



UNIVERSITÀ DI PISA



UNIVERSITÀ DI PISA

Dipartimento Delle Scienze Agrarie, Alimentari e Agro-Ambientali

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN PROGETTAZIONE E GESTIONE DEL VERDE  
URBANO E DEL PAESAGGIO

# Le comunità psammofile delle Spiagge Bianche di Rosignano.

---

Analisi diacronica di un ambiente dunale e influenza  
del substrato sulla vegetazione.

*Candidato:*

**Teresa Carducci**

*Relatore:*

**Dott. Andrea Bertacchi**

*Correlatore:*

**Prof.ssa Tiziana Lombardi**

... il paesaggio che vive diventa fattore concreto del rapporto uomo-natura, quello a cui l'uomo si rifà nelle sue relazioni con l'ambiente, sia del contadino che ci vive e lavora, sia dell'uomo di città che anima e "fa" la città, quello del poeta che guarda e gioisce, questo paesaggio *in fieri*, che diviene, ha una dimensione temporale che non può essere un attimo, ma una somma di attimi. È il paesaggio pieno di eventi, suscitati sia da qualche fatto eccezionale, sia da fatti ripetuti e quotidiani. L'evento può essere anche minimo, ma tale da dare il senso immediato della vita: può essere cioè un paesaggio sospeso, dove tutto è fermo, sotto la grande luce dell'estate, ma dove può esserci soltanto un soggetto che si muove, un panno steso ad asciugare, o un albero che stormisce al soffio del vento o una nuvola che muta i suoi contorni.

**Eugenio Turri – "Antropologia del paesaggio"**

In che cosa si differenziano terra e mare, perché ciò che è miracoloso nell'una non sia miracoloso nell'altro?

**Herman Melville – "Moby Dick"**

<b>1 INTRODUZIONE</b> .....	3
1.1 Formazione delle dune costiere .....	4
1.2 La vegetazione dunale .....	5
1.2.1 Zonazione .....	7
1.3 Adattamento della vegetazione dunale alla variazione fattori edafici .....	11
1.4 Alterazione antropica del sistema dunale .....	13
1.5 Risposta della vegetazione psammofila alla pressione antropica .....	15
<b>2. MATERIALI E METODI</b> .....	17
2.1 Area di studio .....	17
2.1.1 Localizzazione geografica .....	17
2.1.2 Descrizione dell'area .....	18
2.1.3 Inquadramento climatico .....	20
2.1.4 Idrografia .....	22
2.1.5 Pedologia e genesi sedimentologica delle spiagge .....	24
2.2 Metodologia adottata .....	29
2.2.1 Analisi diacronica .....	29
2.2.2 Analisi della vegetazione .....	30
2.2.3 Analisi pedologiche .....	33
<b>3.RISULTATI</b> .....	44
3.1 Analisi diacronica .....	44
2.3 Analisi fitosociologiche .....	47
3.3 Analisi chimico-fisiche del substrato .....	56
3.3.1 Caratteristiche granulometriche .....	56
3.3.2 CaCO <sub>3</sub> totale .....	58
3.3.3 pH .....	59
3.3.4 Conducibilità elettrica .....	60
3.3.5 Sostanza organica .....	62
<b>4. DISCUSSIONE</b> .....	65
4.1 Analisi diacronica .....	65
4.2 Analisi fitosociologiche .....	65
4.3 Analisi chimico-fisiche del substrato .....	73
4.4 Comparazione dei risultati delle analisi .....	74
<b>5. CONCLUSIONI</b> .....	76
<b>Bibliografia</b> .....	77
<b>Ringraziamenti</b> .....	81

## 1. INTRODUZIONE

La vegetazione è il risultato della distribuzione e della combinazione delle piante nei diversi luoghi determinata da fattori ecologici, biotici e abiotici. Si intende come vegetazione di tipo costiero quell'insieme di comunità vegetali condizionate dalla presenza del mare. Essa riveste una considerevole importanza in Italia, con i suoi 7.500 km di costa totali tra regione peninsulare e insulare, di cui circa il 60% sono di coste basse di tipo sedimentario, mentre le restanti di coste alte di tipo roccioso (Biondi, 2005). In questo contesto, il mare rappresenta un fattore ecologico di tipo climatico, che incide più o meno profondamente sugli aspetti floristici anche in rapporto alla morfologia del litorale. Più o meno 359 km di costa segnano il limite marittimo della Toscana, in stretto rapporto con il paesaggio vegetale (Greppi, 1993).

I paesaggi della costa toscana offrono una varietà di aspetti ecologici in cui il mare entra come nuovo fattore a condizionare con rilevanza l'assetto paesaggistico. Queste aree sono state vissute in maniera molto diversa a seconda del periodo storico. Le descrizioni letterarie e iconografiche della Maremma e della Versilia rimandano a un mondo di paludi e boscaglie dove solo qualche torre costiera o qualche insediamento stagionale testimoniavano la presenza umana (Giunta Regionale Toscana, 1993). Il ruolo dei centri urbani, da Massa Ducale, a Pisa e Livorno, a Piombino, Massa Marittima, Grosseto e Orbetello, ha conosciuto le vicende demografiche più disparate, dalla stagnazione al regresso, al rapido sviluppo (Greppi, 1993). Il consumo di paesaggio si è acuito in maniera significativa negli ultimi cent'anni a causa della costruzione di strutture produttive destinate all'attività balneare, le cui tracce sono visibili anche durante le stagioni "morte". Il fotografo di paesaggi Luciano Sansone indica che la sua *difficoltà di restituire al paesaggio la sua integrità in una giornata di affollamento si alterna, d'inverno, alla difficoltà di dare vita al cimitero degli insediamenti stagionali*. Le infrastrutture produttive insistono in prevalenza sulla sottile linea di contatto tra terra e mare. I paesaggi agrari vengono sospinti verso l'interno cancellando le complesse e caratteristiche sistemazioni agricole. L'abbandono dell'attività agricola nel corso degli anni cinquanta e sessanta, l'espansione dei boschi e dei sodi, la sottrazione degli inerti agli alvei hanno privato i fiumi del trasporto solido tradizionale e hanno innescato fenomeni di erosione costiera in corrispondenza dei litorali prima alimentati con maggior energia dall'apporto fluviale; tali fenomeni sono stati in vari casi rafforzati da opere artificiali che, alterando i flussi della deriva costiera hanno modificato la distribuzione topografica dei tratti di erosione e in ripascimento e quindi mutato i profili di equilibrio delle spiagge (Pardi, 1993).

Questi ambienti molto delicati, aree di dialogo tra terra e mare, sono soggetti a vari fattori di rischio per la conservazione e la gestione. Verranno descritte successivamente nel dettaglio queste tematiche per introdurre il caso di studio oggetto di questa tesi.

## 1.1 Formazione delle dune costiere

Le dune costiere si formano in un determinato punto di litorale dove c'è ampia disponibilità di sedimenti sabbiosi, che vengono trasportati e modellati dagli agenti atmosferici. Sono parte di un ecosistema unico che forma l'ambiente di transizione tra il sistema continentale-terrestre e quello acquatico marino (Martinez *et al.*, 2004).

Gli ambienti sedimentari costieri sono dominati dall'azione delle onde e dalle maree e dalle correnti e comprendono:

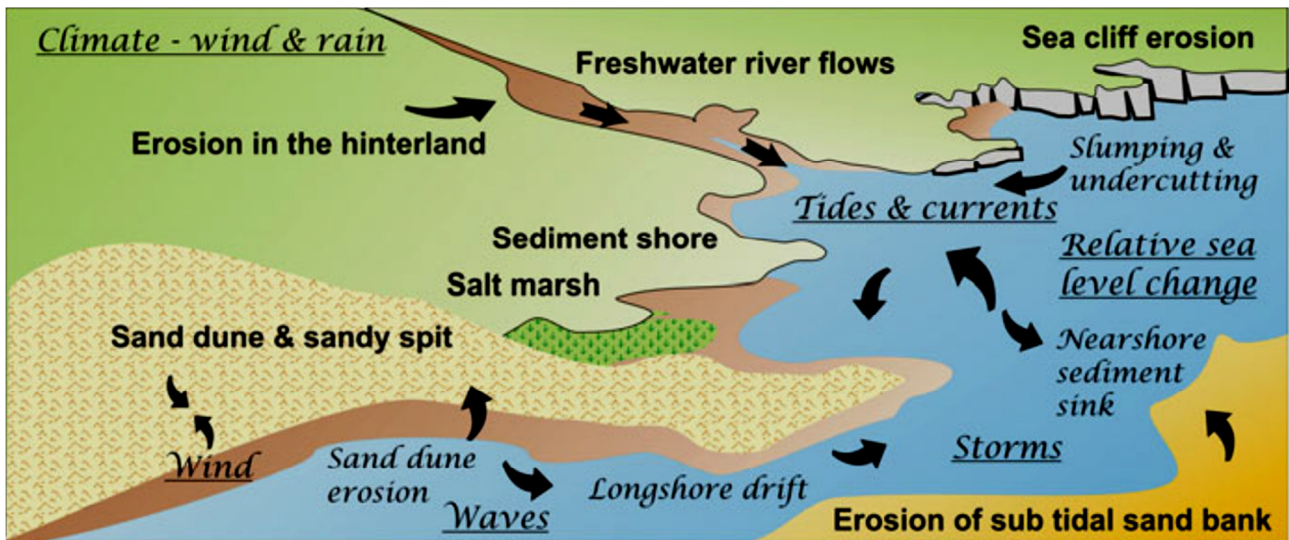
- Gli *ambienti deltizi*, dove i fiumi si immettono nei laghi o nel mare;
- Gli *ambienti delle piane di marea*, dove vaste zone esposte dalla bassa marea sono dominate dagli ambienti di marea;
- Gli *ambienti di spiaggia* nei quali le onde in arrivo che si infrangono nei litorali ridistribuiscono i sedimenti lungo la spiaggia, formando strisce di sabbia e ghiaia (Press *et al.*, 2006).

La spiaggia è un ambiente sedimentario caratterizzato da sedimenti clastici incoerenti dal diametro di dimensioni dagli 0.06 ai 4 mm. Questo parametro non è assoluto. Quando i sedimenti sono leggeri abbastanza da essere trasportati dal vento, ma troppo pesanti per essere sollevati in aria, si formano le dune sabbiose (Doddy, 2013).

I fattori che condizionano la formazione di una spiaggia sono diversi e rendono questo ambiente estremamente mutevole e vulnerabile. I più rilevanti sono la possibilità di reperimento di materiale detritico, la conformazione e la natura geologica delle aree litoranee contigue, la modalità di trasporto e deposizione dei detriti da parte del moto ondoso e delle correnti (Audisio *et al.*, 2002)

La maggior parte della sabbia disponibile per la formazione delle dune costiere deriva da materiale prodotto durante il periodo delle glaciazioni (tardo pleistocene, olocene) e dall'erosione del fondo marino. Il rifornimento di materiale detritico alla spiaggia deriva, per la maggior parte, dal trasporto di sedimenti fluviali derivati dall'erosione continentale e dalle scogliere (arenarie, gesso, calcari). In prossimità delle foci, quindi, si avrà la maggior disponibilità di materiali inerti. Essi tenderanno a disporsi separatamente a seconda del proprio peso e della quantità di energia disponibile per il trasporto. Altrove la deposizione è frutto dell'azione combinata del trasporto sulla battigia e del cosiddetto "trasporto longitudinale", ossia quello parallelo alla riva (Audisio e Muscio, 2002).

Il relativo equilibrio tra gli input dalla terra al mare, i movimenti dei grani di sabbia fuori e dentro l'area litorale, sono critici per lo stato dinamico della duna sabbiosa (Doddy, 2013), poiché devono controbilanciare l'azione erosiva del mare.



**Figura 1:** Movimento dei sedimenti clastici sulla costa in relazione con le dune sabbiose. Le frecce indicano la direzione del movimento della sabbia (senza implicare la quantità). La forza e la direzione del vento, l'intervallo di marea e l'esposizione condizionano tutti il modo in cui erosione e trasporto rendono disponibili i sedimenti per il sistema. Le parole in corsivo rappresentano il cambiamento forzato di pressione (Doddy, 2013).

Nella fascia più interna le spiagge hanno tendenza a modellarsi e a costituire ondulazioni alte fino a svariati metri di altezza sul livello del mare: le dune. La prima interpretazione scientifica sulla formazione di questo ambiente è legata a uno studioso francese, Kuhnholz-Lordat, che attribuisce la genesi delle dune all'interazione tra vento e vegetazione di questo particolare tipo di substrato, cioè la sabbia (Pignatti, 2002).

Le sabbie erose, in balia del moto ondoso, vengono poi trasportate e depositate verso l'interno dall'azione del vento. Le specie della vegetazione psammofila pioniera vanno a costituire un ostacolo che blocca l'avanzata della sabbia verso l'interno. Questo permette l'accumulo e il consolidamento della sabbia *in situ*, determinando un trend di crescita positivo della duna stessa. Considerando che la vegetazione può instaurarsi in maniera stabile solo ad una determinata distanza rispetto alla linea di costa, la genesi di una duna litoranea non può che avvenire con una dispersione più o meno parallela alla linea di costa stessa (Audisio e Muscio, 2002).

In assenza di interferenza antropica, il bilancio tra le forze che generano la duna determinano il suo indice di cambiamento (erosione o accrescimento) e la sua direzione di crescita preferenziale (Doddy, 2013).

## 1.2 La vegetazione dunale

La vegetazione dei litorali sabbiosi, che nell'insieme si definisce *vegetazione psammofila* (dal greco *psammos* 'sabbia' e *philos* 'amico') riveste un ruolo fondamentale nell'edificazione, stabilizzazione ed evoluzione geomorfologica dei sistemi dunali costieri. La regolarità del paesaggio vegetale delle sabbie è dovuta all'uniformità dei fattori ambientali che più condizionano la distribuzione della

vegetazione; le sue forme e caratteristiche risentono soprattutto della distanza dalla linea di battigia e dell'azione del vento. Entrambi questi fattori esercitano azioni uniformi sul litorale in genere privo di variabili morfologiche, con condizioni micro-ambientali simili su tutta la costa (Cavalli, 1993).

L'ambiente dunale rappresenta un sistema di microambienti particolarmente inhospitali per la vita vegetale. Il vento rende mobile la sabbia, causa l'erosione, nebulizza l'acqua marina e agisce inoltre sull'economia idrica interferendo con la disponibilità d'acqua per le piante. Le specie che colonizzano questi luoghi costieri sono pertanto notevolmente specializzate, adatte ad occupare precise nicchie ecologiche, spesso estremamente limitate in quanto i gradienti dei più importanti fattori ecologici subiscono significative variazioni nello spazio di pochi metri (Biondi, 2005).



**Figura 2** Schema di una costa bassa sabbiosa in assenza di fattori di disturbo. Sono stati evidenziati, in alto, l'orientamento dei principali gradienti ambientali e, in basso, la tipica zonazione delle comunità vegetali che si dispongono lungo tali gradienti in ragione dei particolari adattamenti e delle specializzazioni proprie delle specie di ciascuna fitocenosi. Si evince, inoltre, lo sviluppo delle dune e delle diverse comunità che le popolano in fasce parallele alla linea di costa.

Come notiamo sopra, più siamo vicini al mare, più le possibilità di affermazione e diffusione di specie vegetali saranno difficili: maggiore quantità di aerosol marino, maggiori infiltrazioni di acqua salmastra nella falda acquifera, minor compattazione del suolo e disponibilità di nutrienti. Le condizioni per lo sviluppo delle specie vegetali miglioreranno in maniera direttamente proporzionale rispetto alla distanza dalla linea di battigia. Si forma un meccanismo di distribuzione secondo gradiente di risposta a fattori di natura abiotica che determina quello che in ecologia viene definito *zonazione* della vegetazione. Quello che ne consegue, in una duna ben formata e non

alterata (per cause naturali eccezionali o effetti della pressione antropica), è che la vegetazione si divide in fasce più o meno omogenee che si distribuiscono parallelamente alla linea di battigia. Il passaggio da una fascia di vegetazione dall'altra avverrà nell'arco di pochi metri, conseguentemente alla significativa variazione dei fattori biotici e abiotici che costituiscono il limite di sviluppo di una specie piuttosto che un'altra. Le specie che colonizzeranno per prime la duna permetteranno ad altre specie di potervisi insediare.

Le modalità di adattamento delle piante alle condizioni vegetative ostiche di questo ambiente sono varie: ad esempio le graminacee tendono a moltiplicarsi per via vegetativa, sviluppando estesi apparati radicali sia orizzontalmente che verticalmente. Minacciate continuamente di seppellimento, prolungano indefinitamente i loro rizomi in palchi successivi, imbrigliando la sabbia e svolgendo un ruolo determinante nel processo di consolidamento della duna (Gratani, 1987). Altre specie come *Cakile maritima* Scop. mostrano un elevato contenuto di acqua nei tessuti che consente tassi sufficientemente alti di fotosintesi associati ad un controllo stomatico elevato. Altre specie accumulano ioni sodio nelle loro cellule o li espellono attraverso peli ghiandolari (Gratani *et al.*, 2007).

### 1.2.1 Zonazione

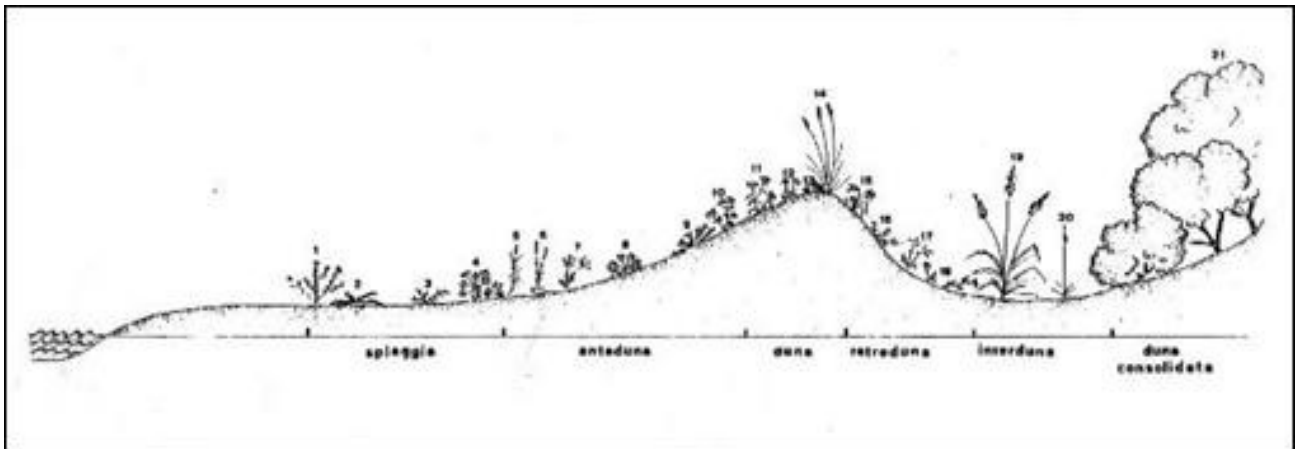
La prima fascia della spiaggia a partire dalla battigia, in cui l'azione battente delle onde è costante rimozione di substrato inibisce la possibile coesione tra le particelle fra di loro. Se anche una plantula riuscisse a germinare, fattori come lo stress salino legato all'alta marea e l'intensità della radiazione solare nella stagione più calda impedirebbero il suo sviluppo. Questa fascia viene pertanto definita *afitoica* (dal greco  $\alpha$  privativo e *phyton* 'pianta', priva di vegetazione). La vita sull'arenile è limitata, dunque, alla componente animale.

Soltanto nella fascia più interna, al di sopra del livello massimo di marea, e dove le mareggiate possono arrivare soltanto in casi del tutto eccezionali, si possono osservare i primi rappresentanti del mondo vegetale.

Nella prima fascia, generalmente a 50 m dalla linea di costa, si instaurano soltanto formazioni erbacee annuali (vegetazione terofitica-alonitrofila). È la fascia delle specie pioniere. Esse germinano in autunno oppure alla fine dell'inverno ed hanno un periodo vegetativo di pochi mesi, nel quale arrivano a fioritura e fruttificano. Ai primi di Giugno i frutti si aprono e lasciano cadere i semi che, coperti di sabbia, rimangono quiescenti fino all'autunno. Questa parte della duna, proprio per l'assenza di vegetazione perennante, viene generalmente classificata come *effimera*. In tutto il Mediterraneo è occupata dall'associazione *Salsolo kali - Cakiletum maritimae* Costa e Manazet



1981 composta dal ravastrello(*Cakile maritima* Scop.), la salso-erbacali(*Salsola kali* L.), la portulaca marina(*Euphorbia peplis* L.), e il poligono marittimo (*Polygonum maritimum* L.) (Biondi E. et al.).



**Figura 3** Esempio di successione dunale (immagine tratta dal sito “la vegetazione costiera dell’Emilia Romagna” <http://www.vegetazionecostiera.it>)

Nella fascia più arretrata si avvia il processo di formazione della duna grazie alla presenza di alcune piante psammofile perenni, di tipo geofitico e emicriptofitico: la *duna embrionale*, fascia caratterizzata dalla presenza di agropiro (*Agropyron junceum* (L.) Beauv subsp. *mediterraneum* Simonet et Guinochet. = *Elytrigia juncea* subsp. *juncea* (L.) Nevski = *Elymus farctus* subsp. *farctus* (Viv.) Runemark ex Melderis) (Biondi E. et al.). La pianta occupa permanentemente il suolo, colonizza l’area grazie ai suoi rizomi, che riesce ad accrescere sia in senso orizzontale che verticale. La sabbia trova quindi un ostacolo e si deposita, formando accumuli di pochi centimetri. Si offre così la possibilità ad altri semi di germinare ad una certa distanza dalla falda salmastra. Inizia un processo di autorganizzazione: la vegetazione si costituisce il proprio ambiente (Pignatti, 2002). Tuttavia le coperture totali di quest’area non sono abbondanti, raggiungendo circa un 20-30%. Altre specie caratteristiche di questo habitat sono *Sporobolus pungens* (= *S. arenarius* = *S. virginicus* (L.) Kunth), *Euphorbia peplis* L., *Othantus maritimus* (L.) Hoffmanns. & Link, *Medicago marina* L., *Anthemis maritima* L., *A. tomentosa* L., *Eryngium maritimum* L., *Echinophora spinosa* L., *Calystegia soldanella* (L.) Roem. & Schult., *Polygonum maritimum* L., *Silene corsica* DC., *Solidago litoralis* Savi ex Pers., *Spartina juncea* (Michx.) Willd.

La strategia di un’altra graminacea psammofila perennante permette l’innalzarsi della duna: *Ammophila arenaria* (L.) Link. La pianta ha uno sviluppo maggiore sia in altezza che in copertura. Tende a formare una vera e propria barriera contro il vento portando all’accumulo di sabbia che innalzerà il livello della duna. L’azione di forti moti ondosi (come quelli nelle giornate di libeccio

sulla costa tirrenica) può sempre portar via ingenti quantità di sabbia lasciando scoperte le radici, che poi si ridistribuiranno sulle dune vicine. Possiamo comunque iniziare a parlare di *duna mobile* o *duna bianca*. In Italia si fa riferimento alle seguenti associazioni vegetali: *Echinophoro spinosae* – *Ammophiletum australis* (Br.Bl. 1933) Géhu, Rivas Martinez & R. Tx. 1972 in Géhu *et al.* 1984, *Sileno corsicae*- *Ammophiletum arundinaceae* Brullo, De Marco, Dinelli, Signorello & Spampinato 1992. Oltre *A.arenaria*, le specie caratteristiche di questo habitat sono: *Echinophora spinosa* L., *Anthemis maritima* L., *Eryngium maritimum* L., *Euphorbia paralias* L., *Medicago marina* L., *Cyperus capitatus* Vand., *Lotus cytisoides* L., *L. creticus* L., *Pancratium maritimum* L., *Solidago littoralis* Savi ex Pers., *Stachys maritima* Gouan, *Spartina juncea* (Michx.) Willd., *Silene corsica* DC., *Otanthus maritimus* (L.) Hoffmanns. & Link.



**Figura 4:** Foto originali scattate all'interno dell'area di studio. In ordine numerico: 1- *Cakile maritima* Scop 2- *Salsola kali* L. 3- *Euphorbia paralias* L. 4- *Elymus farctus* subsp. *farctus* (Viv.) Runemark ex Melderis 5- *Sporobolus virginicus* L.(Kunth.) 6- *Calystegia soldanella* (L.) Roem. & Schult. 7- *Polygonum maitimum* L. 8- *Spartina juncea* (Michx.) Willd. 9- *Ammophila arenaria* (L.) Link. 10- *Pancratium maritimum* L.

