



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
Dipartimento Territorio e sistemi agro-forestali

Corso di laurea in Tecnologie forestali e ambientali

**Confronto della copertura vegetale semi-naturale
del Giardino Botanico Litoraneo di Porto Caleri
con quella artificiale dell'Isola di Albarella**

Relatore

Prof. Augusto Zanella

Correlatore

Dott. Cristian Bolzonella

Laureanda

Giulia Ranzani

Matricola n.

1166549

ANNO ACCADEMICO 2021/2022

Indice

RIASSUNTO	3
ABSTRACT	4
1 INTRODUZIONE	5
2 AREA DI STUDIO	7
2.1 Inquadramento geografico	7
2.2 Inquadramento climatico	10
2.3 Inquadramento geomorfologico e pedologico	13
2.4 Inquadramento storico	15
2.4.1 <i>Formazione del territorio del Delta del Po</i>	15
2.4.2 <i>Storia dell'Isola di Albarella</i>	18
2.4.3 <i>Lo sviluppo turistico</i>	21
2.5 Inquadramento vegetazionale	21
2.5.1 <i>La vegetazione potenziale degli ambienti costieri</i>	23
2.5.2 <i>La vegetazione di Porto Caleri</i>	27
2.5.3 <i>La vegetazione dell'Isola di Albarella</i>	34
2.5.4 <i>Il modello della vegetazione dell'Isola di Albarella</i>	35
3 MATERIALI E METODI	36
4 RISULTATI E DISCUSSIONE	41
4.1.1 <i>Porto Caleri</i>	41
4.1.2 <i>Isola di Albarella</i>	50
4.1.3 <i>Confronto tra la vegetazione di Porto Caleri e dell'Isola di Albarella</i>	67
4.1.4 <i>Indici di biodiversità e analisi statistica</i>	74
5 CONCLUSIONI	76
6 BIBLIOGRAFIA	78
INDICE DELLE FIGURE	83
INDICE DELLE TABELLE	84

Riassunto

L'impatto antropico sugli ecosistemi costieri ha portato alla frammentazione degli stessi, con effetti negativi sulla biodiversità. Le zone costiere sono state oggetto di fenomeni di urbanizzazione a fini turistici e ricreativi nella seconda metà del secolo scorso, con la perdita di ambienti dunali di neo-formazione e relitti, che sopravvivono oggi solo in aree protette con lo scopo di conservarne l'integrità e la biodiversità che li caratterizza.

L'uso di indici di biodiversità costituisce uno strumento utile alla descrizione e alla valutazione quantitativa dello stato di conservazione di un sito. Tuttavia, sono poco efficaci nel poter confrontare siti diversi per origine, struttura e funzione, poiché non descrivono i processi e le dinamiche propri degli ecosistemi, né dell'influenza dovuta alla gestione di natura antropica.

In questo studio si vogliono confrontare due sistemi tra loro adiacenti, con origine comune, ma con storia evolutiva e grado di antropizzazione diversi, come l'ambiente naturale e semi-naturale di Porto Caleri, e l'Isola di Albarella, fortemente soggetta agli interventi antropici, pur condividendo parzialmente e con modalità diverse la funzione turistico-ricreativa tipica degli ambienti costieri.

La metodologia proposta segue un confronto cartografico a livello di paesaggio della struttura della vegetazione e un confronto floristico a livello di comunità o alleanze di specie vegetali.

L'elaborazione di una mappa della vegetazione integrata con il rilievo fitosociologico è uno strumento con duplice funzione: individua e definisce parametri che permettono di confrontare ambienti diversi tra loro ma contigui e, in particolare, la struttura della distribuzione della vegetazione. Dall'altra, costituisce uno strumento di supporto alle decisioni gestionali, come nel caso delle aree verdi dell'Isola di Albarella.

Lo sviluppo sostenibile e lo sfruttamento delle risorse naturali non possono non tenere in considerazione i processi e gli equilibri che determinano la distribuzione e la coesistenza di specie diverse, la dinamica temporale di tali relazioni e gli apporti di energia necessari per mantenere gli equilibri statici nei sistemi antropici.

Abstract

Anthropic impact on coastal ecosystems has led to their fragmentation, with negative effects on biodiversity. In the second half of the last century, coastal areas have been subjected to urbanization phenomena for tourist and recreational purposes, with the loss of dune habitats, which survive today only in protected areas in order to preserve their integrity and biodiversity.

The use of biodiversity indices is a useful tool for the description and the quantitative evaluation of a site conservation status. However, they are not very effective in being able to compare sites which differ in origin, structure and function, because they don't describe ecosystems processes and dynamics, nor the influence due to anthropic management.

In this study we compare two nearby systems, with common origin, but with different evolutionary history and degree of anthropization, such as the natural and semi-natural environment of Porto Caleri, and the Island of Albarella, which is strongly subjected to anthropic interventions. Nevertheless, they share the tourist-recreational function typical of coastal environments in different ways.

The proposed methodology follows a cartographic comparison at the landscape level of vegetation structure and a floristic comparison at the level of communities or alliances of plant species.

Drafting a vegetation map, integrated with phytosociological surveys, is a tool with two functions: it defines parameters that allow to compare different but contiguous environments and the distribution of vegetation structure. On the other hand, it is a tool to support management decisions, as in the case of the green areas of Albarella Island.

Sustainable development and the exploitation of natural resources must take into account processes and balances that determine distribution and coexistence of different species, temporal dynamics of these relations and energy inputs which are necessary to maintain static equilibria in anthropic systems.

1 Introduzione

Gli ecosistemi costieri del litorale veneto sono oggetto dalla seconda metà del Novecento di trasformazioni dell'uso del suolo che hanno portato alla progressiva diminuzione degli ecosistemi dunali (Buffa et al., 2007), dei quali ne rimane traccia in aree limitate e protette, che ne conservano la complessità e la ricchezza in specie di tali habitat. Tali trasformazioni, quali infrastrutture, aree urbanizzate e turistiche, rappresentano il maggior fattore di pressione e minaccia a carico della biodiversità degli ecosistemi costieri (Ercole et al., 2021). Il report sullo stato di conservazione degli habitat dunali costieri italiani definisce cattivo (88%) o inadeguato (12%) lo stato di conservazione della maggior parte degli ambienti dunali italiani ed evidenzia come siano necessari interventi di monitoraggio delle aree protette, comprese le zone esterne limitrofe alle stesse (Prisco et al., 2020). Secondo il Rapporto di valutazione globale sulla biodiversità e i servizi ecosistemici, l'abbondanza media di specie autoctone nella maggior parte dei biomi è diminuita del 20% e tra le conseguenze, oltre alla perdita di funzioni e servizi degli ecosistemi naturali, vi è una tendenza delle comunità biologiche di sistemi non gestiti a diventare simili a quelli gestiti (Díaz et al., 2019). L'alterazione e la frammentazione di tali habitat, infatti, porta alla perdita di servizi ecosistemici, come ad esempio la protezione dall'erosione costiera, e favorisce l'ingresso di specie aliene (Del Vecchio et al., 2015). Si tratta di habitat che occupano fasce limitate di territorio comprese tra la costa e l'entroterra, governati da gradienti ambientali, quali i venti, la salinità del substrato, le maree (Acosta et al., 2007; Buffa et al., 2012), che determinano condizioni stazionali tali da permettere l'insediamento e l'adattamento di comunità di specie stenoece, fortemente specializzate e tolleranti a stress ambientali.

Definendo opportuni indicatori, è possibile confrontare sistemi adiacenti con origine geomorfologica comune ma sviluppo e storia evolutiva diversi e a cui sono state attribuite funzionalità differenti. Gli indici di biodiversità sono parametri utili alla descrizione e alla valutazione quantitativa dello stato di conservazione di un sito e forniscono un'istantanea della complessità, ma non descrivono i processi e le dinamiche propri degli ecosistemi, né dell'influenza dovuta alla eventuale gestione antropica, che può comunque essere valutata, ad esempio, mediante monitoraggi periodici.

In questo studio si sono confrontati un ecosistema naturale, come Porto Caleri e un sistema antropico, come l'isola di Albarella. Va specificato che nel primo caso la definizione di "naturale" è relativa, poiché nel tempo il sito ha subito e subisce la presenza dell'uomo e

delle relative attività e sarebbe più corretto definirlo come sito ad elevato grado di naturalità per la presenza di habitat ed ecosistemi che si ritroverebbero lungo la costa adriatica, se non fossero stati effettuati interventi di urbanizzazione e insediamenti che hanno modificato l'uso del suolo di tali aree. L'isola di Albarella, invece, ha subito profonde trasformazioni, quali bonifiche, realizzazioni di infrastrutture e aree edificate, per cui viene considerata come sistema fortemente antropico, la cui funzione principale è l'attività turistica. Inoltre, trattandosi di un'isola è possibile definire un limite fisico che fissa il confine del sistema entro cui vengono valutati flussi e dinamiche.

Uno studio precedente (Mo et al., 2022) ha messo in evidenza come a livello di microrganismi del suolo vi sia minore diversità in Caleri rispetto ad Albarella e come questa vari secondo un gradiente, dalla spiaggia verso la foresta, individuando una correlazione positiva con la disponibilità di risorse del sistema. Per valutare se vi sono analogie anche nella diversità delle specie vegetali, sono state realizzate le cartografie della vegetazione nei due siti e i rilievi fitosociologici lungo due transetti rappresentativi delle serie della vegetazione presente, dai quali sono stati anche calcolati gli indici di biodiversità. La mappa della vegetazione è uno strumento che permette di confrontare come si distribuisce la vegetazione tra ambienti diversi, ma anche uno strumento utile al monitoraggio e al supporto alle decisioni gestionali, come nel caso delle aree verdi dell'isola di Albarella. La disponibilità di prodotti cartografici e immagini da satellite open source offre l'opportunità di monitorare la vegetazione e i relativi parametri di descrizione nel tempo, riducendo tempi e costi rispetto ai rilievi tradizionali in campo, che rimangono comunque necessari per valutare l'accuratezza delle elaborazioni, soprattutto se riferite a superfici limitate. I rilievi fitosociologici permettono di rilevare in modo dettagliato la presenza e la frequenza di specie e il grado di biodiversità di un sito e, se ripetuti periodicamente, monitorare la diversità specifica nel tempo e le dinamiche di successione, anche in risposta ai cambiamenti climatici.

In questo studio si vuole valutare la diversità della copertura vegetale tra Porto Caleri e l'isola di Albarella a più livelli: i) la distribuzione spaziale delle comunità vegetali, individuando eventuali pattern o moduli rappresentativi; ii) le specie presenti in tali comunità, sia quelle comuni ad entrambi i siti, sia specie presenti solo in uno dei due e legate alla gestione antropica; iii) il livello di α -biodiversità dei due siti.

2 Area di studio

2.1 Inquadramento geografico

L'area di studio è compresa tra la penisola di Porto Caleri e l'Isola di Albarella nel Comune di Rosolina in Provincia di Rovigo ed è delimitata a est dal Mare Adriatico, a ovest dalla Laguna di Caleri, a nord dalla località di Rosolina Mare e a sud dal Po di Levante (Figura 1).

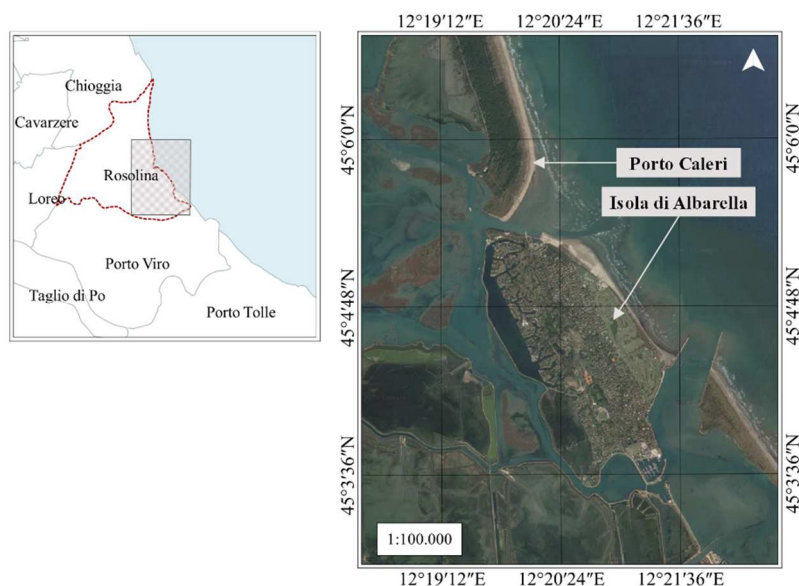


Figura 1 – Inquadramento geografico dell'area di studio

L'area è in parte compresa entro i confini del Parco Regionale Veneto del Delta del Po, nel Sito di Importanza Comunitaria “Delta del Po: tratto terminale e delta veneto” (SIC - IT3270017) e della Zona di Protezione Speciale “Delta del Po” (ZPS – IT3270023) della Rete Natura 2000 (Figura 2), questi ultimi due parzialmente sovrapposti. Nello specifico, la penisola rientra tra le aree protette sopra citate, mentre l'Isola di Albarella ne è esclusa, tranne per lo specchio d'acqua a sud-ovest dell'isola, denominato Valle Vallesina.

Secondo la classificazione Corine Land Cover aggiornata al 2020 (“Geoportale Regione Veneto,” 2022), l'area di studio comprende una superficie di 700 ha, il cui uso del suolo è classificato come segue (Figura 3):

- 373,3 ha di superficie urbanizzata, di cui 240 ha destinate a strutture turistiche¹;

¹ Si segnala come una superficie di 27 ha nella porzione centrale dell'Isola di Albarella sia classificata come “Campeggi, strutture turistiche ricettive a bungalow o simili” pur essendo un'area verde assimilabile più ad un parco urbano o superficie boscata.

- 17,8 ha ad uso agricolo, la maggior parte dei quali classificati come prati stabili;
- 196,2 ha di zone boscate, di cui 105,7 tra boschi di conifere (100,2 ha) e di latifoglie (5,5 ha);
- 48,9 ha di zone umide, di cui 44,3 ha di valli da pesca² e 4,6 ha di barene;
- 63 ha di corpi idrici, di 52 ha come specchi lagunari navigabili solo in condizioni di alta marea³.

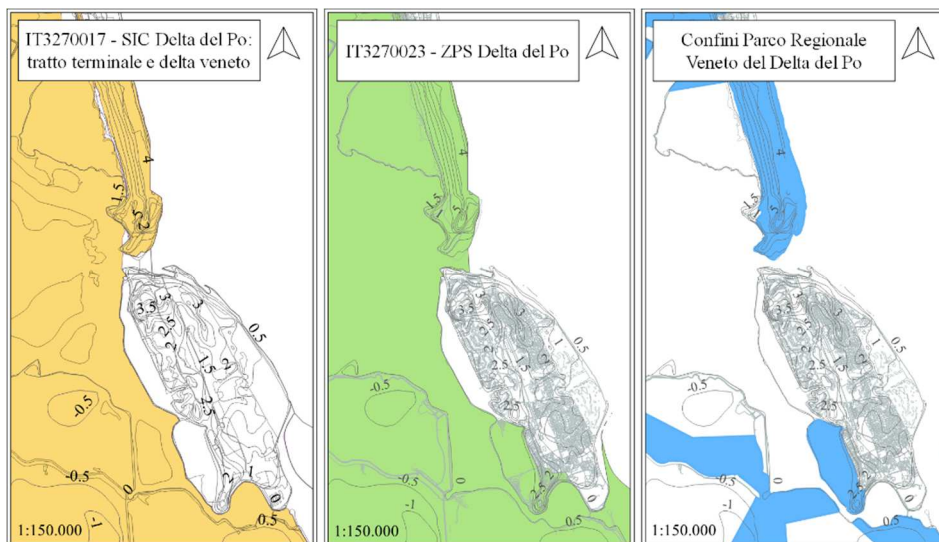


Figura 2 – Limiti delle aree protette secondo Rete Natura 2000 (SIC e ZPS) e Parco Regionale Veneto Delta del Po relativi all'area di studio (Geoportale Regione Veneto, 2022)

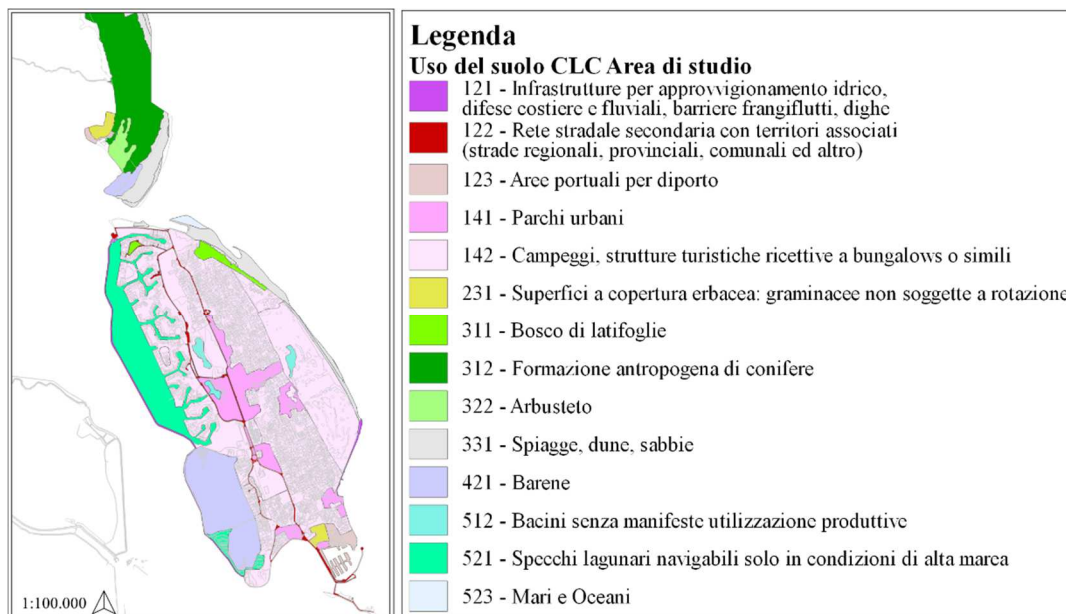


Figura 3 – Rappresentazione cartografica dell'uso del suolo dell'area di studio secondo la classificazione Corine Land Cover (Geoportale Regione Veneto, 2022)

² L'area classificata come *valle da pesca* è valle Vallesina, a sud-ovest dell'isola.

³ Si tratta dello specchio d'acqua denominato *Fiordi* di pertinenza dell'Isola di Albarella.

Porto Caleri è una località situata lungo il litorale di Rosolina Mare e si contraddistingue per la presenza di un'ampia pineta, che si estende parallela alla costa per circa 3 km in direzione nord-sud, con una profondità che varia tra 200 e 300 m e una superficie complessiva di circa 100 ha. La porzione più a sud della pineta è compresa nel Giardino Botanico litoraneo del Veneto, di proprietà della Regione Veneto, che occupa un'area di circa 44 ha, e che oltre alla pineta stessa comprende altre formazioni vegetazionali tipiche degli ambienti delle dune e del litorale adriatico (Servizio Forestale Regionale per le province di Padova e Rovigo, 2003). La principale funzione dell'area è la conservazione della biodiversità di un ecosistema che nel tempo è stato ridotto sotto la pressione dello sviluppo del turismo balneare nella seconda metà del Novecento. Riconoscendo l'importanza dell'area per la conservazione della biodiversità e per la salvaguardia degli habitat di rilevanza dal punto di vista botanico e faunistico, il giardino botanico rientra nelle aree naturali protette già indicate in precedenza, sulle quali grava il vincolo naturalistico-ambientale, secondo la Legge quadro sulle aree protette (L. 394/1991), e le direttive europee Direttiva 92/43/CEE "Habitat" e Direttiva 2009/147/CE "Uccelli" della Rete Natura 2000, ma anche il vincolo paesaggistico, secondo l'Art. 142 del D. Lgs. 42/2004 (Codice dei beni culturali e del paesaggio). Inoltre, dal 2015 il Delta del Po fa parte del Programma Riserve di Biosfera MaB (Man and Biosphere) UNESCO (Biosfera Delta del Po, 2015).

La gestione dell'area è di competenza del Servizio Forestale di Padova e Rovigo, mentre il servizio di visite e l'accesso per il pubblico, le attività divulgative e di educazione sono svolti dall'Ente parco del Delta del Po Veneto. Il giardino botanico è percorribile esclusivamente lungo circa 4 km di percorsi suddivisi in tre sentieri che attraversano tutti gli habitat presenti nell'area (Ente Parco Regionale Veneto del Delta del Po, 2022).

L'Isola di Albarella si trova a sud del Giardino Botanico Litoraneo, dal quale è separato dalla Bocca di Caleri. Si tratta di un'isola privata, che si estende per 3,5 km in lunghezza e 1,5 km di profondità, coprendo una superficie di 530 ha, con esclusiva funzione turistico-ricreativa. L'isola è gestita dalla Società Albarella S.r.l., del Gruppo Marcegaglia, che ne possiede circa un terzo delle proprietà residenziali, i due hotel e le attività commerciali e sportive (Isola di Albarella, 2022), e da Associazione Comunione Isola di Albarella, l'associazione dei proprietari, che gestisce i servizi principali quali la rete idrica, la rete fognaria, l'illuminazione, il servizio di raccolta e smaltimento dei rifiuti e il servizio di vigilanza (Associazione Comunione Isola di Albarella, 2022).

L'isola è occupata da un'area verde di circa 55 ha nella porzione centrale della stessa, pesantemente colpita nell'agosto del 2017 da un fenomeno di downburst (Corriere Del Veneto, 2017). A ovest si trova la zona dei Fiordi (circa 50 ha), insenature artificiali che richiamano per forma le omonime morfologie del Nord Europa, e più a sud è collocata Valle Vallesina, valle da pesca di proprietà privata. A est si estende una fascia occupata esclusivamente da unità residenziali e dal centro sportivo dell'isola, alla quale segue il campo da golf (55 ha) prospiciente il mare. L'accesso all'isola è concesso esclusivamente ai proprietari degli immobili e a chi ne usufruisce dei servizi ricettivi o a chi abbia necessità di accedere per attività lavorativa, previo il rilascio di un'apposita autorizzazione. L'isola è dotata anche di strutture sportive destinate alla pratica di tennis, tiro con l'arco, equitazione e di un porto turistico che dispone di circa 500 posti barca.

2.2 Inquadramento climatico

I dati climatici presi in considerazione per l'inquadramento climatico dell'area di studio sono riferiti alla serie storica disponibile dal 1994 al 2021 liberamente accessibile e messa a disposizione dal Dipartimento Regionale per la Sicurezza del Territorio Servizio Meteorologico dell'Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto (ARPAV, 2022), relativi alla Stazione meteo di Rosolina, Po di Tramontana, situata nel Comune di Rosolina. Dall'elaborazione dei dati risulta che la temperatura media annua è di 13,8 °C e presenta un range compreso tra 12,7 °C, temperatura media annua nel 1995, e 15°C, temperatura media per l'anno 2014 (Figura 4). L'andamento delle temperature medie annuali mostra una tendenza all'aumento per il periodo considerato ($R^2 = 0,5$), con una variabilità (deviazione standard) pari a 0,6°C.

Per quanto riguarda le precipitazioni, la media delle precipitazioni cumulate annue nel periodo 1994–2021 è di 722,4 mm. In questo caso non è possibile individuare un particolare andamento di tale variabile, tuttavia i dati mostrano un intervallo di precipitazione cumulata annua compresa tra 447,2 mm, registrata nel 2011, e 1005,0 mm, registrata nel 2014 (Figura 5).

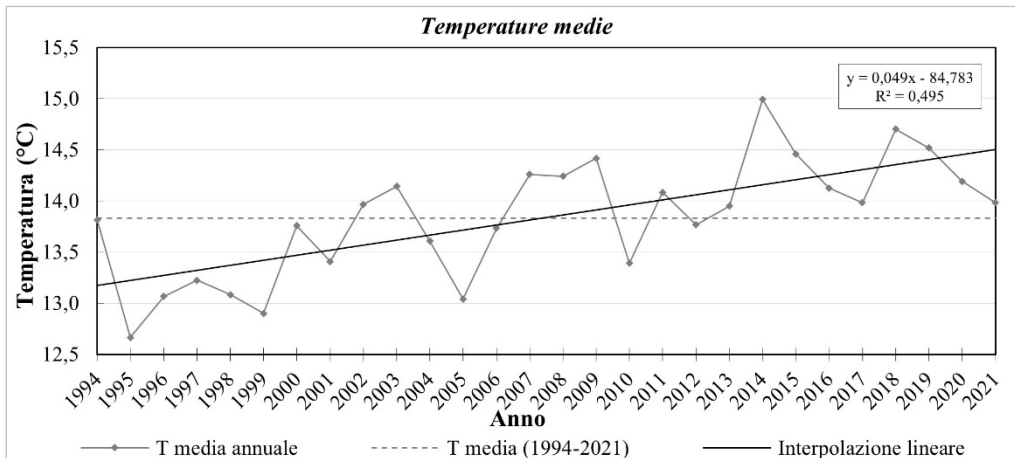


Figura 4 – Rappresentazione grafica delle temperature medie annue nel periodo 1994-2021 con regressione lineare dei dati che mostra una tendenza all’aumento della temperatura media (Elaborazione su dati ARPAV)

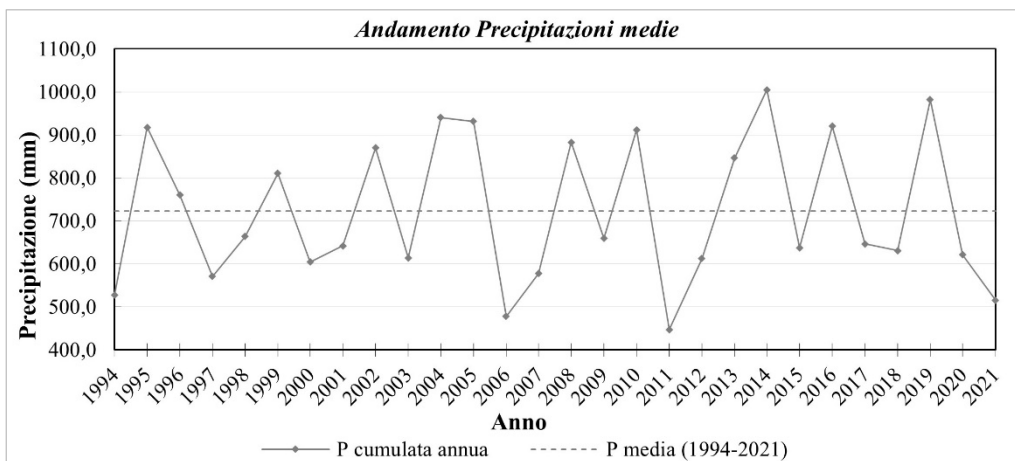


Figura 5 – Rappresentazione delle precipitazioni cumulate annue nel periodo 1994-2021 (Elaborazione su dati ARPAV)

Per quanto riguarda i valori climatici mensili registrati nel corso dell’anno, le temperature medie sono comprese nell’intervallo tra 3,6 °C, temperatura media di gennaio e mese più freddo, e 24,1 °C, temperatura media di luglio, il mese più caldo. Le medie delle precipitazioni cumulate mensili variano da un minimo di 37,6 mm, valore medio nel mese di gennaio, ad un massimo di 83,7 mm, valore medio nel mese di ottobre. Le precipitazioni sono concentrate nel mese di maggio, pari a 70,2 mm e nei mesi autunnali tra settembre, ottobre e novembre, con cumulate medie di rispettivamente di 78,4 mm, 83,7 mm e 75,6 mm. In questo modo si definisce un regime pluviometrico sub-equinoziale autunnale, in cui si evidenzia un breve periodo di aridità nel mese di luglio dovuto alla combinazione di

temperature medie elevate (24,1 °C) e precipitazioni medie scarse (45,1 mm), come mostrato in Figura 6.

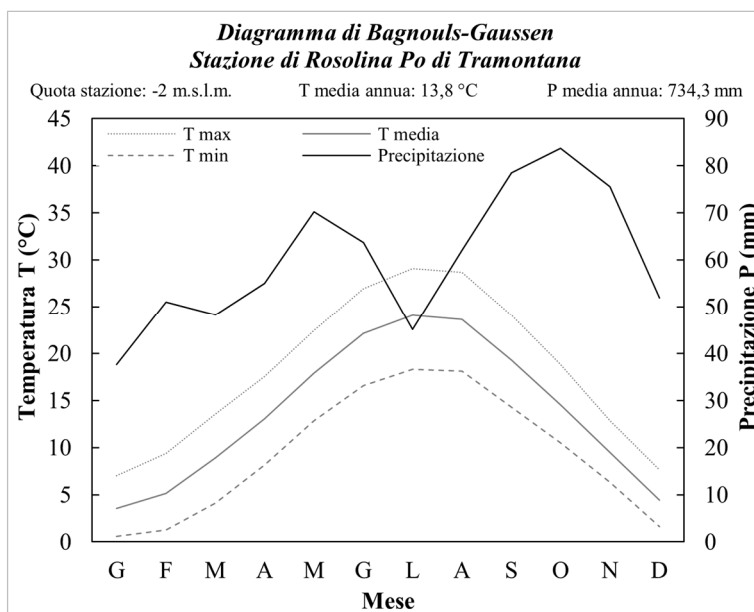


Figura 6 – Diagramma di Bagnouls-Gausson per la stazione di Rosolina Po di Tramontana sulla base di dati nel periodo 1994-2021 (Elaborazione su dati ARPAV)

La radiazione solare globale assume un valore medio di 5203 MJ/m². L'irradianza varia stagionalmente nel corso dell'anno, a causa dell'inclinazione dell'asse terrestre e quindi dell'angolo formato tra la superficie terrestre e la direzione dei raggi solari che incidono su di essa. I valori medi mensili assumono una distribuzione con un tipico andamento a campana compreso tra il minimo di 121 MJ/m² del mese di dicembre e il massimo di 765 MJ/m² nel mese di luglio (Figura 7).

