



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PARMA

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PARMA
DOTTORATO DI RICERCA IN SCIENZE DELLA TERRA
CICLO XIX

COMPOSIZIONE E TRASPORTO DELLE SABBIE DELLE COSTE MARINE ITALIANE

Coordinatore

Chiar.mo Prof. Mario Tribaudino

Tutor

Chiar.mo Prof. Renzo Valloni

Dottorando

Mattia Barsanti

a Tommaso

Ringraziamenti

Questo lavoro non sarebbe stato possibile senza l'aiuto di alcune persone. Per questo motivo vorrei ringraziarle.

Il Prof. Renzo Valloni, per il suo continuo aiuto e per le bellissime giornate davanti al microscopio.

La Dott.ssa Ornella Ferretti, ispiratrice di questa ricerca e profonda esperta degli ambienti sedimentari costieri, senza la quale oggi non farei della ricerca scientifica.

La responsabile scientifica del Centro Ricerche Ambiente Marino S. Teresa dell'ENEA, Dott.ssa Roberta Delfanti, e tutti gli amici del centro da cui ho sempre ricevuto simpatia e aiuto.

La collega e amica Dott.ssa Ivana Delbono, per i suoi consigli in tutti gli aspetti del mio lavoro.

Anna e mia mamma, colonne portanti della mia vita, per l'aiuto pratico nella fase di stesura finale e per il loro grande sostegno morale.

Un grazie particolare a Tommaso, che ha il magnifico potere di farmi vedere "la vita in rosa" con un solo semplice sorriso.

INDICE

ABSTRACT

INTRODUZIONE E SCOPO DELLA RICERCA

1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO-FISICO DELLE COSTE MARINE

ITALIANE	pag. 1
1.1 Concetto di Zona e Unità costiera	“ 1
1.2 Profili di spiaggia e trasporto sedimentario sottocosta	“ 2
1.3 Tipi morfologici e loro distribuzione geografica	“ 4
1.4 Tipi morfo-sedimentologici delle coste italiane	“ 9
1.5 Tipi morfo-sedimentologici, erosione e suscettibilità costiera	“ 19
1.6 Unità Fisiografiche naturali	“ 22
1.6.1 Aggiornamento del dataset delle Unità Fisiografiche naturali	“ 24
1.7 Quadro d'insieme del trasporto sedimentario sottocosta	“ 26
1.8 Province Petrografiche Sedimentarie costiere	“ 29
1.9 Opere citate	“ 34

2. CELLE LITORALI DELLE COSTE MARINE ITALIANE

2.1 Definizione di Cella Litorale	“ 40
2.2 Unità Fisiografiche, Province petrografiche e Celle Litorali	“ 42
2.3 Individuazione delle Celle Litorali delle coste d'Italia	“ 44
2.3.1 I Limiti del Drift Costiero (LDC)	“ 45
2.3.2 Distribuzione delle Celle Litorali	“ 53
2.4 Opere citate	“ 58

3. CAMPIONAMENTO E METODI

3.1 Campionamento delle spiagge	“ 60
3.2 Trattamento dei campioni e metodo di analisi granulometrica	“ 66
3.3 Trattamento dei campioni e metodo di analisi petrografica	“ 67
3.3.1 La composizione petrografica modale delle sabbie	“ 69
3.3.2 La scheda di conteggio	“ 71
3.4 Rappresentazione della composizione modale, termini classificativi	“ 76

3.4.1	Composizione modale QFL	pag. 77
3.4.2	Composizione modale dei grani prevalenti	“ 77
3.5	Scelta dei campioni da analizzare, sedimenti nativi	“ 80
3.6	Opere citate	“ 83
4. DATI DI LETTERATURA SULLA COMPOSIZIONE PETROGRAFICA DELLE SABBIE COSTIERE		“ 85
4.1	Il dataset delle Province Petrografiche Sedimentarie	“ 85
4.2	Opere citate	“ 91
5. ANALISI E RISULTATI		“ 92
5.1	Analisi visiva del colore	“ 92
5.2	Analisi granulometriche	“ 95
5.3	Analisi petrografiche	“ 99
5.3.1	Situazioni locali e confronto con i dati di letteratura	“ 101
5.3.1.1	Emilia Romagna	“ 101
5.3.1.2	Toscana	“ 103
5.3.2	Composizione petrografica delle sabbie della Sardegna	“ 105
5.3.3	Composizione petrografica delle sabbie della Liguria	“ 106
5.3.4	Composizione petrografica delle sabbie della Sicilia orientale	“ 108
5.3.5	Composizione petrografica delle sabbie dell'Adriatico centrale	“ 110
5.4	Maturazione mineralogica	“ 111
5.5	Opere citate	“ 116
6. GEODATABASE DELLE SABBIE COSTIERE		“ 118
6.1	Granulometria caratteristica delle sabbie	“ 118
6.2	Dati petrografici vs. Celle Litorali	“ 121
6.3	Opere citate	“ 129
7. CONCLUSIONI		“ 130
APPENDICE 1: Elenco Celle Litorali		“ 133
APPENDICE 2: Analisi petrografiche		“ 142

ABSTRACT

Petrographic Composition and Transport of Sands in the Italian Marine Coasts

This work focuses on the physical structure and processes of the Italian coasts and takes advantage of the original joint research recently carried out by the Department of Earth Sciences of the University of Parma and the ENEA Marine Research Centre of Santa Teresa.

On such base, several specific databases (e.g. Coastal Cells) were created and the available data (e.g. Morpho-sedimentological types) were adapted to the requirements of the research. This was accompanied by the production of a homogenous set of petrographic and granulometric data on beach sands of the Italian coasts. GIS technologies (geodatabase ©ESRI, ArcMap) were applied throughout.

These original data are complementary to the relevant literature identifying coastal petrographic provinces on numerous coastal tracts. The sampling of beach sands was then planned on the remaining part of the Italian coastline. A total of 137 samples were collected; 135 of them were analysed for granulometry and thin-section optical microscopy. These original analyses, integrated to the available data on coastal petrographic provinces, provide a quantitative assessment of the petrophysical characteristics of the Italian native beach sands.

INTRODUZIONE E SCOPO DELLA RICERCA

La conoscenza dei termini naturali ed antropici dello stato fisico dei sistemi costieri è il necessario presupposto per l'esecuzione di studi ecologici e socio-economici finalizzati alle scelte di Gestione Integrata della Fascia Costiera. Questo lavoro si occupa di alcuni caratteri della struttura fisica delle coste marine italiane a partire da numerose attività di ricerca originali, svolte congiuntamente dal Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Parma e dall'Enea S. Teresa. A partire da tale base dati, aggiornata ed adattata alle esigenze di questo lavoro, si è lavorato per definire un quadro omogeneo dei caratteri granulometrici e petrografici delle sabbie delle coste marine italiane.

Con riferimento al trasporto lungoriva (longshore) sono considerate tre tipologie di unità costiere: le *Province Petrografiche Sedimentarie costiere*, le *Unità Fisiografiche Naturali* e le *Celle Litorali*. Le prime hanno come riferimento concettuale il trasporto sedimentario sottocosta valutato attraverso i caratteri petrografici dei sedimenti; le seconde derivano sempre dal concetto di trasporto sedimentario sottocosta, ma come conseguenza dell'applicazione di determinati vettori energia in relazione all'orientazione geografica della linea di costa stessa; le Celle Litorali sono invece collegate al concetto di bilancio del trasporto sedimentario sottocosta.

Nell'ambito della ricerca questi tre tipi di Unità Costiera sono concettualmente ben distinti e definiti come segue: l'*Unità Fisiografica* (UF) è un tratto costiero in cui il trasporto sedimentario netto longshore è unidirezionale e continuo; la *Provincia Petrografica* (PP) è un tratto costiero in cui la composizione dei sedimenti di spiaggia è omogenea; la *Cella Litorale* è un tratto costiero che costituisce un sistema chiuso in termini di trasporto trattivo longshore. Le Celle Litorali sono un prodotto originale di

questo studio e sono state individuate su base cartografica attraverso l'analisi di materiale cartografico ed ortofotocarte fatta al computer.

Per quanto riguarda lo studio petrografico e granulometrico la ricerca prende spunto dall'importante letteratura in cui vengono identificate le *Province Petrografiche costiere* di estesi tratti delle coste italiane. A completamento dei dati disponibili sulle *Province Petrografiche* è stato eseguito un campionamento a scala nazionale dei sedimenti di spiaggia per un totale di 138 campioni. Per ciascun campione sono state svolte le analisi granulometriche e per 94 di essi sono state eseguite le analisi petrografiche al microscopio su sezione sottile. Tutti i dati ottenuti sono integrati in un geodatabase (©ESRI, ArcMap) che ha consentito la quantificazione della distribuzione dei tipi petrografici e granulometrici delle spiagge d'Italia. Il dato petrografico, in particolare deriva dall'acquisizione delle conoscenze di letteratura sulle Province Petrografiche implementato col dato quantitativo ottenuto dall'overlay della composizione petrografia dei campioni studiati con le Celle Litorali di appartenenza. La grande attenzione con cui è stata precisata sia la posizione del campione sul profilo di spiaggia sia la condizione ambientale del litorale in cui è avvenuto il prelievo hanno consentito di produrre un dataset omogeneo, tutto riferito a i cosiddetti sedimenti *nativi*. Si ritiene che la definizione dei parametri granulometrici (es. D50) e della composizione petrografica modale dei suddetti sedimenti nativi potrà rappresentare un importante riferimento per ogni futuro intervento di difesa e per le scelte di gestione dei litorali.

1 - INQUADRAMENTO GEOGRAFICO-FISICO DELLE COSTE MARINE ITALIANE

La conoscenza dello stato fisico del sistema costiero, nei suoi termini naturali ed antropici, è il necessario presupposto per l'esecuzione di studi ecologici e socio-economici finalizzati alle scelte di Gestione Integrata della Fascia Costiera. In questo lavoro ci si occupa di struttura e processi fisici delle coste marine italiane a partire da numerose attività di ricerca originali svolte congiuntamente dal Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Parma e dall'Enea S.Teresa. Tale base dati è qui ripresa ed aggiornata alle esigenze di questo lavoro.

1.1 Il concetto di Zona e Unità costiera.

La delimitazione fisica dello spazio costiero è tradizionalmente svolta all'interno delle singole discipline. Alcune definizioni chiave possono tuttavia assumere un significato generale. E' questo il caso dei termini Zona e Unità costiera che possono essere introdotti con le seguenti definizioni:

- Le *Zone* sono spazi costieri giustapposti traversocosta, delimitati tramite linee limite di Zona definite in termini fisici, biologici, socio-economici, ecc;
- Le *Unità* sono spazi costieri giustapposti lungoriva, riferiti a specifiche Zone costiere, delimitati tramite linee limite di Unità definite in termini fisici, biologici, socio-economici, ecc.

Le definizioni suddette sono il riferimento concettuale della terminologia usata in questo studio. Da esse consegue che nelle singole traverse costiere la sommatoria delle Zone rappresenta la *Fascia Costiera* e che le Unità costiere dello stesso tipo (es. morfologico) hanno, di regola, estensione diversa in funzione delle Zone a cui sono riferite.

Il concetto di Zona considera la natura asimmetrica dello spazio costiero, ove, alla opportuna scala, la variazione ambientale esprime sempre un gradiente trasversocosta. La delimitazione di aree omogenee sullo spazio costiero richiede di definire sia linee limite di Zone costiere, sia linee limite di Unità costiere (AA.VV., 2001).

1.2 Profili di spiaggia e trasporto sedimentario sottocosta

La zona litorale è difficile da definire considerando la varietà dei tipi morfo-sedimentologici costieri. Verso la terraferma il limite può essere posto utilizzando un criterio morfo-vegetazionale per le coste alte e un criterio sedimentologico-vegetazionale per le coste basse (es. limite interno delle dune). Verso mare il limite può essere posto utilizzando un criterio morfo-faunistico per i substrati duri e un criterio sedimentologico-faunistico per i substrati soffici.

La spiaggia rappresenta la porzione "viva" della zona litorale. Essa è composta da una parte emersa (*backshore*), compresa fra la berma ordinaria e il fronte delle dune, da una parte interessata dalle oscillazioni di marea (*foreshore*) e da una parte sommersa, (*shoreface*) che si spinge fino alla linea di prima deposizione dei sedimenti fini sulla piattaforma continentale (fig. 1.1).

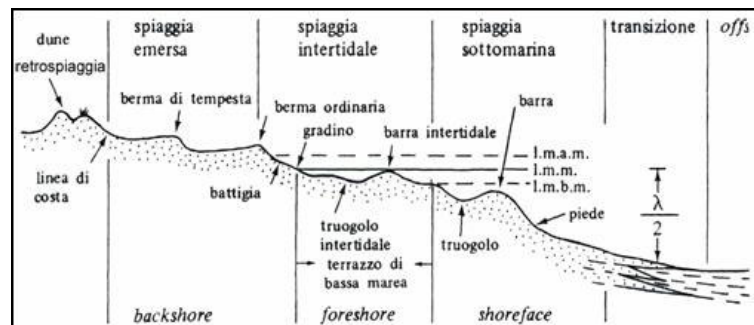


Figura 1.1: Profilo di spiaggia (Carobene e Brambati, 1975).

La spiaggia sommersa è costituita da materiali ghiaiosi e/o sabbiosi che l'azione di onde e correnti può spostare secondo movimenti sia trasversali, sia longitudinali

rispetto alla linea di riva. I materiali sabbiosi della spiaggia sommersa sono modellati in una serie mobile di barre e di truogoli alternati che determinano l'assetto morfologico del fondo. La pendenza della spiaggia tende ad assumere un determinato profilo di equilibrio anche in funzione della granulometria dei sedimenti disponibili.

In condizioni meteorologiche e di moto ondoso particolari, che in Italia comunemente si realizzano nella stagione primaverile, i materiali sabbiosi costituenti i depositi del fondale vanno ad alimentare il sistema spiaggia emersa. Al contrario, in condizioni meteorologiche di tempesta, i materiali della spiaggia emersa alimentano il sistema della spiaggia sommersa. Le masse d'acqua spinte dal moto ondoso sotto la linea di riva danno luogo a *trazione sul fondo* con spostamento di ingenti quantità di sedimenti sabbiosi lungoriva (fig. 1.2). A tale flusso di sedimento è assegnato il nome di *trasporto sedimentario sottocosta* (longshore sediment transport), oppure *deriva litoranea* (Ricci Lucchi, 1993), mentre il termine *drift costiero* (littoral drift) è il termine che caratterizza i volumi dei sedimenti coinvolti nel trasporto (Komar D., 1994).

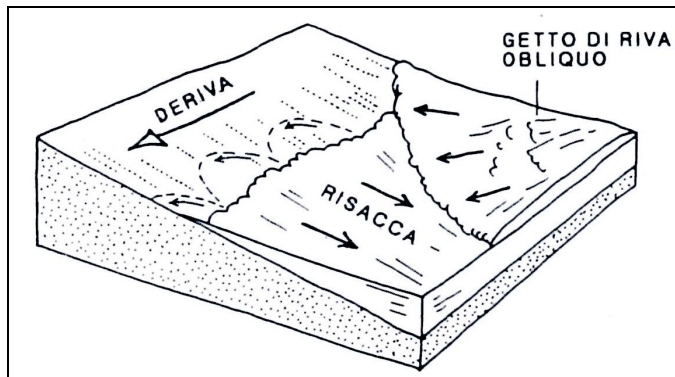


Figura 1.2: Schema della *deriva litoranea* in zona battigia. Qui il trasporto dei granuli può avvenire secondo un tracciato a “dente di sega” (Ricci Lucchi, 1993).

La granulometria del materiale detritico, che può essere trasportato sulla spiaggia, è funzione del livello energetico locale che si esprime sia in termini di moto ondoso, sia in termini di regime anemologico costiero; in ogni caso l'intervallo dimensionale dei

materiali in movimento per trazione sul fondo è principalmente limitato alla *frazione sabbiosa – ghiaiosa del sedimento*.

I succinti concetti sopra esposti sono sostanzialmente riferiti al contesto delle coste deposte, ovvero in presenza di spiaggia, che risulta di particolare interesse in questo studio.

1.3 Tipi morfologici e loro distribuzione geografica

I primi lavori a scala nazionale sui lineamenti morfologici, granulometrici e petrografici delle coste e dei sedimenti di spiaggia risalgono alla seconda metà degli anni '70 (Anselmi et al. 1978; Brondi et al, 1979). In essi sono analizzati i fattori che più di altri influenzano i processi di trasporto e sedimentazione costiera, vale a dire, la natura litologica dei bacini fluviali di alimentazione ed i caratteri morfologici costieri.

Per quanto concerne la morfologia costiera Anselmi et alii (1978) individuarono sei distinte morfologie costiere (tab. 1.1) la cui distribuzione è illustrata in figura 1.3.

Tabella 1.1. I sei morfotipi definiti da Anselmi et alii (1978).

<i>Coste alte</i>		<i>Variabili</i>	<i>Coste basse</i>		<i>Variabili</i>
Rilievi montuosi	Terrazzi	Pianura litoranea stretta	Pianura di fiumara	Pianura alluvionale	Pianura di dune

Dalla figura 1.3 si può osservare come nei bacini del Mar Ligure e del Mar Tirreno la costa sia caratterizzata quasi esclusivamente dall'alternanza dei tipi *Rilievi montuosi* e *Pianura alluvionale*. Nel bacino del Mar Adriatico si osserva la predominanza del tipo *Pianura alluvionale* a Nord, del tipo *Pianura litoranea stretta* al centro ed a Sud e del tipo *Terrazzi* lungo le coste pugliesi. Nel bacino del Mar Ionio e lungo le coste siciliane non si osserva la netta prevalenza di un particolare morfotipo, mentre per la Sardegna il tipo *Rilievi montuosi* risulta il più frequente.

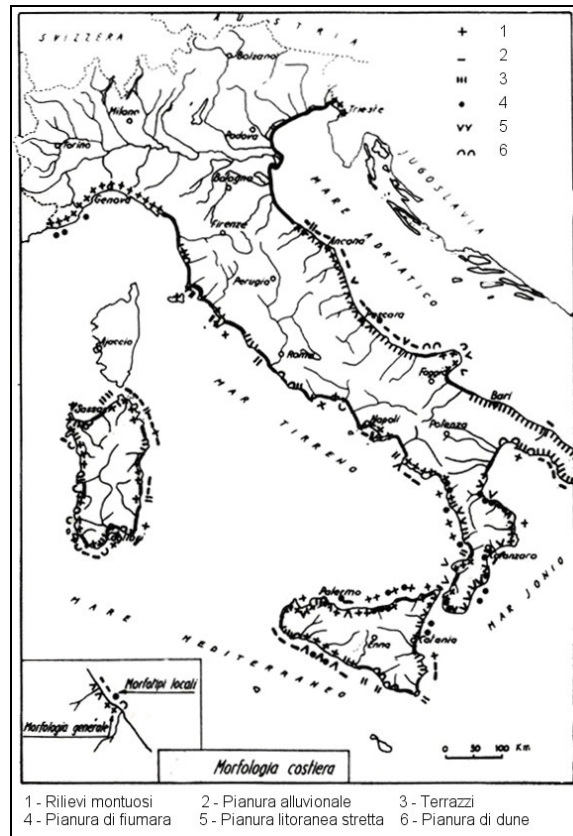


Figura 1.3. Distribuzione dei tipi morfologici costieri (Anselmi et al., 1978, mod.).

In conclusione, da questa classificazione circa il 50% delle coste italiane è costituito dai due tipi di coste alte (*Rilievi montuosi* e *Terrazzi*), mentre, per la restante metà, i soli due tipi di *Pianura alluvionale* e *Pianura litoranea stretta* raggiungono circa il 42% del totale delle coste italiane.

Come gli stessi autori segnalavano, tale classificazione era approssimativa poiché nasceva soprattutto dall'esigenza di individuare le tipologie costiere più esposte ai problemi di insediamento industriale e le possibili contaminazioni ambientali conseguenti, tanto è vero che per ciascun morfotipo venne anche segnalata la possibilità di accumulo di inquinanti nei sedimenti lungoriva. Nonostante ciò, la denominazione adottata non si limitò a descrivere esclusivamente la morfologia costiera, ma anche a dare altre informazioni quali, ad esempio, la morfologia del paesaggio retrostante, del suo

sistema idrologico e della granulometria dei sedimenti fluviali e delle spiagge. A titolo di esempio, la tipologia *Pianura alluvionale* viene indicata con una morfologia dell'entroterra da piatta ad appena inclinata, con un deflusso fluviale medio ed una granulometria delle spiagge medio-fine. Tale classificazione, quindi, non riporta una semplice descrizione morfologica della costa, ma tenta di delineare, per ogni tipologia costiera individuata, il ben più complesso sistema deposizionale a cui il tipo costiero appartiene.

Un altro importante contributo sulla comprensione del sistema costiero italiano proviene dall'*Atlante delle Spiagge Italiane* (AA.VV., 1999) che dà un quadro di sintesi sulle conoscenze dello stato di conservazione dei litorali, con particolare riferimento alle condizioni morfo-sedimentologiche ed alla tendenza evolutiva. Tale opera è infatti costituita da 108 fogli a scala 1:100.000, nei quali è condensata graficamente la maggior parte degli studi condotti fino al 1999; in particolare sono segnalati i *Tipi Naturali* delle coste, la *Tendenza Evolutiva* delle spiagge e la presenza di *Opere Umane*.

La necessità di classificare le morfologie costiere con un dettaglio maggiore è accresciuta dalla fine degli anni '90 fino ad oggi, soprattutto a causa delle problematiche legate al fenomeno globale dell'innalzamento del livello medio marino. Questo particolare aspetto ha messo in evidenza il problema della "vulnerabilità costiera" indicata come "*il grado a cui un sistema costiero è suscettibile agli effetti negativi del cambiamento climatico, inclusi la variabilità climatica e gli eventi estremi. La vulnerabilità costiera è dunque funzione dell'intensità e del tasso di variazione climatica a cui il sistema è esposto, della sua sensitività e della sua capacità di adattamento*" (Report IPCC 2002).

Uno dei recenti progetti che hanno classificato le morfologie costiere con l'obiettivo di contrastare i fenomeni erosivi dei litorali sabbiosi, è il progetto *EUrosion*. Tale progetto finanziato dalla Commissione Europea per l'Ambiente, iniziato nel 2002 e concluso nel 2004, aveva lo scopo di delineare un pacchetto di linee guida sulle politiche gestionali adottabili contro l'erosione costiera in Europa. Su questo specifico fine, venne prodotta una classificazione della morfologia costiera europea, alla scala nominale di 1:100.000, osservabile in tabella 1.2.

Da tale tabella risultano categorie di tipi morfologici costieri molto diversificate, che mettono in risalto le situazioni più facilmente soggette ad erosione. Tale aspetto è, ad esempio, evidenziato dalla distinzione di ben due tipologie di falesie (tipi "A" e "B") in funzione dell'erodibilità delle rocce che le costituiscono. Sebbene alcuni tipi morfologici descritti enfatizzino la granulometria della spiaggia, come ad esempio il tipo "D" che indica sedimenti grossolani, oppure il tipo "E", che individua una spiaggia più eterogenea in termini granulometrici, questa classificazione, proprio per lo scopo per cui è stata creata, non ha l'informazione geologica, in senso stretto, del tratto costiero. Ovvero lo specifico morfotipo costiero non è visto come il prodotto di una serie di processi morfogenetici di un determinato ambiente geomorfologico, ma come la semplice descrizione di un tratto costiero, più o meno esposto ai rischi dei processi erosivi.

Dal dataset *EUrosion* risulta una lunghezza delle coste italiane pari a 7.795 km delle quali 3.286 km (~42%) di coste alte ("Rocky coasts"), 3737 km (~48%) di coste basse ("Beaches" e "Muddy coasts"), 726 km (~9%) di coste artificiali e 46 km (~1%) di coste virtuali e non definite (Mouth-virtual coastal segment). La distribuzione a scala nazionale dei morfotipi del progetto *EUrosion* è mostrata in figura 1.4.

Tabella 1.2. I morfotipi costieri del progetto *EUrosion* (Lenôtre, 2002, tradotto).

	Codice	Descrizione
<i>Coste rocciose</i>		
1	A	Rocce e/o falesie costituite da roccia dura (poco erodibile) con eventuale presenza di una piattaforma rocciosa
2	B	Conglomerati e/o falesie costituite da roccia tenera (es. gesso) e quindi più erodibili: presenza di rocce e sedimenti (sabbia e ciottoli) sul litorale.
3	AC	Principalmente rocce, poco erodibili, con presenza di spiagge “a tasca” (lunghezza < 200 m)
<i>Spiagge</i>		
4	C	Piccole spiagge (da 200 a 1000 m di lunghezza) separate da promontori (lunghezza < 200 m)
5	D	Spiagge superiori a 1 km di lunghezza con sedimento grossolano: ghiaia o ciottoli
6	E	Spiagge inferiori a 1 km di lunghezza con sabbia da fine a grossolana
7	F	Linee di costa formate da sedimenti incoerenti (barriere, tomboli)
8	P	Litorali con piattaforme rocciose su spiagge intertidali
9	R	Litorali con “beach rock” su spiagge intertidali
10	N	Spiagge molto strette e con vegetazione (stagni)
11	S	Spiagge costituite da scarti di cava
12	K	Spiagge artificiali
13	X	Spiagge con granulometria eterogenea
14	Z	Spiagge con granulometria sconosciuta
<i>Coste fangose</i>		
15	G	Spiagge di sedimenti fangosi: paludi e acquitrini
16	M	Aree bonificate dei Paesi Bassi
<i>Coste artificiali</i>		
17	Y	Linee di riva artificiali o con opere di difesa radenti senza litorali sabbiosi
18	L	Argini costieri a fini edilizi
19	J	Aree portuali
<i>Bocche (tratto costiero virtuale)</i>		
20	H	Estuari (tratto virtuale)

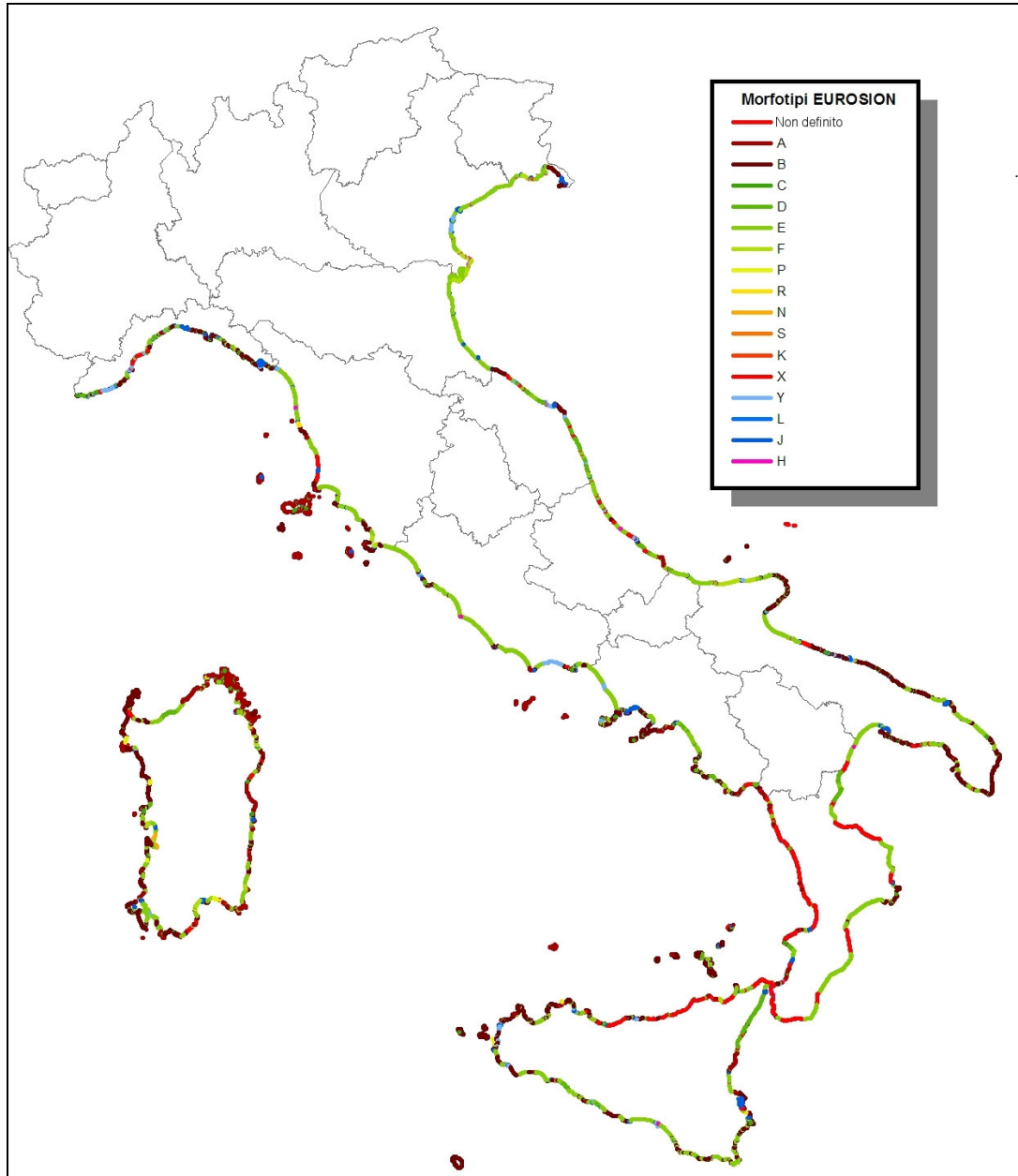


Figura 1.4. Morfotipi del progetto *EUrosion* applicati alle coste italiane. Nelle coste d'Italia non sono presenti i morfotipi AC, Z, G e M di tabella 1.2.

1.4 I tipi morfo-sedimentologici delle coste italiane

La prima definizione dei tipi morfologici costieri fatta nel lavoro di Anselmi et al. 1978, è oggi sostituita dalla nuova definizione di dodici tipi morfo-sedimentologici data nel lavoro svolto dal Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Parma in collaborazione con ENEA-CRAM S. Teresa. Attraverso un lavoro svolto su base

cartografica a scala 1:100.00 con l'ausilio di tecniche GIS (Geographic Information System) sono state definite dodici nuove tipologie su scala nazionale. Esse sono distinte per caratteristiche sia fisiografiche e morfologiche, sia in termini di geometrie e dinamica dei corpi sedimentari (Valloni e Corbani, 2003). Nell'individuazione dei tipi morfo-sedimentologici, sono state volutamente ignorate le strutture sovrimposte al litorale (es. i grandi porti) in modo da rappresentare la distribuzione dei tipi morfo-sedimentologici allo stato originario e naturale.

I tipi morfo-sedimentologici devono essere considerati come corpi tridimensionali e visti unitariamente nella loro estensione di terraferma ed in mare costiero. In definitiva, ciascun tipo morfo-sedimentologico ha diverse caratteristiche in funzione dei seguenti fattori:

- ❑ fonte dei sedimenti ed entità del loro apporto;
- ❑ modalità e distanza della deriva costiera;
- ❑ struttura delle riserve idriche sotterranee e andamento della tavola d'acqua;
- ❑ suscettibilità alla subsidenza e tasso di abbassamento del suolo.

Di seguito viene riportato l'elenco, con relative definizioni, dei tipi morfo-sedimentologici applicati al complesso delle coste italiane.

Coste Rocciose (o alte)

1. Falesia: è rappresentata da un profilo subaereo a strapiombo che si prolunga nella parte sottomarina. Il contatto terra – mare è rappresentato da pareti subverticali o strette falciature di spiaggia, comunemente in ghiaia. Gli apporti solidi provengono da corsi d'acqua ad alto gradiente e da accumuli di frana e crollo della parete (fig. 1.5).

2. Articolata: è caratterizzata da rilievi montuosi, o collinari affacciati direttamente sul mare. Il profilo sottomarino comunemente riproduce quello subaereo e, meno frequentemente, esibisce piattaforme di erosione. Il contatto terra – mare è eventualmente rappresentato da seni di spiaggia comunemente in ghiaia. Gli apporti solidi provengono da corsi d'acqua ad alto gradiente e da accumuli di frana e crollo della parete dei rilievi.
3. Terrazzata: riva che poggia su falesia soffice o pendio digradante. Il retrolitorale presenta depositi fluviali e costiere terrazzati. Il profilo sottomarino è poco pendente. Gli apporti solidi provengono da corsi d'acqua a gradiente relativamente alto, efficacemente trasportato dalla corrente lungoriva.
4. Piattaformale: spiaggia stretta che entro una distanza di 100 m poggia su una parete poco elevata. L'entroterra presenta una morfologia a bassi scalini sia in depositi costieri (terrazzi), sia nel substrato duro (es. calcari). Il profilo sottomarino è poco pendente con un fondale duro e localmente esposto. Gli apporti solidi dalla terraferma sono assenti (fig. 1.6).
5. Golfo: la riva, in costa alta, non è esposta ai marosi del mare aperto e la protezione dinamica naturale è spesso incrementata dalla presenza di moli e dighe foranee.

Spiagge

6. Piana di Conoide: presenta una piana litorale acclive con isoipsa 50 m da meno di un km a qualche km da riva. La spiaggia, da sabbiosa a ciottolosa, è relativamente stretta e il profilo sottomarino è relativamente pendente. Gli apporti solidi, cospicui, provengono da corsi d'acqua ravvicinati a gradiente elevato, efficientemente trasportati dalla corrente lungoriva.

7. Litorale Stretto: la piana costiera è relativamente poco pendente, di larghezza massima da qualche centinaio di metri a qualche chilometro. Il contatto terra – mare avviene su litorale ampio, che comunemente disegna falciature di costa da grandi a molto grandi. Il retrolitorale è spesso rappresentato da sistemi di terrazzi fluviali e costieri. Gli apporti solidi provengono da corsi d’acqua ad alto gradiente, che alimentano un tratto costiero spesso delimitato da promontori (fig. 1.7).
8. Litorale Diritto: il contatto terra – mare avviene su spiaggia sabbiosa ampia e diritta. Il profilo sottomarino è a bassissima pendenza con la presenza di barre. Il retrospiaggia si presenta con campi dunari stagni costieri e l’eventuale presenza di laghi costieri. Gli apporti dalla terraferma provengono da corsi d’acqua a basso gradiente. Si ha la presenza di foci non aggettanti in mare e con eventuali ali ciottolose.
9. Isola-Barriera: il contatto fra terra e mare avviene su spiaggia sabbiosa, il profilo sottomarino è a bassissima pendenza con la presenza di barre e si ha la presenza di una laguna nella zona retrostante il litorale. Non si ha, inoltre, lo sbocco di nessun corso d’acqua.
10. Laguna e Baia: il contatto fra terra e mare avviene su spiaggia fangosa o laguna, o spiaggia da fangosa a sabbiosa (baia), riparata dai marosi. La fisiografica sottomarina è caratterizzata da canali e secche, mentre il retrolitorale è una palude, o piana alluvionale. Gli apporti solidi dal retroterra sono o assenti, o provenienti da canali minori.

Deltizie (o cuspidate)

11. Fronte-Delta: il contatto terra – mare avviene su spiaggia sabbiosa localmente distaccata dalla terraferma. Presenta una geometria d’insieme aggettante in mare,

con la presenza nel retrolitorale di una laguna, o palude. Gli apporti solidi provengono da bocche fluviali e il trasporto lungoriva è molto sviluppato.

12. Laguna, Sacca e Bocca deltizia: la riva, riparata dai marosi, è su spiaggia sabbiosa, fangosa, o piana tidale. La fisiografica sottomarina è modellata dai flussi di marea, il retrolitorale è costituito da palude o bassura e gli apporti solidi dal retroterra sono assenti o provenienti da canali minori.



Figura 1.5. Esempio del morfotipo costiero “Falesia” in Provincia della Spezia (Liguria).



Figura 1.6. Esempio del morfotipo costiero “Piattaformale” in Provincia di Otranto (Puglia).



Figura 1.7. Esempio del morfotipo costiero “Litorale Stretto” in Provincia di Carbonia-Iglesias (Sardegna).

Nell’ambito di questa ricerca è stata svolta una revisione del dato spaziale relativo ai suddetti tipi morfo-sedimentologici per alcuni tratti costieri italiani ed un completo aggiornamento degli attributi alfanumerici. La distribuzione geografica dei tipi morfo-sedimentologici delle coste italiane è rappresentata dalla figura 1.8.

L’ampia diffusione degli interventi umani sulle coste impone di introdurre un’ulteriore categoria, le *Coste Armate*. In questo contesto, si definisce Armato un tratto costiero totalmente irrigidito da grandi opere marittime, (es. opere portuali, banchine ecc..) o da difese radenti che si sostituiscono alla linea di contatto naturale fra terra. Il tratto costiero “armato” non ha quindi più alcuna evoluzione di carattere geomorfologico e per questo motivo non sono considerate coste armate quelle interessate da opere di difesa costiera, come pennelli o barriere parallele, poiché non bloccano completamente la dinamica costiera.

Utilizzando le definizioni morfologiche convenzionali, il complesso delle coste marine italiane esprime la seguente ripartizione:

- | | |
|----------------------|--------|
| □ Armate | 7.7 % |
| □ Rocciose | 55.1 % |
| □ Spiagge e Deltizie | 37.2 % |

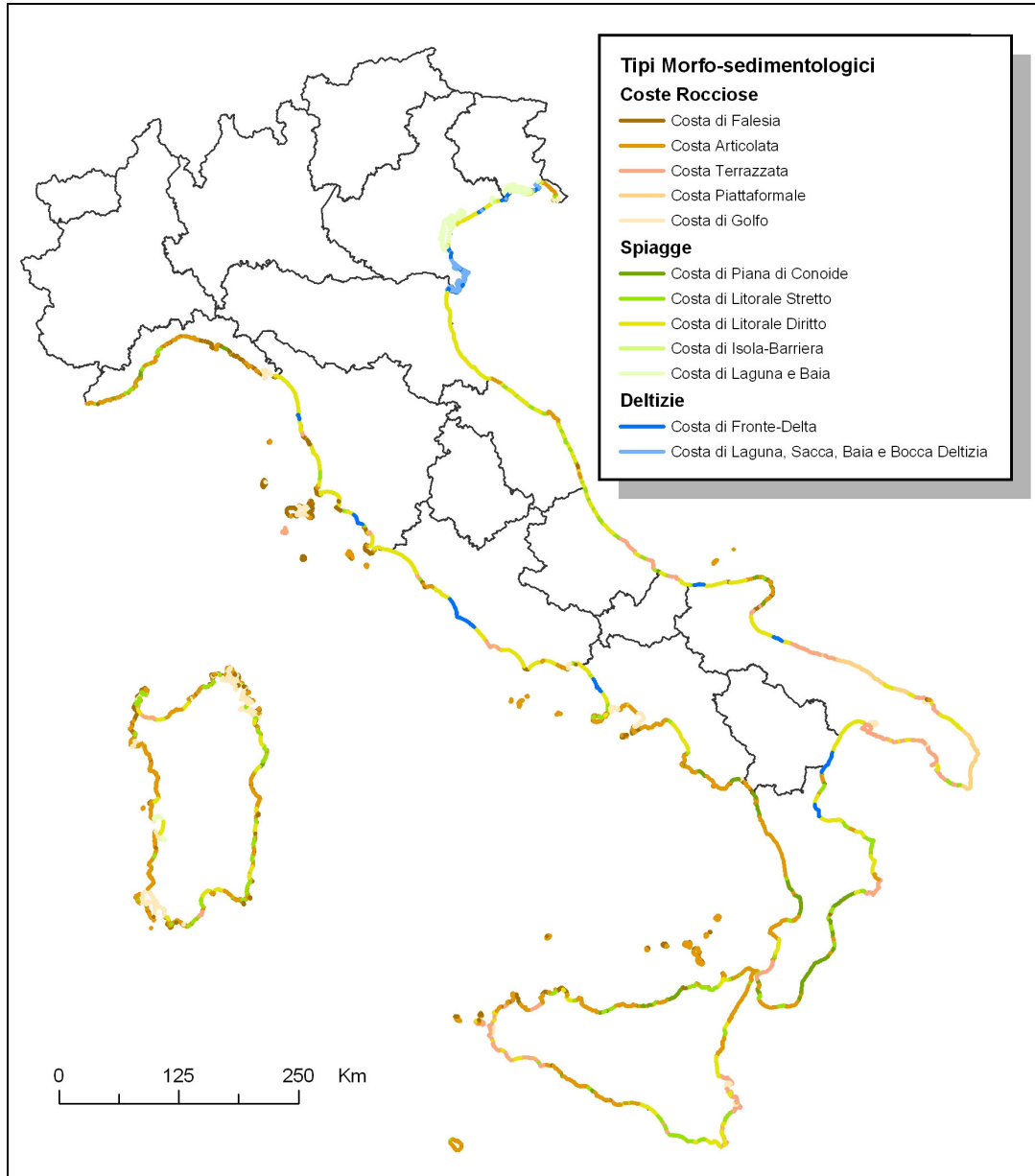


Figura 1.8. Distribuzione dei Tipi Morfo-sedimentologici nelle coste d'Italia.

La tabella 1.3 illustra il contributo, sia in km, che in percentuale dei tipi morfo – sedimentologici lungo il litorale italiano. Si può notare che, nel loro stato naturale (ignorando le opere di armatura), le coste d'Italia sono principalmente di tipo alto (più del 59% del litorale).

E' doveroso precisare che i dati numerici della tabella 1.3 provengono dall'elaborazione e digitalizzazione dei fogli con scala 1:100.000 dell'Istituto Geografico

Militare (IGM). Tali dati, inoltre, sarebbero sensibilmente diversi se estrapolati da altre fonti cartografiche, ma soprattutto con scala diversa. Per tale motivo è necessario segnalare che la scala nominale di questi dati è 1:100.000 e quindi con un errore di graficismo di 20 m. Infine nel processo di digitalizzazione delle coste non vengono rappresentati gli scogli distaccati dalla costa, con superficie inferiore a 0.1 kmq.

Tabella 1.3. Estensione dei Tipi Morfo-sedimentologici lungo il litorale italiano su scala nominale 1:100.000. Per ciascun tipo naturale viene riportata la sua lunghezza in km, la sua percentuale rispetto al totale naturale, la lunghezza in km di costa “armata” in quello specifico tipo Morfo-sedimentologico e la sua percentuale sul totale armato.

Tipi Morfo - sedimentologici	Lunghezza tratto naturale (km)	Totale naturale (%)	Lunghezza tratto armato (km)	Totale armato (%)
Costa di falesia	1141,21	15,2	9,13	1,5
Costa articolata	1769,96	23,6	146,98	23,6
Costa terrazzata	741,41	9,9	66,35	10,6
Costa piattaformale	191,15	2,5	27,69	4,4
Costa di golfo	635,25	8,5	117,35	18,8
<i>Totale coste rocciose</i>	4478,99	59,7	367,51	59,0
Costa di piana di conoide	286,94	3,8	9,97	1,6
Costa di litorale stretto	584,80	7,8	32,35	5,2
Costa di litorale diritto	1238,09	16,5	50,44	8,1
Costa di isola – barriera	46,54	0,6	0,00	0,0
Costa di laguna – baia	535,71	7,1	86,20	13,8
<i>Totale spiagge</i>	2692,08	35,9	178,96	28,7
Costa di fronte – delta	244,89	3,3	7,77	1,2
Costa di laguna, sacca, baia e bocca del delta	90,88	1,2	69,09	11,1
<i>Totale deltizie</i>	335,77	4,5	76,87	12,3
Totale	7506,84	100	623,33	100
Totale lunghezza coste	8130,17			

Dalla tabella 1.3 si può osservare che se si prendono in considerazione i tratti naturali, i morfotipi prevalenti sono quelli di costa articolata (23,6%), la costa di falesia (15,2%) e quella di litorale diritto (16,5%), che assieme rappresentano il 55,3% del litorale. Invece per ciò che riguarda i tratti armati, si ha una predominanza della costa

articolata (23,6%), della costa di golfo (18,8%), della costa di laguna – baia (13,8%) e della costa di laguna, sacca, baia e bocca deltizia (11,1%), che occupano insieme il 67,3% del litorale armato, poiché per la loro morfologia si prestano più degli altri morfotipi all’antropizzazione. La figura 1.9 illustra graficamente i dati della tabella 1.3.