Procedendo verso l'interno, oltre la duna mobile, il suolo rimane essenzialmente sabbioso, ma arricchito di una maggior percentuale di terra fine, che rende più compatto il substrato di crescita delle piante. Le dune hanno un profilo più dolce e il trasporto di sabbia ed i processi erosivi legati all'azione del vento sono quasi completamente cessati: si parla qui di *duna consolidata*. Sulle coste

mediterranee è dominata dall'alleanza *Crucianelliom maritimae* Rivas-Goday & Rivas-Martinez 1958, composta da vegetazione camefitica e suffruticosa, rappresentata dalle garighe primarie che si sviluppano sul versante interno delle dune mobili con sabbie più stabili e compatte (Biondi). Le specie caratteristiche di questo ambiente sono la camomilla marina (*Crucianella maritima* L.), la santolina di mare (*Othantus maritimus* (L.) Hoffmanns. & Link), lo spillone delle spiagge (*Armeria pungens* (Link) Hoffmanns. & Link). Sulle coste dell'alto Adriatico abbiamo invece lo scabioseto, con *Scabiosa argentea* L. (vedovina delle spiagge), e *Trachomitum venetum* (L.) Woodson, l'apocino veneziano, mentre spesso la superficie della duna è coperta dal muschio *Tortula ruraliformis* (Besch.) Ingh. Altre specie appartenenti alla combinazione di riferimento del *Crucianelliom maritimae* sono *Pycnocomon rutifolium* (Vahl) Hoffmanns. & Link, *Helichrysum stoechas* (L.) Moench, *H. italicum* (Roth) Don, *H. microphyllum* subsp. *tyrrhenicum* (Cambess) Bacch (endemismo sardo-corso-balearico), *Ephedra distachya* L., *Schrophularia ramosissima* Loisel, *Seseli tortuosum* L., *Anchusa crispa* V., *Rouya polygama* (Desf.) Coincy, *Ononis natrix* subsp. *ramosissima* (Desf.) Batt., *Astragalus thermensis* Vals., *Linaria cossonii* Baratte, *Silene velutina* Loisel, *Anchusa crispa* ssp. *maritima* (Vals.) Selvi & Bigazzi (Biondi *et al.*, cit.). Pure se sporadicamente, su questa parte della duna possono iniziare a comparire qualche specie legnosa, come il ginepro, il leccio, il lentisco, la tamerice, oppure alcune leguminose arbustive come *Spartium junceum* L. sulle coste venete o la rara ginestra bianca in Sicilia, *Retama raetam* (Forssk.) Webb & Berthel.

Una situazione del tutto differente si viene a creare nel paesaggio interdunale stabilizzato, caratterizzato da quelli che in letteratura anglosassone vengono definiti *dune slacks*, ovvero le depressioni interdunali. L'azione dell'acqua meteorica provoca lo scorrimento di particelle, soprattutto quelle più fini, ricche di detriti vegetali. L'acqua, arricchita di anidride carbonica, ha una reazione leggermente acida e scioglie il calcare. La lacuna interdunale tende a abbassarsi e compattarsi e l'acqua di falda ha maggiore possibilità di risalita per capillarità. Le specie, che qui attingono direttamente dalla falda, devono tollerare un livello più alto di salinità. La risposta delle piante a questo fattore può variare e troveremo quindi:

- alofite obbligate come il giunco marittimo (*Juncus maritimus* Lam.), il giunco pungente (*Juncus acutus* L.), *Holoschoenus romanus* (L.) Fritsch, *Limonium caspium* (Willd.) P.Fourn, *Plantago crassifolia* Forssk;
- specie alo-tolleranti come giunco nero comune (*Schoenus nigricans* L.), *Blackstonia perfoliata* subsp. *serotina* (Rchb.) Vollm., *Centaurium* spp., *Epipactis palustris* (L.) Crantz, *Gentiana pneumonanthe* L., *Molinia caerulea* subsp. *arundinacea* (Schrank) K. Richt., *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., *Plantago cornutii* Gouan.

Infine, la vegetazione dei litorali sabbiosi raggiunge la sua forma più complessa nella fascia di transizione con l'ambiente continentale, quando la superficie viene occupata da specie legnose (Pignatti, 2002).

L'habitat è eterogeneo dal punto di vista vegetazionale, in quanto racchiude più tipi di vegetazione legnosa dominata da ginepri e da altre sclerofille mediterranee, riconducibili a diverse associazioni. È distribuito lungo le coste sabbiose del Mediterraneo e in Italia è presente solo nelle regioni mediterranea e temperata. Prevalgono le formazioni a *Juniperus macrocarpa* Sibth. & Sm., talora con *J. turbinata* Guss. Nel macrobioclima temperato si rinvengono rare formazioni a *J. communis* L. Le specie che sono combinate all'habitat (2250: Dune costiere con *Juniperus spp.*, Natura 2000) sono: *Asparagus acutifolius* L., *Pistacia lentiscus* L., *Phillyrea angustifolia* L., *P. latifolia* L., *Myrtus communis* L., *Smilax aspera* L., *Rubia peregrina* L., *R. peregrina subsp. requienii* (Duby) Cardona & Sierra, *Prasium majus* L., *Rhamnus alaternus* L., *Lonicera implexa* Aiton, *Chamaerops humilis* L., *Clematis cirrhosa* L., *C. flammula* L., *Ephedra fragilis* Desf., *E. distachya* L., *Ruscus aculeatus* L., *Anthyllis barba-jovis* L., *Quercus calliprinos* Webb, *Dianthus morisianus* Vals.

### **1.3 Adattamento della vegetazione dunale alla variazione fattori edafici**

Per adattamento si intende l'insieme delle caratteristiche ereditarie (morfologiche, biochimiche, metaboliche, ecofisiologiche) di una determinata specie, che le permettono di vivere in un determinato ambiente (Ubaldi, 2003). Le specie che vivono negli ambienti dunali sono altamente specializzate a vivere in un substrato costituito prevalentemente da sabbia, che lo rende incoerente e povero di nutrienti. Come abbiamo già visto nei paragrafi precedenti, la capacità di vivere su substrati sabbiosi e l'intensa esposizione all'azione del vento rappresentano i fattori determinanti per la selezione delle specie. Abbiamo inoltre già visto quali comportamenti assumano queste specie per ovviare al problema della salinità, causato dalla vicinanza al mare e alla possibilità di venire in contatto con il cuneo salino.

Dal punto di vista geo-morfologico l'ambiente dunale viene definito soprattutto in base agli agenti modellatori del substrato e la sua granulometria. Se lo consideriamo invece come habitat, le cui caratteristiche ecologiche condizionano la vita degli organismi che vi si insediano, dobbiamo porre maggiore attenzione sulla composizione chimico-mineralogica del substrato. Genericamente, il chimismo delle sabbie di una spiaggia dipende dal tipo di sedimento che apportano i corpi idrici che sfociano nelle vicinanze, ed è quindi determinato dal litotipo attraversato per la maggior parte del loro percorso. Ad esempio, il quarzo, essendo uno dei minerali più comuni, abbonda nelle spiagge

dove sfociano fiumi che hanno percorso ampi tratti in pianura. I vari litotipi, inoltre, presentano diverse resistenze all'erosione e al trasporto in funzione della granulometria e della composizione chimica. In funzione delle province di alimentazione può variare sia la granulometria che la composizione mineralogica e questi due valori sono in qualche modo legati fra loro. Altro materiale che può essere abbondante negli ambienti litoranei è il carbonato, proveniente dalla disgregazione di rocce calcaree, come nel caso della fascia tra Grado e Lido di Venezia costituita da elementi calcareo-dolomitici fra l'80 e il 90%, o le spiagge della Sardegna, in cui la percentuale di elementi carbonatici varia dal 30 all'80%. Ad esempio, i lidi toscani mostrano valori di carbonato bassi a Nord e a Sud (attorno al 20%) con risalita nell'area centrale (50%). Si inverte la situazione del quarzo con valori alti agli estremi (oltre il 50%) e inferiori al centro (20%), mentre a Follonica il quarzo raggiunge il 60% (Audisio e Muscio, 2002).

A seconda del minerale maggiormente presente sarà naturalmente influenzato anche il pH del substrato. Se il quarzo (SiO<sub>2</sub>), ha una reazione acida o sub-acida, la calcite (CaCO<sub>3</sub>), componente principale delle rocce calcaree, ha una reazione di tipo alcalino o subalcalino, proprio per le caratteristiche chimiche intrinseche del minerale stesso.

Ovviamente anche il tipo di vegetazione che insiste su un tipo di substrato andrà ad alterarlo, influenzandone le caratteristiche edafiche.

Genericamente più ci allontaniamo dal mare, più il pH tende ad acidificarsi. Passando dalla duna embrionale alla duna consolidata i residui vegetali aumentano il quantitativo di sostanza organica che causa l'abbassamento del livello di pH (Isermann,2005). Il pH, il livello di umidità del suolo, così come il quantitativo di biomassa sono fattori molto importanti per spiegare la ricchezza di specie (Schaffers,2002).

La resistenza allo stress salino è studiata spesso nel passaggio tra i popolamenti della duna mobile alle depressioni interdunali saline (*salt marsh*). Nella regione dell'Amria, Tadros (1953) indica la successione verso la specie più alo-tollerante in questo ordine: *Sporobolus virginicus* -> *Schoenus aegyptiacum* -> *Lygaeum spartum* -> *Zygophyllum album* -> *Arthrocnemum sp.* - *Limoni- astrum monopetalum* -> *Halocnemum strobilaceum*. Lo stesso autore menziona *S. virginicus* come la specie che meglio si addice alla fascia di transizione tra la duna e il *salt marsh*, formando comunità monofitiche che occupano ampi spazi nella linea di sperazione tra i due ambienti. Registra anche che nella stazione di riferimento verso la laguna salmastra appartiene all'alleanza *Plantaginion crassifoliae*, con le associazioni principali dello *Junceto- Schoenetum* e *Schoenetum aegyptiacum*. Nello stesso articolo si parla di *Plantago albicans* e *Ononis vaginalis* come specie che, in accordo con Ibraim (1957), necessitano di alta percentuale di carbonato di calcio e bassa salinità. È possibile

apprezzare come quindi spesso, cambiando il tipo di habitat o di associazione vegetale, cambiano pure le caratteristiche edafiche.

Soil type		Hygroscopic moisture	Loss on ignition	Org. C	Loss on Acid treatment	Exchangeable Ca	Total soluble salt	Soluble chlorides	Soluble sulphates
I	Dune sand	0,042	2,7	0,033	99,0	20,29	0,11	0,004	0,001
II	Partly stabilized dune	0,062	2,8	0,080	98,1	18,31	0,10	0,004	0,001
III	Stabilized dune	0,062	5,0	0,156	95,3	15,71	0,14	0,004	0,007
IV	Transition to marsh	1,12	5,7	0,138	86,1	16,29	0,23	0,015	0,009
V	Salt marsh	1,82	15,1	0,306	76,5	23,14	1,31	0,424	0,351

**Tabella 1:** Analisi pedologiche di campioni prelevati da 5 comunità differenti: ogni valore rappresenta la media dei 5 campioni espressa come g/100g a misurati sul peso secco (Rezk,1970).

#### 1.4 Alterazione antropica del sistema dunale

Visti i vari fattori che agiscono nella selezione della vegetazione dunale, le spiagge possono essere considerate un ambiente dall'equilibrio precario e molto fragile, nel quale le forze in gioco rendono molto vulnerabile l'ecosistema. In Italia tali ambienti hanno mantenuto fino al XIX secolo un buono stato di conservazione dal punto di vista morfologico, idrogeologico e naturalistico, ma nel XX secolo l'impatto antropico sulle coste è divenuto particolarmente intenso, a causa del crescente sfruttamento turistico e della generale industrializzazione, uniti allo sfruttamento agricolo intensivo del territorio pianiziale (<http://www.gasbarro.eu/ambiente.html>). Secondo la Direttiva Habitat 92/43/CEE, il sistema delle spiagge italiane è da considerare "habitat naturale di interesse comunitario la cui conservazione richiede la designazione di aree speciali di conservazione". Il censimento degli ecosistemi italiani, attuato per la ricezione della Direttiva comunitaria, ha classificato molte delle dune costiere italiane in cattivo o inadeguato stato di conservazione.

Ma quali sono i fattori che hanno portato alla degradazione degli ambienti costieri e quali sono stati gli effetti di queste trasformazioni?

L'antropizzazione delle spiagge e delle dune mediterranee è il risultato di processi indiretti o diretti sulle coste e si manifesta con un'alterazione progressiva delle flore, delle biocenosi e dei biotopi (Géhu *et al.*, 1994).

Tra gli effetti indiretti delle azioni provocate dall'uomo dobbiamo considerare il cambiamento climatico legato al cosiddetto "effetto serra". Molti e più facilmente valutabili sono gli effetti diretti dell'azione dell'uomo.

L'urbanizzazione dell'area costiera, parallelamente allo sviluppo di una forte vocazione delle coste mediterranee per il turismo balneare, e lo sfruttamento dell'area pianiziale per l'agricoltura

intensiva, ha portato a forti modificazioni dell'assetto costiero. Lo sviluppo urbanistico ha trovato negli ambienti planiziali litorali un'espansione naturalmente più rilevante che lungo le coste rocciose (Bertacchi *et al.*, 2009).

Il forte rimodellamento del territorio ha portato all'alterazione degli equilibri che regolano il sistema spiaggia inteso come sistema di transizione terra-mare. Ad esempio le alterazioni principali sono dovute a una modificazione del rapporto tra input e output dei sedimenti, favorendo il fenomeno dell'erosione. Danni di questo tipo sono spesso provocati da processi come ampliamento e costruzione di nuovi porti, di dighe foranee o similari, rimodellamento delle aree litoranee dovuto al prelevamento di sabbie e ghiaie come l'apertura di cave per l'estrazione della ghiaia nell'alveo dei fiumi (Géhu *et al.*, 1994).

Le spiagge divengono aree ricreative, sono intensamente frequentate durante la stagione estiva, molte strutture, come stabilimenti balneari occupano la spiaggia per buona parte dell'anno e intense lavorazioni di pulizia meccanica vengono costantemente effettuati per favorire il soggiorno dei villeggianti. La sostanza organica che viene depositata dal mare sulle spiagge viene rimossa perché considerata sporcia e la vegetazione rimossa o costretta ad vivere in pochi metri, protetta da recinzioni, per lasciare spazio ad ombrelloni, campi da gioco e strutture di vario genere. Eliminata la vegetazione dunale e tolta ad essa la possibilità di rigenerarsi, si perde la sua funzione di stabilizzatrice della duna e si incrementa il fenomeno dell'erosione.



**Figura 5:** Effetto dell'arretramento della linea di costa causato dall'erosione. L'area in questione si trova in località la California, Bibbona (LI). L'immagine è costituita dalla sovrapposizione di aereofoto del 1954 e del 2013. La linea verde indica la linea di costa del '54, la gialla è la linea di costa attuale (in riferimento alla foto del 2013). È possibile apprezzare visivamente le conseguenze del processo erosivo, in quanto al momento la linea di costa attuale è addirittura regredita rispetto a dove era presente la duna consolidata a *Juniperus* nel 1954. Le foto sono state raccolte dal portale della Regione Toscana GEOscopio (<http://www.regione.toscana.it/-/geoscopio>).

### 1.5 Risposta della vegetazione psammofila alla pressione antropica

I processi direttamente o indirettamente legati alle attività umane, causano alterazioni multiformi. Il risultato si manifesta come un'interruzione del sistema di zonazione della successione dunale, con semplificazione floristica, perdita di biodiversità e introduzione di specie aliene invasive (Géhu *et al.*, 1994).

La variazione dei fattori climatici può portare delle variazioni nelle fasi fenologiche delle piante. Ciò può essere causa dell'insorgere di alcuni sintomi di stress, come una senescenza precoce o un'alterata produzione di biomassa. Ad esempio il cambiamento di temperatura può far slittare in avanti o in indietro l'inizio dell'attività vegetativa o agire sul tasso di accrescimento delle piante. Negli studi condotti da Gratani *et al.* (2007), tra il Parco del Circeo e Castelporziano (Lazio, IT) si evidenzia come specie meno sensibili alle basse temperature, come *Cakile maritima* o *Anthemis maritima*, anticipino l'inizio della fase vegetativa.

Più chiari sono gli effetti legati all'alterazione diretta delle condizioni ambientali in cui vivono le comunità psammofile:

L'erosione marina dei cordoni dunali porta all'interruzione del sistema di zonazione della vegetazione, seguito da una semplificazione della vegetazione a favore delle specie pioniere aliene. Le specie che dovrebbero costituire le fasce più avanzate rispetto al mare spesso scompaiono o vanno a rifugiarsi ai margini.

L'eutrofizzazione delle acque favorisce, all'interno della vegetazione riferibile alla classe *Cakiletea maritimae*, lo sviluppo di specie nitrofile quali *Xanthium italicum* o *Ambrosia maritima*. Nelle dune embrionali e mobili alcune piante normalmente presenti possono essere favorite dall'eutrofizzazione e dalla perturbazione della spiaggia. È il caso di *Anthemis maritima*, *Matiola sinuata* nelle zone tirreniche, *Launea resedifolia* sulle coste Sud-orientali del bacino, e anche della rara e endemica *Anchusa crispa* in Corsica e Sardegna. Soprattutto a livello interno della duna si ha la comparsa di terofite subnitrofile, sintomo di quest'alterazione, costituite da specie di *Bromus*, *Vulpia* e *Lagurus*. Il livellamento geomorfologico della spiaggia unito al continuo calpestio da parte dei turisti provoca la comparsa sulla duna di specie resistenti: è il caso di *Cynodon dactylon*, *Plantago macrorrhiza*, *Centaurea sphaerocephala* (Géhu *et al.*, 1994). Altra specie che si avvantaggia di queste condizioni in aree litoranee tirreniche è *Sporobolus virginicus*, inserendosi sia a livello della duna embrionale che mobile (Bertacchi *et al.*, 2009). Knevel *et al.* hanno osservato come in Sud Africa *S.virginicus* riesce a competere e a inibire lo sviluppo di *A. arenaria* subsp. *australis* (in quest'area da considerarsi come specie invasiva).



Per proteggere e preservare le comunità psammofile litoranee occorre studiare le cause che provocano la loro alterazione o distruzione. Come abbiamo visto, i fattori legati all'alterazione antropica che entrano in gioco sono molteplici: il cambiamento dei fattori climatici, il processo erosivo delle spiagge, l'inquinamento e l'eutrofizzazione, l'intensiva attività edilizia a ridosso delle spiagge, così come l'azione meccanica legata al calpestio e alla pulizia meccanica durante il periodo estivo.

Il caso di studio preso in analisi in questa tesi riguarda un tratto di litorale che si trova tra la frazione di Rosignano Solvay e quella di Vada (Comune di Rosignano Marittimo, Provincia di Livorno), nella località volgarmente conosciuta come Spiagge Bianche. La stazione in analisi, così come l'area circostante hanno subito significative modificazioni a livello di territorio a seguito dell'insediamento dell'industria chimica "Solvay SPA", circa un secolo fa. L'obiettivo del presente studio sarà quindi valutare l'effetto dei cambiamenti avvenuti sullo stato delle comunità psammofile presenti e cercare di individuarne la causa.

## 2. MATERIALI E METODI

### 2.1 Area di studio

#### 2.1.1 Localizzazione geografica

L'area che è stata analizzata nell'ambito di questa tesi interessa il tratto litoraneo che si estende tra le frazioni di Rosignano Solvay e Vada, (Comune di Rosignano Marittimo, provincia di Livorno, Toscana), indicate comunemente come *spiagge bianche*, in riferimento al colore candido della sabbia di questo tratto di litorale. Le *spiagge bianche* hanno una superficie che si estende per circa 22 ettari ed una dimensione in profondità che varia dai 50 ai 100 m, lunghe circa 2,2 km (Bertacchi *et al.*, 2010). A meno di un chilometro a Nord del *Pennello di Pietrabianca*, sfocia il fiume Fine, che divide a metà circa la zona. L'area è delimitata a Nord dalla *Punta del Lillatro* e a Sud dal *Pennello di Pietrabianca*. Si affaccia sul Mar Ligure. Le coordinate geografiche tra cui è compresa sono:

- Latitudine: da 43° 22' 46. 44" N al 43° 21' 21. 76" N
- Longitudine: da 10° 25' 45. 86" E al 10° 26' 29 13 E<sup>1</sup>



<sup>1</sup>Dati ricavati grazie al l'utilizzo del software Google Earth®



**Figura 6:** Cartina geografica della Provincia di Livorno, Carta di Rosignano M.mo e ortofotocarta delle Spiagge Bianche (GEOscopio, Regione Toscana)

### **2.1.2 Descrizione dell'area**

*Lungo questo tratto di strada, volgendo lo sguardo lungo la costa frastagliata, appare un'anomala striscia di spiaggia bianchissima, lunga circa quattro chilometri. Questo luogo particolare è noto con il nome di Spiagge Bianche.* (dal sito <http://www.terradeglietruschi.it/>, sito di informazione turistica sulla costa toscana).

Le *spiagge bianche* sono una meta famosa per il turismo balneare e per gli amanti degli sport nautici. Il loro aspetto simil-caraibico richiama molta gente che si reca qui per trascorrere le giornate nel periodo estivo ed è diventata set di alcuni film e spot pubblicitari e video musicali. È uno luogo famoso per chi pratica kyte-surf, ma anche wind-surf e vela, per il vento particolarmente favorevole per questi tipi di sport. La spiaggia è libera, non ci sono veri e propri stabilimenti balneari sull'area, ma la zona è attrezzata a Sud con bar/punto di ristoro con docce e servizi igienici e una scuola di wind-surf. Una parte della spiaggia è riservata per la pratica di kyte surf, una parte come spiaggia per cani.

Circa a metà dell'are sfocia il fiume Fine, corso d'acqua che si origina nelle Colline Pisane nei pressi di Santa Luce (PI). A Sud della foce del fiume Fine troviamo una riserva naturale demaniale, verso l'interno la superficie ha una destinazione prevalentemente agricola, con campi vocati alle

colture cerealicole, del girasole e foraggiere. Dall'altra parte rispetto alla foce del Fiume, invece, per circa 200 metri, troviamo un ex discarica.

A Nord-Est troviamo il centro abitato di Rosignano Solvay ed il polo chimico-industriale che dà il nome alla frazione, "Solvay Chimica Italia S.p.A". Lo stabilimento, presente sul territorio a partire dal 1914, riveste una forte influenza sull'area sia dal punto di vista socio-economico che ambientale. È divenuta importante nel periodo dal primo al secondo dopoguerra per la produzione di tre composti legati al settore degli alcali: il carbonato di sodio, il bicarbonato di sodio e la soda caustica. Dal secondo dopoguerra, con la crisi del settore degli alcali, la fabbrica ha iniziato a differenziare la propria produzione, grazie a una serie di processi, in larga parte interdipendenti, con una vasta gamma di prodotti polimerici come il policloruro di vinile (PVC) e il polietilene (PE), ed altri composti chimici come acqua ossigenata, perborato di sodio, cloruri e clorometani, come la trielina e il tetracloruro di carbonio (Cheli *et al.*,2010).

L'area in analisi è stata fortemente influenzata da circa un secolo di attività dello stabilimento chimico, i cui scarichi, che arrivano in mare grazie a un canale che sfocia poco a Sud della *Punta del Lillatro*, hanno riversato in mare ingenti quantità di "fanghi", i quali sono andati a sovrapporsi alla conformazione originaria della spiaggia.

Alla destra e alla sinistra del fosso di scarico dello stabilimento Solvay, circa 200 metri di spiaggia sono interdetti alla balneazione tramite ordinanza emessa dal sindaco n°324/2010 e 349/2011. Il divieto è stato aggiornato da ARPAT al 30/09/2014 per motivi igienico-sanitari. Le acque antistanti alla spiaggia sono sottoposte a regolare controllo su punti specifici da parte di ARPAT, che verifica mensilmente il rispetto dei parametri previsti dalla normativa europea vigente sulla balneazione.