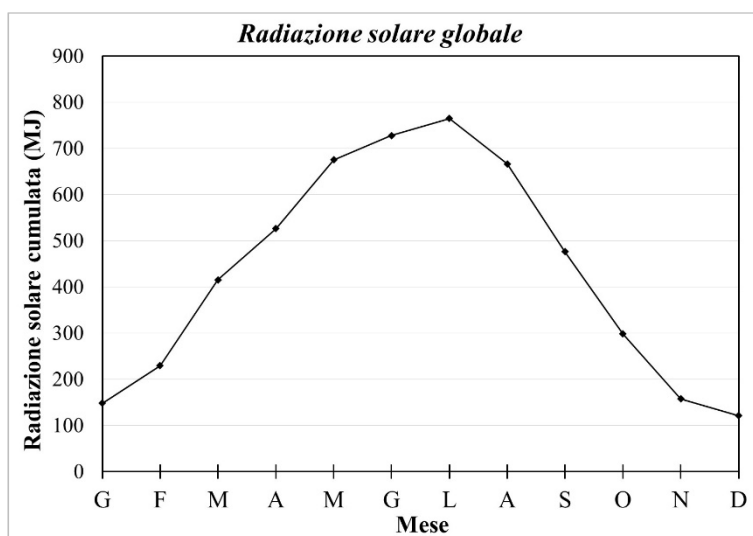


Figura 7 – Distribuzione dei valori medi mensili di radiazione solare globale (MJ/m²) per la stazione di Rosolina Po di Tramontana (Elaborazione su dati ARPAV)

I venti soffiano prevalentemente da Est-Nord-Est (ENE) e Nord-Est (NE) con una media annua di $2,7 \pm 0,2$ m/s.

Per quanto riguarda la relazione tra clima e vegetazione forestale, si sono considerate le principali classificazioni disponibili in letteratura. Secondo la Carta fitoclimatica d'Italia (Ministero della Transizione Ecologica, 2022), l'area di studio rientra nella regione climatica mediterranea, bioclina temperato subcontinentale e fitoclima appartenente alla classe climatica di tipo temperato subcontinentale dell'Italia settentrionale, presente nella media e alta Pianura Padana (Subtemperato/Mesotemperato umido-subumido). Secondo la classificazione in zone fitoclimatiche proposta da Mayr-Pavari, l'area rientra nella zona del *Lauretum* con sottozona fredda, le cui specie tipiche sono il leccio (*Quercus ilex* L.) e i pini mediterranei. Infine, relativamente alla classificazione delle regioni forestali proposta da Del Favero (2004), l'area di studio rientra nella regione costiera con subregione del litorale Alto Adriatico, la cui vegetazione forestale è influenzata principalmente da due fattori in termini di distribuzione: da un lato l'influenza dei venti di bora, che contribuiscono ad abbassare la temperatura rendendo estreme le condizioni climatiche e ostacolando lo sviluppo della vegetazione; dall'altro lato, si tratta di territori nei quali è forte l'impatto antropico dovuto alla bonifica e allo sviluppo turistico, per cui non sempre è individuabile una tipologia forestale univoca. Tipicamente si rilevano pinete di pino domestico e pino marittimo e la vegetazione forestale originaria tende ad insediarsi nelle stazioni entro le quali si manifestano deperimenti delle pinete artificiali.

2.3 Inquadramento geomorfologico e pedologico

Dal punto di vista geomorfologico, i litorali veneti sono collocati in corrispondenza di depositi sabbiosi di origine olocenica, originatisi per l'azione combinata di accumulo di sedimenti fluviali, influenza delle correnti marine e azione del vento. Nei suoli prevale la frazione sabbiosa e, relativamente alla loro composizione mineralogica, prevale la componente carbonatica, che determina una reazione alcalina degli stessi (Buffa & Filesi, 2007 e Gamper et al., 2008).

L'area di studio si trova lungo un cordone dunale litoraneo, che divide la laguna di Caleri dal Mare Adriatico, interrotto all'altezza della bocca di Porto Caleri. Per gli aspetti pedologici si fa riferimento alla Carta dei suoli del Veneto (ARPAV, 2018), di cui un estratto è riportato in Figura 8. La classificazione pedologica adottata è il World Reference Base for Soil Resources (WRB) del 2006. L'area di studio appartiene al distretto (Unità L1) D2 –

Pianura costiera sabbiosa attuale con suoli non decarbonatati, con sistemi di dune spianate dall'attività antropica (D2.1) o dune rilevate (D2.3). Si riscontrano formazioni pedologiche su cordoni dunali del tipo *Haplic Arenosols*, originatesi da sabbie calcaree e che presentano profili in genere poco differenziati, molto permeabili e con bassa capacità di ritenzione idrica. Questo tipo di suolo presenta una tessitura grossolana prevalentemente sabbiosa, molto calcarei alcalini e un profilo differenziato in un orizzonte a prevalente composizione minerale perturbato (Ap), seguito da un orizzonte C, la cui profondità varia tra 50 e 100 cm, a tessitura sabbiosa, molto calcarei (10-25% in calcare totale) e alcalini in superficie (pH tra 7,9 e 8,4), con falda profonda tra 100 e 150 cm. Il suolo che corrisponde alla porzione della pineta di Porto Caleri, che non è stato interessato da interventi di spianamento delle o escavazione delle sabbie, è invece classificata come *Protic Arenosols*, il cui profilo è strutturato in un orizzonte A, seguito da un orizzonte C. Presenta una tessitura sabbiosa, molto calcareo (10-25% in calcare totale), da alcalini a fortemente alcalini in profondità (pH > 7,9). La falda varia da 100 a oltre 150 cm di profondità. In entrambi i casi il materiale parentale è costituito da sabbie.

La geomorfologia e la litologia del delta del Po sono strettamente connesse con l'evoluzione naturale del territorio e dai fattori di origine antropica che ne hanno determinato lo sviluppo idrografico. Tra le problematiche di natura geomorfologica e idrologica che si manifestano nel territorio vi sono la subsidenza naturale e la ridefinizione della rete idrografica dovuta agli interventi di regimazione e sistemazione fluviale, che hanno contribuito a definire il paesaggio del delta, ma anche a rendere pensili i corsi d'acqua, per l'innalzamento degli argini e l'accumulo di sedimento apportato (Comune di Rosolina, 2011). Il fenomeno della subsidenza ha anche cause antropiche, quali emungimenti dalla falda artesiane e interventi di bonifica idraulica di aree palustri, spesso connesse alle operazioni agronomiche, che hanno provocato depressioni tali per cui parte del territorio del delta si trova al di sotto del livello del mare (Bondesan, 1990).

Il fenomeno della subsidenza artificiale è stato particolarmente accentuato anche a causa di interventi nel territorio deltizio legati all'estrazione di acque metanifere a partire dagli anni Trenta del Novecento, sino alla sospensione del 1961 e in modo definitivo dal 1963, che hanno causato depressioni e abbassamenti con massimi tra 3,5 e 4 m.

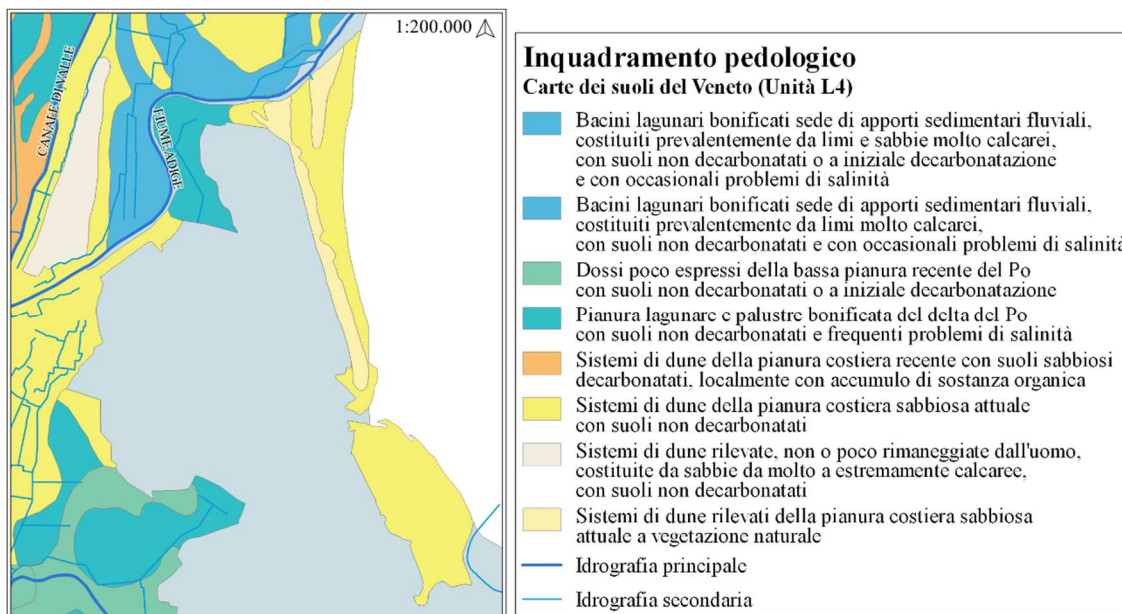


Figura 8 – Estratto della Carta dei Suoli del Veneto (ARPAV, 2019); l'area di studio ricade completamente lungo cordoni dunali antichi e pianeggianti

Infine, il territorio è soggetto alla riduzione del trasporto solido dei fiumi e agli effetti dell'innalzamento del livello medio del mare, che favorisce la risalita verso monte del cuneo salino. Va segnalato inoltre che il flusso del sedimento viene deviato verso nord tra la foce dell'Adige e Caleri e lungo la costa ferrarese, favorendo l'avanzamento del litorale, mentre verso sud nelle altre aree, compresa il tratto litorale dell'Isola di Albarella e Scanno Cavallari, causa un progressivo arretramento della linea di costa (Bondesan, 2000).

2.4 Inquadramento storico

2.4.1 Formazione del territorio del Delta del Po

L'area del Delta del Po è un territorio di formazione relativamente recente. Dopo l'ultima glaciazione (Würm, 110.000-12.000 anni fa), il delta è stato fortemente caratterizzato nella sua evoluzione dalle dinamiche del fiume Po e dei suoi affluenti, favorita dall'accumulo di depositi alluvionali, soprattutto in corrispondenza dell'optimum climatico nel periodo dell'Olocene (8.000-5.000 anni fa), che nel tempo ha favorito il passaggio progressivo da una linea di costa tendenzialmente rettilinea alla formazione di un delta a cuspid. Verso il X sec. a.C. il corso principale del Po, il Po di Adria, scorreva più a nord, passando per Rovigo, e presentava due rami, uno in direzione di Adria, l'altro verso Chioggia (Peretto, 1990), dove intercettava le acque dell'Adige. A partire dall'età etrusca (VI-IV sec. a.C.) e fino all'epoca romana la parte più attiva del corso del Po era il Po di Volano nel territorio ferrarese, mentre l'area di interesse di questo studio non si era ancora formata, in

quanto la linea di costa si trovava più a ovest di quella attuale, nei pressi di Adria, dove ad oggi si rilevano antichi cordoni dunali in parte ancora visibili (Peretto, 1986), all'altezza del Po di Brondolo. Un nuovo alveo del Po più a nord si è formato nel periodo medievale, a partire dal 1152, anno della rotta di Ficarolo. Il nuovo assetto del fiume si trovava ad avere il ramo principale che sfociava all'altezza di Porto Viro, detto Po di Fornaci, nome della località in cui il fiume sfociava nell'Adriatico. Già dal Medioevo il corso del Po fu segnato da interventi di arginatura, con un progressivo innalzamento dell'alveo per contenere gli eventi di piena e mantenere in sicurezza il territorio. Successivamente, gli Estensi nel corso del Quattrocento, avviano una serie di interventi di bonifica, intervenendo principalmente sulle arginature e attribuendo terreni a famiglie di contadini e mezzadri, che coltivano le nuove terre e contribuiscono a proseguire gli interventi di bonifica (Cazzola, 2000). A questo stesso periodo risale la sistemazione del Tartaro e del Canalbianco.

Nel periodo rinascimentale, dal Po di Fornaci si origina una ramificazione, suddivisa in Po di Tramontana, poco più a sud della foce dell'Adige, Po di Levante, nei pressi dell'attuale canale, e Po di Scirocco, più a sud. Nel 1484 il Polesine passa sotto il dominio della Serenissima e da quel momento prendono avvio le principali opere di bonifica del territorio, creando così nuovi fondi che la Repubblica di Venezia assegna alle famiglie patrizie veneziane, delle quali ne prendono molti dei nomi della toponomastica locale. In quegli stessi anni la Repubblica di Venezia, temendo un progressivo interrimento della laguna a causa dell'accumulo di sedimenti trasportati dalle diverse foci ramificate verso nord, decide di intervenire deviando il corso del fiume tra 1599 e il 1604. L'opera, nota come Taglio di Porto Viro, porta ad un cambio di direzione del fiume verso sud, occludendo il Po di Tramontana (Bondesan, 1990), di cui se ne intravede il paleoalveo nella porzione più a ovest della laguna di Caleri, nonché tratto più profondo. Nel tempo scompare anche il Po di Scirocco e rimane attivo il Po di Levante.

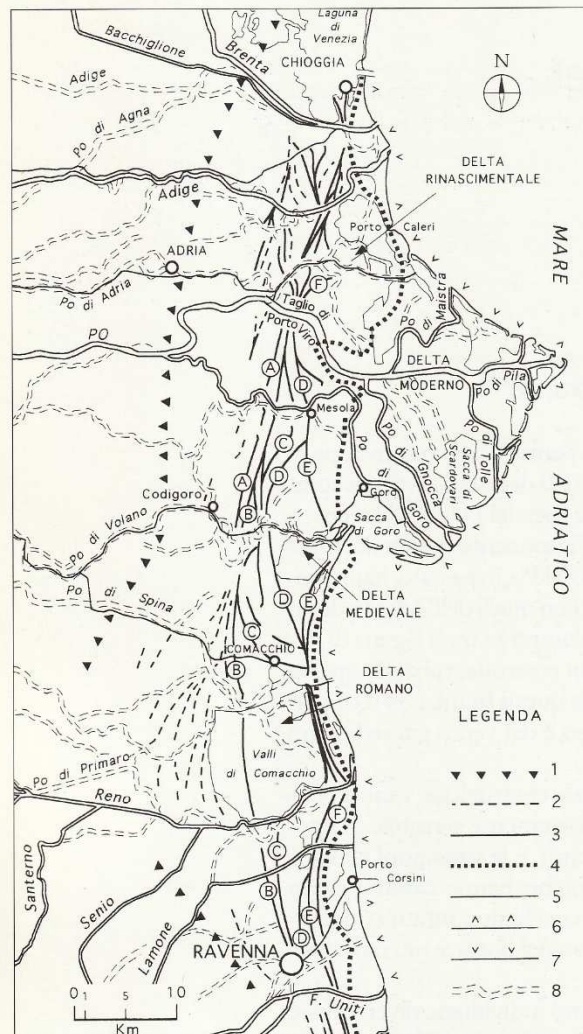


Figura 9 – Carta geomorfologica dell’area deltizia padana. . Possibile posizione della linea di costa al culmine della trasgressione postglaciale; 2. Cordoni litoranei sepolti; 3. Cordoni litoranei affioranti di età: A. precedenti il IX secolo a.C.; B. fra il VI e il IV secolo a.C.; C. fra il I e il III secolo a.C.; D. fra il V e il VI secolo; E. intorno al X secolo; F. del XIV secolo; 4. Linea di costa alla fine del XVI secolo; 5. Linea di costa attuale; 6. Tratti di costa con tendenza all’avanzamento; 7. Tratti di costa con tendenza all’arretramento; 8. Paleoalvei principali (Cazzola, 2000)

Con la chiusura del Po di Tramontana, il Po di Venezia diviene il principale corso del fiume e, relativamente al territorio di Rosolina, prendono origine la penisola di Caleri, l’Isola di Albarella, lungo il nuovo cordone litoraneo, e le valli a monte delle stesse.

Infine, a partire dall’Ottocento e soprattutto in seguito ai due conflitti mondiali e alle due alluvioni del 1951 e del 1966 si avviano con grande impulso gli interventi di bonifica per sopperire alla crisi sociale ed economica, recuperando e ricostruendo i sistemi di argini, gli scoli e gli impianti idrovori permettendo così la ripresa dell’attività agricola. L’intero complesso di sistemazioni idrauliche del territorio si è concluso negli anni Settanta. Gli interventi antropici di regimazione dei corsi d’acqua a partire dal XIX hanno favorito

l'attuale configurazione del delta, che ha come ramo principale il Po di Venezia e che prende il nome di Po di Pila nel tratto finale. Mentre si è reso indipendente il ramo del Po di Levante dal corso principale, che oggi costituisce il tratto terminale del Fissero-Tartaro-Canalbianco. In Figura 9 è riportata l'evoluzione della morfologia delta del Po.

2.4.2 *Storia dell'Isola di Albarella*

L'intero territorio polesano si trova sotto il dominio della Repubblica di Venezia a partire dal 1484, anno della pace di Bagnolo, che pose fine al conflitto alla guerra del sale tra Venezia e Ferrara, e fino al 1797, anno della caduta della Serenissima. A tale periodo risale un interesse via via maggiore da parte delle famiglie veneziane verso l'entroterra, in particolar modo dopo la realizzazione del Taglio di Porto Viro, seguito dai numerosi interventi di bonifica necessari a rendere coltivabili i terreni sottratti alle acque. In tale contesto l'Isola di Albarella viene acquisita nel 1753 dalla famiglia veneziana dei Vianelli, che ne fanno una residenza estiva e di caccia, edificando nel 1772 Ca' Vianelli, l'attuale Ca' Tiepolo, che si trova in prossimità dell'ingresso dell'isola. Il toponimo sembra derivare da *àlbare*, termine dialettale con cui si indica il pioppo. I Vianelli mantengono nei decenni successivi anche le diverse proprietà in prossimità dell'isola, contribuendo allo sviluppo turistico di Rosolina Mare tra gli anni Sessanta e Settanta del Novecento, mentre l'isola viene ceduta. L'isola è così acquistata nel 1941 dal Cavaliere Roberto Scagliarini, di Bologna, che avvia una serie di opere di bonifica, sfruttando i nuovi territori per la coltivazione, l'allevamento e la pesca (Pasini, 1995). In Figura 10 è riportata la sequenza fotografica delle trasformazioni urbanistiche e paesaggistiche che hanno interessato l'Isola di Albarella.

Il territorio di Rosolina è tra quelli colpiti dall'alluvione del 1951 e dalla mareggiata del 1957, ma nonostante gli interventi di sistemazione idraulica, il ripristino dell'attività agricola diviene particolarmente complessa, al punto che l'isola viene progressivamente abbandonata dai mezzadri e, nel 1959, anche dallo stesso Scagliarini.

Nel 1960 l'isola è acquistata dal Conte Augusto Chiericati, di Vicenza, che delega il Dott. Armando Pedrazzini, avvocato svizzero, di occuparsi della gestione dell'isola. Quest'ultimo intuendo le potenzialità dell'isola come località turistica, diviene promotore nel 1967 del "Progetto Albarella", basato sulla promozione di un'offerta turistica di tipo esclusivo, rivolto prevalentemente a imprenditori e dirigenti provenienti da tutta Europa. Tra gli investitori, è di particolare rilievo il Credito Svizzero, che grazie a diversi istituti bancari, acquista parte delle quote societarie, permettendo quindi l'avvio dei lavori e la realizzazione

delle prime opere di urbanizzazione in pochi anni. Fino al 1973 vengono edificati unità abitative e infrastrutture quali le strade interne, gli argini, l'acquedotto, la centrale di potabilizzazione, le reti elettrica e telefonica, gli alberghi, il centro sportivo e il centro ippico. Negli stessi anni si procede al restauro di Ca' Tiepolo, alla bonifica della Valle Nuova, alla realizzazione di un centro commerciale, di uno stabilimento balneare e del campo da golf, progettato dall'architetto John Harris. A metà degli anni Settanta vengono costruiti i fiordi, in corrispondenza di Valle Nuova, e a ovest di essi un argine che ne delimita lo specchio d'acqua. Nel 1988 la famiglia Marcegaglia, già tra i primi soci dal 1973, acquista le azioni di Albarella S.p.A., allora proprietaria dell'Isola, e viene adottata da quel momento un'organizzazione gestionale per cui i poteri amministrativi ed esecutivi fanno capo al Consiglio di Comunione, organo che rappresenta, a partire dal 1990, i proprietari degli immobili.

Oggi l'Isola di Albarella propone la propria offerta turistica valorizzando e promuovendo la peculiarità di trovarsi a stretto contatto con il verde e la natura, garantendo sicurezza e tranquillità per gli ospiti e famiglie, con un servizio di vigilanza e una diversificata offerta di attività sportive e di intrattenimento. Oltre alle strutture dedicate alla pratica di golf, tiro con l'arco, equitazione, tennis e nuoto, sono disponibili un percorso vita con aree attrezzate dislocate nella porzione centrale dell'isola e un ulteriore percorso ciclo-pedonale di circa 10 km che segue il perimetro dell'isola.

Come intervento di riqualifica dopo l'evento calamitoso del 2017, in isola ha preso avvio il progetto "Immersi nella natura" in collaborazione con Atelier Coloco di Parigi, che prevede il ripristino delle aree verdi comuni, compresa la realizzazione e installazione di opere di land art (Isola di Albarella, 2022).

La sensibilità verso le tematiche connesse alla sostenibilità ambientale dell'isola e delle attività presenti ha portato all'adozione di pratiche sostenibili, riducendo il più possibile la circolazione degli automezzi e favorendo l'uso di biciclette o golf car per gli spostamenti interni, e promuovendo stili di vita sostenibili durante la permanenza in isola. Il comprensorio turistico dell'Isola di Albarella è attualmente certificato EMAS (Eco – Management and Audit Scheme) allo scopo migliorare le proprie prestazioni ambientali in modo continuo, definendo una politica ambientale dell'organizzazione e opportuni sistemi di gestione. Questi ultimi sono quantificati da indicatori e parametri, monitorati nel tempo, al fine di valutare il raggiungimento degli obiettivi preposti.

Inoltre, al fine di ridurre progressivamente le emissioni di CO₂ con l'obiettivo di raggiungere la carbon neutrality (ISO 14064 e PAS 2060) è in essere una collaborazione con il Dipartimento TESAF - Territorio e Sistemi Agro-Forestali dell'Università di Padova, che han portato alla realizzazione del Progetto Zero Carbon Emission e del Progetto ALBA, finalizzati alla quantificazione delle principali fonti di emissione e stoccaggio di carbonio ed dell'isola e all'implementazione di un modello di simulazione dei rapporti di emissione e assorbimento. Tale strumento misura gli effetti in termini di CO₂ equivalente degli interventi necessari a ridurre progressivamente le emissioni.

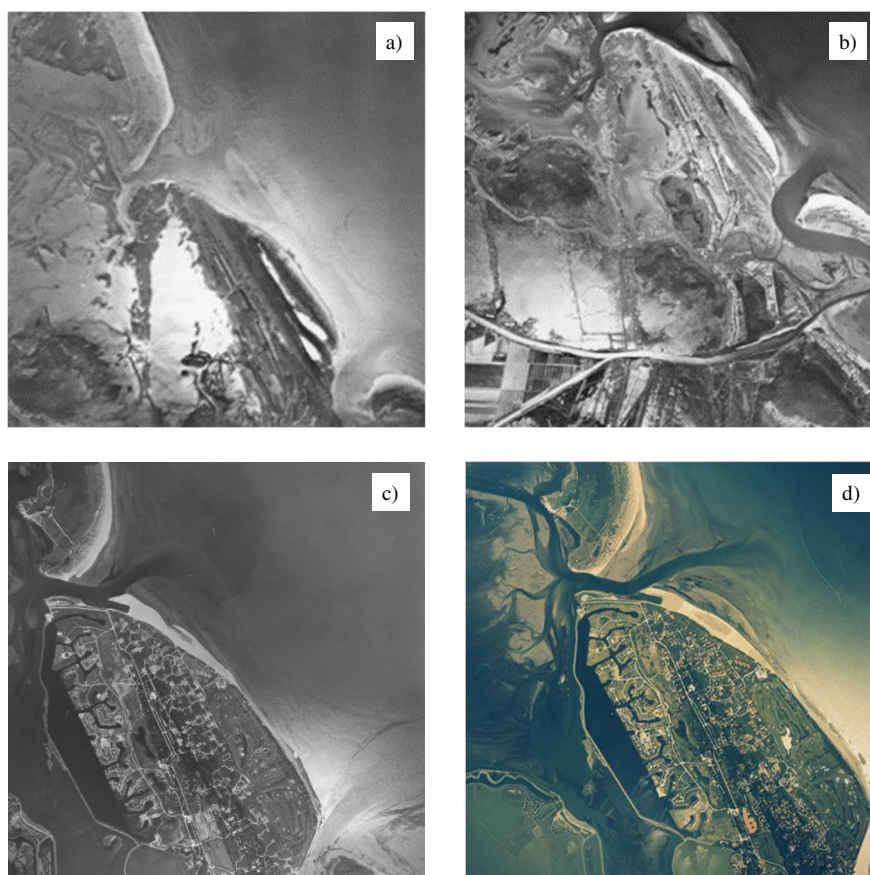


Figura 10 – Sequenza di foto aeree da a) e b) Volo GAI 1955, c) Volo Reven 1983 e d) Volo Reven 1990.
Tratto da Regione del Veneto – L.R. n. 28/76 Formazione della Carta Tecnica Regionale
(Geoportale Regione Veneto, 2022)

2.4.3 *Lo sviluppo turistico*

A partire dagli anni Cinquanta il turismo diviene un fenomeno di massa e in Veneto il fenomeno prende piede lungo le coste, portando alla creazione di stabilimenti balneari lungo tutto il litorale adriatico. Relativamente al Comune di Rosolina, il fenomeno si manifesta più in ritardo, verso gli anni Sessanta, periodo durante il quale le dune del litorale vengono progressivamente sbancate per fare spazio ad arenili e stabilimenti balneari, ridisegnando e modellando il paesaggio costiero.

Relativamente ai volumi del settore turistico nel Comune di Rosolina i dati statistici regionali (“Ufficio Statistico Regione Veneto,” 2022) evidenziano valori medi per gli arrivi, compresi tra il 2017 e il 2021 pari a 127.000 unità, che variano tra le 140.000 unità all’anno fino al 2019 e le 95.000 del 2020 (-25,1% rispetto al valore medio), a causa della pandemia da Covid-19, con una diminuzione dovuta per lo più ai mancati arrivi di turisti dall’estero, che hanno subito una diminuzione dalla media di 47.800 arrivi all’anno nel quinquennio di riferimento, a poco più di 20.000 (-56,3%) nel 2020 e 37.500 (-21,6%) nel 2021. Le presenze complessive sono diminuite nel 2020 del 27,5% (678.200) rispetto alla media di 935.000 unità/anno. Anche in questo caso pesano i mancati arrivi dei turisti stranieri.

Per quanto riguarda l’Isola di Albarella le presenze totali sono di circa 140.000 unità all’anno, scese a poco meno di 83.000 nel 2020, considerando le due strutture alberghiere e gli immobili gestiti da Albarella s.r.l., e in media si stima la presenza di circa 15.000 presenze giornaliere nei periodi di maggior affluenza della stagione turistica (Comprensorio Turistico dell’Isola di Albarella, 2021). Tenendo conto delle limitazioni nella disponibilità dei dati, le presenze in isola rappresentano indicativamente il 15% del totale a livello comunale. Le presenze turistiche sono comunque concentrate nel periodo estivo e complessivamente tra i mesi di aprile e settembre. Per quanto riguarda Porto Caleri non sono disponibili dati a riguardo, dato che non vi sono strutture ricettive nell’area e l’affluenza di visitatori al Giardino botanico litoraneo del Veneto non tiene conto di chi usufruisce liberamente della spiaggia adiacente.

2.5 Inquadramento vegetazionale

Gli ecosistemi costieri sono soggetti a fattori di minaccia sia naturale, che antropica. Dove queste aree si sono conservate, ad esempio attraverso l’istituzione di aree protette come nel caso di Porto Caleri. In tali aree, la pressione antropica è comunque presente ed è dovuta

prevalentemente al calpestio sentieri e percorsi si cerca di limitarne gli effetti che comunque portano ad una frammentazione delle comunità vegetali, soprattutto a carico di specie meno competitive, influenzando le dinamiche naturali di accumulo dei sedimenti e favorendo l'ingresso di specie vegetali alloctone.