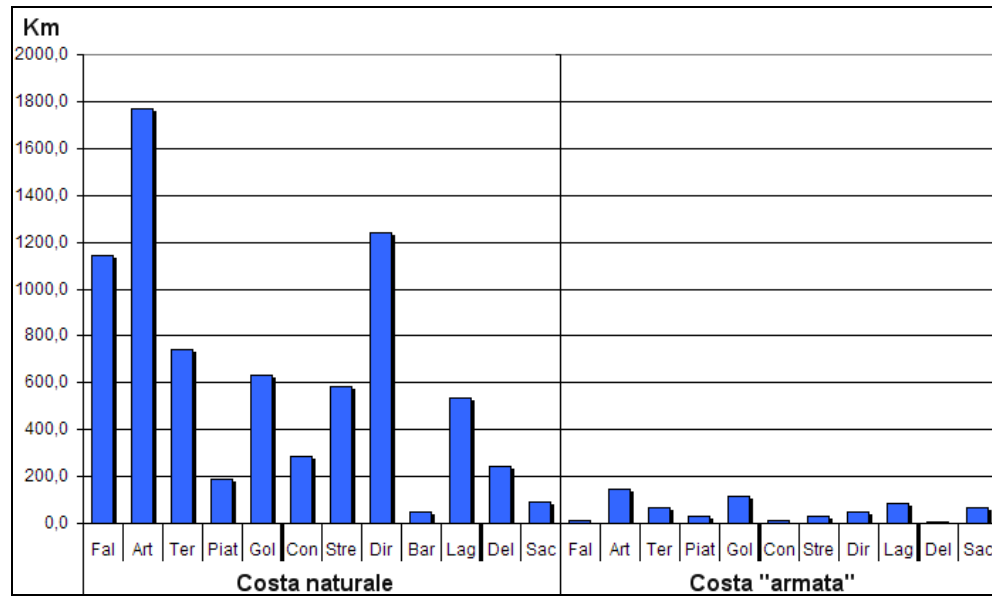


Figura 1.9. Contributo dei Tipi Morfo-sedimentologici lungo il litorale italiano su scala nominale 1:100.000. Fal: Falesia; Art: Articolata; Ter: Terrazzata; Piat: Piattaformale; Gol: Golfo; Con: Piana di Conoide; Stre: Litorale Stretto; Dir: Litorale Diritto; Bar: Isola-Barriera; Lag: Laguna e Baia; Del: Fronte-Delta; Sac: Laguna, Sacca e Bocca deltizia.

In tabella 1.4 e figura 1.10 è rappresentato lo sviluppo costiero per le singole regioni amministrative. Per queste ultime è riportata la lunghezza totale della costa, distinta in naturale e armata, e la percentuale della costa armata in rapporto al totale regionale. Si può notare la prevalenza sui litorali italiani di coste rocciose (circa il 55% del totale), rispetto alle spiagge (circa il 37% del totale), mentre le coste armate rappresentano circa l’8% del totale in buona concordanza con i dati del Progetto CORINE (EUR 13289, 1998) che individua un 7,5% di coste artificiali per il territorio italiano. Inoltre le regioni che hanno la maggior percentuale di costa armata sono la

Liguria (33,2%) ed il Veneto (22,4) mentre le percentuali più basse si riscontrano per la Basilicata (0,0%) ed Abruzzo e Molise (2,1%).

Tabella 1.4. Estensione della Costa naturale distinta in Rocciose e Spiagge e della Costa armata per regione amministrativa. Per ciascuna regione viene indicata la percentuale di costa armata rispetto al totale della lunghezza regionale.

Regione	Coste naturali (km)		Costa "Armata" (km)	Costa "Armata" (%)	Totale (km)
	Rocciose	Spiagge			
Abruzzo	46,66	80,48	2,66	2,1	129,81
Basilicata	23,75	39,31	0,00	0,0	63,06
Calabria	314,93	365,49	36,86	5,1	717,28
Campania	312,66	128,07	17,60	3,8	458,33
Emilia-Romagna	0,00	128,33	19,96	13,5	148,30
Friuli Venezia Giulia	17,72	276,37	44,51	13,1	338,60
Lazio	139,46	194,54	11,35	3,3	345,35
Liguria	192,86	40,79	116,02	33,2	349,68
Marche	51,63	112,25	11,83	6,7	175,70
Molise	13,50	22,37	0,77	2,1	36,65
Puglia	557,25	247,90	80,78	9,1	885,93
Sardegna	1437,81	305,89	56,72	3,2	1800,42
Sicilia	1001,90	399,80	67,77	4,6	1469,48
Toscana	368,86	203,85	17,48	3,0	590,19
Veneto	0,00	482,40	139,02	22,4	621,42
TOT.	4478,99	3027,85	623,33		8130,17

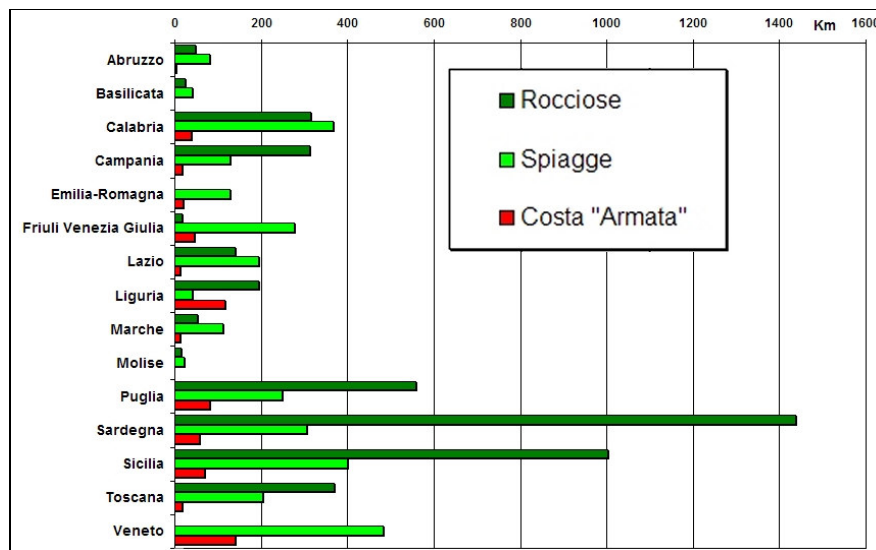


Figura 1.10. La distribuzione delle coste naturali distinte in Rocciose e Spiagge e delle coste armate per regione amministrativa.

1.5 Tipi morfo-sedimentologici, erosione e suscettibilità costiera

La zona costiera riveste un'importanza centrale per l'economia, l'ambiente e la cultura italiane. La peculiare complessità morfologica, unitamente al rapido sviluppo delle infrastrutture e degli insediamenti produttivi, ha comportato un forte incremento nella vulnerabilità dei litorali. Agli aspetti di urbanizzazione e di uso del territorio, si sono sovrapposti negli ultimi decenni gli effetti dei cambiamenti climatici sia naturali che antropici.

Tra gli effetti causati dai cambiamenti climatici in atto, l'innalzamento del livello medio marino e l'accresciuta incidenza degli eventi meteorici estremi sono certamente tra i più dannosi per gli ambienti litorali (Nicholls and Nimura, 1998). In generale, le fluttuazioni naturali del livello marino sono la somma di più componenti che agiscono sia a scala globale, che a scala regionale. Le componenti a scala globale sono di carattere prettamente geologico, come, ad esempio, i cambiamenti di forma degli oceani, l'espansione delle dorsali oceaniche e si possono riassumere nel termine di eustatismo; le componenti a scala regionale sono, invece, le variazioni glacio-idro-isostatiche, la subsidenza e la tettonica (Silenzi et al., 2003). Agli aspetti naturali delle variazioni del livello marino va poi aggiunto il contributo delle attività umane, che producono un riscaldamento globale a causa del forte incremento di anidride carbonica nell'atmosfera. L'innalzamento della temperatura comporterà un' espansione termica degli oceani e lo scioglimento dei ghiacciai, contribuendo in modo determinante all'aumento del livello medio marino a scala planetaria. Tale aumento è stimato dall'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) tra i 90 e 880 mm nell'anno 2100 (Church et al., 2001).

Nell'area mediterranea, i dati mareografici degli ultimi cento anni mostrano un trend lineare di crescita del SLR con una velocità di circa 1.1 mm/anno per la sola componente eustatica (Zerbini et al., 1996). Alla componente eustatica globale del SLR

vanno poi sommate le componenti regionali e locali. Ad esempio, nelle zone soggette al fenomeno della subsidenza il SLR è particolarmente rilevante (Carbognin et al., 1995): a Venezia è stato valutato uno scenario futuro di crescita del SLR con un tasso di subsidenza pari a 0,4 mm/anno (CoRiLa, 1999). Dal punto di vista tettonico, invece, la penisola italiana risulta particolarmente attiva con aree in sollevamento come la Calabria e la Sicilia orientale (Miyachi et al., 1994; Monaco et al. 2001); aree in abbassamento come la maggioranza delle piane costiere italiane (Antonioli et al., 2001) ed aree sostanzialmente stabili quali la Sardegna, la Sicilia meridionale ed il Lazio meridionale (Ambrosetti et al., 1987).

Come già precedentemente accennato, la vulnerabilità costiera indica la sensibilità di un sistema costiero agli effetti negativi dei cambiamenti climatici in atto. In realtà, in letteratura, esistono molte definizioni del termine *Vulnerabilità costiera* e generalmente tutte concordanti a definire la vulnerabilità come un'entità delle perdite attese, espresse in termini monetari (Panizza, 1988; Del Prete et al., 1992; Braaf et al., 1995; Greve et al., 2000). Per tale motivo, in questo ambito il vocabolo *vulnerabilità* viene sostituito con il concetto di *Suscettibilità* che, invece, indica la propensione di un settore di territorio all'insorgenza di un fenomeno potenzialmente distruttivo per la concomitanza di determinate condizioni fisiche, senza considerare le eventuali perdite di carattere economico (Brabb, 1984; Carrara et al, 1995).

In uno scenario così preoccupante e complesso come quello dei litorali italiani, la caratterizzazione morfo-sedimentologica delle fascia costiera è fondamentale per individuare i tratti litoranei a maggior grado di suscettibilità all'innalzamento del livello marino e dei fenomeni ad esso collegati. Un *Indice di Suscettibilità Costiera* è una grandezza adimensionale, che deve considerare i parametri ambientali i quali possono mitigare o amplificare l'innalzamento del livello medio marino. Tra tali parametri le

caratteristiche morfo-sedimentologiche della costa sono ovviamente necessarie e assieme ad altri aspetti, quali la tendenza all'erosione, o all'avanzamento della linea di riva, il tasso del SLR (Sea Level Rise), l'energia del moto ondoso e le variazioni delle maree possono concorrere alla determinazione dell'Indice di Suscettibilità Costiera (Shaw et al., 1998).

Non è obiettivo di questa ricerca affrontare il problema della suscettibilità delle coste italiane, ma è evidente che, in prima approssimazione, la caratterizzazione morfo-sedimentologica è indicativa del possibile indice di suscettibilità costiera. In particolare, gli oltre 1200 km di Litorale Diritto, proprio per il profilo sottomarino a bassissima pendenza che continua nella topografia della parte emersa, costituiscono dei tratti costieri ad elevata suscettibilità. Di conseguenza, le regioni italiane dove l'innalzamento del livello medio marino causerà i maggiori problemi sono le regioni nord-adriatiche, in cui il tipo morfo-sedimentologico di Litorale Diritto è più frequente. In particolare in Emilia-Romagna ed in Veneto. Anche il settore tirrenico presenta ampi tratti di litorale con queste caratteristiche morfo-sedimentologiche, come la maggioranza delle coste toscane e laziali (fig. 1.8).

L'effetto più importante del global SLR sulle coste italiane sarà un'amplificazione dei processi erosivi che già interessano il 42% delle spiagge italiane (AA.VV., 2006). Il quadro delle nostre coste è allarmante (fig. 1.11) in quanto la gran parte dei tratti, che non risultano in erosione, deve la propria stabilità a massicce opere di difesa, che modificano l'ambiente e il paesaggio costiero, rendono più difficile l'uso balneare della spiaggia e inducono spesso l'erosione nei tratti di costa adiacenti.



Figura 1.11. Tendenza evolutiva a medio periodo delle spiagge italiane (AA.VV., 1999).

1.6 Unità Fisiografiche naturali

Uno studio riguardante i caratteri composizionali dei sedimenti delle coste italiane deve necessariamente considerare la natura petrografica degli apporti e la deriva dei

materiali nelle aree costiere. Per tale motivo, è necessario definire un'importante unità costiera: l'*Unità Fisiografica naturale*. Tale unità deriva dal concetto di trasporto sedimentario sottocosta, come conseguenza dell'applicazione degli agenti meteo-marini in relazione all'orientazione geografica della linea di costa stessa.

In questo studio, si definisce Unità Fisiografica naturale *un tratto costiero continuo in cui il trasporto sedimentario sottocosta attuale indotto da onde e correnti ha lo stesso verso*. Con il termine attuale si vuole indicare le condizioni ambientali formatesi circa 6000 anni fa, quando il livello medio mare globale ha assunto una posizione paragonabile alla presente (Valloni, 2000). Il trasporto a cui si fa riferimento è netto (*net longshore transport*), definito come trasporto a lungo termine, risultante dalla somma dei singoli movimenti dovuti a tutti i treni d'onda che arrivano sulla costa (Komar, 1994). Il trasporto netto risulterà quindi inferiore al trasporto totale (*gross littoral transport*) e localmente, o temporaneamente, sarà possibile avere un verso del trasporto sottocosta non coincidente con quello che caratterizza l'Unità Fisiografica naturale. Inoltre all'interno dell'Unità ci possono essere delle interruzioni del *longshore transport*, a causa di grandi elementi naturali come promontori, o artificiali come porti, che localmente interrompono il trasporto.

Il procedimento di individuazione e catalogazione delle Unità Fisiografiche naturali deve considerare la realtà delle coste italiane per cui è stato preventivamente stabilito che:

- a) si determina un'Unità Fisiografica naturale in presenza di un trasporto sedimentario sottocosta con verso univoco con *estensione maggiore di 20 km*;
- b) il limite di un'Unità Fisiografica naturale è individuato con la presenza di un trasporto di verso opposto a quello principale, o con un'interruzione del trasporto principale con *estensioni maggiori di 10 km*.

In base alla letteratura esistente, tra cui si segnala il già citato *Atlante delle Spiagge Italiane* (AA.VV., 1999) ed il lavoro di Atzeni et al. (1998), Taverna (2003) ha cartografato quarantuno Unità Fisiografiche naturali sul complesso delle coste italiane

1.6.1 Aggiornamento del dataset delle Unità Fisiografiche naturali

In questa ricerca è stato aggiornato il dataset delle Unità Fisiografiche naturali (Taverna, 2003) sotto l'aspetto sia spaziale, sia concettuale.

Per quanto concerne l'aspetto concettuale, il dataset è stato modificato ed implementato di nuovi dati. Infatti sono stati aggiunti i campi *Orientazione* e *Verso del Trasporto*. Gli *attributi* che identificano ciascuna Unità Fisiografica naturale sono rappresentati nella tabella 1.5. Invece, l'aggiornamento del modello spaziale dei dati ha modificato le quarantuno Unità Fisiografiche naturali, che sono state trasformate da semplici modelli lineari a modelli poligonali, delimitati verso mare dall'isobata dei 10 m e verso terra dalla linea di riva (fig. 1.12). Il limite dei 10 metri è stato scelto come approssimativo della *profondità di chiusura* delle spiagge italiane e rappresenta quindi il limite verso mare del trasporto sedimentario sottocosta; all'interno di tale distanza dalla riva, avvengono tutti i processi che permettono l'alimentazione di una spiaggia (Hallermeier, 1981). Superata tale profondità, il moto ondoso non riesce a muovere, né a recuperare i materiali per restituirli al prisma sabbioso.

Il limite verso terra delle Unità Fisiografiche è dato dalla linea di riva fatta arretrare di 1 km nell'entroterra per ragioni tecniche; questo arretramento permette migliori sovrapposizioni con eventuali dati provenienti da fonti diverse. Ogni poligono delimita una singola Unità Fisiografica naturale, che individua un trasporto sedimentario sottocosta con verso univoco con estensione maggiore di 20 km.

Tabella 1.5. Struttura informativa delle Unità Fisiografiche naturali.

<i>Attributo</i>	<i>Descrizione</i>
1) Codice	Codice alfanumerico identificativo per ciascuna Unità Fisiografica naturale. La lettera alfabetica indica il bacino marino di appartenenza: L = Ligure; T = Tirreno; MS = Mar di Sardegna e canali di Sicilia e Sardegna; I = Ionio; A = Adriatico.
2) Località sottesa	Il nome della principale località sottesa dalla Unità Fisiografica naturale.
3) Località di apertura	Il nome della più vicina località al confine della Unità Fisiografica naturale coincidente con il verso in entrata del trasporto sedimentario sottocosta.
4) Località di chiusura	Il nome della più vicina località al confine della Unità Fisiografica naturale coincidente con il verso in uscita del trasporto sedimentario sottocosta.
5) Orientazione	L'orientazione del tratto costiero appartenente all'Unità Fisiografica naturale rispetto al Nord geografico.
6) Verso del trasporto	Il verso del trasporto sedimentario sottocosta rispetto al Nord geografico.

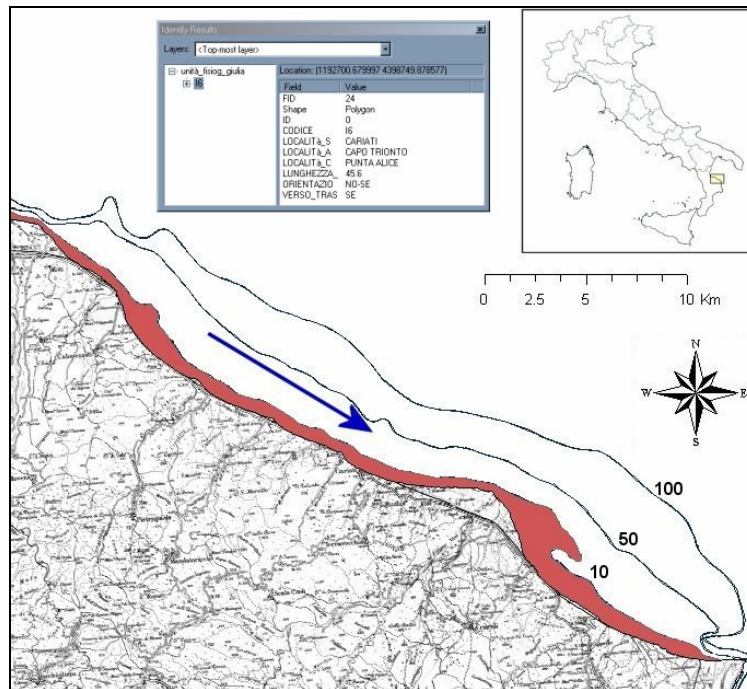


Figura 1.12. Esempio di Unità Fisiografica naturale (in rosso) nella costa calabrese del Golfo di Taranto trattata con tecniche GIS. Il verso del trasporto sedimentario sottocosta è indicato dalla freccia.

1.7 Quadro d'insieme del trasporto sedimentario sottocosta

La figura 1.13 illustra il verso del trasporto sedimentario sottocosta delle Unità Fisiografiche naturali; la fonte dei dati è perlopiù rappresentata dall'*Atlante delle Spiagge italiane* (AA.VV., 1999). Vale sempre ricordare che alla scala di questa ricerca, si sono individuate Unità Fisiografiche naturali che avessero un trasporto sedimentario sottocosta con verso univoco con *estensione maggiore di 20 km*. Inoltre l'*Atlante delle Spiagge italiane* (AA.VV., 1999) distingue un trasporto sedimentario “prossimale” e “distale” rispetto alla costa; in questo ambito si è considerato esclusivamente il trasporto sedimentario prossimale, ovvero quello che maggiormente coinvolge la frazione sabbiosa del sedimento litorale.

Partendo dalla costa ligure, si osserva un andamento verso Est del drift costiero nelle due uniche piccole Unità fisiografiche della regione. Questo verso riprende in Toscana, nella costa versiliese, ma viene interrotto da un drift di verso opposto in prossimità di Marina di Pietrasanta, che individua così un punto di convergenza del drift costiero (fig. 1.13, C1).

Il drift proveniente da Nord deriva dalla foce del fiume Arno; come si può osservare, infatti, la foce dei fiumi determina sempre una zona di divergenza del drift costiero (fig. 1.13: D1, D2, D3, D4, D5). A Sud della foce del fiume Arno non ci sono Unità fisiografiche di estensione di 20 km, ma comunque è documentato il verso del drift costiero verso Sud.

Il trasporto sedimentario si mantiene con verso meridionale per tutta la costa tirrenica fino a Gioia Tauro in Calabria, fatta eccezione per la zona immediatamente a Nord della foce del fiume Tevere, che genera un drift costiero verso Nord di circa 25 km lungo il litorale di Fregene.

In Sicilia, la costa Nord – orientale presenta un drift costiero verso Est; lungo la costa sud-occidentale, da Trapani fino all'Isola delle Correnti, il drift mostra sempre un andamento verso Est che segue la costa e gira verso Nord nel litorale di Noto. Per un ampio tratto della costa orientale non vi sono Unità Fisiografiche naturali significative fino all'Unità di Messina, dove il drift costiero mantiene un andamento settentrionale.

Nella costa ionica della Calabria il drift costiero prosegue verso Nord fino al punto di convergenza (fig. 1.13, C2) in prossimità di Catanzaro Lido nel Golfo di Squillace. In questo punto il drift verso Nord trova un drift di verso opposto, che parte da Capo Rizzuto.

All'interno del Golfo di Taranto, in prossimità della foce del fiume Trionfo, si ha una zona di divergenza con il drift verso Sud fino a Punta Alice e verso Nord segue la costa senza discontinuità fino a Taranto.

Dalla foce del fiume Ofanto, in Puglia, fino a Capo d'Otranto c'è un'estesa Unità Fisiografica con verso continuo del drift costiero verso Sud. La medesima foce è un ulteriore punto di divergenza del drift costiero (fig. 1.13, D4), dove, a Nord di quest'ultima, si osserva un punto di convergenza (fig. 1.13, C3) nel Golfo di Manfredonia a causa di un drift verso Sud, che inizia da Peschici e costeggia il promontorio del Gargano.

Da Peschici fino alla bocca della Sacca di Goro, in Emilia Romagna, abbiamo due lunghissime Unità fisiografiche separate da una ventina di chilometri di costa alta *Articolata* a Sud di Ancona; per tali unità il verso del drift costiero è verso Nord. Nella Sacca di Goro il drift verso Sud proviene dalla foce del fiume Po, che è un punto di divergenza della deriva litorale (fig. 1.13, D5).

Da Peschici fino alla bocca della Sacca di Goro, in Emilia Romagna, abbiamo due lunghissime Unità fisiografiche separate da una ventina di chilometri di costa alta *Articolata* a Sud di Ancona; per tali unità il verso del drift costiero è verso Nord.

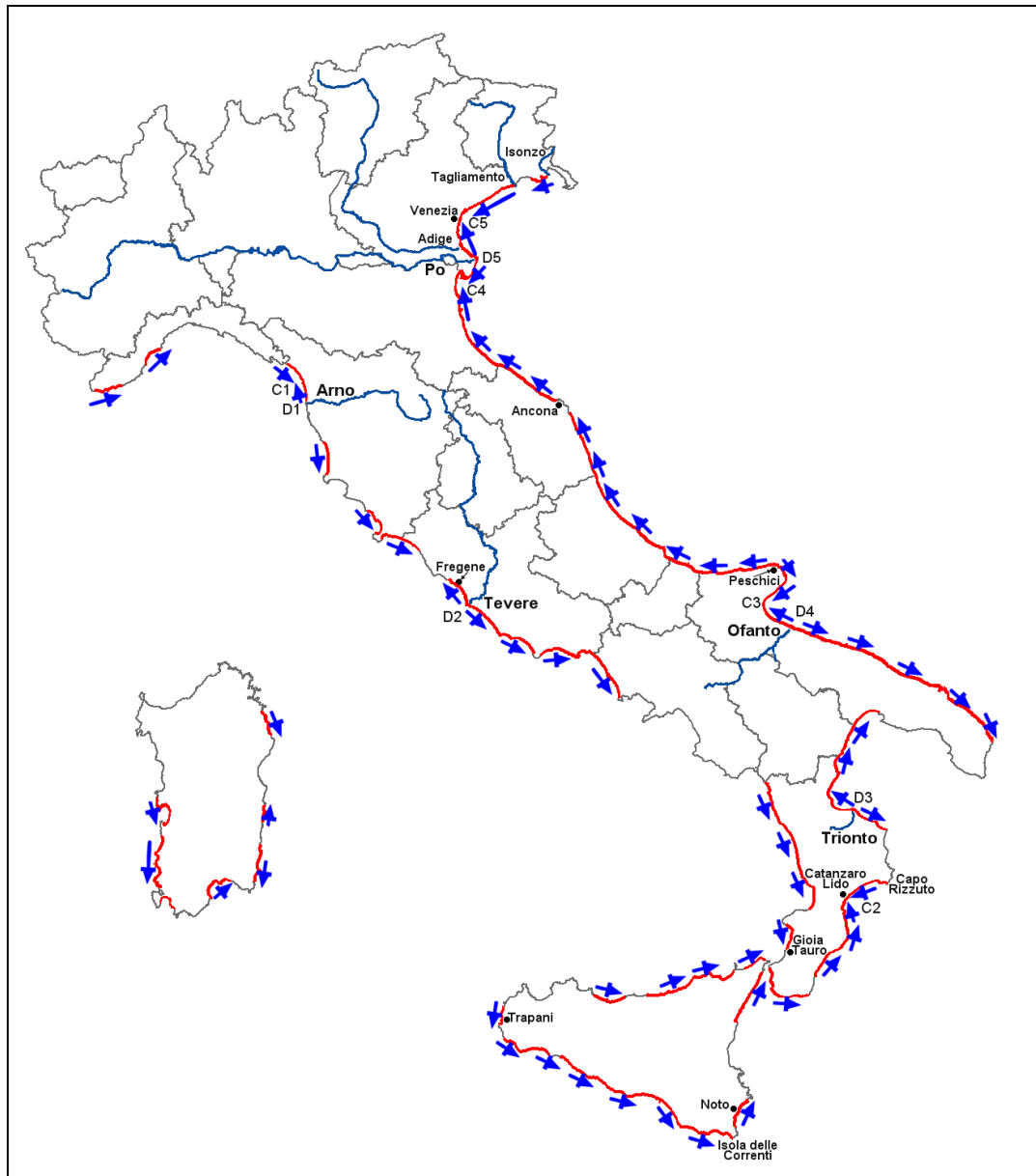


Figura 1.13. Il Trasporto sedimentario sottocosta netto delle Unità Fisiografiche naturali (indicate in rosso). Il verso del Trasporto è indicato dalle frecce blu.

Nella Sacca di Goro il drift verso Sud proviene dalla foce del fiume Po, che è un punto di divergenza della deriva litorale (fig. 1.13, D5). A Nord della foce del fiume Po, il drift

prosegue verso Nord fino al punto di convergenza C5 in prossimità di Venezia. Anche la foce del fiume Adige è una zona di divergenza del drift costiero, ma il drift verso Sud ha un'estensione modesta (~ 8 km) e per tale motivo non è stato cartografato. A Nord della zona di convergenza C5 il drift ha andamento verso Sud-Ovest, generato dalla foce del fiume Tagliamento. Analogamente per la foce del fiume Adige, anche la foce del fiume Tagliamento è una zona di divergenza del drift costiero. A Nord di tale zona si trova un drift costiero verso Nord-Est, interrotto da un verso della deriva litoranea diretta verso Sud-Ovest che inizia dalla foce del fiume Isonzo.

La Sardegna presenta poche Unità Fisiografiche di estensione significativa, anche per la notevole presenza di coste alte. Il drift costiero ha un andamento verso Sud per la costa sud-occidentale che riprende verso Est nel golfo di Cagliari. La costa orientale è costituita da tre Unità Fisiografiche separate con verso del drift costiero variabile.

1.8 Province Petrografiche Sedimentarie costiere

Tra i primi lavori in Italia che utilizzarono il termine di Province Petrografiche Sedimentarie costiere fu il lavoro di Gazzi et al. (1973). In tale pubblicazione, le Province Petrografiche Sedimentarie costiere sono definite come "lunghi tratti di spiaggia i cui caratteri composizionali delle sabbie rimangono uniformi e pressoché costanti - Questi tratti di spiaggia omogenei, unitamente ai fiumi ad essi correlabili, costituiscono vere e proprie unità naturali, per distribuzione geografica e per origine dei sedimenti sabbiosi". Quindi la caratteristica fondamentale, per definire una Provincia Petrografica Sedimentaria costiera, è l'uniformità della composizione petrografica delle sue sabbie; ciò è legato alla provenienza le cui caratteristiche si mantengono relativamente costanti nel tempo: bacino di drenaggio, suo grado di denudazione, sistema

idrografico, clima ed ambiente deposizionale (Basu, 1985; Suttner, 1974; Johnsson, 1993; Valloni, 1985).

Il principale obiettivo di questo studio nasce dalla necessità di disporre di un corpo di dati uniformi, traendo vantaggio dai risultati ottenuti di un certo numero di studi pregressi. La raccolta dei dati disponibili, a scala nazionale, sulle Province Petrografiche Sedimentarie costiere, rappresenta il primo passo di questo processo di inquadramento generale sul sistema costiero italiano.

Come per l'aspetto della morfologia costiera, anche nell'ambito della petrografia dei sedimenti costieri la prima pubblicazione sulla composizione mineralogica dei sedimenti di fiume e di spiaggia delle coste italiane è quella di Anselmi et al. 1978. Sulla base di 225 campioni di sedimenti fluviali e di spiaggia gli autori, attraverso analisi diffrattometrica, hanno determinato i tenori di Quarzo, Feldspati, Calcite e Dolomite. La figura 1.14 illustra la distribuzione dei sedimenti prevalentemente quarzoso-feldspatici, dei sedimenti prevalentemente calcitici e dei sedimenti prevalentemente dolomitici.

Inoltre, attraverso separazioni gravimetriche e magnetiche, è stata analizzata al binoculare la composizione mineralogica della frazione pesante. I risultati di quest'ultima analisi hanno permesso la suddivisione dei campioni in cinque gruppi, caratterizzati da associazioni mineralogiche differenti (fig. 1.15).

Dalla figura 1.15 si può osservare che:

- a) gruppo 1 (Pirosseni augitici, melanite, titanite, magnetite); è diffuso nelle Alpi orientali, sulle coste pugliesi, sulla costa orientale della Sicilia, sulla costa occidentale della Sardegna e sulle coste tirreniche della penisola fino alla Calabria;

- b) gruppo 2 (Granati, minerali metamorfici); si ritrova nel settore padano ed adriatico, in un tratto della penisola calabrese ed in piccole aree della Sicilia meridionale;
- c) gruppo 3 (Epidoti, anfiboli); caratterizza l'area padana, parte della penisola calabrese, le aree appenniniche liguri a Nord dell'Arno e l'intera costa orientale della Sardegna;
- d) gruppo 4 (Iperstene); è frequente in aree ristrettissime del Veneto, della Toscana meridionale e della Sardegna occidentale;
- e) gruppo 5 (Diallagio); presenta ampia diffusione nell'intera area ligure.

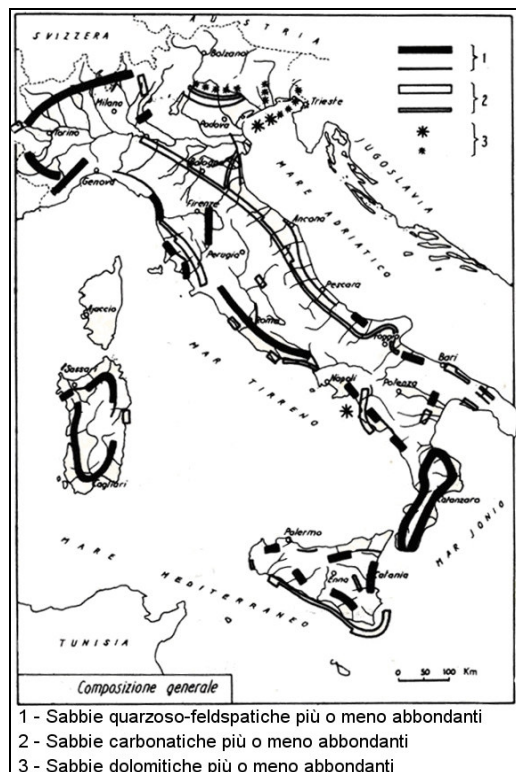


Figura 1.14. Composizione petrografica delle sabbie dei litorali italiani (Anselmi et al. 1978, mod.)

La ricerca descritta evidenzia, in particolare, la correlazione tra natura litologica dei bacini e composizione mineralogica generale dei sedimenti fluviali quando tali bacini hanno formazioni vulcaniche e/o cristalline, ma tale correlazione diventa difficile o del

tutto assente, per numerose formazioni sedimentarie. Al contrario, la composizione dei minerali pesanti è spesso discriminante, data la forte correlazione con la litologia delle rocce madri (Anselmi et al., 1978).

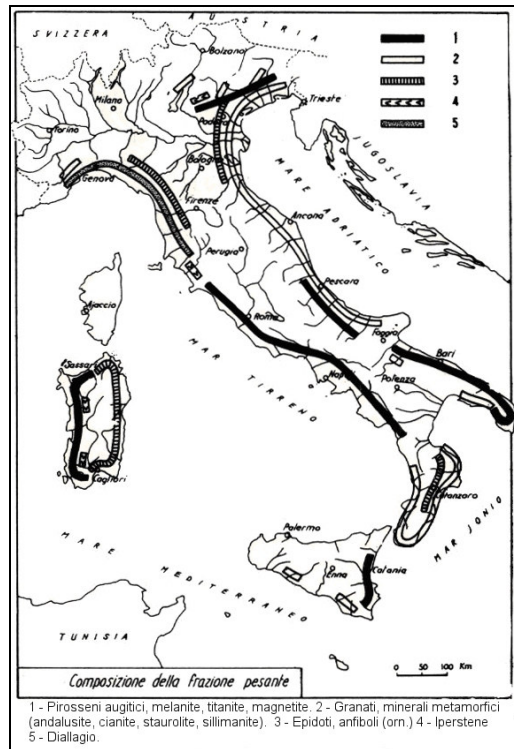


Figura 1.15. Composizione della frazione pesante (Anselmi et al. 1978, mod.). 1: Pirosseni augitici, melanite, titanite, magnetite; 2: Granati, minerali metamorfici; 3: Epidoti, anfiboli (orn.); 4: Iperstene; 5: Diallagio.

Gazzi et al. (1973), tramite lo studio petrografico in sezione sottile, analizzarono 71 campioni di sedimenti di spiaggia e di fiume dalla foce dell'Isonzo (Friuli Venezia Giulia) alla foce del Foglia (Marche). Le analisi, estremamente dettagliate, permisero di individuare sette principali province petrografiche lungo i 320 km di costa adriatica che erano oggetto di studio. Inoltre vennero individuati quali fossero i fiumi determinanti nel fornire le sabbie dei diversi tratti di spiaggia e furono definiti il verso e l'estensione del *drift costiero* per ogni singola provenienza.

Qualche anno più tardi vennero individuate le Province Petrografiche Sedimentarie costiere del litorale toscano (Gandolfi et al., 1977). L'area di studio era

delimitata dalla foce del fiume Magra a Nord (Liguria), fino alla foce dell'Ombrone a Sud (Toscana) e furono determinate nove province distinte per la composizione mineralogica delle loro sabbie.

Non molti altri furono i lavori in Italia che analizzarono la composizione petrografica dei sedimenti fluviali e costieri per definire nuove Province Petrografiche Sedimentarie costiere e studiarne la provenienza; tra questi si segnalano: Cavazza et al, (1993); Critelli et al., 1994; Le Pera et al., 1997; Le Pera et al., 2001; Dickinson et al., 1980; Ibbeken et al., 1991; Marchesini et al., 2000). Come in ambito geomorfologico, anche in ambito petrografico l'*Atlante delle Spiagge Italiane* (AA.VV., 1999) è di notevole ausilio, riportando la segnalazione di diverse Province Petrografiche Sedimentarie costiere.

1.9 Opere citate

AA.VV., 1999. *Atlante delle Spiagge Italiane. Dinamismo - tendenza evolutiva - Opere Umane*. CNR-MURST., S.EL.CA. EDITORE: 4, 108 tavole.

AA.VV., 2001. *Lo stato dei litorali italiani in rapporto al fenomeno dell'erosione*. Ministero dell'Ambiente, ENEA, Università degli Studi di Parma, La Spezia, 20 Gennaio 2001. ENEA – Rapporti Tecnici: 102.

AA.VV., 2006. *Lo stato dei litorali italiani*. Studi Costieri., 10: 5-7.

AMBROSETTI P., BARTOLINI C., BOSI C., CARRARO F., CIARANFI N., GHISSETTI F., PAPANI G., VEZZANI L., ZANFERRARI A., ZITELLINI N., 1987. *Neotectonic Model of Italy (scale 1: 1.500.000)*. CNR Progetto Finalizzato Geodinamica (direttore F. Barberi), sottoprogetto neotettonica (coordinatore C. Bosi). Litografia Artistica Cartografica, Firenze, 6 fogli.

ANSELMI B., BRONDI A., FALCHI G., FERRETTI O., 1978. *Lineamenti granulometrici e mineralogici generali dei sedimenti fluviali e costieri del territorio italiano*. Mem. Soc. Geol.It., 19: 307-314.

ANTONIOLI F., LEONI G. E MARGOTTINI C., 2001. *The risk of sea flooding in 33 Italian coastal plains*. Workshop "Global climate changes during the late Quaternary" Accademia dei Lincei, Roma. Abstract volume: 29-34.

ATZENI A., DE MURO S., DI GREGORIO F., PIRAS G., 1998. *Carta del rischio geoambientale nelle coste della Sardegna (Italia)*. Atti del convegno "Il rischio idrogeologico e la tutela del suolo" Accademia Nazionale dei lincei, 1-2 Ottobre 1998: 343-350.

BASU A., 1985. *Influence of climate and relief on compositions of sands released at source areas*. Provenance of Arenites (Ed. G.G. Zuffa): 1-18. D. Reidel, Dordrecht.

BRAAF R., HENDERSON-SELLERS A., HOLLAND G. E HOWE W., 1995. *Climate change prediction, impact evaluation and integrated assessment*. Proceedings of the users climate change prediction experts workshop, Sydney: 56

BRABB E., 1984. *Innovative approaches to landslide Hazard and Risk mapping*. Proceedings 4th I.S.L., Toronto, Canada: 307-324.

BRONDI A., FERRETTI O., ANSELMINI B., FALCHI G., 1979. *Analisi granulometriche e mineralogiche dei sedimenti fluviali e costieri del territorio italiano*. Boll.Soc.Geol.It., 98: 293-326.

CARBOGNIN L., MARABINI F., TOSI L., 1995. *Land subsidence and degradation of the Venice littoral zone*. Proceedings 6th Int. Symp. on Land Subsidence, The Hague, October 1995, IAHS Publ. 234, Balkema, Rotterdam: 391-402.

CAROBENE L., BRAMBATI A., 1975. *Metodo per l'analisi morfologica quantitativa delle spiagge*. Boll. Soc. Geol. It., 94: 479-493.

CARRARA A., CADINALI M., GUZZETTI F. E REICHENBACH P., 1995. *GIS Techniques in Mapping Landslide Hazard*. In "Geographical Information System in Assessing Natural Hazard", Carrara e Guzzetti ed., Kluwer Academic Publishers, Netherlands. Pp. 135-175.

CAVAZZA W., ZUFFA G.G., CAMPORESI C., FERRETTI C., 1993. *Sedimentary recycling in a temperate climate drainage basin (Senio River, north-central Italy): composition of source rocks, soil profiles and fluvial deposits*. M.J. Johnsson and A. Basu (Editors), Processes Controlling the Composition of Clastic Sediments. Geol.Soc.Am.Spec.Pap., 284: 247-261.

CHURCH J.A., GREGORY J.M., HUYBRECHTS P., KUHN M., LAMBECK K., NHUAN M.T., QIN D., WOODWORTH P.L., 2001. *Climate change 2001: the scientific basis*. In: Intergovernmental Panel on Climate Change Third Assessment Report, Cambridge University Press

CO.RILA. 1999. *Scenari di crescita del livello del mare per la laguna di Venezia*. Pubblicazioni Corila Venezia, 1: 1-40.

CRITELLI S., LE PERA E., 1994. *Detrital modes and provenance of Miocene sandstones and modern sands of the southern Apennines thrust-top basins (Italy)*. J.Sediment.Res., A64: 824-835.

DEL PRETE M., GIACCARI E. E TRISORIO LIUZZI G., 1992. *Rischio da frane intermittenti a cinematica lenta nelle aree montuose e collinari urbanizzate della Basilicata*. Pubbl. n° 841 - GNDCI., 84.

DICKINSON W.R., VALLONI R., 1980. *Plate settings and provenance of sands in modern ocean basins*. Geology 8: 82-86.

EUR 13289. 1998. *Corine - Coastal Erosion*. Office for Publications of the European Communities., pp 170, 88 maps.

GANDOLFI G., PAGANELLI L., 1977. *Le province petrografiche del litorale toscano*. Boll. Soc. Geol. It., 96: 653-663.

GAZZI P., ZUFFA G.G., GANDOLFI G., PAGANELLI L., 1973. *Provenienza e dispersione litoranea delle sabbie delle spiagge adriatiche fra le foci dell'Isonzo e del Foglia: inquadramento regionale*. Mem. Soc. Geol. It., 12: 1-37.

GREVE C.A., COWELL P.J. E BRUCE T.G., 2000. *Application Of A Geographical Information System for Risk Assessment On Open Ocean Beaches: Collaroy/Narrabeen Beach, Sidney, Australia - An Example*. Environmental Geosciences, 7: 149-161.

HALLERMEIER R.J., 1981. *A profile Zonation for Seasonal Sand Beaches from Wave Climate*. Coastal Engineering, v. 4: 253-277.

IBBEKEN H., SCHLEYER R., 1991. *Source and Sediment*. Springer-Verlag, Berlin: 283.

IPCC TECHNICAL PAPER V., 2002. *Climate Change and Biodiversity*. Ed. H.Gitay, A.Suarez, R.T. Watson, D.J. Dokken. ISBN: 92-9169-104-7.: 1-86

JOHNSSON, M.J., 1993. *The system controlling the composition of clastic sediments*. Processes Controlling the Composition of Clastic Sediments (Eds M.J. Johnsson and A. Basu), Geol. Soc. Am. Spec. Pap., 284: 1-19.

KOMAR D., 1994. *Beach processes and sedimentation*. College of Oceanic and atmospheric Sciences. Oregon state University. Prentice Hall.: 66-72, 377-384.

LE PERA E., CRITELLI S., 1997. *Sourcelands controls on the composition of beach and fluvial sand of the northern Tyrrhenian coast of Calabria, Italy: implications for actualistic petrofacies*. Sediment.Geol. 110(1): 81-97.

LE PERA E., ARRIBAS J., CRITELLI S., TORTOSA A., 2001. *The effects of source rocks and chemical weathering on the petrogenesis of siliciclastic sand from the Neto River (Calabria, Italy): implications for provenance studies*. Sedimentology 48: 357-378.

MARCHESINI L., AMOROSI A., CIBIN U., ZUFFA G.G., SPADAFORA E., PRETI D., 2000. *Sand Composition and Sedimentary Evolution of a Late Quaternary Depositional Sequence, Northwestern Adriatic Coast, Italy* J.Sediment.Res., 70 - 4: 829-838.

MIYAUCHI T., DAI PRA G. E SYLOS LABINI S., 1994. *Geochronology of Pleistocene marine terraces and regional tectonics in Tyrrhenian coast of South Calabria, Italy*. Il Quaternario., 7: 17-34.

MONACO C., BIANCA M., CATALANO S., DE GUIDI G., GRESTA S., LANGHER H., TOROTORICI L., 2001. *The geological map of the urban area of Catania (Sicily) morphotectonic and seismotectonic implications*. Mem.Soc.Geol.It., 5: 425-438.

LENÔTRE N., THIERRY P., 2002. *Methodology to design the coastal erosion layer for EUROSION database*. EUROSION Report. BRGM/RC-51916-FR, october 2002.: 1-35

NICHOLLS R.J., MIMURA N., 1998. *Regional issues raised by sea level rise and their policy implications*. Clim. Res., 11.: 5-18.

PANIZZA M., 1988. *Geomorfologia Applicata* La Nuova Italia Scientifica: 341.

RICCI LUCCHI F., 1993. *I ritmi del mare - Sedimenti e dinamica delle acque*. La Nuova Italia Scientifica: 251.

SHAW J., TAYLOR R.B., FORBES D.L., RUZ M.-H. E SOLOMON, S., 1998. *Sensitivity of the coasts of Canada to sea-level rise*. Bulletin of Geological Survey of Canada., 505: 1-79.

SILENZI S., DEVOTI S., FULVIO NISI M., ANTONIOLI F., 2003. *Le variazioni del livello del mare come Cause Determinanti il Rischio da RSLR*. Studi Costieri., 6: 31-56.

SUTTNER L.J., 1974. *Sedimentary petrographic provinces: an evaluation*. Paleogeographic Provinces and Provinciality (Ed. C.A. Ross), SEPM Spec. Publ., 21: 75-84.