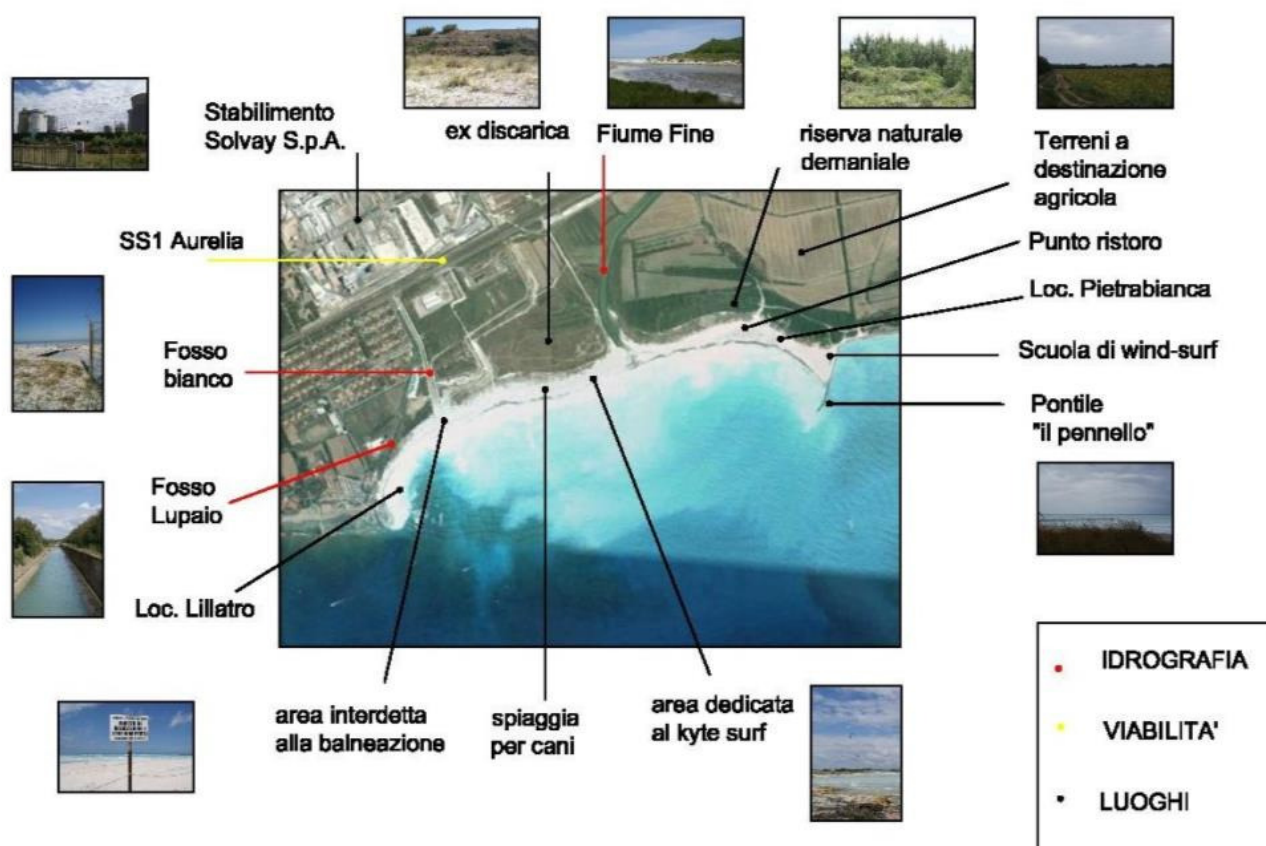


Figura 7: Foto aerea e luoghi principali con foto delle Spiagge Bianche

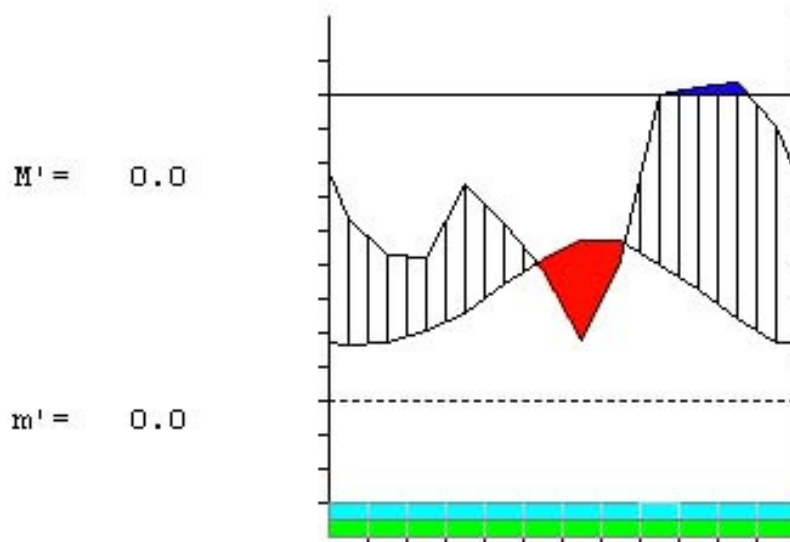
### 2.1.3 Inquadramento climatico

Le caratteristiche climatiche del sito sono state ricavate analizzando l'andamento di temperatura e piovosità della zona, attraverso i dati rilevati dalla stazione meteorologica della vicina località di Collemezzano, Cecina (LI). I valori a disposizione sono riferiti al periodo 1989-2010. La stazione meteorologica si trova 5 km più a Sud in una zona distante 6 km dal mare. Vista l'altitudine leggermente più elevata della stazione, possiamo supporre che i valori registrati siano di circa 0,25°C inferiori rispetto a quelli dell'area di studio (si suppone che la temperatura diminuisca di 0,5°C ogni 100 m di altitudine). I dati rilevati sono stati analizzati tramite il software "CLIMA.exe", sviluppato da Salvador Rivas-Martínez e disponibile gratuitamente sul sito [www.globalbioclimatics.org](http://www.globalbioclimatics.org). Gli indici climatici sono stati ricavati riportando le misure di A) Latitudine, longitudine e altitudine B) Temperatura media mensile C) Precipitazione medie mensile D) Media delle massime mensili E) Media delle minime mensili F) Media della massima assoluta mensile G) Media della minima assoluta mensile.

Station On line		Altitude: 60 m.					
Latitude: 43°21'N		Longitude: 010°31'E					
Temperature observation period.: 0000-0000(0)							
Rainfall observation period....: 0000-0000(0)							
(C°/mm)	Ti	Mi	mi	M'i	m'i	Pi	PEi
Jan	8.3	12.3	4.6	0.0	0.0	53.3	17.7
Feb	8.5	13.1	4.2	0.0	0.0	42.8	18.6
Mar	10.5	15.4	6.0	0.0	0.0	42.1	32.2
Apr	12.8	17.8	7.9	0.0	0.0	63.5	48.2
May	17.3	23.0	11.7	0.0	0.0	52.3	87.0
Jun	20.8	26.7	14.9	0.0	0.0	38.8	118.0
Jul	23.5	29.3	17.4	0.0	0.0	17.6	144.0
Aug	23.7	29.5	18.1	0.0	0.0	41.3	135.8
Sep	20.0	25.4	15.1	0.0	0.0	102.7	90.2
Oct	16.4	21.3	12.4	0.0	0.0	118.6	60.3
Nov	12.0	16.1	8.4	0.0	0.0	136.5	31.5
Dec	8.7	12.6	5.2	0.0	0.0	80.9	18.1
Year	15.2	20.2	10.5	0.0	0.0	790.4	801.7

Tabella 2: Dati ricavati dalla stazione metereologica di Collemezzano, Cecina (LI)

Station On line		60 m.			
P=	790	43°21'N	010°31'E	0/0 y.	
T=	15	Ic= 15.4	Tp= 1825	Tn= 0	
m=	4.6	M= 12.3	Itc= 321	Io= 4.3	



MEDITERRANEAN PLUVISEASONAL-OCEANIC  
 LOW MESOMEDITERRANEAN LOW SUBHUMID

Figura 8: Termoudogramma ricavato dall'elaborazione dati meteo tramite [www.globalbioclimatics.org](http://www.globalbioclimatics.org)

----- BIOCLIMATIC INDEX AND DIAGNOSIS -----					
Thermicity index.....(It):	321				
Compensated thermicity index.....(Itc):	321				
Simple continentality index.....(Ic):	15.4				
Diurnality index.....(Id):	11.9				
Annual ombrothermic index.....(Io):	4.33				
Monthly estival ombrothermic index.....(Ios1):	0.75				
Bimonthly estival ombrothermic index.....(Ios2):	1.25				
Three monthly estival ombrothermic index.....(Ios3):	1.44				
Four monthly estival ombrothermic index.....(Ios4):	1.76				
Annual ombro-evaporation index.....(Ioe):	0.99				
Annual positive temperature.....(Tp):	1825				
Annual negative temperature.....(Tn):	0				
Estival temperature.....(Ts):	680				
Positive precipitation.....(Pp):	790				
N°of	P>4T	P:2T a 4T	P: T a 2T	P<T	T<=0
Years	8	1	2	1	0
Latitudinal Belt...: Eutemperate					
Continentality.....: Oceanic - Low Euoceanic					
Bioclimate.....: MEDITERRANEAN PLUVISEASONAL-OCEANIC					
Bioclimatic Belt...: LOW MESOMEDITERRANEAN LOW SUBHUMID					

**Tabella 3:** indici bioclimatici ricavati mediante analisi dati climatici con [www.globalbioclimatics.org](http://www.globalbioclimatics.org)

L'area rientra nel macrobioclima mediterraneo, termotipo mesomediterraneo inferiore e ombrotipo subumido inferiore. La temperatura media annua è di 20,2°C e l'escursione termica stagionale, differenza tra la temperatura media di Agosto e Gennaio, corrisponde a 15,4°C (23,7– 8,3)°C. Essendo compresa tra i 15 e i 20°C, il clima risulta subcontinentale e ciò mette in evidenza che le stagioni termiche sono abbastanza pronunciate. La presenza del mare contribuisce all'azione mitigatrice del clima, trattenendo il calore in estate e rilasciandolo durante l'inverno. Le escursioni termiche giornaliere ed annuali sono modeste. L'estate è calda e l'inverno è di tipo temperato. La maggior parte dell'anno (da Marzo a Novembre), la temperatura media mensile è superiore a 10°C per cui la stagione calda dura 9 mesi. A Cecina, e similmente a Rosignano, le precipitazioni annuali ammontano a 790 mm. . Le precipitazioni sono abbondanti nel periodo invernale e primaverile, mentre scarseggiano nel periodo estivo. La quantità di pioggia mostra un calo estivo nei mesi di Giugno, Luglio e Agosto. Notiamo nel grafico l'area evidenziata in rosso che rappresenta in periodo xerotermico, cioè il momento in cui la curva della piovosità scende sotto quella della temperatura, che denota la stagione arida, della durata di tre mesi.

#### 2.1.4 Idrografia

Tra i corsi d'acqua che interessano l'area distinguiamo quelli naturali e quelli artificiali creati per la funzionalità dello stabilimento chimico.

Circa a metà dell'area di interesse sfocia il fiume Fine, corso d'acqua della lunghezza di circa 22 km, a regime torrentizio, che nasce nei pressi di Santa Luce (PI), nelle Colline Pisane.

Nonostante la sua modesta lunghezza riesce a approvvigionare il lago di Santa Luce, invaso artificiale per la raccolta delle acque gestito dalla Solvay S.p.A.. Il Fine sfocia ad estuario nel mar

Ligure in località *Pietrabbianca*, dopo avere attraversato i comuni di Santa Luce, Orciano Pisano e Rosignano Marittimo (LI).

Il sistema idrico della stabilimento Solvay è invece formato da tre canali, denominati Fosso Lupaio, Fosso Nuovo e Fosso Bianco. Il Fosso Nuovo confluisce all'interno dello stabilimento e da qui viene prelevata acqua di mare che serve per il raffreddamento dell'impianto. Confluisce nel Fosso Lupaio, dove pure vengono immesse attraverso il collettore C.A.R.T. (Collettore Acque Reflue Trattate), le acque delle unità produttive Clorometani, Elettrolisi e Perossidati. A sua volta, il Fosso Lupaio confluisce nel Fosso Bianco, insieme alle acque dell'unità produttiva Sodiera e Cloruro di Calcio zona. Il Fosso Bianco sfocia in mare poche centinaia di metri più a Sud rispetto all'ingresso del Fosso Nuovo con una portata media oraria di circa 9.300 m<sup>3</sup> (dato Solvay, anno 2012). Tutta l'acqua di mare utilizzata confluisce attualmente nell'unico scarico parziale dell'unità produttiva Sodiera e successivamente nello scarico finale (dati ARPAT, 2014).

Unità produttiva	Portata acqua scaricata anno 2011 (m <sup>3</sup> )	%/totale
Clorometani	88 767	0,13
Elettrolisi	426 689	0,61
Perossidati	83 410	0,12
Sodiera e cloruro di calcio	69 335 689	99,14
<b>TOTALE</b>	<b>69 934 555</b>	<b>100,00</b>

**Tabella 4:** Portate annue degli scarichi delle unità produttive (dati Solvay 2011)

N. scarico	Ricettore dello scarico	Caratteristiche dello scarico	Portata media oraria (m <sup>3</sup> ) 2012	T (°C) (2012)	pH (2012)
<b>SF (Scarico finale)</b>	Mare	acqua industriale, acqua di raffreddamento acqua meteorica	9 318	28,6	8,6

**Tabella 5:** Scarico Generale, denominato SF

Tabelle estratte dal reportage ARPAT 2104 *Qualità delle acque marino costiere prospicienti lo scarico Solvay di Rosignano*.



Sostanze inquinanti	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Fe (ferro)	64,60	44,21	86,39	50,04	64,41	103,72
Ni (nicel)	39,63	45,46	29,97	33,22	54,83	0,80
Mn (manganese)	110,64	111,52	71,90	73,08	104,78	52,74
Hg (mercurio)	0,09	0,17	0,09	0,08	0,10	0,04
Cr (cromo)	14,00	28,35	21,15	14,40	27,52	0,37
Cu (rame)	6,00	5,83	3,50	4,71	1,63	0,50
Zn (zinco)	15,25	13,21	14,87	11,23	15,06	1,62
Pb (piombo)	.	.	2,26	3,84	9,95	1,91
Cd (cadmio)	.	.	0,34	0,23	0,32	0,21
Oli minerali	.	.	29,07	61,91	91,25	64,94
Solventi aromatici	.	.	4,80	3,94	5,20	2,81
Ammoniaca	237,00	239,94	247,66	250,77	146,79	401,64
Solidi sospesi	182.900	202.740	259.204	151.005	133.953	138.882

**Tabella 6:** Sostanze scaricate nel “Fosso Bianco” (SF) in tonnellate/anno, anni 2000-2005 (da Cheli *et al.*, 2010):

### 2.1.5 Pedologia e genesi sedimentologica delle spiagge

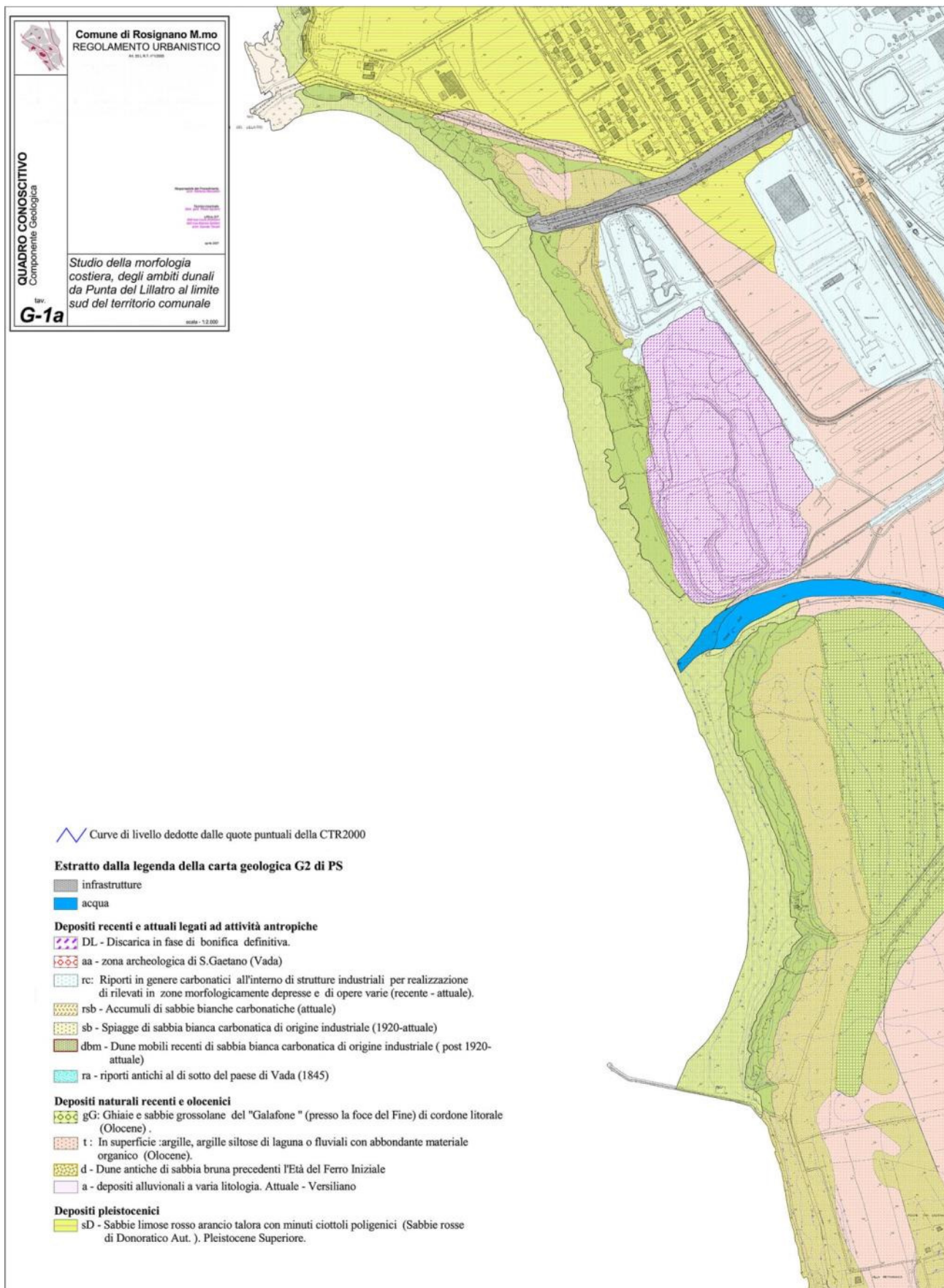
Il litorale del Comune di Rosignano Marittimo si estende sul Mar Ligure per circa 22 km, con direzione prevalentemente N 345°. A partire dal limite Nord, corrispondente alla foce del Torrente Chioma, i primi 11 km fino alla località di *Caletta*, sono formati da una costa alta e rocciosa, gli ulteriori 3 km da una costa bassa ma ancora rocciosa (fino alla *Punta Lillatro*), gli ultimi 8 km dalla spiaggia di Vada (Squarci, 2003).

Secondo la carta *G1-a Studio della morfologia costiera, degli ambiti dunali da Punta del Lillatro al limite sud del territorio comunale* (vedi pagina successiva), estratto dal Regolamento Urbanistico del Comune di Rosignano Marittimo, l'attuale arenile è composto prevalentemente da depositi fini di introduzione recente identificabili come:

- Spiagge di sabbia bianca carbonatica di origine industriale (1920-attuale)
- Dune mobili recenti di sabbia bianca carbonatica di origine industriale (1920-attuale)

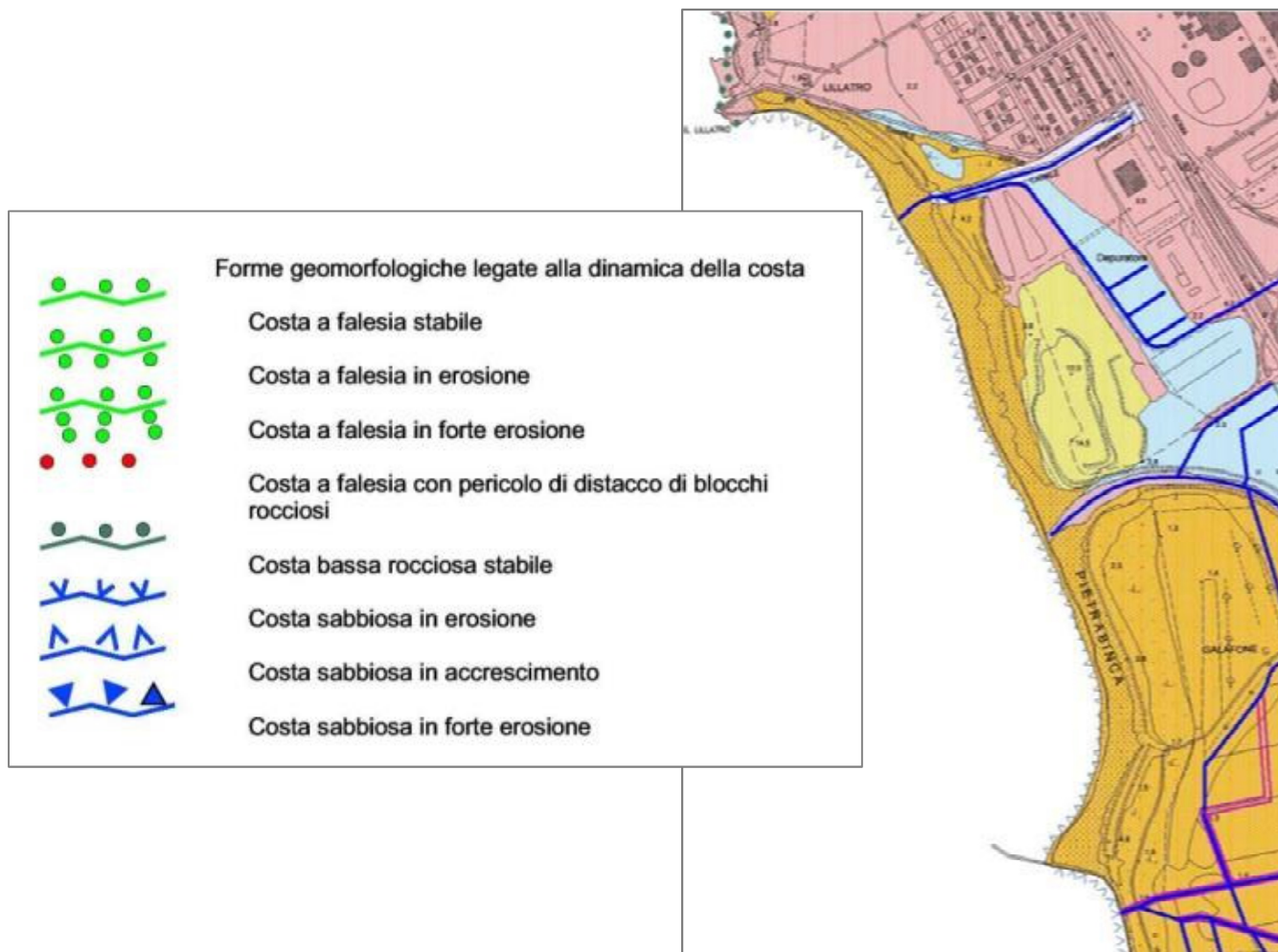
L'origine di questi sedimenti è collegata con la quantità di materiale immessa in mare dal Fosso Bianco. Si stima infatti che siano stati riversati in mare 13.000.000 di tonnellate di solidi sospesi (stimando una portata annua di 200.000 t fino al 2001 e una di circa 130.000 t tra il 2001 e il 2006) (dati ARPAT, 2014). I solidi sospesi, ovvero i residui della lavorazione della soda, non sono inquinanti da punto di vista chimico, poichè costituiti essenzialmente di carbonato di calcio (calcare) e solfato di calcio (gesso) e solfato di magnesio (Cheli *et al.*, 2010). Questi consistenti apporti, costituiti in gran parte da particelle fini, che tendono a rimanere in sospensione più a lungo, e che quindi vengono trasportati a maggior distanza dal punto di immissione, possono giustificare elevati tassi di sedimentazione in tutta la zona (dati ARPAT, 2014).

I depositi fini di recente introduzione derivano dagli scarichi a mare dello stabilimento chimico retrostante e sarebbero andati a sostituire l'originale formazione caratterizzata dalla panchina livornese, una calcarenite di colore giallastro tipica del litorale labronico. Essa è costituita da sabbia medio-grossolana e cementazione calcarea; piuttosto leggera, presenta un aspetto ruvido e molto poroso e contiene fossili marini spesso visibili ad occhio nudo (Sartori, 2004). Tende a formare scogliere piatte/alveolari di cui troviamo alcune tracce solo nella parte settentrionale dell'area, in prossimità della *Punta del Lillatro*.



**Figura 9:** Tavola G1-a del Piano Strutturale del Comune di Rosignano M.mo: Studio della morfologia costiera, degli ambiti dunali da Punta del Lillatro al limite sud del territorio comunale.

Nella *carta geomorfologica* (Tav.G2, dal Regolamento Urbanistico del Comune di Rosignano M.mo) sono segnalate i vari tipi forme legate alla dinamica della costa:



**Figura 10:** Estratto dalla carta geomorfologica, Tav.G2 del Regolamento Urbanistico del Comune di Rosignano M.mo), inerente alle Spiagge Bianche.

Il tratto di costa interessato è quasi l’unico ad essere segnato come “Costa sabbiosa in accrescimento”, in contrasto con gli altri tratti di costa sabbiosa in erosione o in forte erosione.

Le vicende che interessano la fascia litoranea tra *Punta Lillatro* e *Punta del Tesorino*, e delle spiagge bianche in particolare, si presentano molto complesse, sia per le caratteristiche dei fondali antistanti, sia per la pressione antropica che insiste su questo tratto di costa. Questo tratto di litorale è interessato da un trasporto litoraneo diretto verso sud e non esistono input di sedimenti consistenti da parte di corsi d’acqua naturali.

Sul fiume Fine è stata costruita, verso la fine degli anni '50, la diga di Santa Luce che blocca l'apporto solido da parte del bacino; si tratta peraltro di sedimenti prevalentemente pelitici che, date le loro caratteristiche granulometriche, contribuirebbero in maniera ridotta al ripascimento dei

litorale. L'entità del trasporto è assai modesta e stimata in base ad un recente studio dell'ordine di 9000 m<sup>3</sup> /anno. L'unico apporto significativo di sedimenti è dovuto alle discariche di sabbie carbonatiche di origine industriale prodotte dallo stabilimento Solvay mediante il canale di scarico industriale, il Fosso Bianco (Squarci,2003). È stato calcolato che, nel corso degli anni, a partire dal 1940 ad oggi, lo stabilimento Solvay abbia riversato in mare quasi 13.000.000 di tonnellate solidi sospesi (stimando una portata di 200.000 t/anno fino al 2001 ed una di circa 130.000 tra 2001 e 2006). La maggior parte di questi consistenti apporti è composto da particelle fini (carbonati), che tendono a rimanere in sospensione e possono essere trasportati e depositarsi anche a distanze consistenti rispetto al punto di immissione, giustificando tassi elevati di sedimentazione in tutta la zona. Infatti, se consideriamo che in altre zone del Tirreno, in un ambiente di piattaforma continentale con sedimentazione continua e indisturbata, è stato recentemente stimato (Iorio *et al.* 2007) un accumulo di sedimenti inferiore a 0,15 cm/anno, il contributo dello scarico Solvay dovrebbe essere da solo equivalente a tutti gli altri apporti naturali, comportando un accumulo di 0,3cm/anno, come precedentemente indicato. Inoltre, il maggior tasso di sedimentazione (>0,8 cm/anno) stimato nel periodo 1940-1987, potrebbe essere dovuto ad un maggior carico di materiali in sospensione rilasciato in mare dallo scarico Solvay in quel periodo (dati ARPAT, 2014). Le sabbie bianche tendono a spostarsi verso Sud, dove vengono trattenute per la gran parte dal pennello di *Pietrabbianca*; solo le frazioni più fini raggiungono località più a sud, come *Bonaposta* o *Punta del Tesorino*.