Tra i fattori naturali vi è l'erosione delle aree costiere, influenzata da intensità e direzione del vento, che si manifesta con la progressiva eliminazione delle dune embrionali. Le dune fisse, invece, sono state spesso oggetto di interventi di urbanizzazione, attività agricole e turistico-ricreative che nel tempo hanno portato alla perdita di buona parte delle fitocenosi originarie, che sopravvivono anche in questo caso quasi esclusivamente in aree protette. Infatti, l'istituzione della Rete Natura 2000 da parte dell'Unione Europea per la conservazione della biodiversità ha permesso di individuare da parte dei Stati Membri sistemi, come i Siti di Interesse Comunitario (SIC) e le Zone Speciali Conservazione (ZSC) ai sensi della Direttiva 92/43/CEE "Habitat" e le Zone di Protezione Speciale (ZPS) ai sensi della Direttiva 2009/147/CE "Uccelli", al fine di garantire uno stato di conservazione soddisfacente, individuando le misure di conservazione idonee (Rete Natura 2000, 2022).

Di seguito si riporta brevemente la descrizione delle principali specie o comunità di specie vegetali che caratterizzano la seriazione degli ecosistemi costieri. La sintesi relativa alla vegetazione potenziale degli ambienti litorali, dove non diversamente specificato, si riferisce ai lavori di Buffa & Filesi (2007) e Buffa et al. (2012), Gamper et al. (2008), Piva e Scortegagna (1993). Per i syntaxa fitosociologici si è fatto riferimento al (Prodromo della vegetazione d'Italia, 2022), per gli habitat della Rete Natura 2000 al Manuale Italiano di interpretazione degli habitat della Direttiva 92/43/CEE (Habitat Italia, 2022) e per gli elementi di criticità e le caratteristiche degli habitat al Manuale per il monitoraggio di specie e habitat di interesse comunitario (Direttiva 92/43/CEE) in Italia (Angelini et al., 2016) e alla guida ISPRA "Gli habitat delle coste sabbiose italiane: ecologia e problematiche di conservazione" (Acosta & Ercole, 2015).

Segue poi un inquadramento di dettaglio della vegetazione attuale e delle dinamiche in atto presenti presso Porto Caleri e l'Isola di Albarella e una breve descrizione del modello di simulazione del Progetto ALBA.

2.5.1 *La vegetazione potenziale degli ambienti costieri*

Gli ambienti costieri del Veneto sono caratterizzati da una diversità floristica che trova causa nei movimenti floristici tra il III e I millennio a.C., che hanno favorito migrazioni di specie termofile tipiche di ambienti mediterranei lungo le coste.

Gli ecosistemi costieri sono caratterizzati dalla presenza di dune, accumuli di sabbia che hanno origine per azione dei venti e delle onde del mare. Si tratta di ambienti vulnerabili, ma con una forte valenza ecologica per la biodiversità. Le condizioni ambientali favoriscono la distribuzione delle formazioni vegetazionali che seguono un gradiente ben definito dal mare verso l'entroterra, determinato prevalentemente dall'influenza dei venti, dalla salinità e dalla granulometria del substrato, dalla dinamica della morfologia delle dune e dall'azione delle maree (Acosta et al., 2007). La disposizione delle dune e degli ecosistemi segue una distribuzione che si sviluppa parallelamente alla linea di costa in assenza di disturbi di origine antropica.

La serie delle psammofite è la vegetazione delle sabbie dei litorali, adattata a vivere in ambienti con suoli fortemente minerali, prevalentemente sabbiosi e poveri di nutrienti, soggetti ai venti, per cui le specie vegetali sviluppano spesso adattamenti come rizomi, stoloni e radici profonde, strutture morfologiche fondamentali nei processi di evoluzione e stabilizzazione dei sistemi di dune. Altri tipi di adattamento sono quelli delle specie vegetali succulente e sclerofille o strutture morfologiche spinose e habitus prostrati.

La serie delle alofite è la vegetazione di aree salmastre, come le barene, periodicamente soggette a periodi più o meno lunghi di sommersione, che presenta adattamenti ad ambienti a elevata salinità, come ad esempio il mantenimento di pressioni osmotiche elevate accumulando sali nei vacuoli cellulari o eliminandoli attraverso cellule secernitrici di fusti e foglie.

2.5.1.1 *Vegetazione delle spiagge e delle dune mobili*

Lungo i primi accumuli sabbiosi sulla spiaggia, sotto l'azione del vento, si insediano le associazioni del *Salsolo kali-Cakiletum maritimae*, costituita principalmente da terofite nitrofile come *Cakile maritima* (ravastrello marittimo) e *Salsola kali*, quest'ultima succulenta annuale. Data la forte esposizione ai venti, alle mareggiate e all'ambiente salino sono le poche le specie vegetali in grado di insediarsi in questa prima fascia. Si tratta di un tipo di habitat frequentemente soggetto alle operazioni di pulizia delle spiagge e, dove presenti, occupato dalle strutture turistico-balneari, che insieme all'erosione rappresentano i

principali fattori di minaccia. La serie prosegue con le pioniere delle dune embrionali, *Elytrigia juncea* (gramigna delle spiagge), *Sporobolus arenarius*, *Cyperus kalli* (zigolo delle spiagge), appartenenti all'associazione *Sporobolo arenarii-Agropyretum juncei*, dove il substrato è ancora salino e povero in sostanza organica. Nelle aree occupate da tale associazione è frequente osservare anche specie quali *Xanthium italicum* (nappola italiana), *Cenchrus longispinus* (nappola delle spiagge), terofite scapose, o *Oenothera stuchii* (enagra di Stucchi), emicriptofita biennale, considerate neofite invasive, con cicli biologici molto rapidi e grande produzione di seme, adattamento che consente la sopravvivenza e la diffusione delle popolazioni (Del Vecchio et al., 2015). *Echinophoro spinosae-Ammophiletum arenariae* è l'associazione in cui domina *Ammophila arenaria* (sparto pungente), che contribuisce a fissare gli accumuli sabbia alla base della pianta sviluppando rizomi e consolidando le dune embrionali. Con meno frequenza si trovano *Echinophora spinosa* (finocchio litorale spinoso), *Euphorbia paralias* (euforbia marittima), *Eryngium maritimum* (calcatreppola marittima). Più comunemente vengono definiti come cakileto, agropireto e ammoreto. In riferimento alla Direttiva Habitat (Direttiva n. 92/43/CEE) in questo tipo di ecosistema si possono trovare i seguenti habitat:

- 1210: Vegetazione annua delle linee di deposito marine;
- 2110: Dune embrionali mobili;
- 2120: Dune mobili del cordone litorale con presenza di *Ammophila arenaria* (dune bianche).

2.5.1.2 Vegetazione delle dune stabilizzate

Nella fascia delle dune stabilizzate, la distribuzione spaziale delle comunità vegetali si frammenta e l'influenza del mare, dei venti e della salinità sono meno intensi, ma la copertura complessiva rimane elevata. Una particolarità è la presenza del *Tortulo-Scabiosetum*, prateria secca perenne dominata da arbusti, erbacee perenni, muschi e licheni, le cui specie diagnostiche sono *Carex liparocarpos* (carice lustra), *Lomelosia argentea* (vedovina delle spiagge), *Syntrichia ruraliformis* (Phylum *Bryophyta*), *Stachys recta* (stregonia gialla), *Centaurea tommasinii* (fiordaliso di Tommasini) e frequenti sono *Fumana procumbens* (fumana comune), *Silene conica*, *Lagurus ovatus*, *Sanguisorba minor* (salvastrella minore), *Phleum arenarium* (codolina delle spiagge). Vi sono poi comunità intermedie (associazioni *Viburno-Phillyreum angustifoliae* ed *Erico-Osyridetum albae*) e gli arbusti della macchia (associazione *Junipero-Hippophaetum fluviatilis*). Se da un lato

queste comunità sono tra le più ricche in specie tra quelle costiere, dall'altro ospitano anche più frequentemente specie aliene e specie ruderali prevalentemente a causa della pressione antropica e in particolare al calpestio. Questo tipo di disturbo favorisce l'ingresso di specie aliene, mentre le specie caratteristiche, in particolare le arbustive, i muschi e i licheni, risultano essere meno competitive, per cui sono favorite specie erbacee più tolleranti al calpestio (Del Vecchio et al., 2015; Silan et al., 2017). Oltre alle erbacee *Ambrosia psilostachya* (ambrosia a spiga rada), *Cenchrus longispinus*, *Senecio inaequidens* (senecio sudafricano) e *Oenothera stuebelii*, trovano spazio anche le fanerofite *Elaeagnus angustifolia* (olivo di Boemia) e *Amorpha fruticosa* (falso indaco). Un altro elemento di pressione è dovuto alla presenza di zone residenziali e turistiche, aree agricole o altre forme di urbanizzazione che hanno frammentato e indebolito gli habitat delle dune grigie. Tra gli habitat di interesse comunitario di questa fascia si segnalano:

- 2130*: Dune costiere fisse a vegetazione erbacea (dune grigie);
- 2160: Dune con presenza di *Hippophaë rhamnoides*;
- 2230: Dune con prati dei *Malcolmietalia*;
- 2250*: Dune costiere con *Juniperus* spp.;
- 6420: Praterie umide mediterranee con piante erbacee alte del *Molinio-Holoschoenion*.

2.5.1.3 Vegetazione delle depressioni umide interdunali

Si tratta di depressioni comprese tra due dune successive entro le quali risale l'acqua di falda e la vegetazione azonale è rappresentata dalle comunità a *Cladium mariscus* (falasco) dell'associazione *Soncho maritimi-Cladietum marisci*, e a *Erianthus ravennae* (canna del Po) e *Schoenus nigricans* (giunco nero comune), questi ultimi dell'associazione *Eriantho-Schoenetum nigricantis*. Si tratta di habitat raramente rinvenibili, a causa degli interventi di bonifica e dell'uso agricolo, che in passato ne hanno determinato la scomparsa. Habitat di interesse comunitario sono:

- 6420: Praterie umide mediterranee con piante erbacee alte del *Molinio-Holoschoenion*;
- 7210*: Paludi calcaree con *Cladium mariscus* e specie del *Caricion davallianae*.

2.5.1.4 Vegetazione dei boschi costieri

Tipicamente la prateria è seguita dall'orno-lecceta (*Vincetoxico-Quercetum ilicis*) a prevalente dominanza di leccio con scarso sottobosco, in genere si trovano *Rubia peregrina* (robbia selvatica) e *Phillyrea angustifolia* (ilatro sottile). In passato questo ecosistema è stato spesso oggetto di rimboschimenti artificiali in genere per la difesa delle zone coltivate dai venti, per cui non sempre sono distinguibili specie e comunità tipiche di questo ecosistema e rare sono le pinete costiere di origine naturale. Relativamente alle pinete di origine artificiale si trovano pinete a pino domestico (*Pinus pinea*) e/o pino marittimo (*Pinus pinaster*), con leccio (*Quercus ilex*) nel piano dominato e nel sottobosco. Le minacce per questi ecosistemi sono riconducibili agli incendi e l'urbanizzazione. Tra gli habitat di interesse comunitario:

- 2270*: Dune con foreste di *Pinus pinea* e/o *Pinus pinaster*;
- 9340: Foreste di *Quercus ilex* e *Quercus rotundifolia*.

2.5.1.5 Vegetazione delle zone umide salmastre

Nelle aree umide dominano le alofite, adattate a vivere in ambienti umidi e salmastri con suoli salini, anche per periodi di sommersione, come velme e barene. Tra le specie principali vi sono *Salicornia* spp., succulente annuali, e in particolare l'associazione del *Salicornietum venetae*, che si trova su suoli periodicamente inondati e poveri di sostanza organica. Le barene ospitano alofite perenni quali *Limonium* spp., *Puccinellia palustris* (puccinellia festuciforme) e *Spartina maritima* (sparto delle barene), tipici di diverse associazioni (*Limonio-spartinetum maritimae* e *Puccinellion festuciformis*), oltre ai giunchi (*Juncus* spp.). Tra questi ultimi vi sono in particolare *Juncus maritimus* (giunco marittimo) e *Juncus acutus* (giunco pungente), che insieme a *Carex extensa* (carice delle lagune), *Aster tripolium* (astro marino), *Plantago cornuti* (piantaggine di Cornut) sono ascrivibili all'alleanza del *Juncion maritimi*. In genere le comunità vegetali entrano in contatto tra loro e assumono una disposizione a mosaico. Gli habitat di interesse comunitario che rientrano in queste cenosi sono:

- 1310: Vegetazione annua pioniera a *Salicornia* e altre specie delle zone fangose e sabbiose;
- 1320: Prati di *Spartina* (*Spartinion maritimae*);
- 1410: Pascoli inondati mediterranei (*Juncetalia maritimi*);

- 1420: Praterie e fruticeti alofili mediterranei e termo-atlantici (*Sarcocornietea fruticosi*).

In Figura 11 si riporta la serie della vegetazione potenziale caratteristica delle porzioni meridionali delle coste adriatiche settentrionali.

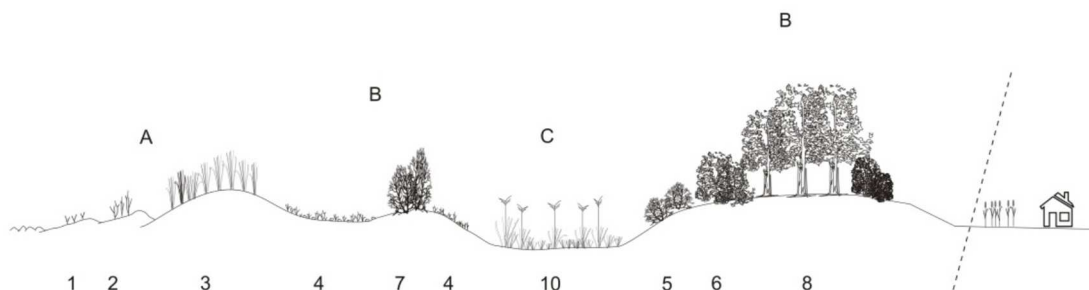


Figura 11 – Rappresentazione semplificata della vegetazione potenziale naturale (PNV) lungo la costa adriatica settentrionale. A = Spiaggia e dune mobili; B = Serie edafo-xerofila; C = Serie edafo-igrofila. 1 = *Salsolo-Cakiletum maritimae*; 2 = *Sporobolo-Agropyretum juncei*; 3 = *Echinophoro-Ammophiletum australis*; 4 = *Tortulo-Scabiosetum*; 5 = *Erico-Osyridetum albae*; 6 = *Viburno-Phillyreetum angustifoliae*; 7 = *Junipero-Hippophaetum fluviatilis*; 8 = *Vincetoxico-Quercetum ilicis*; 9 = *Teucrio-Chrysopogonetum grilli*; 10 = mosaico igrofilo. Tratto e adattato da Buffa et al. (2012).

2.5.2 La vegetazione di Porto Caleri

Come già descritto in precedenza, Porto Caleri rappresenta uno degli ambienti meglio conservati tra gli ecosistemi costieri, anche grazie all'istituzione del Giardino Botanico litoraneo del Veneto, alle zone di conservazione ZPS e SIC della Rete Natura 2000 e all'istituzione del Parco Regionale del Delta del Po Veneto.

In Figura 12 si riporta un transetto ideale che rappresenta i principali ecosistemi e comunità vegetali censiti a Porto Caleri e in

Figura 13 è rappresentata la cartografia degli habitat di interesse comunitario presenti e tutelati nell'ambito della Rete Natura 2000 (SIC - IT3270017 e ZPS - IT3270023). Dal punto di vista vegetazionale ed ecologico sono ben rappresentate la serie delle psammofite e la serie delle alofite. Entrambe le successioni tendono alle formazioni boschive e seguono lo stesso gradiente che si manifesta a livello pedologico: alle piante pioniere dei suoli minerali segue il bosco su suoli evoluti, ricchi di humus e ben strutturati (Piva & Scortegagna, 2005). Lungo il gradiente dal mare verso le dune più consolidate, si ritrova la maggior parte della vegetazione potenziale. La spiaggia, pur essendo soggetta al disturbo dovuto alle mareggiate più intense e al calpestio dei frequentatori, non è interessata dagli interventi di ripulitura e spianatura, per cui trovano spazio le pioniere annuali come *Cakile*

maritima, *Salsola kali*, *Xanthium italicum* e *Eryngium maritimum*, riconducibili all'associazione del *Salsolo-Cakiletum aegyptiacae*.

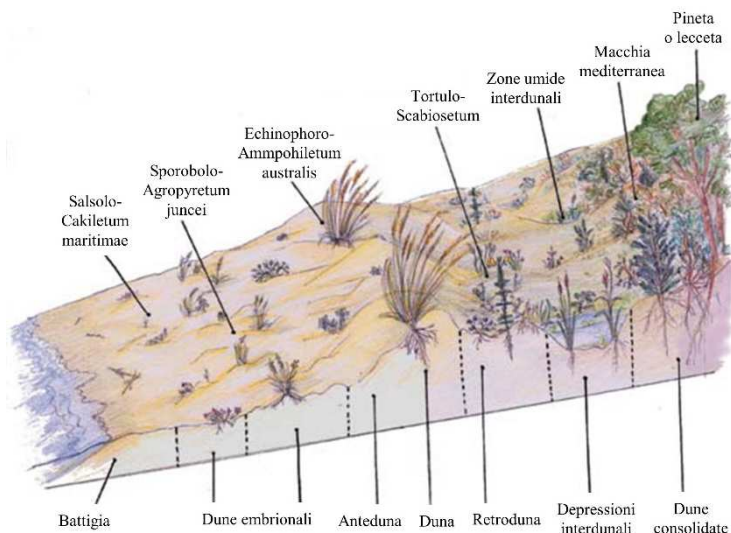


Figura 12 – Sezione della distribuzione della vegetazione presso il Giardino botanico litoraneo del Veneto di Porto Caleri. Nella parte superiore sono riportate associazioni e comunità vegetali; nella parte inferiore le morfologie dell'ambiente costiero. Tratto e adattato da “Il giardino botanico litoraneo del Veneto”, Servizio forestale regionale per le province di Padova e Rovigo (2003).

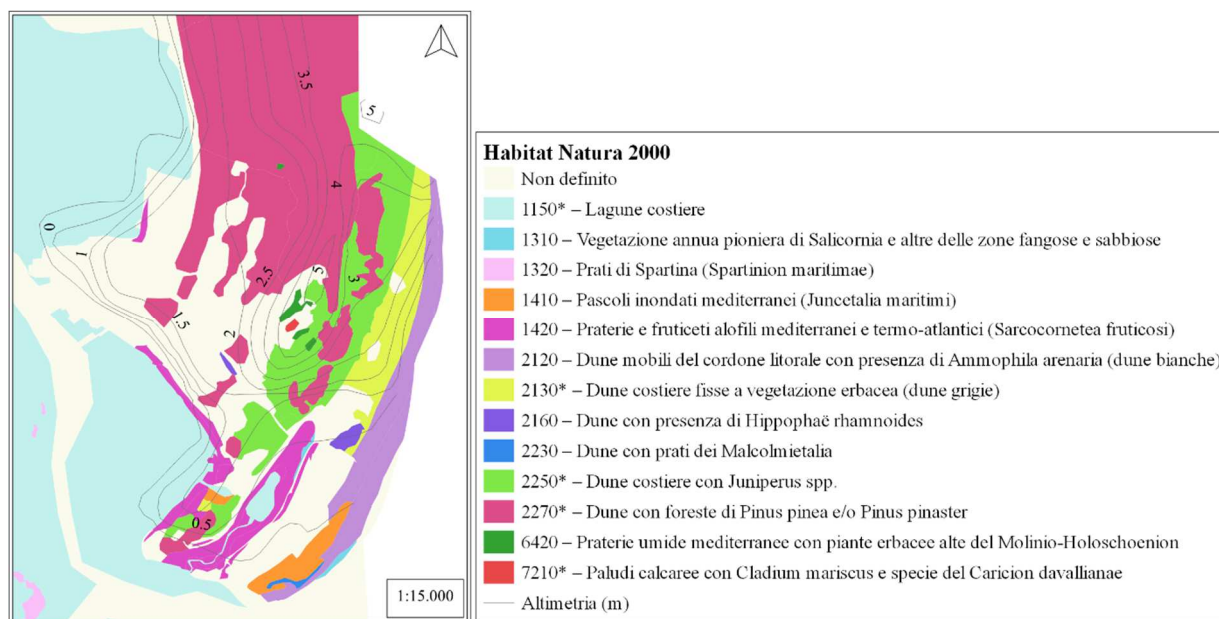


Figura 13 – Cartografia degli habitat Rete Natura 2000 presenti a Porto Caleri, Sito di Importanza Comunitaria “Delta del Po: tratto terminale e delta veneto”, SIC - IT3270017 e Zona di Protezione Speciale “Delta del Po”, ZPS - IT3270023, (Geoportale Regione Veneto, 2022)

Altra caratteristica è la presenza di necromassa legnosa trasportata dall'Adige e fino a riva dalle mareggiate. Le prime dune embrionali o dune bianche sono consolidate da *Ammophila*

littoralis e piante erbacee perenni, molto spesso *Poaceae* rizomatose, ascrivibili all'associazione dello *Sporobolo arenarii-Agropyretum juncei*.

In questa prima fascia e nel primo retro-duna trovano spazio anche l'apocino veneto (*Trachomitum venetum*) e le praterie di *Calystegia soldanella*, *Medicago marina*, *Echinophora spinosa*, *Eryngium maritimum*. Dietro le dune bianche il substrato inizia a consolidarsi e si trovano muschi, come *Tortula ruralis*, e licheni (*Cladonia* spp.) tipici del *Tortulo-Scabiosetum*, che creano le condizioni idonee a *Helichrysum italicum*, *Scabiosa argentea* e *Centaurea tommasinii*, *Vulpia membranacea*, *Vulpia ciliata*, *Silene conica* e *Silene colorata*. Il substrato inizia ad arricchirsi in sostanza organica e si formano le dune grigie.

Gli arbusti della macchia mediterranea sono ginepro (*Juniperus communis*), olivello spinoso (*Hippophaë rhamnoides*), e filirrea (*Phyllirea angustifolia*), *Rhamnus catharticus*, *Pyracantha coccinea*. L'associazione *Junipero-Hippophaëtum fluviatilis* è segnalata solo per la stazione di Porto Caleri in Veneto.

Lungo la penisola di Caleri in direzione nord gli arbusti lasciano spazio alla pineta, mentre nell'area del Giardino botanico si sviluppa un'ulteriore zona occupata dal mantello della lecceta. In questo caso si trova di nuovo *Juniperus communis* che assume anche forma arborea, insieme a *Phillyrea angustifolia*, *Crataegus monogyna*, *Cornus sanguinea* e *Viburnum lantana*. È possibile la presenza di individui di leccio (*Quercus ilex*) a portamento prevalentemente arbustivo.

Le zone umide d'acqua dolce ospitano vegetazione igrofila, in particolare *Erianthus ravennae*, *Cladium mariscus*, e *Typha* spp. Tra gli arbusti compaiono *Rhamnus catharticus*, *Frangula alnus*.

Le zone umide d'acqua salmastra, nella porzione più a sud del giardino botanico ospitano alofite, in particolare *Limonium* spp. e *Salicornia veneta*. Notevole è anche la presenza di giunchi (*Juncus* spp.). Quest'area è periodicamente sommersa da acqua salata, per cui le specie vegetali che vi si trovano tollerano i sali dell'acqua e le associazioni sono il *Salicornietum venetae*, il *Limonio-Puccinellietum palustris* e il *Limonio-Spartinetum maritimae*. Infine nel tempo, sono entrate specie aliene, tra le quali *Spartina juncea* (Caniglia, 2007), che forma estese praterie sia nel retroduna, che in prossimità della zona umida salmastra, *Oenothera biennis*, che occupa l'area compresa tra il primo retroduna e la

fascia a macchia mediterranea, e *Amorpha fruticosa*, che trova spazio sia in prossimità delle dune che tra gli arbusti del sottobosco.

In sintesi, le associazioni di psammofite (Ballasso, 1998) presenti sono:

- *Salsolo-Cakiletum aegyptiaceae* Costa et Manz. 1981
- *Sporobolo arenarii-Agropyretum juncei* (Br. Bl. 1933) Géhu et al. 1984
- *Echinophoro spinosae-Ammophiletum arenariae* (Br. Bl. 1933) Géhu et al. 1984
- *Sileno coloratae-Vulpietum membranaceae* (Pign. 1953) Géhu et Scopp. 1984
- *Tortulo-Scabioetum* Pign. 1953
- *Junipero-Hippophaetum fluviatilis* Géhu et Scopp. 1984
- *Typhetum latifoliae* (Soo 1927) Lang 1973;
- *Cladietum marisci* Allorge 1922
- *Phragmitetum communis* (W. Kock 1926) Schmale 1939

Per quanto riguarda la vegetazione alofila le associazioni segnalate (Sanità, 1998) sono:

- *Salicornietum venetae* Pign. 1966
- *Pucciniello festuciformis-Arthrocnemetosum fruticosi* (Br. Bl. 1928) Géhu 1976
- *Limonio-Artemisietum coerulescentis* (Pign. 1953) Géhu e Scopp. 1984
- *Limonio-Puccinellietum palustris* (Pign. 1966) Géhu e Scopp. 1984
- *Zosteretum nolti* Harms. 1936
- *Suaedo-Salicornietum patulae* (Brullo e Furnari 1976) Géhu 1984
- *Limonio-Spartinetum maritimae* (Pign. 1966) Beeft., Géhu 1973

2.5.2.1 La pineta di Caleri

La pineta di Porto Caleri si sviluppa a nord del Giardino Botanico in direzione longitudinale, parallelamente alla costa e ospita prevalentemente l'habitat prioritario 2270* *Dune con foreste di Pinus pinea e/o Pinus pinaster*. Si tratta di formazioni forestali artificiali a pini mediterranei nel piano dominante e co-dominante (*Pinus pinaster*, *Pinus pinea*, *Pinus halepensis*) su dune stabili e consolidate, con il pino marittimo che prevale nettamente nella frequenza degli individui rispetto agli altri e costituisce un esempio di pineta secondaria di pino marittimo. Il sottobosco e le chiarie, quando presenti, ospitano prevalentemente *Rubus ulmifolius* e *Asparagus acutifolius*, ma anche *Phillyrea angustifolia*, *Rhamnus cathartica*, *Rubia peregrina*, *Clematis flammula*, *Lonicera etrusca*, *Ruscus aculeatus* e *Quercus ilex*,

quest'ultimo in habitus sia arbustivo che arboreo. Rispetto alla lecceta mediterranea pura, mancano invece specie quali *Pistacia lentiscus*, *Myrtus communis* o *Viburnus tinus*, sostituite dalla serie delle psammofite (Lorenzoni et al., 1984). Più a ovest, in prossimità del centro visite la pineta diventa più rada e lascia spazio all'olmo (*Ulmus minor*).

La pineta è una fustaia coetaneiforme, la cui struttura è monopiana per l'origine antropica e mostra un buon adattamento all'ambiente costiero (Del Favero, 2004). Secondo la Carta delle categorie forestali della Regione Veneto ("Geoportale Regione Veneto," 2022), (Figura 14) i tipi forestali cartografati presso Porto Caleri sono *formazioni antropogene di conifere*, con copertura tra il 71 e 100 % (125,1 ha) e tra 10 e 30% (5 ha), nello specifico pineta di pino marittimo su lecceta, e l'*arbusteto costiero* con copertura tra il 71 e 100 % (10,7 ha).

In prossimità del mare e dei sistemi di dune i pini, soggetti all'azione del vento presentano una chioma con forma a bandiera. La struttura verticale si differenzia anche in uno strato arbustivo discontinuo a prevalenze di *Rubus ulmifolius*, *Asparagus acutifolius* e altre specie dal portamento arbustivo già citate in precedenza.