TAVERNA M., 2003. *Relazioni fra Unità Fisiografiche, Province petrografiche e Tipi Morfo-sedimentologici delle Coste marine italiane*. Tesi di Laurea in Scienze Geologiche, Facoltà di Scienze MM FF NN, Università degli Studi di Parma: 65.

VALLONI R., 1985. *Reading provenance from modern marine sands*. Provenance of Arenite (Ed. G.G. Zuffa): 309-332. D. Reidel, Dordrecht.

VALLONI R., 2000. *Implications of Accelerated Sea Level Rise for Italy*. In: European Vulnerability and Adaptation to Impacts of Accelerated Sea-Level Rise (Ed. A. C. de la Vega-Leinert, R. J. Nicholls, R. S. J. Tol). Proceedings of SURVAS European Expert Workshop, Hamburg, 19-21 June 2000, 1: 42-47.

VALLONI R., FERRETTI O., 2002. *Gestione della zona costiera: Parametri Fisici*. In Atti del Convegno: "Scienze e Mare 2002", ENEA-CRAM S.Teresa, 10-12 Settembre 2002.

VALLONI R., CORBANI F., 2003. *The Morpho-sedimentological Types of Italian Marine Coasts*. Proceedings 4th European Congress on Regional Geoscientific Cartography and Information Systems, Bologna 17-20 June 2003, 1: 182.

ZERBINI S. ET AL. (16 AUTORI), 1996. *Sea level in the Mediterranean: a first step towards separating crustal movements and absolute sea-level variations*. Global and Planetary Change, 14, 1-48.

2 - CELLE LITORALI DELLE COSTE MARINE

ITALIANE

2.1 Definizione di Cella Litorale

Le Celle Litorali sono una delle tante categorie di Unità costiere che rappresentano porzioni di litorale giustapposte lungo riva. A livello concettuale, la Cella Litorale è strettamente legata al *bilancio* del trasporto sedimentario lungocosta. Il bilancio sedimentario è un'applicazione del principio di conservazione di massa riferito ai sedimenti del litorale (Inman, 2003); esso viene calcolato effettuando una stima dei sedimenti in entrata rispetto a quelli in uscita ed eguagliando questi al guadagno e alla perdita netti in una data Cella Litorale (Inman and Chamberlain, 1960; Bowen & Inman, 1966; Komar, 1994). La figura 2.1 riassume i principali fattori di perdita o guadagno dei sedimenti.

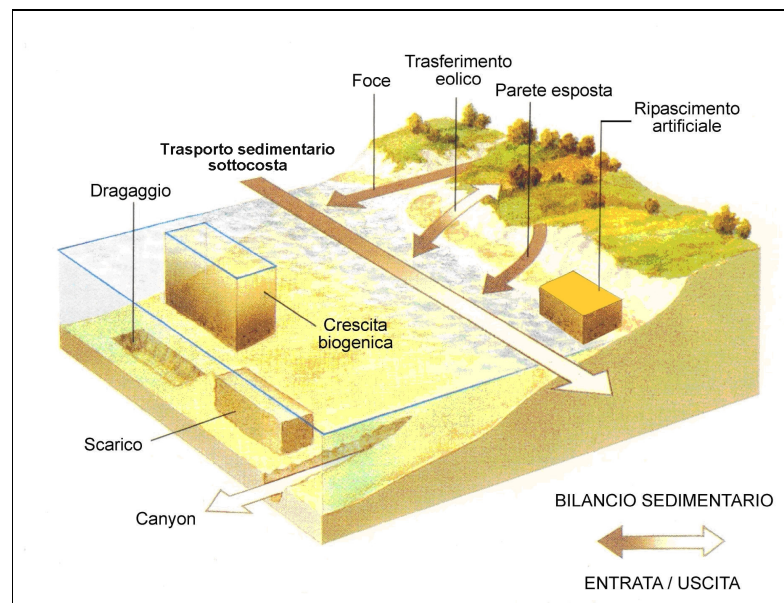


Figura 2.1. Bilancio sedimentario litorale (O.C.T.,1989. mod.)

In questa sede viene adottata una definizione semplificata di Cella Litorale, vale a dire un *sistema chiuso* in rapporto al trasporto sedimentario. Più precisamente,

limitatamente alla frazione ghiaioso-sabbiosa dei sedimenti ed esclusivamente in termini di trasporto lungoriva, la Cella Litorale rappresenta un'Unità costiera che non scambia sedimento con le Unità costiere adiacenti. Questo significa quindi che i sedimenti in entrata nella Cella Litorale da terra, attraverso fiumi e falesie, o da mare, per spiaggiamento di gusci di organismi, sono parte di un sistema autarchico di produzione e trasporto del sedimento.

La figura 2.2 schematizza una Cella Litorale con enfasi sulla prevista possibilità che il sedimento sia trasportato traversocosta all'esterno del "prisma sabbioso costiero".

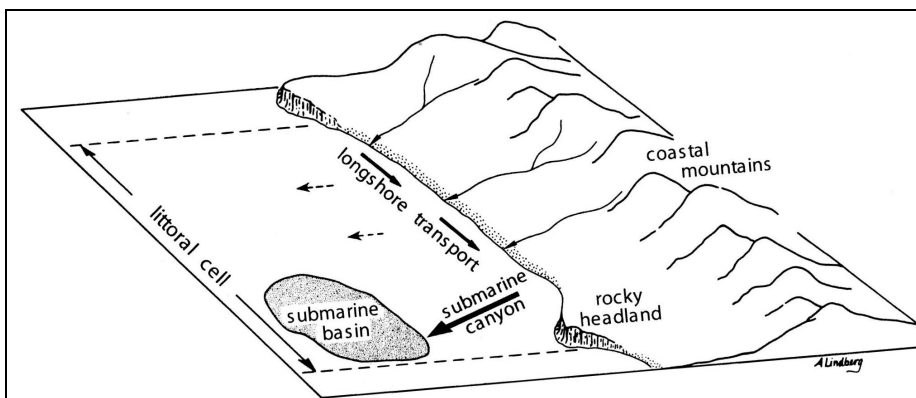


Figura 2.2 . Esempio schematico di una Cella Litorale. Le frecce a tratto continuo indicano i percorsi del tipo di trasporto sedimentario qui considerato longshore; le frecce tratteggiate indicano il possibile trasporto traversocosta (da Inman, 2003).

Una Cella Litorale come sopra definita, delimitata da limiti naturali, consente di dichiarare che ogni opera aggettante in mare realizzata all'interno di essa, potrà alterare i processi fisici del sistema costiero ed eventualmente spezzare la cella stessa. Gli Enti predisposti alla gestione del territorio dovranno, quindi, tener conto dei confini esistenti delle Celle Litorali e non di quelli amministrativi come, ad esempio, i limiti comunali, provinciali, regionali ecc.. (Inman and Masters, 1994). Per tale motivo la Cella Litorale è una componente fondamentale negli studi di impatto ambientale nell'area marino-costiera (Inman, 2003).

2.2 Unità Fisiografiche, Province Petrografiche e Celle Litorali

Con riferimento al trasporto sedimentario sottocosta, espressione delle forzanti meteo-marine agenti su quello specifico tratto di litorale, sono stati sopra definiti tre tipi di Unità costiere, vale a dire le Unità Fisiografiche naturali, le Province Petrografiche Sedimentarie costiere e le Celle Litorali.

Le relazioni spaziali, tra le unità costiere descritte precedentemente, possono essere sintetizzate come segue.

- a) una *Zona di Convergenza* del trasporto sedimentario sottocosta rappresenta necessariamente un limite fra Province Petrografiche Sedimentarie;
- b) un'Unità Fisiografica naturale può contenere più Province Petrografiche Sedimentarie;
- c) un limite fra Unità Fisiografiche naturali non rappresenta necessariamente anche un limite fra Province Petrografiche Sedimentarie (es. Zone di Divergenza).

La figura 2.3 mostra un esempio nel litorale toscano settentrionale, esteso dalla foce dell'Arno alla foce del Magra. La zona di convergenza tra le due Unità Fisiografiche di Massa e Viareggio è caratterizzata obbligatoriamente anche da un limite delle Province Petrografiche sedimentarie. Il limite fra le due Unità è posto nei pressi di Forte dei Marmi che risulta la zona di convergenza del trasporto sedimentario netto sottocosta, proveniente a Nord dalla foce del Magra e a Sud dalla foce dell'Arno. Le due Province Petrografiche sedimentarie sono caratterizzate da sabbie litofeldspatiche con litici misti per la provincia settentrionale e sabbie feldspatolitiche con grani quarzofeldspatici per la provincia meridionale. Il suddetto limite fra unità, posto nella zona di convergenza, non rappresenta tuttavia un limite fra le Celle Litorali. La costruzione del porto di Carrara ha imposto un nuovo limite (antropico) al drift costiero con conseguente creazione di due Celle Litorali.

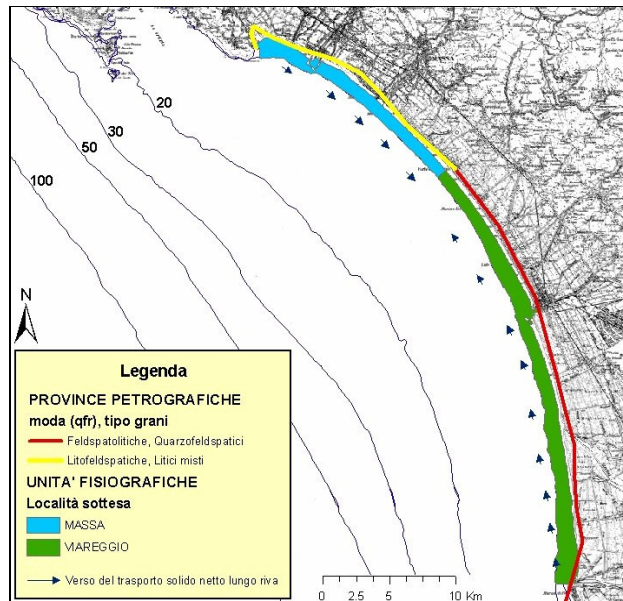


Figura 2.3. Zona di convergenza: limite tra due Unità Fisiografiche naturali e limite per due Province Petrografiche sedimentarie.

La figura 2.4 illustra l'area del delta del Fiume Po. In questo caso è visibile un trasporto sedimentario netto sottocosta che dall'apice del delta diverge verso N e S, determinando due Celle Litorali e due Unità Fisiografiche naturali, entrambe all'interno della medesima Provincia Petrografica Sedimentaria caratterizzata da sabbie litofeldspatiche con litici misti. In questo caso, quindi, il limite tra le due Unità Fisiografiche naturali non comporta un limite di Provincia Petrografica Sedimentaria.

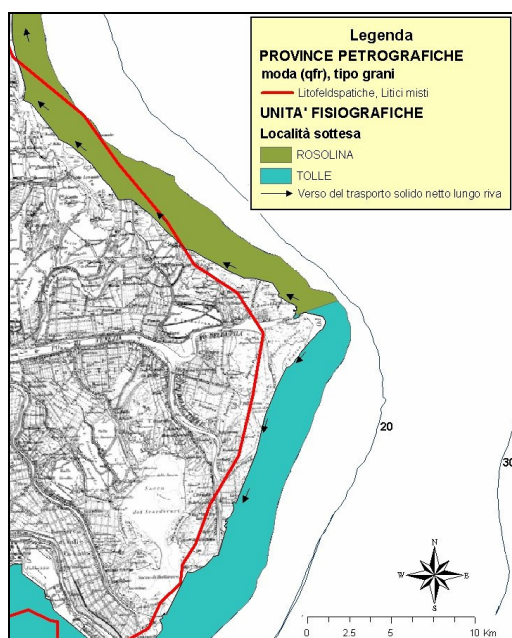


Figura 2.4. Delta del Fiume Po. Zona di divergenza che costituisce sia limite fra Celle Litorali sia limite tra Unità Fisiografiche naturali poste all'interno della stessa Provincia Petrografica Sedimentaria.

In fig. 2.5 sono mostrate le comuni situazioni che determinano dei limiti fra Unità costiere quali porti, promontori, delta fluviali, ecc, per presentare le relazioni spaziali tra Unità Fisiografiche, Province Petrografiche e Celle Litorali.

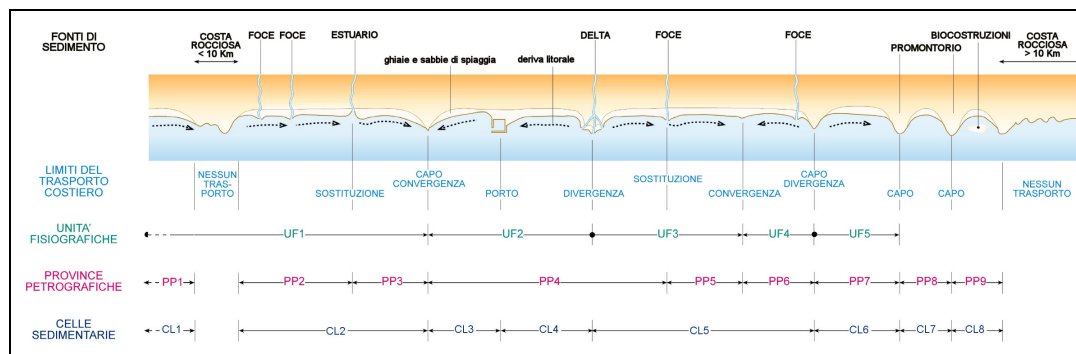


Figura 2.5. Quadro sinottico della definizione concettuale delle Unità Sedimentarie costiere UF: Unità Fisiografica; PP: Provincia Petrografica; CL: Cella Litorale (dati di ricerca non ancora pubblicati, Università di Parma – ENEA S. Teresa).

Il grafico mostra come non esista una gerarchia spaziale tra le varie unità; in termini di estensione, nessun tipo di unità è subordinato alle restanti unità. Ad esempio, più Celle Litorali possono essere localizzate all'interno di un unità fisiografica o viceversa.

Fra questi tre tipi di Unità costiere la Cella Litorale, costituendo il cosiddetto "sistema sedimentario chiuso", rappresenta il tratto costiero minimo da considerare nell'eventualità di interventi antropici atti, sia alla difesa dall'erosione, sia alla costruzione od ampliamento di strutture costiere.

2.3 Individuazione delle Celle Litorali delle coste d'Italia

La cartografia di base utilizzata per l'identificazione delle Celle Litorali si può così riassumere:

- ❑ fogli I.G.M. della cartografia topografica delle coste italiane a scala 1:100.000;
- ❑ carte tecniche regionali (CTR) a scala 1:10.000;
- ❑ ortofoto pancromatiche e multispettrali a diversa risoluzione;

- osservazione delle ortofoto disponibili in rete tramite applicativo Google Earth (© Google);
- osservazione delle ortofoto disponibili in rete presso il Portale Cartografico Nazionale.

2.3.1 I Limiti del Drift Costiero (LDC)

Il principio di individuazione delle Celle Litorali si basa sul fatto che il trasporto sedimentario sottocosta, dato il suo raggio di azione, può essere interrotto significativamente da una qualsiasi struttura, naturale e non, *fortemente aggettante in mare*. In tale ambito, queste strutture aggettanti in mare sono state denominate “*Limiti fisici del Drift Costiero*” (LDC) e classificate in:

1. limiti artificiali come porti e moli;
2. limiti naturali come promontori ed eventualmente isole e delta fluviali.

E' importante sottolineare che, tra gli LDC artificiali, non sono state considerate le cosiddette opere di difesa rigide, come pennelli, barriere emerse e sommerse, in quanto, per loro natura, intercettano solo una parte del trasporto sedimentario sottocosta senza rappresentare un limite invalicabile per lo stesso come, ad esempio, un'opera portuale.

In termini operativi, la prima azione per ricercare i possibili limiti fisici al drift costiero, è stata l'analisi visiva della morfologia delle coste italiane sulla base cartografica disponibile precedentemente descritta. In particolare, sono state utilizzate le immagini satellitari dell'applicativo GoogleEarth (©2007 Google). Tale procedura, sebbene abbia lo svantaggio di essere puramente qualitativa e del tutto soggettiva, ha già dato risultati soddisfacenti in studi analoghi (Tessler & de Mahiques, 1993). Questa analisi non permette di valutare, in termini quantitativi, se e quanto sedimento sabbioso riesca ad attraversare un supposto Limite del drift Costiero. Nonostante ciò, è plausibile

ritenere che i limiti individuati interrompano significativamente il trasporto sedimentario sottocosta.

L'evidenza morfologica che permette la determinazione di un LDC, sia naturale che artificiale, è un'accentuata asimmetria della linea di riva causata da un tipico accumulo sedimentario sul lato del limite sovraflutto e un'evidente falce erosiva nel lato sottoflutto (fig. 2.6).

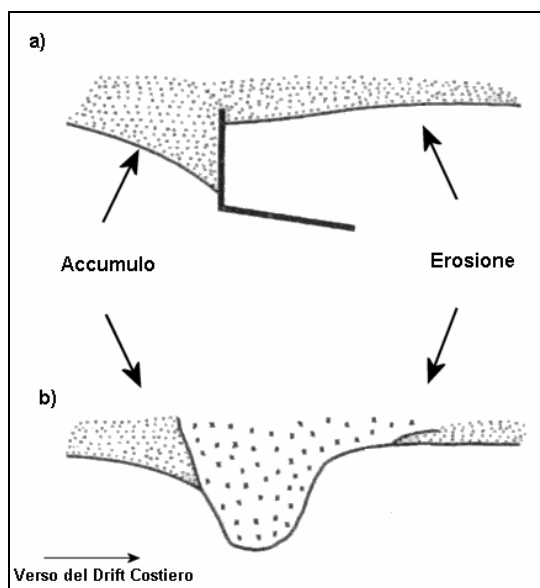


Figura 2.6. Esempio di LDC. a) artificiale; b) naturale (Komar 1994, mod.).

I LDC *naturali* si ritrovano esclusivamente in aree dove si osserva una variazione della morfologia costiera che passa da costa bassa a costa alta e viceversa. Essi sono rappresentati principalmente da promontori e falesie, che proprio per la loro morfologia rappresentano un ostacolo al trasporto sedimentario sottocosta. Tra i LDC antropici sono invece frequenti le strutture portuali di varia estensione.

In questo studio, avendo approssimato la profondità di chiusura per tutte le coste italiane all'isobata dei 10 m (Cap. 1), alla suddetta analisi visiva è stato aggiunto il dato oggettivo, rappresentato dall'intersezione della struttura individuata come LDC con le isobate dei 10 e 5 m, come illustrato in tabella 2.1.

Tabella 2.1. Classificazione dei Limiti del Drift Costiero (LDC).

Tipologia Limite del Drift Costiero	Descrizione
1	Il LDC interseca l'isobata dei 10 m. L'interruzione del trasporto sedimentario sottocosta è pressoché totale.
2	Il LDC interseca l'isobata dei 5 m. L'interruzione del trasporto sedimentario sottocosta è molto significativa.
3	Il LDC <i>non</i> interseca l'isobata dei 5 m. Non esiste interruzione del trasporto sedimentario, si può solo parlare della sua più o meno forte limitazione.

La figura 2.7 illustra come esempio il porto industriale di Marina di Carrara, nel Tirreno settentrionale. La struttura interseca l'isobata dei 5 metri, ma ciò è sufficiente a creare una forte asimmetria della linea di riva con un accumulo di materiale sabbioso nella zona sovraflutto, immediatamente a Nord del porto e una situazione erosiva estrema nella zona sottoflutto a Sud del porto. In quest'ultima area, per circa un chilometro, l'arenile è stato completamente eroso ed è stato necessario sistemare una massicciata aderente a difesa degli abitati. La situazione del porto di Marina di Carrara è comune nei LDC di carattere antropico; un esempio del tutto analogo è nella costa siciliana meridionale, nella marina di Scoglitti (fig. 2.8).



Figura 2.7. Il porto industriale di Marina di Carrara (Toscana). La linea rossa indica l'isobata dei 5m, mentre la linea gialla indica l'isobata dei 10m. La freccia azzurra indica il verso del drift costiero. (© 2007 DigitalGlobe, © 2007 Tele Atlas).

Spesso si osservano LDC che non intersecano neppure l'isobata dei 5m, ma presentano visivamente un evidente ostacolo al trasporto sedimentario sottocosta. Ad esempio il promontorio di Torre Asturia (Lazio) (fig. 2.9). La tipologia 3 degli LDC è frequente nelle coste del Mar Adriatico dove l'isobata dei 5m dista mediamente tra i 500-600 metri dalla linea di riva. Fanno parte di questa tipologia molte strutture portuali dell'Adriatico, ad esempio il porto di San Benedetto del Tronto, Giulianova, Fano, Pesaro, Cesenatico. Raramente si osservano grandi infrastrutture marittime fortemente aggettanti in mare, come ad esempio il porto di Marina di Ravenna (fig. 2.10) senza alcuna asimmetria della linea di riva; si tratta di singolarità spiegate dalle specifiche situazioni locali che in questo lavoro non sono discusse.

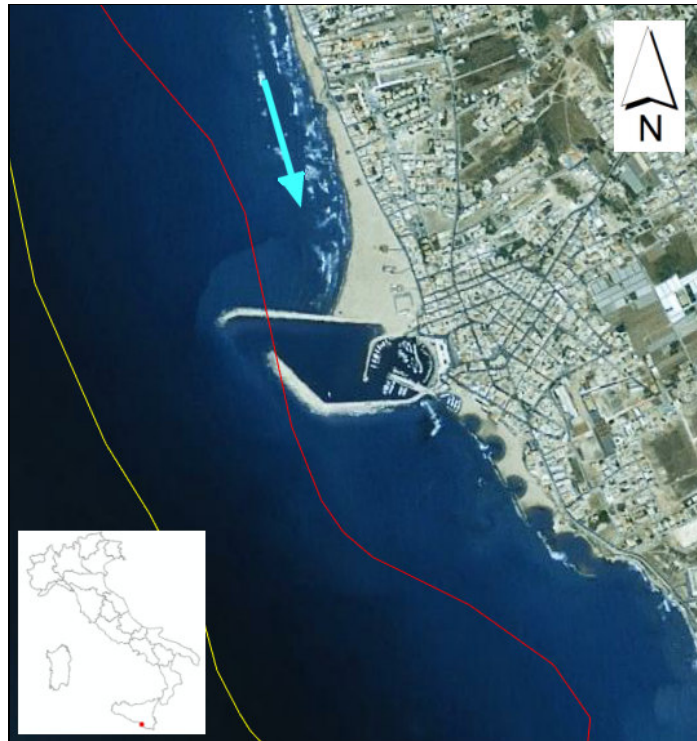


Figura 2.8. La marina di Scoglitti (Sicilia). La linea rossa indica l'isobata dei 5m, mentre la linea gialla indica l'isobata dei 10m. La freccia azzurra indica il verso del drift costiero. (© 2007 TerraMetrics, Image NASA, © 2007 Cnes/Spot image).

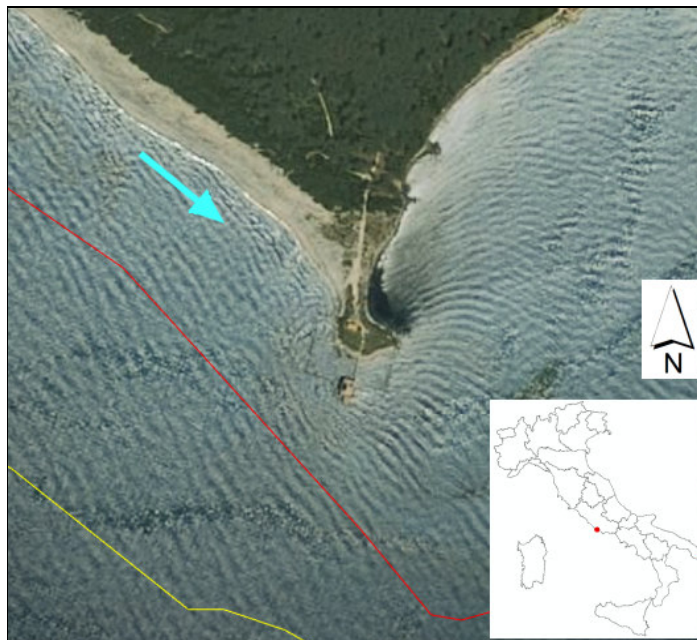


Figura 2.9. Promontorio di Torre Asturia (Lazio). La linea rossa indica l'isobata dei 5m, mentre la linea gialla indica l'isobata dei 10m. La freccia azzurra indica il verso del drift costiero. (© 2007 TerraMetrics, Image NASA, © 2007 Cnes/Spot image).



Figura 2.10. Porto di Marina di Ravenna (Emilia Romagna). La linea rossa indica l'isobata dei 5m. La freccia azzurra indica il verso del drift costiero. (© 2007 DigitalGlobe, © 2007 Tele Atlas).

Tutti i LDC così identificati sono stati definiti utilizzando la primitiva geometrica puntuale nel sistema informativo territoriale. Il punto è stato posizionato in corrispondenza della testa della struttura (estremità verso mare) per i LDC antropici, mentre per quelli naturali è stato posizionato nella parte più aggettante in mare. Con questa procedura sono stati individuati 258 LDC sul complesso delle coste d'Italia. La tabella 2.2 presenta il numero dei LDC per ogni regione, distinti in antropici e naturali.

La figura 2.11 presenta la distribuzione geografica dei Limiti del drift Costiero, distinti in antropici e naturali. Da tale immagine si può osservare come pressoché tutta la costa adriatica sia caratterizzata dai LDC antropici a causa della peculiare morfologia costiera. Nella costa tirrenica e siciliana i LDC antropici e naturali sono circa di pari numero; mentre la Sardegna ha circa il triplo di LDC naturali rispetto a quelli antropici.

Tabella 2.2. Limiti del Drift Costiero per ciascuna Regione, distinti in antropici e naturali.

REGIONE	Artificiale	Naturale	Totale
Abruzzo	4		4
Basilicata		1	1
Calabria	13	9	22
Campania	10	7	17
Emilia Romagna	4		4
Friuli Venezia Giulia	1		1
Lazio	9	7	16
Liguria	16	6	22
Marche	8		8
Molise	1		1
Puglia	19	12	31
Sardegna	15	46	61
Sicilia	28	22	50
Toscana	7	10	17
Veneto	3		3
<i>Totale complessivo</i>	<i>138</i>	<i>120</i>	<i>258</i>

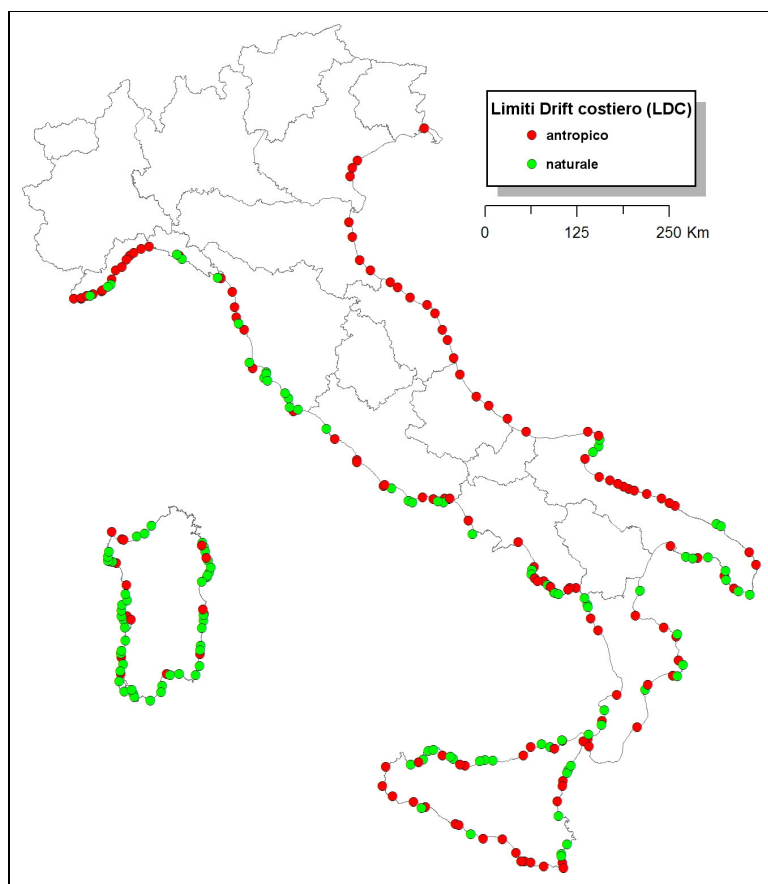


Figura 2.11. Distribuzione geografica dei Limiti del drift Costiero per le coste italiane.

L'individuazione dei Limiti del Drift Costiero è stato il passo procedurale obbligato per l'identificazione delle Celle Litorali. Per tale motivo, la distinzione tra i LDC antropici e naturali, non può essere utilizzata, in senso stretto, come una misura dell'antropizzazione costiera, poiché moltissime strutture antropiche lungo la costa non sono state considerate. Nonostante ciò, l'informazione della figura 2.11 segnala comunque una forte azione dell'uomo sulle coste adriatiche e liguri occidentali ed una limitata azione (realizzazione di opere marittime) in Sardegna.

Per ciascun LDC sono stati implementati, nel sistema informativo territoriale, gli attributi illustrati nella tabella 2.3.

Tabella 2.3. Struttura informativa dei Limiti del Drift Costiero.

<i>Attributo</i>	<i>Descrizione</i>
Codice	Codice numerico identificativo
Regione	La regione amministrativa in cui è presente il limite
Tipo Struttura	Tipologia identificativa del limite: <ol style="list-style-type: none"> 1. porto; 2. porto canale; 3. porticciolo; 4. marina; 5. molo; 6. faro; 7. promontorio.
Località	La località più importante nelle vicinanze del LDC
Naturale	Distingue LDC antropici e naturali. Valori: <ol style="list-style-type: none"> 1) si (naturale) 2) no (artificiale)
Tipo	Classifica gli LDC in funzione della loro collocazione rispetto alle isobate. Valori: <ol style="list-style-type: none"> 1) Il LDC interseca l'isobata dei 10m; 2) Il LDC interseca l'isobata dei 5m; 3) Il LDC non interseca l'isobata dei 5m.
Codice Unità Fisiografica	Codice dell'Unità Fisiografica naturale in cui è eventualmente situato il LDC

2.3.2 Distribuzione delle Celle Litorali

Nell'identificazione delle Unità Fisiografiche fatta nel capitolo 1, è stato imposto come vincolo spaziale quello dei 10 km, al di sotto del quale non si sono considerate le possibili variazioni del verso del trasporto sedimentario sottocosta e, conseguentemente, le possibili suddivisioni interne alle Unità stesse. Le Celle Litorali, invece, sono state georeferenziate con un dettaglio maggiore. Il limite di estensione è stato infatti imposto a 5 km, ritenendo tale valore la soglia oltre la quale l'individuazione delle celle risultava particolarmente complessa e laboriosa.

Una volta determinati i Limiti Fisici del drift Costiero, si è potuto procedere alla determinazione delle Celle Litorali, poiché l'unità costiera compresa tra due LDC rappresenta una Cella Litorale a tutti gli effetti. L'applicazione di questa procedura ha permesso di individuare 187 Celle Litorali sul complesso delle coste italiane. La tabella 2.4 illustra gli attributi del dataset delle Celle Litorali, mentre la figura 2.12 rappresenta la distribuzione di queste unità a scala nazionale.

Tabella 2.4. Struttura informativa delle Celle Litorali. Il trasporto a cui si fa riferimento è quello netto (*net longshore transport*).

<i>Attributo</i>	<i>Descrizione</i>
Codice	Codice numerico identificativo.
Regione	La regione amministrativa in cui è presente la Cella Litorale.
Località	Località più nota collocata all'interno della cella considerata.
Tipologia	Distingue la Cella Litorale "naturale" da quella "artificiale".
Lunghezza	La lunghezza complessiva della Cella Litorale (km).
Verso del drift	Dato bibliografico del verso del drift costiero all'interno della Cella Litorale, se coesistono più drift di versi opposti si segnala con il termine "variabile". Se vicino all'indicazione del verso del drift costiero compare (a), il verso non è bibliografico, ma "apparente" ovvero dedotto dall'osservazione delle ortofotocarte.
Numero apporti fluviali	Numero dei principali apporti fluviali all'interno della Cella Litorale.
Fiume alimentatore	Indica il nome del principale fiume alimentatore all'interno della Cella Litorale se presente.
Lunghezza (km)	Lunghezza, espressa in km, della Cella Litorale (scala nominale 1:100.000)



Figura 2.12. Distribuzione geografica delle Celle Litorali per le coste italiane. In rosso le Celle Litorali “artificiali” ed in verde quelle “naturali”. La separazione tra le singole celle non è visibile a questa scala.

In figura 2.12 e tabella 2.4, le Celle Litorali sono state distinte in “naturali” ed “artificiali” con riferimento alla loro origine. La Cella Litorale è definita artificiale quando un’opera marittima interrompe il trasporto sedimentario sottocosta. Una Cella Litorale, delimitata da due porti, non viene necessariamente considerata artificiale, se tali strutture non alterano il disegno naturale del drift costiero. Ne è un esempio la Cella Litorale tra i porti di Piombino e quello di Fiumara del Pontone, presso Follonica (fig. 2.13): la presenza di queste due strutture portuali è alle naturali estremità della Cella

Litorale in questione. Se questi due porti non ci fossero, il drift costiero avrebbe la stessa dinamica poiché i porti sono stati progettati “a ridosso” di promontori naturali.

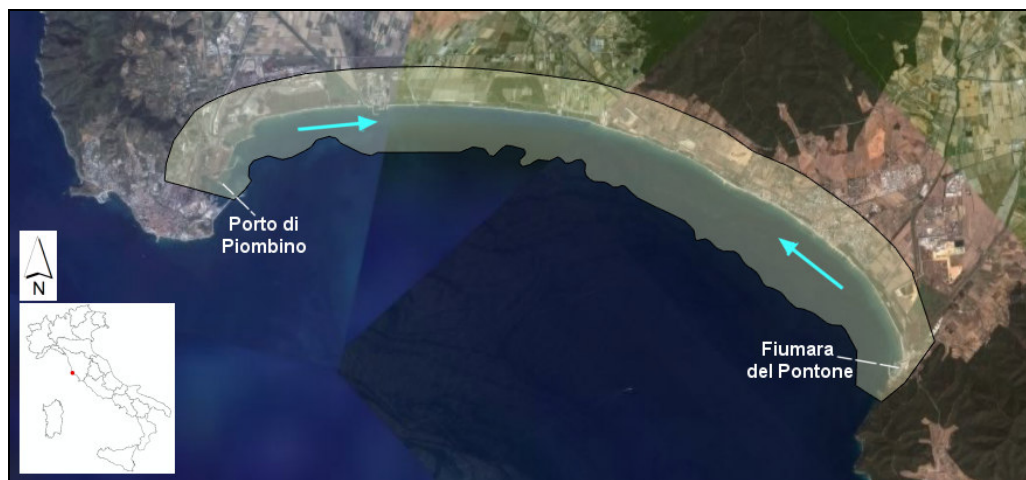


Figura 2.13. La Cella Litorale “naturale” tra il Porto di Piombino e Fiumara del Pontone (Toscana). L’area gialla semi-trasparente indica la Cella Litorale delimitata a mare dall’isobata dei 10m ed a terra dalla distanza di un km dalla linea di riva. Il drift costiero, indicato dalle frecce azzurre, presenta due versi convergenti (AA.VV., 1999) (Image NASA, © 2007 DigitalGlobe, © Cnes/Spot Image, © 2007 Tele Atlas).

Come suddetto, le Celle Litorali con estensione maggiore di 5 km, accertate per le coste italiane sono 187. Di queste ben 136 (~73%) sono “artificiali” e 51 (~27%) “naturali”. Questo dato indica la forte alterazione del disegno naturale del trasporto sottocosta da parte dell’attività umana lungo i litorali italiani. Questo fatto è particolarmente evidente in tutta la costa adriatica e ionica, nella Sicilia meridionale e nel tratto costiero che si affaccia sul Mar Ligure.

La lunghezza media delle Celle Litorali è pari a 22,0 km (Dev. St.: 22,9). La cella di maggiore estensione è pari a circa 121 km situata sul delta del Po; mentre la più piccola ha un’estensione di appena 2,6 km ed è situata nel Lazio, tra i porti di Anzio e Nettuno.

Il verso del trasporto sedimentario sottocosta riferito a ciascuna cella, rivelato dalle immagini analizzate in questo studio, è stato controllato su base bibliografica, in particolare con *l’Atlante delle Spiagge Italiane* (AA.VV., 1999). Nei casi più complessi,

il verso del drift costiero è stato definito “variabile”. La figura 2.14 illustra uno di questi casi. La cella in cui sfocia il Fiume Ombrone (Toscana), lunga 35,2 km, presenta un andamento del drift costiero molto articolato.



Figura 2.14. La Cella Litorale “naturale” della Foce del Fiume Ombrone (Toscana). L’area gialla semi-trasparente indica la Cella Litorale delimitata a mare dall’isobata dei 10m ed a terra dalla distanza di un km dalla linea di riva. Il verso del drift costiero, indicato dalle frecce azzurre, è molto variabile (AA.VV., 1999) (Image NASA, © 2007 DigitalGlobe, © Cnes/Spot Image, © 2007 Tele Atlas).

Non tutte le Celle Litorali individuate hanno un drift costiero noto dalla bibliografia. Per tali celle si è comunque voluto annotare un verso del trasporto sedimentario sottocosta sulla base della valutazione visiva delle ortofotocarte; per distinguerlo dal dato bibliografico nell’attributo specifico è aggiunta una “a” tra parentesi, che indica il verso *apparente* del drift costiero. Tali Celle Litorali sono 22 di cui la maggior parte (8) si trovano in Liguria. Sempre 22, invece, sono le Celle Litorali per le quali neppure l’analisi visiva delle ortofotocarte ha potuto segnalare una tendenza del verso del drift costiero. La maggior parte di queste celle si ritrovano in Sardegna (9) ed in questi casi gli attributi riguardanti il verso del drift costiero sono rimasti nulli.

La lunghezza totale delle Celle Litorali individuate è pari a 4117,1 km (scala nominale 1:100.000) e corrisponde a circa il 50 % del totale della lunghezza delle coste italiane (8130,2 km). Le Celle Litorali nel loro insieme coprono circa 2819 km delle coste basse italiane, *spiagge e deltizie*, che corrisponde a circa il 93 % delle medesime. Il tipo morfo-sedimentologico più frequente che si osserva nelle Celle Litorali è quello di *Litorale Dritto* con circa 1094 km, che corrisponde a circa il 27 % del totale dello sviluppo delle Celle Litorali.

La figura 2.15 illustra la distribuzione di frequenza per la lunghezza delle Celle Litorali, come si può osservare una grande maggioranza, circa l' 80% delle Celle, ha lunghezza inferiore ai 30 km.

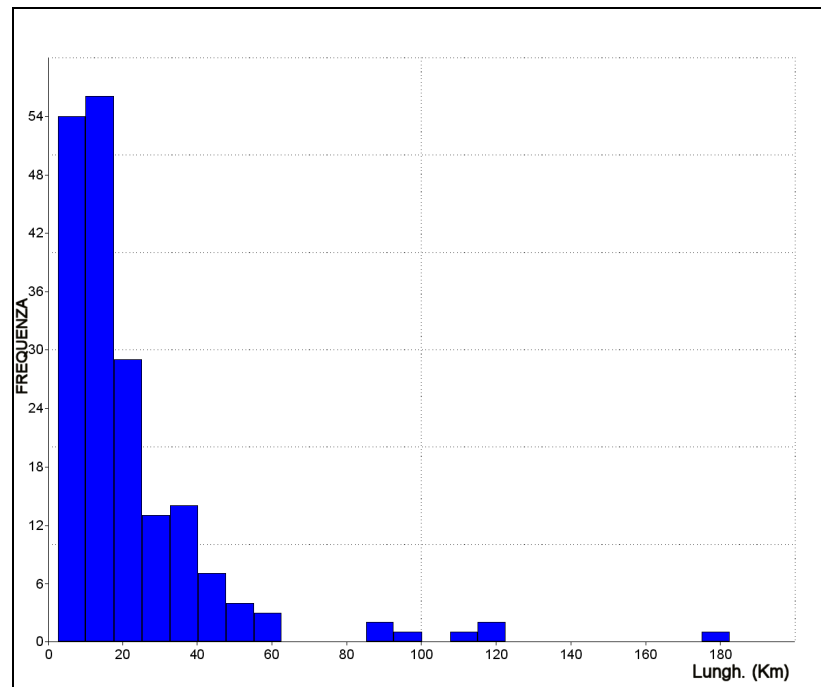


Figura 2.15. Distribuzione frequenza della lunghezza espressa in km delle Celle Litorali.

2.4 Opere citate

AA.VV., 1987. *Atti del Corso di aggiornamento su regime e protezione dei litorali. Coordinatore A.Noli. Notiziario Sezione Italiana AIPCN-PIANC. Nove relazioni in altrettanti capitoli.*

AA.VV., 1999. *Atlante delle Spiagge Italiane. Dinamismo - tendenza evolutiva - Opere Umane. CNR-MURST., S.EL.CA. EDITORE: 4, 108 tavole.*

BOWEN A. J., INMAN D. L., 1966. *Budget of Littoral Sands in the Vicinity of Point Arguello, California.* Technical Memorandum, Coastal Engineering Research Center, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.

ENEA, CENTRO RICERCHE AMBIENTE MARINO S.TERESA, 2000. *Lo stato dei litorali Italiani in rapporto al fenomeno dell'erosione. Situazione all'anno 2000.* Accordo di Programma ENEA - Ministero dell'Ambiente della Difesa del Territorio e del Mare: 1-122.

INMAN D. L., CHAMBERLAIN T. K., 1960. *Littoral sand budget along the southern California coast.* In Volume of Abstracts, Report of the 21st Int'l Geological Congress, Copenhagen, Denmark: 245-6.

INMAN D.L., MASTERS P.M., 1994. *Status of research on the nearshore.* Shore & Beach, 62: 11-20.

INMAN D.L. 2003., *Encyclopedia of Coastal Science.* Edited by M. Schwartz. Berlin: Springer, 2006.

O.C.T. (OCEANOGRAPHY COURSE TEAM, OPEN UNIVERSITY), 1989. *Waves, Tides and Shallow Water Processes.* Pergamon Press, Oxford, 187 pp.

KOMAR D., 1994. *Beach processes and sedimentation.* College of Oceanic and atmospheric Sciences. Oregon state University. Prentice Hall: 66-72, 377-384.

TESSLER M.G., DE MAHIQUES M.M., 1993. *Utilization of Coastal Geomorphic Features as Indicators of Longshore Transport: Examples of the Southern Coastal Region of the State of Sao Paulo, Brasil.* J. Coastal Res., 9 (3) : 823-830.

3 - CAMPIONAMENTO E METODI

3.1 Campionamento delle spiagge

La premessa al campionamento è che, in base alla letteratura sugli studi composizionali dei sedimenti costieri, sono state catalogate trenta *Province Petrografiche Sedimentarie costiere*. Esse costituiscono lo stato attuale delle conoscenze nell'ambito della composizione mineralogica dei sedimenti costieri a scala nazionale. A partire da quanto noto, è stato completato il campionamento a scala nazionale delle spiagge prelevando le sabbie in ambienti deposizionali ben descritti e specifici. Tali ambienti sono presentati in figura 3.1.

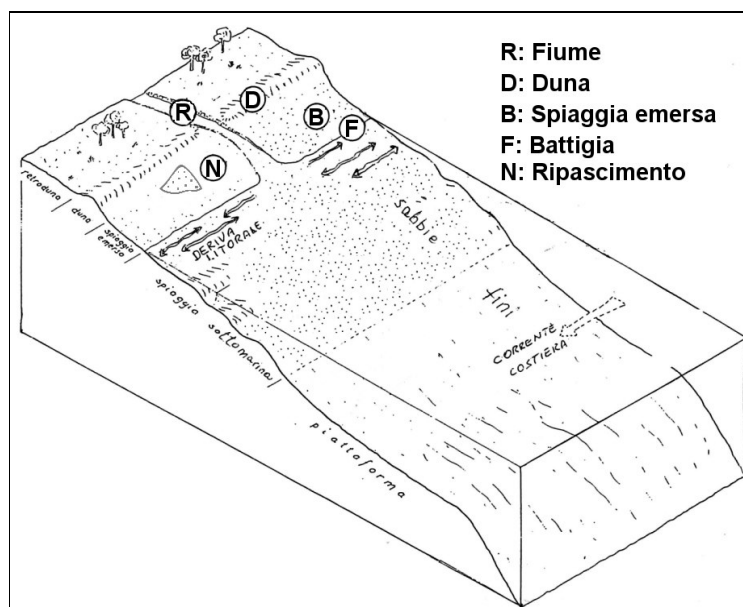


Figura 3.1. Ambienti deposizionali dei campioni di sabbia.