## 2.2 Metodologia adottata

L'osservazione dello stato delle comunità psammofile delle *spiagge bianche* è stato verificato mediante:

- 1- studio della formazione dell'ambiente mediante analisi diacronica;
- 2- analisi delle caratteristiche del substrato di crescita delle piante in vari punti significativi dell'area, correlati con i vari popolamenti vegetali (analisi pedologiche);
- 3- studio della vegetazione dal punto di vista fitosociologico.

### 2.2.1 Analisi diacronica

L'analisi diacronica, da /diakro'nia/, termine formato con il prefisso greco δια-, dia-, che suggerisce differenziazione, e il sostantivo χρόνος, chronos, "tempo", indaga, in questo caso, l'evoluzione morfologica del litorale durante il tempo. I dati di riferimento all'area di studio fanno supporre che ci siano state significative modificazioni nell'area nel corso dell'ultimo secolo. Per effettuare l'analisi abbiamo messo a confronto tra loro vario tipo di materiale iconografico di epoche diverse, soprattutto materiale di tipo cartografico e fotografico,

a disposizione sul sito della regione Toscana, settore di informazione geografica GEOscopio (<http://www.regione.toscana.it/-/geoscopio>), i particolare dai portali:

- Cartoteca e scarico Open Data geografici;
- Fototeca ;
- Castore: Catasti Storici Regionali .

Come supporto e integrazione del materiale iconografico a disposizione, abbiamo ricercato in letteratura tutti i lavori pregressi a disposizione inerenti al territorio.

### ELABORAZIONE DATI:

L'elaborazione fotografica e cartografica è stata fatta grazie all'utilizzo dei software MapInfo® e qGis®.

### 2.2.2 Analisi della vegetazione

Un rilievo fitosociologico è la descrizione standardizzata di un popolamento elementare e della stazione in cui si trova. I rilievi sono stati condotti seguendo il metodo *Braun-Blanquet*. L'area di rilievo può avere qualsiasi forma e dipende da come la fitocenosi è disposta sul terreno (Ubaldi, 2003). Essendo in area costiera l'area di rilievo scelta ha dimensioni contenute ed avrà forma stretta e allungata rispettando l'assetto della zonazione rispetto al mare della vegetazione dunale (vedi capitolo introduttivo).

Il rilievo fitosociologico consiste nell'annotazione di una serie di dati così suddivisi:

intestazione del rilievo: comprende il numero d'ordine del rilievo e la località;

dati stazione: servono a inquadrare la tipologia del popolamento e riguardano altitudine e esposizione della stazione, il substrato litologico e pedologico, la situazione geomorfologica, il tipo di uso del sito e della vegetazione;

fisionomia del popolamenti: fissata da una breve dicitura, riguarda l'aspetto della vegetazione a cui si può unire anche una breve indicazione ecologica;

stratificazione del popolamento (struttura): viene definita annotando gli strati esistenti e per ciascuno di essi il ricoprimento espresso in percentuale, rispetto all'area di rilievo, e l'altezza in metri o centimetri;

la stesura dell'elenco floristico;

indici abbondanza dominanza: corrispondono alle 6 classi di una scala di valutazione e sono rappresentati dai seguenti numeri e da un simbolo 5,4,3,2,1,+ . Per le prime quattro classi la valutazione delle specie è intesa in termini di ricoprimento rispetto alla superficie di rilievo (dominanza), per le ultime tre si tiene conto anche dell'abbondanza, cioè del numero individui. La valutazione è da scrivere accanto al nome di ciascuna specie e viene data alla fine dell'esecuzione del rilievo (Ubaldi, 2003)

Invece della scala utilizzata da Braun-Blanquet, per i rilievi è stato preferito utilizzare la scala di Pignatti, espressa in 7 valori percentuali che esprimono la copertura, di cui riportiamo i valori:

5: per coperture tra 80 e 100 %;

4: per coperture tra 60 e 80 %;

3: per coperture tra 40 e 60 %;

2: per coperture tra 20 e 40 %;

1: per coperture tra 1 e 20 %;

+: per coperture trascurabili;

r: per specie rare con pochissimi individui e di copertura trascurabile.

Le specie riscontrate nei rilievi fitosociologici sono state classificate tramite l'utilizzo della guida "Flora d'Italia" di Pignatti (1982) integrata, per quanto riguarda gli aggiornamenti nomenclaturali da "An Annotated Checklist of the Italian vascular Flora" (Conti *et al.*, 2005)

#### ELABORAZIONE DEI DATI:

I dati vegetazionali rilevati sono stati sottoposti alla procedura di analisi multivariata mediante il programma SYN-TAX 2000 (Podani, 2001). La matrice di 31 specie x 32 rilevamenti è stata analizzata secondo la Cluster Analysis, applicando l'algoritmo UPGMA e utilizzando il coefficiente di similarità di Bryan/Curtis.

Nella pagina successiva abbiamo riportato sull'ortofotocarta (presa dal portale GEOscopio, Regione Toscana) inerente l'area di studio con i punti di campionamento sabbie e nei riquadri ingranditi i punti corrispondenti ai rilevamenti fitosociologici.





Figura 11: Rilevamenti fitosociologici riportati su ortofotocarta

### 2.2.3 Analisi pedologiche

La particolarità del substrato ha portato ad indagare sulle sue caratteristiche e su come esse possano influire sull'attività biologica e l'andamento dei popolamenti vegetali che caratterizzano le spiagge bianche. Il sistema suolo-radici è molto importante poiché influenza le capacità della pianta di assorbire acqua e nutrienti. I suoli sono raramente omogenei, quasi sempre cambiano sia lateralmente che in profondità (Lulli, 2010). Dobbiamo inoltre ricordare che non ci troviamo su un suolo assimilabile ad un terreno agricolo, ma in un ambiente dunale, prevalentemente costituito da sabbia, in termini di tessitura. Inoltre ci è sembrato interessante indagare sul chimismo di questa spiaggia, vista la sua atipicità rispetto alle altre spiagge del litorale toscano.

**Campionamento:** Per le analisi del terreno sono stati prelevati vari campioni di sabbia in 8 punti diversi dell'area di studio, numerati in ordine crescente da Nord verso Sud rispetto al punto di prelievo, a due diversi livelli di profondità: uno superficiale, con suffisso A, compreso tra 0 e i primi 10 cm dal livello del suolo, e uno più profondo, con suffisso B, in corrispondenza dell'area esplorata dalle radici, dai 20 ai 30 cm di profondità dal livello di suolo.

I campioni sono stati prelevati in data 31 Ottobre. Nell'immagine sottostante sono evidenziati i punti dell'area dove sono stati effettuati i vari campionamenti.



**Figura 12:** Punti di campionamento presi per le analisi del substrato, riportati su ortofotocarta

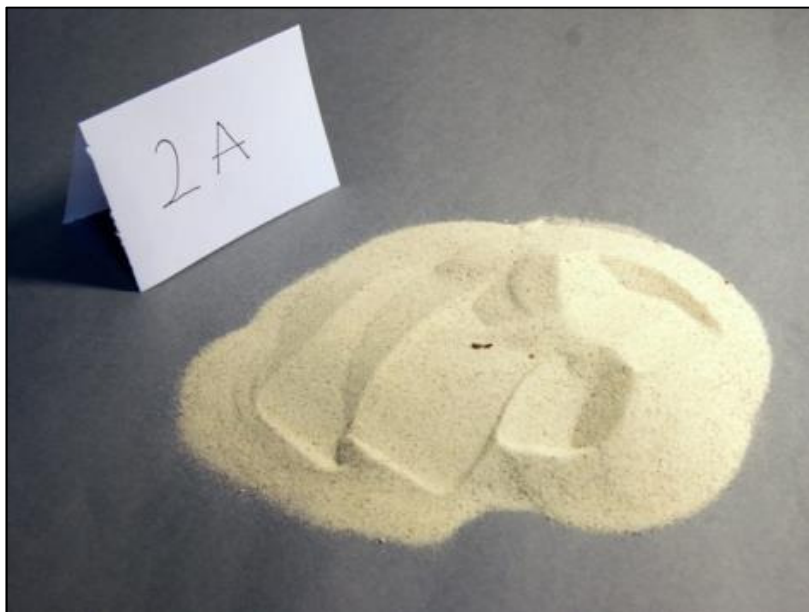
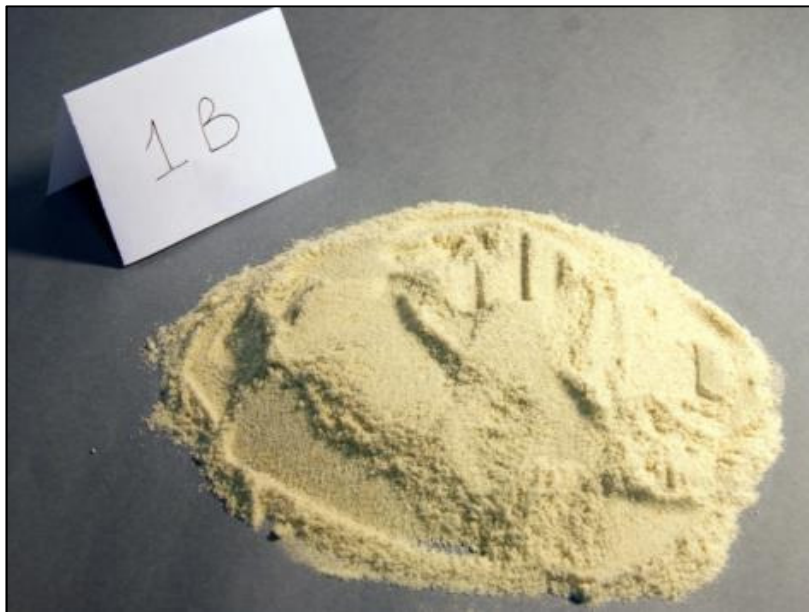
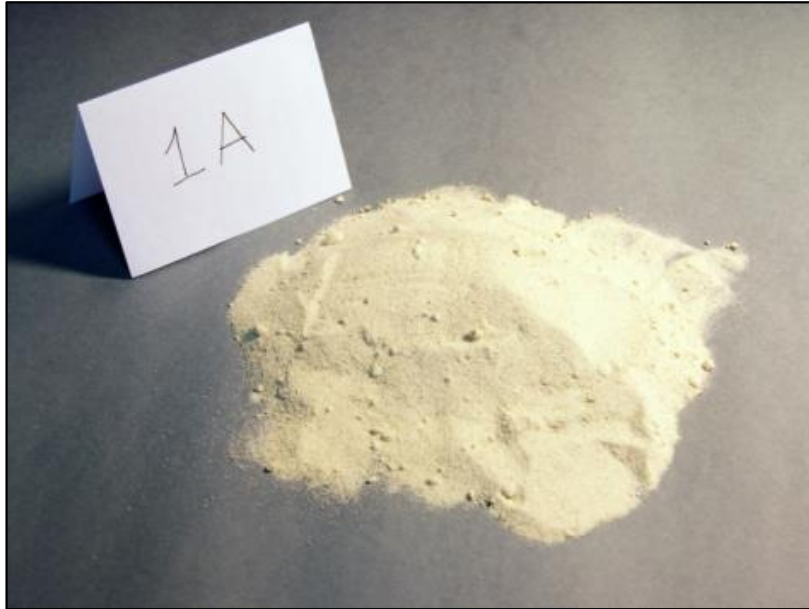
I plot di campionamento sono stati scelti nei punti ritenuti più significativi per rappresentare le varie fitocenosi presenti sull'area, ed in particolare:

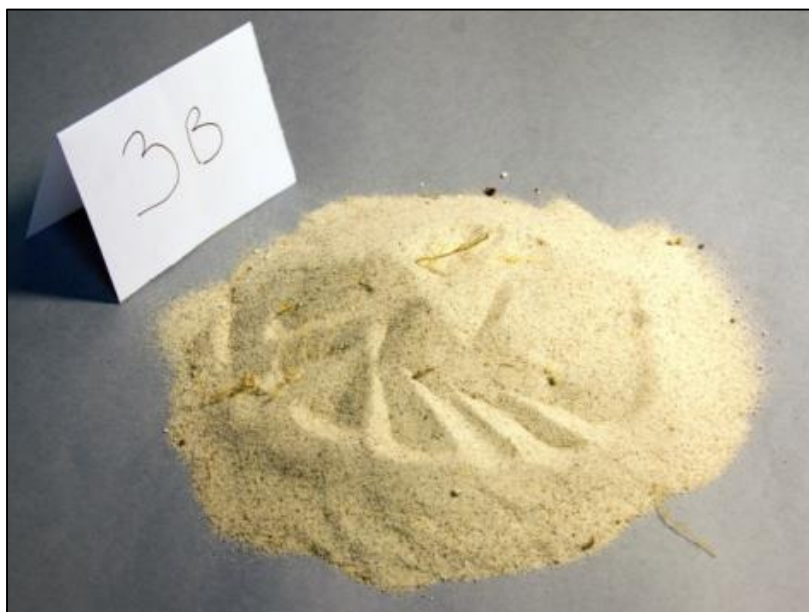
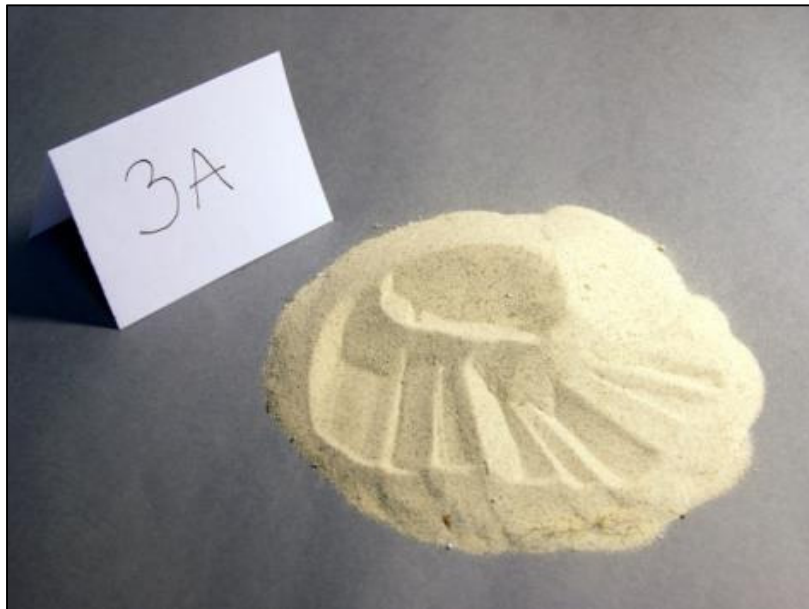
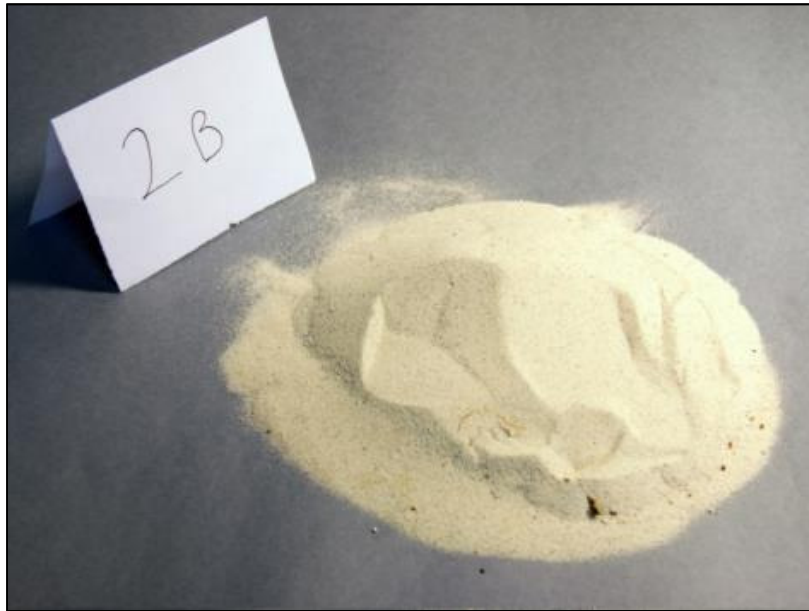
1) Fascia afitoica naturale; 2) Duna embrionale; 3) Duna mobile 4) Duna consolidata; 5) *Cacumen* dunale 6) Bagnasciuga – zona afitoica naturale; 7) *Cacumen* dunale 8) *Cacumen* dunale.

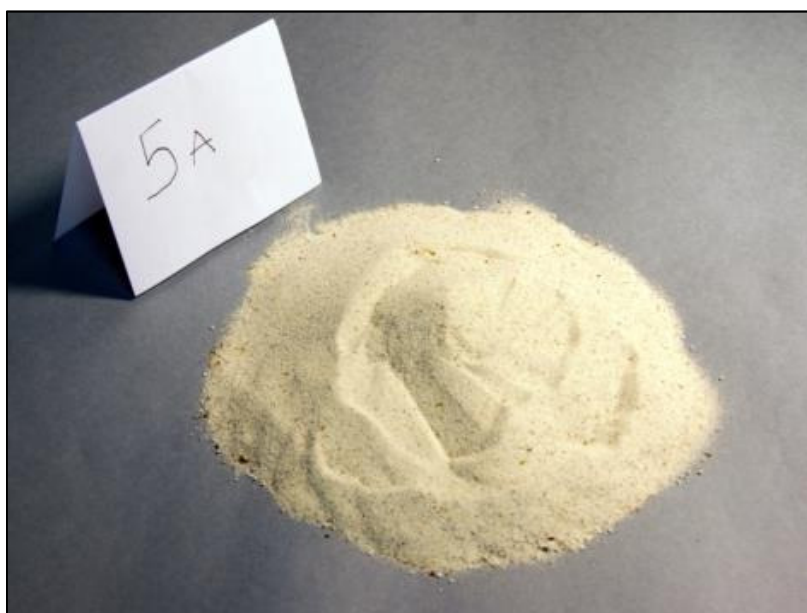
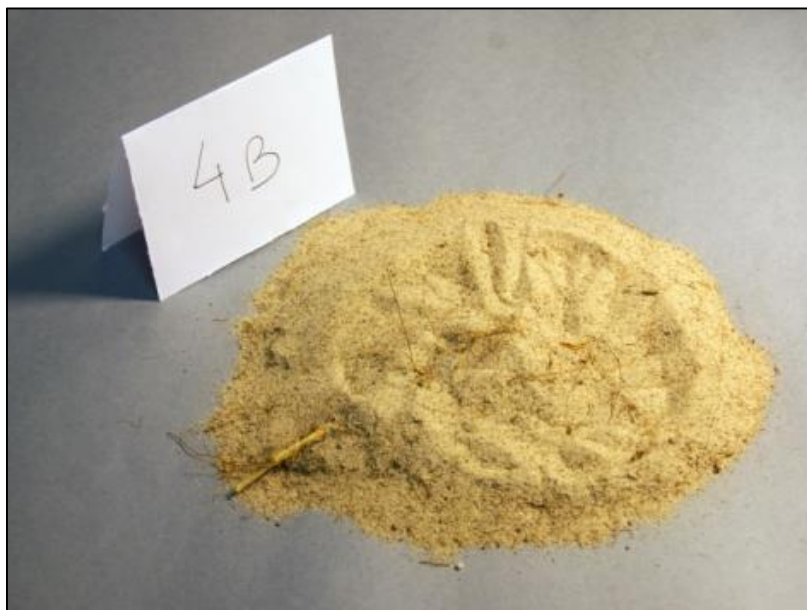
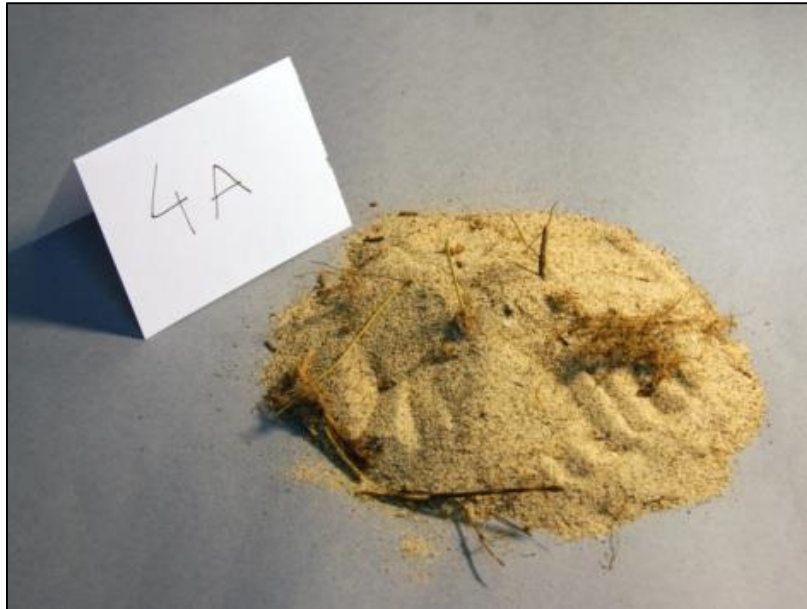
Lo studio delle caratteristiche chimico- fisiche dell'area di studio ha avuto essenzialmente due funzioni:

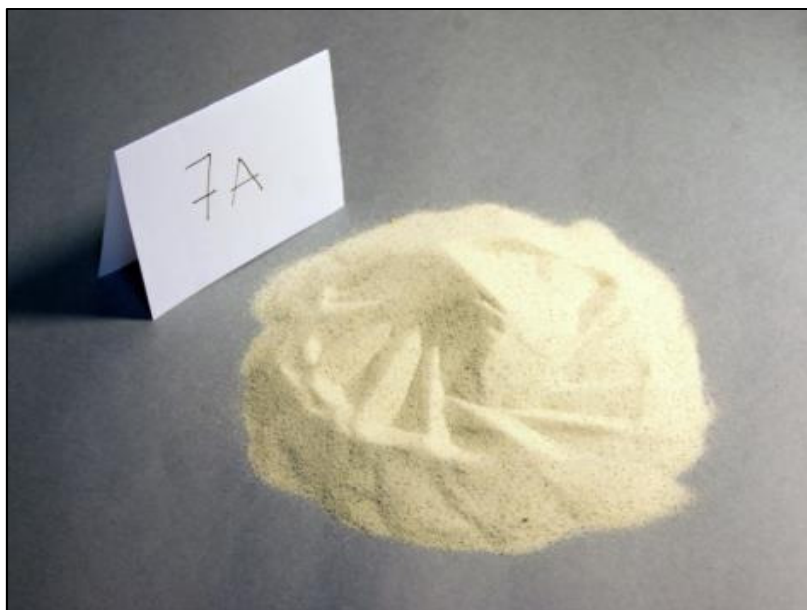
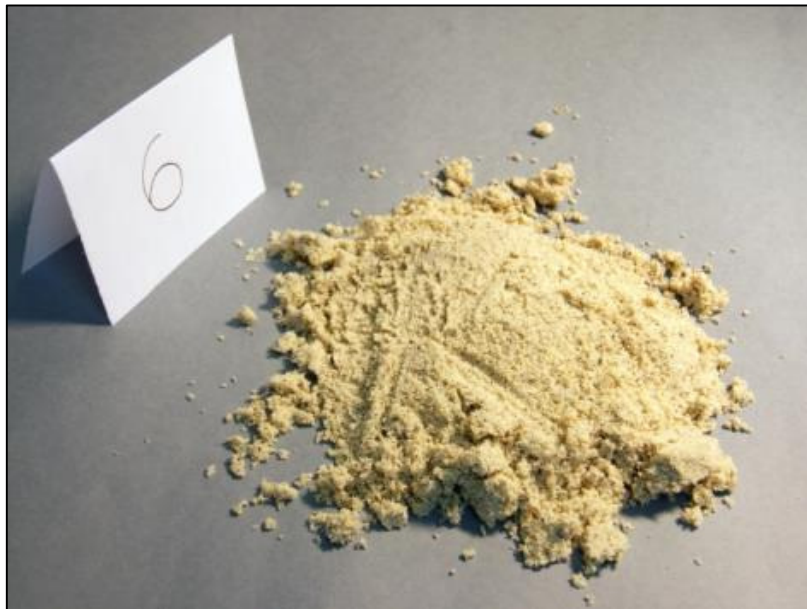
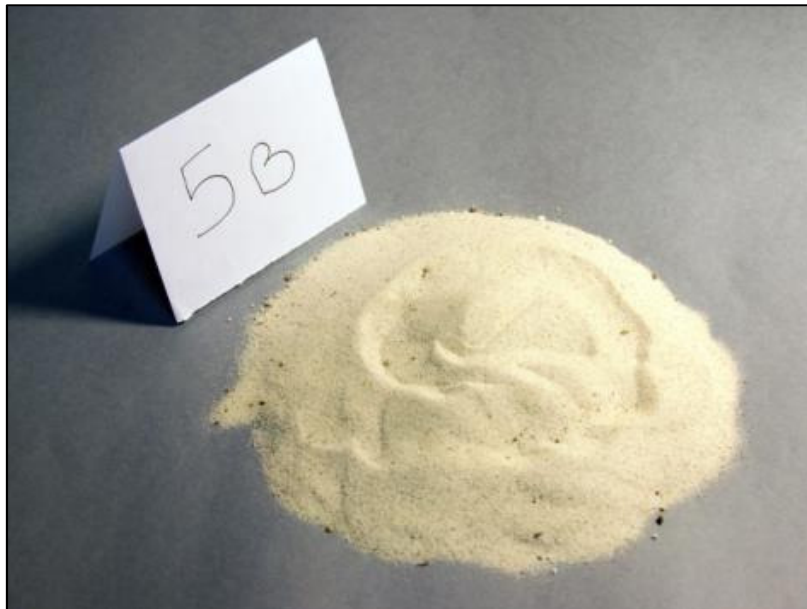
- La prima è stata quella di verificare il chimismo della spiaggia, per verificare l'origine dei sedimenti.
- La seconda è stata per valutare eventuali variazioni a livello di substrato da un habitat all'altro, che abbiano in qualche modo influenzato la distribuzione della vegetazione.