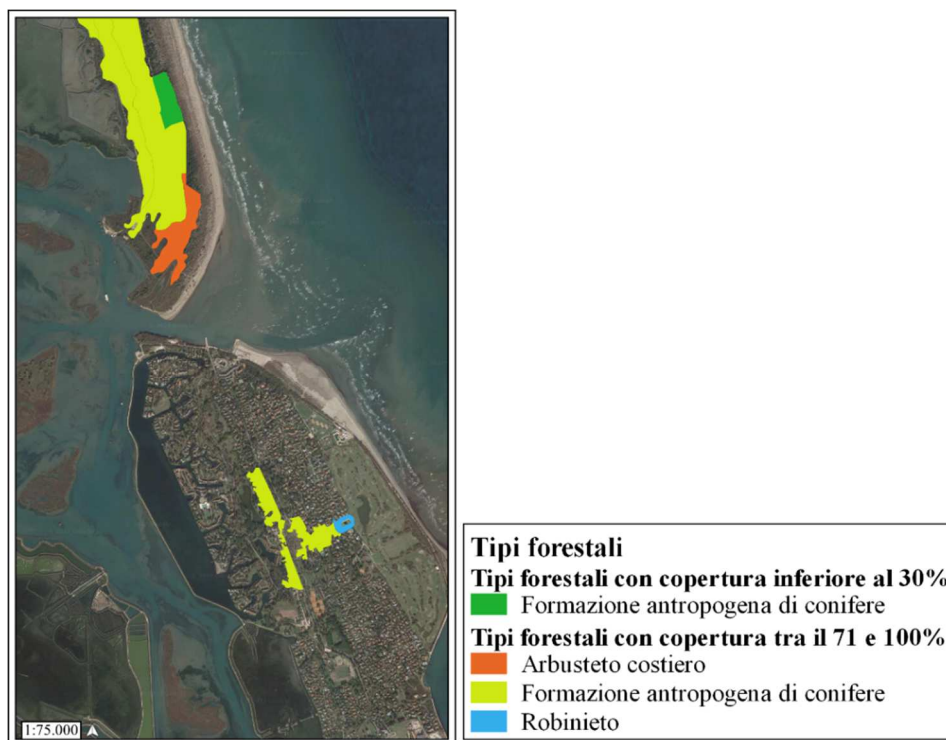


Figura 14 – Cartografia dei tipi forestali presenti nell'area di studio, (Geoportale Regione Veneto, 2022)

Dove l'impianto si fa meno denso, sono presenti radure e chiarie, dove tendono a entrare specie nitrofile, mentre manca la rinnovazione di pino marittimo ed è invece presente

quella del leccio. Per tale ragione, in assenza di interventi selvicolturali il popolamento potrebbe evolvere verso un'orno-lecceta (Del Favero et al., 2000).

Funzione prevalente per cui è stato effettuato l'impianto è l'azione frangivento a protezione delle valli da pesca e delle aree agricole dall'influenza del mare. I primi interventi di rimboschimento risalgono tra la fine degli anni Trenta e gli anni Cinquanta del XX secolo, preceduti verso il mare da una fascia a tamerice (*Tamarix gallica*), (D'Errico, 1950). D'Errico riporta anche che fu rimboschita una fascia di 14 ettari dietro la prima duna con pino laricio (*Pinus nigra laricio*), nero (*Pinus nigra*) e marittimo e nelle depressioni interdunali ontano bianco (*Alnus incana*), ma segnala anche che buoni risultati venivano dal pino domestico, mentre le altre conifere erano più sensibili all'attacco di lepidotteri defogliatori. In seguito, un'indagine dell'Ispettorato Regionale delle Foreste di Padova del 1972 (Del Favero et al., 1989) riporta il seguente stato relativo alle pinete di Rosolina:

Rosolina (172 ha)

Fascia fronte mare: zona verso Porto Fossone: pineta a prevalenza di pino domestico che da rada e degradata va via via migliorando più ci si allontana dalla linea di spiaggia. Zona centrale: pineta prevalenza di pino domestico totalmente urbanizzata con camping e villaggi turistici. Zona verso Porto Caleri: pineta prevalente di pino marittimo di 10-15 anni di età. Area interna: pineta di pino domestico e marittimo di 30 anni di età in buone condizioni vegetative dove, in epoca successiva all'impianto della pineta, è stato introdotto del leccio. In prossimità del fiume Adige, a fianco ad alcuni pioppeti, consistenti macchie a leccio con residui di pineta.

La pineta presenta piante molto filate a causa dell'eccessiva densità, motivo per cui è stata oggetto di diradamento selettivo a partire dal 1980 e nei primi anni 2000, al fine di favorire l'ingresso di specie del sottobosco (*Crataegus monogyna*, *Ulmus minor*, *Rhamnus cathartica*, *Phylirrea angustifolia*, *Quercus ilex*), migliorare la stratificazione verticale, creando buche per favorire la rinnovazione del leccio ed eliminando lo strato di lettiera indecomposto, e come intervento fitosanitario alla lotta di blastofagi. La porzione della pineta più prossima al mare si sostituisce alla vegetazione delle dune grigie e in particolare al Tortulo-Scabiosetum e risale agli interventi di rimboschimento del 1980, per cui sono stati proposti interventi di recupero della vegetazione dunale originaria, eseguendo tagli con buche a raso e impianto delle specie erbacee (Virgilietti, 2007). In Figura 15 si riporta la sequenza fotografica di foto aeree della Regione Veneto, che mostra la variazione della superficie forestale della penisola di Caleri in seguito agli interventi di rimboschimento e selvicolturali realizzati.

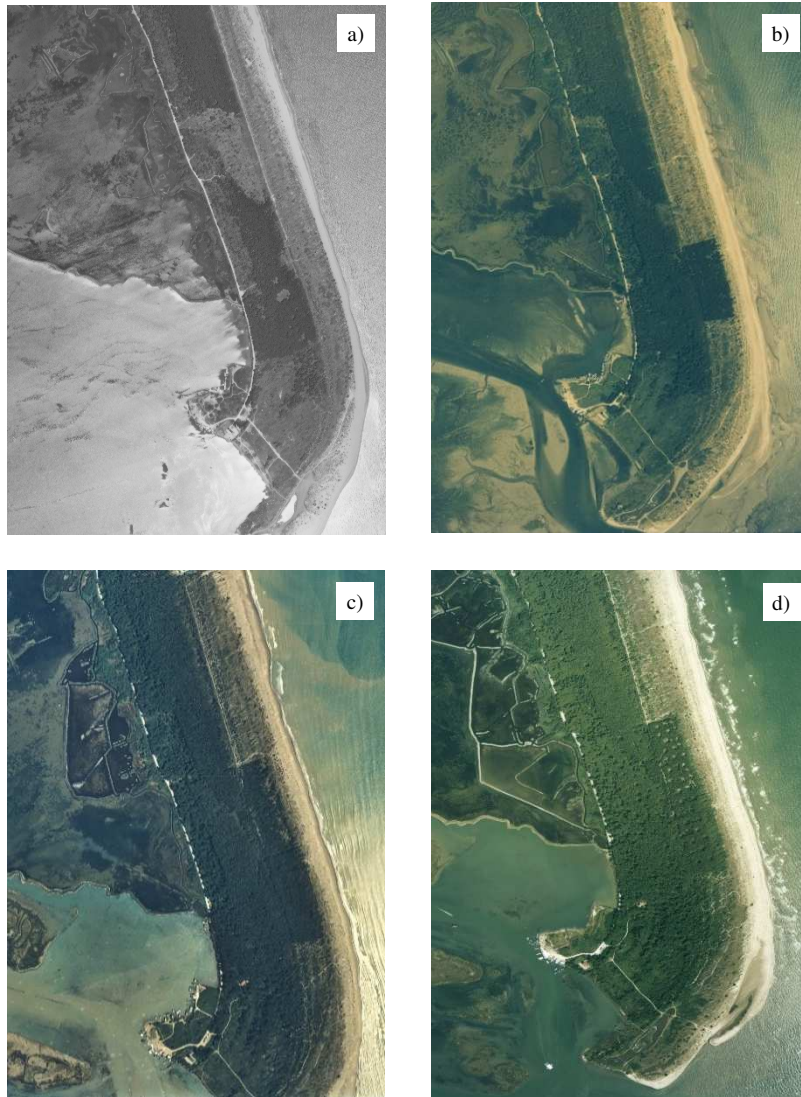


Figura 15 – Evoluzione della copertura della vegetazione di Porto Caleri: a) Volo Reven 1978, b) Volo Reven 1990, c) Volo Reven Veneto Centrale e Prov. Rovigo 1999, d) Volo Reven Delta Po VA 2008. Tratto da Regione del Veneto – L.R. n. 28/76 Formazione della Carta Tecnica Regionale, (Geoportale Regione Veneto, 2022)

2.5.3 *La vegetazione dell'Isola di Albarella*

L'isola di Alberella, pur condividendo l'origine evolutiva sotto il profilo geomorfologico con Porto Caleri, si presenta oggi profondamente alterata e trasformata per interventi antropici finalizzati alla realizzazione della funzione turistico-ricreativa che tutt'oggi ricopre.

Dalla stessa indagine dell'Ispettorato Regionale delle Foreste di Padova del 1972 sopra citata, si riporta Albarella la seguente affermazione relativa alla vegetazione boschiva:

Isola di Albarella (6 ha)

Buona parte del territorio è ancora coperto da vegetazione spontanea e da cespugliame di rovo e ginepro. Nella zona mediana vi è una fascia a pioppeto di età dai 15 ai 20 anni. Presenza nelle altre parti di pino domestico a piccoli gruppi sparsi o concentrato in tre nuclei più estesi dove è misto con il pino marittimo e il pino d'Aleppo. Età media 25 anni.

La pineta di origine artificiale, realizzata in seguito alle opere di urbanizzazione dell'isola, ospita prevalentemente pini. Secondo la Carta delle categorie forestali della Regione Veneto (“Geoportale Regione Veneto,” 2022) i tipi forestali cartografati presso l'Isola di Albarella sono *formazioni antropogene di conifere*, con copertura tra il 71 e 100% (7,7 ha) e tra 31 e 70% (4,87 ha), nello specifico pineta di pino domestico su lecceta, e il *robinieta* con copertura tra il 71 e 100 % (1,25 ha). Tali superfici e tipologie sono da considerarsi ad oggi elementi puramente indicativi a causa del downburst che ha colpito l'isola nel 2017 e che ha modificato in modo significativo la struttura del soprassuolo e il grado di copertura del suolo. Data la gestione ai fini turistico-ricreativi non sono visibili dinamiche di successione ad eccezione di alcune aree limitate che non sono interessate dalla gestione del verde ornamentale, né da interventi di tipo selvicolturale. Tuttavia sono stati realizzati, e altri ancora sono programmati, nuovi impianti di latifoglie, nell'ambito del Progetto “Immersi nella natura”. La vegetazione di origine naturale e tipica degli ambienti costieri rimane in alcuni lembi di mantello e arbusti a prevalenza di ginepro compresi tra la spiaggia e l'area residenziale.

Dalla fotointerpretazione delle foto aeree del volo G.A.I. (Gruppo Aeronautico Italiano) del 1954-55, del Volo Reven 1983 e dalla cartografia regionale derivata per la redazione della Carta Tecnica Regionale (“Geoportale Regione Veneto,” 2022), la superficie forestale dell'isola era di 10 ha nel 1954, 57,5 ha nel 1983 e 42,6 ha nel 2008.

Tale aumento della superficie boscata è dovuto principalmente agli interventi di compensazione delle aree urbanizzate. L'evoluzione della copertura forestale è rappresentata in Figura 16.

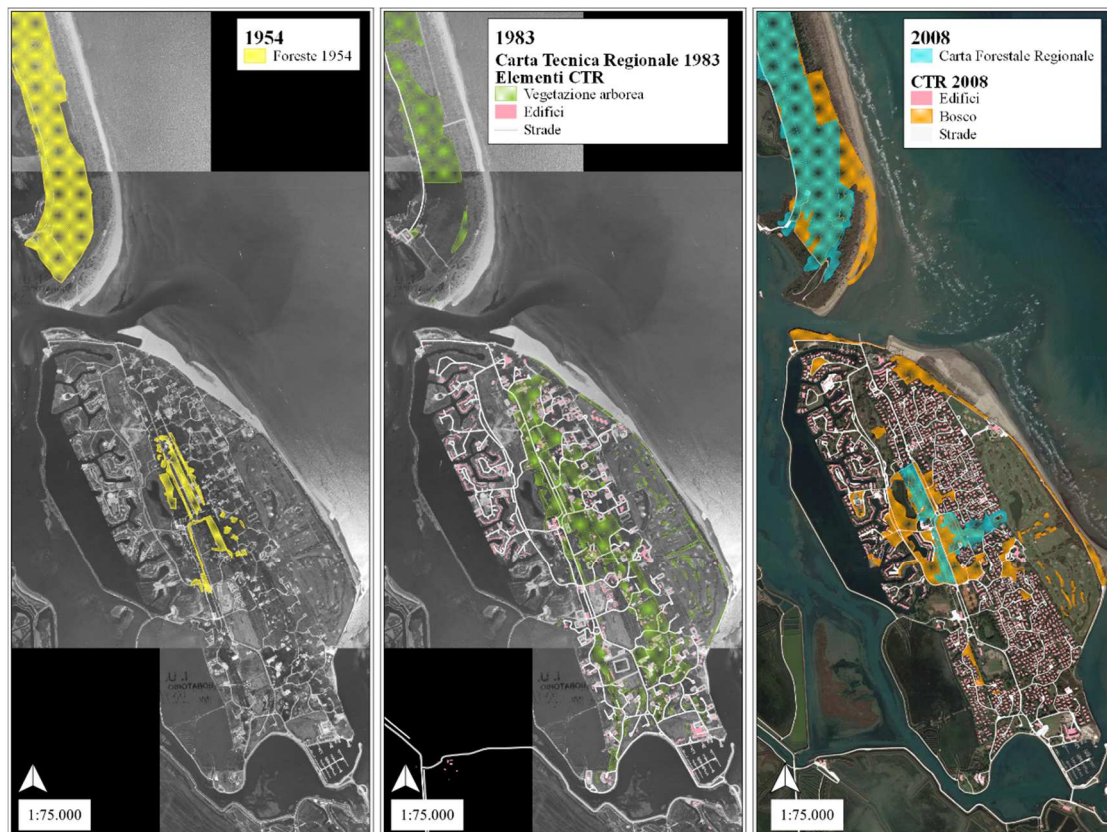


Figura 16 – Variazione della superficie boscata dell'Isola di Albarella compresa tra il 1954 e il 2008. A sinistra superficie forestale nel 1954 su ortofoto da Volo GAI 1983; al centro superficie forestale secondo la Carta Tecnica Regionale 1983 su ortofoto da Volo GAI 1983; a destra superficie forestale secondo la Carta Tecnica Regionale 2008 su ortofoto da Google Satellite. Elaborazione CTR Regione Veneto (Geoportale Regione Veneto, 2022)

2.5.4 Il modello della vegetazione dell'Isola di Albarella

Nell'ambito del Progetto ALBA per la stima delle emissioni e degli stoccaggi e la definizione del bilancio del carbonio dell'isola è stato elaborato un modello di simulazione dei flussi in termini di CO₂ equivalente generati dagli ecosistemi e dalle attività svolte in isola, simulando diversi scenari a seconda delle soluzioni adottate per ridurre le emissioni e i relativi tempi di attuazione. La metodologia seguita è la System Dynamic (SD) che permette di simulare l'andamento nel tempo delle variabili individuate (Bolzonella, 2011), per cui è possibile valutare la risposta di un sistema, in relazione agli interventi messi in atto (*what if else...*) e rappresenta uno strumento di supporto alle decisioni a livello gestionale.

Per ogni fonte di emissione e stoccaggio sono individuati altrettanti moduli e le relazioni che ne determinano i rispettivi flussi di CO₂ equivalente. I moduli riguardano le emissioni per il consumo di combustibili, di energia elettrica, i trasporti, la dieta e la gestione dei rifiuti. Gli stoccaggi sono quantificati in riferimento all'uso del suolo, quindi ai diversi sistemi individuati che si differenziano per tipologia di vegetazione e suolo presenti, tenendo conto sia della vegetazione già presente, di nuovi impianti, della produzione di compost che deriva dalla gestione e manutenzione delle aree verdi dell'isola.

3 Materiali e metodi

Lo studio è basato su di un'indagine bibliografica sulla vegetazione, come descritto al paragrafo 2.5, e di una fase di campo di rilievo dei dati con successiva elaborazione delle cartografie. Si sono confrontate la serie di vegetazione compresa tra la spiaggia e la foresta in entrambi i siti, individuando due serie di 14 punti, dei quali 9 corrispondono a fitocenosi presenti sia a Porto Caleri che Albarella, mentre 5 sono rappresentativi solo in uno dei due siti e non ritrovano corrispondenza nell'altro. In ogni punto è stato effettuato un rilievo fitosociologico. I punti così individuati sono quelli selezionati nell'ambito del Progetto ALBA, per i quali sono stati effettuati anche le analisi dei campioni di suolo relativamente a batteri, funghi, artropodi, carbonio organico, plastiche. Di seguito ci si limita a considerare le specie vegetali. I punti in comune e quelli specifici rilevati sono riportati in Tabella 1.

La ripartizione tra i punti campione e le comunità vegetali è così distribuita:

- C0, C1, A1: spiaggia priva di vegetazione;
- C2, C3, A2, A3: duna bianca;
- C4, C5, A4: duna grigia e vegetazione prevalentemente erbacea;
- C11, C6, A5, A6: duna grigia e vegetazione prevalentemente arbustiva;
- C7, C8, C13, A7, A8, A12: foresta su duna grigia;
- C9, C10, C12: sistemi presenti solo a Porto Caleri;
- A9, A10, A11, A13, A14: sistemi presenti solo nell'Isola di Albarella.

Per la realizzazione delle cartografie sono stati consultati ortofoto e immagini satellitari della missione Sentinel-2 (ESA, 2022). Data la diversa distribuzione spaziale della vegetazione nei due siti, sono state adottate metodologie differenti per il rilievo della vegetazione ai fini delle elaborazioni cartografiche. Per porto Caleri, seguendo quanto

proposto da Marzialetti et al. (2019) la classificazione è stata effettuata combinando i rilievi fitosociologici con il telerilevamento (Figura 17).

Tabella 1: punti di campionamento nell'area di studio e relative fitocenosi

PORTO CALERI [C]		ISOLA DI ALBARELLA [A]	
CODICE	Descrizione	CODICE	Descrizione
C0	Zona di marea, priva di vegetazione	A1	Spiaggia attrezzata, vicino a ombrelloni
C1	Spiaggia con zona di accumulo di legno portato dall'acqua	A2	Duna artificiale recente, formata per accumulo di sabbia da operazioni di pulizia
C2	Duna embrionale, primo accumulo di sabbia	A3	Duna artificiale meno recente, formata per accumulo di sabbia da operazioni di pulizia
C3	Duna bianca a prevalenza di <i>Ammophila arenaria</i>	A4	Canneto di <i>Arundo donax</i>
C4	Retroduna, depressione interdunale	A5	Duna stabile con arbusti a prevalenza di <i>Ligustrum</i> spp.
C5	Duna grigia con <i>Tortulo-Scabiosetum</i>	A6	Duna stabile con mantello macchia mediterranea
C6	Macchia mediterranea su duna grigia	A7	Duna stabile con pineta semi-naturale e leccio
C7	Pineta a <i>Pinus pinaster</i> con sottobosco a <i>Quercus ilex</i>	A8	Pineta artificiale senza sottobosco, zona centrale dell'isola
C8	Pineta a <i>Pinus pinaster</i> , con <i>Ulmus minor</i> e priva di sottobosco	A9	Nuovi impianti delimitati da rete di protezione (come A8)
C9	Zona umida a prevalenza di <i>Limonium</i> spp.	A10	Aiuola di fiori, specie ornamentali, zona centrale dell'isola
C10	Zona umida in prossimità del pontile, barena	A11	Prato con <i>Populus x canescens</i>
C11	Duna grigia con cintura a <i>Tamarix gallica</i>	A12	Bosco a prevalenza di <i>Quercus ilex</i> , senza sottobosco
C12	Pineta (come C7) vicino a depressione umida interdunale	A13	Prato in prossimità di A8, zona centrale dell'isola
C13	Lecceta	A14	Campo da golf

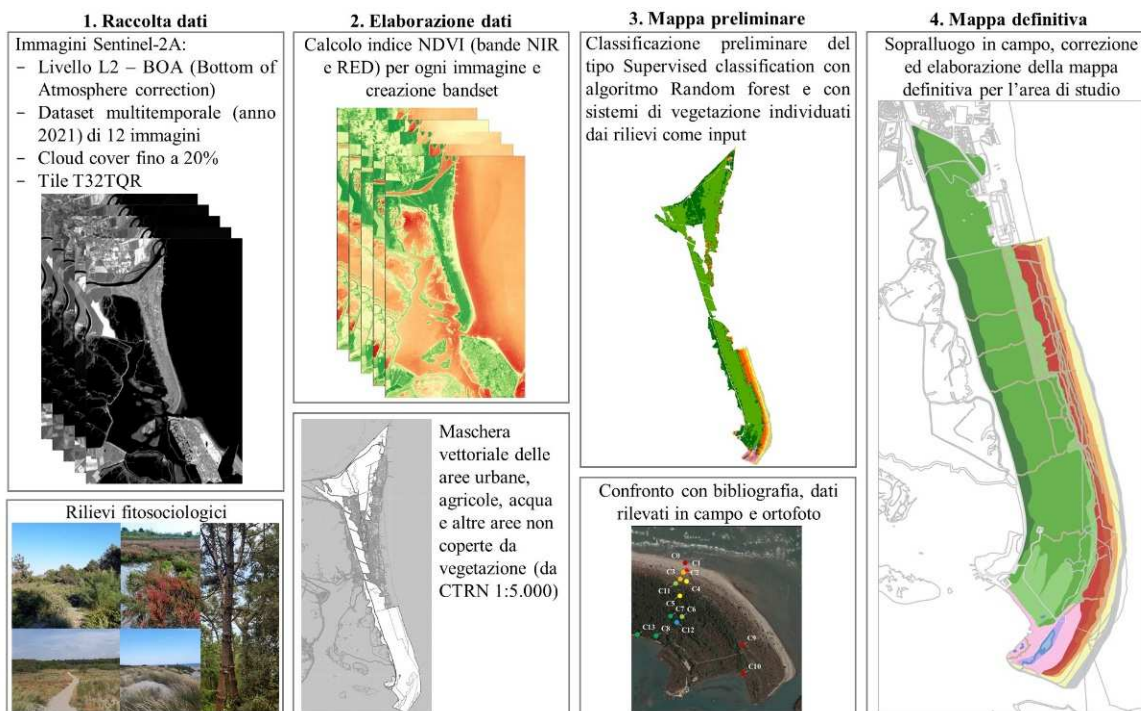


Figura 17 – Schema di lavoro per la classificazione della vegetazione di Porto Caleri da elaborazione di immagini Sentinel-2

Si sono selezionate immagini Sentinel-2, già corrette atmosfericamente (BOA, bottom of atmosphere) relative all’anno 2021 (con cloud cover fino al 20% per il tile T32TQR), per un totale di 12 immagini. Il download è stato effettuato tramite il plugin *Semi-Automatic Classification Plugin* per QGIS. Per ogni immagine è stato calcolato l’indice vegetazionale NDVI – Normalized Difference Vegetation Index con il tool *Calcolatore raster*, con la formula (1), dove *NIR* è la banda dell’infrarosso vicino (banda 8, lunghezza d’onda 0,842 μm , risoluzione spaziale 10 m) e *red* è la banda del rosso (banda 4, lunghezza d’onda 0,665 μm , risoluzione spaziale 10 m). La lunghezza d’onda del rosso viene assorbita dalla vegetazione, mentre l’infrarosso è riflesso.

$$NDVI = \frac{(NIR-red)}{(NIR+red)} \quad (1)$$

La scelta dell’indice NDVI è motivata dal fatto che sfrutta il comportamento della vegetazione in relazione alla lunghezza d’onda della luce, per cui assorbe il rosso e riflette l’infrarosso vicino e che trova ampia applicazione nella valutazione della presenza di vegetazione, dello stato vegetativo o eventuali criticità. La variazione temporale dell’indice nel corso dell’anno è indicativa della fenologia della vegetazione stessa. Inoltre, l’utilizzo dell’indice vegetazionale piuttosto dell’intero set di bande consente di utilizzare un numero

ridotto di raster, sfruttando le bande che meglio mettono in risalto la copertura vegetale del territorio.

I file raster per l'indice NDVI così ottenuti sono stati ritagliati con una maschera vettoriale al fine di isolarne le sole aree ricoperte da vegetazione. La maschera è stata estratta dalla Carta Tecnica Regionale Numerica CTRN, in scala 1:5000 ("Geoportale Regione Veneto," 2022). La classificazione della vegetazione è basata su di un raster stack bandset composto dai raster NDVI e applicando come *training input* i sistemi di vegetazione rilevati con i rilievi di campo. Infine, l'algoritmo di classificazione utilizzato è il *Random forest*. La mappa di base così ottenuta è stata corretta tramite fotointerpretazione di ortofoto e controllo diretto in campo.

Per quanto riguarda l'Isola di Albarella, la metodologia appena descritta sarebbe stata poco efficace nel discriminare variazioni di copertura del suolo per superfici inferiori ai 100 m² (vale a dire con risoluzione spaziale inferiore ai 10 m, limite minimo delle immagini telerilevate), per cui sono stati effettuati sopralluoghi presso tutte le aree verdi dell'isola rilevando le principali specie, poiché essendo elevato il grado di antropizzazione e la frammentazione tra la copertura della vegetazione e le aree urbanizzate, la classificazione semi-automatica avrebbe dato risultati approssimativi. Per l'elaborazione cartografica si è seguita come base la Carta Tecnica Regionale Numerica CTRN, definendo unità omogenee per tipologia di vegetazione rilevata. Anche in questo caso la mappa preliminare è stata corretta con fotointerpretazione di ortofoto (Google Earth) e con controllo diretto in campo.

La classificazione della vegetazione riportata in entrambe le mappe elaborate in questo studio non riporta le categorie tassonomiche o i taxa fitosociologici, ma il sistema di classificazione degli habitat costieri per Porto Caleri e un sistema che si basa sul tipo di vegetazione dominante per l'Isola di Albarella, finalizzato alla definizione di sistemi gestionali della vegetazione dell'isola. Sulla base della Carta dei sistemi gestionali di Albarella sono state definite le superfici vegetate per la stima dello stoccaggio del carbonio e l'elaborazione del modello del ciclo di carbonio dell'isola relativamente al progetto ALBA.

Per ogni unità individuata è stata descritta la composizione specifica, il grado di copertura e le strutture orizzontale e verticale, che definiscono insieme la struttura spaziale della vegetazione. Relativamente ai rilievi fitosociologici, è stato calcolato per ogni punto delle due serie l'indice di Jaccard (2), limitatamente alla condizione di presenza o assenza di ogni specie, attribuendo i valori di 0 per le specie assenti e di 1 per quelle presenti. L'indice

è stato calcolato per coppie di punti, i cui risultati sono riportati nella matrice di similarità, n_{AB} è il numero di specie presenti nel sito A ma non in B, n_{A0} è il numero di specie presenti in A ma non in B e n_{B0} è il numero di specie presenti in B ma non in A.

$$S = \frac{n_{AB}}{n_{A0} + n_{AB} + n_{B0}} \quad (2)$$

Infine, sono stati calcolati gli indici di biodiversità di Shannon-Wiener (H) e l'indice di equità o Evenness (J) secondo le formule (3) e (4), dove p_i è la frequenza relativa della specie i –esima e n il numero di specie totali per ogni campione.

$$H = -\sum_{i=1}^n p_i \cdot \ln p_i \quad (3)$$

$$J = \frac{H}{\ln n} \quad (4)$$

Per la frequenza relativa di ogni specie individuata si è considerato il valore medio dell'intervallo definito dalla scala del grado di copertura di Braun-Blanquet, adottato nei rilievi fitosociologici.

L'indice di diversità di Shannon-Weiner esprime la diversità considerando il numero di specie e la rispettiva frequenza relativa, per cui all'aumentare dell'indice, aumenta il grado di diversità. L'indice di evenness esprime la distribuzione delle specie e varia tra 0 e 1. Se il valore tende a zero, gli individui sono rappresentati da un basso numero di specie; se invece tende all'unità, le specie sono distribuite in modo uniforme tra le specie. Gli indici di Shannon relativi ai soli punti per i quali vi sia corrispondenza tra i due siti (8 coppie di punti) sono stati confrontati mediante il test statistico non parametrico di Wilcoxon, data la bassa numerosità del campione che non consente di stabilire con sufficiente grado di affidabilità se la distribuzione della variabile sia normale. Il test verifica l'uguaglianza tra due popolazioni non indipendenti e considera come ipotesi nulla che la mediana delle differenze tra gli indici di biodiversità nei punti di monitoraggio di Albarella e Caleri sia uguale a 0 ($p < 0,05$). L'indice di evenness è stato considerato come parametro per la descrizione qualitativa della distribuzione della vegetativa e non è stato testato nell'analisi statistica dato che deriva dall'indice di Shannon.

4 Risultati e discussione

4.1.1 Porto Caleri

La classificazione dei sistemi costieri rilevati e cartografati a Porto Caleri è riportata in Figura 18. Di seguito si riporta per ogni unità individuata la descrizione, i punti rilevati (serie C0 - C13) e le specie vegetali censite. In Figura 18 si riportano le immagini delle principali fitocenosi rilevate presso Porto Caleri e in Figura 19 la relativa cartografia elaborata.

Zona di marea: zona tidale che emerge periodicamente solo in condizioni di bassa marea e priva di vegetazione. Punti rilevati: **C0**.

Spiaggia: zona priva di vegetazione, interessata sporadicamente da mareggiate particolarmente intense e zona di accumulo di necromassa legnosa portata a riva dal mare, dove vi rimane e contribuisce all'accumulo di sabbia, poiché non vengono effettuati interventi di pulizia e rimozione meccanica. Punti rilevati: **C1**.