In tutto sono stati prelevati 137 campioni di sabbia la cui distribuzione geografica è presentata in figura 3.2. In particolare, sono stati prelevati 31 campioni di *battigia*, 65 di *spiaggia emersa*, 31 di *duna*, 6 di *fiume* e 4 di materiale adibito al *ripascimento* artificiale.

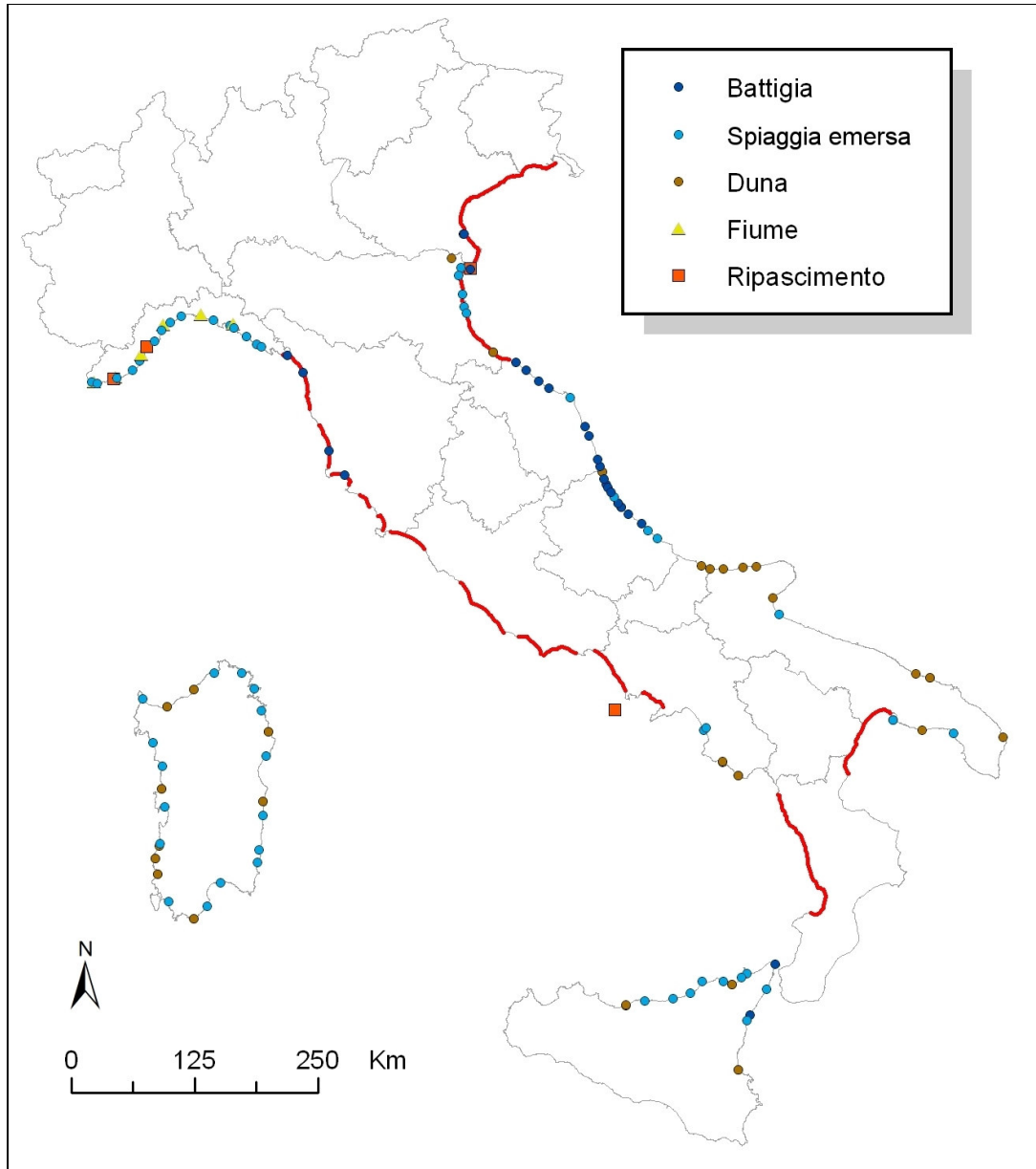


Figura 3.2. Distribuzione geografica dei campioni sabbiosi, suddivisi per i diversi ambienti deposizionali. In rosso sono evidenziate le *Province Petrografiche Sedimentarie costiere* note dalla letteratura.

Tutti i campioni sono stati prelevati in un intervallo temporale molto ampio, che risale alla fine degli anni '70 per i campioni dell'Emilia Romagna fino all'estate del 2006. Per la maggior parte di essi, però, il periodo è compreso tra il 2003 ed il 2006 sempre durante le stagioni di Primavera ed Estate.

I campioni di tipo *spiaggia emersa* sono stati prelevati in corrispondenza della cresta della berma ordinaria, se presente, scartando il velo superficiale ed estendendo il

prelievo fino ad una profondità di circa 10 cm. Tale metodo di campionamento è stato adottato anche per i campioni di tipo *battigia*, *duna* e *ripascimento*. Nei fiumi la campionatura è stata effettuata percorrendo a piedi linee perpendicolari a tutto il letto del fiume, con diversi prelievi su tale asse. Tali prelievi sono stati poi riuniti ed omogeneizzati così da ottenere per ogni fiume un campione medio, rappresentativo di tutto il materiale sabbioso presente in quel momento all'altezza della traversa scelta. Le traverse sono state individuate ad una quota sufficiente da escludere una risalita di sabbie ad opera di controcorrenti di marea, ma sempre il più possibile vicino alla foce. I campioni fluviali provengono esclusivamente dalla Liguria.

Per ogni campione, del peso di circa 500 grammi, è stata redatta una scheda di campionamento contenente sia i dati inerenti la posizione del sito di campionamento, sia la descrizione macroscopica della sabbia (caratteristiche fisiche, presenza di resti vegetali o frammenti conchigliari, eventuali variazioni cromatiche e dimensionali).

Tutti i campioni sono stati numerati con un codice alfanumerico composto come segue:

- 1) Numero identificativo della Regione di origine del campione (tab. 3.1);
- 2) Lettera indicante l'ambiente di prelievo; tali lettere, già presentate in figura 3.1, sono:
 - **F**: *Battigia*;
 - **B**: *Spiaggia emersa*;
 - **D**: *Duna*;
 - **R**: *Fiume*;
 - **N**: *Materiale da ripascimento*.
- 2) Numero progressivo all'interno di ciascuna Regione.

Tabella 3.1. Numero identificativo delle Regioni costiere d'Italia necessario alla codifica dei campioni.

Regione	Numero	Regione	Numero
Liguria	1	Abruzzo	9
Toscana	2	Marche	10
Lazio	3	Emilia-Romagna	11
Campania	4	Veneto	12
Calabria	5	Friuli Venezia Giulia	13
Basilicata	6	Sardegna	14
Puglia	7	Sicilia	15
Molise	8		

Per concludere con un esempio, il campione con codice “7D8” indica un campione proveniente dalle coste della Regione Puglia (7), prelevato in ambiente di *Duna* (D), con numero progressivo dell’ambito della Regione Puglia pari a 8.

Le figure 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7 e 3.8 illustrano in dettaglio l’ubicazione geografica dei campioni codificati.

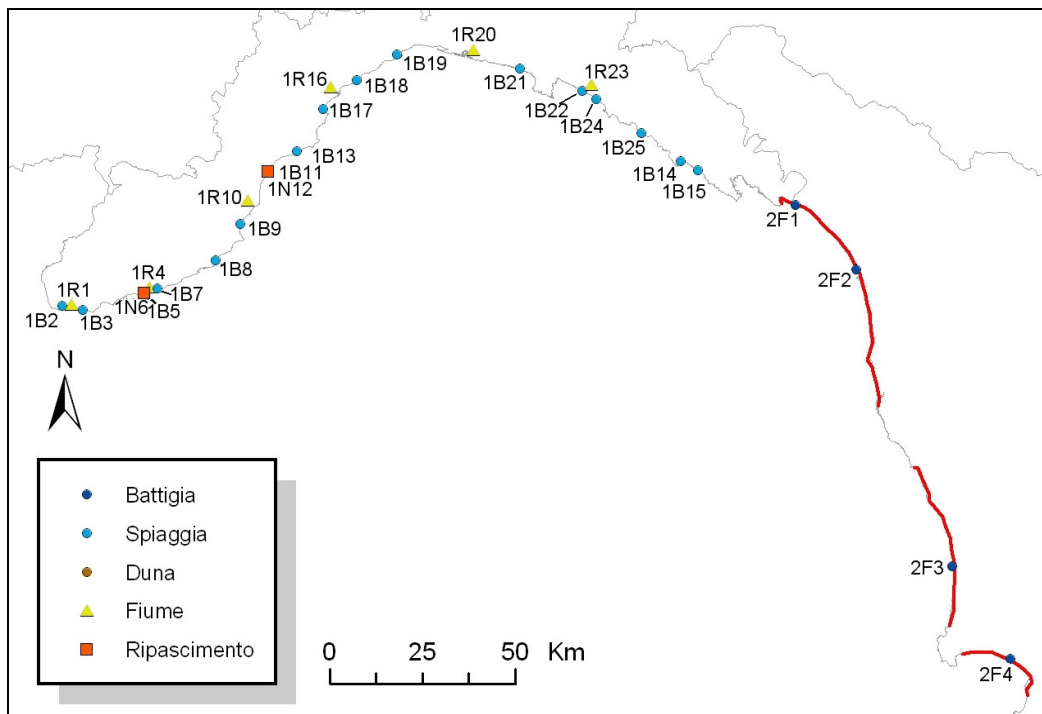


Figura 3.3. I campioni delle regioni Liguria e Toscana. In rosso le *Province Petrografiche sedimentarie costiere*.

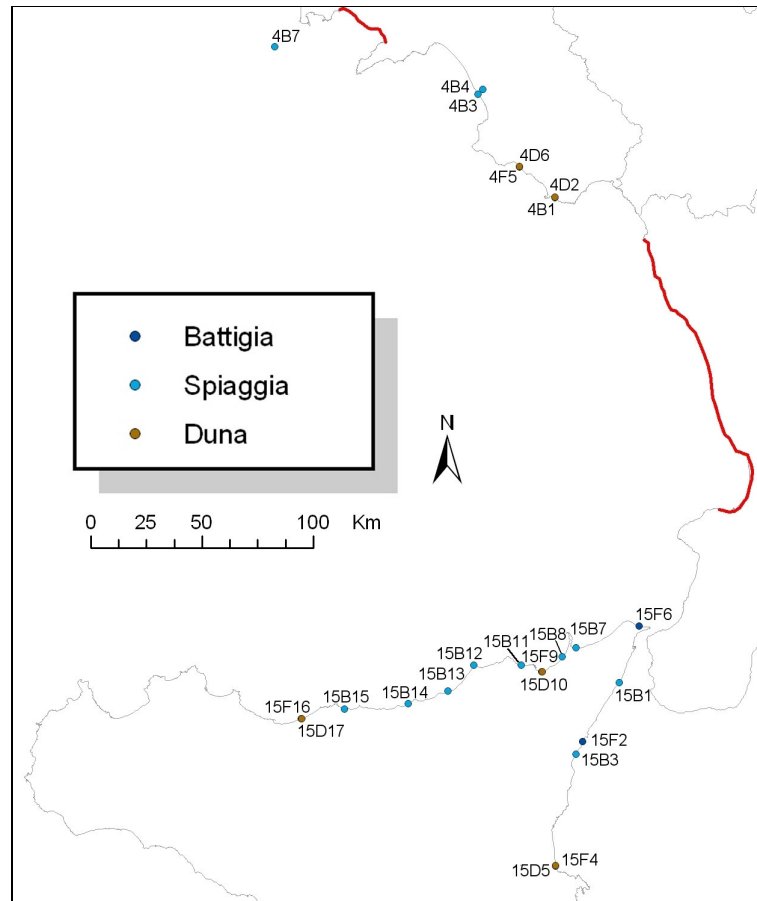


Figura 3.4. I campioni delle regioni Campania e Sicilia. In rosso le *Province Petrografiche sedimentarie costiere*.

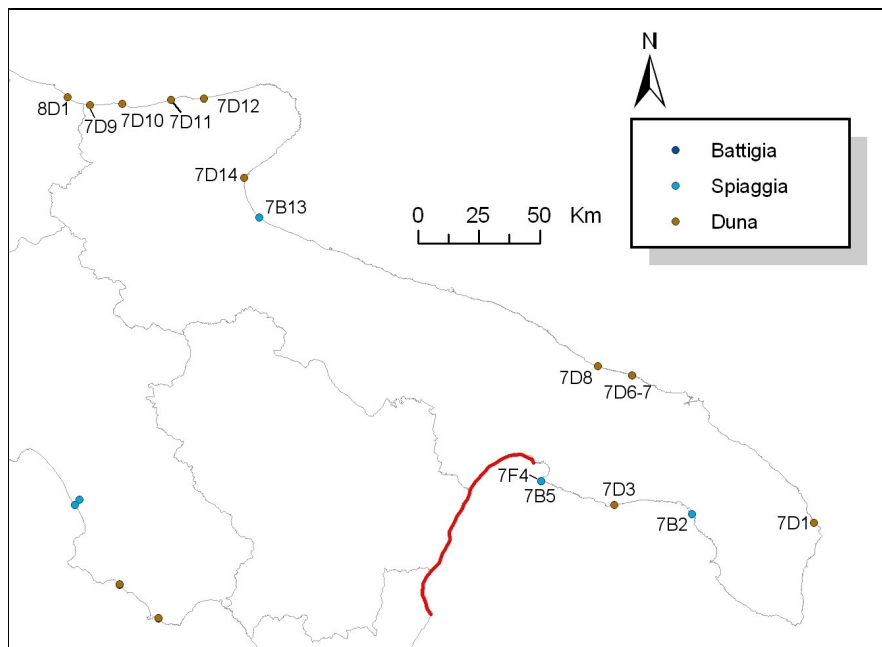


Figura 3.5. I campioni delle regioni Puglia e Molise. In rosso le *Province Petrografiche sedimentarie costiere*.

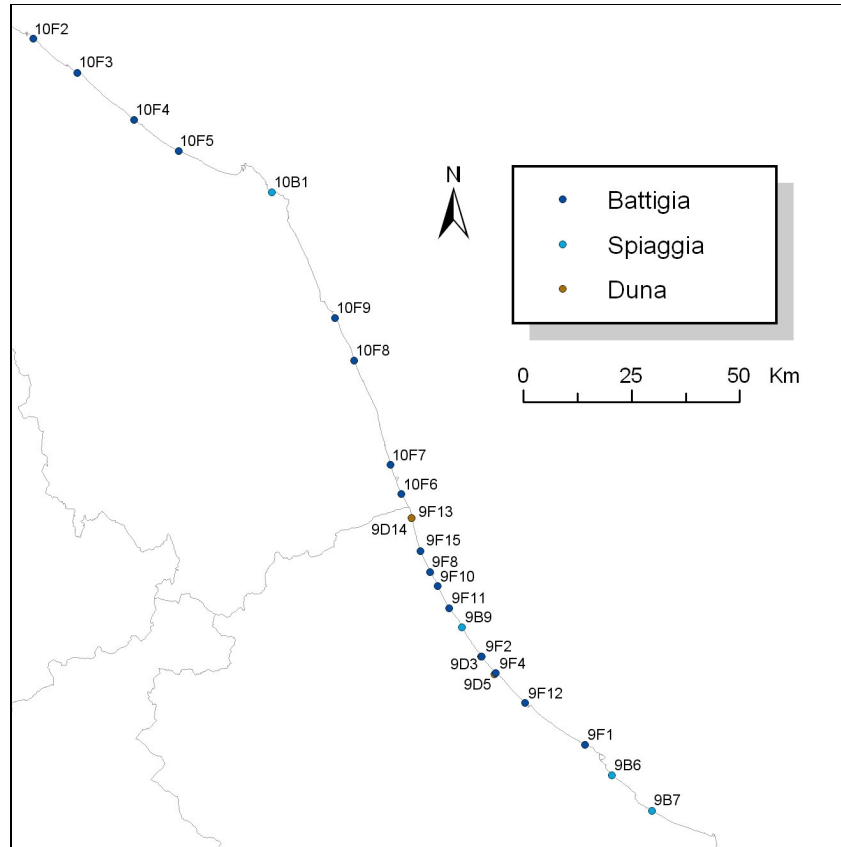


Figura 3.6. I campioni delle regioni Abruzzo e Marche.

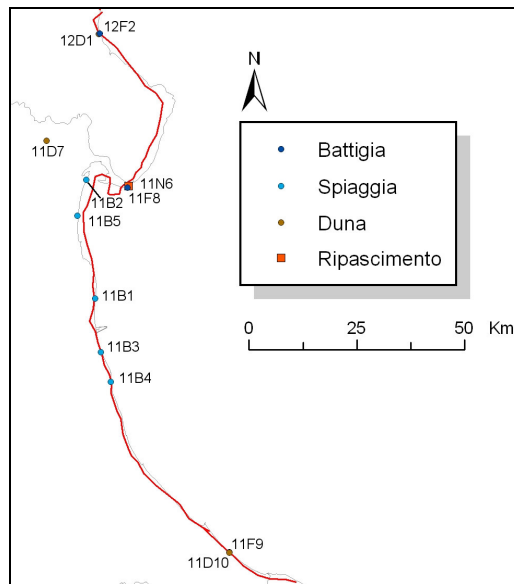


Figura 3.7. I campioni delle regioni Emilia Romagna e Veneto. In rosso le *Province Petrografiche sedimentarie costiere*.

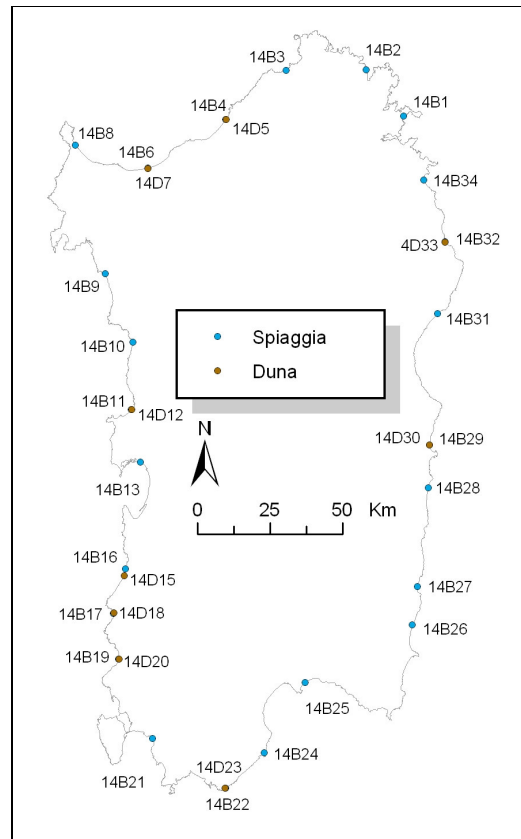


Figura 3.8. I campioni della Regione Sardegna.

3.2 Trattamento dei campioni e metodo di analisi granulometrica

Lo studio granulometrico e composizionale è stato rivolto alla sola frazione sabbiosa del campione che, per le sabbie di spiaggia qui studiate, rappresenta la frazione dimensionale preponderante per tutti i campioni. Le attività per la determinazione delle caratteristiche granulometriche sono suddivise in quattro fasi:

Fase 1: quartatura

Ciascun campione¹ integro viene omogeneizzato e suddiviso in porzioni mediante uno *splitter* a 16 tramogge incrociate, ognuna con luce netta di 8 mm;

Fase 2: preparazione e pretrattamento

Ogni porzione ottenuta, rappresentativa del campione, è stata trattata con una soluzione di perossido di idrogeno (30%) ed acqua distillata in proporzione 1:4, per 48 ore a

¹ Tranne il campione 4N7.

temperatura ambiente. La reazione osservata al perossido di idrogeno è stata poi classificata come *Debole*, *Moderata*, *Forte* e *Molto Forte*. I campioni sono stati poi lavati con acqua distillata per due volte, al fine di rimuovere la frazione organica e successivamente essiccati in stufa a 90° e pesati.

Fase 3: analisi visiva del colore

In laboratorio, alla luce del sole, è stata eseguita una descrizione per via visiva del colore della sabbia asciutta, servendosi della tavoletta classificativa Munsell Soil Color Chart.

Fase 4: analisi granulometrica delle frazioni ottenute

Ogni porzione del campione, con peso variabile da 50 a 100 g, è stato setacciato a secco nell'ambito del range dimensionale da -1 a +4 phi (phi = $-\log_2$ del diametro dei granuli espresso in mm). Per la maggior parte dei campioni, la setacciatura è stata eseguita con intervallo di 0,5 phi, questo in particolare per i campioni dunali. La setacciatura con intervallo di 1 phi è stata ritenuta adeguata per la granulometria di 40 campioni di *spiaggia emersa e battigia*. Il sedimento trattenuto entro ciascun setaccio è stato pesato ed, al termine delle operazioni, è stato calcolato il peso del campione setacciato. La perdita di campione durante la setacciatura è stata sempre inferiore a 0,5 g.

3.3 Trattamento dei campioni e metodo di analisi petrografica

Dai campioni setacciati, una quantità di circa 5-6 g è stata prelevata per la preparazione della sezione sottile. Le analisi petrografiche delle sabbie, infatti, sono state eseguite su una specifica taglia dimensionale, ovvero la frazione 250-500 μm . Questo perché si è dimostrata la classe più frequente e più rappresentativa per il dataset dei campioni. Tale normalizzazione serve anche per evitare il noto controllo delle granulometria sulla composizione. Nei pochi casi in cui tale frazione non era sufficiente per la preparazione della sezione sottile, si è utilizzata la frazione 125 – 250 μm .

L'analisi modale al microscopio è stata effettuata tramite conteggio per punti, utilizzando il *Criterio moderno a base tessiturale* (criterio *Gazzi-Dickinson*). La sezione sottile viene posta sul tavolino traslatore fissato al piatto del microscopio, viene spostata di volta in volta lungo la strisciata di una distanza fissa, scelta in modo tale da evitare di cadere due volte sullo stesso granulo; terminata la strisciata, si passa alla successiva, distanziata dalla prima secondo lo stesso criterio. Per ogni sezione sottile sono stati contati circa 220 punti. Il grafico di figura 3.9 permette di valutare il limite di confidenza della stima, mettendo in relazione la percentuale relativa di ciascuna categoria sul totale. Nel caso in cui n sia uguale a 200 si vede che il valore dell'intervallo di confidenza varia in funzione di p , tra l e 7%, fornendo quindi valori sufficientemente significativi.

Il riconoscimento dei tipi mineralogico-petrografici di grani è stato eseguito su sezioni sottili con un microscopio binoculare polarizzatore (modello Carl Zeiss Axioplan, ingrandimenti 2,5x, 10x, 25x, 40x).

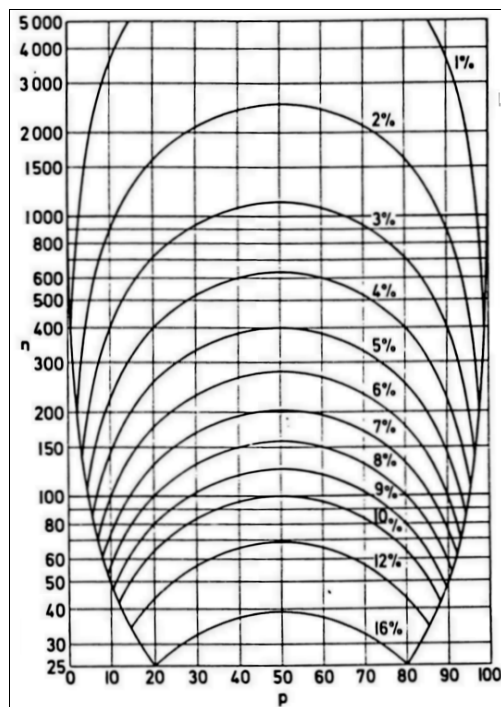


Figura 3.9. Limite di confidenza al 95% per le proporzioni dei minerali, dove n indica il numero totale dei grani conteggiati e p la percentuale stimata di un particolare grano. Le curve danno in percentuale il valore limite di confidenza (Van der Plas e Tobi, 1965).

3.3.1 La composizione petrografica modale delle sabbie

Rispetto alla petrografia delle rocce ignee e metamorfiche, le rocce sedimentarie non hanno uno standard analitico unanimamente accettato. Ciò è dovuto sia ai diversi criteri di analisi e sia alle diverse rappresentazioni della composizione modale. Di Giulio e Valloni (1992) analizzarono in modo esaustivo questo problema, riordinando i modi di esprimere le composizioni modali e le classi composizionali delle *Areniti Terrigene*.

Per composizione *modale* si intende la composizione espressa in termini di percentuale relativa delle categorie mineralogico-petrografiche considerate. Tali composizioni si possono classificare in funzione del grado in cui la componente analizzata illustra il totale della roccia. Per quanto riguarda le sabbie, in particolare si formalizzano tre stadi analitici definiti come composizione modale:

1. d'*Insieme*, ovvero dell'intera roccia;
2. *Principale*, ovvero della componente essenziale rappresentata dai Grani quarzosi, feldspatici e litici della Ossatura;
3. di *Frazione dell'Ossatura*, quale ad esempio la componente dei frammenti di roccia (grani poliminerali).

La *Composizione Modale Principale* dei campioni rappresenta, per convenzione, l'insieme dei grani terrigeni della sabbia. Questi grani sono rappresentati nella figura 3.10: alla prima suddivisione di carattere mineralogico, in grani monomineralici e polimineralici (litici), segue una seconda suddivisione, di carattere tessiturale, che riguarda la disposizione geometrica delle specie minerali che costituiscono il grano (monocristallini e policristallini) e si conclude con l'ultima suddivisione, che distingue tali specie minerali per la loro dimensione (tessitura grossolana e fine). La *moda detritica*, ovvero la composizione modale della componente detritica, risulta molto

variabile in funzione di come i gruppi chiave dei grani indicati in figura 3.10 sono stati attribuiti alle classi composizionali.

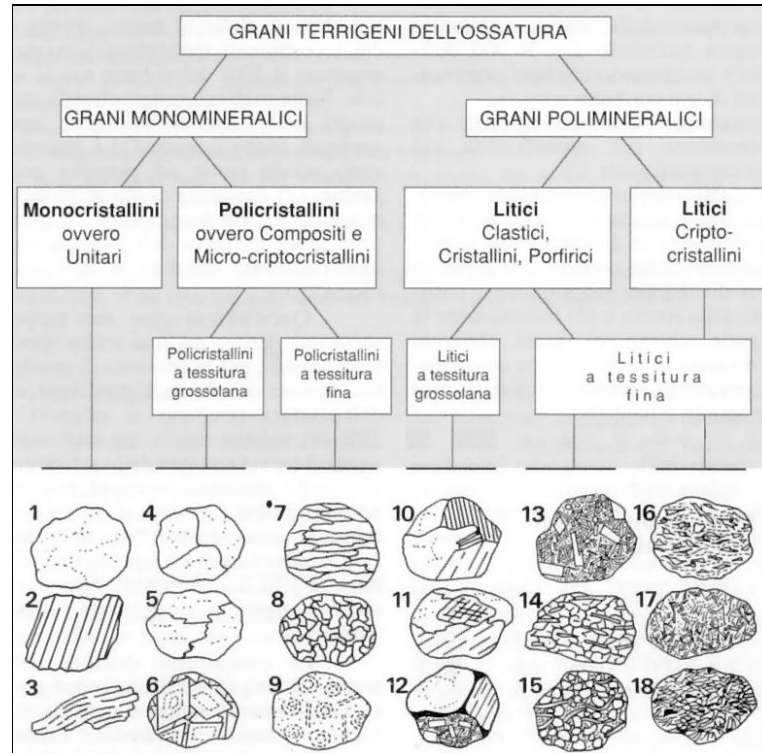


Figura 3.10. Schema analitico dei grani terrigeni dell'Ossatura. A titolo di esempio si riportano alcuni casi: 1 = cristallo singolo di quarzo; 5 = quarzo medio-cristallino; 10 = frammento di granito; 14 = frammento di micascisto (Di Giulio e Valloni, 1992).

A tale scopo, esistono due tecniche di conteggio dei grani al microscopio per petrografia: il criterio *Tradizionale* ed il criterio *Gazzi-Dickinson* (Ingersoll et al., 1984). Il primo denomina i grani terrigeni secondo la loro origine, cioè distingue i grani polimineralici solo su base genetica non considerando le dimensioni degli individui cristallini che li compongono; il secondo distingue le unità a tessitura fine ($< 62 \mu\text{m}$) da quelle a tessiture grossolana ($> 62 \mu\text{m}$). La prima tecnica di conteggio viene anche chiamata *Criterio tradizionale a base genetica*, la seconda è denominata anche *Criterio moderno a base tessiturale*. In quest'ultimo i cristalli $> 62 \mu\text{m}$ all'interno dei grani litici vengono considerati del tutto equivalenti ai grani monocristallini di analoga

composizione mineralogica. In questo modo si riduce l'influenza della granulometria sulla composizione espressa dall'aumento dei grani polimineralici a tessitura grossolana col crescere della granulometria del campione (Ingersoll et al., 1984; Blatt et al., 1980; Zuffa, 1985, 1987).

3.3.2 La scheda di conteggio

L'analisi petrografica in sezione sottile dei campioni sabbiosi è stata registrata in un'apposita scheda di conteggio illustrata in figura 3.11. Nella successione verticale delle voci di conteggio la prima distinzione consiste tra grani "Extraclasti" o terrigeni, ovvero di provenienza extra-bacinale e grani "Intraclasti", ovvero di origine interna al bacino. La successione delle classi mineralogico-petrografiche è la seguente:

Q: Grani quarzosi monomineralici e polimineralici

Q unit: quarzo monocristallino o unitario;

Q comp tess grossol: quarzo composito medio-grossocristallino. Grani di quarzo monomineralici, policristallini con cristalli di dimensioni > 62 micron;

Q comp finecrist: quarzo composito finecristallino. Grani di quarzo monomineralici, policristallini, formati da cristalli di dimensioni comprese tra 16 e 62 micron;

Selce Ch: Selce chimica. Grani di quarzo autigeno di sostituzione e calcedonio, micro-cristocristallino (cristalli < 16 micron);

Q in Fr Crist: quarzo unitario in litico cristallino. Cristalli di quarzo > 62 micron compresi in frammenti di rocce plutoniche e metamorfiche (cristalline);

Q in Fr Vulc: quarzo unitario in litico vulcanico. Cristalli di quarzo > 62 micron compresi in frammenti di rocce vulcaniche;

Q in Fr Silicoc: quarzo unitario in litico silicoclastico. Cristalli di quarzo > 62 micron compresi in frammenti di rocce silicoclastiche;

Q in Fr Carb: quarzo unitario in litico carbonatico. Cristalli di quarzo > 62 micron compresi in frammenti di rocce carbonatiche.

	Cat.	Costituente	Conta			1	2	3	Tot
E	Q	Q unit / Q comp tess grossol							
		Q comp finecrist / Selce Ch							
		Q in Fr Crist / Q in Fr Vulcan							
		Q in Fr Silicoc / Q in Fr Carb							
X	F	K-Feldspato / Microclino							
		K-F in Fr Crist / Vulc / Sedim							
		Plagioclasio / Feldsp alterat							
		Plag in Fr Crist / Vulc / Sedim							
T	Lm	Semiscisto							
		Slate / Fillite							
		Mica microcr / Muscov-scist							
		Clor-scist / Altri sc basso gr							
		Scisti di alto grado							
R	Lv	Porfiroide / Vulcanite alterata							
		Serpentinite							
		Basalto / Andesite							
		Dacite / Trachite							
		Riolite							
		Microgr Q-F / Vitro-felsofiro							
		Tufite litica / Tufite vitrica							
L	Ls	Radiolarite / Diaspro							
		Bioselce impura / Shale silic							
		Shale							
		Siltite litica							
		Siltite quarzo-feldspatica							
		Calcsiltite							
A	Lc	Alter silicoc / Silicocl calcitiz							
		Ca-sost di silic / Carb impuro							
		Micrite pellett, micrite algale							
		Micrite / Biomicrite							
		Biolite / Biolitoclasto							
		Biospatite							
		Grainstone							
		Calcare spatiz / Grano-spato							
T	M&P	Dolomia finecr / Dol mediocr							
		Mica chiara / M scu / Clorite							
		Mica in Fr Crist / Vulc / Silic							
		Pesante traspar / P opaco							
I	M&P	Pesante in Fr Cri / Vul / Silic							
		Grano glaucon, solfat, fosfat							
		Ca-bioclasto integro e fram							
		Calcrete / Silcrete							
		Legno litificato / Carbone							
INTRA CLASTI	M&P	Antropoclasti: manif, vetro,...							

Figura 3.11. Scheda di conteggio per le analisi petrografiche in sezione sottile.

F: Grani feldspatici

K-feldspato: grani monomineralici di feldspato potassico e pertite;

Microclino: grani monomineralici di microclino, termine oltre il 95% di Potassio della serie dei feldspati potassico – sodici [(K, Na) AlSi₃O₈];

K-F in Fr Crist / Vulc / Sedim: K-feldspato in litico cristallino / vulcanico / silicoclastico. Cristalli di feldspato potassico o pertite > 62 micron compresi in frammenti di rocce plutoniche e metamorfiche / vulcaniche / silicoclastiche;

Plagioclasio: Grani monomineralici di feldspato sodico – calcico;

Feldspato alterat: Grani feldspatici con un grado elevato di alterazione secondaria, come ad esempio la caolinizzazione; alterazione che però non oblitera completamente le caratteristiche ottiche diagnostiche dei feldspati;

Plag in Fr Crist / Vulc / Sedim: feldspato sodico – calcico in litico cristallino / vulcanico / silicoclastico. Cristalli di feldspato sodico – calcico > 62 micron compresi in frammenti di rocce plutoniche e metamorfiche / vulcaniche / silicoclastiche.

Lm: Litici metamorfici a tessitura fine (< 62 micron)

Semiscisto: frammenti di roccia di Semiscisto;

Slate: frammenti di roccia di Ardesia;

Fillite: frammenti di roccia di Fillite;

Mica microcr: frammenti di roccia di mica microcristallina;

Muscov-scist: frammenti di muscovite scistosa;

Clor-scist: frammenti di roccia di cloritoscisto;

Altri sc basso gr: frammenti di rocce metamorfiche che presentano caratteristiche ottiche e mineralogiche del metamorfismo di basso grado;

Scisti di alto grado: frammenti di rocce metamorfiche che presentano caratteristiche ottiche e mineralogiche del metamorfismo di alto grado.

Lv: Litici vulcanici a tessitura fine (< 62 micron)

Porfiroide: frammenti di roccia vulcanica che ricorda la tessitura porfiroide con cristalli di maggiori dimensioni dispersi tra altri più piccoli;

Vulcanite alterata: frammenti di roccia vulcanica con grado elevato di alterazione secondaria, ma che non ha completamente perso le caratteristiche tessiturali delle rocce vulcaniche;

Serpentinite: frammenti di roccia ricca in serpentino;

Basalto / Andesite: frammenti di roccia di Basalto / Andesite;

Dacite / Trachite: frammenti di roccia di Dacite / Trachite;

Riolite: frammenti di roccia di Riolite;

Microgr Q-F: Grani quarzoso – feldspatici microcristallini (16 – 4 micron);

Vitro-felsofiro: Grani silicatici criptocristallini (< 4 micron);

Tufite litica / Tufite vitrica: frammenti di roccia piroclastica con inclusi grani litici / vetrosi.

Ls: Litici silicoclastici a tessitura fine (< 62 micron)

Radiolarite / Diaspro: frammenti di roccia di Radiolarite / Diaspro;

Bioselce impura: frammenti di roccia di selce primaria costituita da particelle dure di organismi silicei mista a litici di composizione mista;

Shale silic: frammenti di roccia pelitica ricca in silice;

Shale: frammenti di roccia di argillite;

Siltite litica: frammenti di siltite con prevalenza di litici;

Siltite quarzo-feldspatica: frammenti di siltite costituita essenzialmente da grani di quarzo e feldspati;

Calcsiltite: frammenti di siltite con prevalenza di grani carbonatici;

Alter silicoc: frammenti di roccia silicoclastica alterata, ma la cui alterazione non cancella del tutto la tessitura silicoclastica del frammento di roccia;

Silicocl calcitiz: frammento di roccia silicoclastica che ha subito un parziale processo di calcitizzazione.

Lc: Litici carbonatici terrigeni a tessitura fine (< 62 micron)

Ca-sost di silic: frammento di roccia carbonatica con presenza di quarzo autigeno di sostituzione;

Carb impuro: frammento di roccia carbonatica con presenza di inclusi litici;

Micrite pellett, micrite algale: frammento di roccia carbonatica con grani di dimensioni < 5 micron di origine algale;

Micrite: frammento di roccia carbonatica con tessitura < 5 micron;

Biomicrite: frammento di roccia carbonatica costituita essenzialmente da resti di organismi carbonatici con tessitura < 5 micron;

Biolitite: frammento di roccia carbonatica costituita a tessitura varia con resti di organismi carbonatici;

Biolitoclasto: grano di roccia carbonatica costituito totalmente da un unico organismo carbonatico o da un suo frammento;

Biospatite: frammento di roccia carbonatica costituita essenzialmente da resti di organismi carbonatici con tessitura > 5 micron;

Grainstone: frammenti di roccia di calcarenite spatica (Grainstone);

Calcare spatiz: frammenti di roccia carbonatica con evidenti processi di spatizzazione;

Grano-spato: grani monomineralici di carbonati;

Dolomia finecr / Dol mediocr (Ld): frammenti di roccia di dolomite a tessitura fine / media. In questo lavoro tale litico non è stato conteggiato perché non si è proceduto alla colorazione della sezione sottile per la distinzione tra dolomia e calcite.

M&P: Miche e minerali pesanti

Mica chiara: grani monomineralici > 62 micron di mica chiara;

M scu: grani monomineralici > 62 micron di mica scura;

Clorite: grani monomineralici > 62 micron di clorite;

Mica in Fr Crist / Vulc / Silic: Mica in litico cristallino / vulcanico / silicoclastico. Cristalli di mica chiara o scura > 62 micron compresi in frammenti di rocce plutoniche e metamorfiche / vulcaniche / silicoclastiche;

Pesante traspar: grani monomineralici di minerale pesante trasparente > 62 micron;

Pesante opaco: grani monomineralici di minerale pesante opaco > 62 micron;

Pesante in Fr Crist / Vulc / Silic: Minerale pesante in litico cristallino / vulcanico / silicoclastico. Minerali pesanti > 62 micron compresi in frammenti di rocce plutoniche e metamorfiche / vulcaniche / silicoclastiche.

INTRACLASTI: grani di origine intrabacinale (fig. 3.12)

Grano glaucon, solfat, fosfat: grani glauconitici, solfatici e fosfatici;

Ca-bioclasto integro e fram: bioclasto carbonatico frammentato o integro con caratteristiche ottico-mineralogiche che ne denunciano l'origine intrabacinale;

Calcrete: grani di carbonato di calcio di origine da suoli;

Silcrete: grani silicatici di origine da suoli;

Legno litificato / Carbone;

Antropoclasti: manufatti, vetro.



Figura 3.12. Esempio di un campione di *spiaggia emersa* della costa pugliese (7B2) ricco in bioclasti di origine intrabacinale (Intraclasti). Nicols incrociati, ingrandimento 10X.

3.4 Rappresentazione della composizione modale, termini classificativi

Il principale obiettivo di questo studio è di disporre di un corpo di dati a scala nazionale, concernenti la composizione mineralogica delle sabbie costiere, anche traendo vantaggio dai risultati ottenuti da un certo numero di studi pregressi. Questo obiettivo, ha comportato una notevole semplificazione della terminologia classificativa, che deve essere capace di unificare i dati di studi condotti da diversi autori ed il dataset prodotto in questa ricerca.

Si è così deciso di classificare con due livelli di dettaglio, *Composizione Modale QFL* e *Composizione Modale dei Grani Prevalenti* che rappresentano il punto di equilibrio tra il rispetto dei metodi di letteratura e la necessità di renderla comprensibile ed applicabile dai non specialisti.

3.4.1 Composizione modale QFL

I termini classificativi della *Composizione Modale QFL* derivano dal diagramma ternario QFL (Dickinson, 1970). Il valore dei tre poli del diagramma ternario sono così individuati:

- il polo **Q** corrisponde al totale dei *grani quarzosi monomineralici e polimineralici* della scheda di conteggio (fig. 3.11);
- il polo **F** corrisponde al totale dei *grani feldspatici* della scheda di conteggio;
- il polo **L** corrisponde alla somma dei litici a tessitura fine *metamorfici (Lm)*, *vulcanici (Lv)*, *silicoclastici (Ls)* e i *carbonati terrigeni (Lc)* della scheda di conteggio.

Nell'ambito della rappresentazione QFL, si distinguono i quattro classici tipi composizionali di cui alla figura 3.13.

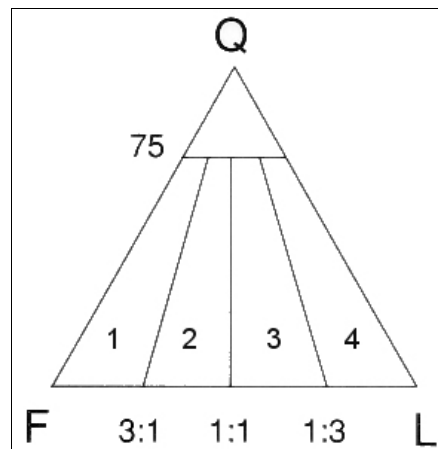


Figura 3.13. Le quattro classi principali della *Composizione Modale QFL*:

- 1 = Feldspatica
- 2 = Feldspatolitica
- 3 = Litofeldspatica
- 4 = Litica

(da Dickinson, 1970, mod.).

3.4.2 Composizione modale dei grani prevalenti

Questa classificazione considera singolarmente le seguenti classi dei grani provenienti dalla scheda di conteggio: **Q**, **F**, **Lm**, **Lv**, **Ls**, **Lc**. (fig. 3.11), sempre sul totale QFL. In questa classificazione, non sono stati valutati i grani accessori quali le

miche ed i minerali pesanti (M&P) ed i grani intraclasti della scheda di conteggio. Ciò perché, escludendo pochissimi casi, questi clasti hanno sempre avuto contenuti subordinati rispetto alle quantità delle altre classi composizionali.

I termini classificativi della *Composizione modale dei grani prevalenti* è stata qui strutturata in modo da contenere i seguenti sette tipi composizionali con significato autoesplicativo:

- 1) *Quarzofeldspatici*. Termine assegnato a tutte le sabbie che soddisfano almeno una delle seguenti condizioni:

$$Q, F \text{ o } Q + F > 50 \% \text{ del totale grani};$$

- 2) *Metamorficlasti, Vulcanoclasti, Litici misti*. Se i grani quarzosi (Q) e/o feldspatici (F) sono superati da quelli litici (L), le singole tipologie dei litici della scheda di conteggio (fig. 3.11) **Lm, Lv, (Ls + Lc)** vengono riportate a 100 e rappresentate nel diagramma della figura 3.13.

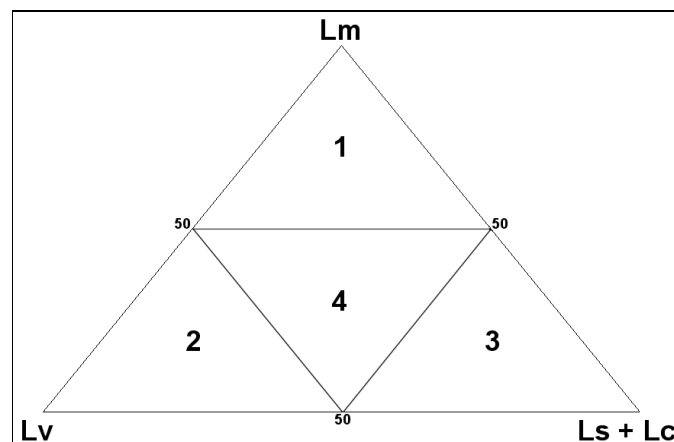


Figura 3.14. Diagramma ternario classificativo per la *Composizione modale dei grani prevalenti*. 1: Metamorficlasti; 2: Vulcanoclasti; 3: Sedimentoclasti; 4: Litici misti.

A seconda della posizione del campione all'interno del diagramma di figura 3.14, si possono assegnare i seguenti termini classificativi:

- 1: *Metamorficlasti*;

- 2: *Vulcanoclasti*;
- 3: *Sedimentoclasti*;
- 4: *Litici misti*.

