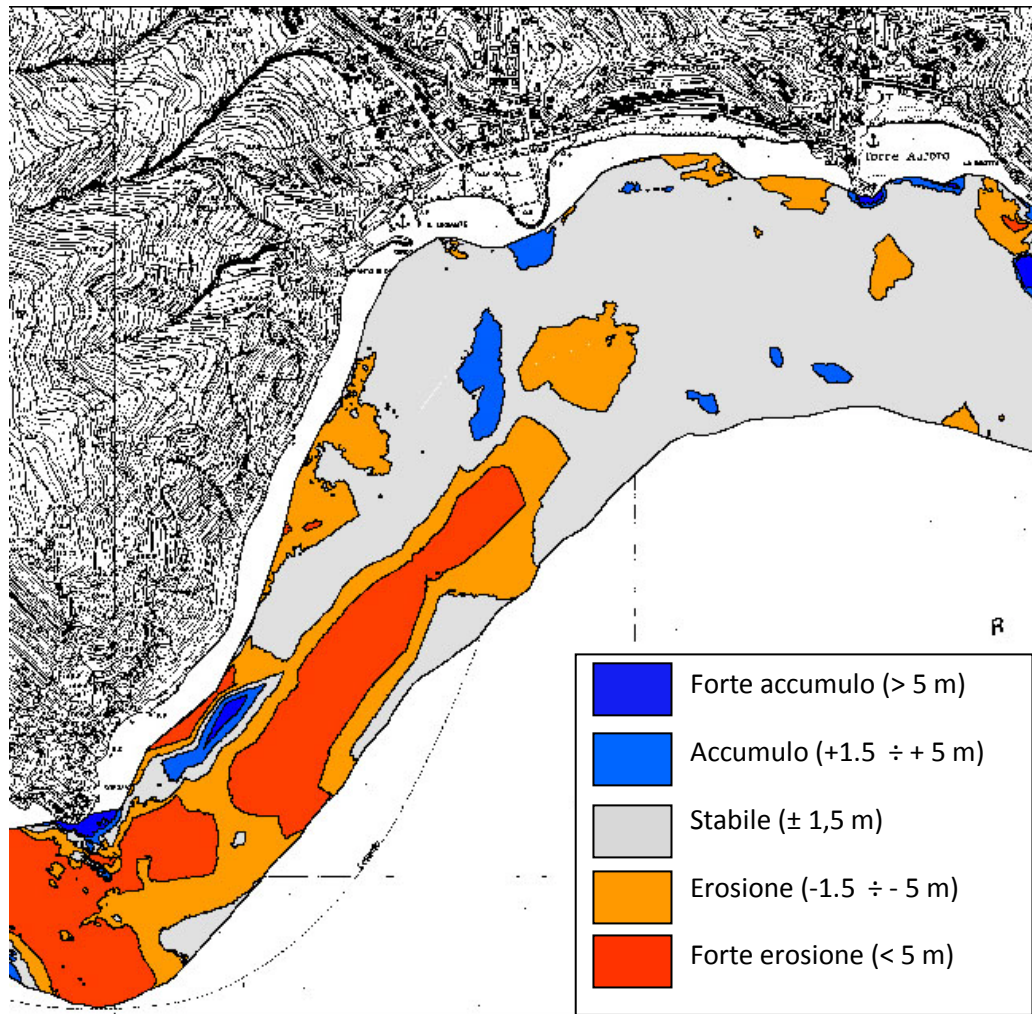


Fig.31 Confronto dati batimetrici rilevati nel 1885 e nel 2010.

Per poter descrivere più dettagliatamente l'evoluzione della spiaggia sommersa del paraggio bisognerebbe essere in possesso di più dati in modo da poter descrivere l'evoluzione lungo intervalli di tempo più brevi e poter così confrontare misurazioni batimetriche ricavate con metodi aventi precisione e accuratezza simili.

5. Conclusioni

Lo studio del paraggio di Monterosso al Mare ha permesso di analizzare le opere di difesa presenti e valutare la variazione della linea di riva determinata in parte da fenomeni di erosione naturale e in parte dalla costruzione delle opere a mare.

La tendenza generale emersa da questo studio è di un generale arretramento causato da fenomenologie diverse in base al tratto di litorale considerato.