Duna embrionale: primo accumulo di sabbia favorito dal vento dove trovano spazio il cakileto e l'agropireto; le specie si dispongono casualmente e la copertura del suolo non supera il 30%. Punti rilevati: **C2** (Tabella 2) e **C3** (Tabella 3).

Tabella 2: Specie rilevate in C2 “Duna embrionale, primo accumulo di sabbia”

Forma biologica	Specie
G rhiz	<i>Ammophila arenaria</i> (L.) Link
T scap	<i>Xanthium italicum</i> Moretti
T scap	<i>Cakile maritima</i> Scop.
Ch frut	<i>Euphorbia paralias</i> L.
G rhiz	<i>Eryngium maritimum</i> L.

Tabella 3: Specie rilevate in C3 “Duna bianca a prevalenza di *Ammophila arenaria*”

Forma biologica	Specie
G rhiz	<i>Ammophila arenaria</i> (L.) Link
Ch suffr	<i>Helichrysum italicum</i> (Roth) Don
Ch succ	<i>Sedum acre</i> L.
G rhiz	<i>Eryngium maritimum</i> L.
H bienn	<i>Oenothera stucchii</i> Soldano
T scap	<i>Senecio inaequidens</i> DC.
G rhiz	<i>Cyperus kalli</i> (Forssk.) Murb.

Duna intermedia: duna mobile più consolidata della duna embrionale, ma non ancora del tutto stabilizzata. Si trova l'ammofileto, con distribuzione pressoché lineare lungo l'apice della duna e copertura del suolo di circa il 70%. Nel primo retroduna si trovano le praterie

con copertura continua del suolo e l'ingresso di specie arbustive e arboree sporadiche (20% della superficie coperta da vegetazione). Punto rilevato: **C4** (Tabella 4).

Tabella 4: Specie rilevate in C4 “Retroduna, depressione interdunale”

Forma biologica	Specie
P scap	<i>Pinus pinaster</i> Aiton
P caesp	<i>Juniperus communis</i> L.
Ch suffr	<i>Helichrysum italicum</i> (Roth) Don
P scap	<i>Quercus ilex</i> L.
H scap	<i>Silene vulgaris</i> (Moench) Gracke
Ch succ	<i>Sedum acre</i> L.
H scap	<i>Calamagrostis epigejos</i> (L.) Roth
H bienn	<i>Oenothera stucchii</i> Soldano
P lian	<i>Rubia peregrina</i> L.
T scap	<i>Lagurus ovatus</i> L.
H bienn	<i>Lomelosia argentea</i> (L.) Greuter et Burdet

Duna stabile: duna grigia consolidata dove si insedia il Tortulo-Scabiosetum. La copertura complessiva del suolo è elevata (90%) e prevalgono le camefite (60%) rispetto alle specie arboree (25) ed erbacee (10%). La distribuzione rimane prevalentemente casuale e sono riconoscibili gruppi di individui della stessa specie. Gli individui arborei sono in genere pino marittimo e pino domestico e si presentano come individui isolati di diverse età. Punti rilevati: **C5** (Tabella 5) e **C11** (Tabella 6).

Tabella 5: Specie rilevate in C5 “Retroduna, depressione interdunale”

Forma biologica	Specie
P scap	<i>Pinus pinea</i> L.
P scap	<i>Pinus pinaster</i> Aiton
Bryoch	<i>Syntrichia ruralis</i> (Hedw.) F. Weber & D. Mohr
-	<i>Cladonia</i> spp.
P caesp	<i>Juniperus communis</i> L.
Ch suffr	<i>Helichrysum italicum</i> (Roth) Don
H scap	<i>Silene vulgaris</i> (Moench) Gracke
P caesp	<i>Hippophaë rhamnoides</i> L. ssp. <i>fluviatilis</i> V. Socst
H bienn	<i>Lomelosia argentea</i> (L.) Greuter et Burdet
H caesp	<i>Poa bulbosa</i> L.
T scap	<i>Lagurus ovatus</i> L.
G rhiz	<i>Trachomitum venetum</i> (L.) Woodson

Tabella 6: Specie rilevate in C11 “Duna grigia con cintura a *Tamarix gallica*”

Forma biologica	Specie
P scap	<i>Tamarix gallica</i> L.

NP	<i>Rubus ulmifolius</i> Schott
Ch suffr	<i>Helichrysum italicum</i> (Roth) Don
T scap	<i>Lagurus ovatus</i> L.
P caesp	<i>Phillyrea angustifolia</i> L.
H caesp	<i>Poa trivialis</i> L.
P caesp	<i>Ligustrum vulgare</i> L.
G rhiz	<i>Asparagus acutifolius</i> L.
H caesp	<i>Petrorhagia saxifraga</i> (L.) Link
T scap	<i>Vicia pseudocracca</i> Bertol.
G rhiz	<i>Convolvulus soldanella</i> L.
Ch suffr	<i>Teucrium chamaedrys</i> L.

Macchia mediterranea: zona di macchia collocata sulla duna grigia, ma che si differenzia dalla categoria precedente per la composizione in specie e la distribuzione delle stesse. Rappresenta la fascia di mantello tra l'ambiente dunale e il bosco. Dominano gli arbusti (65%) in particolare *Juniperus communis* e meno frequentemente *Crataegus monogyna*, *Eleagnus angustifolia*, *Phillyrea angustifolia* o *Hippophaë rhamnoides*. La copertura della vegetazione è pressoché continua sulla superficie del suolo, con distribuzione casuali tra gli individui. Gli individui arborei (25%) sono più frequenti rispetto alla duna grigia ma comunque isolati, mentre lo strato erbaceo è più rado (10%). Punto rilevato: **C6** (Tabella 7).

Tabella 7: Specie rilevate in C6 “Macchia mediterranea su duna grigia”

Forma biologica	Specie
P scap	<i>Pinus pinaster</i> Aiton
P scap	<i>Quercus ilex</i> L.
NP	<i>Rubus ulmifolius</i> Schott
G rhiz	<i>Asparagus acutifolius</i> L.
P caesp	<i>Hippophaë rhamnoides</i> L. ssp. <i>fluviatilis</i> V. Socst
P lian	<i>Lonicera caprifolium</i> L.
P lian	<i>Rubia peregrina</i> L.
P caesp	<i>Ligustrum vulgare</i> L.
T scap	<i>Lagurus ovatus</i> L.
P caesp	<i>Phillyrea angustifolia</i> L.

Pineta: pineta di pino marittimo secondaria coetaneiforme con presenza di leccio nel piano dominato e meno frequentemente orniello. Presente una spessa lettiera di aghi di pino. Pini molto filati con evidente autopotatura, chiome a bandiera e copertura discontinua e complessa, per cui si individuano zone nelle quali gli individui sono disposti a gruppi, altre nelle quali la copertura è più uniforme, in relazione agli interventi selvicolturali attuati nel

tempo e all'effetto dei disturbi naturali. Nel complesso lo strato arboreo occupa circa il 70% della copertura del suolo. Nelle chiarie si insediano prevalentemente *Rubus ulmifolius* e *Asparagus acutifolius*. Lo strato erbaceo (5%) è rappresentato sporadicamente in prossimità del mantello, mentre è assente nella parte interna. Punti rilevati: **C7** (Tabella 8) e **C12** (Tabella 9).

Tabella 8: Specie rilevate in C7 “Pineta a *Pinus pinaster* con sottobosco a *Quercus ilex*”

Forma biologica	Specie
P scap	<i>Pinus pinaster</i> Aiton
P scap	<i>Quercus ilex</i> L.
NP	<i>Rubus ulmifolius</i> Schott
P scap	<i>Ulmus minor</i> Mill.
P caesp	<i>Rhamnus cathartica</i> L.
G rhiz	<i>Asparagus acutifolius</i> L.
P lian	<i>Rubia peregrina</i> L.
P caesp	<i>Phillyrea angustifolia</i> L.
P lian	<i>Clematis flammula</i> L.
P caesp	<i>Ligustrum vulgare</i> L.

Tabella 9: Specie rilevate in C12 “Pineta (come C7) vicino a depressione umida interdunale”

Forma biologica	Specie
P scap	<i>Ulmus minor</i> Mill.
P scap	<i>Pinus pinaster</i> Aiton
P scap	<i>Frangula alnus</i> Mill.
H scap	<i>Lythrum salicaria</i> L.
G rhiz	<i>Hemerocallis fulva</i> (L.) L.
H scap	<i>Lycopus europaeus</i> L.
I nat	<i>Lemna minor</i> L.

Bosco misto: pineta rada con presenza di olmi nel piano codominante (85% della copertura totale) e presenza di lettiera di aghi e strato erbaceo discontinuo di *Hedera helix*, *Asparagus acutifolius*, *Rubia peregrina* e *Ulmus minor*, quest'ultimo in rinnovazione. Punti rilevati: **C8** (Tabella 10) e **C13** (Tabella 11).

Tabella 10: Specie rilevate in C8 “Pineta a *Pinus pinaster*, con *Ulmus minor* e priva di sottobosco”

Forma biologica	Specie
P scap	<i>Pinus pinaster</i> Aiton
P scap	<i>Quercus ilex</i> L.
P scap	<i>Ulmus minor</i> Mill.
P caesp	<i>Viburnum lantana</i> L.
G rhiz	<i>Asparagus acutifolius</i> L.

P lian	<i>Rubia peregrina</i> L.
P lian	<i>Hedera elix</i> L.

Tabella 11: Specie rilevate in C13 “Lecceta”

Forma biologica	Specie
P scap	<i>Quercus ilex</i> L.
G rhiz	<i>Asparagus acutifolius</i> L.
P lian	<i>Rubia peregrina</i> L.
P caesp	<i>Ligustrum vulgare</i> L.
P lian	<i>Hedera elix</i> L.

Alofite: area che comprende la serie delle alofite e la vegetazione degli ambienti di barena, con copertura totale del suolo dello strato erbaceo. A ovest verso il pontile le specie più frequenti sono i giunchi (*Juncus* spp.), che si dispongono in singoli cespi, *Puccinellia festuciformi*, *Limonium* spp., *Salicornia* spp. si distribuiscono mantenendo un buon grado di eterogeneità, mentre *Spartina juncea* forma tappeti continui che si estendono anche per superfici continue ed estese. Punto rilevato: **C10** (Tabella 12).

Tabella 12: Specie rilevate in C10 “Zona umida in prossimità del pontile, barena”

Forma biologica	Specie
H caesp	<i>Juncus acutus</i> L.
T scap	<i>Salicornia veneta</i> Pignatti & Lausi
H ros	<i>Limonium narbonense</i> Mill.
Ch frut	<i>Halimione portulacoides</i> (L.) Aellen

Zona umida: area delimitata fisicamente da un sentiero e attraversata da due ponti in legno, regolarmente sommersa dalle maree. Si trovano quasi esclusivamente individui di *Limonium* spp. e *Salicornia* spp. di *Limonio-Artemisietum coerulescentis* e di *Salicornietum venetae*, ben riconoscibili nel periodo estivo quando formano un tappeto dominato dai fiori colori lilla del limonio e rosso delle salicornie. Sporadiche sono tutte le altre specie. Punto rilevato: **C9** (Tabella 13).

Tabella 13: Specie rilevate in C9 “Zona umida a prevalenza di *Limonium* spp.”

Forma biologica	Specie
H ros	<i>Limonium narbonense</i> Mill.
H caesp	<i>Juncus acutus</i> L.
T scap	<i>Salicornia veneta</i> Pignatti & Lausi
H caesp	<i>Puccinellia palustris</i> (Seen.) Hayek

Corpi idrici: specchio d’acqua salmastra che si estende longitudinalmente nella zona umida. Non sono presenti punti della seriazione.



Figura 18 – Principali fitocenosi rilevate a Porto Caleri: a) dune embrionali; b) duna bianca; c) prateria interdunale; d) retroduna della duna bianca; e) macchia; f) pineta di pino marittimo; g) depressione umida interdunale; h) bosco a prevalenza di olmo; i) area umida salmastra

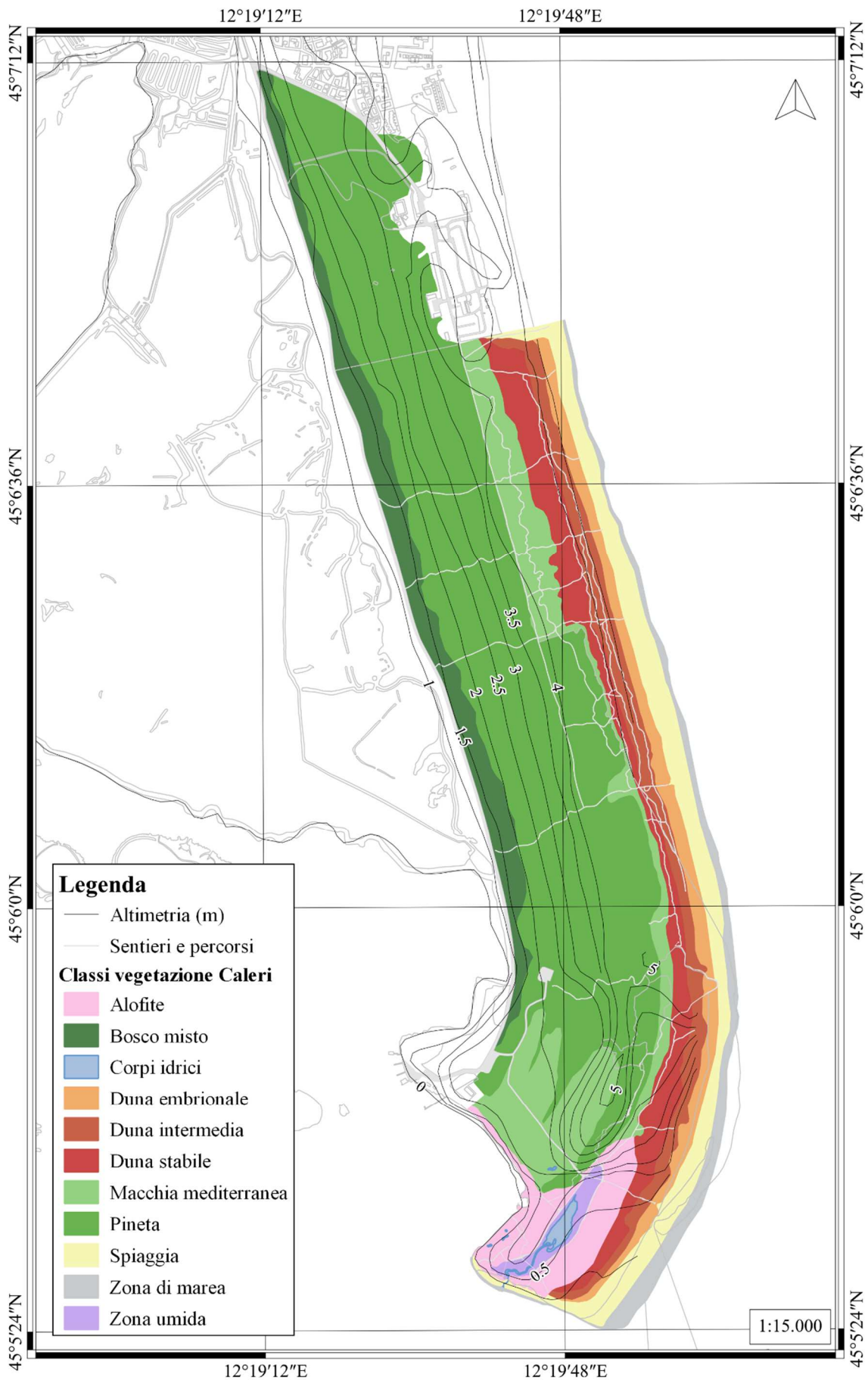


Figura 19 – Cartografia delle unità di vegetazione di Porto Caleri

Considerando la forma biologica delle specie rilevate (Figura 20), si nota come questa varia in modo graduale allontanandosi via via dal mare. Tenendo conto della frequenza relativa delle forme biologiche e delle singole specie, si osserva che dalla duna embrionale al bosco (da C2 a C8) le terofite, le geofite e le camefite lasciano spazio a emicriptofite, e fanerofite sulla duna grigia. Le terofite identificate sono tutte scapose (T scap), quindi con portamento eretto, come *Cakile maritima* e *Xanthium italicum*. In corrispondenza della duna bianca fino al piede della duna grigia dominano le geofite rizomatose (G rhiz), come ci si aspettava, che con i fusti sotterranei svolgono l'importante funzione ecologica di fissare i primi accumuli di sabbia e, una volta formate, a consolidare le dune bianche. Le camefite, poco rappresentate, sono prevalentemente suffruticose (Ch suffr), (*Helichrysum italicum*). Le emicriptofite trovano spazio nella depressione interdunale tra il primo retroduna e la duna grigia. Si tratta di emicriptofite scapose (H scap), come *Silene vulgaris*, o delle biennali (H bienn) *Oenothera stucchii* e *Lomelosia argentea*, quest'ultima specie diagnostica del *Tortulo-Scabiosetum*, che ricoprono ampie aree in modo continuo. Infine le fanerofite arboree (P scap) trovano ampio spazio dove la duna stessa è più consolidata, quindi tra la porzione più a monte della duna grigia e la fascia a bosco. Come già descritto in precedenza, l'origine del soprassuolo è artificiale e le specie più frequenti sono *Pinus pinaster*, *Quercus ilex* e verso la strada che porta all'ingresso del giardino botanico anche *Ulmus minor*. Tra le arbustive (P caesp) rientrano tutte le specie della macchia mediterranea che formano il mantello nella fascia di transizione tra l'ambiente delle dune e la pineta (*Juniperus communis*, *Hippophaë rhamnoides*, *Phillyrea angustifolia*, *Rhamnus cathartica*).

Tra le alofite (C9 e C10) prevalgono invece le emicriptofite, rappresentate da *Limonium narbonense* (H ros) e *Juncus acutus* (H caesp), alle quali segue *Salicornia veneta* (T scap). C11 rappresenta un'area della duna grigia con impianto di *Tamarix gallica* e lo spettro biologico risulta analogo ad altri punti dello stesso sistema (C5) anche se prevalgono le specie legnose arbustive (*Tamarix gallica*, *Rubus ulmifolius*, *Phillyrea angustifolia* e *Ligustrum vulgare*), non riconducibili ai syntaxa della vegetazione potenziale. C12 è un punto in vicinanza di una depressione con risalita di falda all'interno della pineta del Giardino botanico, per cui la presenza dell'idrofita *Lemna minor*, mentre in termini di abbondanza relativa dominano le fanerofite arboree, con una composizione specifica che si discosta da quella della pineta, per cui prevale *Ulmus minor* e *Frangula alnus* rispetto a

Pinus pinaster. Infine C13 è collocato in un'area riconducibile alla lecceta, ma lo spettro biologico è del tutto simile a quello della pineta (C7 e C8), ma il leccio si sostituisce ai pini.

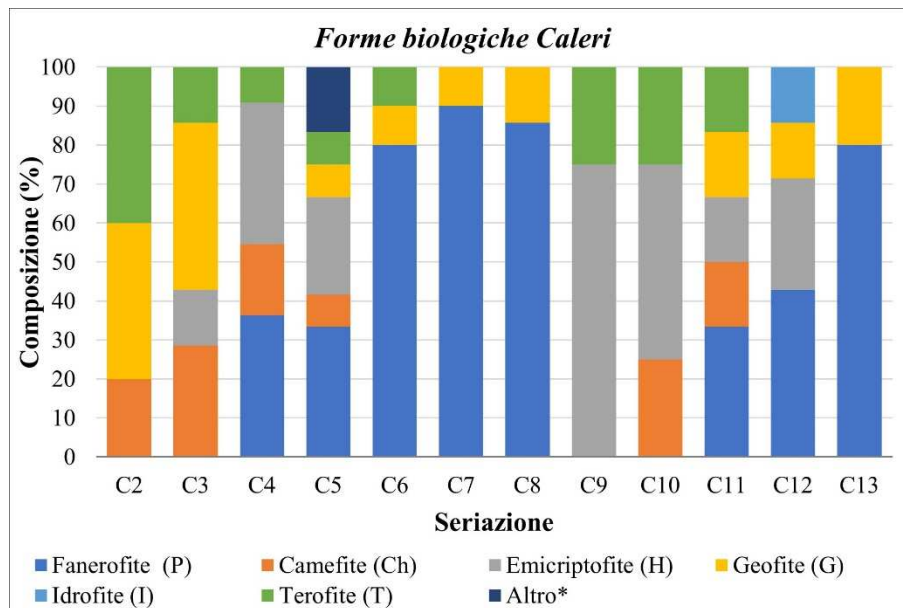


Figura 20 – Spettro biologico delle specie censite presso Porto Caleri

In sintesi, a Porto Caleri si ritrova buona parte della vegetazione potenziale degli ambienti costieri ad esclusione della pineta. La struttura orizzontale della vegetazione si distribuisce secondo cinture parallele alla linea di costa e lungo lo stesso gradiente che prevale allontanandosi dal mare si distribuiscono le specie vegetali secondo le diverse forme biologiche, a partire dalle terofite in prossimità del mare fino alle fanerofite nel bosco. La struttura verticale rispecchia quella orizzontale, per cui è netta la differenziazione tra gli strati, che anche questo caso seguono il gradiente mare-bosco e le prime specie appartengono allo strato erbaceo, gradualmente entrano i primi arbusti e cespugli che diventano dominanti nel mantello e infine lo strato arboreo chiude la serie. Concludendo, le principali tipologie della struttura della vegetazione rilevate a Porto Caleri sono:

- *Strato arboreo*: la pineta coetaneiforme forma una struttura verticale monopiana e tessitura irregolare in evoluzione verso l'orno-lecceta.
- *Strato arbustivo*: distribuzione irregolare a livello di specie, ma nel complesso formano una copertura continua del suolo sulla duna grigia e nel mantello del bosco. Quando invece forma il sottobosco, la struttura si presenta irregolare e presente solo dove si aprono chiarie o interruzioni della copertura arborea.

- *Strato erbaceo*: presente solo in corrispondenza delle dune, le specie si distribuiscono in modo prima in modo casuale e discontinua sulla duna bianca. Successivamente la struttura diviene regolare e continua nelle depressioni interdunali, dove si formano praterie, e casuale e discontinua fino a dove subentrano gli arbusti.

4.1.2 Isola di Albarella

Le unità di classificazione dell'isola di Albarella sono state definite suddividendo la superficie dell'isola in unità elementari, che in base ad una valutazione visiva, sono state definite secondo il tipo di vegetazione dominate. Sulla base di tale criterio sono state individuati i seguenti tipi di unità (Figura 22).

Campo da golf (51,43 ha): collocato a ovest nell'isola, che si estende parallelo alla costa. Oltre al tappeto erboso dell'area di gioco è presente un filare a pioppo cipressino (*Populus nigra italica*) in prossimità delle abitazioni, come protezione delle stesse. Le buche del green sono separate da tamerici (*Tamarix gallica*) disposte in gruppi o filari e individui isolati di pino marittimo. Questi ultimi hanno fusti deviati e chiome fortemente asimmetriche dovuti all'azione del vento. Vi sono aree in cui dominano gli arbusti, in particolare rovi, lasciati a libera evoluzione come rifugio per animali selvatici e come elementi di ostacolo al gioco. Il campo da golf ospita anche una popolazione di circa 300 daini. Punto rilevato: **A14** (Tabella 14).

Tabella 14: Specie rilevate in A14 “Campo da golf”

Forma biologica	Specie
H ros	<i>Bellis</i> spp.
G rhiz	<i>Carex flacca</i> Schreb.
T scap	<i>Cerastium</i> spp.
H bienn	<i>Geranium molle</i> L.
H ros	<i>Plantago lanceolata</i> L.
H caesp	<i>Poa</i> spp.
T scap	<i>Sherardia arvensis</i> L.
H rept	<i>Trifolium</i> spp.
T scap	<i>Veronica arvensis</i> L.

Prato senza alberi (0,63 ha): porzione non edificata (via Dodicesima ovest) nella quale è presente solo lo strato erbaceo.

Aiuola fiorita (suolo lavorato, fiori coltivati o seminati): elementi puntuali, lineari o aiuole ornamentali. Punto rilevato: **A10** (Tabella 15).

Tabella 15: Specie rilevate in A14 “Aiuola di fiori, specie ornamentali, zona centrale dell'isola”

Forma biologica	Specie
H scap	<i>Achillea millefolium</i> L.
H scap	<i>Adonis</i> spp.
H ros	<i>Bellis</i> spp.
G rhiz	<i>Carex flacca</i> Schreb.
Ch suffr	<i>Cerastium tomentosum</i> L.
P caesp	<i>Crataegus</i> spp.
T scap	<i>Creopsis</i> spp.
G rhiz	<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.
H scap	<i>Dianthus</i> spp.
H scap	<i>Diplotaxis tenuifolia</i> (L.) DC.
H caesp	<i>Festuca rubra</i> L.
H scap	<i>Gaillardia</i> spp.
H scap	<i>Galium mollugo</i> L.
T scap	<i>Hypochaeris glabra</i> L.
H scap	<i>Leucanthemum vulgare</i> (Vaill.) Lam.
H scap	<i>Linum</i> spp.
T rept	<i>Lysimachia arvensis</i> (L.) U. Manns & Anderb.
T scap	<i>Myosotis</i> spp.
T scap	<i>Nigella arvensis</i> L.
G rhiz	<i>Oxalis</i> spp.
P scap	<i>Pinus nigra</i> J.F. Arnold
P scap	<i>Pinus pinea</i> L.
H ros	<i>Plantago lanceolata</i> L.
P scap	<i>Platanus x hybrida</i> Brot.
H caesp	<i>Poa</i> spp.
H scap	<i>Prunella laciniata</i> (L.) L.
P scap	<i>Quercus ilex</i> L.
T scap	<i>Trifolium dubium</i> Sibth.
T scap	<i>Viola arvensis</i> Murray

Prato con conifere dominanti (4,5 ha): aree collocate prevalentemente nella porzione occidentale dell'isola nella zona del fiordo, caratterizzate da prati con alberi di conifere a piccoli gruppi (10-15 individui) o in singoli individui. Prevalgono *Pinus* spp., con netta dominanza di *Pinus pinea*. Tra le latifoglie si segnalano individui isolati o a gruppi di *Populus nigra*, *Quercus ilex*, *Acer campestre*, *Crataegus monogyna*.

Prato con latifoglie dominanti (41,56 ha): aree collocate nella zona del fiordo, all'ingresso dell'isola e in prossimità del centro sportivo e del golf club, caratterizzate da prati con alberi a prevalenza di latifoglie a piccoli gruppi (10-15 individui) o in singoli individui. Sono comunque presenti pini in proporzione minore rispetto alle latifoglie. Si tratta di impianti di *Populus nigra*, *Populus alba*, *Populus canescens*, *Quercus ilex*, *Acer campestre*, *Laurus nobilis*, *Robinia pseudoacacia*, *Tamarix gallica*, *Ulmus minor*, *Fraxinus excelsior*.

Bosco con arbusti e alberi di conifere dominanti (22,86 ha); nucleo centrale dell'isola nel quale dominano i pini. Rispetto ai prati la densità del soprassuolo è maggiore con copertura del suolo variabile (in media 60%). Sono comunque effettuati interventi periodici di sfalcio dell'erba per cui non è presente rinnovazione forestale, ma sono mantenute alcune delimitate lasciate nelle quali sono stati effettuati impianti di latifoglie e lasciati alla libera evoluzione naturale. Comprende l'area dello specchio d'acqua al centro dell'isola, parte di viale T. Gardin e l'area per il tiro con l'arco. Quest'ultima delimitata lungo il perimetro da un impianto piuttosto denso di pino domestico. L'area al comprende anche un lago e sulle sponde dello stesso è presente un canneto a *Phragmites australis*. Le specie rilevate sono *Pinus pinea*, *Pinus pinaster*. Si trovano comunque anche gruppi di *Quercus ilex*, *Lauris nobilis* e alberi isolati di *Platanus hybrida*. Punti rilevati: **A5** (Tabella 16), **A8** (Tabella 17), **A9** (Tabella 18), **A12** (Tabella 19), **A13** (Tabella 20).

Tabella 16: Specie rilevate in A5 “Duna stabile con arbusti a prevalenza di *Ligustrum* spp.”

Forma biologica	Specie
T scap	<i>Anisantha</i> spp.
G rhiz	<i>Asparagus acutifolius</i> L.
H caesp	<i>Brachypodium</i> spp.
G rhiz	<i>Carex flacca</i> Schreb.
H caesp	<i>Carex pallescens</i> L.
P caesp	<i>Crataegus</i> spp.
H caesp	<i>Dactylis glomerata</i> L.
H scap	<i>Galium mollugo</i> L.
P lian	<i>Hedera elix</i> L.
H caesp	<i>Holcus lanatus</i> L.
P caesp	<i>Laurus nobilis</i> L.
P caesp	<i>Ligustrum vulgare</i> L.
P caesp	<i>Phillyrea angustifolia</i> L.
G rhiz	<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud.

P scap	<i>Pinus pinea</i> L.
P scap	<i>Quercus ilex</i> L.
P lian	<i>Rubia peregrina</i> L.
P caesp	<i>Rubus ulmifolius</i> Schott
H scap	<i>Solidago</i> spp.
P scap	<i>Ulmus minor</i> Mill.