3) *Silicoclasti, Calcilitoclasti, Dololiticlasti*. Se il campione ricade nel campo 3 del diagramma della figura 3.14, che definisce la composizione Sedimentoclastici, (termine che non fa parte dello schema classificativo adottato) occorre ulteriormente dettagliare in base al diagramma ternario della figura 3.15 dove **Ls**, **Lc** e **Ld** vengono riportati a 100. Come già accennato, i litici dolomitici (**Ld**), compaiono solo nell'ambito degli studi di letteratura. Molto comunemente e comunque nelle analisi di questo studio, la distinzione è fatta solo tra grani *Silicoclasti* e *Calcilitoclasti* posizionati sull'asse **Ls** – **Lc** del diagramma della figura 3.15.

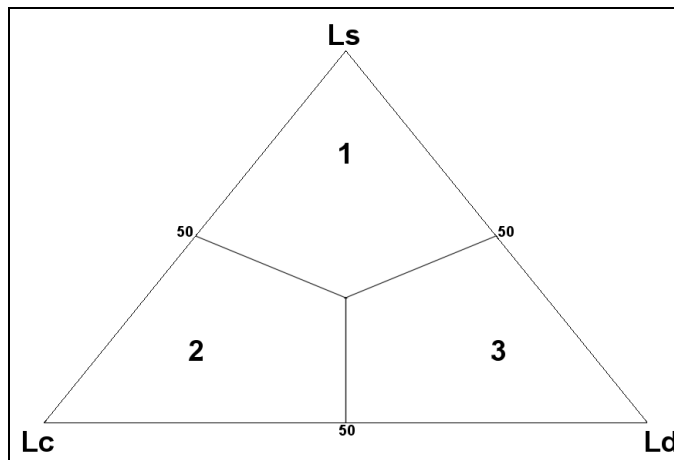


Figura 3.15. Diagramma ternario classificativo per la *Composizione dei grani prevalenti* tipo sedimentoclasti. 1: *Silicoclasti*; 2: *Calcilitoclasti*; 3: *Dololiticlasti*.

Riassumendo, dalla posizione del campione all'interno del diagramma di figura 3.15 derivano i seguenti termini classificativi:

- 1: *Silicoclasti*;
- 2: *Calcilitoclasti*;
- 3: *Dololiticlasti*.

3.5 Scelta dei campioni da analizzare, sedimenti nativi

L'obiettivo primario di questo studio è quello di illustrare lo spettro composizionale delle sabbie dei litorali italiani. E' quindi evidente che il campionamento deve discriminare i casi delle sabbie litoranee trasportate artificialmente in loco per combattere il fenomeno dell'erosione. Tali materiali, detti di *ripascimento artificiale*, possono dare un'informazione composizionale che non corrisponde alla naturale firma petrografica degli apporti fluviali locali detti "nativi". E' anche vero che, la semplice accertata presenza di un ripascimento artificiale in un tratto di spiaggia, non implica che il materiale riversato sulla spiaggia non sia autoctono, perché ciò dipende dalla zona di prelievo della sabbia. Se infatti, il materiale utilizzato per il ripascimento, proviene dall'escavazione di un alveo fluviale che alimenta lo stesso litorale in cui è fatto il ripascimento, oppure deriva da una cava sottomarina di sabbia adiacente alla spiaggia oggetto del ripascimento, allora il sedimento sarà petrograficamente identico a quello nativo.

In ogni caso, il quadro di sintesi della composizione delle sabbie dei litorali italiani prodotto in questo studio (Cap. 6), è epurato dal piccolo set di campioni prelevati su ripascimenti artificiali, compresi i casi in cui il prelievo è avvenuto sui fondali immediatamente antistanti (es. sabbie versate nella spiaggia dei Maronti a Ischia e al faro di Goro nel delta del Po).

A supporto del riconoscimento dei tratti di litorale interessati da ripascimento artificiale, è stato utilizzato il censimento degli interventi di ripascimento prodotto dal Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Parma in collaborazione con il Centro Ricerche Ambiente Marino S.Teresa dell'ENEA (Giannini, 2002). La figura 3.16 presenta un dettaglio del sistema informativo territoriale degli interventi di ripascimento per il litorale veneto. Per ogni operazione di ripascimento censita, sono state raccolte

molte informazioni quali i volumi di materiale coinvolti, la loro provenienza, i km di litorale interessati ecc.)

Nel caso delle spiagge liguri, gli interventi di ripascimento sono notoriamente avvenuti in modo diffuso e ripetuto. Questo avrebbe comportato la quasi completa esclusione delle celle litorali ligure da questo studio.

In realtà, nella gran parte dei casi i materiali di ripascimento sono stati prelevati nei bacini fluviali immediatamente retrostanti le spiagge in questione. Per i campioni liguri è quindi stata verificata la generale compatibilità petrografica delle sabbie campionate sulle spiagge attuali con le provenienze locali. In caso di verifica positiva, i campioni sono stati mantenuti nel set dei dati qui discussi, naturalmente solo per l'aspetto petrografico e non anche per quello granulometrico.

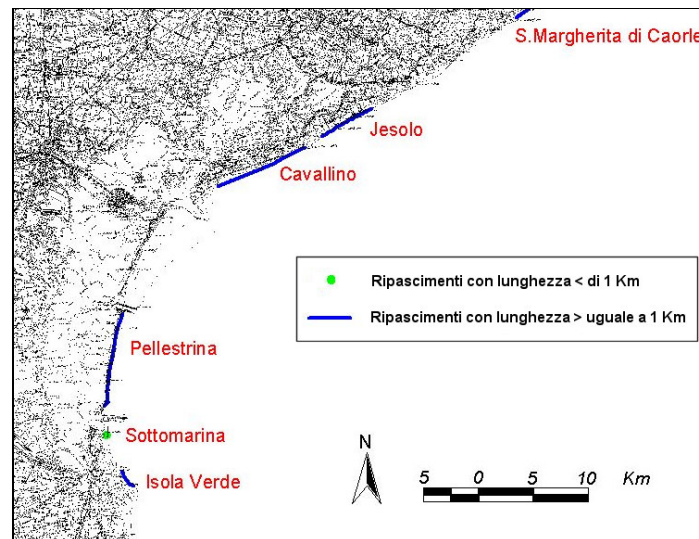


Figura 3.16. Un esempio della costa veneta del geodatabase degli interventi di ripascimento italiani (Giannini, 2002 – mod).

A titolo di esempio, la figura 3.17 mostra la *Composizione dei grani prevalenti* per due siti di campionamento liguri, dove è stata prelevata sia la sabbia di *spiaggia emersa*, sia la sabbia di nuovo versamento accumulata nel retrospiaggia e pronta per la

futura movimentazione con mezzi meccanici. Si tratta dei siti di Bussana (1B5 – 1N6) e di Loano (1B11 – 1N12).

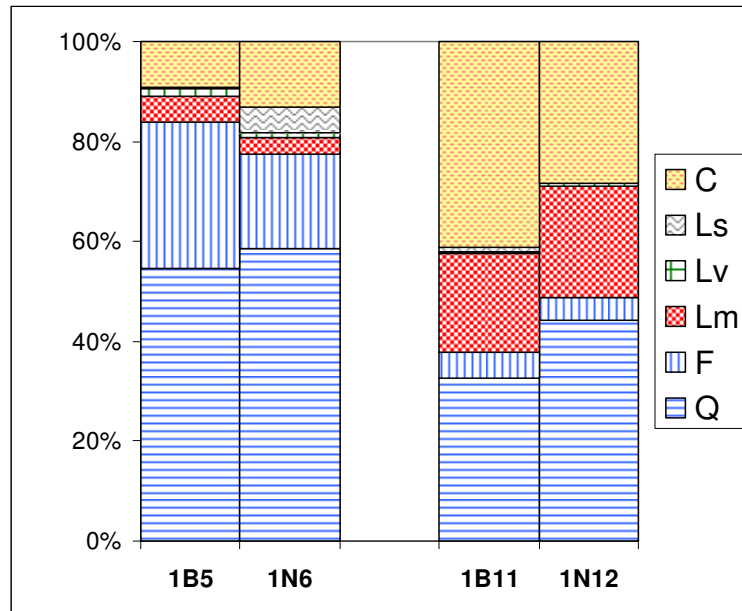


Figura 3.17. Confronto della *Composizione modale dei grani prevalenti* per due coppie di campioni di *spiaggia emersa* (B) e *ripascimento* (N) della costa ligure. Q: Grani quarzosi; F: Grani feldspatici; Lm: Litici metamorfici; Lv: Litici vulcanici; Ls: Litici silicoclastici; C: grani carbonatici terrigeni.

In entrambi i casi risulta evidente la generale somiglianza petrografica dei materiali riportati artificialmente, che si differenziano solo nei rapporti quantitativi fra le principali categorie petrografiche comunque contenuti entro un massimo del 10% circa.

3.6 Opere citate

BATES R.L., JACKSON J.A., 1987. *Glossary of Geology (third edition)*. Am. Geo. Inst., Alexandria, VA: 788.

BLATT H., MIDDLETON G., MURRAY R., 1980. *Origin of sedimentary rocks (second edition)*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N. J.: 782

DI GIULIO A., VALLONI R., 1992. *Sabbie e areniti – Analisi ottica e classificazione*. Acta Naturalia de L'Ateneo di Parma, nn 3/4, vol. 28, 1992.

DICKINSON, W.R., 1970. *Interpreting detrital modes of graywacke and arkose*. J. Sed. Petro., 40: 695-707.

GIANNINI R., 2002. *Rassegna tipologica e valutazione dell'efficacia degli interventi di ripascimento artificiale dei litorali italiani*. Tesi di Laurea Sperimentale, Dip. Scienze della Terra, Università degli Studi di Parma.

INGERSOLL R., BULLARD T. F., FORD R. L., GRIMM J. P., SARES S.W., 1984. *The effect of grain size on detrital modes: a test of Gazzi-Dickinson point-counting method*. J. Sed. Petro., 54: 103-116.

POWERS, M. C., 1953. *A new roundness scale for sedimentary particles*. J. Sed. Petro., v. 23: 117-119.

VAN DER PLAS L., TOBI, 1965. *A chart for judging the reliability of point counting results*. Am. J. Sci., 263:87-90.

ZUFFA G. G., 1985. *Optical analyses of arenites: influence of methodology on compositional results*. Ripr. Del ms. cart. del sec. XVIII (1773), poss.dalla biblioteca Berio, Genova.

ZUFFA G. G., 1987. *Unravelling hinterland and offshore paleogeography from deep-water arenites*. Legget, J. K. And Zuffa, G. G. (Eds.), *Mar. clast. Sed.*, Graham and Trotman: 39-61.

4 - DATI DI LETTERATURA SULLA COMPOSIZIONE PETROGRAFICA DELLE SABBIE COSTIERE

Il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Parma ha recentemente prodotto un sistema informativo territoriale che contiene trenta Province Petrografiche Sedimentarie costiere distribuite sulle coste d'Italia (Ugolotti, 2003). L'operazione di unificazione di singole ricerche sulle Province Petrografiche Sedimentarie costiere per produrre un quadro nazionale ha comportato una notevole semplificazione della rappresentazione della composizione petrografica modale dei depositi di spiaggia.

4.1 Il dataset delle Province Petrografiche Sedimentarie

La Provincia Petrografica Sedimentaria è un tipo di Unità costiera, vale a dire, un tratto costiero in cui la composizione mineralogico-petrografica dei sedimenti di spiaggia si mantiene relativamente costante. La struttura informativa delle Province Petrografiche è riassunta in tabella 4.1.

Tabella 4.1. Struttura informativa delle Province Petrografiche Sedimentarie costiere.

	Attributo	Tipo Composiz.	n° Province
<i>Distinzione geografica</i>	1) Località sottesa		
	2) Fiume alimentatore		
<i>Distinzione</i>	3) MODA QFL	Feldspatiche	0
		Feldspatolitiche	3
		Litofeldspatiche	16
		Litiche	11
	4) Tipologia grani	Quarzofeldspatici	3
		Metamorfoclasti	1
		Vulcanoclasti	2
		Silicoclasti	0
		Calcilitoclasti	7
		Dololitoclasti	2
		Litici misti	15

Ogni provincia è caratterizzata dal punto di vista geografico dal nome della principale località sottesa e dal principale fiume alimentatore mentre dal punto di vista della composizione delle sabbie è caratterizzata sia dalla *Composizione modale QFL* sia dalla *Composizione modale dei grani prevalenti*.

Il totale delle Province Petrografiche georeferenziate è pari a trenta. Per riassumere la distribuzione dei tipi composizionali, in tabella 4.1 è stata aggiunta una colonna da cui si evince che in termini di moda QFL le sabbie *Litofeldspatiche* e *Litiche* sono dominanti e che, in termini di moda dei Grani Prevalenti, il tipo classificativo più importante è costituito dalle sabbie a *Litici misti*.

In tabella 4.2 è dettagliato il dataset delle trenta Province Petrografiche Sedimentarie costiere tratte dalla letteratura citata nella tabella stessa.

Tabella 4.2. Database delle Province Petrografiche Sedimentarie costiere.

Codice	Località sottesa	Fiume alimentatore	Composizione QFL	Composizione grani prevalenti	Fonte bibliografica
1	Grado	Isonzo	Litiche	Calcilitoclasti	Gazzi et al. 1973.
2	Caorle	Tagliamento	Litiche	Dololiticlasti	“
3	Iesolo	Piave	Litiche	Dololiticlasti	“
4	Pellestrina	<i>Sabbie relitte</i>	Litofeldspatiche	Litici misti	“
5	Sottomarina	Adige - Brenta	Litofeldspatiche	Litici misti	“
6	Delta Po	Po	Feldspatolitiche	Quarzofeldspatici	“
7	Porto Garibaldi	Reno	Litofeldspatiche	Litici misti	“
8	Lido di Classe	Savio	Litofeldspatiche	Litici misti	“
9	Cesenatico	Marecchia	Litiche	Calcilitoclasti	“
10	Riccione	Conca - Foglia	Litiche	Calcilitoclasti	“
11	Mar. di Massa	Magra	Litofeldspatiche	Litici misti	Gandolfi et al., 1975–77.
12	Viareggio	Arno-Serchio	Feldspatolitiche	Quarzofeldspatici	“
13	Tirrenia	Arno	Feldspatolitiche	Quarzofeldspatici	Garzanti et al., 2002.
14	Mar. di Cecina	Cecina	Litiche	Vulcanoclasti	“
15	Follonica	Còrnia - Pécora	Litofeldspatiche	Litici misti	“
16	Mar. di Grosseto	Ombrone	Litiche	Litici misti	“
17	Albinia	Albegna	Litiche	Litici misti	“
18	Montalto Marina	Fiora	Litofeldspatiche	Litici misti	“
19	Fiumicino	Tevere	Litofeldspatiche	Litici misti	“
20	Latina	Astura	Litofeldspatiche	Litici misti	“
21	Terracina	Amaseno	Litofeldspatiche	Calcilitoclasti	“

Codice	Località sottesa	Fiume alimentatore	Composizione QFL	Composizione grani prevalenti	Fonte bibliografica
22	Minturno	Garigliano	Litofeldspatiche	Calcilitoclasti	“
23	Capua	Volturno	Litofeldspatiche	Calcilitoclasti	“
24	Napoli	Sarno	Litofeldspatiche	Vulcanoclasti	“
25	Diamante	Lao	Litiche	Calcilitoclasti	Le Pera et al., 1997.
26	Paola	Versante Catena Cost.	Litofeldspatiche	Metamorfoclasti	“
27	Santa Eufemia	Amato	Feldspatolitiche	Quarzofeldspatici	“
28	Roseto Capo Spulico	Ferro	Litiche	Litici misti	Cocco et al., 1975
29	Nova Siri	Sinni	Litiche	Litici misti	“
30	Metaponto	Agri-Basento-Bradano	Litofeldspatiche	Litici misti	“

Le figure 4.1 e 4.3 illustrano la distribuzione geografica delle Province Petrografiche Sedimentarie costiere d'Italia, con rispettivamente specificata la *Composizione modale QFL* e la *Composizione modale dei grani prevalenti*. La copertura geografica espressa dagli studi suddetti, misurata nelle figure 4.2 e 4.4, è ragguardevole e pari a un totale di 997,2 km. Tuttavia ampi settori costieri come la Sardegna, la Sicilia, la Liguria e l'Adriatico centro-meridionale sono sprovvisti di dati di qualità. Tale mancanza è stata superata con il campionamento mirato effettuato in questa tesi.

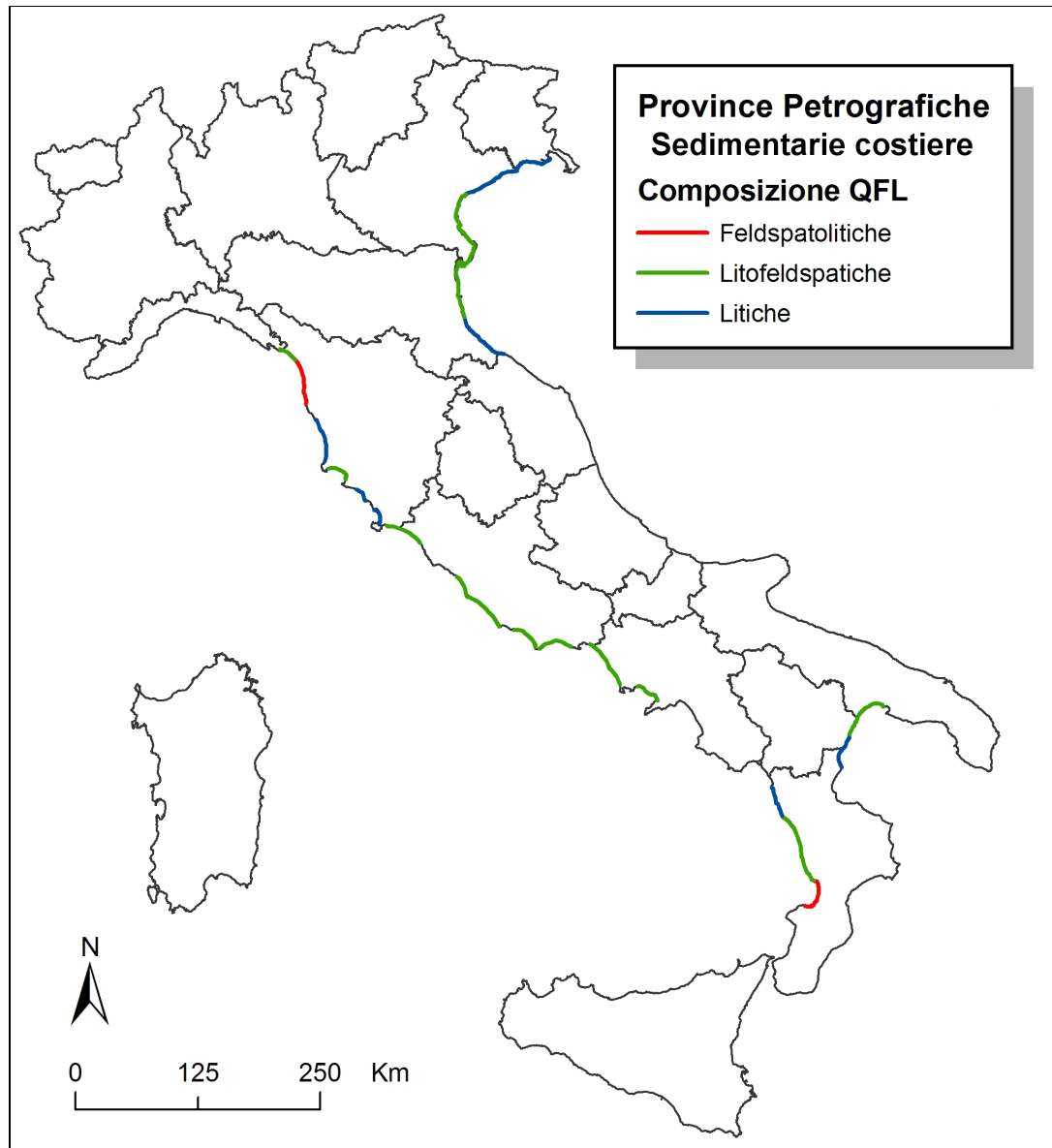


Figura 4.1. Distribuzione della *Composizione modale QFL* nelle Province Petrografiche sedimentarie costiere.

Nella *Composizione modale QFL*, il tipo compositivo prevalente risulta essere *Litofeldspatico* con i suoi 600 km circa. Il tipo delle sabbie *Litiche* ha un'estensione di circa 308 km, quello delle *Feldspatolitiche* è inferiore ai 90 km (fig. 4.1).

4 - Dati di letteratura sulla composizione petrografica delle sabbie costiere

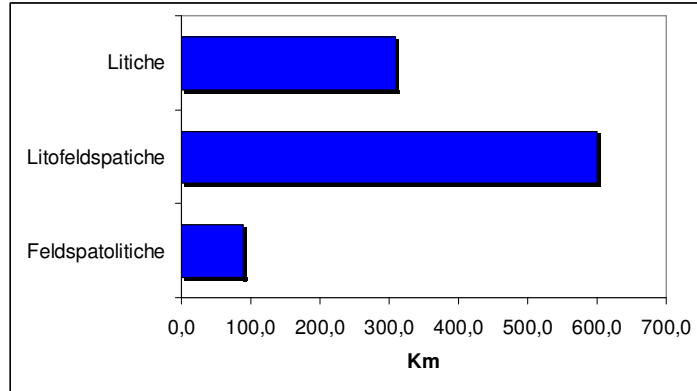


Figura 4.2. Estensione cumulata dei tipi classificativi della *Composizione modale QFL* nelle Province Petrografiche sedimentarie costiere.

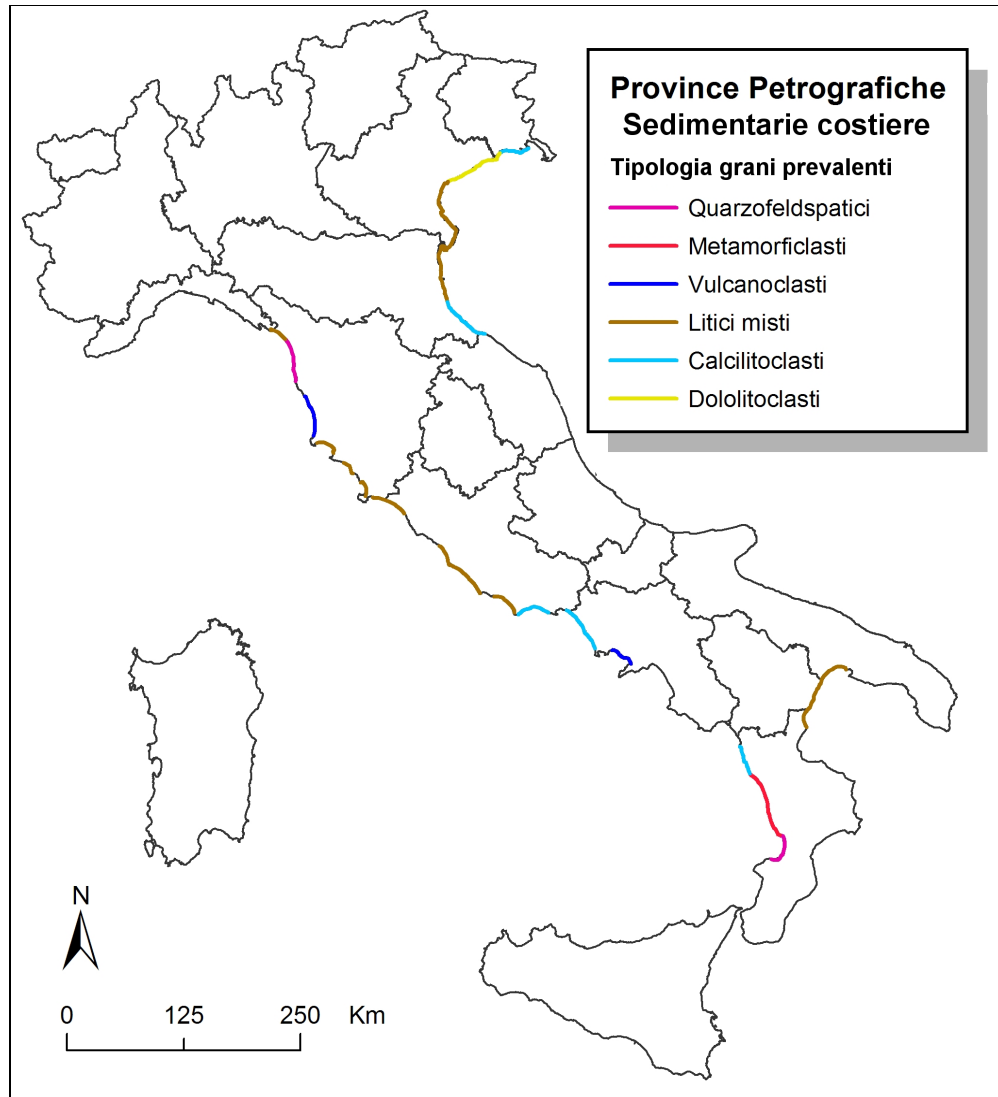


Figura 4.3. Distribuzione della *Composizione modale dei grani prevalenti* nelle Province Petrografiche sedimentarie costiere.

Nella *Composizione modale dei grani prevalenti* delle Province Petrografiche, il tipo compositivo più frequente è quello dei *Litici misti* con una lunghezza di circa 476 km; a seguire il tipo a grani *carbonatici* con 215 km. Le altre tipologie di grani oscillano tutte tra i 70 e gli 80 km circa di estensione (fig. 4.4).

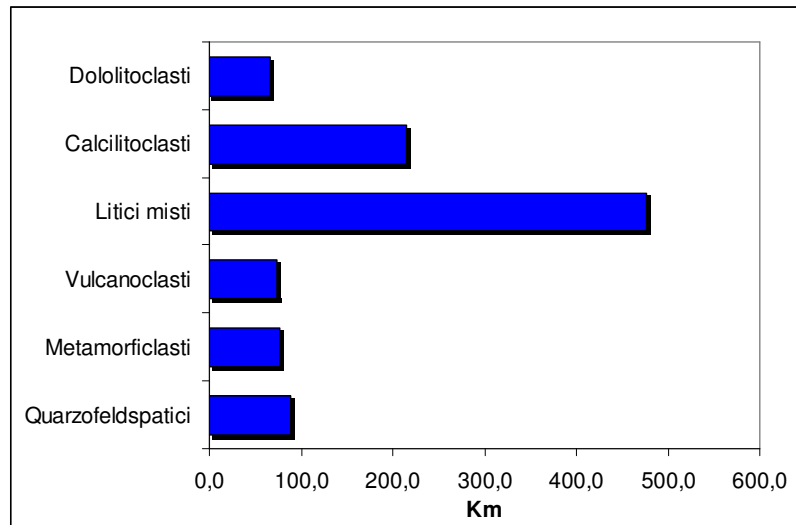


Figura 4.4. Estensione cumulata dei tipi classificativi della *Composizione dei modale grani prevalenti* nelle Province Petrografiche sedimentarie costiere.

4.2 Opere citate

COCCO E., CRAVERO E., DI GERONIMO S., MEZZADRI G., PAREA G. C., PESCATORE T., VALLONI R., VINCI A., 1975. *Lineamenti geomorfologici e sedimentologici del litorale alto Ionico (Golfo di Taranto)*. Boll. Soc. Geol. It., 94, 993-1051.

GANDOLFI G., PAGANELLI L., 1975. *Il litorale Pisano-Versiliese (Area Campione Alto Tirreno): Composizione provenienza e dispersione delle sabbie*. Boll. Soc. Geol. It., 94, 1273 - 1295.

GANDOLFI G., PAGANELLI L., 1977. *Le Province Petrografiche del Litorale Toscano*. Boll. Soc. Geol. It., 96, 653 - 663.

GARZANTI E., CANCLINI S., MORETTI FOGGIA F., PETRELLA N., 2002. *Unravelling Magmatic and Orogenic Provenance in Modern Sand: the Back-Arc Side of the Apennine Thrust Belt, Italy*. J.Sed. Res., 72 (1), 2-17.

GAZZI P., ZUFFA G.G., GANDOLFI G., PAGANELLI L., 1973. *Provenienza e dispersione litoranea delle sabbie delle spiagge adriatiche fra le foci dell'Isonzo e del Foglia: inquadramento regionale*. Mem. Soc. Geol. It., 12, 1-37.

LE PERA E., CRITELLI S., 1997. *Sourceland controls on the composition of beach and fluvial sand of the northern Thyrrenian coast of Calabria, Italy: implications for actualistic petrofacies*. Sed.Geol. 110, 81-97.

UGOLOTTI M., 2003. *Cartografia GIS dei tipi morfo-sedimentologici e delle unità fisiografiche delle coste italiane*. Tesi di Laurea in Scienze Geologiche, Facoltà di Scienze MM FF NN, Università degli Studi di Parma, 58pp, 6 tavole in allegato.

5 - ANALISI E RISULTATI

5.1 Analisi visiva del colore

I dati di analisi del colore delle sabbie sono ricavati su sabbia asciutta alla luce solare. Il colore rilevato con la tavola Munsell esprime la tinta di fondo del campione ignorando l'effetto di eventuali grani di colore nettamente diverso (es. grani neri sparsi). I dati rilevati in questa sede restano un semplice riferimento metodologico, dal momento che i campioni studiati non coprono il complesso delle spiagge d'Italia e per questo non consentono di esprimere quantificazioni e statistiche nazionali sulla ricorrenza della distribuzione dei colori delle sabbie.

Nella tavoletta classificativa Munsell Soil Color Chart, ogni colore viene espresso mediante una sigla (es. 10YR 5/4) che distingue tre proprietà (figura 5.1):

- 1) *Hue* (10YR) esprime il colore dominante (Y = Giallo; R = Rosso ecc.) e le varie gradazioni;
- 2) *Value* (5/) esprime la luminosità relativa. Cioè la quantità di luce che viene riflessa;
- 3) *Chroma* (/4) indica il tono del colore, cioè il grado di intensità dovuto al mescolamento del colore principale con i colori neutri (bianco e nero).

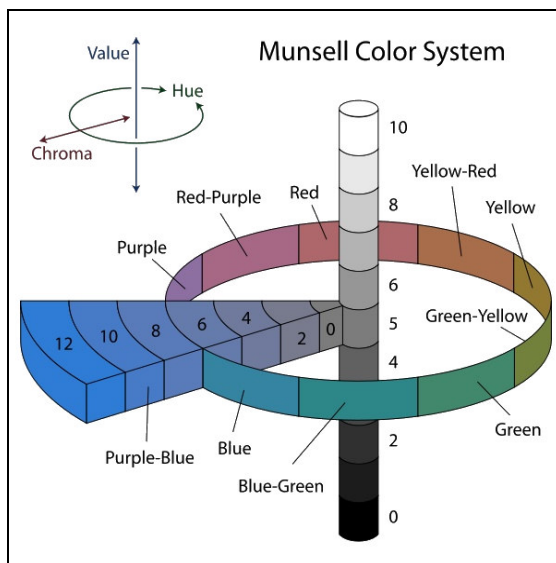


Figura 5.1. Il sistema Munsell per l'identificazione del colore.

I risultati dell'analisi visiva del colore, per le sabbie di *spiaggia emersa* e *battigia*, di tutti i campioni analizzati sono presentati nel grafico della figura 5.2 da cui si evince che i colori dominanti, per i sedimenti di *spiaggia emersa* e *battigia* hanno come colore molto frequente il 10YR nei valori di Chroma pari a 6/2, 7/4 e 8/2.

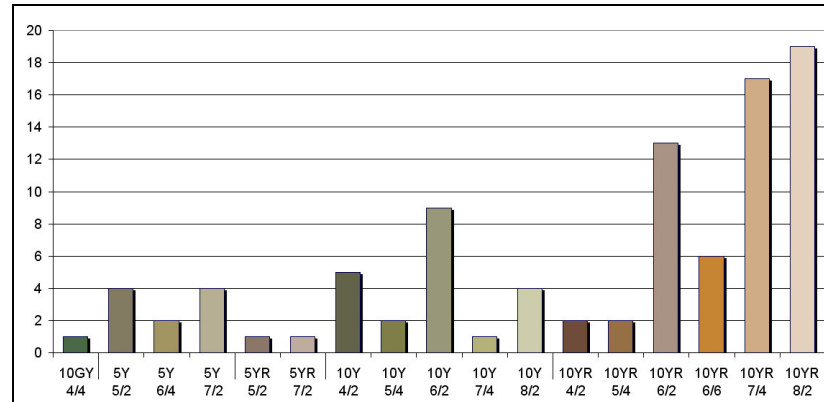


Figura 5.2. Analisi visiva del colore delle sabbie di *spiaggia emersa* e *battigia* tramite la Munsell Soil Color Chart. In ordinata il numero dei campioni.

Analogamente il grafico della figura 5.3 presenta i risultati dell'analisi visiva del colore delle sabbie di *duna*. Questi campioni sono numericamente circa un terzo di quelli di *spiaggia emersa* e *battigia* e, identicamente, presentano la tonalità più frequente nel 10YR, con gli stessi valori di Chroma dei sedimenti di *spiaggia emersa* e *battigia*.

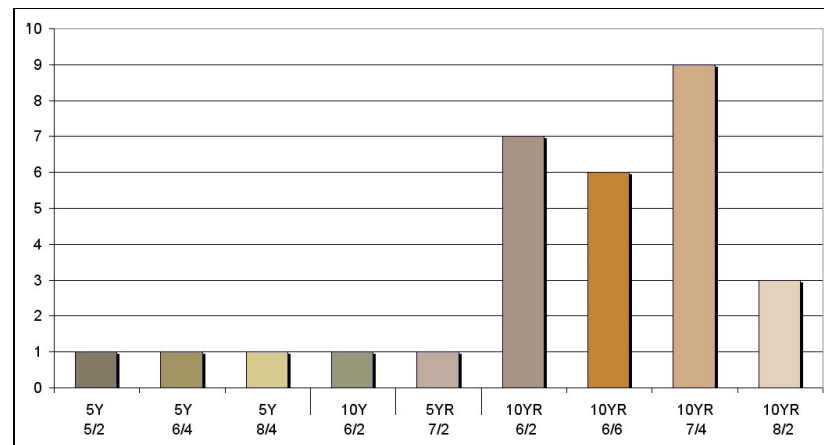


Figura 5.3. Analisi visiva del colore delle sabbie di *duna* tramite la Munsell Soil Color Chart. In ordinata il numero dei campioni.

La figura 5.4 illustra la distribuzione geografica dei colori individuati per i sedimenti di *spiaggia emersa, battigia e duna*. In termini generali, tra tutti i campioni analizzati, le sabbie liguri presentano un cromatismo più scuro, con tonalità tendenti al grigio, mentre l'Adriatico centrale presenti un cromatismo più chiaro. Nell'alto Adriatico e delta del Po la casistica è più variabile. La Sardegna presenta frequentemente sabbie con le tonalità giallastre della scala cromatica di Munsell.

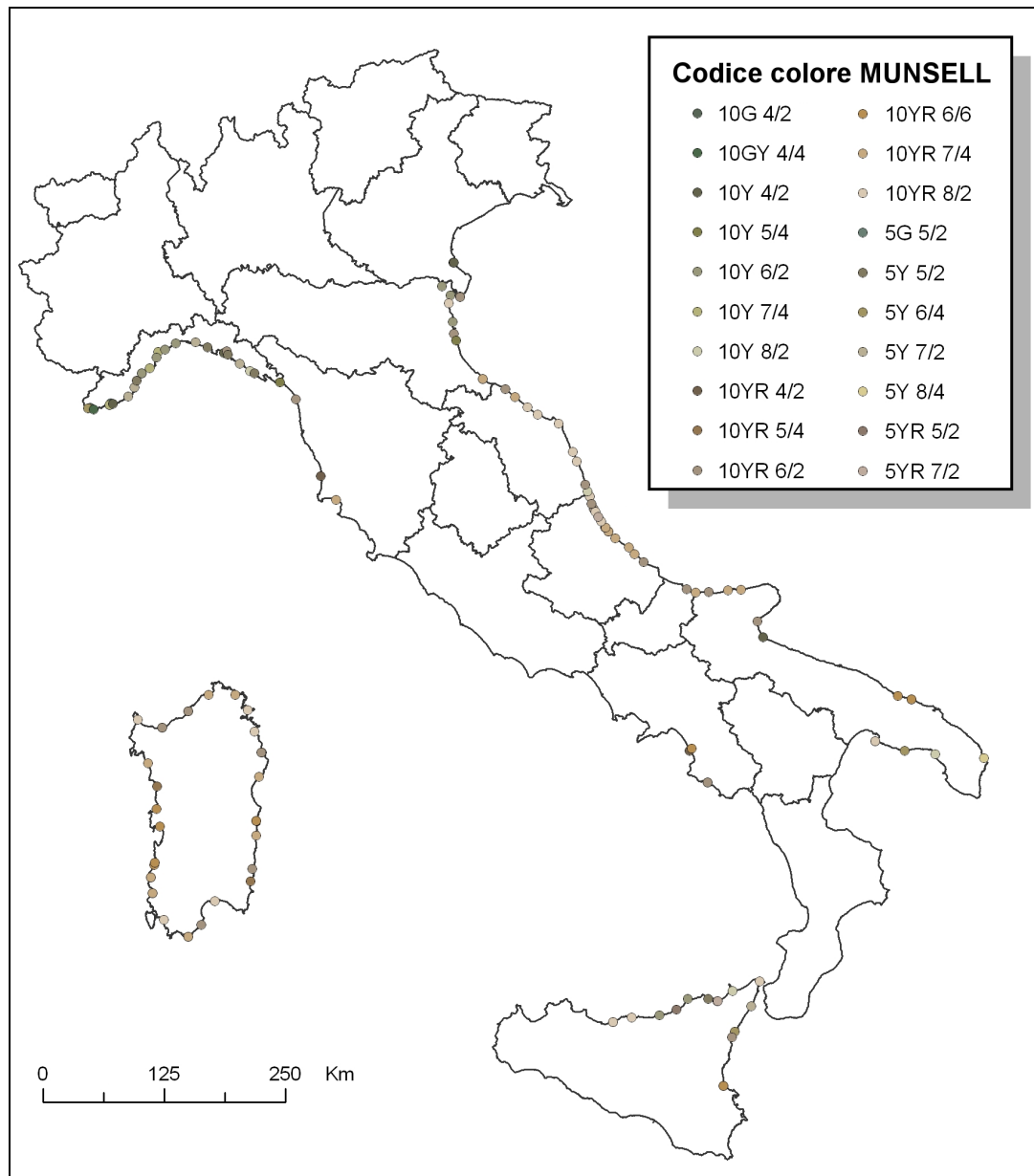


Figura 5.4. Distribuzione geografica dei colori delle sabbie di *spiaggia emersa, battigia e duna*.

5.2 Analisi granulometriche

La scala granulometrica di uso convenzionale, qui adottata (fig. 5.5), deriva dalla scala Udden–Wentworth (Wentworth, 1922). I diametri sono espressi sia in mm, μm ed in phi dove: $d(\text{phi}) = -\text{Log}_2 (d \text{ mm})$.

Millimeters	μm	Phi (ϕ)	Wentworth size class	
4096		-20	Boulder (-8 to -12 ϕ)	Gravel
1024		-12		
256		-10	Pebble (-6 to -8 ϕ)	
64		-8		
16		-6	Pebble (-2 to -6 ϕ)	
4		-4		
3.36		-2	Gravel	
2.83		-1.75		
2.38		-1.50		
2.00		-1.25		
1.68		-1.00	Very coarse sand	
1.41		-0.75		
1.19		-0.50		
1.00		-0.25		
0.84		0.00	Coarse sand	
0.71		0.25		
0.59		0.50		
1/2		0.75		
1/2	500	1.00	Medium sand	Sand
0.42	420	1.25		
0.35	350	1.50		
0.30	300	1.75		
1/4	250	2.00	Fine sand	
0.25	250	2.00		
0.210	210	2.25		
0.177	177	2.50		
1/8	149	2.75	Very fine sand	
0.149	149	2.75		
1/8	125	3.00		
0.105	105	3.25		
1/16	88	3.50	Coarse silt	
0.088	88	3.50		
0.074	74	3.75		
1/16	63	4.00		
0.0530	53	4.25	Medium silt	
0.0440	44	4.50		
0.0370	37	4.75		
1/32	31	5		
1/64	15.6	6	Fine silt	
1/128	7.8	7		
1/256	3.9	8		
0.0039	3.9	8		
0.0020	2.0	9	Very fine silt	Mud
0.00098	0.98	10		
0.00049	0.49	11		
0.00024	0.24	12		
0.00012	0.12	13		
0.00006	0.06	14		
			Clay	

Figura 5.5. Scala granulometrica delle rocce clastiche (da Wentworth, 1922, modificata).

La tabella 5.1 mostra i parametri statistici (Folk e Ward, 1957) per i 136 campioni analizzati di sabbie di *spiaggia emersa* (B, 65 campioni), *battigia* (F, 31 campioni), *duna* (D, 31 campioni), *fiume* (R, 6 campioni) e *ripascimento* (N, 3 campioni).

Tabella 5.1. Parametri statistici (Folk e Ward, 1957) dei campioni analizzati. Codice: identificativo del campione 1=Liguria, 2=Toscana, 3=Lazio, 4=Campania, 5=Calabria, 6=Basilicata, 7=Puglia, 8=Molise, 9=Abruzzo, 10=Marche, 11=Emilia-Romagna, 12=Veneto, 13=Friuli Venezia Giulia, 14=Sardegna, 15=Siracusa; R = *Fiume*, D = *Duna*, B = *Battigia*, F = *Spiaggia emersa*, N = *ripascimento*; Serie: intervallo dei setacci utilizzato (ϕ); Mz: diametro medio espresso in ϕ ; si: classazione; SkI: asimmetria; KG: kurtosis; D50: mediana (ϕ).