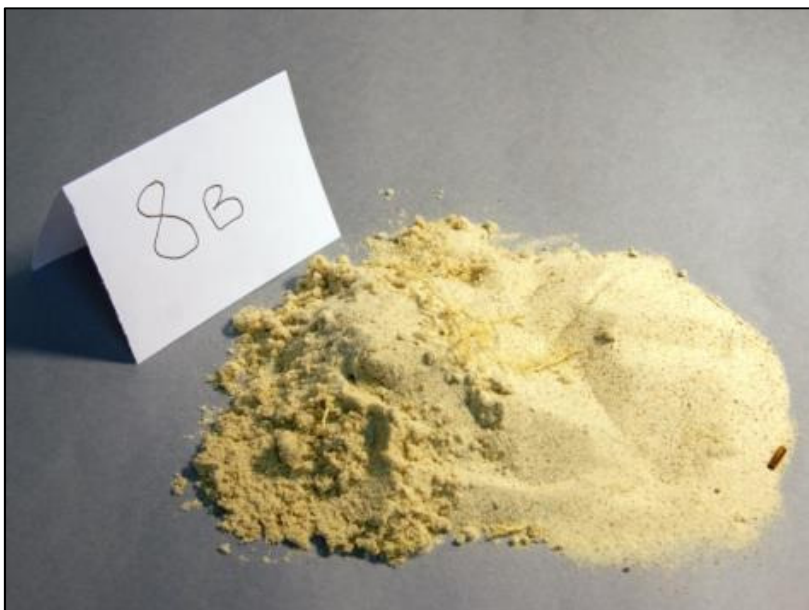
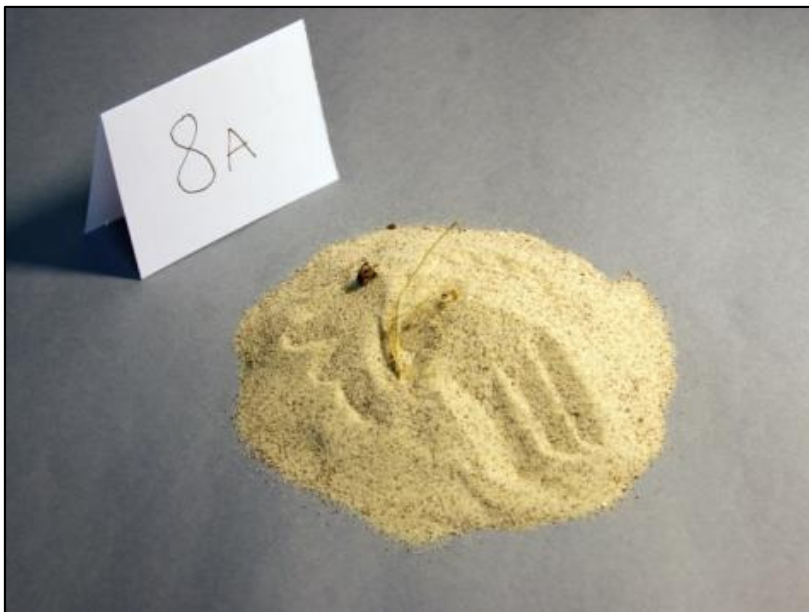
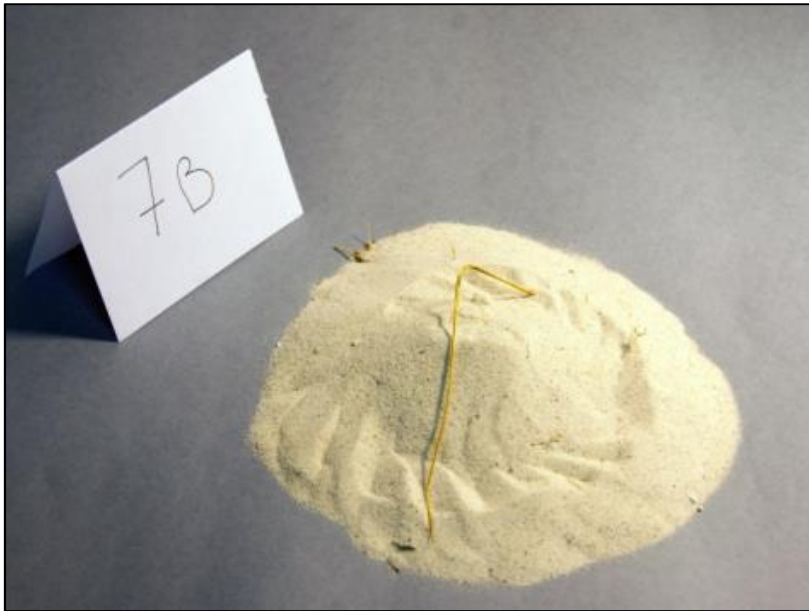
Di seguito sono riportate le foto eseguite ai campioni in laboratorio prima dell'inizio delle analisi.













### Tipologia di analisi svolte:

- **Caratterizzazione granulometrica** (mediante Metodo ufficiale n° II.3. Supplemento Ordinario G.U. n°248 del 21.10.1999);
- **Calcare totale** (Metodo Ufficiale n° V.1. Supplemento Ordinario G.U. n°248 del 21.10.1999. Posizione internazionale: ISO 10693);
- **pH** (Metodo Ufficiale n°III.1. Supplemento Ordinario G.U. n°248 del 21.10.1999. Posizione internazionale: ISO 10390);
- **Conducibilità elettrica** (Metodo Ufficiale n°IV.1. Supplemento Ordinario G.U. n°248 del 21.10.1999. Posizione internazionale: ISO 11265);
- **Contenuto di sostanza organica** .( Metodo per incenerimento, utilizzato per i substrati di crescita dei tappeti erbosi, con caratteristiche più vicine rispetto a un suolo agricolo tradizionale).

Tutte le analisi sono state svolte presso il laboratorio di “Produzioni agrarie ecosostenibili e Fertilità chimica e biologica del suolo”, palazzina Piagge B06, Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Agro-ambientali, Università di Pisa, sotto la guida del Dott. Viti e della Dott.ssa Piccotino.

### Caratterizzazione granulometrica

La granulometria è determinata mediante setacciatura a secco del campione a mezzo di vagli a luci diverse. I vagli sono stati disposti in ordine di grandezza della maglia decrescente. Le dimensioni del diametro della luce dei vagli scelte sono state:

**2mm | 1mm | 0,5mm | 0,250mm | 0,150mm | 0,106mm | 0,075mm | 0,053mm | fondo(<0,053mm).**

**Quantità di campione usata per ogni ripetizione (massa): 50,0 gr.**

Alla fine i dati sono stati assemblati, rappresentati mediante istogramma e confrontate le classi granulometriche con riferimento alla scala internazionale qui riportata(ISO 14688-1).

Name			Size range (mm)	Size range (approx. in)	
Very coarse soil	Large boulder	LBo	>630	>24.8031	
	Boulder	Bo	200 – 630	7.8740 - 24.803	
	Cobble	Co	63 – 200	2.4803 - 7.8740	
Coarse soil	Gravel	Coarse gravel	CGr	20 – 63	0.78740 - 2.4803
		Medium gravel	MGr	6.3 – 20	0.24803 - 0.78740
		Fine gravel	FGr	2.0 - 6.3	0.078740 - 0.24803
	Sand	Coarse sand	CSa	0.63 - 2.0	0.024803 - 0.078740
		Medium sand	MSa	0.2 - 0.63	0.0078740 - 0.024803

		Fine sand	FSa	0.063 - 0.2	0.0024803 - 0.0078740
Fine soil	Silt	Coarse silt	CSi	0.02 - 0.063	0.00078740 - 0.0024803
		Medium silt	MSi	0.0063 - 0.02	0.00024803 - 0.00078740
		Fine silt	FSi	0.002 - 0.0063	0.000078740 - 0.00024803
	Clay	Cl	≤0.002	≤0.000078740	

**Tabella 7:** Classificazione in classi granulometriche a seconda del diametro delle particelle di terreno.

### **Determinazione del “calcare totale”**

Il calcare totale viene calcolato mediante determinazione gas-volumetrica della CO<sub>2</sub>, facendo interagire il campione con acido cloridrico. La misurazione è stata effettuata mediante calcimetro di Scheibler .

Per ogni ripetizione sono stati usati **0,2 gr** di campione con **5 mL di HCl**, che sono state trasferite nel calcimetro. Devono essere letti anche i valori della pressione e della temperatura al momento dell'analisi. Si riportano i mL svolti a condizioni gas-volumetriche ideali:

$$v_o = \frac{v \cdot P_o \cdot 273}{T_o \cdot 760}$$

dove **v** è il numero di mL di CO<sub>2</sub> svolti, **T<sub>o</sub>** la temperatura assoluta e **P<sub>o</sub>** la pressione atmosferica in mm/Hg diminuita dalla tensione del vapor d'acqua alla temperatura **T<sub>o</sub>**.

La quantità di carbonati totali, espressi come carbonato di calcio, risulta:

$$\text{CaCO}_3\% = \frac{V - 0,001976 \cdot 2,2743 \cdot 100}{P} = \frac{0,4487}{P}$$

dove 0,001976 rappresenta il peso di 1 mL di anidride carbonica a condizioni normali, 2,2743 indica il fattore di conversione da anidride carbonica a carbonato di calcio e P il peso del terreno ideale. Altrimenti possono essere impiegate appropriate tabelle che danno direttamente la quantità di carbonato di calcio presente in funzione dei mL di CO<sub>2</sub> svolti alla temperatura e alla pressione desiderata (Lotti e Galoppini, 1980).

### **Determinazione del grado di reazione (pH)**

Il pH è stato determinato per via potenziometrica, tramite pH-metro con compensazione della temperatura. Sono stati trasferiti **10 gr** del campione in un contenitore da 50 mL, poi aggiunti **25**

**mL** di H<sub>2</sub>O (soluzione 1:5). Il campione è stato agitato meccanicamente per due ore. La sospensione è stata fatta sedimentare per alcuni minuti e poi è stato introdotto il sistema elettrodo nel surnatante e rilevato il pH. Il grado di reazione viene espresso come unità di pH, in cifre.

### **Determinazione della conducibilità elettrica**

Il metodo consiste nella determinazione diretta (strumentale) della conducibilità elettrica in estratti acquosi. È stato utilizzato un estratto a rapporto acqua/soilo **2:1**. L'estratto acquoso è stato preparato mediante aggiunta di acqua deionizzata al campione (**25 mL/12,5 gr**), agitata meccanicamente la soluzione per due ore e lasciata a riposo per una notte. Successivamente, gli estratti sono stati filtrati con filtro carta Whatman® n°42. Utilizzando l'apparecchiatura (conduttivimetro con cella di misura) che fornisce direttamente i valori riportati a 25°C, è sufficiente rilevare il valore accertato, esprimendolo in dS/m.

Tutti i suoli sono caratterizzati dalla presenza di sali solubili. La salinità viene determinata come misura indiretta della conducibilità elettrica della soluzione acqua-campione di terreno. I suoli salini possono essere classificati in funzione del contenuto salino totale e della percentuale di sodio presente sulla superficie degli scambiatori in:

- **salini**, se il valore della conducibilità elettrica, misurata sull'estratto acquoso del suolo a saturazione (pasta satura), è pari o superiore a 4 dS/m;
- **sodici**, se la percentuale di sodio scambiabile risulta uguale o superiore a 15 ed il contenuto di Sali solubili è poco elevato (<4 dS/m);
- **salino-sodici**, se la di sodio scambiabile (> 15) e di conducibilità elettrica (>4 dS/m) risultano entrambi elevati.

<b>Tipo di suolo</b>	<b>Conducibilità elettrica (dS/m)</b>	<b>ESP</b>	<b>pH</b>
Salino	>4	<15	<8,5
Sodico	<4	>15	>8,5
Salino-sodico	>4	>15	<8,5

**Tab.9:** Classificazione della salinità dei suoli (Violante e Adamo, 2010)

### **Analisi standard del Contenuto di Sostanza Organica – Metodo per incenerimento.**

Il contenuto di sostanza organica è determinato per perdita per incenerimento.

Sono stati pesati circa 20 gr per ogni ripetizione, posti ognuno in un crogiuolo di ceramica di peso noto (tara), portati a 105 °C in stufa per eliminare completamente il contenuto di umidità e pesati. Dopo di che sono stati messi in muffola ad una temperatura costante di 440°C per almeno 12 ore,

fatti raffreddare e nuovamente pesati. A 440°C il contenuto totale di sostanza organica si incenerisce e viene calcolato quindi per differenza di peso (Storer, 1984).

Espressione del risultato:

$$\text{Sostanza organica \%} = \frac{(W_s - W_c) - (W_a - W_c)}{(W_s - W_c)} \times 100$$

dove:

**Ws**= peso crogiuolo + campione secco in stufa

**Wc**= peso del crogiuolo

**Wa**= peso del crogiuolo + campione incenerito

ELABORAZIONE DATI:

Tutti i dati ottenuti sono stati assemblati e analizzati mediante il programma Microsoft Excel®, di Microsoft Corporation.

### 3.RISULTATI

#### 3.1 Analisi diacronica

I risultati di questa sezione sono stati ottenuti per sovrapposizione georeferenziata, confrontando la mappa IGM (Istituto Geografico Militare) del 1909, le foto aeree del 1954 e 2013 e riportate sulla base cartografica della CTR (Carta Tecnica Regionale), fornite dal portale di informazione geografica della Regione Toscana, GEOscopio.



**Figura 13:** Progressione della linea di costa dal 1909 ad oggi, riportata tramite analisi ortofotocarte e mappa del catasto leopoldino, riportata su CTR, regione Toscana.

È possibile osservare come, nell'area di studio, la linea di costa sia avanzata significativamente dal 1909 ad oggi. Come avevamo già visto nei documenti del Comune di Rosignano, riportati nel secondo capitolo di questa tesi, le *spiagge bianche* sembrano essere l'unico tratto di costa in avanzamento in contrasto con le spiagge adiacenti, che sono in erosione (vedi cap.2). La linea di costa è progredita mediamente di circa 80 metri lineari rispetto a quella del 1909, e la velocità di avanzamento è stata parallela all'attività della Solvay. Infatti, lo stabilimento chimico si è insediato sul territorio a partire dal 1914 e, dopo un periodo di assestamento iniziale e passata la l'influenza

negativa della grande crisi economica del 1929, assistiamo a una costante crescita di tutti i settori dell'industria (Cheli *et al.*, 2010). È in questo periodo che inizierebbe il forte input di sedimenti carbonatici di origine industriale a formazione della spiaggia.

Inoltre, secondo i dati ARPAT, il maggior tasso di sedimentazione (>0,8 cm/anno) sarebbe stato stimato nel periodo 1940-1987, e potrebbe essere dovuto ad un maggior carico di materiali in sospensione rilasciato in mare dallo scarico Solvay in quel periodo. La diminuzione del tasso di sedimentazione potrebbe essere legata all'introduzione Legge Merli, la quale regolamenta gli scarichi industriali, con una riduzione della quantità di solidi sospesi immessi in mare, oltre che un controllo più stretto per la tipologia di sostanze contenute negli scarichi, in riferimento a metalli pesanti e sostanze nocive per l'uomo e per l'ambiente. In totale, ARPAT (2014) stima che siano stati riversati in mare 13.000.000 di tonnellate di solidi sospesi (stimando una portata annua di 200.000 t fino al 2001 e una di circa 130.000 t tra il 2001 e il 2006).

Il quantitativo di sedimenti emessi dallo scarico Solvay è nettamente superiore con il quantitativo di sedimenti immessi in mare dal fiume Fine. Esso è, infatti, un piccolo fiume a regime torrentizio la cui entità di trasporto è assai modesta e stimata in base ad un recente studio dell'ordine di 9000 m<sup>3</sup>/anno (18.000 t/annue convertendo per un fattore medio di peso specifico 2000 kg/m<sup>3</sup>, ndr) (ARPAT,2014). La natura dei sedimenti che il fiume trasporta dovrebbe essere di natura diversa rispetto alla maggior parte dei sedimenti presenti sull'area, visto che il corso d'acqua attraversa percorre la formazione argillosa delle Colline plioceniche Pisane (vedi Carta Geologica d'Italia, ISPRA).

I sedimenti sono trattenuti a Nord dalla Punta del Lillatro, formazione naturale a scogliera alveolare, e a Sud dal pennello di Pietrabianca, costruito nel 1966 per evitare l'insabbiamento del Pontile Vittorio Veneto, eretto nel 1947, entrambi costruiti da Solvay (Squarci, 2003). Il pontile ed il pennello provocano fenomeni di erosione sottoflusso e accumulo sopraflusso.

Più complicato è ricostruire come fosse la spiaggia prima della formazione a sabbia carbonatica che conosciamo oggi. Possiamo immaginarci che la formazione a scogliera alveolare formata dalla *panchina livornese*, con una spiaggia di dimensioni più contenute nei pressi del fiume Fine, il quale, prima della costruzione dell'invaso di Santa Luce, aveva portate maggiori. Per avere un'idea citiamo un passo tratto dal libro "Sale e pietra", di Celati e Gattini (1993), sui primi anni di insediamento dello stabilimento Solvay a Rosignano:

"C'è una spiaggia solitaria, strisce e dune di sabbia e grappoli di scogli che si frantumano, poi, in banchi di esili guglie a fior d'acqua, come tappeti di chiodi, e laggiù, l'argine del Fine fra i canneti e

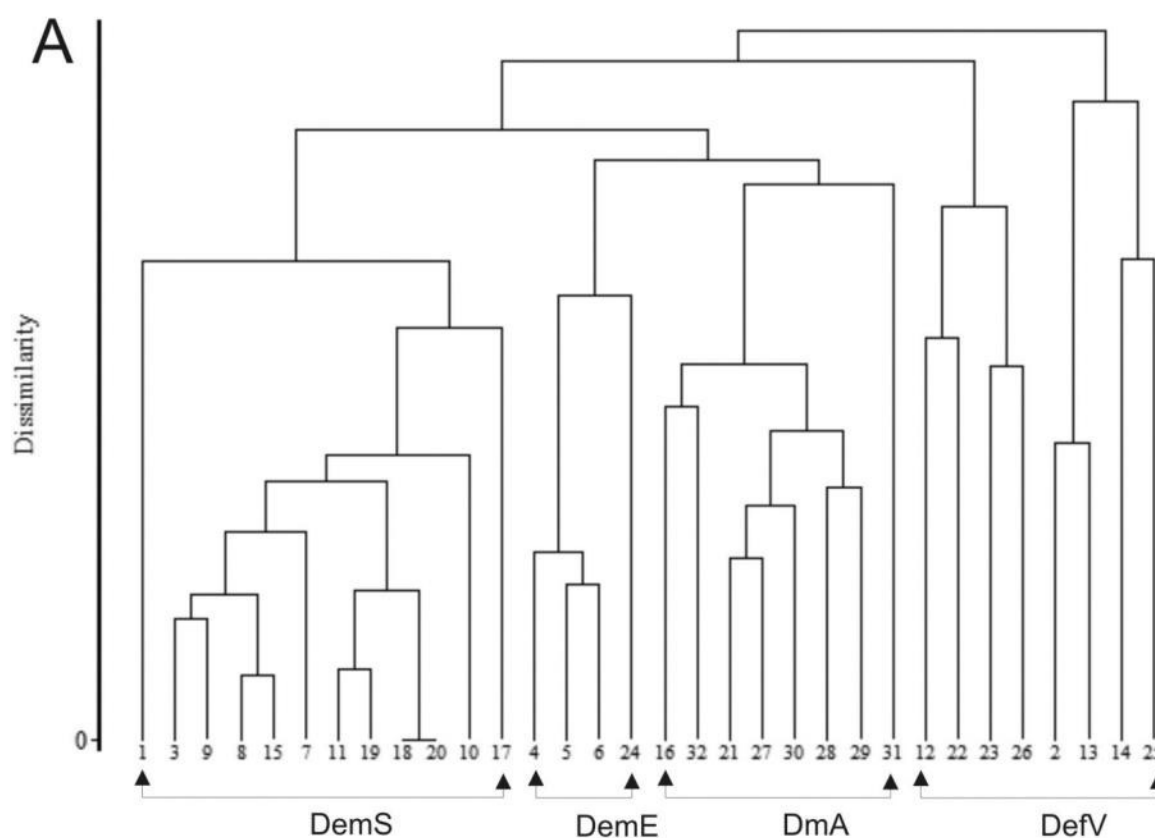
la foce in parte occlusa dalla rena. (...) Intorno distese di campi brulli e desolati, in prossimità della costa, più fertili all'interno, e pochi alberi e file di tamerici ed alti silenzi. (...) La strada ferrata e quella litoranea rappresentano segni nuovi di una terra antica, saldamente incisi nello spazio aperto di una testimonianza del rinnovamento. Si intersecano con l'andamento disordinato di alcuni botrelli, che serpeggiano verso la costa. Qui sorgerà la nuova fabbrica.”

Le spiagge bianche sono quindi una spiaggia di formazione neo-genica, quasi completamente artificiale, il cui sviluppo e il suo destino sono legati all'attività dello stabilimento stesso. Nel prossimo paragrafo verranno riportati i risultati delle analisi dei sedimenti, i quali, sono costituiti per la maggior parte da carbonato di calcio, avvalendo la tesi che le spiagge bianche sono costituite prevalentemente da scarti industriali.

### 3.2 Analisi fitosociologiche

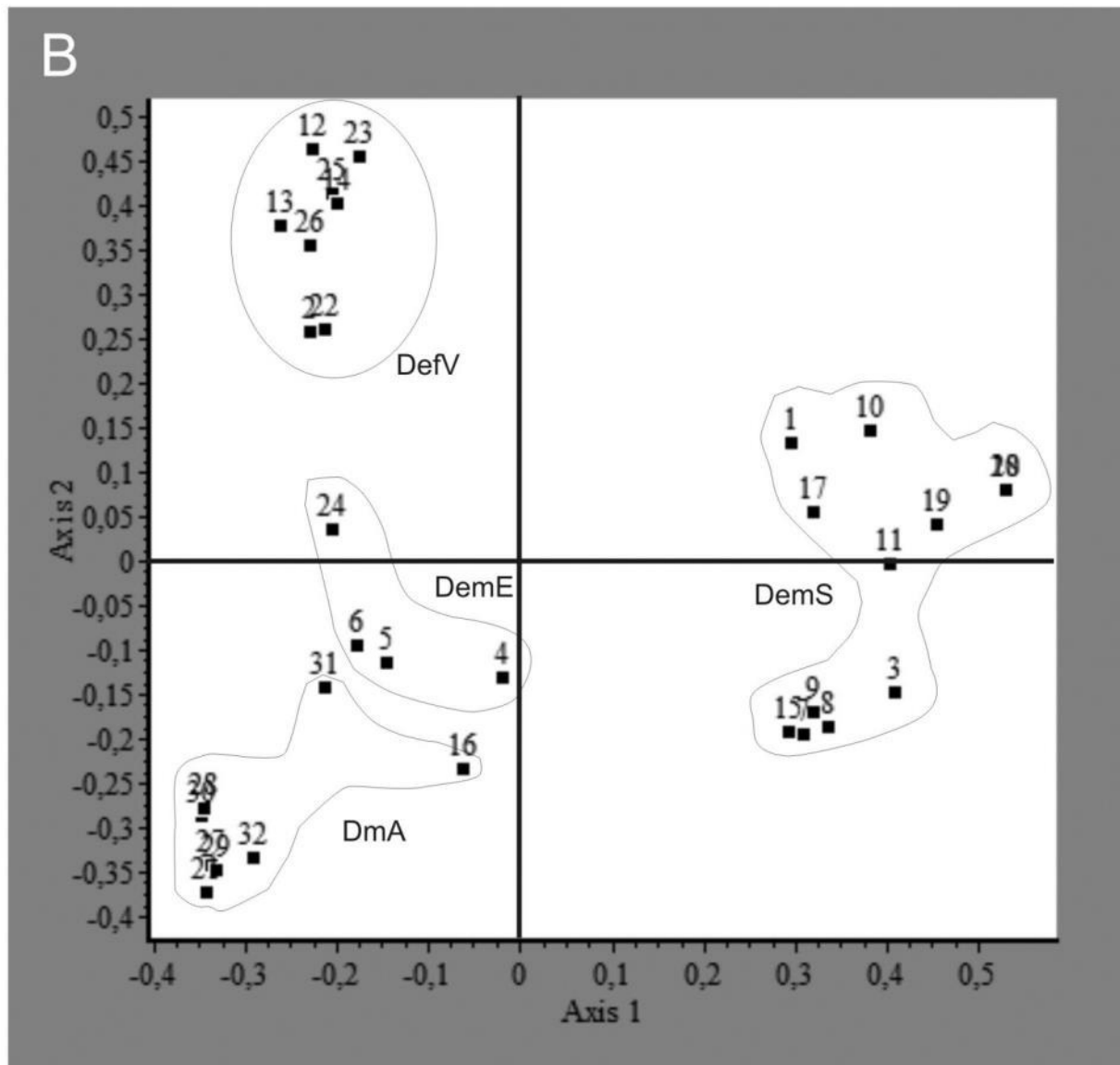
Le caratteristiche vegetazionali dell'area possono essere definite integrando i rilievi fitosociologici con le elaborazioni statistiche riassunte nel dendrogramma ottenuto dalle cluster analysis e nel grafico delle coordinate principali. In particolare i rilievi fitosociologici sono serviti per mettere a confronto i vari popolamenti vegetali tra la zona Nord, in vicinanza del Fosso Bianco, e la zona a Sud del fiume Fine.