Tabella 17: Specie rilevate in A8 “Pineta artificiale senza sottobosco, zona centrale dell’isola”

Forma biologica	Specie
T scap	<i>Anthoxantum</i> spp.
G rhiz	<i>Asparagus maritimus</i> (L.) Mill.
G rhiz	<i>Carex flacca</i> Schreb.
H caesp	<i>Carex pallescens</i> L.
T scap	<i>Cerastium</i> spp
G rhiz	<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.
H caesp	<i>Dactylis glomerata</i> L.
H scap	<i>Diplotaxis tenuifolia</i> (L.) DC.
T scap	<i>Geranium purpureum</i> Vill.
P lian	<i>Hedera elix</i> L.
T scap	<i>Hypochaeris glabra</i> L.
H caesp	<i>Holcus lanatus</i> L.
T scap	<i>Lagurus ovatus</i> L.
P caesp	<i>Ligustrum vulgare</i> L.
T scap	<i>Myosotis</i> spp.
P scap	<i>Pinus pinea</i> L.
H caesp	<i>Poa</i> spp.
H scap	<i>Poterium sanguisorba</i> L.
P scap	<i>Quercus ilex</i> L.
P lian	<i>Rubia peregrina</i> L.
P caesp	<i>Rubus ulmifolius</i> Schott
T scap	<i>Senecio vulgaris</i> L.
T scap	<i>Sherardia arvensis</i> L.
H bienn	<i>Silene latifolia</i> Poir.
H scap	<i>Silene vulgaris</i> (Moench) Garcke
H scap	<i>Solidago</i> spp.
P scap	<i>Ulmus minor</i> Mill.
T scap	<i>Valerianella</i> spp.
H bienn	<i>Verbascum sinuatum</i> L.

Tabella 18: Specie rilevate in A9 “Nuovi impianti delimitati da rete di protezione (come A8)”

Forma biologica	Specie
P caesp	<i>Acer campestre</i> L.
T scap	<i>Anisantha</i> spp.
H bienn	<i>Carduus</i> spp.

G rhiz	<i>Asparagus acutifolius</i> L.
G rhiz	<i>Asparagus maritimus</i> (L.) Mill.
T scap	<i>Avena fatua</i> L.
T scap	<i>Bromus</i> spp.
T scap	<i>Buglossoides arvensis</i> (L.) I.M. Johnst.
H scap	<i>Cardamine</i> spp.
T scap	<i>Cerastium</i> spp.
G rad	<i>Cirsium</i> spp.
P caesp	<i>Cornus sanguinea</i> L.
P caesp	<i>Crataegus</i> spp.
H caesp	<i>Dactylis glomerata</i> L.
G rhiz	<i>Elymus repens</i> (L.) Gould
P scap	<i>Fraxinus</i> spp.
T scap	<i>Geranium purpureum</i> Vill.
H caesp	<i>Holcus lanatus</i> L.
P caesp	<i>Juniperus communis</i> L.
T scap	<i>Lagurus ovatus</i> L.
H scap	<i>Lolium multiflorum</i> Lam.
H scap	<i>Medicago</i> spp.
T scap	<i>Myosotis</i> spp.
G rhiz	<i>Phytolacca americana</i> L.
P scap	<i>Pinus pinea</i> L.
H caesp	<i>Poa</i> spp.
P scap	<i>Populus alba</i> L.
P scap	<i>Quercus ilex</i> L.
P caesp	<i>Rosa</i> spp.
P caesp	<i>Rubus ulmifolius</i> Schott
T scap	<i>Senecio vulgaris</i> L.
H scap	<i>Silene vulgaris</i> (Moench) Garcke
T scap	<i>Solanum</i> spp.
H bienn	<i>Sonchus</i> spp.
H rept	<i>Trifolium</i> spp.
P scap	<i>Ulmus minor</i> Mill.
T scap	<i>Valerianella</i> spp.
T scap	<i>Veronica arvensis</i> L.
T scap	<i>Vicia</i> spp.

Tabella 19: Specie rilevate in A12 “Bosco a prevalenza di *Quercus ilex*, senza sottobosco”

Forma biologica	Specie
T scap	<i>Anisantha</i> spp.
G rhiz	<i>Asparagus acutifolius</i> L.
G rhiz	<i>Asparagus maritimus</i> (L.) Mill.
H ros	<i>Bellis</i> spp.
G rhiz	<i>Carex flacca</i> Schreb.
P caesp	<i>Crataegus</i> spp.

P lian	<i>Hedera elix</i> L.
T scap	<i>Hypochaeris glabra</i> L.
P caesp	<i>Laurus nobilis</i> L.
P caesp	<i>Ligustrum vulgare</i> L.
P scap	<i>Quercus ilex</i> L.
H scap	<i>Ranunculus</i> spp.
P caesp	<i>Rhamnus cathartica</i> L.
P lian	<i>Rubia peregrina</i> L.
P caesp	<i>Rubus ulmifolius</i> Schott
T scap	<i>Sherardia arvensis</i> L.
H ros	<i>Taraxacum officinale</i> (L.) W.W. Weber ex F.H. Wigg.
H ros	<i>Viola</i> spp.

Tabella 20: Specie rilevate in A13 “Prato in prossimità di A8, zona centrale dell'isola”

Forma biologica	Specie
T scap	<i>Anisantha</i> spp.
T scap	<i>Anthoxanthum</i> spp.
H bienn	<i>Carduus</i> spp.
G rhiz	<i>Asparagus acutifolius</i> L.
T scap	<i>Avena fatua</i> L.
H ros	<i>Bellis</i> spp.
H caesp	<i>Brachypodium</i> spp.
T scap	<i>Bromus</i> spp.
G rhiz	<i>Carex flacca</i> Schreb.
H caesp	<i>Carex pallescens</i> L.
T scap	<i>Cerastium</i> spp.
G rhiz	<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.
H caesp	<i>Dactylis glomerata</i> L.
H scap	<i>Diploaxis tenuifolia</i> (L.) DC.
H bienn	<i>Geranium molle</i> L.
T scap	<i>Hypochaeris glabra</i> L.
H caesp	<i>Holcus lanatus</i> L.
T scap	<i>Lagurus ovatus</i> L.
H scap	<i>Malva</i> spp.
T scap	<i>Medicago minima</i> (L.) L.
T scap	<i>Myosotis</i> spp.
T scap	<i>Parentucellia latifolia</i> (L.) Caruel
H ros	<i>Plantago lanceolata</i> L.
H caesp	<i>Poa</i> spp.
H scap	<i>Potentilla</i> spp.
H scap	<i>Poterium sanguisorba</i> L.
H scap	<i>Ranunculus</i> spp.
T scap	<i>Senecio vulgaris</i> L.
T scap	<i>Sherardia arvensis</i> L.
H scap	<i>Silene vulgaris</i> (Moench) Garcke

H ros	<i>Taraxacum officinale</i> (L.) W.W. Weber ex F.H. Wigg.
T scap	<i>Valerianella</i> spp.
H bienn	<i>Verbascum sinuatum</i> L.
T scap	<i>Vicia</i> spp.
H ros	<i>Viola</i> spp.
T caesp	<i>Festuca fasciculata</i> Forssk.

Bosco con arbusti e alberi con latifoglie dominanti (41,56 ha): comprende aree con prevalenza di latifoglie, ma con diverso grado di copertura. L'area che comprende la porzione settentrionale lungo l'asse longitudinale dell'isola e l'area centrale compresa tra i campi da tennis e l'area gioco per bambini nelle quali, come nel caso precedente si effettua lo sfalcio dell'erba e il soprassuolo piuttosto rado è composto prevalentemente da latifoglie. In questa categoria è compresa anche una porzione di circa 3 ha compresa tra la chiesa e il campo da golf denominata "Bosco dell'anima", nella quale si trova una densa rinnovazione di *Populus alba*, insediatasi dopo l'evento di disturbo del 2017. Qui viene solo fatto periodicamente uno sfalcio lungo i sentieri per permetterne l'accessibilità ai fruitori. In prossimità della chiesa, si trovava il "Bosco della conoscenza", anche questo pesantemente colpito dall'evento del 2017, di cui rimangono individui isolati di *Populus* spp, *Acer campestre*, *Quercus* spp, *Crataegus monogyna* e distribuzione eterogenea a diverso grado di densità. Impianti recenti, soprattutto di acero campestre. Nella parte più interna alberi molto radi e principalmente pioppi. Le strutture presenti sono filari di *Populus nigra italica*, nuclei di *Populus* spp., gruppi di *Acer campestre*, *Crataegus monogyna*, *Ostrya carpinifolia*, *Quercus ilex*, *Acer campestre*, *Lauris nobilis*, *Platanus hybrida*, *Magnolia grandiflora*, *Tamarix gallica*. Lungo le strade principali si individuano arbusti con funzione ornamentale come *Nerium oleander*, *Punica granatum*, *Hibiscus* spp. e siepi a *Pittosporum tobira*. Si individuano anche impianti recenti di *Acer campestre*. Punto rilevato: **A11** (Tabella 21).

Tabella 21: Specie rilevate in A11 "Prato con *Populus x canescens*"

Forma biologica	Specie
T scap	<i>Arenaria serpyllifolia</i> L.
G rhiz	<i>Asparagus acutifolius</i> L.
H ros	<i>Bellis</i> spp.
T scap	<i>Cerastium</i> spp
P caesp	<i>Crataegus</i> spp.
G rhiz	<i>Dichondra</i> spp.
H scap	<i>Diploaxis tenuifolia</i> (L.) DC.
H bienn	<i>Geranium molle</i> L.

T scap	<i>Hypochaeris glabra</i> L.
T scap	<i>Lagurus ovatus</i> L.
T scap	<i>Myosotis</i> spp.
P scap	<i>Pinus pinea</i> L.
H ros	<i>Plantago lanceolata</i> L.
H caesp	<i>Poa</i> spp.
P scap	<i>Populus x canescens</i> (Aiton) Sm.
H scap	<i>Ranunculus</i> spp.
T scap	<i>Senecio vulgaris</i> L.
T scap	<i>Sherardia arvensis</i> L.
H bienn	<i>Sonchus</i> spp.
T scap	<i>Trifolium dubium</i> Sibth.
P scap	<i>Ulmus minor</i> Mill.

Macchia, duna e aree non direttamente gestite (32,87 ha): prevalente vegetazione arbustiva e di macchia mediterranea nella fascia che si affaccia sul mare. Comprende sia il canneto (*Arundo donax*), che divide la zona urbanizzata dalla spiaggia, sia le aree esclusivamente arbustive, dove trova riparo l'avifauna selvatica. Punti rilevati: **A2** (Tabella 22), **A3** (

Tabella 23), **A4** (Tabella 24), **A6** (Tabella 25), **A7** (Tabella 26).

Tabella 22: Specie rilevate in A2 “Duna artificiale recente, formata per accumulo di sabbia da operazioni di pulizia”

Forma biologica	Specie
G rhiz	<i>Ambrosia psilostachya</i> DC.
G rhiz	<i>Ammophila arenaria</i> (L.) Link
T scap	<i>Anisantha</i> spp.
H scap	<i>Beta vulgaris</i> L.
T scap	<i>Cakile maritima</i> Scop.
G rhiz	<i>Carex repens</i> Bellardi
G rhiz	<i>Thinopyrum junceum</i> (L.) Á. Löve
T scap	<i>Lagurus ovatus</i> L.
H bienn	<i>Oenothera biennis</i> L.
T scap	<i>Phleum arenarium</i> L.
T scap	<i>Salsola kali</i> L.
T scap	<i>Soda inermis</i> Fourr.
T scap	<i>Senecio vulgaris</i> L.
T scap	<i>Solanum</i> spp.
H scap	<i>Tragopogon</i> spp.
T caesp	<i>Festuca fasciculata</i> Forssk.
T scap	<i>Xanthium italicum</i> Moretti

Tabella 23: Specie rilevate in A3 “Duna artificiale meno recente, formata per accumulo di sabbia da operazioni di pulizia”

Forma biologica	Specie
G rhiz	<i>Ambrosia psilostachya</i> DC.
G rhiz	<i>Ammophila arenaria</i> (L.) Link
P caesp	<i>Amorpha fruticosa</i> L.
G rhiz	<i>Thinopyrum junceum</i> (L.) Á. Löve
T scap	<i>Erigeron</i> spp.
G rhiz	<i>Eryngium maritimum</i> L.
H bienn	<i>Geranium molle</i> L.
T scap	<i>Lagurus ovatus</i> L.
T scap	<i>Medicago minima</i> (L.) L.
H bienn	<i>Oenothera biennis</i> L.
P caesp	<i>Rubus ulmifolius</i> Schott
T scap	<i>Senecio vulgaris</i> L.
T scap	<i>Silene conica</i> L.
H scap	<i>Silene vulgaris</i> (Moench) Garcke
H bienn	<i>Verbascum sinuatum</i> L.
T scap	<i>Veronica arvensis</i> L.
T scap	<i>Vicia</i> spp.
T caesp	<i>Festuca fasciculata</i> Forssk.
T scap	i Moretti

Tabella 24: Specie rilevate in A4 “Canneto di Arundo donax”

Forma biologica	Specie
G rhiz	<i>Arundo donax</i> L.
G rhiz	<i>Asparagus acutifolius</i> L.
P scap	<i>Eleagnus angustifolia</i> L.
P lian	<i>Hedera elix</i> L.
P caesp	<i>Laurus nobilis</i> L.
P lian	<i>Rubia peregrina</i> L.
P caesp	<i>Rubus ulmifolius</i> Schott
H scap	<i>Rumex crispus</i> L.
P caesp	<i>Sambucus nigra</i> L.
T scap	<i>Senecio vulgaris</i> L.
P scap	<i>Tamarix gallica</i> L.

Tabella 25: Specie rilevate in A6 “Duna stabile con mantello macchia mediterranea”

Forma biologica	Specie
G rhiz	<i>Asparagus acutifolius</i> L.
P caesp	<i>Cornus sanguinea</i> L.
H caesp	<i>Dactylis glomerata</i> L.
P scap	<i>Elaeagnus pungens</i> Thunb.

G rhiz	<i>Equisetum</i> spp.
H scap	<i>Galium mollugo</i> L.
P lian	<i>Hedera elix</i> L.
P caesp	<i>Hippophaë rhamnoides</i> L. ssp. <i>fluviatilis</i> V. Socst
P caesp	<i>Juniperus communis</i> L.
P caesp	<i>Ligustrum vulgare</i> L.
P lian	<i>Lonicera caprifolium</i> L.
P caesp	<i>Lonicera etrusca</i> Santi
H bienn	<i>Oenothera biennis</i> L.
P caesp	<i>Phillyrea angustifolia</i> L.
G rhiz	<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud.
P caesp	<i>Pittosporum tobira</i> (Thunb.) W.T. Aiton
P scap	<i>Quercus ilex</i> L.
P caesp	<i>Rubus ulmifolius</i> Schott
T scap	<i>Senecio vulgaris</i> L.

Tabella 26: Specie rilevate in A7 “Duna stabile con pineta semi-naturale e leccio”

Forma biologica	Specie
G rhiz	<i>Asparagus acutifolius</i> L.
P caesp	<i>Crataegus</i> spp.
H scap	<i>Galium mollugo</i> L.
P lian	<i>Hedera elix</i> L.
P caesp	<i>Juniperus communis</i> L.
P caesp	<i>Laurus nobilis</i> L.
P caesp	<i>Ligustrum vulgare</i> L.
P caesp	<i>Lonicera etrusca</i> Santi
P caesp	<i>Phillyrea angustifolia</i> L.
P scap	<i>Pinus pinea</i> L.
P caesp	<i>Pittosporum tobira</i> (Thunb.) W.T. Aiton
P scap	<i>Quercus ilex</i> L.
P caesp	<i>Rubus ulmifolius</i> Schott
Ch suffr	<i>Teucrium chamaedrys</i> L.

Corpi idrici (104 ha): specchi d’acqua nel campo da golf, al centro dell’isola, fiordi e valle da pesca.

Altre aiuole (0,54 ha): aiuole minori collocate lungo strade secondarie tra gli edifici, solitamente formate da un prato e da uno a tre individui arborei di *Pinus pinaster*.





Figura 21 – Principali fitocenosi rilevate nell'Isola di Albarella: a) duna artificiale più recente; b) duna artificiale meno recente; c) canneto; d) macchia mediterranea e prevalenza di ginepro; e) campo da golf; f) impianto di latifoglie su prato; g) pineta a protezione dell'area per il tiro con l'arco; h) aiuole a evoluzione naturale al centro dell'isola; i) bosco con latifoglie dominanti; l) bosco con conifere dominanti; m) area semi-naturale a prevalenza di leccio; n) bosco di latifoglie al centro dell'isola con rinnovazione di pioppo; o) filare di pioppo nero; p) laghetto al centro dell'isola con pineta.

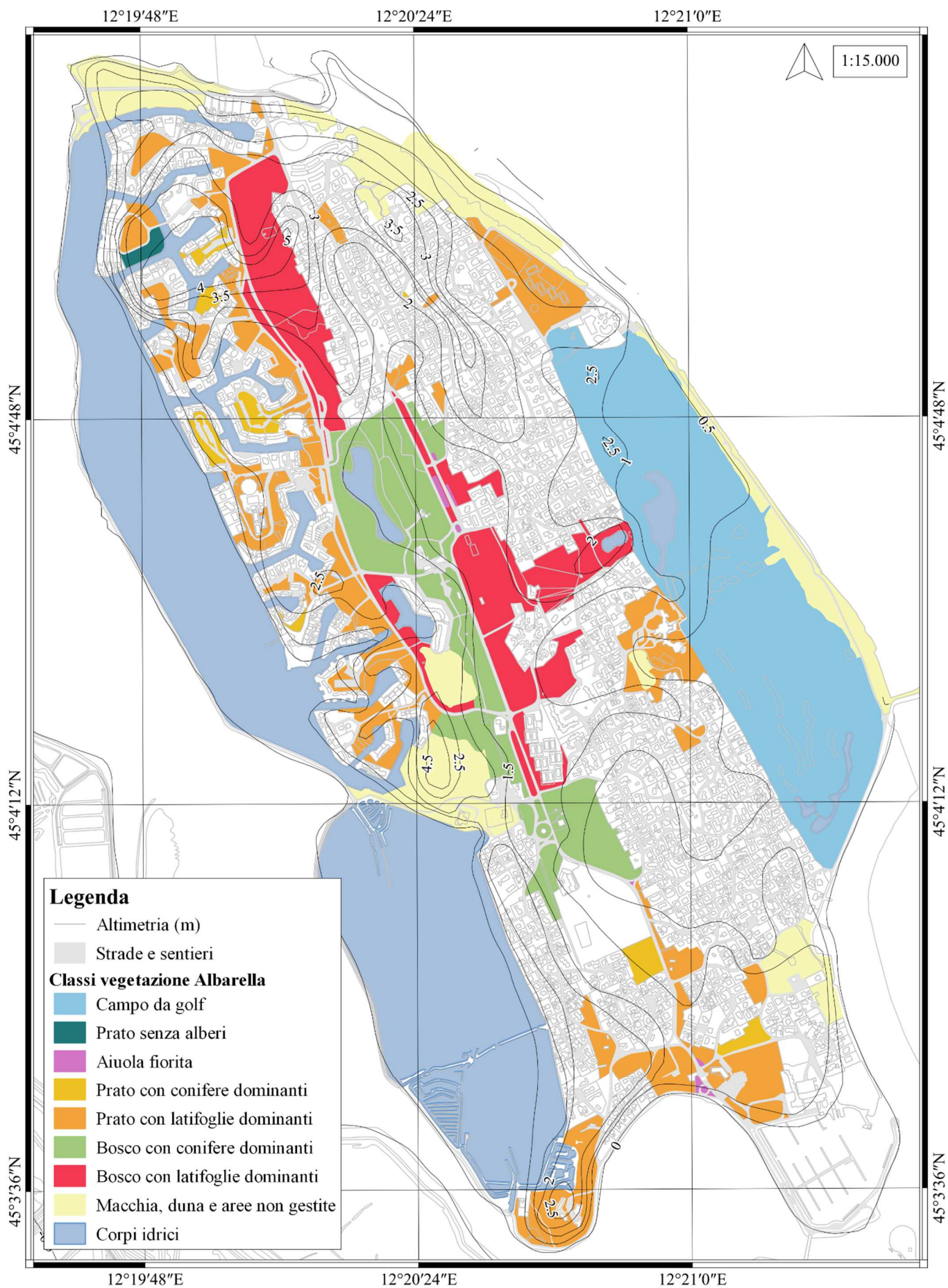


Figura 22 – Cartografia delle dell'Isola di Albarella

Le forme biologiche (Figura 23) si dispongono lungo un gradiente che segue la distanza dal mare tra i punti da A2 a A7, escluso A5 che si trova al centro dell'isola. I punti A2 e A3 si trovano su una duna di formazione recente per accumulo di sabbia risultante dalle operazioni di spianatura della spiaggia e le forme più frequenti sono le terofite scapose (T scap), come *Cakile maritima*, *Lagurus ovatus*, *Salsola kali* e *Senecio vulgaris*, e le geofite rizomatose, come *Ammophila arenaria* e *Thinopyrum junceum*, seguono le emicriptofite anch'esse scapose (H scap) ma meno frequenti. In corrispondenza di A3, dove l'accumulo della duna è meno recente si trovano anche gli arbusti (P caesp) *Rubus ulmifolius* e *Amorpha fruticosa*. A4 appartiene ad un canneto di *Arundo donax* (G rhiz) posto tra la spiaggia e la zona urbanizzata. Le fanerofite sono rappresentate da specie arbustive (P caesp) ma poco rappresentate in abbondanza relativa. A completare A6 e A7 sulla duna stabilizzata, nei quali prevalgono fanerofite cespugliose (P caesp) del mantello e della pineta, ad esempio *Juniperus communis*, *Ligustrum vulgare*, *Phillyrea angustifolia* e *Rubus ulmifolius*. Verso il bosco entrano le fanerofite arboree come il pino domestico e il leccio e si mantengono le specie del mantello nel sottobosco.

I punti A5, A8, A9, A10, A12 e A13 si trovano al centro dell'isola ma rappresentano sistemi tra loro diversificati. Variano infatti il grado di copertura del suolo e le specie dominanti, pur trovandosi su dune consolidate, e il tipo di gestione effettuata. In A5 domina *Ligustrum vulgare* e *Ulmus minor*, seguono alcune specie tipiche del sottobosco, come *Asparagus acutifolius*, *Laurus nobilis*, *Rubus ulmifolius* e *Rubia peregrina*. A8 e A9 appartengono a tracce di una pineta a pino domestico piuttosto rada, con la differenza che in A8 è presente uno strato erbaceo dato da un tappeto erboso regolarmente tagliato, mentre A9 è in delle aiuole circoscritte lasciate a libera evoluzione. Gli spettri biologici sono tra loro simili, mentre elemento di variabilità è la composizione di specie erbacee. Anche in A9 gli stadi evolutivi sono all'inizio, per cui vi è ancora la competizione delle specie arboree con le erbacee (T scap, H scap e H caesp). A10 appartiene ad un sistema simile ad A9 con la differenza che è situato in un'aiuola fiorita, per cui la componente erbacea è data dalle erbacee ornamentali (perlopiù H scap). A12 appartiene ad un'area a prevalenza di leccio, ma continuano a prevalere specie legnose sia arboree che arbustive e lo spettro biologico rispecchia quello dei punti poco distanti A5, A8, A9. In prossimità di questi punti si trova anche A13, ma manca lo strato arboreo e la copertura è esclusivamente erbacea, soprattutto terofite ed emicriptofite. Analoga composizione presenta anche A14, nel campo da golf,

anche se variano le specie presenti. Infine A11 appartiene ad una zona a prevalente strato erbaceo sul quale si trova un gruppo di pioppi grigi, che rappresentano la componente legnosa (P scap), mentre la componente arbustiva ed erbacea ha le stesse proporzioni dei punti in altre aree prative.

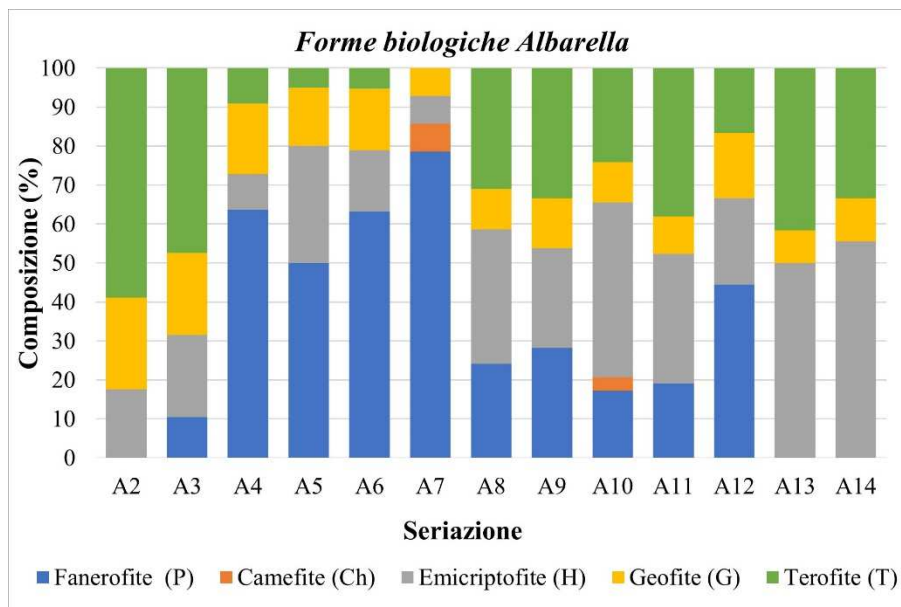


Figura 23 – Spettro biologico delle specie censite presso l'Isola di Albarella

Riassumendo, nell'isola di Albarella possono essere individuati tre gruppi di distribuzione della vegetazione: una variazione progressiva dalla duna al bosco in cui entrano specie arbustive e arboree sostituendosi a quelle erbacee (A2, A3, A4, A6, A7), la zona centrale con soprassuolo arboreo a diverso grado di copertura ma equa ripartizione dello spettro biologico (A5, A8, A9, A10, A11, A12) e le zone nelle quali è presente esclusivamente lo strato erbaceo (A13 e A14). Relativamente alla struttura della vegetazione dell'Isola di Albarella, questa si configura come segue:

- *Strato arboreo*: la natura antropica del soprassuolo riflette strutture piuttosto regolari come filari, quasi esclusivamente a *Populus nigra italica*, alberi isolati, gruppi aggregati monospecifici, soprattutto pini e pioppi. Infine vi sono impianti recenti di latifoglie, per cui si distingue nettamente il sesto di impianto regolare.
- *Strato arbustivo*: si distinguono la formazione lineare del canneto e la disposizione casuale degli arbusti della macchia mediterranea che

costituiscono il mantello di un lembo di pineta semi-naturale che rimane circoscritta a nord dell'isola tra la spiaggia e la zona residenziale.

- *Strato erbaceo*: si individuano tappeti erbosi con copertura del suolo totale e continua come i prati delle aree verdi nella zona centrale dell'isola, i giardini delle abitazioni e il campo da golf, dove la copertura si interrompe in corrispondenza delle buche del gioco e degli ostacoli arbustivi o arborei. Sulle dune artificiali la distribuzione delle specie è invece irregolare e casuale con copertura discontinua del suolo.
- *Verde ornamentale*: questa categoria comprende specie erbacee, arbustive e arboree, ma che per la loro collocazione spaziale svolgono esclusiva funzione ornamentale. Si individuano quindi aiuole fiorite, siepi lineari e specie adattate agli ambienti acquatici (*Phragmites* spp, *Nymphaea alba*, *Nelumbo nucifera*, *Iris* spp.).

In riferimento al modello di simulazione dei flussi di CO₂ equivalente dell'isola, la cartografia della vegetazione dell'isola è stata ridefinita anche in relazione alle specie vegetali e al contenuto in carbonio organico misurato nel suolo, nella lettiera e nella vegetazione per gli stessi punti campione. In questo modo è stata elaborata la cartografia dei sistemi gestionali dell'Isola di Albarella, come riportato in Figura 25.