CODICE	serie	Mz (ϕ)	σ	SkI	KG	D50	CODICE	serie	Mz (ϕ)	σ	SkI	KG	D50
1R1	1/2	0,69	0,90	-0,38	1,92	0,77	10F4	1	2,56	1,14	-0,28	3,49	2,55
1B2	1/2	-0,51	0,92	0,18	0,96	-0,70	10F5	1	1,65	1,16	-0,14	2,49	1,57
1B3	1/2	0,62	1,02	-0,35	1,48	0,76	10F6	1	2,38	1,06	-0,42	3,32	2,42
1R4	1/2	1,79	1,24	-0,06	1,94	1,65	10F7	1	2,78	1,22	-0,20	3,25	2,69
1B5	1/2	1,31	1,20	-0,10	1,77	1,21	10F8	1/2	2,59	1,02	-0,56	4,87	2,67
1N6	1/2	1,43	1,05	-0,12	2,45	1,33	10F9	1	-0,11	1,72	0,53	0,68	-0,87
1B7	1/2	0,26	1,13	-0,48	0,98	0,60	11B1	1/2	1,93	0,51	-0,18	0,89	2,01
1B8	1/2	2,37	0,96	-0,31	4,09	2,34	11B2	1/2	2,33	0,55	-0,08	1,10	2,35
1B9	1/2	2,46	0,98	-0,43	3,71	2,47	11B3	1/2	1,74	0,49	0,05	0,76	1,73
1R10	1/2	0,20	1,25	-0,28	0,85	0,45	11B4	1/2	1,38	0,48	0,26	1,52	1,29
1B11	1/2	0,23	1,16	-0,46	1,54	0,60	11B5	1/2	2,22	0,44	-0,03	1,22	2,23
1N12	1/2	3,25	1,29	-0,41	4,14	3,29	11N6	1/2	2,14	0,57	-0,10	1,00	2,18
1B13	1/2	-0,20	1,39	0,49	0,77	-0,77	11D7	1/2	2,09	0,45	-0,13	1,12	2,15
1B14	1/2	-0,50	1,12	0,32	2,09	-0,65	11F8	1/2	2,26	1,03	-0,39	3,71	2,27
1B15	1/2	-0,32	1,18	0,34	1,15	-0,64	11F9	1/2	2,38	0,99	-0,36	3,57	2,36
1R16	1/2	-0,85	0,80	0,43	1,79	-1,09	11D10	1/2	2,45	0,97	-0,37	3,79	2,43
1B17	1/2	0,76	1,73	-0,30	0,60	1,13	12D1	1/2	2,52	0,45	-0,05	1,08	2,53
1B18	1/2	1,22	1,19	-0,24	1,88	1,24	12F2	1/2	1,97	0,58	-0,11	0,86	2,04
1B19	1/2	0,87	1,63	-0,39	0,92	1,32	14B1	1	0,92	1,04	-0,21	1,48	0,91
1R20	1/2	-0,58	1,21	0,61	1,51	-1,06	14B2	1	0,04	0,99	-0,22	1,2	0,13
1B21	1/2	-0,41	0,92	0,10	1,10	-0,54	14B3	1/2	1,22	0,66	-0,43	5,09	1,22
1B22	1/2	0,93	1,65	-0,51	0,93	1,55	14B4	1/2	-0,18	0,71	-0,13	1,91	-0,21
1R23	1/2	-0,72	0,89	0,47	1,26	-1,08	14D5	1/2	0,96	0,82	-0,27	2,58	0,96
1B24	1/2	-0,36	1,10	0,32	1,02	-0,69	14B6	1/2	1,54	0,92	-0,17	2,91	1,46
1B25	1/2	0,45	1,12	-0,05	1,50	0,41	14D7	1/2	2,03	1,07	-0,43	2,57	2,10
2F1	1/2	1,46	0,40	0,37	0,98	1,37	14B8	1/2	2,33	1,08	-0,37	3,29	2,35
2F2	1/2	1,77	0,95	-0,36	2,84	1,78	14B9	1	1,63	0,97	-0,23	3,30	1,60
2F3	1/2	2,03	1,13	-0,47	2,03	2,14	14B10	1	1,27	0,94	-0,44	2,35	1,35
2F4	1/2	2,55	0,97	-0,50	4,01	2,58	14B11	1	1,35	1,00	-0,35	2,64	1,41
4B1	1/2	0,56	1,59	-0,39	0,78	1,05	14D12	1/2	1,66	1,01	-0,19	2,28	1,58
4D2	1/2	1,30	0,62	0,12	1,31	1,25	14B13	1	0,98	1,13	-0,24	1,49	1,03
4B3	1/2	1,58	0,52	0,30	0,88	1,46	14D15	1/2	1,04	0,73	-0,44	3,02	1,07
4B4	1/2	1,58	0,47	0,33	0,83	1,47	14B16	1	0,43	0,69	-0,33	2,13	0,43
4F5	1	2,00	1,13	-0,37	1,99	2,05	14B17	1	1,44	0,84	-0,37	2,86	1,44
4D6	1/2	1,78	1,05	-0,29	2,18	1,77	14D18	1/2	1,41	0,82	-0,18	4,53	1,34
7D1	1/2	2,05	0,59	-0,15	0,90	2,13	14B19	1	1,91	1,23	-0,51	1,67	2,12
7B2	1/2	2,34	0,46	-0,09	1,02	2,35	14D20	1/2	1,86	1,12	-0,51	1,97	2,02
7D3	1/2	1,08	0,35	-0,11	0,89	1,12	14B21	1	1,96	1,25	-0,49	1,65	2,15
7F4	1/2	1,36	0,90	0,10	1,24	1,27	14B22	1/2	1,32	0,76	-0,27	5,21	1,30
7B5	1/2	1,92	0,59	-0,01	0,80	1,94	14D23	1/2	1,57	0,92	-0,19	2,92	1,50

CODICE	serie	Mz (phi)	σ_i	SkI	KG	D50	CODICE	serie	Mz (phi)	σ_i	SkI	KG	D50
7D6	1/2	1,66	0,60	0,26	0,87	1,54	14B24	1/2	1,73	1,03	-0,26	2,20	1,69
7D7	1/2	1,65	0,90	-0,29	1,04	1,78	14B25	1	2,23	1,09	-0,52	3,16	2,34
7D8	1/2	1,63	0,50	0,33	0,76	1,51	14B26	1	0,94	0,99	-0,30	1,54	0,97
7D9	1/2	1,70	1,00	-0,23	2,37	1,64	14B27	1	0,85	1,26	-0,09	1,37	0,81
7D10	1/2	1,46	0,89	-0,13	3,48	1,37	14B28	1	1,43	0,85	-0,37	2,75	1,43
7D11	1/2	2,39	0,96	-0,31	4,11	2,35	14B29	1	0,35	0,91	-0,28	2,00	0,44
7D12	1/2	2,46	0,98	-0,42	3,72	2,47	14D30	1/2	0,52	0,93	-0,38	1,61	0,63
7B13	1	2,50	1,06	-0,33	3,82	2,50	14B31	1	-0,28	0,88	-0,09	1,11	-0,31
7D14	1/2	2,50	0,99	-0,46	3,67	2,53	14B32	1/2	1,52	0,94	-0,17	2,71	1,44
8D1	1/2	1,70	1,07	-0,20	2,10	1,64	14D33	1/2	1,77	0,97	-0,35	2,58	1,77
9F1	1/2	-0,09	1,59	0,87	5,48	-1,17	14B34	1	2,49	0,97	-0,41	3,94	2,49
9F2	1/2	2,13	0,60	-0,22	0,88	2,22	15B1	1	0,79	1,13	-0,24	1,00	0,80
9D3	1/2	2,49	0,40	-0,23	0,94	2,53	15F2	1/2	1,53	0,93	-0,16	2,85	1,45
9F4	1/2	2,22	0,53	-0,14	1,03	2,25	15B3	1	0,09	0,94	0,24	1,54	-0,13
9D5	1/2	2,15	0,52	-0,08	1,01	2,18	15F4	1/2	1,57	0,99	-0,11	2,26	1,44
9B6*	1	1,45	1,14	-0,25	2,38	1,47	15D5	1/2	1,70	1,01	-0,21	2,25	1,62
9B7	1	0,96	1,03	-0,32	1,45	1,02	15F6	1	2,46	0,99	-0,40	3,64	2,46
9F8	1/2	2,52	1,00	-0,54	3,61	2,58	15B7	1/2	1,05	0,80	-0,43	2,90	1,11
9B9	1	-0,58	1,23	0,29	1,45	-0,74	15B8	1	0,06	0,82	-0,33	1,26	0,14
9F10	1/2	2,63	1,00	-0,53	5,95	2,70	15F9	1	1,13	1,21	-0,41	1,73	1,35
9F11	1/2	2,02	1,19	-0,42	1,69	2,11	15D10	1/2	1,05	0,91	-0,33	2,58	1,10
9F12	1/2	2,34	1,15	-0,54	2,69	2,49	15B11	1	0,49	0,72	-0,28	2,42	0,49
9F13	1/2	2,20	1,10	-0,47	2,60	2,29	15B12	1	-0,06	1,22	0,02	0,97	-0,12
9D14	1/2	2,50	1,02	-0,43	3,62	2,53	15B13	1	-0,56	1,05	0,11	1,10	-0,63
9F15	1	2,14	1,11	-0,45	2,26	2,22	15B14	1	0,94	1,02	-0,24	1,51	0,93
10B1	1/2	-0,38	0,91	0,39	0,75	-0,62	15B15	1	1,83	1,15	-0,23	1,91	1,77
10F2	1	2,50	1,08	-0,32	3,69	2,50	15F16	1/2	1,86	1,05	-0,39	2,29	1,90
10F3	1	2,46	0,99	-0,40	3,56	2,46	15D17	1/2	1,85	1,04	-0,34	2,44	1,86

I parametri statistici descrivono quantitativamente la curva granulometrica del campione e possono dare indicazioni generali sui processi sedimentari locali. Si fornisce di seguito una breve descrizione dei parametri statistici considerati.

Diametro medio (Mz): è espresso in phi. Si tratta di una misura della tendenza centrale della distribuzione granulometrica; nella formula di Folk e Ward (1957) sono utilizzati 3 percentili (16, 50, 84); utilizzando più percentili il valore numerico ottenuto si avvicina al valore reale del diametro medio.

Deviazione standard o classazione o sorting (σ_i): è una misura della dispersione intorno alla media, indica cioè quanto la distribuzione granulometrica si discosta dal valore del diametro medio. Si tratta di un valore indipendente dalla grana media che in base alla classificazione di Folk e Ward (1957) esprime:

- $\sigma_i < 0.35$ sedimento molto ben selezionato
- $0.35 < \sigma_i < 0.50$ “ ben selezionato
- $0.50 < \sigma_i < 0.80$ “ moderatamente ben selezionato
- $0.80 < \sigma_i < 1.40$ “ moderatamente selezionato
- $1.40 < \sigma_i < 2.00$ “ poco selezionato
- $2.00 < \sigma_i < 4.00$ “ molto poco selezionato
- $\sigma_i > 4.00$ “ estremamente poco selezionato

La classazione esprime la capacità selettiva del mezzo di trasporto, cioè la sua capacità di prelevare e/o depositare i granuli (deposizione dei più grossolani e trasporto dei più fini). I sedimenti eolici e di spiaggia, ad esempio, sono tra i più classati in natura (Bosellini *et al.*, 1989).

Skewness o asimmetria (SkI): evidenzia l'omogeneità della popolazione granulometrica, cioè se i valori sono distribuiti equamente da una parte all'altra della media. Essa ha un segno positivo (+) se la curva ha una coda verso diametri fini e un segno negativo (-) se la curva ha una coda verso diametri grossolani; una curva perfettamente simmetrica è definita con asimmetria zero. I valori della asimmetria vengono comunemente raggruppati nelle seguenti classi (Folk e Ward, 1957):

- $-1.00 < SkI < -0.30$ fortemente asimmetrica sul grossolano
- $-0.30 < SkI < 0.10$ simmetrica
- $0.10 < SkI < 0.30$ asimmetrica sul fine
- $0.30 < SkI < 1.00$ fortemente asimmetrica sul fine

Kurtosis (KG): è la misura dell'appuntimento della distribuzione di frequenza e considera il rapporto tra la dispersione nella parte centrale e la dispersione nelle code; si distingue una distribuzione leptocurtica (appuntimento della curva di frequenza) da una distribuzione platicurtica (dispersione su tutta la curva di frequenza).

Mediana (D50): è il diametro corrispondente al 50 % della curva cumulativa.

5.3 Analisi petrografiche

In Appendice 2 sono riportati i risultati delle analisi petrografiche calcolate sia per la *Composizione modale QFL*, sia per la *Composizione modale dei grani prevalenti*. In tutto sono stati analizzati 135 campioni di sabbia di cui 6 di *fiume (R)*, 63 di *spiaggia emersa*, 31 di *battigia*, 31 di *duna* e 4 di materiale di *ripascimento*.

Nelle figure 5.6, 5.7 e 5.8 sono rappresentate rispettivamente le distribuzioni dei contenuti del quarzo, feldspati e carbonati dei sedimenti di *spiaggia emersa* e di *battigia*. In termini generali, si può affermare che sabbie quarzose si ritrovano nella Sicilia orientale, particolarmente nella costa settentrionale; in Sardegna, nella Liguria di Ponente e, a tratti, nella costa adriatica. I feldspati sono ad alti tenori in Sardegna e, con tenori inferiori, in Liguria e nella Sicilia orientale. I carbonati sono nettamente dominanti nelle coste adriatiche con massimi nelle sabbie delle coste pugliesi, mentre la Sicilia e la costa orientale della Sardegna ne sono quasi completamente prive.

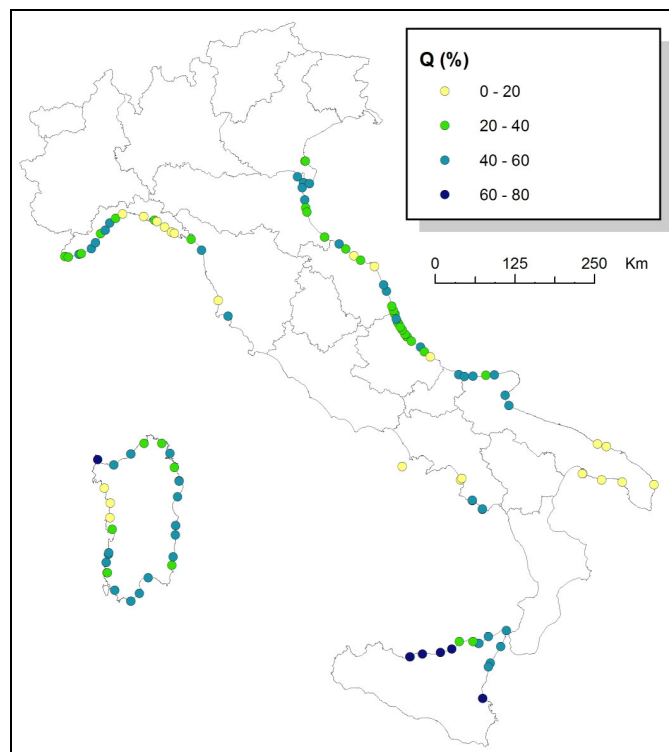


Figura 5.6. Distribuzione percentuale del quarzo nei campioni studiati.

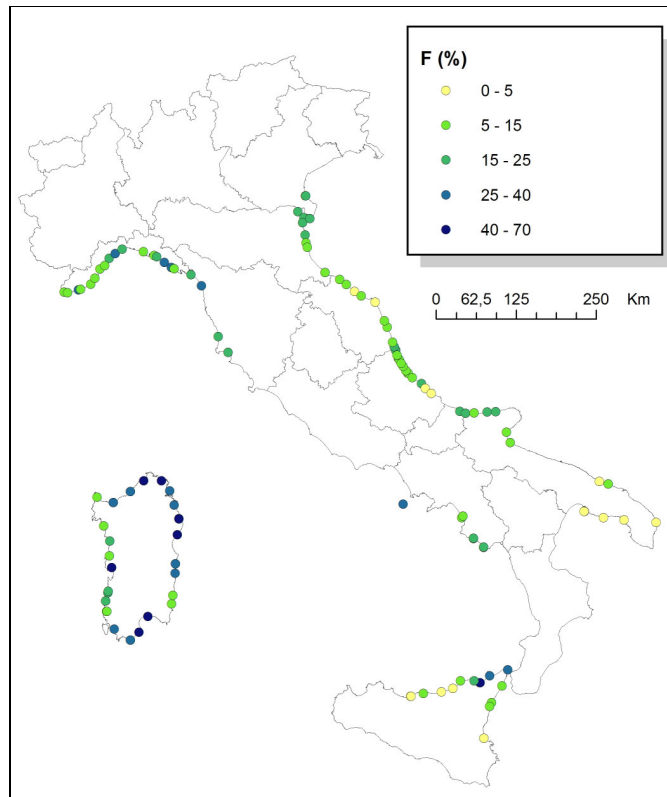


Figura 5.7. Distribuzione percentuale dei feldspati nei campioni studiati.

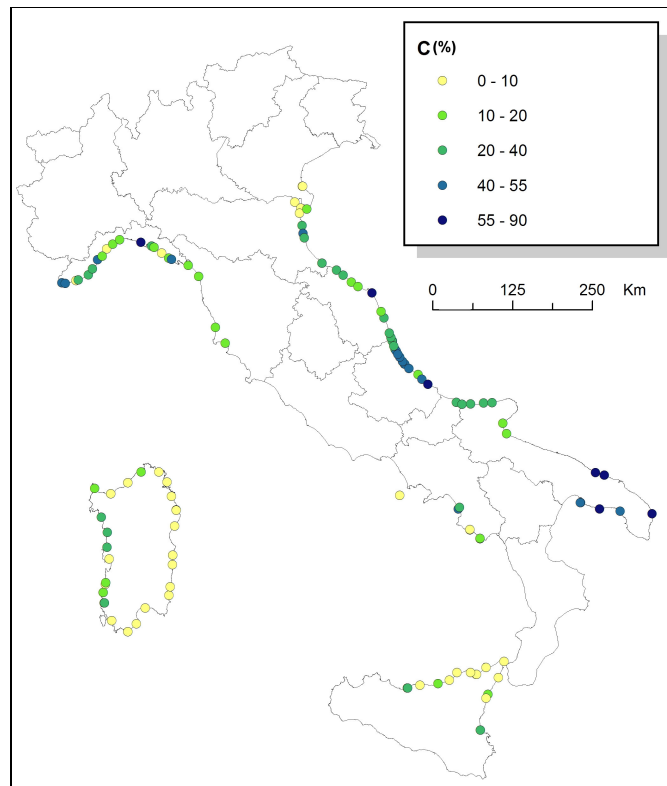


Figura 5.8. Distribuzione percentuale dei carbonati nei campioni studiati.

A scala nazionale, questi dati confermano i dati di letteratura provenienti da Anselmi et al. (1978): sabbie costiere prevalentemente carbonatiche in Adriatico e quarzoso-feldspatiche nelle coste liguri-tirreniche e nelle isole maggiori. Unica differenza da segnalare, la netta differenza di contenuto in quarzo tra le sabbie litorali della Liguria di Ponente e quelle di Levante. Questi valori sono in relativo accordo con la litologia dei bacini liguri costituita, in prima approssimazione, da rocce arenacee e cristalline nella Liguria occidentale e da rilievi marnoso – argillosi nella Liguria orientale. Da notare, sempre nel settore orientale ligure, la particolarità dei campioni 1B14 (Monterosso) e 1B25 (Deiva Marina) dove il tenore in feldspati è da due a tre volte superiore a quello del quarzo.

5.3.1 Situazioni locali e confronto con i dati di letteratura

Di seguito vengono illustrate alcune situazioni particolari e vengono paragonati i dati di questo studio con dati di letteratura.

5.3.1.1 Emilia Romagna

Nell'area costiera a sud del delta del Po, in Emilia Romagna, sono stati analizzati 5 campioni di *spiaggia emersa* (fig. 5.9).

Questi campioni sono stati prelevati alla fine degli anni '70, e sono situati in diverse province petrografiche individuate da Gazzi et al. (1973). L'area fu studiata in modo estremamente approfondito, al punto che questo lavoro si può considerare un vero e proprio modello da seguire per l'analisi composizionale dei sedimenti costieri e fluviali.

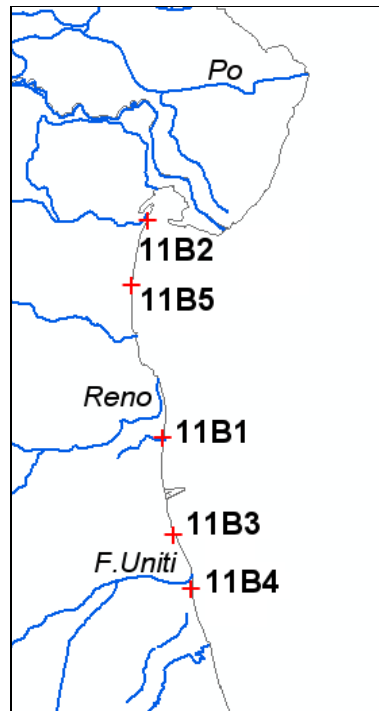


Figura 5.9. Campionamento delle sabbie di spiaggia emersa nella costa dell'Emilia Romagna.

La figura 5.10 presenta il confronto, tramite il diagramma della *Composizione modale QFL* (Dickinson, 1970), dei campioni analizzati in questa ricerca con quelli di Gazzi et al. (1973). Osservando i due diagrammi ternari si nota che i campioni 11B2 e 11B5 rientrano nell'area del delta padano; il campione 11B1 si posiziona nel settore del Fiume Reno ed i campioni 11B3 e 11B4 sono influenzati dalla firma petrografica dei Fiumi Uniti.

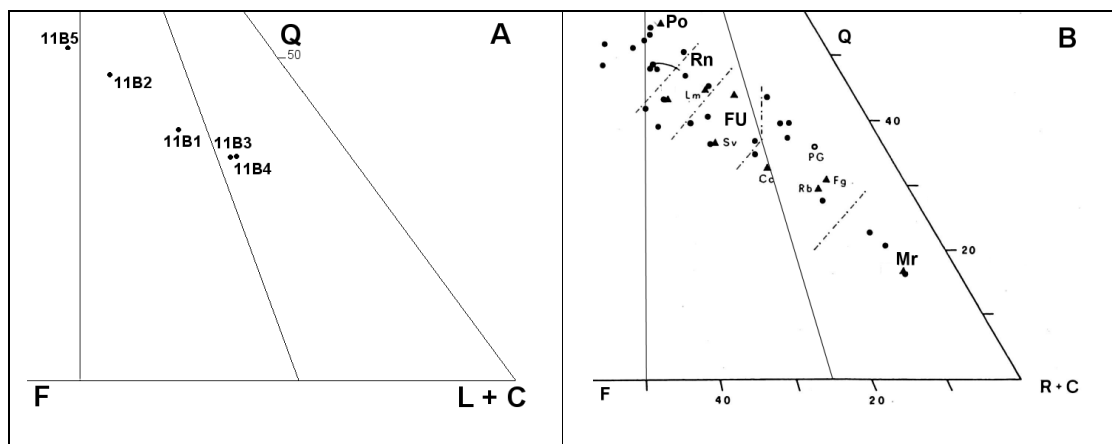


Figura 5.10. Diagramma della *Composizione modale QFL* (Dickinson, 1970) per i campioni di spiaggia emersa e battigia di questo studio (A) e quelli di spiaggia emersa e fluviali di Gazzi et al. (B).

Tali dati sono in ottimo accordo con i risultati analitici dei campioni di Gazzi et al. (1973).

La *Composizione modale dei grani prevalenti* (fig. 5.11) mostra, in dettaglio maggiore, l'alto contenuto di quarzi e feldspati dei campioni prossimi al delta padano (11B2 e 11B5), con un sensibile tenore di miche e minerali pesanti (M&P) che si annulla nei campioni più a Sud. I restanti campioni, sempre procedendo verso Sud, registrano un aumento dei carbonati terrigeni a scapito della frazione quarzoso-feldspatica. Il trend dei carbonati è da mettere in relazione con un limite di Provincia Petrografica sedimentaria costiera tra fiumi romagnoli ed apporti del Fiume Reno (Gazzi et al. 1973).

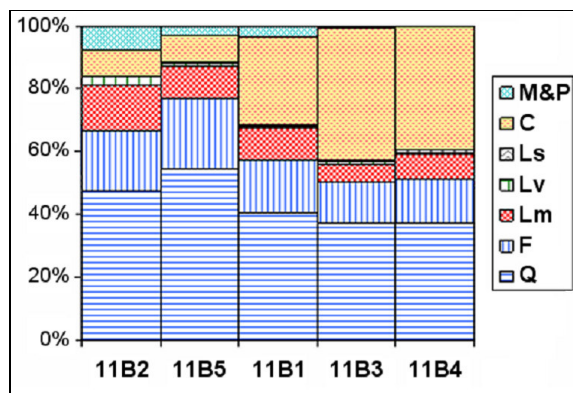


Figura 5.11. Diagramma della *Composizione modale dei grani prevalenti* per i campioni di *spiaggia emersa e battigia* di questo studio. Q: grani quarzosi; F: grani feldspatici; Lm: litici metamorfici; Lv: litici vulcanici; Ls: litici silicoclastici; C: carbonati terrigeni.

5.3.1.2 Toscana

La figura 5.12 presenta la *Composizione modale QFL* per i 4 campioni di *battigia* del litorale toscano. Anche questo tratto di costa è stato oggetto di uno studio sulla composizione petrografica delle sabbie costiere (Gandolfi et al., 1977). Tale studio individuò nove Province Petrografiche sedimentarie costiere da Marina di Carrara fino a Grosseto. La figura 5.13 presenta i dati di questo studio che sono all'interno delle 4 Province Petrografiche sedimentarie costiere di Gandolfi et al. (1977). Si può osservare un buon accordo per i campioni più settentrionali 2F1 e 2F2, rispettivamente presso Marina di Carrara e Viareggio.

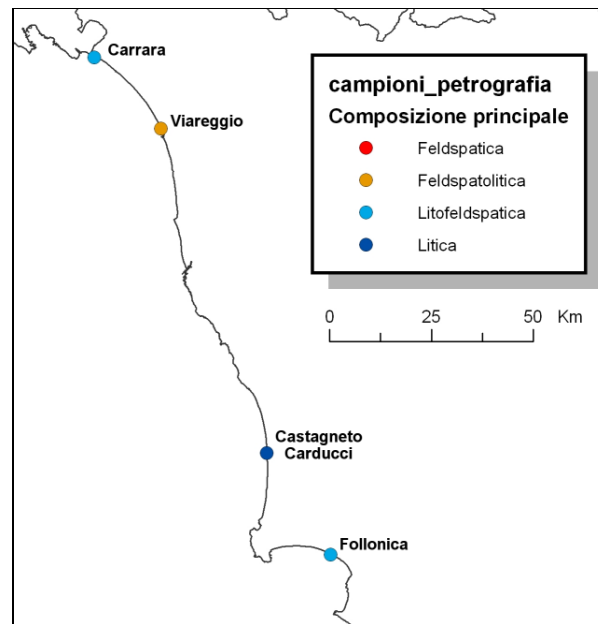


Figura 5.12. Distribuzione dei campioni di *battigia* della Toscana. Il colore indica la classe della *Composizione modale QFL*.

Nell'area presso Castagneto Carducci, la Provincia Petrografica Alto-Maremma di Gandolfi segnala un maggior contenuto in carbonati, mentre il campione di questo studio individua un maggior contenuto in litici, prevalentemente serpentiniti, proprio a scapito della componente carbonatica. Invece per il campione che rientra nella Provincia Petrografica di Follonica si registra circa un 15% in meno di grani quarzosi rispetto alla provincia stessa.

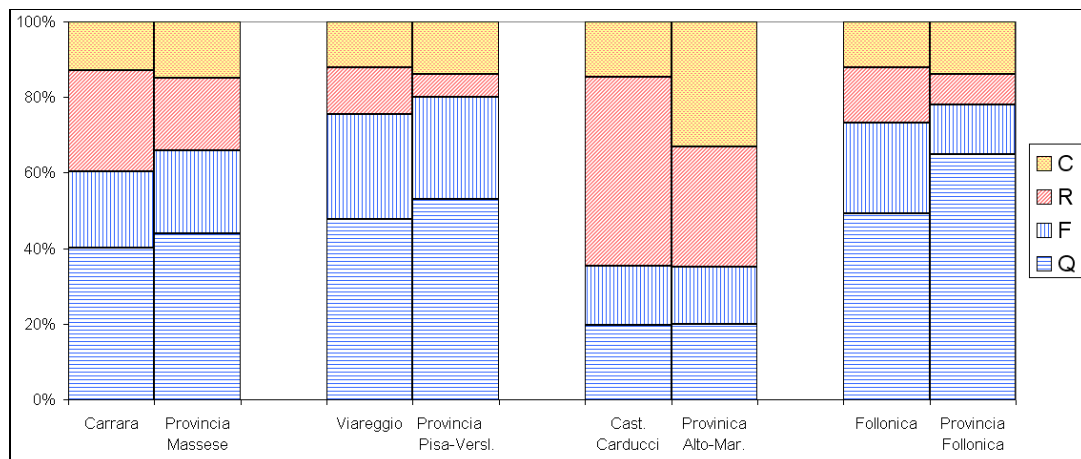


Figura 5.13. Dati di questo studio (colonna di sinistra) paragonati ai dati mediati ed estrapolati dai grafici dello studio di Gandolfi et al. (1977, colonna di destra) per quattro Province Petrografiche sedimentarie costiere.

5.3.2 Composizione petrografica delle sabbie della Sardegna

I dati composizionali della Sardegna presentano una petrografia quarzoso-feldspatica tra le più alte registrate in questo studio. La figura 5.14 presenta i dati della *Composizione modale QFL* dei campioni di *spiaggia emersa*, mentre la posizione dei relativi campioni è rappresentata in figura 5.15.

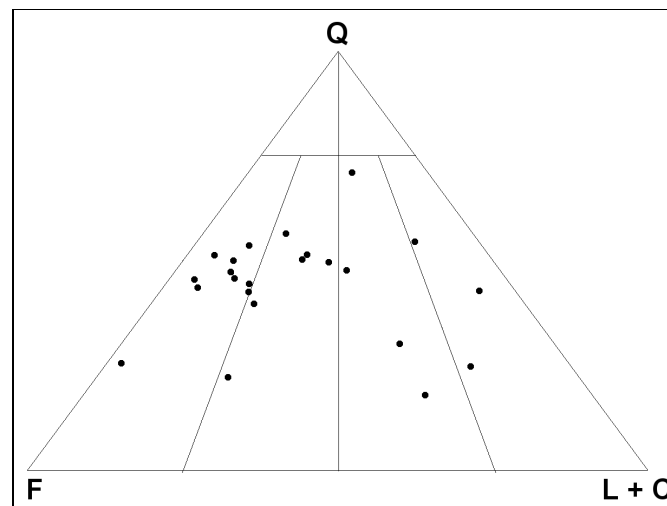


Figura 5.14. Diagramma della *Composizione modale QFL* per la sabbie di *spiaggia emersa* della Sardegna.

Le sabbie Feldspatiche e Feldspatolitiche sono 16 su un totale di 23 e sono concentrate nell'area nord-occidentale dell'isola dove è presente un'estesa litologia di rocce cristalline granitoidi che riaffiorano anche in alcune aree della Sardegna meridionale.

Le classi Litofeldspatica e Litica sono in tutto 7, si ritrovano nella costa orientale ed in una ristretta area della costa sud-occidentale. La frazione litica dei campioni nord-orientali è costituita in prevalenza da litici vulcanici e carbonatici, mentre quella nella costa sud-occidentale da litici metamorfici.

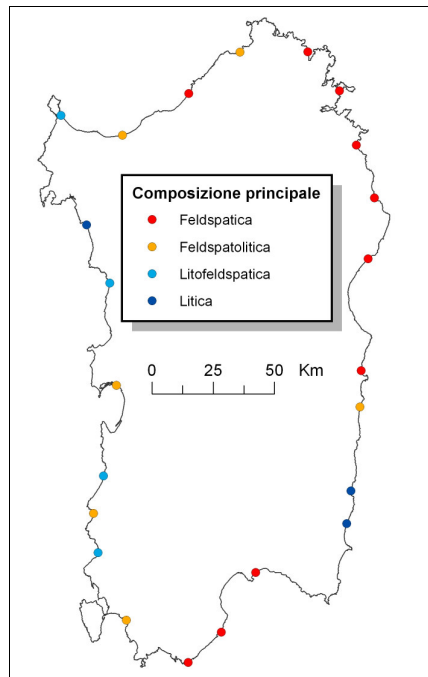


Figura 5.15. Distribuzione dei campioni di *spiaggia emersa* della Sardegna. Il colore indica la specifica *Composizione modale QFL*.

5.3.3 Composizione petrografica delle sabbie della Liguria

La *Composizione modale QFL* dei campioni liguri è piuttosto omogenea. Tutti i 6 campioni fluviali e 12 campioni di spiaggia appartengono al tipo compositore delle sabbie Litiche (fig. 5.16). Soltanto il campione presso la località Bussana, nella Liguria di Ponente, mostra un alto contenuto quarzo-feldspatico (>80%) che posiziona questo campione nella classe Feldspatolitica.

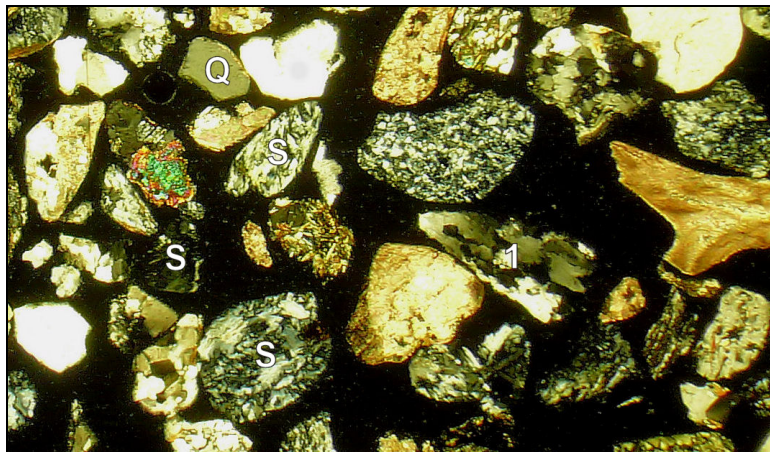


Figura 5.16. Esempio di un campione di *spiaggia emersa* della Liguria ricco in Litici (1B9). Q: grano di quarzo monocristallino. S: serpentiniti; 1: grano monocristallino, polimineralico di quarzo. Nicols incrociati, ingrandimento 2,5X.

La *Composizione modale QFL* dei campioni di *spiaggia emersa* e dei principali *fiumi* della Liguria è mostrata in figura 5.17.

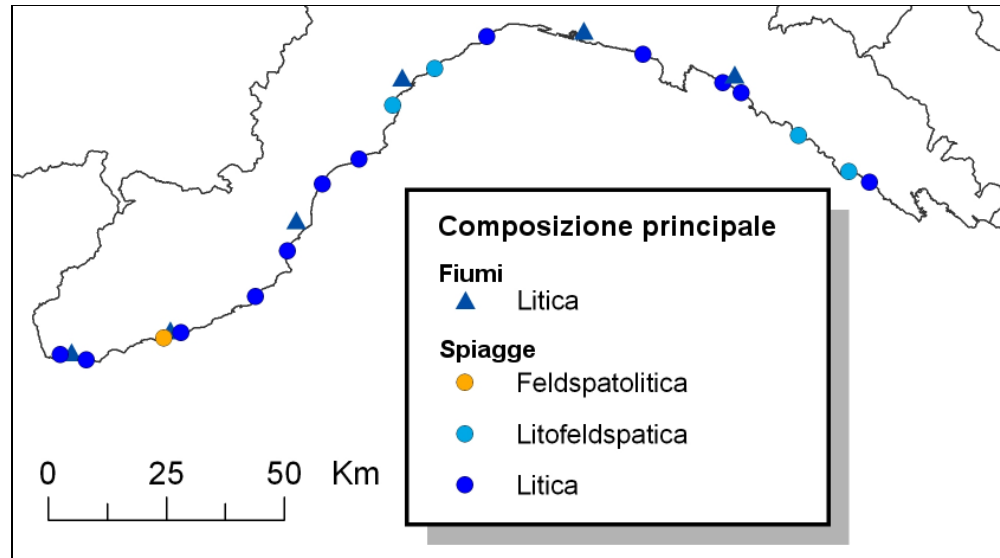


Figura 5.17. Distribuzione dei campioni di *spiaggia emersa* e di *fiume* della Liguria. Il colore indica la specifica *Composizione modale QFL*.

La *Composizione modale dei grani prevalenti* dei campioni liguri è mostrata in figura 5.18.

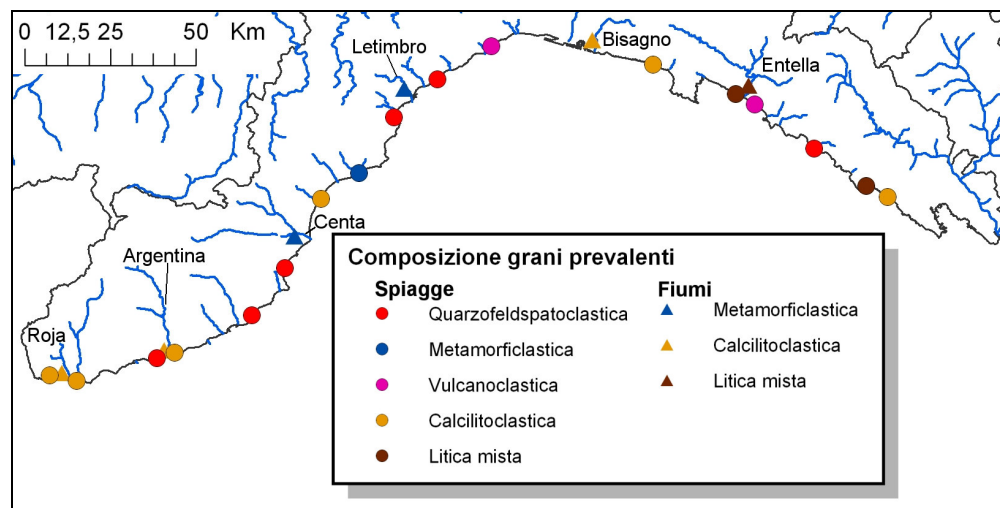


Figura 5.18. Distribuzione dei campioni di *spiaggia emersa* e di *fiume* della Liguria. Il colore indica la specifica *Composizione modale dei grani prevalenti*.

La *Composizione modale dei grani prevalenti* in Liguria è piuttosto varia. A scala regionale, questa composizione riflette, generalmente, la litologia dei rilievi liguri. Se si esclude l'area di Ventimiglia con il Torrente Roja, non si osserva una buona correlazione tra composizione petrografica delle sabbie fluviali e le sabbie più prossime agli sbocchi delle aste fluviali. Ciò è dovuto principalmente a causa del regime spesso torrentizio dei corsi d'acqua liguri e, di conseguenza, del basso apporto di carico solido sulle coste. Nel contesto ligure, quindi, diventa anche importante l'apporto diretto dallo smantellamento delle rocce esposte al moto ondoso. Da segnalare, la classe Vulcanoclastica, per i campioni presso Arenzano (1B19) e di Lavagna (1B24), che hanno una componente litica costituita prevalentemente da Serpentiniti.

5.3.4 Composizione petrografica delle sabbie della Sicilia orientale

I campioni di *spiaggia emersa* (8) e *battigia* (5) analizzati per la Sicilia orientale presentano una situazione mista per quanto concerne la *Composizione modale QFL* (fig. 5.19).

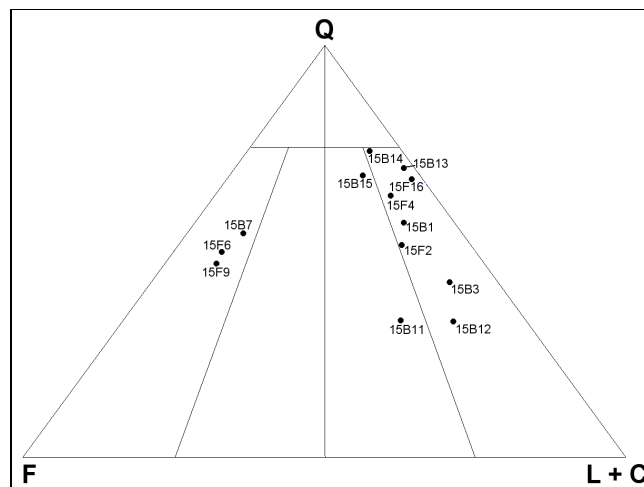


Figura 5.19. Diagramma della *Composizione modale QFL* per la sabbie di *spiaggia emersa* (B) e *battigia* (F) della Sicilia orientale.

Gli unici tre campioni, appartenenti alla classe Feldspatica, sono tutti confinati nell'area costiera di Castoreale (15F6, 15F7 e 15F9), nell'estremo settore nord-orientale dell'isola

(fig. 5.20). Proseguendo da questi campioni verso Ovest, il contenuto in quarzo scende ai suoi minimi con i campioni 15B11 e 15B12. I campioni 15B12 e 15B15, rientrano nella classe Litofeldspatica. I restanti campioni sono tutti della classe Litica e, generalmente, hanno tutti un elevato contenuto di quarzo.

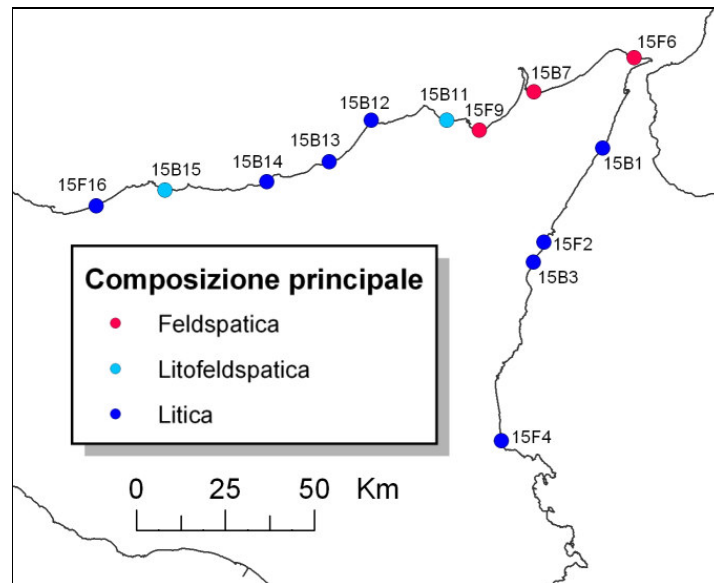


Figura 5.20. Distribuzione dei campioni di *spiaggia emersa* e di *battigia* della Sicilia orientale. Il colore indica la specifica *Composizione modale QFL*.

La tabella 5.2 presenta un confronto tra le analisi di un campione di questo studio, il 15F4, con due composizioni di *spiaggia emersa* provenienti da uno studio di Amore et al. (1979). I due campioni della pubblicazione del 1979 distano, approssimativamente, 3 km a Nord ed a Sud del campione 15F4, prelevato nel giugno 2006.

Tabella 5.2. Confronto tra due analisi di letteratura con un'analisi di questo studio. Q: grani quarzosi; F: grani feldspatici; R: litici; C: carbonati.

	Amore et al. (1979)		Questo studio
	Campione "10"	Campione "11"	Campione "15F4"
Q	61,1	63,2	63,4
F	6,2	4,6	7,3
R	10,1	11,2	10,9
C	22,6	21,0	17,7

Come si può notare, la *Composizione modale QFL* della sabbia del litorale a Sud del Porto di Catania, determinata nei due distinti studi, è identica. Le sabbie di questa Cella Litorale sono costituite essenzialmente dagli apporti del fiume Simeto (Amore et al., 1979).

Per il complesso dei campioni siciliani analizzati, la *Composizione modale dei grani prevalenti* è monotona, con 11 campioni la cui prevalenza dei grani è quarzo-feldspatica e soltanto due campioni, il 15B3 ed il 15B12, mostrano una prevalenza di litici metamorfici.

5.3.5 Composizione petrografica delle sabbie dell'Adriatico centrale

Il diagramma ternario QFL della figura 5.21 mostra la *Composizione modale QFL* per i 30 campioni dell'Adriatico centrale distinti in *spiaggia emersa* (5), *battigia* (17) e *duna* (8).

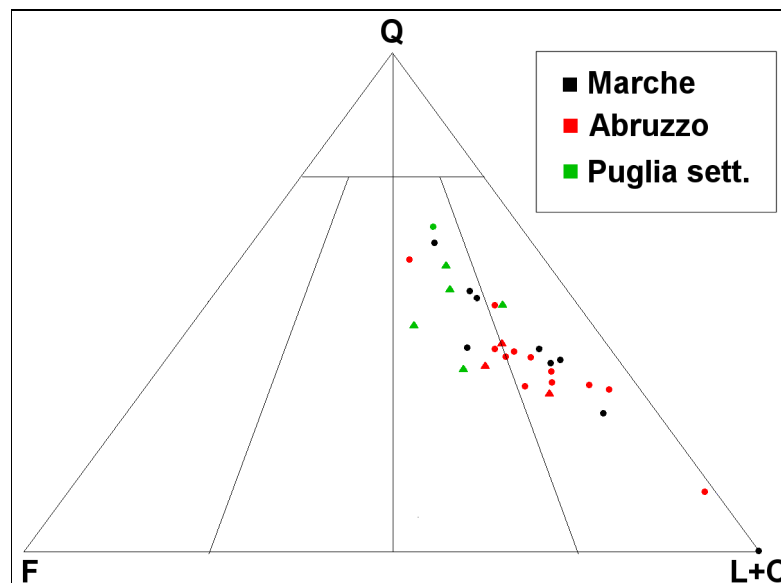


Figura 5.21. Diagramma della *Composizione modale QFL* per la sabbie di *spiaggia emersa*, *battigia* e *duna* (indicati da triangoli) dell'Adriatico centrale.

Mentre la fig. 5.22 presenta la distribuzione della *Composizione modale dei grani prevalenti* sempre per lo stesso gruppo di campioni. Dalle figure 5.19 e 5.20 si osserva

che i litorali della costa Adriatica centrale sono nelle classi Litofeldspatica (12) e Litica (26) per la *Composizione modale QFL* e con prevalenza di grani carbonatici (22), quarzo-feldspatici (15). E' quindi evidente che la frazione litica della *Composizione modale QFL* è in maggior parte di natura carbonatica, mentre la componente quarzo-feldspatica si ritrova nella Puglia settentrionale, nell'estrema costa settentrionale abruzzese ed in alcuni tratti della costa delle Marche.

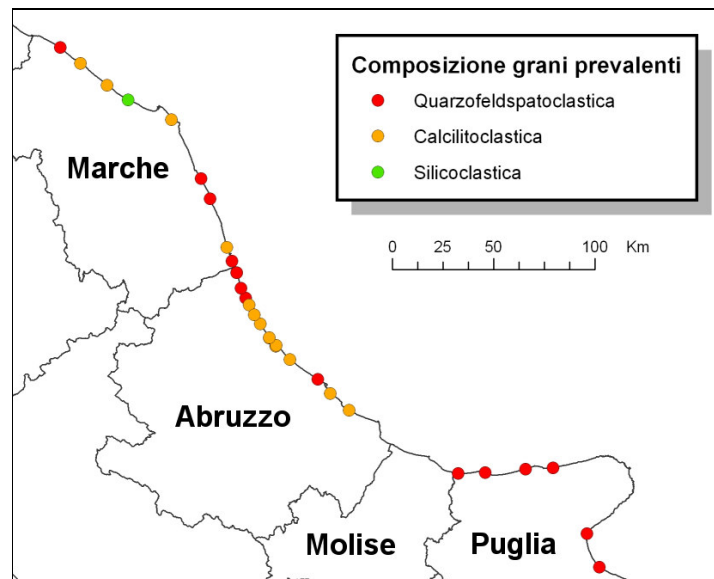


Figura 5.22. Distribuzione dei campioni di *spiaggia emersa*, *battigia* e di *dune* dell' Adriatico centrale. Il colore indica la specifica *Composizione modale dei grani prevalenti*.