L'analisi dei dati fitosociologici relativi ai 32 rilevamenti, effettuata mediante analisi multivariata, ha consentito di individuare 4 gruppi principali, entro i quali possono essere individuati a sua volta delle varianti o sub-associazioni: (DemS) Duna embrionale a *Sporobolus virginicus*; (DemE) Duna embrionale a *Elymus farctus*; (DmA) Duna mobile ad *Ammophila arenaria*; (DefV) Duna effimera a terofite varie. I gruppi sono meglio definibili osservando lo sviluppo a grappolo dei cladogrammi della cluster analysis effettuata sui dati dei tabulati:



**Figura 14:** Dendrogramma ottenuto dalla Cluster Analysis (A). DemS: Duna embrionale a *Sporobolus virginicus*; DemE: Duna embrionale a *Elymus farctus*; DmA: Duna mobile ad *Ammophila arenaria*; DefV: Duna effimera a terofite varie.





**Figura 15:** Grafico dell' Analisi delle Coordinate Principali (B). DemS: Duna embrionale a *Sporobolus virginicus*; DemE: Duna embrionale a *Elymus farctus*; DmA: Duna mobile ad *Ammophila arenaria*; DefV: Duna effimera a terofite varie.

Dal punto di vista fitosociologico, le tipologie vegetazionali individuate e diversificate per localizzazione topografica, sono le seguenti:

**DUNA EFFIMERA (DeFV):**

1- Duna effimera a terofite varie (12,13,14,25 *Salsolo kali-Cakiletum maritimae* Costa e Manzanet 1981 nom. mut. propos. in Rivas-Martínez et al. 2002);

**DUNA EMBRIONALE A *SPOROBOLUS VIRGINICUS* (DemE):**

2- *Sporoboletum arenarii* (Arénes 1924) Géhu & Biondi 1994;

DUNA EMBRIONALE A *ELYMUS FARCTUS* (DemS):

3- *Echinophoro spinosae-Elymetum farcti* Géhu 1987;

DUNA MOBILE (DmA):

4- *Echinophoro spinosae-Ammophiletum australis* (Br.-Bl. 1933) Géhu, Rivas-Martinez & R. Tx. 1972 in Géhu et al

### 1- Duna effimera a terofite varie (Tab.8)

La fascia di arenile, immediatamente adiacente a quella afitoica, quando non è disturbata, risulta prevalentemente colonizzata da specie terofite nitrofile ed alotolleranti, anche se con coperture ridottissime e discontinue. Di queste, solo alcuni rilievi sono ascrivibili all'associazione *Salsolo kali-Cakiletum maritimae*, in particolare i rilevamenti 12, 13, 14 e 25. Negli altri casi possiamo trovare altre terofite come *Xanthium italicum* o *Atriplex littoralis*, isolate o in stretto contatto con altre specie della duna embrionale come *Elymus farctus* *Sporobolous pungens*. In alcuni casi addirittura con *Ammophila arenaria*.



**Figura 16:** Plantule di *Cakile maritima* sulla fascia della duna effimera nella zona a Sud del fiume Fine.

**Tabella 8: *Salsola kali*–*Cakiletum maritimae* Costa e Manzanet 1981 nom. mut. propos. in Rivas-Martínez et al. 2002;**

Rilievo n.	12	22	23	26	2	13	14	25
Altitudine (m s.l.m.)	0,5	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7
Esposizione	W	W	W	W	W	W	W	W
Inclinazione (°)	0	0	0	0	0	0	0	0
Litologia	s	s	s	s	s	s	s	s
Superficie (m2)	4	10	6	20	6	4	2	6
Copertura totale %	10	10	8	8	6	5	5	5
Numero specie	3	6	2	7	2	2	1	1
Habitat	De FV	De FV	De FV	De FV	De FV	De FV	De FV	De FV
<i>Ammophila arenaria</i> subsp. <i>arundinacea</i> H. Lindb.		0.1	0	0.5				
<i>Atriplex littoralis</i> L.	1	1	0.5					
<i>Cakile maritima</i> Scop.	0.1					0.1	0.1	0.5
<i>Echinophora spinosa</i> L.		1		0.5				
<i>Elymus farctus</i> (Viv.) Runemark ex Melderis subsp. <i>farctus</i>		0.1		1				
<i>Eryngium maritimum</i> L.		0.1			1	0.5		
<i>Hypochaeris radicata</i> L.				0.5				
<i>Inula crithmoides</i> L.					0.1			
<i>Salsola kali</i> L.	1							
<i>Sporobolus pungens</i> (Schreber) Kunth				0.5				
<i>Xanthium italicum</i> Moretti		0.1	1					

## 2- *Sporoboletum arenarii* (Arénes 1924) Géhu & Biondi 1994 (Tab.9)

L'associazione *Sporoboletum arenarii*, caratteristica della duna embrionale, assume coperture molto alte ed è presente soprattutto nei rilievi che caratterizzano la parte Nord del settore. In alcuni casi *S.virginicus* costituisce l'unica specie dei rilievi caratterizzanti l'associazione, con indice di abbondanza-dominanza intorno a 4-5 (coperture 60-80%). La specie si ritrova sul litorale tirrenico, ma con coperture inferiori (Vagge e Biondi, 1999) e la sua presenza è spesso legata o ad una maggiore salinità (Lonard, 2013) o legata all'azione di disturbo e rimodellamento dell'ambiente dunale (Bertacchi, 2010).



**Figura 17:** Duna mobile caratterizzata dall'associazione *Sporoboletum arenarii*, nel settore settentrionale delle Spiagge Bianche, a Sud del Fosso Bianco.

**Tabella 9:** *Sporobolium arenarii* (Arénes 1924) Géhu & Biondi 1994

Rilievo n.	1	3	9	8	15	7	11	19	18	20	10	17
Altitudine (m s.l.m.)	1	1,5	2	2	2,5	2	1	2,5	2,5	2,5	1,5	3
Esposizione	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
Inclinazione (°)	30	20	20	20	0	20	20	0	0	10	40	0
Litologia	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s
Superficie (m2)	6	6	12	6	6	6	10	6	12	6	10	12
Copertura totale %	5	45	80	45	60	60	50	10	80	80	50	70
Numero specie	2	2	3	4	5	2	4	4	1	1	4	4
Habitat	Dem S	Dem S	Dem S	Dem S	Dem S	Dem S	Dem S	Dem S	Dem S	Dem S	Dem S	Dem S
<i>Ammophila arenaria</i> subsp. <i>arundinacea</i> H. Lindb.		1	1	1	1	1						
<i>Cakile maritima</i> Scop.											0,1	
<i>Calystegia soldanella</i> (L.) Roem. & Schult.							0,5					
<i>Crithmum maritimum</i> * L.					0,5							
<i>Echinophora spinosa</i> L.				0,5	0,5							2
<i>Elymus farctus</i> (Viv.) Runemark ex Melderis subsp. <i>farctus</i>			0,5	0,1	0,5		0,5	0,1			1	
<i>Eryngium maritimum</i> L.								0,1				
<i>Euphorbia paralias</i> L.								0,5				
<i>Euphorbia pepelis</i> L.												0,5
<i>Lagurus ovatus</i>												0,5
<i>Sporobolus pungens</i> (Schreber) Kunth	1	4	4	3	3	2	4	4	5	5	3	2
<i>Xanthium italicum</i> Moretti	0,1										1	

### 3- *Echinophoro spinosae-Elymetum farcti* (Arénes 1924) Géhu 1987 (Tab.9)

L'associazione *Echinophoro spinosae-Elymetum farcti* è presente in maniera sporadica e discontinua sulla duna embrionale. Assume coperture modeste, intorno al 5-10% e sembra limitata dal continuo rimodellamento della spiaggia, per questo spesso in contatto con la fascia di duna mobile a *Ammophila arenaria* o con la duna embrionale caratterizzata da *S. virginicus*.



**Figura 18:** Duna embrionale nei pressi del Fosso Bianco, caratterizzata da *Elymus farctus* e *Eryngium maritimum*.

**Tabella 10:** *Echinophoro spinosae-Elymetum farcti* (Arénes 1924) Géhu & Biondi 1994

Rilievo n.	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>24</b>
Altitudine (m s.l.m.)	0,5	1	1	1
Esposizione	W	W	W	W
Inclinazione (°)	20	0	0	20
Litologia	s	s	s	S
Superficie (m2)	6	6	6	6
Copertura totale %	8	10	10	10
Numero specie	5	5	4	3
Habitat	DemE	DemE	DemE	DemE
<i>Ammophila arenaria</i> subsp. <i>arundinacea</i> H. Lindb.	0.5	0.5	0.5	
<i>Calystegia soldanella</i> (L.) Roem. & Schult.				0.5
<i>Echinophora spinosa</i> L.	0.5	0.5	1	
<i>Elymus farctus</i> (Viv.) Runemark ex Melderis subsp. <i>Farctus</i>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<i>Euphorbia paralias</i> L.				1
<i>Hypochaeris radicata</i> L.	0.5			
<i>Scolymus hispanicus</i> L.		0.5		
<i>Sporobolus pungens</i> (Schreber) Kunth	0.5	0.1		

**4- *Echinophoro spinosae-Ammophiletum australis* (Br.-Bl. 1933) Géhu, Rivas-Martinez &R. Tx. 1972 in Géhu et al. (Tab.10)**

L'associazione occupa la duna mobile ed è in stretto contatto con le associazioni che caratterizzano sia la duna embrionale, sia le dune consolidate. È quella più rappresentativa, soprattutto nel settore Sud, con coperture comprese tra il 65 e il 100%. La duna mobile risulta in alcune parti più compromessa, come nella parte Nord dall'azione erosiva, sia dall'azione del rimodellamento della spiaggia. Si instaura bene nella parte a Sud della foce del Fine.



**Figura 19:** Duna mobile nel settore meridionale caratterizzata dall'associazione *Echinophoro spinosae-Ammophiletum australis*

**Tabella 11:** *Echinophoro spinosae-Ammophiletum australis* (Br.-Bl. 1933) Géhu, Rivas-Martinez & R. Tx. 1972 in Géhu et al.

Rilievo n.	16	32	21	27	30	28	29	31
Altitudine (m s.l.m.)	4	2	2	2	3	2	2,5	2
Esposizione	W	W	W	W	W	W	W	W
Inclinazione (°)	40	0	30	0	0	40	0	30
Litologia	s	s	s	s	s	s	s	s
Superficie (m2)	12	50	12	25	30	60	50	50
Copertura totale %	70	80	65	100	80	70	80	50
Numero specie	5	6	1	8	9	8	11	6
Habitat	DmA	DmA	DmA	DmA	DmA	DmA	DmA	DmA
<i>Ammophila arenaria</i> subsp. <i>arundinacea</i> H. Lindb.	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>1</b>
<i>Anthemis maritima</i> L.								2
<i>Bromus madritensis</i> L.						0.5	0.5	0
<i>Calystegia soldanella</i> (L.) Roem. & Schult.						0.1	0.5	0.5
<i>Crepis vesicaria</i> L.		0.1						
<i>Crithmum maritimum</i> * L.					0.5			
<i>Cutandia maritima</i> (L.) Benth				0,1				
<i>Echinophora spinosa</i> L.				0.5	0.1		0.5	
<i>Elymus farctus</i> (Viv.) Runemark ex Melderis subsp. <i>farctus</i>	0.5	0.1				0.5	0.5	
<i>Eryngium maritimum</i> L.	1				0.5	0.5	0.1	
<i>Euphorbia paralias</i> L.		0.5		0.5	1	0.5		
<i>Hypochaeris radicata</i> L.					0.5			
<i>Inula crithmoides</i> L.	0.5							
<i>Lagurus ovatus</i>					0.5			
<i>Medicago littoralis</i> Rohde						1		
<i>Pancratium maritimum</i> L.							0.1	
<i>Reichardia picroides</i> L. Roth		0.1		0.5			0.5	0.5
<i>Solidago littoralis</i> Savi							0.1	
<i>Spartina versicolor</i> Fabre								2
<i>Sporobolus pungens</i> (Schreber) Kunth	1							
<i>Urospermum dalechampii</i> (L.) Smidt				0.1	0.1	0.5		
<i>Vulpia membranacea</i> (L.) Link				0.1	0.5	0	0.5	0.5



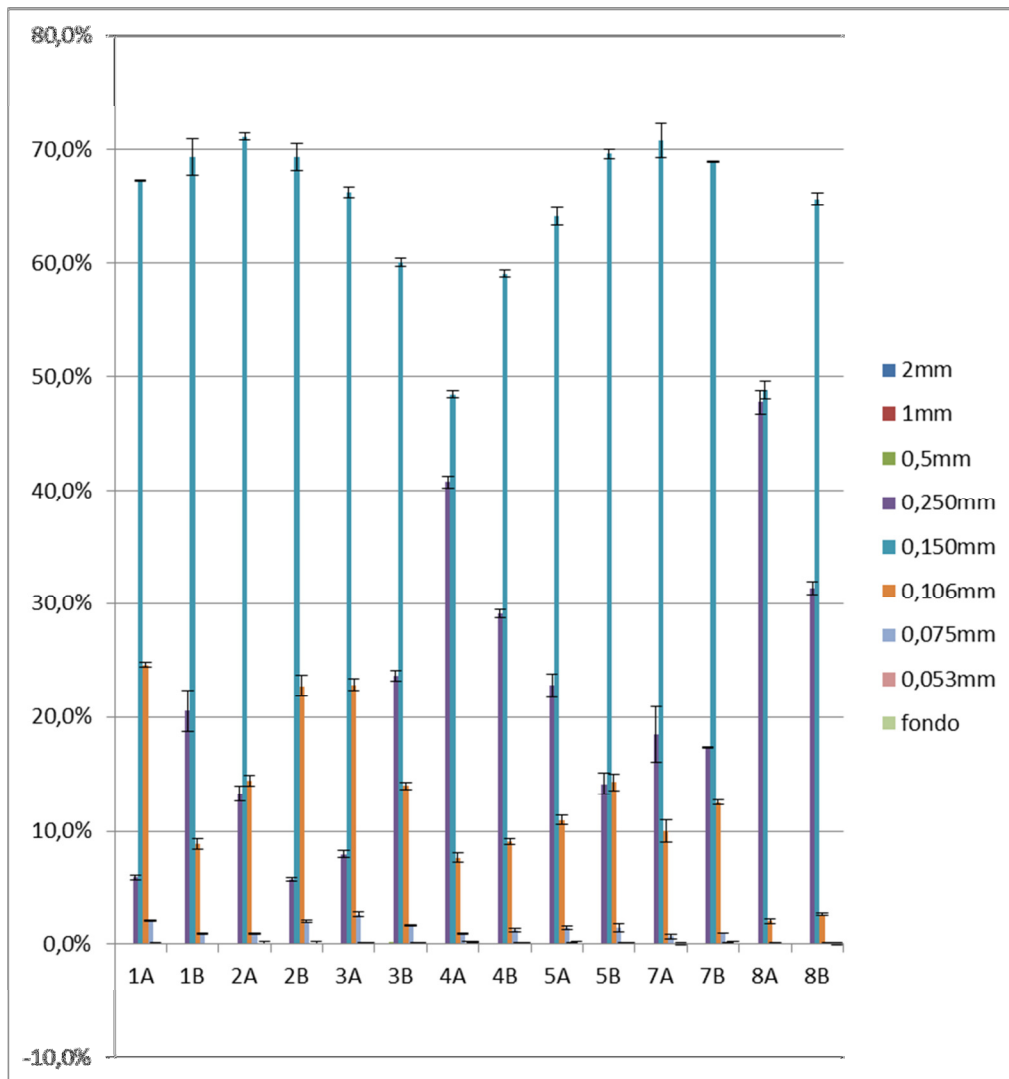
### 3.3 Analisi chimico-fisiche del substrato

#### 3.3.1 Caratteristiche granulometriche

Il substrato è prevalentemente sabbioso, con valori di limo e argilla sempre inferiori all'1%. La sottoclasse più rappresentativa è classificabile come sabbia fine, che in letteratura corrisponde alla sabbia il cui diametro delle particelle va 0,2 a 0,063 mm (in questo caso assimilata alla sabbia contenuta nel setaccio dal vaglio di diametro 0,150 mm e 0,106 mm), con valori percentuali che vanno da circa il 90% (campioni 1A, 2A, 2B, 3A) e valori intorno al 50% in 4A e 8A. Viceversa troviamo valori di sabbia media, l'altra sottoclasse più rappresentata, con percentuali intorno al 40% in 4A e 8A ed inferiori al 10% in 1A e 3A. Sono riportati qui sotto la suddivisione dei vari campioni in base ai setacci, sia in forma di percentuali in tabella, sia in forma di istogramma.

CAMP.	2mm	ER.ST	1mm	ER.ST	0,5mm	ER.ST.	0,250mm	ER.ST.	0,150mm	ER.ST.
1A	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	5,9%	0	67,3%	0,0024
1B	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	20,5%	0	69,4%	0,0181
2A	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	13,3%	0	71,2%	0,0068
2B	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	5,8%	0	69,3%	0,0020
3A	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	8,0%	0	66,3%	0,0030
3B	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	23,7%	0	60,1%	0,0048
4A	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	40,73%	0	48,5%	0,0049
4B	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	29,11%	0	59,1%	0,0036
5A	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	22,78%	0	64,2%	0,0101
5B	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	14,17%	0	69,6%	0,0095
7A	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	18,47%	0	70,8%	0,0241
7B	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	17,35%	0	68,9%	0,0009
8A	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	47,65%	0	48,9%	0,0109
8B	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	31,36%	0	65,6%	0,0056
	0,106mm	ER.ST.	0,075mm	ER.ST.	0,053mm	ER.ST.	<0,053mm	ER.ST.		
1A	24,6%	0,0006	2,1%	0,0021	0,1%	0,0007	0,0%	0,0007		
1B	8,9%	0,0157	0,9%	0,0048	0,0%	0,0007	0,0%	0,0000		
2A	14,5%	0,0031	0,9%	0,0049	0,0%	0,0007	0,1%	0,0000		
2B	22,7%	0,0118	2,0%	0,0090	0,0%	0,0012	0,1%	0,0000		
3A	22,8%	0,0046	2,6%	0,0053	0,1%	0,0020	0,2%	0,0007		
3B	14,0%	0,0034	1,7%	0,0027	0,2%	0,0007	0,2%	0,0000		
4A	7,7%	0,0027	0,9%	0,0042	0,1%	0,0005	0,20%	0,0007		
4B	9,1%	0,0028	1,2%	0,0025	0,2%	0,0018	0,20%	0,0000		
5A	11,0%	0,0077	1,5%	0,0042	0,2%	0,0013	0,13%	0,0000		
5B	14,3%	0,0045	1,5%	0,0073	0,2%	0,0033	0,20%	0,0000		
7A	10,0%	0,0151	0,7%	0,0098	0,0%	0,0017	0,07%	0,0000		
7B	12,5%	0,0004	1,0%	0,0020	0,1%	0,0000	0,13%	0,0007		
8A	2,0%	0,0081	0,1%	0,0023	0,0%	0,0007	0,00%	0,0000		
8B	2,6%	0,0056	0,1%	0,0012	0,0%	0,0007	0,07%	0,0000		

**Tabella 12:**  
Risultati della suddivisione in classi granulometriche mediante setacciatura a secco, valori medi per campione e relativo errore standard.



**Figura 20:** Grafico a istogramma sulla caratterizzazione granulometrica, ottenuta mediante setacciatura a secco.

### 3.3.2 CaCO<sub>3</sub> totale

La maggior parte dei sedimenti che costituisce le spiagge bianche è costituito da carbonato di calcio, confermando l'ipotesi della neogenia delle spiagge, in relazione con gli scarichi provenienti dallo scarico industriale della Solvay. Questo le rende differenti dal resto delle coste sabbiose del litorale toscano, la cui composizione è prevalentemente quarzolitica (AA.VV., 2008). Come possiamo vedere dai dati riportati dalle misurazioni in tabella ed elaborati nell'istogramma, i valori oscillano dall'85% a quasi il 98%, con lievi abbassamenti percentuali nei punti 4 e 8, e maggiore quantità nei punti 1, 5 e 7. Il carbonato di calcio rappresenta lo scarto della sezione sodiera, legato alla lavorazione del calcare estratto dalle cave, in origine dell'Acqua Bona (Rosignano M.mo), poi da quelle di San Carlo (San Vincenzo) (Cheli *et al.*, 2010).

CaCO <sub>3</sub> %				MEDIA	ER.ST.
1A	97,07	97,07	97,88	97,341	0,267
1B	95,98	94,38	94,38	94,912	0,533
2A	96,27	96,27	95,47	96,003	0,267
2B	95,98	95,98	95,98	95,978	0,000
3A	94,67	97,07	95,47	95,736	0,708
3B	93,58	91,98	91,98	92,512	0,533
4A	89,05	83,43	83,43	85,307	1,872
4B	90,38	89,58	87,98	89,313	0,705
5A	96,27	96,27	96,27	96,271	0,000
5B	95,98	98,38	97,58	97,311	0,705
7A	97,88	96,27	96,27	96,806	0,535
7B	96,78	98,38	97,58	97,578	0,462
8A	91,46	89,85	93,06	91,457	0,926
8B	96,78	95,18	94,38	95,445	0,705

Tabella 13: Risultati delle analisi sul calcare totale

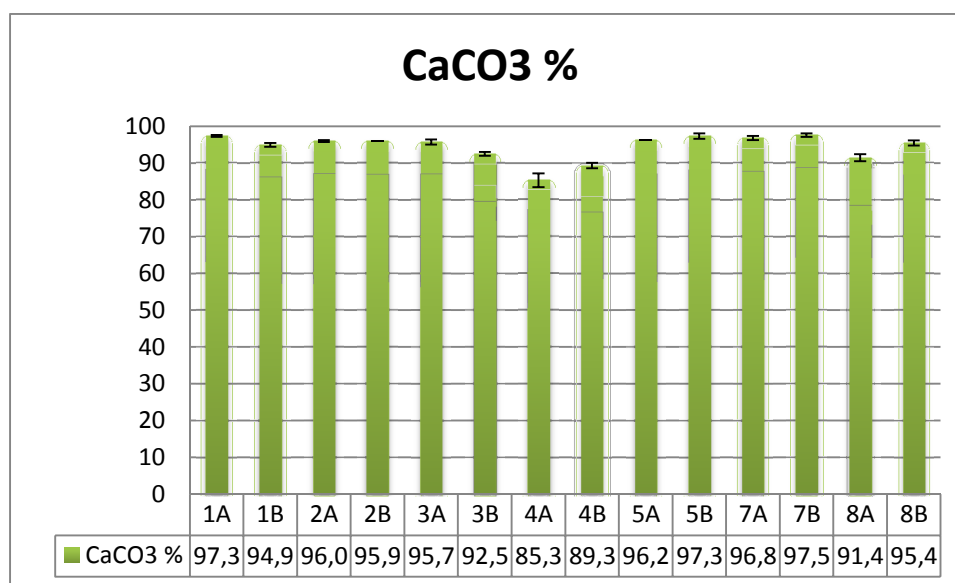


Figura 21: Grafico ad istogramma con valori medi di CaCO<sub>3</sub> espresse in percentuale e relativo errore standard.