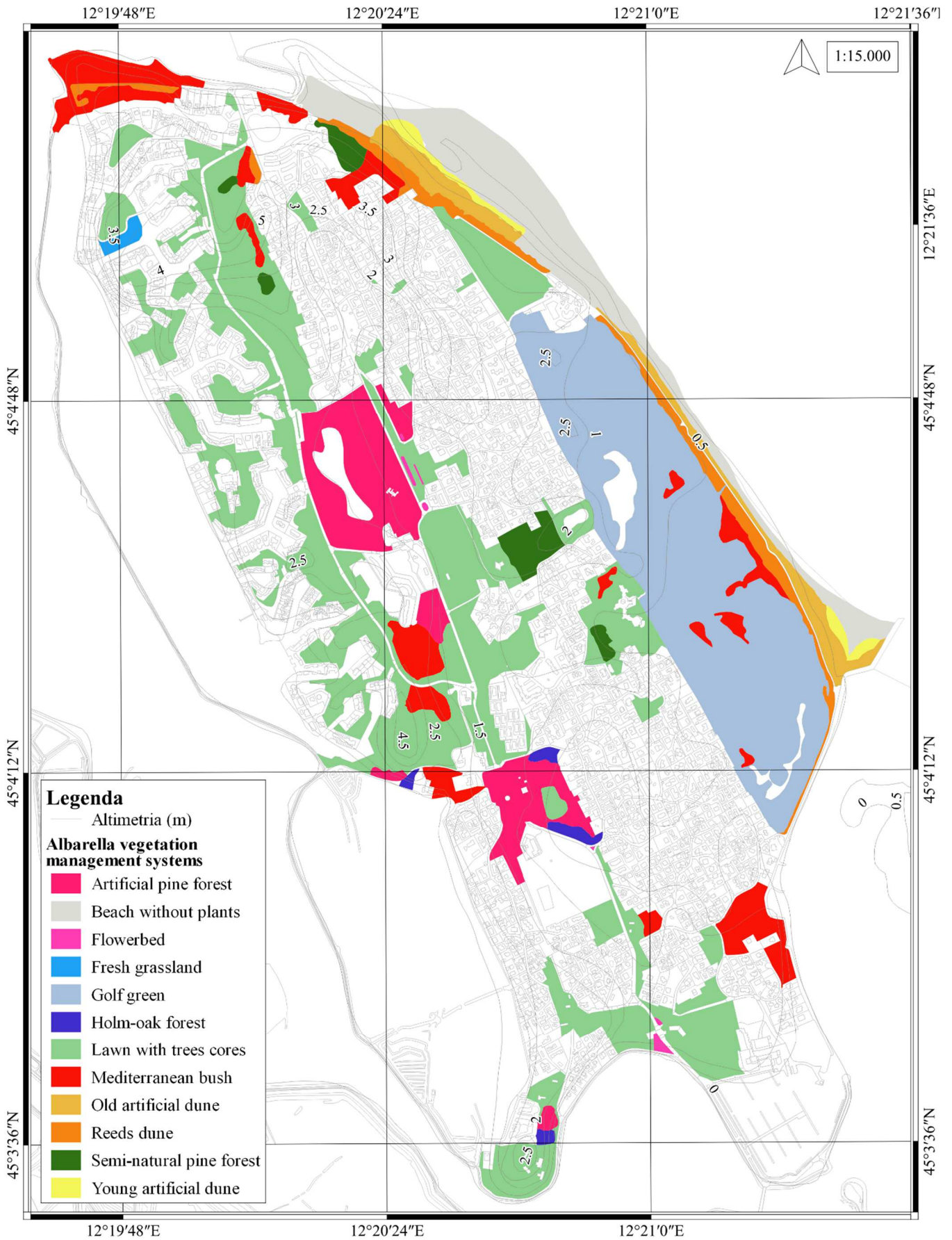


Figura 24 – Cartografia dei sistemi di gestione della vegetazione dell’Isola di Albarella

4.1.3 Confronto tra la vegetazione di Porto Caleri e dell'Isola di Albarella

Nell'ambito del Progetto ALBA sono stati individuati punti di campionamento rappresentativi della vegetazione e degli ecosistemi presenti nei due siti di Albarella e Caleri. Confrontando gli elenchi di specie, le forme biologiche e la struttura della copertura vegetale, si individua un parallelismo tra la serie di Caleri e la vegetazione semi-naturale di Albarella a nord dell'isola (

Figura 26). Si tratta infatti di un'area in cui rimane traccia della vegetazione originale, la cui gestione è limitata alla pulizia e manutenzione del sentiero che permette l'accesso alla spiaggia (punti da A2 ad A7, esclusi A4 e A5). Analogamente per gli ecosistemi forestali vi è analogia tra la serie compresa tra la duna grigia e il bosco in entrambi i siti. Così come sono analoghi i punti sulla spiaggia privi di vegetazione. Rimangono comunque elementi di discontinuità relativi al numero di specie e alla loro distribuzione punto per punto. I punti campione di Porto Caleri riflettono la distribuzione per fasce parallele degli ecosistemi e le specie occupano spazi ben precisi ma non delimitati fisicamente. Le specie introdotte dall'uomo con gli impianti o quelle avventizie e invasive sono più generaliste e ubiquitarie, ma la loro presenza rimane comunque limitata ad aree specifiche, come ad esempio *Oenothera stucchii* e *Amorpha fruticosa*, che riescono a insediarsi tra il retroduna e la duna grigia, ma non nel mantello o nella pineta e nemmeno sulla duna bianca; oppure la rinnovazione di *Pinus pinea*, che riesce a insediarsi sul fronte della duna grigia, pur essendo esposto ai venti.

I punti campione di Albarella che si collocano al centro dell'isola, compresi quelli su prati (A11 e A14) mostrano una struttura complessiva a mosaico. Le specie presenti sono fortemente condizionate dalla gestione del verde, dagli impianti, sia forestali che ornamentali, dalla funzione specifica (estetico-ornamentale, frangivento o ricreativa) e mostrano variabilità anche nella composizione dello spettro biologico. Escluse le aree a gestione parziale e nulla, volutamente lasciate a libera evoluzione, non sono osservabili dinamiche successionali, per cui gli interventi di gestione agiscono come eventi di frequente disturbo di lieve entità, i quali mantengono una condizione di subclimax nella quale la successione è bloccata.

Fermo restando la diversità in termini di numero di specie e frequenze relative, è possibile individuare coppie di punti tra le due serie, che sono rappresentativi delle stesse

fitocenosi, che presentano strutture spaziali analoghe tra loro o analoghe funzioni, come segue (Figura 25, Tabella 27, Figura 26).

C1-A1: spiaggia libera e con accumulo di legni sulla battigia a Caleri, spiaggia attrezzata e spianata ad Albarella.

C2-A2: duna embrionale di Caleri e duna artificiale più recente ad Albarella. Sono presenti esclusivamente specie erbacee con distribuzione casuale e copertura discontinua del suolo. Le specie in comune nei due siti sono *Ammophila arenaria*, *Cakile maritima* e *Xanthium italicum*.

C3-A3: duna bianca (Caleri) consolidata da *Ammophila arenaria* e duna artificiale meno recente (Albarella), dove si trovano specie diverse tra i due punti, ma la stessa struttura del punto precedente. Lo spettro biologico differisce per un numero maggiore di geofite e per la presenza delle camefite *Helichrysum italicum* e *Sedum acre* in Caleri e per un numero maggiore di terofite e della fanerofita invasiva *Amorpha fruticosa* in Albarella. Le specie comuni ai due punti sono *Ammophila arenaria* e *Eryngium maritimum*.

C4-A4: retroduna (Caleri) e canneto artificiale (Albarella). Specie totalmente diverse, ma stessa distribuzione spaziale continua e copertura elevata del suolo. Inizia ad essere presente la componente legnosa, le terofite sono ridotte ad una sola specie per sito, *Lagurus ovatus* in Caleri e *Senecio vulgaris* in Albarella, mentre le altre forme biologiche sono presenti in proporzione diversa. La sola specie comune è *Rubia peregrina*. Se nell'ecosistema naturale le specie sono più tolleranti al disturbo rispetto le specie delle dune, questa funzione viene massimizzata nel sistema antropico, dove l'impianto a prevalenza di *Arundo donax* e *Tamarix gallica* ha la specifica funzione di protezione dai venti dell'area urbanizzata.

C11-A5: macchia a prevalenza di arbusti, distribuzione casuale e irregolare, ma specie diverse tra i due punti. A Caleri sono presenti meno specie, che però presentano maggiore complessità dello spettro biologico; in Albarella si riscontrano più specie, ma prevalentemente legnose sia arbustive che arboree ed erbacee appartenenti allo strato erbaceo. Le specie presenti in entrambi i punti sono *Rubus ulmifolius* e *Phyllirea angustifolia*.

C6-A6: mantello del bosco, specie tipiche della macchia mediterranea e struttura analoga per entrambi i punti con prevalenza delle specie legnose. In comune vi sono *Rubus*

ulmifolius, *Hippophaë rhamnoides*, *Lonicera caprifolium*, *Phyllirea angustifolia*, *Quercus ilex*.

C7-A7: pineta di pino marittimo a Caleri, pino marittimo e domestico ad Albarella con sottobosco, spettro biologico simile, ma struttura diversa. In Albarella, infatti, la densità è inferiore e le specie forestali sono ben distinguibili in gruppi, che rendono la copertura del suolo discontinua. Le sole specie comuni sono *Rubus ulmifolius*, *Quercus ilex* e *Phyllirea angustifolia*.

C8-A8: bosco misto con olmo (Caleri) e pineta rada di pino domestico con strato erbaceo (Albarella). Struttura, composizione specifica e spettro biologico diversi tra loro e assenza di sottobosco in entrambi i casi. In comune vi sono *Quercus ilex*, *Ulmus minor*, *Hedera elix* e *Rubus ulmifolius*, ma con proporzioni diverse in copertura. La coppia di punti presenta quindi un ecosistema forestale misto a prevalenza di *Pinus* spp. e *Ulmus minor*, mentre al punto precedente è assente la componente a latifolia.

C13-A12: lecceta con grado diverso di copertura e presenza dello strato erbaceo ad Albarella. In entrambi i siti si trovano *Quercus ilex*, *Hedera elix* e *Rubus ulmifolius* con grado di copertura in proporzione simile tra i due siti. Lo spettro biologico è invece diverso per la presenza di specie erbacee del tappeto erboso in prossimità del nucleo a leccio in Albarella e assente in Caleri.

I punti delle aree umide di acqua dolce e di quella salmastra sono esclusivi di Porto Caleri, mentre le aree a prato e i nuovi impianti sono esclusivi dell'Isola di Albarella.

In Figura 27Figura 25 si riportano le forme biologiche per coppie di punti, per i quali si nota come anche in questo caso non vi sia corrispondenza tra i due siti, ma in termini di struttura o funzione degli ecosistemi di Caleri di Albarella, come appena descritto.



Figura 25 – Serie di punti rilevati nei siti di Porto Caleri e Albarella

Tabella 27: Corrispondenza tra i punti rilevati nei due siti

PORTO CALERI [C]		ISOLA DI ALBARELLA [A]	
Codice	Descrizione	Codice	Descrizione
C0	Zona di marea, priva di vegetazione	-	-
C9	Zona umida a prevalenza di <i>Limonium</i> spp.	-	-
C10	Zona umida in prossimità del pontile, barena	-	-
C1	Spiaggia con zona di accumulo di legno portato dall'acqua, priva di vegetazione	A1	Spiaggia attrezzata, vicino a ombrelloni, priva di vegetazione
C2	Duna embrionale, primo accumulo di sabbia	A2	Duna artificiale recente, formata per accumulo di sabbia da operazioni di pulizia
C3	Duna bianca a prevalenza di <i>Ammophila arenaria</i>	A3	Duna artificiale meno recente, formata per accumulo di sabbia da operazioni di pulizia
C4	Retroduna, depressione interdunale	A4	Canneto di <i>Arundo donax</i>
C5	Duna grigia con <i>Tortulo-Scabioetum</i>	-	-
C11	Duna grigia con cintura a <i>Tamarix gallica</i>	A5	Duna stabile con arbusti a prevalenza di <i>Ligustrum</i> spp.
C6	Macchia mediterranea su duna grigia	A6	Duna stabile con mantello macchia mediterranea
C7	Pineta a <i>Pinus pinaster</i> con sottobosco a <i>Quercus ilex</i>	A7	Duna stabile con pineta semi-naturale e leccio
C8	Pineta a <i>Pinus pinaster</i> , con <i>Ulmus minor</i> e priva di sottobosco	A8	Pineta artificiale senza sottobosco, zona centrale dell'isola
C13	Lecceta	A12	Bosco a prevalenza di <i>Quercus ilex</i> , senza sottobosco
C12	Pineta (come C7) vicino a depressione umida interdunale	-	-
-	-	A11	Prato con <i>Populus canescens</i>
-	-	A13	Prato in prossimità di A8, zona centrale dell'isola
-	-	A14	Campo da golf
-	-	A9	Nuovi impianti delimitati da rete di protezione (come A8)
-	-	A10	Aiuola di fiori, specie ornamentali, zona centrale dell'isola

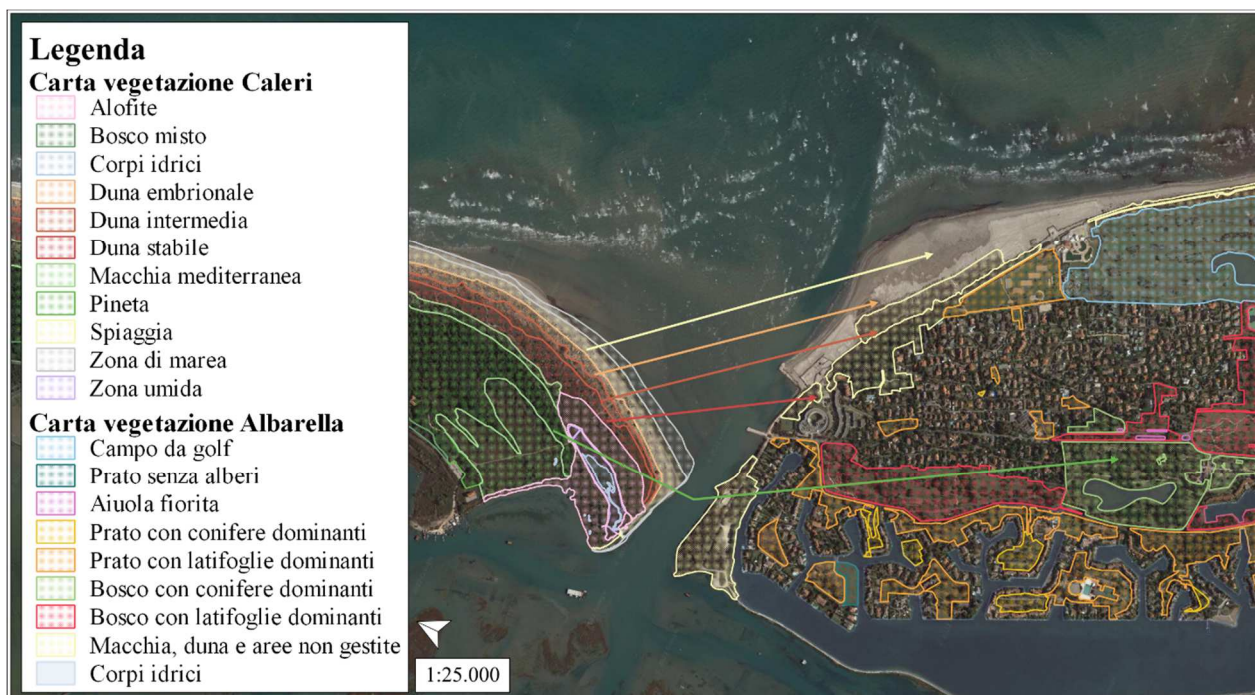


Figura 26 – Serie di sistemi comuni tra Porto Caleri e l'Isola di Albarella

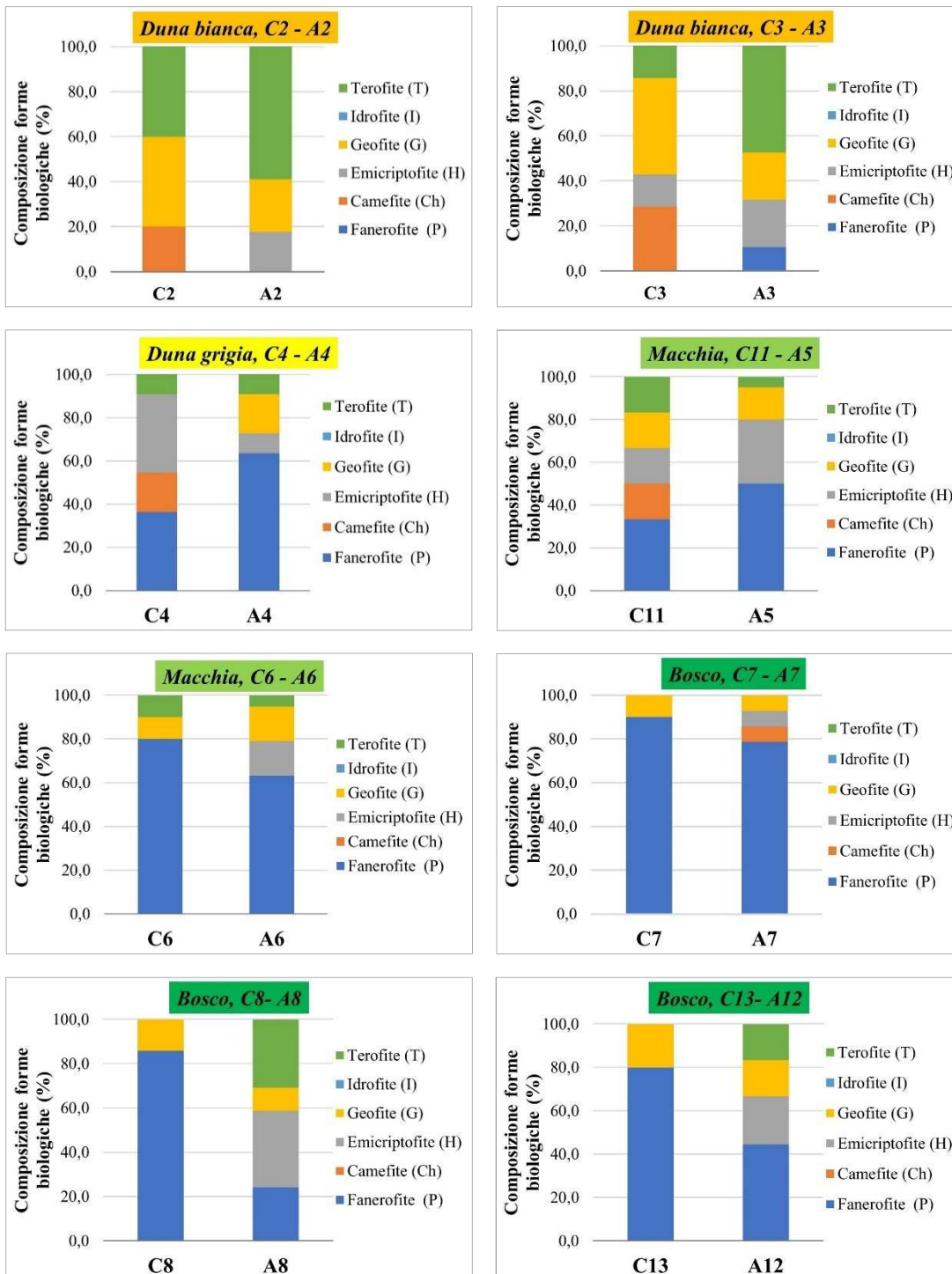


Figura 27 – Confronto per coppie di punti confrontabili tra i due siti

Relativamente ai rilievi fitosociologici, sono state rilevate complessivamente 158 specie, delle quali 99 (62,7%) presenti solo in Albarella ma non in Caleri, 41 (25,9%) solo a Caleri ma non ad Albarella e solo 18 (11,4%) sono presenti in entrambi i siti. Queste comprendono sia specie legate alle nicchie ecologiche delle dune come *Ammophila*

arenaria, *Cakile maritima* e *Eryngium maritimum*, sia specie arbustive e arboree proprie del bosco e del sottobosco, che pur non essendo sufficienti ad inquadrare particolari syntaxa, rappresentano invece le specie più diffuse nei due siti. La matrice di similarità (Tabella 28) conferma la bassa corrispondenza tra specie tra Caleri e Albarella ($S \leq 0,10$), in particolare per quei punti appartenenti agli ecosistemi forestali. Questo è dovuto alle diverse strutture spaziali, influenzate dalla gestione antropica o dall'assenza di gestione che determina la presenza e la distribuzione delle singole specie. Gli indici di Jaccard assumono invece valori leggermente più alti per i punti di Albarella con vegetazione semi-naturale, rispecchiando parzialmente la distribuzione delle specie e la struttura della successione presente a Caleri (da A2 ad A7). L'indice di similarità assume, invece, valori mediamente più elevati se riferiti allo stesso sito. Esso raggiunge il valore massimo di 0,6 a Caleri per i punti C9 e C10, che comprendono prevalentemente alofite e che appartengono però alla stessa area umida salmastra. A Caleri risultano quindi meno specie, distribuite in comunità definite spazialmente dalla morfologia del sito, ma non fisicamente delimitate, e che permettono di descrivere la distribuzione secondo fasce parallele, con una chiara distinzione tra la serie delle psammofite (da C2 a C5 e C11) e quella forestale (da C6 a C8, C12 e C13). Per Albarella i coefficienti assumono valori mediamente più bassi e omogenei, per cui la similarità tra specie è inferiore, in relazione alla distribuzione a mosaico e all'elevato numero di specie censite, anche in questo caso con netta differenza tra le specie delle dune (A2 e A3), quelle del mantello e della pineta semi-naturale (A4, A6, A7) e quelli della zona centrale dell'isola (A5 e da A8 ad A14).

Riassumendo, in Tabella 29 si riporta la sintesi delle analogie e delle differenze nella struttura della copertura della vegetazione nei due siti oggetto di questo studio.

Tabella 28: Matrice di similarità tra i punti campione di Albarella e Caleri

	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14																																																					
C2		0,20											0,16	0,14																																																																
C3			0,20	0,06						0,06			0,04	0,08																																																																
C4				0,35	0,24	0,17	0,20			0,10	0,06	0,14			0,05	0,07	0,07	0,09	0,05	0,04	0,03			0,07																																																						
C5					0,16	0,05	0,06									0,03	0,07	0,08	0,03	0,04	0,03	0,03																																																								
C6						0,54	0,31			0,29	0,06	0,36		0,04	0,11	0,15	0,21	0,14	0,08	0,04	0,03			0,12																																																						
C7							0,42			0,22	0,13	0,36		0,04	0,11	0,20	0,12	0,14	0,11	0,07	0,03	0,03		0,17																																																						
C8										0,06	0,17	0,50			0,13	0,17	0,08	0,11	0,13	0,05	0,03	0,04		0,14																																																						
C9								0,60																																																																						
C10	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Legenda punti: Porto Caleri [C], Isola di Albarella [A]</th> </tr> <tr> <th>Codice</th> <th>Descrizione</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C9</td> <td>Zona umida a prevalenza di <i>Limonium</i> spp.</td> </tr> <tr> <td>C10</td> <td>Zona umida in prossimità del pontile, barena</td> </tr> <tr> <td>C2</td> <td>Duna embrionale, primo accumulo di sabbia</td> </tr> <tr> <td>C3</td> <td>Duna bianca a prevalenza di <i>Ammophila arenaria</i></td> </tr> <tr> <td>C4</td> <td>Retroduna, depressione interdunale</td> </tr> <tr> <td>A2</td> <td>Duna grigia con <i>Tortulo-Scabioetum</i></td> </tr> <tr> <td>A3</td> <td>Duna grigia con cintura a <i>Tamarix gallica</i></td> </tr> <tr> <td>A4</td> <td>Macchia mediterranea su duna grigia</td> </tr> <tr> <td>A5</td> <td>Pineta a <i>Pinus pinaster</i> con sottobosco a <i>Quercus ilex</i></td> </tr> <tr> <td>A6</td> <td>Pineta a <i>Pinus pinaster</i>, con <i>Ulmus minor</i> e priva di sottobosco</td> </tr> <tr> <td>A7</td> <td>Lecceta</td> </tr> <tr> <td>A8</td> <td>Pineta (come C7) vicino a depressione umida interdunale</td> </tr> <tr> <td>A9</td> <td>Duna artificiale recente, formata per accumulo di sabbia da operazioni di pulizia</td> </tr> <tr> <td>A10</td> <td>Duna artificiale meno recente, formata per accumulo di sabbia da operazioni di pulizia</td> </tr> <tr> <td>A11</td> <td>Canneto di <i>Arundo donax</i></td> </tr> <tr> <td>A12</td> <td>Duna stabile con arbusti a prevalenza di <i>Ligustrum</i> spp.</td> </tr> <tr> <td>A13</td> <td>Duna stabile con mantello macchia mediterranea</td> </tr> <tr> <td>A14</td> <td>Duna stabile con pineta semi-naturale e leccio</td> </tr> <tr> <td>A15</td> <td>Pineta artificiale senza sottobosco, zona centrale dell'isola</td> </tr> <tr> <td>A16</td> <td>Bosco a prevalenza di <i>Quercus ilex</i>, senza sottobosco</td> </tr> <tr> <td>A17</td> <td>Prato con <i>Populus canescens</i></td> </tr> <tr> <td>A18</td> <td>Prato in prossimità di A8, zona centrale dell'isola</td> </tr> <tr> <td>A19</td> <td>Campo da golf</td> </tr> <tr> <td>A20</td> <td>Nuovi impianti delimitati da rete di protezione (come A8)</td> </tr> <tr> <td>A21</td> <td>Aiuola di fiori, specie ornamentali, zona centrale dell'isola</td> </tr> </tbody> </table>																								Legenda punti: Porto Caleri [C], Isola di Albarella [A]		Codice	Descrizione	C9	Zona umida a prevalenza di <i>Limonium</i> spp.	C10	Zona umida in prossimità del pontile, barena	C2	Duna embrionale, primo accumulo di sabbia	C3	Duna bianca a prevalenza di <i>Ammophila arenaria</i>	C4	Retroduna, depressione interdunale	A2	Duna grigia con <i>Tortulo-Scabioetum</i>	A3	Duna grigia con cintura a <i>Tamarix gallica</i>	A4	Macchia mediterranea su duna grigia	A5	Pineta a <i>Pinus pinaster</i> con sottobosco a <i>Quercus ilex</i>	A6	Pineta a <i>Pinus pinaster</i> , con <i>Ulmus minor</i> e priva di sottobosco	A7	Lecceta	A8	Pineta (come C7) vicino a depressione umida interdunale	A9	Duna artificiale recente, formata per accumulo di sabbia da operazioni di pulizia	A10	Duna artificiale meno recente, formata per accumulo di sabbia da operazioni di pulizia	A11	Canneto di <i>Arundo donax</i>	A12	Duna stabile con arbusti a prevalenza di <i>Ligustrum</i> spp.	A13	Duna stabile con mantello macchia mediterranea	A14	Duna stabile con pineta semi-naturale e leccio	A15	Pineta artificiale senza sottobosco, zona centrale dell'isola	A16	Bosco a prevalenza di <i>Quercus ilex</i> , senza sottobosco	A17	Prato con <i>Populus canescens</i>	A18	Prato in prossimità di A8, zona centrale dell'isola	A19	Campo da golf	A20	Nuovi impianti delimitati da rete di protezione (come A8)	A21	Aiuola di fiori, specie ornamentali, zona centrale dell'isola
Legenda punti: Porto Caleri [C], Isola di Albarella [A]																																																																														
Codice	Descrizione																																																																													
C9	Zona umida a prevalenza di <i>Limonium</i> spp.																																																																													
C10	Zona umida in prossimità del pontile, barena																																																																													
C2	Duna embrionale, primo accumulo di sabbia																																																																													
C3	Duna bianca a prevalenza di <i>Ammophila arenaria</i>																																																																													
C4	Retroduna, depressione interdunale																																																																													
A2	Duna grigia con <i>Tortulo-Scabioetum</i>																																																																													
A3	Duna grigia con cintura a <i>Tamarix gallica</i>																																																																													
A4	Macchia mediterranea su duna grigia																																																																													
A5	Pineta a <i>Pinus pinaster</i> con sottobosco a <i>Quercus ilex</i>																																																																													
A6	Pineta a <i>Pinus pinaster</i> , con <i>Ulmus minor</i> e priva di sottobosco																																																																													
A7	Lecceta																																																																													
A8	Pineta (come C7) vicino a depressione umida interdunale																																																																													
A9	Duna artificiale recente, formata per accumulo di sabbia da operazioni di pulizia																																																																													
A10	Duna artificiale meno recente, formata per accumulo di sabbia da operazioni di pulizia																																																																													
A11	Canneto di <i>Arundo donax</i>																																																																													
A12	Duna stabile con arbusti a prevalenza di <i>Ligustrum</i> spp.																																																																													
A13	Duna stabile con mantello macchia mediterranea																																																																													
A14	Duna stabile con pineta semi-naturale e leccio																																																																													
A15	Pineta artificiale senza sottobosco, zona centrale dell'isola																																																																													
A16	Bosco a prevalenza di <i>Quercus ilex</i> , senza sottobosco																																																																													
A17	Prato con <i>Populus canescens</i>																																																																													
A18	Prato in prossimità di A8, zona centrale dell'isola																																																																													
A19	Campo da golf																																																																													
A20	Nuovi impianti delimitati da rete di protezione (come A8)																																																																													
A21	Aiuola di fiori, specie ornamentali, zona centrale dell'isola																																																																													
C11									0,13				0,03	0,10	0,07	0,07	0,08	0,03	0,02					0,03																																																						
C12														0,04				0,03	0,02			0,04																																																								
C13															0,14	0,14	0,09	0,12	0,10	0,02	0,03		0,15																																																							
A2													0,29	0,04	0,03	0,06		0,05	0,08			0,06	0,03	0,08																																																						
A3														0,07	0,03	0,09	0,03	0,12	0,12			0,08	0,03	0,17	0,08																																																					
A4															0,19	0,15	0,19	0,11	0,06			0,07	0,21	0,04																																																						
A5																																																																														
A6																0,30	0,42	0,32	0,18	0,11	0,11	0,36	0,14	0,04																																																						
A7																	0,43	0,14	0,14	0,04	0,06	0,16	0,06																																																							
A8																		0,13	0,13	0,10	0,10	0,28	0,02																																																							
A9																			0,28	0,16	0,26	0,24	0,38	0,12																																																						
A10																				0,08	0,30	0,15	0,38																																																							
A11																						0,23	0,12	0,14	0,19																																																					
A12																							0,19	0,31	0,27																																																					
A13																								0,20	0,13																																																					
A14																									0,18																																																					

Tabella 29: Sintesi

Porto Caleri	Isola di Albarella
Le specie corrispondono alla vegetazione potenziale naturale nella successione tra la spiaggia e gli arbusti del mantello	Dune meno estese in superficie, ma con numero di specie maggiore e con distribuzione casuale; manca la fascia ad <i>Ammophila arenaria</i> , ma è comunque specie presente
Pineta monoplana, con segni di evoluzione verso lecceta e presenza di necromassa	Pineta presente con struttura irregolare, spesso a gruppi di pini, copertura discontinua
Spiaggia libera con necromassa portata a riva dalle maree, soggetta a calpestio	Spiaggia attrezzata e spiaggia libera soggetta a spianamento e ripulitura meccanica
Aree umide con alofite (solo Caleri)	Fascia ad <i>Arundo donax</i> e <i>Tamarix gallica</i> con funzione protettiva; aiuole fiorite (solo Albarella)

4.1.4 Indici di biodiversità e analisi statistica

Gli indici di biodiversità mostrano un diverso andamento per i due siti. Sia l'indice di Shannon (Figura 28), che quello di evenness (Figura 29) risultano generalmente inferiori a Caleri rispetto ad Albarella per effetto di un numero di specie inferiore e frequenze maggiori.