La relativa uniformità compositiva di questi campioni è da attribuirsi alla corrispondente litologia dell'area, costituita da rocce marnoso-argillose nei rilievi più prossimi alla costa e da formazioni di rocce calcaree più distanti dal mare.

5.4 Maturazione mineralogica

Lo scopo di questo lavoro teso ad illustrare lo spettro compositivo ed al tempo fornire degli standard di riferimento per la composizione delle sabbie native delle spiagge d'Italia, deve tener conto di un processo ben noto in letteratura (es. Folk, 1974) per cui le sabbie, sottoposte a perdurante abrasione ad opera degli agenti idrici ed eolici in

ambiente costiero, perdono i componenti più instabili a causa dei processi di degradazione chimico-fisica.

La verifica di questo processo detto di “maturazione” mineralogica può essere fatta paragonando i campioni di *spiaggia emersa* o *battigia*, con i corrispondenti campioni prelevati nei sistemi dunali retrostanti, oppure paragonando campioni di sabbie fluviali con quelli delle corrispondenti spiagge. Tra le tante coppie di campioni prelevate, il massimo della naturalità è stato accertato nelle coste della Sardegna per cui la trattazione fa particolare riferimento a questi ultimi.

Per le sette coppie di campioni spiaggia-duna scelte in territorio sardo, in figura 5.23 è mostrata la *Composizione modale QFL* dei campioni *dunali* e delle corrispondenti *spiagge emerse*. Come ci si attendeva (Pettijohm et al., 1987) in tutte le coppie di campioni la sabbia dunale presenta una maggiore *maturità mineralogica* della corrispondente sabbia di spiaggia, maturazione che si manifesta tramite un aumento delle componenti stabili del sedimento (es. quarzo).

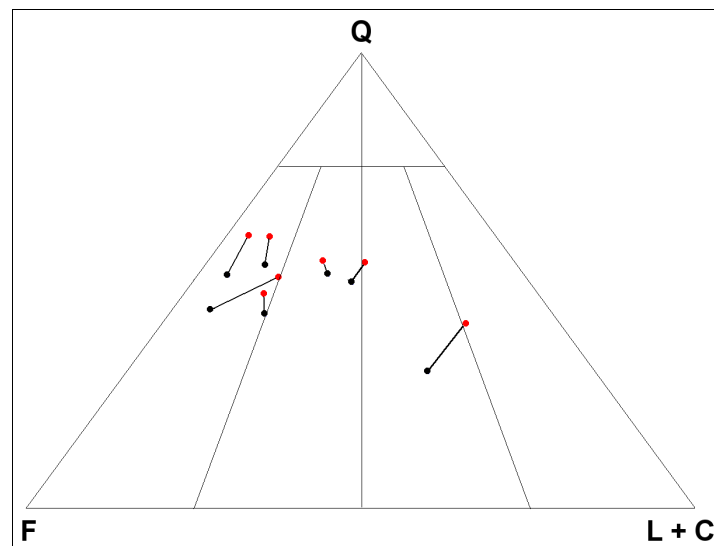


Figura 5.23. Diagramma della *Composizione modale QFL* per i campioni di sabbia di *spiaggia emersa* (nero) e corrispondente *duna* (rosso), della Sardegna. I tratti identificano le coppie di campioni spiaggia – duna.

Le sabbie di duna (es. fig. 5.24) presentano un aumento medio del quarzo superiore al 6 % con un massimo del 10 % per la coppia di campioni 14B19 e 14D20 prelevati in prossimità di Bugerru (provincia di Cagliari). Vale notare che tale aumento è fatto soprattutto a spese dei grani feldspatici e, in misura molto minore, di quelli litici e carbonatici (L + C).

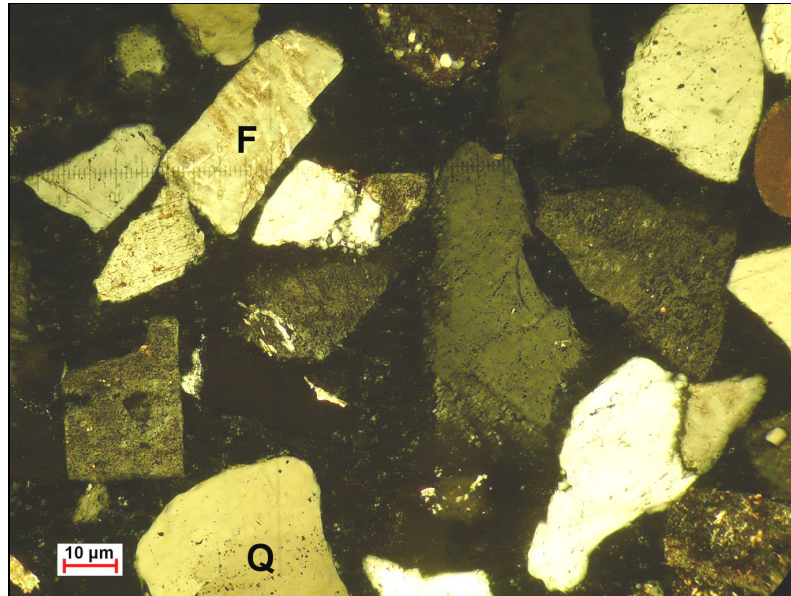


Figura 5.24. Esempio di un campione di *duna* della Sardegna (14D23). F: grano monocristallino di feldspato alterato; Q: grano di quarzo monocristallino. Nicols incrociati, ingrandimento 10X.

Un distinto caso di maturazione mineralogica è mostrato dai campioni 11N6 e 11F8 che, rispettivamente, rappresentano la sabbia destinata al ripascimento artificiale del tratto apicale dello “scannone” prelevata nelle barre di foce del Po di Goro e la sabbia di battigia prelevata circa 500 m a sud-ovest (sottoflutto) della bocca del Po di Goro (fig. 5.25).

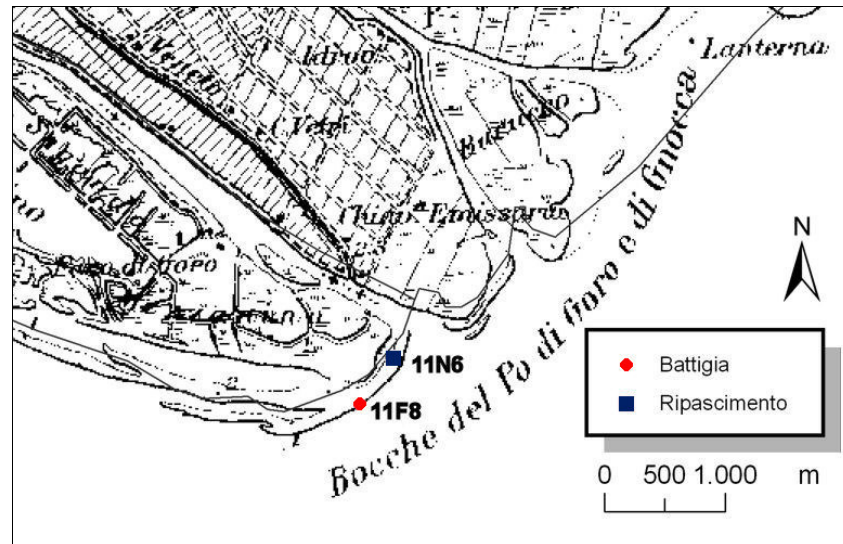


Figura 5.25. Localizzazione dei campioni 11N6 e 11F8 sulle spiagge in destra della foce del Po di Goro.

Come ci si poteva attendere, il diagramma ternario della *Composizione modale QFL* in questo caso indica una maggiore maturità mineralogica della sabbia di battigia a confronto della sabbia di ripascimento, che è poi una sabbia fluviale, versata a ridosso del faro del Po di Goro. Anche in questo caso i grani più instabili diminuiscono, con conseguente aumento del tenore dei grani quarzosi (fig. 5.26).

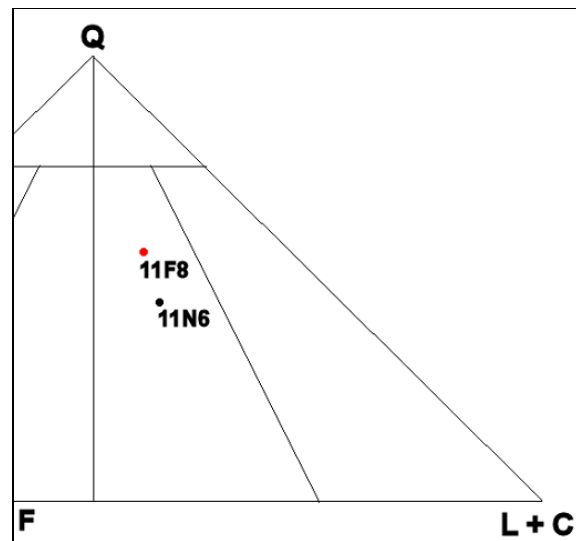


Figura 5.26. Dettaglio del diagramma ternario della *Composizione modale QFL* dei campioni di barra di foce 11N6 e di battigia 11F8 della coppia fiume (Po) – spiaggia (scannone) della zona di Goro.

Il diagramma ternario di figura 5.26 indica che la differenza nel contenuto in grani quarzosi tra i due campioni è superiore al 10%. Più in dettaglio, l'istogramma che mostra la *Composizione modale dei grani prevalenti* (fig. 5.27) rivela come l'aumento dei grani quarzosi avvenga a scapito della frazione feldspatica (F) e dei grani polimineralici vulcanici (Lv).

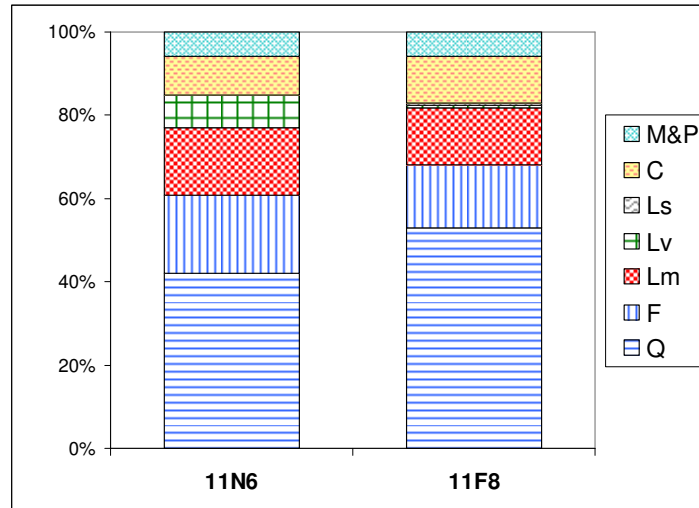


Figura 5.27. *Composizione modale dei grani prevalenti* per i campioni 11N6 e 11F8 di cui alla figura precedente.

5.5 Opere citate

AMORE C., GANDOLFI G., GIUFFRIDA E., PAGANELLI L., ZANINI A., 1979. *Caratteristiche morfologiche, tessiturali e composizionali del litorale del Golfo di Catania*. Miner. Petrogr. Acta, 23: 47-75.

ANSELMI B., BRONDI A., FALCHI G., FERRETTI O., 1978. *Lineamenti granulometrici e mineralogici generali dei sedimenti fluviali e costieri del territorio italiano*. Mem.Soc.Geol.It., 19: 307-314.

BOSELLINI A., MUTTI E., RICCI LUCCHI F., 1989. *Rocce e successioni sedimentarie*. UTET, Torino.

DICKINSON, W.R., 1970. *Interpreting detrital modes of graywacke and arkose*. J. Sedimental Petro., 40: 695-707.

FOLK R.L., WARD W.C., 1957. *Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters*. J. Sed. Petro., 27, 1: 3-26.

FOLK R.L., 1974. *Petrology of Sedimentary Rocks*. Hemphill's, Austin, TX, 182 pp.

GANDOLFI G., PAGANELLI L., 1977. *Le province petrografiche del litorale toscano*. Boll. Soc. Geol. It., 96: 653-663.

GAZZI P., ZUFFA G.G., GANDOLFI G., PAGANELLI L., 1973. *Provenienza e dispersione litoranea delle sabbie delle spiagge adriatiche fra le foci dell'Isonzo e del Foglia: inquadramento regionale*. Mem. Soc. Geol. It., 12: 1-37.

GIANNINI R., 2002. *Rassegna tipologica e valutazione dell'efficacia degli interventi di ripascimento artificiale dei litorali italiani*. Tesi di Laurea in Scienze Geologiche, Facoltà di Scienze MM FF NN, Università degli Studi di Parma.

KRUMBEIN W. C., SLOSS L. L., 1963. *Stratigraphy and Sedimentation*. Freeman (Eds), San Francisco 2nd edition.

PETTIJOHN F.J., POTTER P.E., R.SIEVER., 1987. *Sand and Sandstone. (Second Ed.)*. Springer-Verlag, Berlin, 553 pp.

RICCI LUCCHI F., 1980. *Sedimentologia*. Vol. 3. CLUEB, Bologna.

WENTWORTH C. K., 1922. *A scale of grade and class terms for clastic sediments*. J. Geol. V. 30: 377-392.

6 - GEODATABASE DELLE SABBIE COSTIERE

6.1 Granulometria caratteristica delle sabbie

Dalla vasta casistica degli ambienti di spiaggia, espressa dai campioni di cui alla Tabella 6.1, è stato selezionato il gruppo di campioni omogenei di *battigia* per esprimere il valore medio (deviazione standard fra parentesi) dei singoli parametri. In tabella 6.1 si può osservare, che Diametro Medio (M_z) e Mediana (D_{50}) hanno valore molto simile e vicino a 2 phi, valore limite che separa le Sabbie Medie dalle Sabbie Fini. La misura della selezione assegna la quasi totalità dei campioni di *battigia* alla classe “Moderatamente Selezionato”, mentre la misura dell’Asimmetria assegna la maggioranza dei campioni alla classe Simmetrica e una quota minore degli stessi alla classe “Asimmetrica sul Grossolano”.

Tabella 6.1. Valori medi dei parametri statistici per i campioni di *battigia*. Tra parentesi la deviazione standard.

	Mz (phi)	σ	SkI	KG	D50
n° 31 Campioni Battigia	1,98 (0,69)	1,03 (0,26)	-0,25 (0,32)	2,76 (1,31)	1,94 (0,89)

La figura 6.1 presenta la distribuzione geografica del Diametro Medio (M_z) dei 96 campioni di *battigia* e *spiaggia emersa* analizzati. I campioni di *spiaggia emersa* sono mediamente ben più grossolani, $M_z = 1,00 (0,91)$, dei campioni di *battigia* di cui alla tabella 6.1 sopra. Dalla figura risulta che nessun campione rientra nella classe della *sabbia molto fine* ($3 < \phi < 4$). Le sabbie liguri e quelle della Sardegna occidentale e della Sicilia orientale sono più grossolane delle sabbie adriatiche che, invece, sono spesso nella classe della *sabbia fine*.

Le sabbie a granulometria elevata della Sicilia orientale, della Liguria e della Sardegna sono sicuramente il riflesso sia della prossimità del rilievo montuoso al mare, sia dell’affioramento di ampie estensioni del basamento cristallino. Nel complesso i dati

granulometrici qui prodotti hanno una buona corrispondenza con quelli pubblicati da Anselmi et al. (1978), mostrati in figura 6.2.

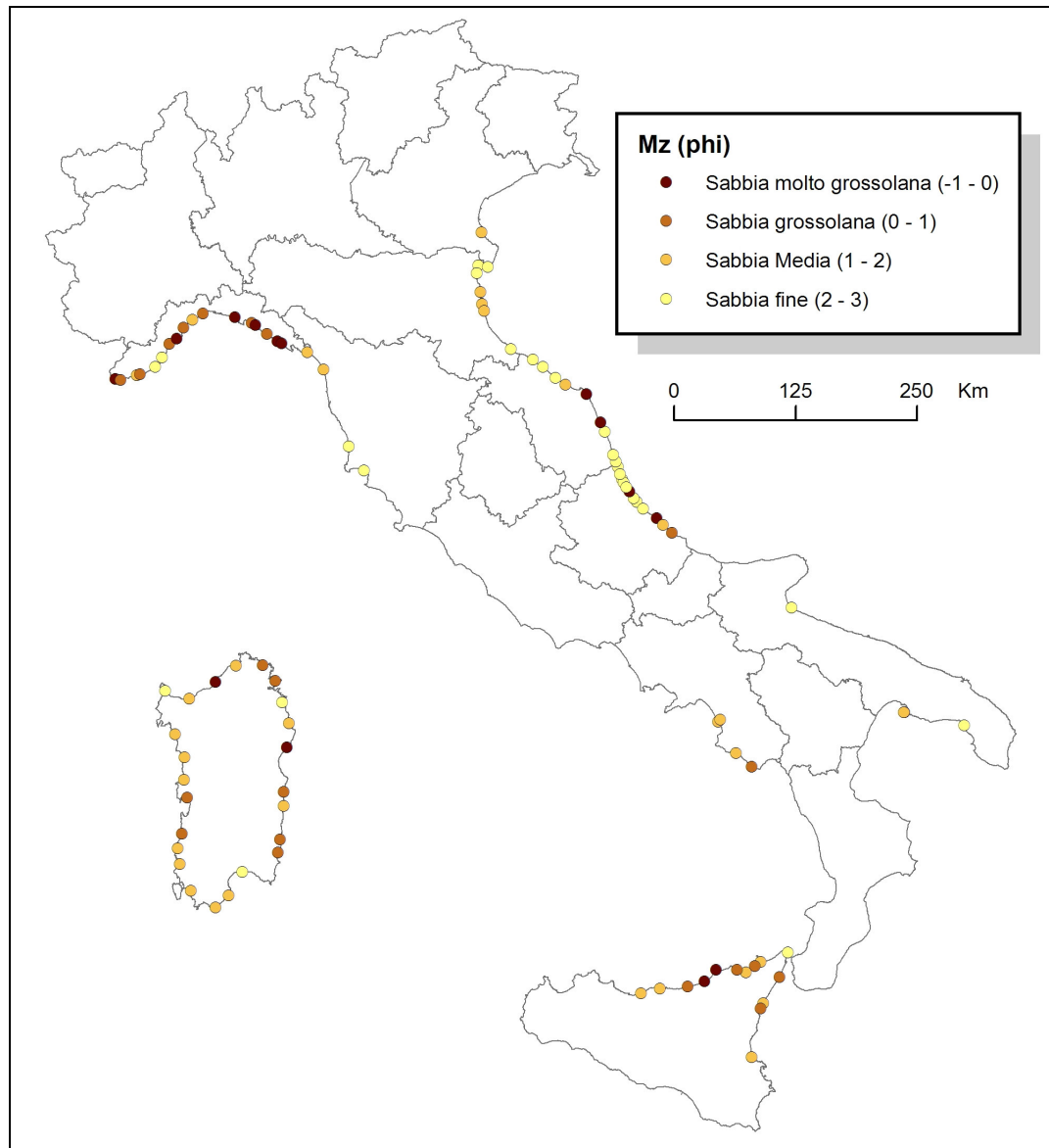


Figura 6.1. Distribuzione geografica del Diametro Medio (Mz, phi) dei campioni di sabbia secondo la scala Wentworth (1922).

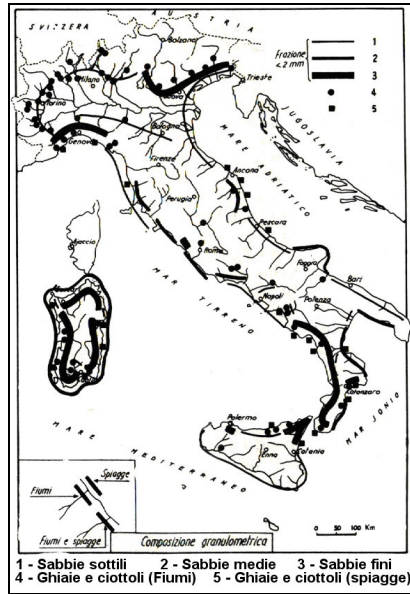


Figura 6.2. Granulometria dei litorali e fiumi italiani (Anselmi et al. 1978).

La figura 6.3 riporta una selezione di curve granulometriche di campioni di *battigia* prelevati nel medio Adriatico (Marche ed Abruzzo). Per tutte le curve la classe modale rientra nel campo della sabbia fine. Altrettanto caratteristica è la frequente scomposizione in due spezzate della coda grossolana come indicato in Visher (1969).

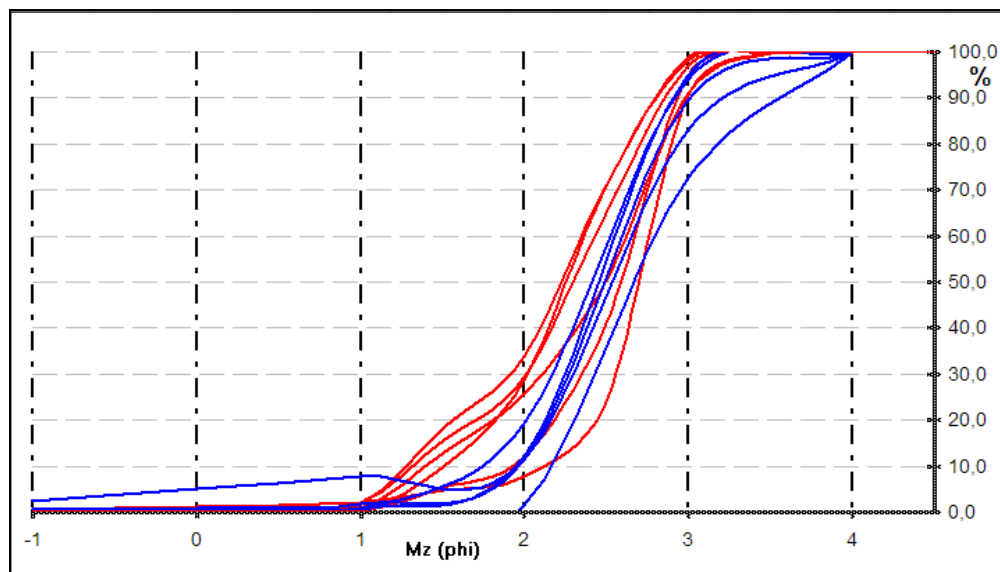


Figura 6.3. Curve granulometriche cumulative di campioni di *battigia*. In rosso i campioni abruzzesi, in blu i campioni delle Marche

Il “fuso” granulometrico di un numero selezionato di campioni dunali è illustrato in figura 6.4. Le curve granulometriche, pur mostrando una identica e particolarmente alta selezione, mostrano un D50 molto vario. Le granulometrie più fini sono proprie dei sistemi della Puglia meridionale, quelle intermedie sono caratteristiche dell’Adriatico centro-settentrionale, mentre i campioni dunali della Sardegna hanno la mediana nel campo della sabbia media ($1 < \phi < 2$).

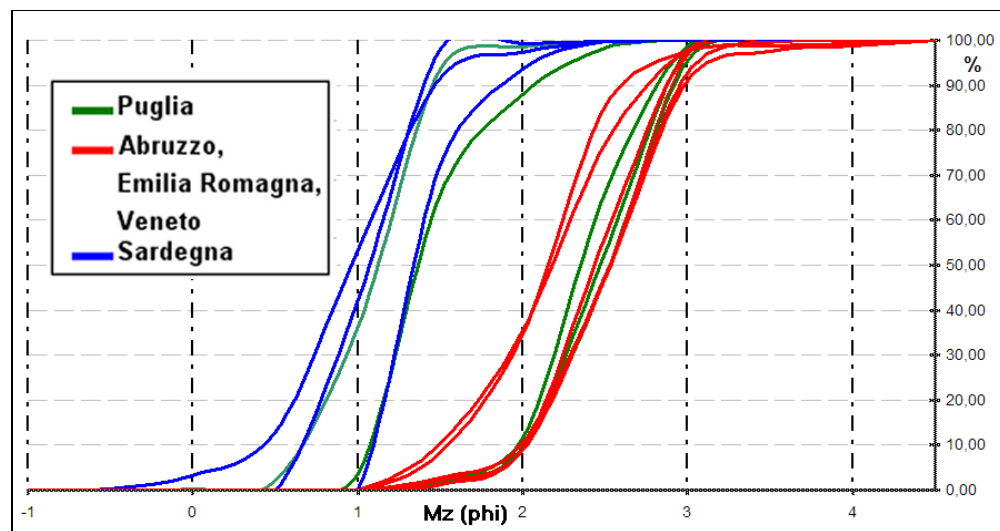


Figura 6.4. Curve granulometriche cumulative di campioni selezionati di *duna*.

6.2 Dati petrografici vs. Celle Litorali

Come discusso nel Capitolo 2, le Celle litorali rappresentano tratti costieri “chiusi” in termini di trasporto sedimentario *longshore*. Ciò significa che la frazione sabbiosa del sedimento di una Cella Litorale non dovrebbe potersi trasferire nelle Celle immediatamente contigue. La capacità del drift costiero, di superare parzialmente l’ostacolo caratterizzato dal *Limite del drift costiero*, (Cap. 2) sarà funzione dell’efficacia di tale barriera, che è in relazione con la profondità alla quale il limite si spinge. Se quindi le celle rappresentano sistemi chiusi con un proprio bilancio sedimentario, è plausibile considerare che la composizione petrografica della sabbia di una Cella Litorale

sia omogenea. Questo fatto, però, può essere approssimativamente ammissibile, esclusivamente su Celle litorali di estensioni relativamente piccole. Celle litorali molto grandi, infatti, comportano la concreta possibilità di avere più bacini idrografici con diverse litologie; gli apporti dei corsi d'acqua alla costa, possono così creare all'interno di una Cella Litorale, distinte Province Petrografiche sedimentarie costiere.

Le 187 Celle litorali individuate in questo studio hanno un'estensione media pari a 22,0 km (dev. st.: 22.9). La distribuzione della frequenza della loro lunghezza indica, però, che circa l'80% delle Celle, ha lunghezza inferiore ai 30 km (Cap. 2). L'alto valore della deviazione standard è causato dalla presenza di tre Celle litorali molto grandi: le prime due si trovano nel delta del fiume Po, con estensioni di circa 121 e 110 km; la terza, di circa 116 km, nella costa ionica della Calabria, tra Reggio Calabria e Roccella Ionica.

Le trenta Province Petrografiche sedimentarie hanno una lunghezza media pari a 33,2 km (Dev. St.: 16,0). E' quindi evidente una compatibilità dimensionale tra Province Petrografiche sedimentarie costiere e Celle Litorali.

Questa compatibilità spaziale permette di assegnare alle Celle Litorali i termini classificativi composizionali adottati (Cap. 4) e di unificare i dati provenienti da questo studio con quelli bibliografici (dataset delle Province Petrografiche sedimentarie costiere). Per i dati di questo studio, si sono considerate le composizioni degli ambienti deposizionali *spiaggia emersa e/o battigia* e, soltanto nella mancanza di questi, si è esaminato il campione dunale.

Questa operazione, nella tecnologia dei Sistemi Informativi Geografici (GIS), prende il nome di "overlay" degli strati informativi (layer) attraverso le informazioni in essi contenute (attributi).

L'operazione di *overlay* ha messo in luce una serie di casi che si possono riassumere in due categorie:

- 1) nei tratti caratterizzati in base al campionamento fatto in questo studio può capitare che siano disponibili più dati petrografici (campioni) all'interno della stessa Cella Litorale;
- 2) nei tratti caratterizzati in base ai dati di letteratura può succedere che all'interno della stessa Cella Litorale siano presenti più Province Petrografiche sedimentarie;

Il secondo caso, ovvero più Province Petrografiche sedimentarie all'interno della stessa Cella Litorale, ancorché verificatosi poche volte, non presenta complicazioni ai fini della presente ricerca in quanto la distribuzione del dato petrografico lungoriva (Provincia Petrografica) costituisce di per se il dato desiderato e come tale è stato acquisito al database.

Anche nelle situazioni ascrivibili al primo caso, è stato possibile procedere senza complicazioni. Infatti, le Celle Litorali con più di un campione (dato composizionale) al loro interno si sono rivelate composizionalmente omogenee, per cui è stato possibile assegnare lo stesso tipo classificativo della composizione petrografia all'intera cella litorale.

La figura 6.5 mostra la Cella Litorale nell'Adriatico centrale compresa tra Pescara e Giulianova che presenta il più alto numero di campioni al suo interno. In questa cella sono stati raccolti otto campioni, cinque di *battigia*, uno di *spiaggia emersa* e due *dunali*. Per tutti questi campioni, il termine classificativo della *Composizione QFL* è *Litica*, mentre per la *Composizione dei grani prevalenti* è *Calcilitoclastica*.

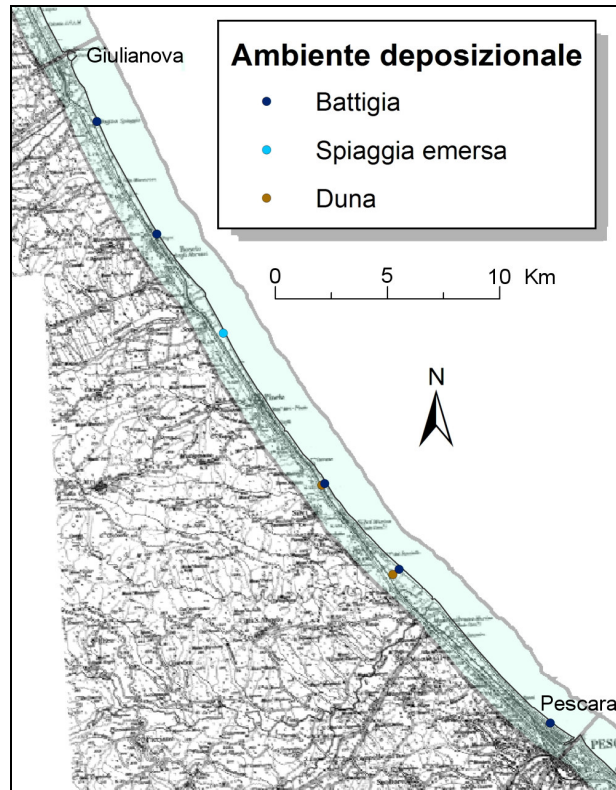


Figura 6.5. Cella Litorale, compresa tra Pescara e Giulianova, con otto dati composizionali al suo interno

Nei restanti otto casi di Celle litorali con più campioni al loro interno, in sei si è riscontrata omogeneità composizionale dei campioni, e quindi una situazione identica a quella appena descritta. Le restanti due celle hanno entrambe al loro interno cinque dati composizionali di cui solo uno si discosta dal tipo classificativo degli altri quattro. Per semplicità, in questi due casi il singolo dato composizionale non omogeneo è stato ignorato.

Riassumendo, l'operazione di "overlay" tra la composizione petrografica dei campioni di questo studio e le Celle Litorali (che ha permesso di estendere all'intera cella il tipo composizionale del campione/i analizzato/i) integrata con i dati bibliografici sulle Province Petrografiche ha consentito di ricavare il quadro nazionale della figura 6.6. La figura 6.7, invece, presenta l'analogo risultato per la *Composizione dei grani prevalenti*.

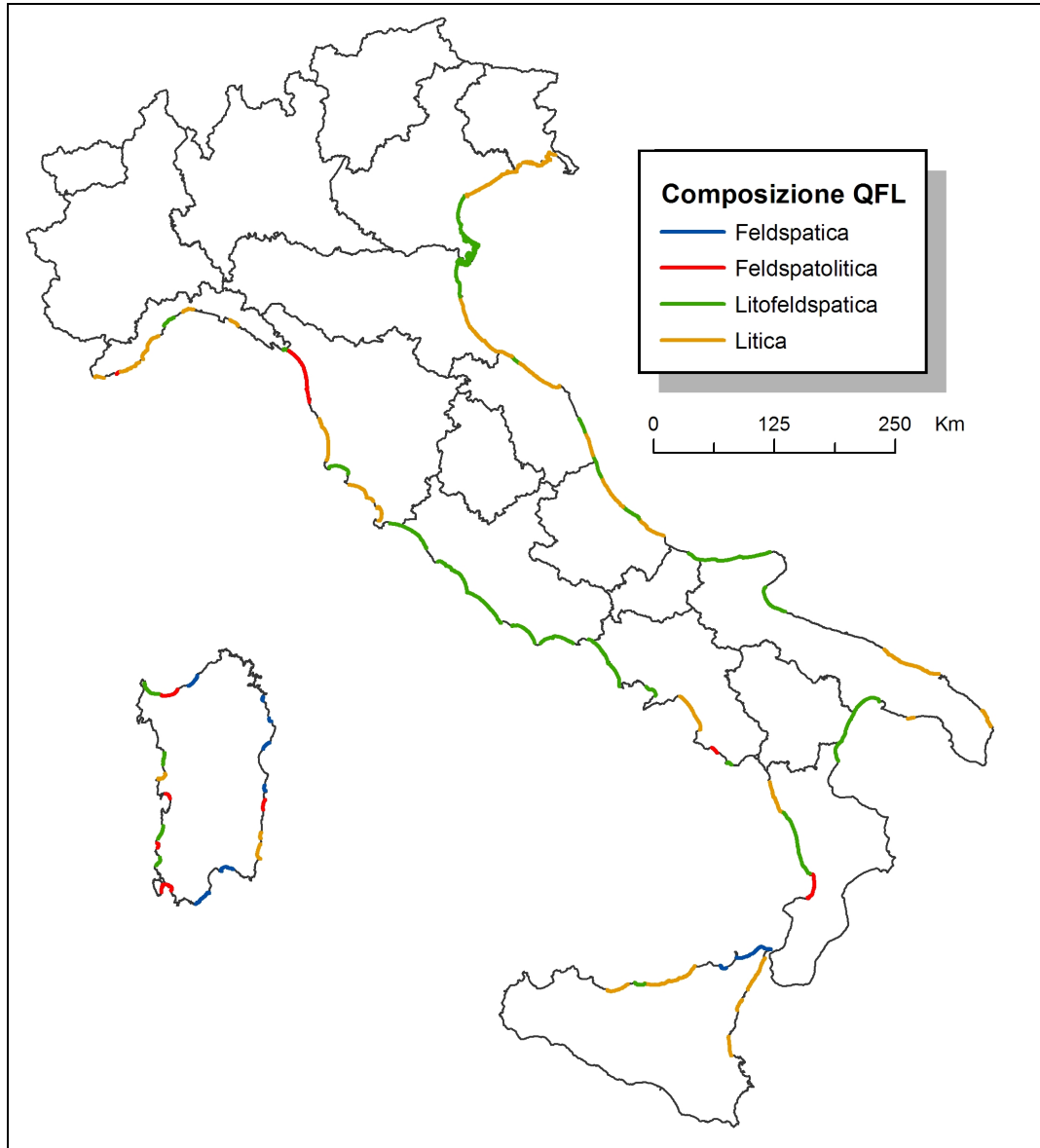


Figura 6.6. Distribuzione geografica dei tipi composizionali (Moda QFL) a seguito della “spalmatura” dei dati analitici sulle Celle litorali.

La lunghezza totale delle Celle Litorali è pari a 4117,1 km, mentre la lunghezza totale dei tratti costieri con composizione petrografica nota è pari a 2413,1 km, il 58% circa del totale della lunghezza delle Celle Litorali. I tratti di litorale con composizione nota hanno una lunghezza media pari a 24,1 km (dev. st. 20,8).

La lunghezza totale delle sabbie costiere con informazioni petrografiche, corrisponde al 12,6 % delle coste alte, al 59,0 % delle coste basse ed al 31,3 % del totale delle coste naturali (Cap. 1).

I tratti costieri con sabbie nella classe *Feldspatica* nella *Composizione QFL* sono 10 e sono confinati nella Sardegna ed in Sicilia orientale.

I tratti costieri con sabbie nella classe *Feldspatolitica* sono 11 e si ritrovano sempre in Sardegna, nella costa settentrionale della Toscana, nella Liguria occidentale, in Campania e nella costa tirrenica della Calabria. Le classi *Feldspatica* e *Feldspatolitica* della *Composizione QFL* hanno sempre la classe *Quarzofeldspatici* per la *Composizione dei grani prevalenti*.

Le sabbie costiere nella classe *Litofeldspatica* sono particolarmente concentrate lungo tutta la costa laziale ed il delta padano.

Le sabbie costiere nella classe *Litica* comprendono tutta la costa dell'Adriatico settentrionale, escludendo il delta del Po, ampi tratti della costa marchigiana ed abruzzese, la Puglia, la Sicilia orientale, la Liguria occidentale e la Toscana meridionale.

Per la distribuzione della *Composizione dei grani prevalenti* (fig. 6.7), i grani *quarzofeldspatici* ricalcano la distribuzione delle prime due classi della *Composizione QFL*, ma si ritrovano anche associati alle altre due classi della *Composizione QFL*.

Per le altre classi della *Composizione dei grani prevalenti*, i termini metamorfici, vulcanici e *silicoclastici* sono pochi. Il gruppo dei *Litici misti*, invece, è più frequente; le sue sabbie sono concentrate nelle coste laziali, in Toscana e nel Golfo di Taranto. La classe più frequente risulta quella dei *calcilitoclasti*. Queste sabbie si ritrovano essenzialmente nell'Adriatico e nelle coste del Tirreno meridionale.

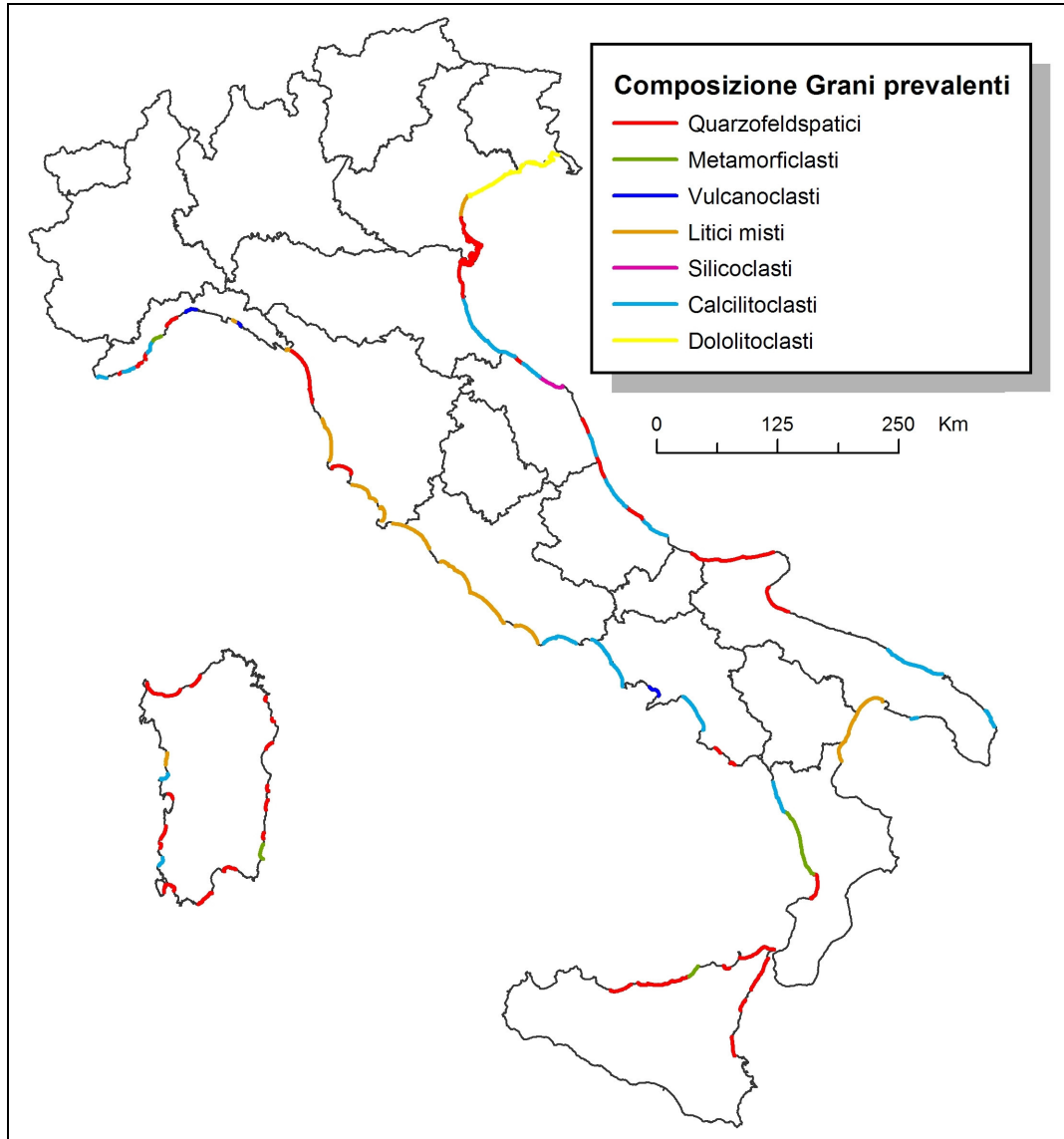


Figura 6.7. Distribuzione geografica dei tipi composizionali (*Composizione dei grani prevalenti*) a seguito della “spalmatura” dei dati analitici sulle Celle Litorali.

La figura 6.8 mostra il totale della lunghezza in km per i singoli tipi classificativi della *Composizione QFL*. Il tipo *Litico* e *Litofeldspatico* sono prevalenti estendendosi insieme per circa 2100 km.

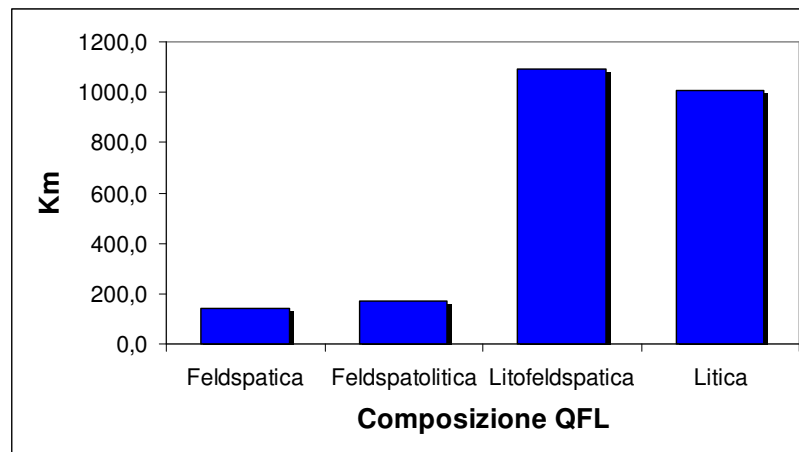


Figura 6.8. Incidenza dei tipi composizionali della moda *QFL* nelle sabbie costiere italiane.

Analogamente, il grafico della figura 6.9 mostra l'estensione dei tipi composizionali definiti in termini di Composizione dei grani prevalenti. In questo caso, il tipo *quarzofeldspatico* è dominante con 762 km di lunghezza, seguito dal tipo *litico misto* e *calcilitoclastico*, rispettivamente estesi 703 e 642 km.

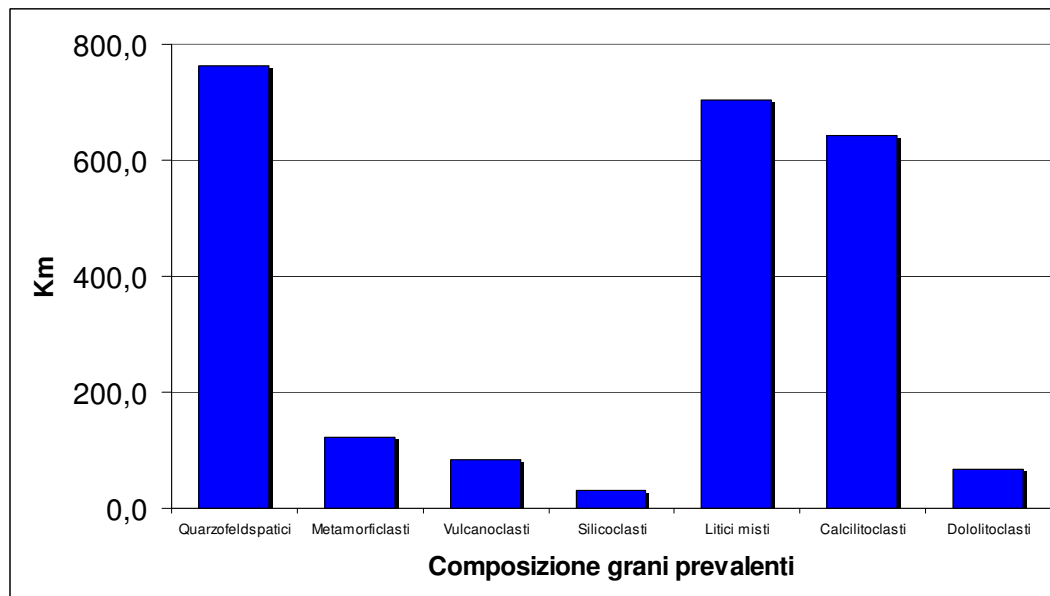


Figura 6.9. Incidenza dei tipi petrografici della *Composizione dei grani prevalenti* nelle sabbie costiere italiane.