Lungo le falesie del versante orientale del promontorio del Mesco si hanno numerosi fenomeni di instabilità; in questo tratto proprio la naturale instabilità dei versanti associata allo scalzamento provocato delle mareggiate di scirocco e di libeccio sono la causa principale dell'arretramento dell'area ed una delle fonti principali di alimentazione delle spiagge del paraggio.

Le modificazioni rilevate sulle spiagge del paraggio, quelle di Fegina, del Gigante e del borgo antico sono attribuibili ad interventi antropici in quanto il naturale trasporto di sedimento verso est viene interrotto prima dal molo d'attracco del circolo velico e successivamente dal terrapieno. Queste due strutture, deviando il trasporto lungocosta verso il largo, determinano una riduzione del rifornimento sedimentario dell'area centro-orientale del paraggio.

Particolarmente critica è emersa la situazione della spiaggia di Fegina presso la quale si sono registrati forti arretramenti che hanno pregiudicato la stabilità delle infrastrutture presenti. Questa forte compromissione ha richiesto la realizzazione di un intervento di ricostruzione della spiaggia tutt'oggi in corso di realizzazione.

Altro piccolo tratto fortemente compromesso risulta essere rappresentato dalla spiaggia posta a ridosso del promontorio di San Cristoforo, un tempo molto ampia e oggi notevolmente ridotta e protetta da un'opera di difesa radente in massi posta a protezione della falesia. Questo tipo di protezione non ha certo risolto il problema, anzi,

accentuando la riflessività del moto ondoso potrà solamente produrre un aggravamento della situazione.

La spiaggia del borgo antico ha subito variazioni meno evidenti rispetto alle altre spiagge del paraggio. L'erosione qui registrata è attribuibile alla riduzione degli apporti solidi del canale Pastanelli. Attraverso il confronto delle foto aeree è stata osservata una variazione della forma della spiaggia che da falciforme è diventata rettilinea a seguito della costruzione della barriera frangiflutti.

Da quanto sopra descritto emerge la necessità di effettuare prima della realizzazione di un'opera a mare un'accurata indagine di tutti i possibili impatti dell'opera sulla dinamica costiera in quanto ogni minimo intervento sul litorale può indurre notevoli alterazioni sulle diverse componenti del sistema marino.

Da questa analisi risulta che l'elemento di maggiore disturbo nella dinamica costiera sia il terrapieno. Tale struttura, realizzata senza alcun tipo d'indagine preliminare e al solo scopo di trovare un'opportuna collocazione al materiale di scarico della ferrovia, ha fortemente alterato l'equilibrio dinamico e naturale nonché l'evoluzione dell'intero paraggio costiero.

6. Bibliografia

- [1] Ferretti O., Barsanti M., Delbono I., Furia S., (2003). *ELEMENTI DI GESTIONE COSTIERA – Parte IV Difese costiere “morbide”: ripascimenti artificiali Rassegna tipologica*, Rapporto tecnico ENEA.
- [2] Ferretti O., Barsanti M., Delbono I., Bozzano A., Furia S., (2003). *ELEMENTI DI GESTIONE COSTIERA – PARTE III Difese costiere “rigide” Distribuzione e valutazione delle tipologie*, Rapporto tecnico ENEA.
- [3] Terranova R., (1987). *Quaderni dell’istituto di geologia della Università di Genova, atti della riunione – guida alle escursioni note scientifiche integrative*.
- [4] Fierro G., AA.VV., (1997). *Atlante delle Spiagge Italiane*. CNR-MURST., S.EL.CA. EDITORE.
- [5] Mariotti M., (1990). *Cinque terre. Guida all’area protetta*. Editrice Musumeci.
- [6] Pironi A., (1997). *Analisi geomorfologico-sedimentologica di un’area merino-costiera: Baia di Monterosso (Cinque Terre)*.
- [7] Ruggiero F., (1997). *Caratterizzazione sedimentologico-mineralogica di un’area marina costiera: Baia di Monterosso (Cinque Terre)*.

Ringraziamenti

Ringrazio tutte le persone che hanno reso possibile questo Master in Scienze Costiere

Applicate:

- la Dott.ssa Ivana Delbono che mi ha aiutato nella stesura di questa tesi;
- il Dott. Carlo Cavallo che mi ha ospitato presso la Regione Liguria;
- il Prof. Renzo Valloni, la Dott.ssa Roberta Delfanti, la Dott.ssa Stefania Furia e tutti i ricercatori dell'ENEA Santa Teresa che sono stati estremamente disponibili in questi mesi.