### 3.3.3 pH

Congruentemente con gli alti valori di carbonato di calcio percentuale, il pH è decisamente alcalino.

pH				MEDIA	ER. ST.
1A	10,33	10,02	10,04	10,13	0,100
2A	10,20	10,23	10,25	10,23	0,015
2B	10,17	10,35	10,36	10,29	0,062
3A	10,16	10,20	10,24	10,20	0,023
3B	9,62	9,31	9,38	9,44	0,094
4A	9,62	9,39	9,60	9,54	0,074
4B	9,52	9,63	9,56	9,57	0,032
5A	9,42	9,55	9,36	9,44	0,056
5B	10,23	10,24	10,19	10,22	0,015
6	10,20	10,18	10,21	10,20	0,009
7A	10,24	10,14	10,09	10,16	0,044
7B	9,79	9,72	9,38	9,63	0,127
8A	9,51	9,53	9,39	9,48	0,044
8B	9,33	9,21	9,14	9,23	0,055

Tabella 14: Risultati delle analisi sul pH.

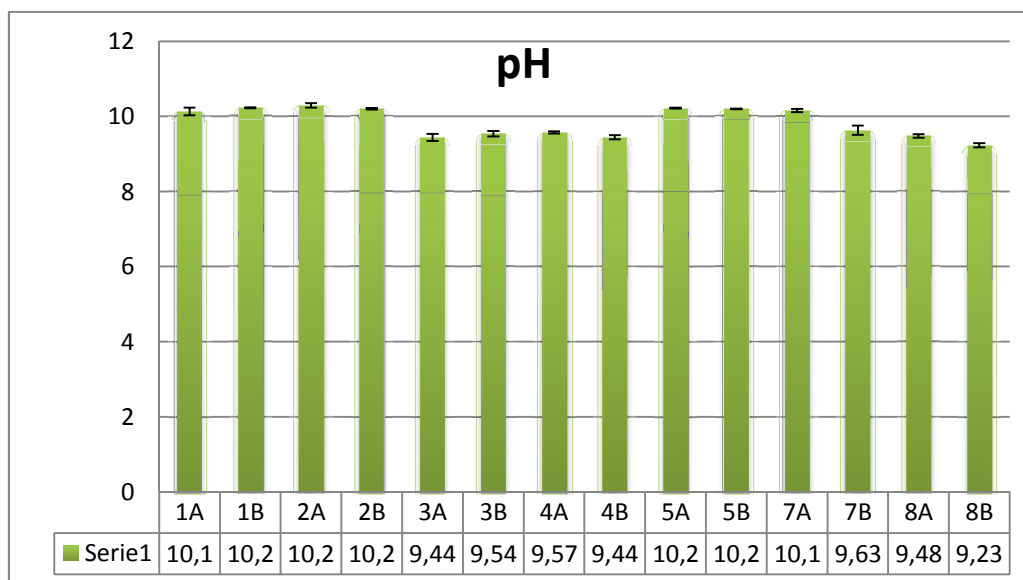


Figura 22: Grafico a istogramma con i valori medi di pH e relativo errore standard.

### 3.3.4 Conducibilità elettrica

La conducibilità elettrica fornisce una misura indiretta della concentrazione di sali nel substrato. I livelli di salinità rilevati risultano molto bassi, probabilmente per la scarsa capacità della sabbia di trattenere i sali. Come possiamo osservare dalla tabella sotto, la salinità è indirettamente proporzionale alla distanza dalla battigia. Le misurazioni della salinità prese direttamente in acqua, invece, riportano concentrazioni saline molto maggiori. La EC dell'acqua prelevata dal Fosso Bianco risulta maggiore rispetto a quella presa direttamente in mare. Questo ci indica che abbiamo un maggior quantitativo di sali nell'acqua e che questi contribuiscano ad aumentare la salinità del suolo. Come controllo abbiamo preso 2 campioni a breve distanza dal mare (1 e 6), praticamente immersi nell'acqua di mare, ed i valori della salinità, per quanto più elevati rispetto agli altri campioni, risultano comunque sia inferiori alla conducibilità elettrica misurata direttamente in acqua di mare (di cui riportiamo i risultati della misurazione). I risultati sono espressi con la connotazione ufficiale, quindi in dS/m, equivalenti a mS/cm o a 1000 µS/cm. Inoltre ricordiamo che 1 dS/m corrisponde a 0,493 ‰ di sale in soluzione, equivalenti a 10 mM di NaCl.

	<b>pH</b> (20°C)	<b>EC</b> ms/cm	<b>NaCl</b> g/L
H2O FOSSO	7,47	62,17	40,03
H2O MARE	8,15	56,60	36,10
H2O DEIONIZZATA	6,40	0,00	0,00
H2O RUBINETTO	7,96	0,81	0,39

Valori di NaCl misurati indirettamente tramite indice di conversione, indicati potenziometro al momento della misurazione.

Tabella 15: Misurazioni conducibilità elettrica prese direttamente in acqua.

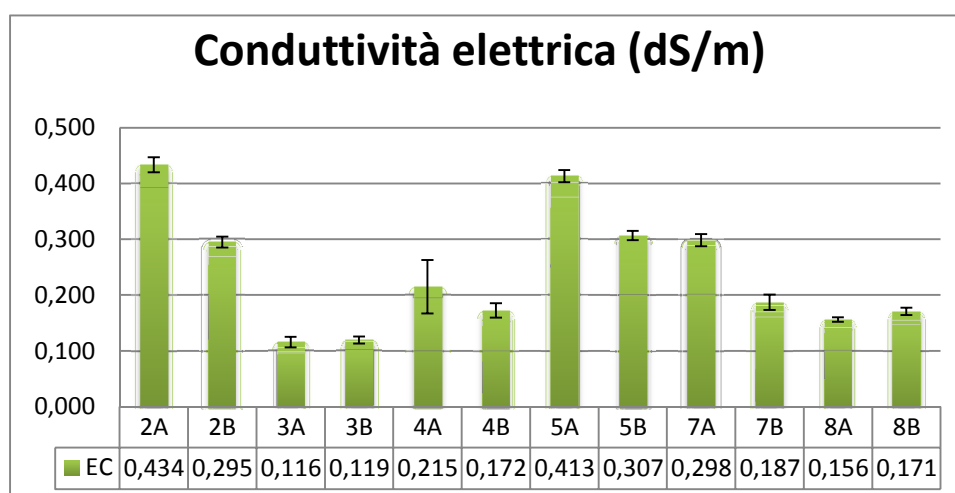
EC (dS/m)				<b>MEDIA</b>	<b>ER. ST.</b>
<b>1A</b>	<b>4,970</b>	<b>5,100</b>	<b>4,900</b>	<b>4,990</b>	<b>0,059</b>
<b>2A</b>	0,445	0,449	0,407	0,434	0,013
<b>2B</b>	0,311	0,297	0,277	0,295	0,010
<b>3A</b>	0,134	0,104	0,109	0,116	0,009
<b>3B</b>	0,132	0,113	0,113	0,119	0,006
<b>4A</b>	0,311	0,167	0,166	0,215	0,048
<b>4B</b>	0,198	0,160	0,159	0,172	0,013
<b>5A</b>	0,419	0,428	0,392	0,413	0,011
<b>5B</b>	0,322	0,293	0,305	0,307	0,008
<b>6</b>	<b>4,220</b>	<b>4,630</b>	<b>5,170</b>	<b>4,673</b>	<b>0,275</b>
<b>7A</b>	0,304	0,314	0,277	0,298	0,011
<b>7B</b>	0,214	0,177	0,170	0,187	0,014
<b>8A</b>	0,159	0,161	0,148	0,156	0,004
<b>8B</b>	0,182	0,159	0,171	0,171	0,007

In grassetto troviamo espressi i valori di controllo per i campioni raccolti in fascia afitoica naturale, molto vicini alla linea di battigia, il n°1 e il n°6.

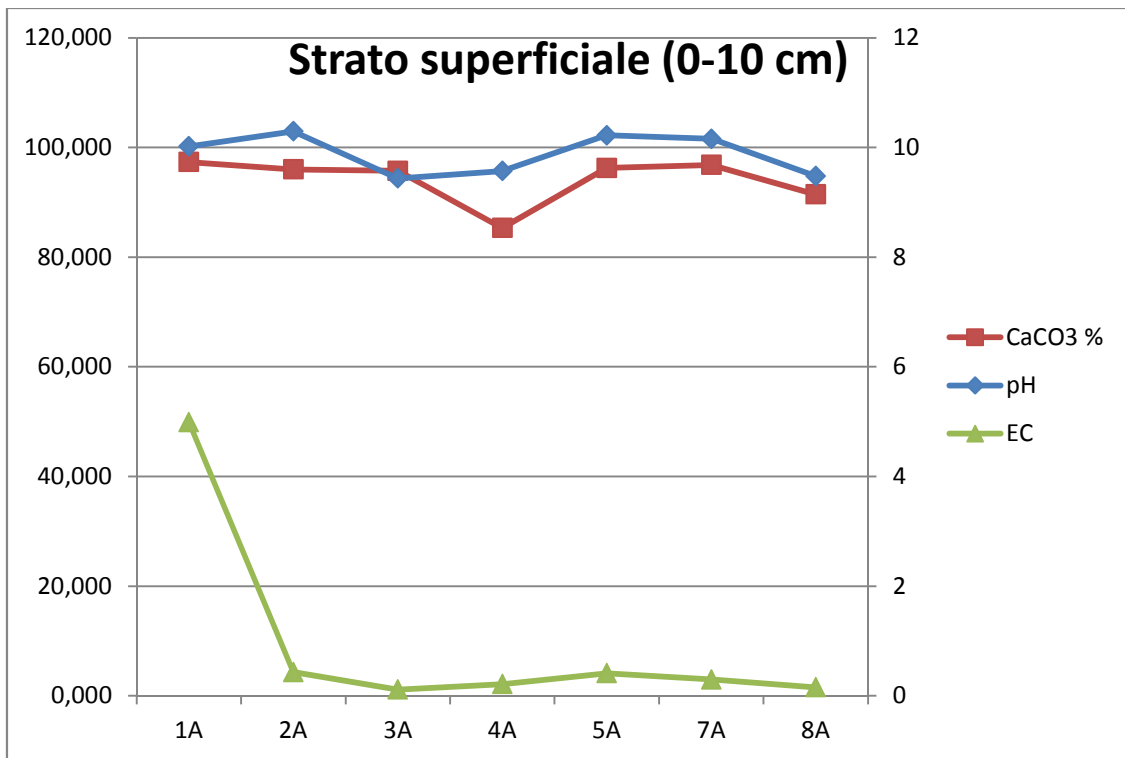
Tabella 16: Risultati delle analisi sulla conducibilità elettrica

EC	mS/cm	pasta satura	‰	pH
1A	4,990	9,980	4,920	10,13
2A	0,434	0,868	0,428	10,29
2B	0,295	0,590	0,291	10,20
3A	0,116	0,232	0,114	9,44
3B	0,119	0,238	0,117	9,54
4A	0,215	0,430	0,212	9,57
4B	0,172	0,344	0,170	9,44
5A	0,413	0,826	0,407	10,22
5B	0,307	0,614	0,303	10,20
6	4,673	9,346	4,608	
7A	0,298	0,596	0,294	10,16
7B	0,187	0,374	0,184	9,63
8A	0,156	0,312	0,154	9,48
8B	0,171	0,342	0,169	9,23

**Tabella 17:** Conducibilità elettrica espressa in soluzione 1:2 (come da misurazione), a pasta satura (1:1) e in ‰, usando come fattore di conversione 0,493.



**Figura 23:** Grafico a istogramma con i valori medi di conducibilità elettrica e relativo errore standard.



**Figura 24:** Andamento dei parametri misurati, rappresentato mediante grafico a linee, inerente ai campioni raccolti nello strato più superficiale (campioni con suffisso A). I valori sull'asse y primario si riferiscono al CaCO3%, quelli sull'asse y secondario al pH.

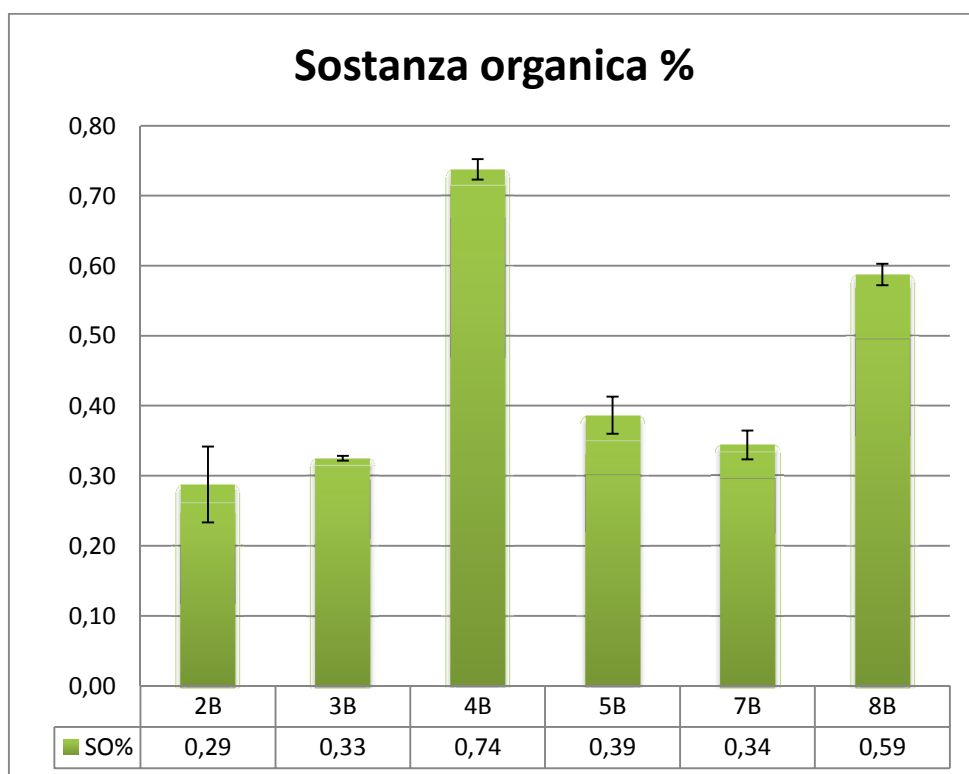
In questo grafico troviamo riassunto l'andamento dei fattori abiotici analizzati per lo strato superficiale di sabbia (campioni con suffisso A), in cui possiamo osservare una diminuzione della EC proporzionale alla distanza sia in profondità che in altezza dalla linea di battigia, un andamento pressoché parallelo del pH e del carbonato di calcio percentuale con minimi nei punti 4 e 8. Per lo strato più profondo (campioni con suffisso B), quello esplorato, almeno in parte, dalle radici delle specie psammofile, è stato indagato anche il quantitativo di sostanza organica.

### 3.3.5 Sostanza organica

La sabbia, proprio per la sua composizione fisica, ha una scarsa capacità di trattenere nutrienti, e, come dimostrato dai dati sottostanti, i quantitativi di sostanza organica sono molto bassi. La misura è stata effettuata solo per lo strato più profondo dei campioni di sabbia prelevata, i campioni con suffisso B, poiché è lo strato che interessa lo spazio esplorato dalle radici e per la apparente assenza nello strato superficiale.

Sostanza organica %				MEDIA	ER ST.
<b>2B</b>	0,34	0,23	0,29	0,29	0,03
<b>3B</b>	0,33	0,32	0,33	0,33	0,00
<b>4B</b>	0,75	0,73	0,73	0,74	0,01
<b>5B</b>	0,38	0,42	0,37	0,39	0,02
<b>7B</b>	0,36	0,34	0,32	0,34	0,01
<b>8B</b>	0,58	0,60	0,58	0,59	0,01

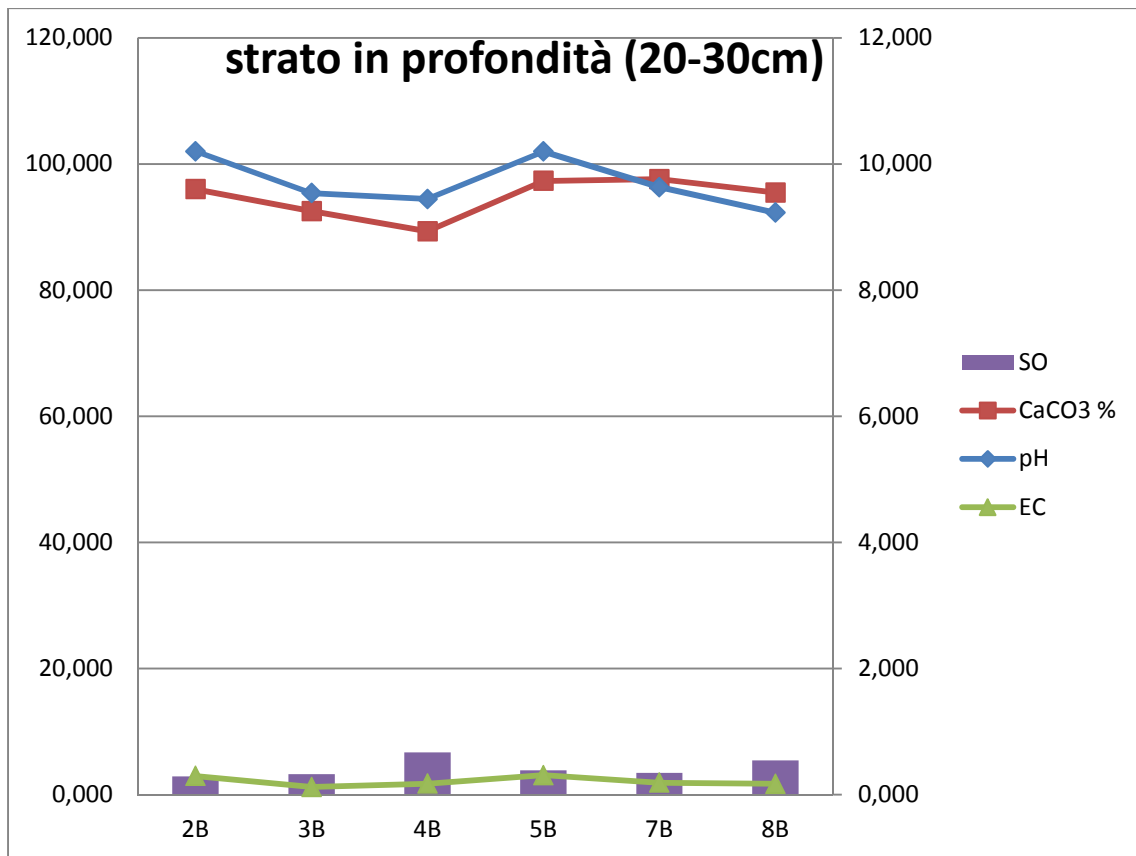
**Tabella 18:** Risultati delle analisi sul quantitativo di sostanza organica (massa) percentuale



**Figura 25:** Grafico a istogramma riportante i valori medi di sostanza organica e relativo errore standard.

Anche se con i valori estremamente contenuti, la sostanza organica risulta maggiore nei punti dove il substrato ha tendenzialmente meno carbonato di calcio e pH più basso, minore salinità e tessitura più grossolana. Le differenze, evidenziate dal grafico sottostante, in cui tutti i dati rilevati sono stati messi a confronto con i valori di sostanza organica, espressa per istogramma, sono da leggere in parallelo con i risultati ottenuti dalle analisi fitosociologiche.





**Figura 26:** Andamento dei parametri misurati, rappresentato mediante grafico a linee, inerente ai campioni raccolti nello strato più profondo (campioni con suffisso B). I valori sull'asse y primario si riferiscono al CaCO3%, quelli sull'asse y secondario al pH. Notiamo il contrasto tra l'incremento della sostanza organica nei punti con riduzione di pH e carbonato di calcio e viceversa.

## 4. DISCUSSIONE

Al fine di comprendere le dinamiche relative al paesaggio vegetale, sono stati utilizzati elementi di indagine differenziati.

### 4.1 Analisi diacronica

Dai risultati dell'analisi diacronica, è stato possibile verificare che le Spiagge Bianche costituiscono una spiaggia neogenica, di origine antropica. La loro formazione, evoluzione e sviluppo sono direttamente connesse con la portata degli scarichi immessi in mare dallo stabilimento chimico Solvay. Se così non fosse i sedimenti sarebbero di diversa natura e non prevalentemente carbonatici (vedi paragrafo 2.1.5 e valori  $\text{CaCO}_3$  %, tab.13).

Le Spiagge Bianche rappresentano una singolarità dal punto di vista del paesaggio litoraneo toscano, a causa della peculiarità della formazione del luogo e delle sue caratteristiche. Questo rientra in una serie di modificazioni che la Solvay ha apportato al territorio, come descritto nel libro *Le cattedrali dell'industria. L'archeologia industriale in Toscana* (2001):

“Ma ora è l'ora di ricordare la Solvay di Rosignano, industria chimica leader, impiantata nel 1913 e via via cresciuta (con la realizzazione di un villaggio operaio che finì per configurare – anche per autonomia funzionale- una vera e propria cittadella autosufficiente). La produzione del “carbonato di sodio” e della “soda caustica” e le grandi torri di raffreddamento ne danno un'inconfondibile connotazione, paesaggisticamente quale “paesaggio industriale”, a fronte dell'ambiente costiero caratterizzato dal turismo balneare”. L'area, che era stata per secoli fortemente spopolata e che solo da circa un sessantennio era stata redenta all'agricoltura (Piano di utilizzo del demanio marittimo, Comune di Rosignano M.mo), ha subito quindi delle trasformazioni ancor più rilevanti rispetto alle zone circostanti.

Se già in tutta Italia le comunità vegetali delle coste sabbiose sono fortemente minacciate dalla pressione antropica legata al turismo balneare (Izzi *et al.*, 2007), in questo caso la problematica si fa più complessa poiché abbiamo una profonda modificazione dell'ambiente soprattutto per quanto riguarda il chimismo dei sedimenti. Questo si riflette anche sullo stato delle comunità vegetali psammofile che caratterizzano quest'area.

### 4.2 Analisi fitosociologiche

I risultati delle analisi fitosociologiche discussi in questo lavoro, riguardano 32 rilevamenti distribuiti in tutte le Spiagge Bianche concentrati essenzialmente nella zona a Sud del fiume Fine e nella zona settentrionale adiacente al Fosso Bianco. L'elaborazione dei dati inerenti ai rilevamenti ha mostrato delle differenziazioni tra i due settori. Innanzitutto è stata evidenziata la presenza di 4

habitat che sono stati denominati: duna embrionale a *Sporobolus virginicus*, duna embrionale a *Elymus farctus*, duna mobile ad *Ammophila arenaria*, duna effimera a terofite varie (Tab.8).

I rilevamenti inerenti alla duna embrionale a *Elymus farctus* e alla duna effimera a terofite varie sono distribuiti rispettivamente sia nella zona meridionale che settentrionale dell'area di studio (anche se con differenze dal punto di vista delle caratteristiche del rilevamento); quelli relativi alla duna mobile ad *Ammophila arenaria* sono concentrati nella zona a Sud del Fine, infine quelli della duna embrionale a *Sporobolus virginicus* si trovano prevalentemente nella zona del Fosso Bianco.

Il diverso aspetto distributivo della vegetazione nelle due aree può essere colto analizzando più dettagliatamente le caratteristiche delle 4 habitat rappresentate.

Tra i rilevamenti sulla duna effimera nel settore Nord, solo quelli indicati dai numeri 12, 13 e 14 sono ascrivibili all'associazione *Salsolo kali-Cakiletum maritimae*, ma presentano coperture ridottissime, con un esemplare di *C.maritima* al massimo per rilevamento. Spesso si tratta di esemplari isolati di modeste dimensioni, che probabilmente non riusciranno a completare il proprio ciclo vitale per l'asportazione da parte delle macchine che si occupano della pulizia della spiaggia. In questo settore riscontriamo inoltre la presenza di specie nitrofile come *Xantium italicum*, che, come visto nell'introduzione, è presente negli ambienti con problematiche legate all'eutrofizzazione e indicata da Biondi e Galdenzi (2012) come specie alloctona.

I rilevamenti del settore meridionale (numeri 22, 23, 25, 26) presentano un quantitativo di specie maggiore rispetto a quelle riscontrate nella parte Nord. Qui la vegetazione della duna effimera presenta uno sviluppo leggermente più florido, ma essa è significativamente minacciata dall'azione del calpestio della spiaggia. Il risultato è che le specie tendono ad arretrare e ad entrare in contatto catenale con la vegetazione delle dune embrionali. Sempre per Biondi e Galdenzi, questo è dimostrato dalla presenza di specie come *E. farctus* o *S.virginicus*.

Altre specie psammofile perenni, come *Euphorbia paralias* o *Eryngium maritimum*, possono essere qui rinvenute occasionalmente.

La duna embrionale ascrivibile all'associazione *Echionophoro spinosae – Elymetum farcti* (rilevamenti n°4, 5, 6, 24) è rinvenibile in entrambi i settori (Tab.10). Si presenta molto rarefatta e con coperture limitate al massimo del 10%, quando, secondo Pignatti (2002), potrebbe arrivare a valori intorno al 20-30%. Dalla Tab.10 si può osservare che i rilevamenti dei due settori sono caratterizzati da un corteggio floristico differenziato, eccetto per la comune presenza di *E. farctus*.

L'habitat della duna mobile a *Ammophila arenaria* è collocata nel settore meridionale ed è rappresentata dall'associazione *Echinophoro spinosae – Ammophiletum arundinaceae*, andando a completare la successione caratteristica delle coste sabbiose del Tirreno (Vagge e Biondi, 1999).