6.3 Opere citate

ANSELMI B., BRONDI A., FALCHI G., FERRETTI O., 1978. *Lineamenti granulometrici e mineralogici generali dei sedimenti fluviali e costieri del territorio italiano*. Mem. Soc. Geol.It., 19: 307-314.

VISHER G.S., 1969. *Grain Size Distributions and Depositional Processes*. J. Sed. Petrology, 39, 1074-1106.

WENTWORTH C. K., 1922. *A scale of grade and class terms for clastic sediments*. J. Geol. V. 30: 377-392.

7 - CONCLUSIONI

Questa ricerca si sviluppa a partire dall'identificazione alla grande scala delle Unità Costiere definite in base all'analisi del trasporto sottocosta per poi procedere alla caratterizzazione composizionale e granulometrica delle sabbie costiere d'Italia. Dall'aggiornamento di un precedente geodatabase di Sede in scala 1:100.000 sulle unità morfo-sedimentologiche delle coste italiane, è stato verificato uno sviluppo totale delle coste d'Italia pari a 8.130,2 km.

La caratterizzazione fisica riferita al drift litorale si basa sulla precisa definizione di Unità Costiere chiave, spazialmente distinte, denominate Unità Fisiografiche, Province Petrografiche e Celle Litorali. Il geodatabase delle Celle Litorali è un prodotto originale di questo studio e si sviluppa a partire da un aggiornamento del dataset delle Unità Fisiografiche, relativo a studi pregressi svolti in Sede. Sulla base delle limitazioni dimensionali imposte e delle scelte convenzionali fatte per identificare i limiti al Drift Costiero sono stati qui riconosciuti 187 tratti costieri a bilancio autarchico (Celle Litorali) con estensione superiore ai 5 km.

Più precisamente, per ciascuna Cella Litorale sono state registrate diverse informazioni quali la lunghezza, il verso del Drift Costiero, il carattere "naturale" o "artificiale" dei Limiti del Drift Costiero, ecc. La lunghezza totale delle Celle Litorali individuate è pari a 4117,1 km, valore che corrisponde a circa il 50% della lunghezza totale delle coste italiane (scala nominale: 1:100.000) ed al 93% circa della lunghezza totale delle *Coste Basse*.

Il secondo stadio della ricerca, teso alla creazione di una banca dati georeferenziata delle proprietà composizionali e tessiturali delle sabbie *native* delle coste d'Italia, è fondato su due corpi di dati. Il primo deriva dall'omogeneizzazione delle analisi di letteratura sulle Province Petrografiche Sedimentarie costiere. Il secondo

scaturisce dalla necessità di completare la copertura geografica dei dati con il prelievo di 137 campioni costieri. Questo secondo campo di lavoro risponde ad una strategia di ricerca che prevede: prelievo di campioni in precisi e distinti ambienti sedimentari di spiaggia (es. battigia, duna), rilevazione del colore della sabbia, integrazione del dato granulometrico e petrografico, analisi petrografica di frazioni granulometriche normalizzate (250-500 micron).

Per quanto attiene la granulometria delle sabbie costiere, a causa del limitato numero di campioni analizzati, i risultati di questo studio sono di prima approssimazione. Le sabbie native di battigia e di duna esibiscono “fusi granulometrici” ben distinti in termini di selezione e rispondenti ai canoni di letteratura. Il D50 dei campioni di duna tuttavia non è inferiore in assoluto a quello dei campioni di battigia. Il paragone di campioni di duna prelevati nelle spiagge sarde, pugliesi, dell’Adriatico centrale e settentrionale dimostra che il principale fattore di controllo è rappresentato dal regime meteo-marino locale. In altre parole, il D50 dei campioni dunari della Sardegna può essere spiccatamente più alto (vicino a 1 phi) dei campioni di battigia delle spiagge marchigiano-abruzzesi (intorno ai 2.5 phi).

La rappresentazione della composizione mineralogico-petrografica delle sabbie ha anche previsto l’informatizzazione dei dati della letteratura chiave con la formalizzazione di trenta Province Petrografiche di lunghezza media pari a 33,2 km (Dev. St. 16,0). Il totale delle coste sottese è risultato pari a 997,2 km con prevalenza del tipo *Litofeldspatico* a livello di *Composizione modale QFL* e del tipo a *Litici Misti* a livello della *Composizione modale dei grani prevalenti*.

La composizione mineralogico-petrografica dei campioni qui studiati su preparati in sezione sottile è risultata molto varia; a livello della *Composizione modale dei grani prevalenti* i campioni si distribuiscono in sette categorie composizionali. Discriminando in base all’ambiente deposizionale (e relativi specifici processi) è stato possibile

quantificare le modifiche composizionali causate dalla perdurante abrasione ad opera degli agenti eolici in ambiente costiero. Il confronto di coppie di campioni di battigia e duna, prelevati sulla stessa traversa costiera, ha mostrato che i campioni di duna sono arricchiti nella componente mineralogicamente stabile (grani quarzosi) per valori nell'intervallo 6-10%.

Dall'overlay fra gli shapefile delle Celle Litorali e del totale dei dati composizionali (Province Petrografiche e dati petrografici qui prodotti) è risultato possibile attribuire una specifica composizione petrografia ad un totale di 2413,1 km di coste. Tale estensione corrisponde al 12,6 % del totale delle coste alte ed al 59,0 % del totale delle coste basse. Si è così ottenuta una quantificazione delle Unità Costiere occupate dai singoli tipi petrografici a livello della *Composizione modale QFL* e della *Composizione modale dei grani prevalenti*.

Le nuove conoscenze qui presentate sulla struttura fisica dei litorali e sulla natura delle sabbie che li costituiscono potranno risultare utili per futuri studi di carattere applicativo quali, ad esempio, il “fuso granulometrico” di battigia e di duna ed il tipo composizionale di riferimento per gli interventi di ripascimento artificiale.

APPENDICE 1

CELLE LITORALI

Note : _____

Codice: codice identificativo;

Regione: Regione amministrativa a cui appartiene la Cella Litorale;

Località: principale località sottesa dalla Cella Litorale;

Tipologia: artificiale o naturale;

Verso drift: verso geografico del drift costiero all'interno della Cella Litorale. Variabile = coesistenza di più drift di verso opposto. (a) = apparente, verso del drift tratto da osservazioni su ortofotocarte;

N° app. fluv.: numero dei apporti fluviali significativi all'interno della Cella Litorale;

Fiume principale: nome del principale fiume all'interno della Cella Litorale;

Lungh. (km): lunghezza, espressa in km, della Cella Litorale (scala nominale 1:100.000).

Appendice 1. Celle litorali

Codice	Regione	Località	Tipologia	Verso drift	N° app. fluv.	Fiume principale	Lungh. (km)
1	Liguria	Piani di Vallecrosia	artificiale	E	2	Torrenti Roia e Nervia	10,7
2	Liguria	Ospedaletti	artificiale	E	0		10,7
3	Liguria	Arma di Taggia	artificiale	E(a)	1	Forra di Taggia	5,1
4	Liguria	S.Lorenzo al Mare	artificiale		0		13,4
5	Liguria	Diano Marina	artificiale		0		9,7
6	Liguria	Alassio	artificiale	N(a)	0		8,6
7	Liguria	Albenga	artificiale	N(a)	1	Fiume Cento	15,2
8	Liguria	Pietra Ligure	artificiale	NE(a)	1	Maremolli e adiacenti	10,6
9	Liguria	Savona	artificiale	NE(a)	1	Torrente Letimbro	7,3
10	Liguria	Albissola	artificiale		1		7,5
11	Liguria	Varazze	artificiale	NE(a)	2	Torrente Teiro	12,7
12	Liguria	Voltri	artificiale	E(a)	0		12,9
13	Liguria	Chiavari	artificiale		0		3,6
14	Liguria	Lavagna	artificiale	SE(a)	2	Fiume Entella	7,3
15	Toscana	Marina di Carrara	artificiale	SE(a)	1	Magra	6,9
16	Toscana	Forte dei Marmi	artificiale	variabile	2	Camaiore e adiacenti	25,3
17	Toscana	Massaciuccoli	artificiale	NO	1	Fiumi Arno e Serchio	21,2
18	Toscana	Tirrenia	artificiale	S	1	Fosso Reale e adiacenti	15,3
19	Toscana	Marina di Cecina	artificiale	S	1		47,6
20	Toscana	Follonica	naturale	variabile	1	Pecora	27,2
21	Toscana	Punta Ala	naturale	N(a)	1	Fosso Alma	8,0
22	Toscana	Marina di Grosseto	naturale	variabile	2	Ombrone	35,2
23	Toscana	Albinia	naturale	S	1	Albegna	20,5
24	Toscana	Orbetello	naturale		0		10,0
25	Lazio	Montalto di Castro	naturale	variabile	4	Fiora	50,6
26	Lazio	Ladispoli	artificiale	variabile	3	Arrone	46,4
27	Lazio	Fiumicino	artificiale	N	0		3,6

Appendice 1. Celle litorali

Codice	Regione	Località	Tipologia	Verso drift	N° app. fluv.	Fiume principale	Lungh. (km)
28	Lazio	Lido Castel Fusano	artificiale	SE(a)	2	Torto	49,7
29	Lazio	Anzio	artificiale	O(a)	0		2,6
30	Lazio	Le Grottacce	artificiale	SE	1	diversi senza nome	10,8
31	Lazio	Sabaudia	naturale	SE	2	Moscattello	33,0
32	Lazio	Terracina	artificiale	E	3	Sisto	15,1
33	Lazio	Sperlonga	artificiale	E	0		16,9
34	Lazio	Torre Capoverde	artificiale	SE	0		8,4
35	Lazio	Porto Salvo	artificiale	NE	0		7,3
36	Lazio	Formia	artificiale	E	0		7,2
37	Campania	Mondragone	artificiale	S	3	Volturno	41,7
38	Campania	Cuma	artificiale	S	0		21,1
39	Campania	Torre del Greco	artificiale		0		8,0
40	Campania	Torre Annunziata	artificiale	S(a)	1	Sarno	7,5
41	Campania	Salerno	naturale	S	3	Sele	43,9
42	Campania	Castellabate	naturale	S	0		7,7
43	Campania	Agnone	artificiale	S	0		6,1
44	Campania	Castellammare di Stabia	naturale	S	0		8,1
45	Campania	Palinuro	artificiale	S	0		11,3
46	Campania		naturale	S	2	Mingardo	6,7
47	Campania	Scario	artificiale	E	0		3,6
48	Campania	Sapri	artificiale	E	3	Bussento	11,6
49	Calabria	Praia a Mare	naturale	S	1	Noce	12,4
50	Calabria	Scalea	artificiale	S	1	Lao	17,0
51	Calabria	Belvedere Marittimo	artificiale	S	1	Sanginetto	21,1
52	Calabria	Paola	naturale	S	1	Cetraro	44,4
53	Calabria	S.Eufemia Lamezia	artificiale	S	2	Savuto Grande	60,6
54	Calabria	Gioia Tauro	artificiale	S	1	Mesima	16,2

Appendice 1. Celle litorali

Codice	Regione	Località	Tipologia	Verso drift	N° app. fluv.	Fiume principale	Lungh. (km)
55	Calabria	Taureana	artificiale	N	1	Perace	5,1
56	Calabria	Villa S.Giovanni	artificiale	N(a)	1	Catona e adiacenti	12,2
57	Calabria	Bova Marina	artificiale	variabile	5	Oliveto	116,9
58	Calabria	Soverato	artificiale	N	3	Allaro	59,5
59	Calabria	Catanzaro Lido	artificiale	N	2		9,9
60	Calabria	Botricello	artificiale	SO	4	Alli	39,4
61	Calabria	Le Castella	artificiale	O	0		10,1
62	Calabria	Isola di Capo Rizzuto	naturale	N	0		21,5
63	Calabria	Crotone	artificiale	S	2	Lipuda	35,3
64	Calabria	Saverona	artificiale	N	0		4,0
65	Calabria	Torretta	artificiale	SE	1	Nica	22,5
66	Calabria	Cariati	artificiale	SE	3	Trionto	22,6
67	Calabria	Marina Schiavonia	artificiale	O	3	Trionto	22,3
68	Calabria	Marina di Amendolara	artificiale	N	5	Satanasso	38,8
69	Basilicata, Puglia	Taranto	artificiale	N	5	Sinni	93,5
70	Puglia	Masseria Conche	naturale	O	0		11,5
71	Puglia	Campomarino	artificiale	E	0		6,9
72	Puglia	San Pietro	artificiale	variabile	0		13,7
73	Puglia	Rivabella	naturale	variabile	0		9,1
74	Puglia	Gallipoli	artificiale	S	0		11,4
75	Puglia	Rottacapozza	artificiale	variabile	0		7,0
76	Puglia	Leuca	naturale	SE	0		19,3
77	Puglia	Otranto	artificiale	variabile	0		26,6
78	Puglia	S. Cataldo	artificiale	S	1	Raffocallo	57,5
79	Puglia	Monopoli	artificiale	SE	0		88,4
80	Puglia	Mola di Bari	artificiale		0		17,7
81	Puglia	San Giorgio	artificiale	SE	0		24,9

Appendice 1. Celle litorali

Codice	Regione	Località	Tipologia	Verso drift	N° app. fluv.	Fiume principale	Lungh. (km)
82	Puglia	Bari	artificiale	SE	0		21,2
83	Puglia	Molfetta	artificiale	SE	0		8,9
84	Puglia	Lo Staglio	artificiale	SE	0		10,7
85	Puglia	Trani	artificiale	SE	0		11,3
86	Puglia	Falce del Viaggio	artificiale	NO(a)	0		11,9
87	Puglia	Margherita di Savoia	artificiale	NO	1	Ofanto	7,7
88	Puglia	Barletta	artificiale	SE	1	Ofanto	9,2
89	Puglia	Zapponeta	artificiale	N	3	Cervaro Bis	39,0
90	Puglia	Manfredonia	artificiale	S	0		15,6
91	Puglia	Mattinata	naturale	S	1		13,5
92	Puglia	Vieste	artificiale	S	0		7,4
93	Puglia	Peschici	artificiale	SE	1		24,3
94	Puglia	Lesina	artificiale	variabile	1		91,6
95	Molise	Termoli	artificiale	N	1	Trigno e adiacenti	37,5
96	Abruzzo	Casalbordino	artificiale	NO	2	Osentò	34,6
97	Abruzzo	Francavilla al Mare	artificiale	NO	1	Foro e adiacenti	22,2
98	Abruzzo	Roseto degli Abruzzi	artificiale	N	3	Saline	40,2
99	Abruzzo	San Benedetto del Tronto	artificiale	variabile	3	Salinello	24,4
100	Marche	Grottammare	artificiale	variabile	4	Aso	26,7
101	Marche	Porto Sant'Elpidio	artificiale	variabile	2	Tenna	15,5
102	Marche	Porto Recanati	artificiale	N	2		25,6
103	Marche	Ancona	artificiale	NO	1	Esino	31,3
104	Marche	Fano	artificiale	NO	3	Misa	23,9
105	Marche	Pesaro	artificiale	NO	0		10,7
106	Marche, Emilia-Romagna	Cattolica	artificiale	NO	4	Foglia	35,3
107	Emilia-Romagna	Bellaria	artificiale	NO	2	Uso	22,4
108	Emilia-Romagna	Ravenna	artificiale	N	3	Fiumi Uniti	33,5

Appendice 1. Celle litorali

Codice	Regione	Località	Tipologia	Verso drift	N° app. fluv.	Fiume principale	Lungh. (km)
109	Emilia-Romagna	Lido Spina	artificiale	N	2	Reno	22,2
110	Emilia-Romagna, Veneto	Goro	artificiale	variabile	1	Po	121,2
111	Veneto	Chioggia	artificiale	N	1	Po	110,8
112	Veneto	Pellestrina	artificiale	variabile	0		11,6
113	Veneto	Venezia	artificiale	variabile	0		13,0
114	Veneto, Friuli Venezia Giulia	Lignano Sabbiadoro	artificiale	variabile	1	Tagliamento	182,6
115	Sicilia	San Saba	naturale	E	0		25,6
116	Sicilia	Milazzo	artificiale	E(a)	1	Niceto	15,6
117	Sicilia	Terme Vigliatore	artificiale	NE	2	Patti	16,3
118	Sicilia	Falcone	artificiale	E(a)	0		13,9
119	Sicilia	Gioiosa Marea	naturale	E(a)	1	Sinagra	17,4
120	Sicilia	S.Agata di Militello	artificiale	NE	2	Rosmarino	15,2
121	Sicilia	Marina di Caronia	artificiale	E	4	Tusa	46,9
122	Sicilia	Cefalù	naturale	E(a)	0		12,6
123	Sicilia	Termini Imerese	artificiale		2	Imera O Grande	24,6
124	Sicilia	Trabia	artificiale		1	San Leonardo	9,0
125	Sicilia	Altavilla	artificiale	E	1	Milicia	11,4
126	Sicilia	Palermo	naturale		2	Eleutero	14,1
127	Sicilia	Milioti	naturale		0		10,6
128	Sicilia	Trappeto	artificiale		2	Iato	8,2
129	Sicilia	Castellammare del Golfo	artificiale		1	Sirignano	11,4
130	Sicilia	Marsala	artificiale	N	1	Marcanzotta	40,2
131	Sicilia	Petrosino	artificiale	N	0		25,9
132	Sicilia	Mazara del Vallo	artificiale	O	2	Arena	36,5
133	Sicilia	Porto Palo	artificiale	NO	1	Carboy	15,0
134	Sicilia	Sciacca	artificiale	SE	3	Verdura e adiacenti	54,0
135	Sicilia	Porto Empedocle	artificiale	S	0		6,2

Appendice 1. Celle litorali

Codice	Regione	Località	Tipologia	Verso drift	N° app. fluv.	Fiume principale	Lungh. (km)
136	Sicilia	Palma di Montechiaro	artificiale	SE	2	Palma	23,2
137	Sicilia	Grascuria	artificiale	SE	0		20,0
138	Sicilia	Licata	artificiale	E	2	Comunelli	29,6
139	Sicilia	Gela	artificiale	S	2	Acate o Dirillo	27,4
140	Sicilia	Scoglitti	artificiale	S	1	Ippari	15,4
141	Sicilia	Casuzze	artificiale	E	0		5,5
142	Sicilia	Marina di Ragusa	artificiale	E	1	Irmino	10,3
143	Sicilia	Sampieri	artificiale	E	0		22,6
144	Sicilia	Pozzallo	artificiale	O(a)	0		38,1
145	Sicilia	Marzamemi	artificiale	N	1	Saia Baroni	12,8
146	Sicilia	Avola	naturale	N	2	Asinaro	19,1
147	Sicilia	Catania	artificiale	N	2	Simeto	21,8
148	Sicilia	Carruba	artificiale	S	0		8,6
149	Sicilia	Giardini Naxos	artificiale	S	1	S.Paolo	12,6
150	Sicilia	Letoianni	naturale	N	0		8,1
151	Sicilia	Messina	artificiale	N	2		38,3
152	Sardegna	Badesi	naturale	S	1	Coghinas	16,5
153	Sardegna	Platamona Lido	naturale	E	1	Silis	21,6
154	Sardegna	Porto Torres	artificiale		1	Mannu	25,9
155	Sardegna	Stintino	naturale		0		11,9
156	Sardegna	Tramariglio	naturale		1		14,3
157	Sardegna	Alghero	naturale		0		13,2
158	Sardegna	Bosa Marina	artificiale	N	1	Mannu	15,2
159	Sardegna	S'Archittu	naturale		0		14,3
160	Sardegna	Mari Ermi	naturale		0		8,5
161	Sardegna	San Giovanni di Sinis	naturale	S(a)	0		8,4
162	Sardegna	Marina di Torre Grande	artificiale	NO	1	Tirso	9,0

Appendice 1. Celle litorali

Codice	Regione	Località	Tipologia	Verso drift	N° app. fluv.	Fiume principale	Lungh. (km)
163	Sardegna	Stagno di Mistras	artificiale	NE	0		7,1
164	Sardegna	S'Ungroni	artificiale	S	0		33,2
165	Sardegna	Marina di Arbus	naturale	S	0		16,6
166	Sardegna	Portixeddu	naturale	S	1	Mannu	7,1
167	Sardegna	Porto Paglia	naturale	S	1	Perdaias	11,6
168	Sardegna	Portoscuso	naturale	S	0		26,1
169	Sardegna	Porto Botte	naturale	O	0		28,1
170	Sardegna	Porto Pino	naturale	S	0		8,4
171	Sardegna	Is Morus	naturale	SO	1	Mannu	24,1
172	Sardegna	Cagliari	naturale	NE	1	Santa Lucia	23,5
173	Sardegna	Quartu S. Elena	naturale	E	1	Tanca	17,1
174	Sardegna	Monte Nai	naturale	S	0		17,7
175	Sardegna	Muravera	naturale	S	3	Flumendosa	20,1
176	Sardegna	Quirra	naturale	S	1		7,3
177	Sardegna	Bari Sardo	naturale	N	1	Mannu e adiacenti	11,3
178	Sardegna	Punta Niedda	naturale	N	1	Foddeddu	10,5
179	Sardegna	Girasole	artificiale	N	2	Molentina Pramaera	7,4
180	Sardegna	Orosei	naturale		1	Sologo	10,0
181	Sardegna	Cala Ginepro	naturale		0		6,8
182	Sardegna		naturale		1	Berchida	7,2
183	Sardegna	La Caletta	artificiale	S	1	Siniscola	5,2
184	Sardegna	Posada	artificiale	S	1		10,5
185	Sardegna	Budoni	naturale	S(a)	0		8,6
186	Sardegna	San Teodoro	artificiale	S	0		5,2
187	Sardegna	La Cinta	artificiale	S	0		5,4

TOT. (Km) 4117,1

APPENDICE 2

ANALISI PETROGRAFICHE

Note

- *Codice*: 1=Liguria, 2=Toscana, 3=Lazio, 4=Campania, 5=Calabria, 6=Basilicata, 7=Puglia, 8=Molise, 9=Abruzzo, 10=Marche, 11=Emilia-Romagna, 12=Veneto, 13=Friuli Venezia Giulia, 14=Sardegna, 15=Sicilia; F: Battigia; B: Spiaggia emersa; D: Duna; R: Fiume N: ripascimento artificiale.
- *Data camp.*: data di campionamento.
- *Frazione (μm)*: frazione granulometrica utilizzata per l'analisi in sezione sottile.
- *Colonne Q, F, L + C*: valori riportati a 100. *Composizione modale QFL - Q*: Grani quarzosi monomineralici e polimineralici; *F*: Grani feldspatici; *L + C*: Litici sommati ai carbonati terrigeni.
- *Colonne Qt, Ft, Lm, Lv, Ls, Lc, M&P, Intr.*: valori riportati a 100 per la *Composizione modale dei grani prevalenti*. *M&P, Intr.* considerati grani accessori.
- *Cont.*: grani contati.

Appendice 2. Analisi Petrografiche.

Codice	Data camp.	Frazione (µm)	Q	F	L+C	Qt	Ft	Lm	Lv	Ls	Lc	M&P	Intr.	Cont.
1R1	04/04/2006	250 – 500	21,30	4,63	74,07	21,20	4,61	10,60	1,38	2,76	58,99	0,46	0,00	217
1B2	04/04/2006	250 – 500	33,96	7,55	58,49	32,88	7,31	2,28	0,46	6,39	47,49	0,46	2,74	219
1B3	04/04/2006	250 – 500	35,51	5,61	58,88	35,51	5,61	9,35	0,00	0,93	48,60	0,00	0,00	214
1R4	04/04/2006	250 – 500	31,28	11,85	56,87	31,28	11,85	7,11	5,21	8,06	36,49	0,00	0,00	211
1B5	04/04/2006	250 – 500	54,50	29,38	16,11	53,99	29,11	5,16	1,41	0,47	8,92	0,47	0,47	213
1N6	04/04/2006	250 – 500	58,49	18,87	22,64	58,49	18,87	3,30	0,94	5,19	13,21	0,00	0,00	212
1B7	04/04/2006	250 – 500	35,19	11,11	53,70	35,02	11,06	6,91	2,76	9,68	34,10	0,46	0,00	217
1B8	04/04/2006	250 – 500	42,79	10,45	46,77	41,95	10,24	3,41	0,00	3,41	39,02	1,95	0,00	205
1B9	04/04/2006	250 – 500	50,49	9,22	40,29	50,49	9,22	11,65	2,91	5,34	20,39	0,00	0,00	206
1R10	04/04/2006	250 – 500	20,28	6,60	73,11	20,00	6,51	43,72	1,40	0,93	26,05	1,40	0,00	215
1B11	04/04/2006	250 – 500	32,55	5,19	62,26	32,55	5,19	19,81	0,47	0,94	41,04	0,00	0,00	212
1N12	04/04/2006	250 – 500	44,08	4,74	51,18	43,66	4,69	22,07	0,47	0,00	28,17	0,47	0,47	213
1B13	30/01/2006	250 – 500	42,44	7,80	49,76	41,43	7,62	27,62	0,48	0,95	19,52	2,38	0,00	210
1B14	04/05/2006	250 – 500	12,44	38,31	49,25	11,16	34,38	10,27	16,52	4,02	13,39	8,04	2,23	224
1B15	04/05/2006	250 – 500	13,94	7,21	78,85	13,43	6,94	9,72	2,31	14,81	49,07	0,93	2,78	216
1R16	25/05/2006	125 – 250	45,11	10,33	44,57	38,25	8,76	31,34	0,00	1,84	4,61	15,21	0,00	217
1B17	25/05/2006	250 – 500	50,00	16,34	33,66	47,64	15,57	16,98	3,77	1,42	9,91	4,25	0,47	212
1B18	25/05/2006	250 – 500	38,07	28,44	33,49	37,05	27,68	10,27	9,38	0,00	12,95	2,23	0,45	224
1B19	25/05/2006	250 – 500	21,83	16,75	61,42	19,91	15,28	12,96	30,09	1,85	11,11	6,94	1,85	216
1R20	25/05/2006	250 – 500	13,30	0,99	85,71	12,80	0,95	18,48	3,79	3,79	56,40	3,79	0,00	211
1B21	25/05/2006	250 – 500	15,02	7,04	77,93	14,75	6,91	3,23	4,15	3,23	65,90	0,92	0,92	217
1B22	25/05/2006	250 – 500	22,86	12,86	64,29	22,43	12,62	17,29	19,16	6,54	20,09	1,40	0,47	214
1R23	25/05/2006	250 – 500	15,14	2,75	82,11	14,73	2,68	37,95	8,93	9,38	23,66	2,68	0,00	224
1B24	25/05/2006	250 – 500	14,98	16,43	68,60	14,69	16,11	8,53	34,12	10,90	13,74	0,95	0,95	211
1B25	25/05/2006	250 – 500	18,78	36,62	44,60	18,18	35,45	8,64	24,09	3,18	7,27	2,73	0,45	220
2F1	15/05/2002	250 – 500	39,46	20,07	40,48	38,03	19,34	12,13	2,95	11,15	12,79	3,28	0,33	305

Appendice 2. Analisi Petrografiche.

Codice	Data camp.	Frazione (µm)	Q	F	L+C	Qt	Ft	Lm	Lv	Ls	Lc	M&P	Intr.	Cont.
2F2	22/06/2006	125 - 250	47,42	27,70	24,88	46,54	27,19	8,76	0,92	2,76	11,98	1,84	0,00	217
2F3	22/06/2006	250 - 500	19,35	15,67	64,98	19,00	15,38	12,22	28,96	8,14	14,48	0,45	1,36	221
2F4	22/06/2006	250 - 500	48,60	23,83	27,57	46,64	22,87	6,73	1,79	5,83	12,11	1,35	2,69	223
4B1	01/06/1998	250 - 500	49,32	21,27	29,41	48,44	20,89	8,44	0,89	10,22	9,33	1,78	0,00	225
4D2	01/06/1998	250 - 500	51,39	22,22	26,39	50,68	21,92	7,31	0,00	7,76	10,96	0,91	0,46	219
4B3	06/04/2001	250 - 500	14,71	11,76	73,53	13,89	11,11	3,70	2,31	25,46	37,96	0,93	4,63	216
4B4	06/04/2001	250 - 500	18,65	8,81	72,54	16,07	7,59	4,46	1,34	6,70	50,00	11,61	2,23	224
4F5	15/07/2006	250 - 500	62,68	22,01	15,31	61,79	21,70	3,77	2,36	5,19	3,77	1,42	0,00	212
4D6	15/07/2006	250 - 500	56,74	20,93	22,33	54,95	20,27	10,36	1,80	5,86	3,60	3,15	0,00	222
4N7	20/08/2006	500 - 1000	17,45	37,26	45,28	17,29	36,92	0,00	44,39	0,47	0,00	0,47	0,47	214
7D1	01/09/2003	250 - 500	6,57	0,00	93,43	4,46	0,00	0,00	0,00	0,00	63,37	3,47	28,71	202
7B2	01/09/2003	250 - 500	1,80	0,00	98,20	0,94	0,00	0,00	0,00	0,00	51,17	0,94	46,95	213
7D3	01/09/2003	250 - 500	5,30	0,00	94,70	3,79	0,00	0,00	0,00	0,00	67,77	0,95	27,49	211
7F4	01/09/2003	250 - 500	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	67,94	1,44	30,62	209
7B5	01/09/2003	250 - 500	5,26	0,00	94,74	2,99	0,00	0,00	0,00	0,00	53,73	0,00	43,28	201
7D6	01/09/2003	250 - 500	19,54	7,47	72,99	16,43	6,28	0,48	0,97	0,00	59,90	0,48	15,46	207
7D7	01/09/2003	250 - 500	27,98	5,95	66,07	22,60	4,81	0,00	0,48	0,00	52,88	0,00	19,23	208
7D8	01/09/2003	250 - 500	16,67	0,54	82,80	14,16	0,46	0,00	0,46	0,00	69,86	0,00	15,07	219
7D9	15/09/2006	250 - 500	52,49	15,84	31,67	52,02	15,70	2,69	0,00	0,45	28,25	0,90	0,00	223
7D10	15/09/2006	250 - 500	49,49	10,20	40,31	43,50	8,97	3,14	0,00	0,90	31,39	10,76	1,35	223
7D11	15/09/2006	250 - 500	36,53	21,92	41,55	36,36	21,82	2,73	1,36	0,00	37,27	0,45	0,00	220
7D12	15/09/2006	250 - 500	45,29	24,22	30,49	44,89	24,00	2,22	0,00	0,44	27,56	0,00	0,89	225
7B13	16/09/2006	250 - 500	64,86	11,89	23,24	53,81	9,87	4,48	1,35	1,35	12,11	16,59	0,45	223
7D14	15/09/2006	250 - 500	57,21	13,95	28,84	54,91	13,39	6,36	1,83	4,13	15,43	0,38	3,57	224
8D1	15/09/2006	250 - 500	50,46	19,27	30,28	50,00	19,09	3,64	0,00	2,27	24,09	0,45	0,45	220
9F1	01/06/1999	250 - 500	58,40	18,40	23,20	54,00	17,00	4,00	0,50	0,50	16,50	3,50	4,00	200

Appendice 2. Analisi Petrografiche.

Codice	Data camp.	Frazione (µm)	Q	F	L+C	Qt	Ft	Lm	Lv	Ls	Lc	M&P	Intr.	Cont.
9F2	05/07/2000	250 - 500	39,00	15,00	46,00	36,80	14,20	1,90	0,50	0,00	41,04	0,84	4,71	212
9D3	05/07/2000	250 - 500	40,00	13,33	46,67	39,12	13,04	3,91	0,00	0,00	41,75	0,43	1,74	230
9F4	05/07/2000	250 - 500	33,00	15,31	51,69	31,93	14,81	4,64	0,00	0,00	45,37	1,86	1,39	216
9D5	05/07/2000	250 - 500	31,59	12,74	55,68	30,62	12,33	6,39	0,00	0,00	47,46	0,91	2,28	219
9B6	15/09/2006	250 - 500	32,32	4,27	63,41	29,78	3,93	3,93	1,69	0,00	52,81	0,00	7,87	178
9B7	15/09/2006	250 - 500	11,94	1,49	86,57	11,54	1,44	0,00	0,48	0,48	82,69	0,96	2,40	208
9F8	17/11/2006	250 - 500	40,48	15,71	43,81	39,35	15,28	7,41	0,46	1,39	33,33	0,00	2,78	216
9B9	27/06/2006	250 - 500	33,00	6,50	60,50	32,03	6,31	9,96	0,00	0,00	48,56	0,00	3,15	222
9F10	27/06/2006	250 - 500	38,80	11,70	49,50	35,70	10,70	4,50	0,40	0,00	40,66	0,00	8,04	224
9F11	27/06/2006	250 - 500	36,10	10,20	53,70	34,44	9,81	9,33	0,46	0,47	40,92	0,00	4,56	214
9F12	28/06/2006	250 - 500	33,80	11,27	54,93	32,29	10,76	5,38	0,00	0,45	46,64	0,00	4,48	223
9F13	28/06/2006	250 - 500	49,50	11,30	39,20	47,55	10,86	5,98	0,52	0,00	31,02	1,81	2,26	221
9D14	28/06/2006	250 - 500	37,20	18,60	44,20	35,62	17,78	7,12	0,91	0,00	34,22	0,00	4,34	225
9F15	17/07/2006	250 - 500	41,74	14,12	44,15	41,55	14,15	6,19	0,55	0,47	36,65	0,43	0,00	212
10B1	01/10/1998	250 - 500	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	2,93	0,00	89,27	0,00	7,80	205
10F2	08/08/2006	250 - 500	51,96	13,41	34,64	46,27	11,94	5,47	0,50	0,50	24,38	0,50	10,45	201
10F3	08/08/2006	250 - 500	38,12	7,92	53,96	34,68	7,21	9,01	0,00	11,26	28,83	0,90	8,11	222
10F4	08/08/2006	250 - 500	27,61	7,46	64,93	16,74	4,52	5,88	0,45	15,38	17,65	0,00	39,37	221
10F5	08/08/2006	250 - 500	37,57	9,52	52,91	33,18	8,41	0,00	0,00	31,78	14,95	0,00	11,68	214
10F6	28/06/2006	250 - 500	40,90	19,20	39,90	38,90	18,26	9,14	0,00	0,00	28,77	1,28	3,65	219
10F7	28/06/2006	250 - 500	40,38	9,62	50,00	37,72	8,98	5,39	0,60	5,39	35,33	0,00	6,59	167
10F8	18/07/2006	250 - 500	50,70	13,02	36,28	47,39	12,17	9,57	0,43	3,48	20,43	0,43	6,09	230
10F9	18/07/2006	250 - 500	61,76	13,24	25,00	57,80	12,39	7,80	0,92	3,67	11,01	0,92	5,50	218
11B1	Maggio 1979	250 - 500	42,29	17,41	40,30	40,09	16,51	9,91	0,47	0,94	26,89	3,77	1,42	212
11B2	Maggio 1979	250 - 500	51,55	20,62	27,84	47,17	18,87	14,62	2,36	0,47	8,02	7,55	0,94	212
11B3	Maggio 1979	250 - 500	37,68	13,04	49,28	36,97	12,80	5,21	1,42	0,47	41,23	0,95	0,95	211

Appendice 2. Analisi Petrografiche.

Codice	Data camp.	Frazione (µm)	Q	F	L+C	Qt	Ft	Lm	Lv	Ls	Lc	M&P	Intr.	Cont.
11B4	Maggio 1979	250 - 500	37,62	13,81	48,57	37,09	13,62	7,51	0,94	0,94	38,50	0,47	0,94	213
11B5	Maggio 1979	250 - 500	56,04	23,19	20,77	54,21	22,43	10,28	0,93	0,47	8,41	2,80	0,47	214
11N6	05/04/2003	250 - 500	44,61	20,10	35,29	41,94	18,89	16,13	7,83	0,00	9,22	5,99	0,00	217
11D7	05/04/2003	250 - 500	50,26	25,40	24,34	47,50	24,00	16,00	2,00	0,00	5,00	5,50	0,00	207
11F8	01/05/2006	250 - 500	56,25	16,15	27,60	52,68	15,12	13,66	0,49	0,49	11,22	5,85	0,49	205
11F9	08/08/2006	250 - 500	38,10	11,11	50,79	32,58	9,50	5,43	0,00	0,45	37,56	1,36	13,12	221
11D10	08/08/2006	250 - 500	39,30	14,43	46,27	35,27	12,95	8,93	0,00	0,45	32,14	0,00	10,27	224
12D1	04/04/2003	250 - 500	45,19	14,90	39,90	42,92	14,16	13,24	16,44	0,00	8,22	5,02	0,00	219
12F2	04/04/2003	250 - 500	33,50	20,87	45,63	32,09	20,00	19,07	20,00	0,00	4,65	4,19	0,00	215
14B1	05/09/2006	250 - 500	50,00	41,67	8,33	47,66	39,72	0,47	0,00	0,00	7,48	1,87	2,80	214
14B2	05/09/2006	250 - 500	25,48	72,12	2,40	24,54	69,44	0,00	0,00	0,00	2,31	0,46	3,24	216
14B3	05/09/2006	250 - 500	22,16	56,70	21,13	20,38	52,13	0,00	0,00	0,95	18,48	0,95	7,11	211
14B4	06/09/2006	250 - 500	43,44	50,68	5,88	43,44	50,68	0,45	2,26	0,90	2,26	0,00	0,00	221
14D5	06/09/2006	250 - 500	50,68	36,99	12,33	49,78	36,32	0,90	1,79	0,00	9,42	0,45	1,35	223
14B6	06/09/2006	250 - 500	51,35	29,28	19,37	51,12	29,15	1,35	6,73	2,24	8,97	0,45	0,00	223
14D7	06/09/2006	250 - 500	54,21	28,50	17,29	52,49	27,60	0,45	3,17	4,07	9,05	1,81	1,36	221
14B8	06/09/2006	250 - 500	71,01	12,08	16,91	67,12	11,42	0,91	0,00	0,46	14,61	0,46	5,02	219
14B9	06/09/2006	250 - 500	24,58	16,20	59,22	19,91	13,12	5,43	9,50	0,90	32,13	0,90	18,10	221
14B10	06/09/2006	250 - 500	17,71	27,08	55,21	16,19	24,76	3,81	24,76	0,00	21,90	0,95	7,62	210
14D12	06/09/2006	250 - 500	13,71	10,29	76,00	11,48	8,61	3,35	25,36	0,00	34,93	0,96	15,31	209
14B13	06/09/2006	250 - 500	39,64	43,69	16,67	39,29	43,30	12,95	3,57	0,00	0,00	0,89	0,00	224
14D15	07/09/2006	250 - 500	65,97	19,37	14,66	56,76	16,67	8,11	1,80	1,35	1,35	13,06	0,90	222
14B16	07/09/2006	250 - 500	47,47	24,88	27,65	45,58	23,89	8,41	0,00	0,88	17,26	2,21	1,77	226
14B17	07/09/2006	250 - 500	49,53	26,64	23,83	48,18	25,91	7,27	0,91	0,45	14,55	1,36	1,36	220
14D18	07/09/2006	250 - 500	53,74	22,47	23,79	53,28	22,27	6,55	0,44	0,87	15,72	0,00	0,87	229
14B19	07/09/2006	250 - 500	30,00	25,00	45,00	24,32	20,27	8,11	2,25	0,90	25,23	0,90	18,02	222

Appendice 2. Analisi Petrografiche.

Codice	Data camp.	Frazione (µm)	Q	F	L+C	Qt	Ft	Lm	Lv	Ls	Lc	M&P	Intr.	Cont.
14D20	07/09/2006	250 - 500	40,50	14,00	45,50	36,16	12,50	7,14	3,57	2,68	27,23	0,89	9,82	224
14B21	07/09/2006	250 - 500	56,25	30,21	13,54	48,87	26,24	7,24	0,00	0,00	4,52	0,00	13,12	221
14B22	07/09/2006	250 - 500	55,30	37,60	9,10	49,80	35,30	1,80	0,00	0,00	6,76	0,00	6,31	222
14D23	07/09/2006	250 - 500	59,50	33,80	6,70	58,77	33,21	0,47	0,00	0,47	5,66	0,00	1,42	212
14B24	07/09/2006	250 - 500	46,63	43,75	9,62	44,50	41,74	1,83	1,38	0,00	5,96	0,00	4,59	218
14B25	07/09/2006	250 - 500	45,85	50,24	3,90	41,96	45,98	1,79	0,00	0,00	1,79	0,45	8,04	224
14B26	08/09/2006	250 - 500	42,86	5,71	51,43	40,00	5,33	44,44	3,56	0,00	0,00	6,67	0,00	225
14B27	08/09/2006	250 - 500	54,34	10,50	35,16	54,09	10,45	34,55	0,45	0,00	0,00	0,00	0,45	220
14B28	08/09/2006	250 - 500	50,22	30,49	19,28	48,91	29,69	18,34	0,00	0,00	0,44	1,75	0,87	229
14B29	08/09/2006	250 - 500	42,61	43,04	14,35	42,24	42,67	13,79	0,43	0,00	0,00	0,86	0,00	232
14D30	08/09/2006	250 - 500	46,88	41,07	12,05	45,65	40,00	11,74	0,00	0,00	0,00	2,61	0,00	230
14B31	08/09/2006	250 - 500	44,12	42,16	13,73	43,27	41,35	12,98	0,00	0,00	0,48	1,92	0,00	208
14B32	08/09/2006	250 - 500	51,26	44,23	4,50	50,44	43,78	4,44	0,00	0,00	0,00	1,33	0,00	225
14D33	08/09/2006	250 - 500	59,76	36,83	3,41	59,04	36,15	3,37	0,00	0,00	0,00	1,44	0,00	208
14B34	08/09/2006	250 - 500	45,99	43,80	10,22	30,58	29,13	1,46	0,00	0,00	5,34	0,00	33,50	206
15B1	01/06/2006	250 - 500	56,50	8,50	35,00	53,55	8,06	27,01	0,95	0,00	5,21	3,79	1,42	211
15F2	01/06/2006	250 - 500	51,22	11,71	37,07	49,76	11,37	20,85	2,37	0,95	11,85	0,95	1,90	211
15B3	01/06/2006	250 - 500	42,38	8,10	49,52	41,78	7,98	37,09	5,16	1,88	4,69	1,41	0,00	213
15F4	01/06/2006	250 - 500	63,41	7,32	29,27	62,20	7,18	3,35	2,39	5,26	17,70	0,00	1,91	209
15D5	01/06/2006	250 - 500	64,53	4,93	30,54	62,38	4,76	1,43	1,90	4,76	21,43	0,00	3,33	210
15F6	07/07/2006	125 - 250	49,76	42,11	8,13	47,27	40,00	5,45	0,91	0,00	1,36	5,00	0,00	220
15B7	07/07/2006	125 - 250	54,39	36,26	9,36	44,93	29,95	5,80	0,00	0,48	1,45	17,39	0,00	207
15F9	07/07/2006	250 - 500	46,70	44,49	8,81	46,09	43,91	2,61	0,00	1,30	4,78	0,87	0,43	230
15D10	07/07/2006	250 - 500	46,19	43,95	9,87	45,78	43,56	4,89	0,44	1,78	2,67	0,89	0,00	225
15B11	07/07/2006	250 - 500	33,02	20,75	46,23	32,41	20,37	41,20	0,93	0,93	2,31	1,85	0,00	216
15B12	08/07/2006	250 - 500	32,86	12,21	54,93	31,82	11,82	39,09	1,82	2,27	10,00	1,82	1,36	220

Appendice 2. Analisi Petrografiche.

Codice	Data camp.	Frazione (µm)	Q	F	L+C	Qt	Ft	Lm	Lv	Ls	Lc	M&P	Intr.	Cont.
15B13	08/07/2006	250 - 500	69,96	1,79	28,25	69,96	1,79	0,45	0,00	23,32	4,48	0,00	0,00	223
15B14	08/07/2006	250 - 500	74,60	5,22	20,18	76,15	3,67	3,67	0,00	6,42	10,09	0,00	0,00	218
15B15	08/07/2006	250 - 500	68,33	9,50	22,17	68,33	9,50	0,45	0,45	14,93	6,33	0,00	0,00	221
15F16	08/07/2006	250 - 500	67,26	1,77	30,97	66,38	1,75	0,44	0,00	2,18	27,95	0,00	1,31	229
15D17	08/07/2006	250 - 500	68,22	0,47	31,31	65,18	0,45	1,34	0,00	4,02	24,55	0,00	4,46	224

*Finita di stampare nel
mese di Gennaio 2008*