La duna mobile dispone, per sua natura, di un corteggio floristico più variegato rispetto alla duna embrionale. La fitta rete creata dalle radici di *Ammophila* riesce trattenere meglio la sabbia, contrastando in maniera più efficace l'azione del vento e permettendo l'innalzamento della duna stessa (Pignatti, 2002).

L'associazione (Tab.11) sembra qui trovare le condizioni idonee per un buon sviluppo, nonostante il calpestio della spiaggia ne impedisca l'avanzata e le dune presentino dei segni di scalzamento, oltre che una compenetrazione della duna embrionale, caratterizzata dalla specie *Elymus farctus*.

Viene inquadrato in questo gruppo anche il rilevamento 16, corrispondente al campione 3 delle analisi pedologiche, effettuato vicino alla fascia popolata dallo *Sporoboletum arenarii*, a maggior distanza dalla linea di battigia e a una maggiore altezza s.l.m., dove è osservabile una buona copertura di *A.arenaria* e un numero maggiore di specie.



**Figura 27:** Panoramica raffigurante le dune della parte meridionale delle Spiagge Bianche, caratterizzate dall'associazione *Echinophoro spinosae – Ammophiletum arundinaceae*.

Tutt'altro aspetto presenta la fascia embrionale nel settore Nord dove si assiste alla quasi completamente colonizzazione da parte dell'associazione *Sporoboletum arenarii*, la quale raggiunge coperture sino all'80% nella maggior parte dei rilevamenti (Tab.9). Viene in questo caso a mancare la zonazione tipica delle coste sabbiose del Tirreno, costituita dalla successione di duna effimera, duna embrionale, duna mobile (Pignatti, 2002), poiché l'associazione *Echinophoro spinosae – Ammophiletum arundinaceae* non riesce a instaurarsi ed *A.arenaria* è presente solo con qualche individuo sporadico.

Bertacchi *et al.* (2010) indicano la presenza sull'area dello *Sporoboletum arenarii* per tutta la zona che va dal Fosso Bianco fino alla Foce del Fine con distribuzione decrescente man mano che procediamo in direzione Sud. Viceversa, quando la copertura dello *Sporoboletum arenarii* diminuisce, inizia a progredire l'associazione *Echinophoro spinosae* – *Ammophiletum arundinaceae*. La stessa cosa succede dal Nord del Fosso verso punta del Lillatro.

Inoltre è stata osservata una situazione molto particolare nel rilevamento n°17: subito dietro le dune del settore centrale, *S.virginicus* diventa meno dominante e torna ad affermarsi *E.farctus*. Dal dendrogramma osserviamo che il rilevamento si stacca dall'habitat "unit" della duna embrionale a *Sporobolus virginicus*, e si avvicina alla quella della duna embrionale a *Elymus farctus*.



**Figura 28:** *Sporobolus virginicus*.



**Figura 29:** Foto scattate ogni 100 m a partire dal Fosso bianco in direzione Sud. Da notare la diversa distribuzione dello *Sporobolus arerii* e l'affermarsi progressivo dell' *Echinophoro spinosae* – *Ammophiletum arundinaceae*.

Riassumendo, si può osservare che le comunità vegetali che popolano le Spiagge Bianche presentano caratteristiche floristico-vegetazionali assai variabili. Questo diverso aspetto distributivo ha indotto a cercare di spiegare quale fosse la causa principale di questa modificazione.

Nell'ambiente dunale, piccole variazioni nelle caratteristiche geomorfologiche possono portare a significative variazioni nei principali fattori ecologici che condizionano la presenza/assenza di alcune associazioni piuttosto che altre (Biondi, 2007). Si tratta di ambienti altamente sensibili alla pressione antropica e ai fattori di disturbo.

Comprendere queste dinamiche è essenziale per capire i comportamenti delle varie cenosi che costituiscono il mosaico della vegetazione dunale (Acosta *et al.*, 2008).

In questo caso le alterazioni dell'ambiente sembrano fondamentalmente connesse con la pressione antropica rispetto a due principali fattori:

- 1- Il disturbo legato all'azione meccanica del calpestio, della pulizia della spiaggia con mezzi meccanici e alla costante rimozione della sostanza organica apportata dal mare durante l'inverno.
- 2- L'alterazione chimico-fisica delle condizioni edafiche, per la presenza di un substrato artificiale originato da scarichi industriali.

### **Azione meccanica**



**Figura 30:** Residui organici portati dal moto ondoso durante il periodo invernale. Al principiare della stagione estiva saranno tolti per favorire il turismo balneare.



**Figura 31:** Segni di passaggio delle macchine per la pulizia meccanica delle spiagge.



**Figura 32:** Foto aerea, catturata da Google Maps®, della parte di spiaggia vicina alla punta del Lillatro, area Nord. Durante la stagione estiva l'affluenza dei bagnanti è notevole e si può riscontrare dalla significativa presenza di ombrelloni.



### Alterazione caratteristiche chimico-fisiche del substrato



**Figura 33:** Immissione di fanghi in mare da parte del Fosso Bianco.

Si può supporre che le caratteristiche del sito creino condizioni favorevoli all'espansione di *S.virginicus*, che in buona parte dell'area settentrionale/centrale riesce a formare praterie monofitiche. Infatti, vista la vicinanza al fosso di scarico e considerando che in questo settore non viene praticata la pulizia dell'arenile con mezzi meccanici, la causa del suo adattamento è stata ricercata nelle caratteristiche chimico-fisiche del substrato, che, anche se poco differenziate tra loro, potrebbero influire sulla distribuzione della vegetazione. È noto, infatti, dalla letteratura che *S.virginicus* è in grado di vivere in suoli da alcalini a moderatamente acidi, poveri in nutrienti (azoto, fosforo, potassio). Tollera condizioni di salinità elevate ed è classificata come specie alofita non obbligata (Lonard,2013).

### 4.3 Analisi chimico-fisiche del substrato

Per verificare tale ipotesi, sono stati analizzati i parametri principali per descrivere le caratteristiche pedologiche del sito. Dai risultati si evince che il substrato è costituito da sabbia fine o medio-fine (tab.12), di cui la maggior parte, come possiamo vedere dalla tabella 15 è costituita da carbonato di calcio, scarto industriale della lavorazione del calcare.

Esistono in Italia altre spiagge a sedimenti prevalentemente carbonatici, come in Sardegna o in Veneto, ma il loro chimismo è determinato dalla matrice calcarea o calcareo dolomitica della provincia di approvvigionamento attraversata dai corsi d'acqua che trasportano i sedimenti al mare (Audisio *et al.*, 2002). Tanto meno possiamo comparare questo ambiente alle bianche spiagge caraibiche (alle cui volgarmente vengono paragonate), i cui sedimenti sono costituiti da sabbie bioclastiche o oolitiche (Press, 2006).

Un primo fattore che potrebbe influenzare la distribuzione dei popolamenti vegetali potrebbe essere individuato nel pH e nella percentuale di carbonato di calcio. L'alta percentuale di carbonato di calcio rende il pH del substrato alcalino, con valori che oscillano da 9,23 a 10,29 (vedi tab.14), influenzando la disponibilità di assorbimento di elementi nutritivi per le piante (Ubaldi, 2003). Variazioni di pH possono portare a variazioni del corteggio floristico. Viceversa la vegetazione presente può influenzare i valori di pH; infatti, con l'aumentare del contenuto di sostanza organica il pH tende ad acidificarsi (Isermann, 2005).

L'analisi inerente la conducibilità elettrica, che esprime una misura indiretta della concentrazione di sali nel substrato, non ha riportato risultati significativi al fine delle nostre indagini. I livelli di salinità rilevati sono risultati molto bassi (Tab.15) e, in base alla classificazione dei suoli (vedi paragrafo 2.2.4), per tutte le misurazioni eccetto quelle del campione 1 e 6, prelevati molto vicino al mare in fascia afitoica, il substrato è sempre considerato non salino.

La sabbia, infatti, è un substrato incoerente e estremamente permeabile all'acqua. I cristalli di sale, depositati dall'aerosol marino, facilmente solubilizzabili, si sciolgono ogni volta che piove e vengono così dilavati. La salinità dipenderà, quindi, dalla data dell'ultima precipitazione. (Pignatti, 2002).

I valori trovati nel nostro caso, anche se considerati a pasta satura o convertiti a parti per mille, risultano coerenti con i valori riscontrati in altri casi in letteratura (Alymeni, 2000) (Frederiksen, *et al.*, 2006) (Özcan *et al.*, 2010); sono maggiori solo a confronto con quelli della Danimarca (Frederiksen, *et al.*, 2006), ma dobbiamo ricordare che il mar Baltico è meno salato del Mediterraneo (<http://www.ecologicacup.unisalento.it/>).

Non sono confrontabili con i valori trovati nelle depressioni interdunali salmastre (*salt marshes*), anche se *S.virginicus* viene spesso ritrovato nella fascia di transizione tra queste e la duna embrionale o consolidata (Oosting, 1945).

A proposito invece delle misurazioni effettuate direttamente in acqua, notiamo che i valori di conducibilità elettrica misurati nel Fosso Bianco sono superiori rispetto a quelli presi direttamente in mare. Visto che l'acqua del Fosso Bianco è acqua di mare che è stata usata per il raffreddamento degli impianti, i maggiori valori di conducibilità elettrica riscontrati sono probabilmente legati alla presenza di ulteriori sali, immessi nello scarico come sostanza di scarto delle lavorazioni chimiche.

Ultimo parametro analizzato è stata la sostanza organica.

Gli ambienti dunali sono caratterizzati da scarsità di elementi nutritivi (Fenu *et al.*, 2012) e, come possiamo notare, l'analisi della sostanza organica riporta valori molto bassi, che oscillano da 0,29 a 0,74 % (Tab.18). Con un approccio visivo, l'assenza di sostanza organica può essere notata molto bene anche solo osservando le foto dei campioni stessi (paragrafo 2.2). Sui campioni dove la sabbia è visivamente più "scura", soprattutto nel retroduna, dove si osserva una riduzione dell'abbondanza di *S.virginicus* e un aumento di quella di *E. farctus* (campione 4B) e nella parte Sud rispetto al Fine, sull'*Ammophiletum* (campione 8B), i valori di sostanza organica sono doppi rispetto agli altri punti.

#### **4.4 Comparazione dei risultati delle analisi**

Dall'analisi dei grafici riassuntivi, in particolare quello inerente allo strato parzialmente esplorato dalle radici (Fig. 26), è possibile osservare che il substrato non è omogeneo in tutta l'area ma subisce delle variazioni. Le linee che rappresentano l'andamento del carbonato di calcio percentuale e del pH sono pressoché parallele. Anche la linea che rappresenta la conducibilità elettrica ha andamento simile, determinato dal fatto che le misurazioni sono indirettamente proporzionali alla distanza dalla battigia. In particolare si evidenziano dei picchi in cui tutti e tre i parametri sono massimi per i campioni 2 e 5, valori decrescenti per gli altri campioni con dei depicchi in 4 e 8. La percentuale di sostanza organica, invece, registra valori inversi, con picchi in 4 e in 8 e depicchi in 2 e in 5.

Confrontando i punti dove sono stati eseguiti i campionamenti con la vegetazione che li caratterizza, possiamo osservare che:

- I punti 2 e 5 sono ascrivibili all'associazione *Sporoboletum arenarii*, del gruppo della duna embrionale a *S.virginicus*;
- Il punto 3 è compreso nel gruppo della duna mobile a *A.arenaria*, al limite della duna embrionale a *Elymsu farctus*;

- Il punto 4 in fascia di transizione tra duna embrionale a *S.virginicus* e quella a *Elymus farctus*;
- I punti 7 e 8 sono inclusi nella duna mobile a *A.arenaria*, appartenenti all'associazione *Echinophoro spinosae – Ammophiletum arundinaceae*.

L'associazione *Sporoboletum arenarii* riesce a tollerare meglio le condizioni chimico-fisiche del substrato presenti nella vicinanza del Fosso e ad affermarsi rispetto a *Echinophoro spinosae – Ammophiletum arundinaceae*. Quest'ultima ritorna a costituire la duna mobile con l'attenuarsi dei valori di pH e CaCo3 % e l'incremento di sostanze nutritive presenti nel terreno, fino ad arrivare alla quasi totale assenza di *S.virginicus* nella parte a Sud del Fosso, dove possiamo rinvenirne solo qualche esemplare al piede della duna mobile.

Punto chiave per comprendere le caratteristiche di questo fenomeno è il campione n°4.

Il maggior accumulo di sostanza organica e la variazione del chimismo del substrato (maggior presenza di componenti diverse dal carbonato di calcio) determinano un immediato cambiamento della componente vegetazionale, con viraggio dallo *Sporoboletum arenarii* verso l'habitat della duna mobile a *E. farctus*.

Visto la quantità di metalli pesanti ed altre sostanze, come oli minerali e ammoniaca, che vengono riversate in mare ogni anno dal Fosso Bianco (Tab.6), sarebbe stato interessante effettuare analisi ancora più approfondite, per capire se la dominanza dello *Sporoboletum arenarii* sia connessa, oltre che alla alta percentuale di carbonato di calcio alla presenza di alte sostanze che possono influenzare la distribuzione della vegetazione.

## 5. CONCLUSIONI

In base a quanto osservato e rilevato attraverso le indagini in campo effettuate nella località Spiagge Bianche sull'alterazione dello stato delle comunità psammofile presenti, è stato possibile individuare come determinante, una doppia azione antropica:

1. il disturbo fisico delle comunità, legato al calpestio, alla pulizia della spiaggia con mezzi meccanici e alla rimozione della sostanza organica;
2. l'immissione in mare di scarichi industriali ricchi di inerti di composizione carbonatica, i quali sono andati a sostituire la formazione originale litoranea, creando un'entità unica dal punto di vista ambientale e paesaggistico, con caratteristiche del substrato significativamente diversificate rispetto alle altre coste sabbiose toscane.

Il secondo fattore sembra determinante per spiegare l'estesa distribuzione dell'associazione *Sporoboletum arenarii* localizzata soprattutto nell'area settentrionale sui due lati del Fosso Bianco. Ciò è stato verificato mediante la comparazione delle analisi dei rilevamenti fitosociologici con le analisi chimico-fisiche del substrato.

I punti di campionamento per le analisi sono stati presi in vari spot, ognuno caratterizzato da popolamenti vegetazionali diversi, presi su tutta l'area. I risultati hanno evidenziato una variabilità nella composizione del substrato: nei punti in cui l'associazione *Sporoboletum arenarii* prevale, con alte percentuali di copertura e scarsa variabilità vegetazionale (in alcuni casi *S.virginicus* costituisce l'unica specie presente nei rilevamenti), troviamo valori massimi di carbonato di calcio percentuale e pH, minimi per la sostanza organica. Al variare delle condizioni edafiche e con la progressiva riduzione del  $\text{CaCO}_3$  % e pH, con aumento della sostanza organica, ritorna a stabilirsi l'associazione *Echinophoro spinosae- Ammophiletum arundinaceae*, ricostituendo la successione caratteristica delle coste sabbiose del litorale tirrenico, duna effimera - duna embrionale - duna mobile (Vagge e Biondi, 1999) (Pignatti, 2002). A Sud del Fosso, infatti, si evidenzia la pressoché totale assenza dell'associazione *Sporoboletum arenarii*, come mostrato anche dalla carta della vegetazione riportata da Bertacchi *et al.*, 2010.

In conclusione, se da un lato l'alterazione degli habitat dunali da parte delle operazioni di pulizia spiaggia e calpestio antropico appare immediatamente percepibile ed evidente, dall'altro la singolare tipologia di substrato determina alterazioni altrettanto importanti. Infatti, dai dati rilevati, sembra esistere una significativa correlazione tra il tipo di substrato e l'estesa diffusione delle comunità monofitiche a *Sporobolus*, sì rinvenibile negli altri settori costieri della Toscana ma mai con coperture e invasività così importanti

## Bibliografia

- AA.VV. (2008) a cura di L.E.Cipriani e C.Regoli, *Il piano di gestione integrata della costa ai fini del riassetto idrogeologico. L'implementazione del quadro conoscitivo*, Direz. Gen.Pol.Terr. e Agricol., 60 pp, Regione Toscana , FI.
- Alymeni M. N. (2000), *Ecological studies on sand dunes vegetation in Al Karghi region, Saudi Arabia*, Saudi J. of Bio. Sci. Vol. 7 , N°1.
- Audisio P., Muscio G. (2002), *Aspetti geologici e geomorfologici* (tratto da *Dune e spiagge sabbiose*), Quaderni Habitat n°4, Ministero dell'Ambiente e del Territorio, Museo Friulano di Scienze Naturali.
- Bertacchi A., Lombardi T., Baldacci S., Tomei P. (2010), *Alterazione antropica e zonazione della vegetazione dunale: le spiagge bianche di Rosignano Solvay – Vada*. Atti 105° Congresso Società Botanica Italiana, Vol I, n°63.
- Biondi E., 2005, *Stato della Biodiversità in Italia n°3*, Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare.
- Biondi E., Bagella S. (2005), *Vegetazione e paesaggio vegetale dell'arcipelago di La Maddalena (Sardegna nord-orientale)*, Fitosociologia 42(2). Suppl. 1.
- Biondi E., Galdenzi D., Pesaresi S., Casavecchia S., Zivkovic L. (2012), *The phytosociological and syndynamical mapping for the identification of High Nature Value farmalands*, Plant Sociology 49 (2), 59-69
- Cavalli S. (1993), *Macchie e paduli, tomboli e rupi. Paesaggio vegetale della costa e delle isole* (tratto da *Quadri ambientali della Toscana, vol. III, Paesaggi della costa*), a cura della Giunta Regionale Toscana, Marsilio Editori.
- Ceccanti M., Mossa Verre C. (2014), *Qualità delle acque marino costiere prospicienti lo scarico Solvay di Rosignano*, ARPAT, Regione Toscana.
- Celati G. e Gattini L. (1993), *Sale e pietra*, Quaderni di storia, Rosignano XX secolo, Giardini Editori e Stampatori in Pisa.
- Cheli B. e Luzzati T. (2010), *La Solvay in Val di Cecina. Ricadute socio-economiche e ambientali di una grande industria chimica sul territorio*, Edizioni Plus- Pisa University Press.
- Doody P. J. (2013), *Sand Dune Conservation, Management and Restoration*. Springer, Coastal Research Library, Vol. 4.

- Fenu G., Carboni M., Acosta A. T. R., Bacchetta G. (2012), *Environmental Factors Influencing Coastal Vegetation Pattern: New Insights from the Mediterranean Basin*, Folia Geobotanica (Impact Factor: 1.61).
- Frederiksen L., Kollman J., Vestergaard P., Bruun H. (2006), *A multivariate approach to plant community distribution in the coastal dune zonation of NW Denmark*, PHYTOCOENOLOGIA 2006, vol. 36, fasc. 3 (1).
- Géhu J.M., Biondi E. (1994), *Antropizzazione delle dune del mediterraneo*. In: *Alterazioni ambientali ed effetti sulle piante*, Edagricole, Bologna, 160-176.
- Giovani R., Caputo M., Giovani D. (2002), *Piano di Utilizzo del Demanio Marittimo - quadro conoscitivo*, Comune di Rosignano Marittimo, Provincia di Livorno, Servizio Pianificazione Territoriale, Ufficio Demanio Marittimo.
- Gratani L., Amadori M., Marinucci C. & Morriconi M. (1982), *Study of the relations between biomass and specific cover in psammophile vegetation (Circeo National Park-Italy)*, Ann. Bot. 40: 97-106.
- Gratani L. (1987), *A critical approach to the problem of the vigor of *Ammophila littoralis* (Beauv.) Rothm.* Ecol. Mediterr. 13:53-60.
- Gratani L., Crescente M.F. & Varone L. (2007), *Ecologia della duna: ritmo fenologico delle specie psammofile*, Fitosociologia vol. 44(1): 11-16, 2007.
- Greppi C. (1993), *Quadri ambientali della Toscana, vol. III, Paesaggi della costa*, A cura della Giunta Regionale Toscana, Marsilio Editori.
- Guerrieri F. (2001), *Le cattedrali dell'industria. L'archeologia industriale in Toscana*. Edizioni Polistampa Firenze.
- Isermann M. (2005), *Soil pH and Species Diversity in Coastal Dunes*. Plant Ecology, Vol.178 n°1, 2005, pp.111-120.
- Izzi C.F., Acosta A., Carranza M.L., Ciaschetti G., Conti F., Di Martino L., D'Orazio G., Frattaroli A., Pirone G., Stanisci A. (2007), *Il censimento della flora vascolare degli ambienti dunali costieri dell'Italia centrale*, Fitosociologia vol. 44 (1): 129-137, 2007 129.
- Lelli M., Macchia M. (1991), *Le specie alofile dunali: stato attuale e possibilità di nuovi insediamenti sul litorale di Vada (LI)*, Tesi di Laurea, Facoltà di Agraria, Università di Pisa.
- Lonard R., Wudd F.W., Stalter R. (2013), *The Biological Flora of Coastal Dunes and Wetlands: *Sporobolus virginicus* (C. Linnaeus) K. Kunth*, Journal of Coastal Research: Volume 29, Issue 3: pp. 706 – 716.
- Lotti G., Galoppini C. (1980), *Guida alle analisi chimico-agrarie*, Edagricole.

- Manes F., Capogna F. (2005), *Stato della Biodiversità in Italia n°2*, Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare.
- Martínez L.M. , Psuty N., Lubke R. (2004), *A prospective of costal dunes* (tratto da *Costal dunes. Ecology and conservation*), Springer, Ecological studies, Vol. 171.
- Mecella G., Scandella P. (2010), *Preparazione e caratterizzazione granulometrica del suolo*, Ministero per le Politiche Agricole e Forestali. Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo.
- Oosting H. J. (1945), *Tolerance to Salt Spary of Plants of Coastal Dunes*, Ecology, Vol. 26, No. 1, pp. 85-89
- Özcan H., Evren Erginal A., Akbulak C., Sungur A.(2010), *Physico-Chemical Characteristics of Coastal Dunes on the Saros Gulf, Turkey*, Journal of Coastal Research, Vol. 26, No. 1 (Jan., 2010), pp. 132-142
- Pardi F. (1993), *Trasgressioni e regressioni* (tratto da *Quadri ambientali della Toscana, vol. III, Paesaggi della costa*), a cura della Giunta Regionale Toscana, Marsilio Editori.
- Pignatti S. (2002), *La vegetazione della spiaggia*, (tratto da *Dune e spiagge sabbiose*), Quaderni Habitat n°4, Ministero dell'Ambiente e del Territorio, Museo Friulano di Scienze Naturali.
- Press F., Siever R., Grotzinger J., Jordan T. H. (2006), *Capire la Terra*, Zanichelli
- Sartori R. (2004), *Panchina: materiale lapideo tipico di Livorno e di Volterra*, Bollettino degli ingegneri.
- Squarci P. (2003), *Componente geologico - tecnica ed idrogeologica- Relazione*, Quadro conoscitivo del piano strutturale, Comune di Rosignano M.mo (LI).
- Storer, D.E. (1984), *A simple high sample volume ashing procedure for determining soil organic matter* , adattato in *Standard Test Method for Organic Matter Content of Putting Green and Sports Turf Root Zone Mixes*, Commun. Soil Sci. 25:598-609.
- Ubaldi D. (2003), *Flora, fitocenosi e ambiente. Elementi di Geobotanica e Fitosociologia*, Bologna: CLUEB.
- Violante P., Adamo P. (2010), *III. Reazione*, Ministero per le Politiche Agricole e Forestali. Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo.
- Violante P., Adamo P. (2010), *IV.Salinità*, Ministero per le Politiche Agricole e Forestali. Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo.



## Sitografia

- [www.digilander.libero.it/gasbarrostefano/ambiente.html](http://www.digilander.libero.it/gasbarrostefano/ambiente.html)
- [www.vegetazionecostiera.it](http://www.vegetazionecostiera.it)
- [www.arpat.toscana.it/](http://www.arpat.toscana.it/)
- [www.regione.toscana.it/-/geoscopio](http://www.regione.toscana.it/-/geoscopio)
- [www.voyagesphotosmanu.com/cartina\\_geografica\\_toscana.html](http://www.voyagesphotosmanu.com/cartina_geografica_toscana.html)
- [www.globalbioclimatics.org](http://www.globalbioclimatics.org)
- [www.comune.rosignano.livorno.it/](http://www.comune.rosignano.livorno.it/)
- [www.paesaggiotoscana.it/](http://www.paesaggiotoscana.it/)
- [www.terradeglietruschi.it/](http://www.terradeglietruschi.it/)
- [www.ecologicacup.unisalento.it/](http://www.ecologicacup.unisalento.it/)

## **Ringraziamenti**

Ringrazio il mio relatore, il Dott. Andrea Bertacchi, per avermi seguito in ogni passo durante il processo di raccolta dati e stesura di questa tesi, e la mia correlatrice, la Prof.ssa Tiziana Lombardi.

Grazie alla Dott.ssa Diletta Piccotino ed al Dott. Andrea Viti per avermi affiancato durante le analisi di laboratorio.

Ringrazio chi mi è stato di ispirazione per questa tesi, chi mi ha fornito del materiale, chi mi ha aiutato a farle prendere forma e mi è stato accanto durante il processo di creazione.

Ringrazio inoltre le persone che hanno condiviso con me questi due anni e mezzo di laurea magistrale.

Ringrazio la mia famiglia, che mi è sempre stata di supporto.

Vorrei dedicare questa tesi a nonna Speranza e nonno Ivetto.