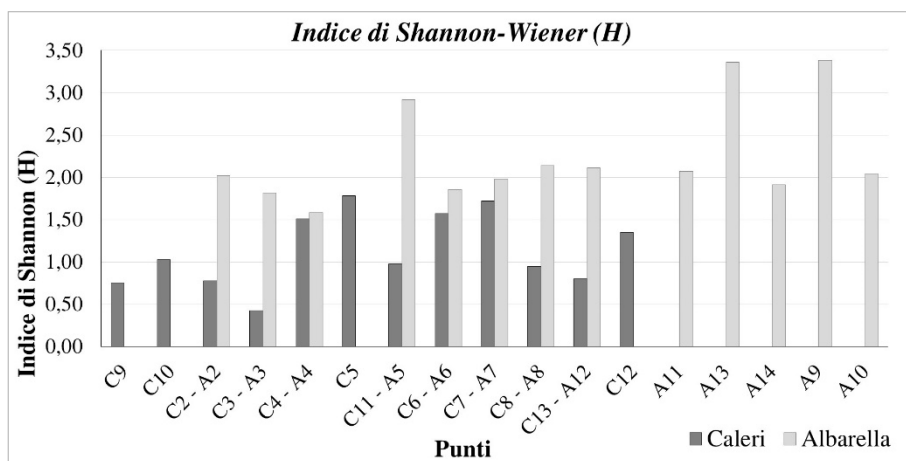


Figura 28 – Indici di Shannon-Weiner per i punti campione dei due siti

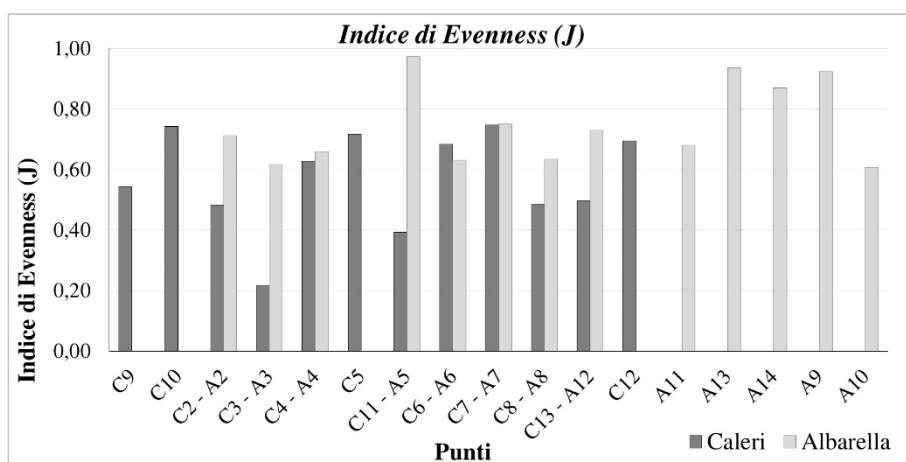


Figura 29 – Indici di evenness per i punti campione dei due siti

Nella Tabella 30 si riportano gli indici di biodiversità calcolati nei due siti relativi ai soli punti (Figura 30) per cui è stata individuata una corrispondenza in termini di specie o analogie nel tipo di struttura presenti. Albarella presenta un valore medio superiore di entrambi gli indici calcolati e minore variabilità. Infatti l'indice di Shannon assume rispettivamente i valori di 2,05 per Albarella e 1,09 per Caleri (differenza 0,96). L'indice di evenness assume invece valori pari a di 0,71 per Albarella e 0,52 per Caleri (differenza 0,19). In questo caso le distribuzioni delle frequenze delle specie sono più omogenee ad Albarella rispetto a Caleri.

Tabella 30: Indici di biodiversità dei punti confrontabili tra Porto Caleri e l'isola di Albarella

Caleri	Indice di Shannon (H)	Indice di Evenness (J)	Albarella	Indice di Shannon (H)	Indice di Evenness (J)
C2	0,78	0,48	A2	2,02	0,71
C3	0,42	0,22	A3	1,82	0,62
C4	1,51	0,63	A4	1,58	0,66
C11	0,98	0,39	A5	2,92	0,97
C6	1,57	0,68	A6	1,86	0,63
C7	1,72	0,75	A7	1,98	0,75
C8	0,95	0,49	A8	2,14	0,63
C13	0,80	0,50	A12	2,11	0,73
Media	1,09	0,52	Media	2,05	0,71
Dev std	0,46	0,17	Dev std	0,39	0,12

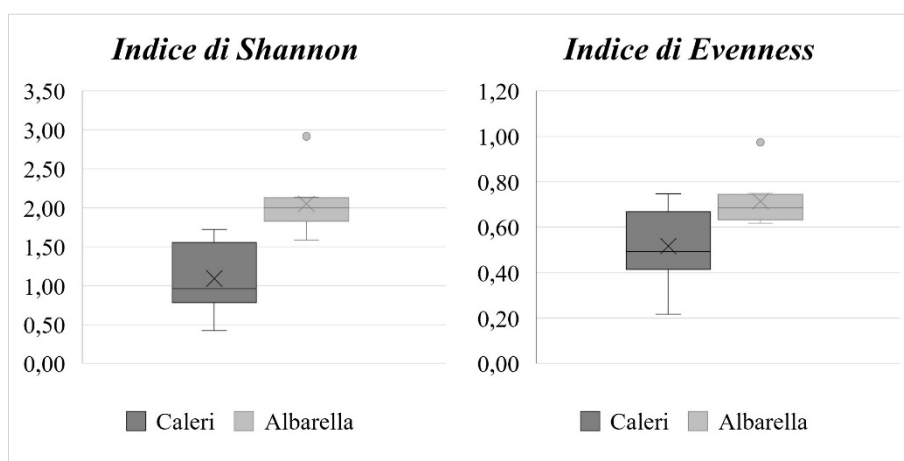


Figura 30 – Boxplot degli indici di biodiversità

Infine gli indici di Shannon calcolati nei punti corrispondenti in Albarella e Caleri sono stati confrontati mediante il test di Wilcoxon (Tabella 31) che ha evidenziato una differenza statisticamente significativa ($p < 0,05$) tra le due serie di punti confrontati in ricchezza specifica.

Tabella 31: Test non parametrico di Wilcoxon

Ipotesi nulla		Riepilogo test sull'ipotesi	Sig. ^{a,b}	Decisione
		Test		
1	La mediana delle differenze tra Albarella (H) e Caleri (H) è uguale a 0.	Test dei ranghi con segno di Wilcoxon a campioni correlati	,012	Rifiutare l'ipotesi nulla

a. Il livello di significatività è ,050.

b. Viene visualizzata la significatività asintotica.

Inoltre, esiste una correlazione maggiore tra gli indici di biodiversità in Caleri ($\rho=0,35$, $R^2=0,873$) rispetto ai punti corrispondenti di Albarella ($\rho=0,26$, $R^2=0,772$), influenzata dal numero di specie per punto. In Albarella infatti oltre ad un numero medio di specie maggiore per punto rilevato (18,4 per Albarella e 8,4 per Caleri), vi è anche maggiore variabilità (5,2 per Albarella e 2,7 per Caleri), che rende più debole la correlazione (Figura 31). Quindi esiste una differenza anche in termini di distribuzione delle specie, a conferma dei due pattern individuati, a fasce parallele a Caleri e a mosaico ad Albarella.

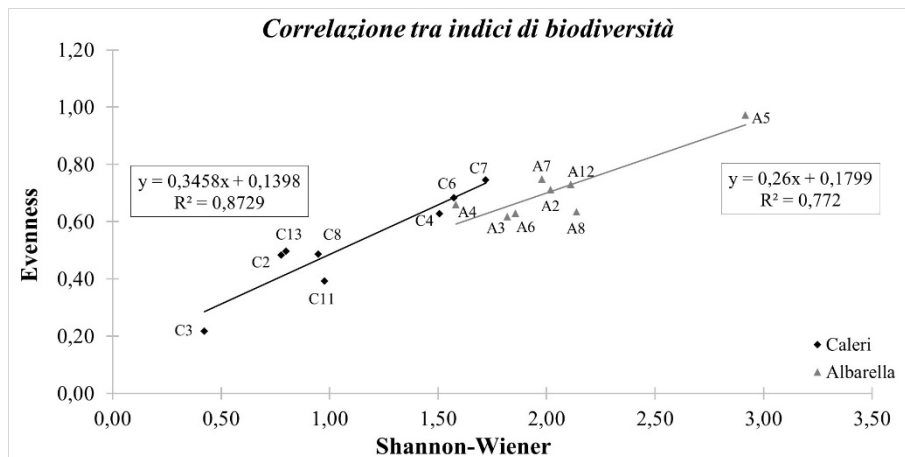


Figura 31 – Correlazione tra indici di biodiversità di Porto Caleri e Isola di Albarella

5 Conclusioni

La presente tesi ha evidenziato come vi sia una diversa distribuzione della vegetazione tra Porto Caleri e l'isola di Albarella ad almeno due livelli:

- i) dal confronto cartografico, è possibile evidenziare una struttura a fasce nel caso di Caleri e a mosaico in Albarella. La distribuzione a fasce è tipica degli ambienti costieri naturali adattati alle condizioni ambientali, secondo un gradiente pedo-climatico, che viene completamente alterata negli ambienti antropici, modellati a seconda della funzione prevalente del sito (ottimizzazione degli aspetti paesaggistici ed estetici funzionali all'attività turistico-ricreativa e di protezione nel caso di aree agricole o urbanizzate), interrompendo la continuità della distribuzione naturale;
- ii) dal confronto a livello di specie, si riscontra la presenza in Albarella di specie meno sito-specifiche, dove però resta una differenziazione di base per tipo di forma biologica. In Albarella sono presenti formazioni di origine antropica, come giardini e tappeti erbosi, con specie diverse dalla vegetazione potenziale.

La loro presenza è garantita dai numerosi interventi di gestione che adattano le condizioni stazionali alle esigenze delle specie vegetali (irrigazione, concimazioni, sfalci, potature). Il caso emblematico è rappresentato dalle aiuole fiorite, spesso recintate a protezione dal pascolamento dei daini, collocate su di un substrato organico, opportunamente irrigate e posizionate al riparo dai venti e della salsedine. La distribuzione della vegetazione a mosaico implica un maggior costo energetico, e di conseguenza economico per la gestione del verde, per mantenere l'equilibrio statico di Albarella, rispetto a porto Caleri, dove gli interventi sono limitati prevalentemente alla manutenzione dei sentieri;

iii) gli indici di biodiversità, più elevati in Albarella e inferiori a Caleri, hanno confermato una maggior numero di specie presenti in Albarella, con frequenze relative minori e tra loro omogenee, ma distribuzione spaziale eterogenea e definita dagli interventi antropici. Queste sono generalmente specie non sito-specifiche e ubiquitarie. A Caleri, invece, sono presenti meno specie, con frequenze relative eterogenee, ma con maggior adattamento alle condizioni ambientali (stenoecie), che determinano la distribuzione spaziale eterogenea delle comunità negli ecosistemi, ma spesso legate a specifiche nicchie ecologiche. Questo si traduce in indici di biodiversità più elevati nel sistema antropico di Albarella, rispetto a quello naturale di Caleri, analogamente a quanto osservato per batteri e funghi nel suolo (Mo et al., 2022).

Gli interventi antropici agiscono sulle proprietà degli ecosistemi: modificando la struttura e le funzioni, ne determinano la complessità, le relazioni e i flussi di materia ed energia e le dinamiche temporali. Il livello di α -biodiversità dei sistemi antropici può quindi risultare maggiore rispetto ad ecosistemi naturali ed è quindi importante tenere conto delle relazioni tra specie e tra comunità di specie. Inoltre, va considerato come queste si distribuiscono in relazione alle risorse disponibili e all'esigenza o tolleranza nei confronti dei fattori ambientali. Da questo studio emerge che ad un maggiore livello di α -biodiversità, corrisponde una semplificazione nella struttura del sistema antropico rispetto a quello naturale dovuta alla diversa funzione attribuita. Rimane da indagare la struttura spaziale della copertura della vegetazione in relazione all'utilizzo delle risorse disponibili, ad esempio la radiazione fotosinteticamente attiva o la sostanza organica, e con quale grado di efficienza.

6 Bibliografia

- Acosta, A., Ercole, S., Stanisci, A., Pillar, V. D. P., Blasi, C. (2007). Coastal vegetation zonation and dune morphology in some Mediterranean ecosystems. *Journal of Coastal Research*, 23(6), 1518–1524. <https://doi.org/10.2112/05-0589.1>
- Acosta, A. T. R., Ercole, S. (2015). *Gli habitat delle coste sabbiose italiane: ecologia e problematiche di conservazione*. ISPRA, Serie Rapporti 215/2015
- Angelini, P., Casella L., Grignetti A., Genovesi P. (2016). *Manuali per il monitoraggio di specie e habitat di interesse comunitario (Direttiva 92/43/CEE) in Italia: habitat*. ISPRA, Serie Manuali e linee guida, 142/2016
- ARPAV Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto. (2022). <https://www.arpa.veneto.it/dati-ambientali/open-data/clima/principali-variabili-meteorologiche> (ultimo accesso 5 agosto 2022)
- ARPAV Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto. (2018). *Carta dei suoli della provincia di Rovigo*. <https://www.arpa.veneto.it/arpavinforma/pubblicazioni/carta-dei-suoli-della-provincia-di-rovigo> (ultimo accesso 5 agosto 2022)
- Associazione Comunione Isola di Albarella. (2022). <https://www.comunioneisoladialbarella.com/it/> (ultimo accesso 5 agosto 2022)
- Ballasso, A. (1998). Flora e vegetazione del “Giardino Litoraneo” di Porto Caleri (Rosolina Mare – Ro). In *Esperienze e nuove esigenze di tutela naturalistica: atti del Convegno “I presupposti scientifici per la produzione normativa in materia di flora e fauna minore.”* Padova: Regione del Veneto, Assessorato agricoltura e foreste, Servizio forestale di Padova.
- Biosfera Delta del Po. (2015). <https://www.biosferadeltapo.it/> (ultimo accesso 5 agosto 2022)
- Bolzonella, C. (2011). *Elaborazione di un modello di simulazione degli effetti nel medio termine delle principali politiche energetiche sul settore elettrico Veneto*. Tesi di dottorato
- Bondesan, M. (1990). L’area deltizia padana: caratteri geografici e geomorfologici. In Spazio Libri Editori (Ed.), *Il Parco del delta del Po: studi ed immagini* (pp. 10–43). Ferrara.

- Bondesan, M. (2000). L'area deltizia del Po. In Edizioni Diabasis (Ed.), *Un Po di terra Guida all'ambiente della bassa pianura padana e alla sua storia* (pp. 27–35). Reggio Emilia.
- Buffa, G., Fantinato, E., Pizzo, L. (2012). Effects of Disturbance on Sandy Coastal Ecosystems of N-Adriatic Coasts (Italy). *Biodiversity enrichment in a diverse world*, 13, 339-372. <https://doi.org/10.5772/47480>
- Buffa, G., Filesi, L., Gamper, U., Sburlino, G. (2007). Qualità e grado di conservazione del paesaggio vegetale del litorale sabbioso del Veneto (Italia settentrionale). *Fitosociologia*, 44(1), 49-58.
- Caniglia, G. (2007). Stato attuale dei litorali del Veneto. *Fitosociologia*, 44(1), 59-65.
- Cazzola, F. (2000). Lo sviluppo storico delle bonifiche idrauliche. In Edizioni Diabasis (Ed.), *Un Po di terra Guida all'ambiente della bassa pianura padana e alla sua storia* (pp. 487–515). Reggio Emilia.
- Comprensorio Turistico dell'Isola di Albarella. (2021). *Dichiarazione ambientale periodo 2020-2023 Aggiornamento 2021*. https://www.albarella.it/wp-content/uploads/2021/04/DA_Comprensorio-Albarella-2020-convalidato.pdf (ultimo accesso 5 agosto 2022)
- Comune di Rosolina. (2011). *PAT Rosolina - Quadro ambientale*. https://www.comune.rosolina.ro.it/myportal/C_H573/dettaglio?contentId=5db2c5dfa1db0300db1b8462&type=content (ultimo accesso 5 agosto 2022)
- Corriere del Veneto. (2017). <https://corrieredelveneto.corriere.it/veneto/notizie/cronaca/2017/10-agosto-2017/maltempo-tromba-d-aria-veneziano-alberi-sradicati-danni-campeggi-2401897211656.shtml> (ultimo accesso 5 agosto 2022)
- Del Favero, R., de Mas, G., Ferrari, C., Gerdol, R., Lasen, C., Masutti, L., ... Zanotto, S. (1989). *Le pinete litorali nel Veneto*. (Regione del Veneto, Ed.). Spinea (VE): Multigraf.
- Del Favero, R. (2004). *I boschi delle regioni alpine italiane Tipologia, funzionamento, selvicoltura*. (Coop. L. editrice U. di P. Cleup, Ed.). Padova.
- Del Favero, Roberto, Abramo, E., Andrich, O., Corona, P. M., Cassol, M., Marchetti, M., ... Zen, S. (2000). *Biodiversità e Indicatori nei tipi forestali del Veneto*. Spinea (VE).
- Del Vecchio, S., Pizzo, L., Buffa, G. (2015). The response of plant community diversity to alien invasion: Evidence from a sand dune time series. *Biodiversity and Conservation*, 24(2), 371–392. <https://doi.org/10.1007/s10531-014-0814-3>

- D'Errico, P. (1950). Sul rimboschimento delle dune litoranee e continentali del Basso Polesine. *Giorn. Ec. C.C.I.A. Di Rovigo*.
- Díaz, S., Settele, J., Brondízio E.S., E. S., Ngo, H. T., Guèze, M., Agard, J., ... Zayas, C. N. (2019). *Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. Bonn, Germany.
- Ente Parco Regionale Veneto del Delta del Po. (2022). *Gli ambienti del giardino botanico e i suoi percorsi*.
<https://www.parcodeltapo.org/emporio-dettaglio.php?id=7267> (ultimo accesso 5 agosto 2022)
- Ercole, S., Angelini, P., Carnevali, L., Casella, L., Giacanelli, V., Grignetti, A., ... Genovesi, P. (2021). *Rapporti Direttive Natura (2013-2018). Sintesi dello stato di conservazione delle specie e degli habitat di interesse comunitario e delle azioni di contrasto alle specie esotiche di rilevanza unionale in Italia*. ISPRA, Serie Rapporti 349/2021.
- ESA European Space Agency. (2022).
<https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-2> (ultimo accesso 19 agosto 2022)
- Gamper, U., Filesi, L., Buffa, G., Sburlino, & G. (2008). Diversità fitocenotica delle dune costiere nord-adriatiche 1-Le comunità fanerofitiche. *Fitosociologia*, 45(1), 3-21.
- Geoportale Regione Veneto. (2022).
<https://idt2.regione.veneto.it/> (ultimo accesso 19 agosto 2022)
- Isola di Albarella. (2022).
<https://www.albarella.it/it/> (ultimo accesso 19 agosto 2022)
- Lorenzoni, G. G., Marchiori, S., Chiesa Lorenzoni, F., Tornadore, N., Caniglia, G. (1984). Indagine sulle serie dinamiche delle cenosi a *Quercus ilex* L. nelle regioni venete. *Not.Fitosoc.*, 19(2), 123–146.
- Manuale Italiano di interpretazione degli habitat della Direttiva 92/43/CEE. (2022).
<http://vnr.unipg.it/habitat/> (ultimo accesso 6 agosto 2022)
- Marzialetti, F., Giulio, S., Malavasi, M., Sperandii, M. G., Acosta, A. T. R., Carranza, M. L. (2019). Capturing coastal dune natural vegetation types using a phenology-based mapping approach: The potential of Sentinel-2. *Remote Sensing*, 11(12).
<https://doi.org/10.3390/rs11121506>

- Ministero della Transizione Ecologica. (2022). Carta fitoclimatica d'Italia. <http://www.pcn.minambiente.it/viewer/index.php?services=Fitoclima> (ultimo accesso 6 agosto 2022)
- Mo, L., Zanella, A., Bolzonella, C., Squartini, A., Xu, G.-L., Banas, D., ... Yeomans, A. J. (2022). Land Use, Microorganisms, and Soil Organic Carbon: Putting the Pieces Together. *Diversity*, 14(8), 638. <https://doi.org/10.3390/d14080638>
- Pasini, A. (1955). *Albarella Il ritorno del cavaliere Storia dell'isola dal 1753 al 1995*. (Ed. Centrooffset, Ed.). Mestrino (PD).
- Peretto, R. (1986). Ambiente e strutture antropiche nell'antico il Polesine. In Museo nazionale archeologico di Adria & Museo civico delle civiltà in Polesine di Rovigo (Eds.), *L'antico Polesine. Testimonianze archeologiche e paleoambientali* (pp. 21–100). Padova: Antoniana.
- Peretto, R. (1990). Quando il Po diramava a nord. L'antica idrografia padana. In Cassa di Risparmio di Padova e Rovigo (Ed.), *Padus La lunga storia del Delta*. Rovigo.
- Piva, E., Scortegagna, S. (1993). *Flora e vegetazione del Delta del Po: le zone litoranee*. (Regione del Veneto, Ed.). Mestre - Venezia: Regione Veneto, Segreteria per le attività produttive ed economiche del settore primario.
- Piva, E., Scortegagna, S. (2005). *I boschi del Delta del Po*. Ariano nel Polesine (RO): Ente Parco Regionale Veneto del Delta del Po. www.parcodeltapo.org (ultimo accesso 6 agosto 2022)
- Prisco, I., Angiolini, C., Assini, S., Buffa, G., Gigante, D., Marcenò, C., ... Acosta, A. T. R. (2020). Conservation status of Italian coastal dune habitats in the light of the 4th Monitoring Report (92/43/EEC Habitats Directive). *Plant Sociology*, 57(1), 55–64. <https://doi.org/10.3897/PLS2020571/05>
- Prodromo della vegetazione d'Italia. (2022). <https://www.prodromo-vegetazione-italia.org> (ultimo accesso 6 agosto 2022)
- Rete Natura 2000. (2022). <https://www.mite.gov.it/pagina/rete-natura-2000> (ultimo accesso 6 agosto 2022)
- Sanità, N. (1998). La vegetazione alofila del “Giardino Botanico Litoraneo” di Porto Caleri, area di tutela dell'istituendo Parco interregionale del Delta del Po. In A. agricoltura e foreste, S. forestale di P. Regione del Veneto (Ed.), *Esperienze e nuove esigenze di tutela naturalistica: atti del Convegno “I presupposti scientifici per la produzione normativa in materia di flora e fauna minore.”* Padova.

Servizio forestale regionale per le provincie di Padova e Rovigo. (2003). Il giardino botanico litoraneo del veneto.

<https://www.veneto.eu/resource/resolver?resourceId=27597f73-61eb-44a1-8610-6998600d1eb1/Guida-giardino-botanico> (ultimo accesso 6 agosto 2022)

Silan, G., Del Vecchio, S., Fantinato, E., Buffa, G. (2017). Habitat quality assessment through a multifaceted approach: The case of the habitat 2130* in Italy. *Plant Sociology*, 54, 13-22. <https://doi.org/10.7338/pls2017542/02>

Ufficio Statistico Regione Veneto. (2022).

http://statistica.regione.veneto.it/banche_dati_economia_turismo_turismo4.jsp (ultimo accesso 6 agosto 2022)

Virgilietti, P. (2007). Intervento per la ricostituzione delle dune grigie di Porto Caleri su pineta esistente. In Lineagrafica (Ed.), *Progetto LIFE Natura "Azioni concertate per la salvaguardia del litorale veneto" Gestione di habitat dunali nei siti Natura 2000*. Castelfranco Veneto.

Indice delle figure

Figura 1 – Inquadramento geografico dell'area di studio	7
Figura 2 – Limiti delle aree protette secondo Rete Natura 2000	8
Figura 3 – Rappresentazione cartografica dell'uso del suolo dell'area di studio secondo la classificazione Corine Land Cover	8
Figura 4 – Rappresentazione grafica delle temperature medie annue nel periodo 1994-2021 con regressione lineare dei dati che mostra una tendenza all'aumento della temperatura media	11
Figura 5 – Rappresentazione delle precipitazioni cumulate annue nel periodo 1994-2021	11
Figura 6 – Diagramma di Bagnouls-Gaussen per la stazione di Rosolina Po di Tramontana	12
Figura 7 – Distribuzione dei valori medi mensili di radiazione solare globale	12
Figura 8 – Estratto della Carta dei Suoli del Veneto	15
Figura 9 – Carta geomorfologica dell'area deltizia padana.	17
Figura 10 – Sequenza di foto aeree da a) e b) Volo GAI 1955, c) Volo Reven 1983 e d) Volo Reven 1990. Tratto da Regione del Veneto – L.R. n. 28/76 Formazione della Carta Tecnica Regionale	20
Figura 11 – Rappresentazione semplificata della vegetazione potenziale naturale (PNV) lungo la costa adriatica settentrionale	27
Figura 12 – Sezione della distribuzione della vegetazione presso il Giardino botanico litoraneo del Veneto di Porto Caleri	28
Figura 13 – Cartografia degli habitat Rete Natura 2000 presenti a Porto Caleri	28
Figura 14 – Cartografia dei tipi forestali presenti nell'area di studio	31
Figura 15 – Evoluzione della copertura della vegetazione di Porto Caleri	33
Figura 16 – Variazione della superficie boscata dell'Isola di Albarella	35
Figura 17 – Schema di lavoro per la classificazione della vegetazione di Porto Caleri da elaborazione di immagini Sentinel-2	38
Figura 18 – Principali fitocenosi rilevate a Porto Caleri	46
Figura 19 – Cartografia delle unità di vegetazione di Porto Caleri	47
Figura 20 – Spettro biologico delle specie censite presso Porto Caleri	49
Figura 21 – Principali fitocenosi rilevate nell'Isola di Albarella: a) duna artificiale più recente;	61
Figura 22 – Cartografia delle dell'Isola di Albarella	62
Figura 23 – Spettro biologico delle specie censite presso l'Isola di Albarella	64
Figura 24 – Cartografia dei sistemi di gestione della vegetazione dell'Isola di Albarella	66
Figura 25 – Serie di punti rilevati nei siti di Porto Caleri e Albarella	69
Figura 26 – Serie di sistemi comuni tra Porto Caleri e l'Isola di Albarella	70
Figura 27 – Confronto per coppie di punti confrontabili tra i due siti	71
Figura 28 – Indici di Shannon-Weiner per i punti campione dei due siti	74
Figura 29 – Indici di evenness per i punti campione dei due siti	74
Figura 30 – Boxplot degli indici di biodiversità	75
Figura 31 – Correlazione tra indici di biodiversità di Porto Caleri e Isola di Albarella	76

Indice delle Tabelle

Tabella 1: punti di campionamento nell'area di studio e relative fitocenosi	37
Tabella 2: Specie rilevate in C2 "Duna embrionale, primo accumulo di sabbia"	41
Tabella 3: Specie rilevate in C3 "Duna bianca a prevalenza di <i>Ammophila arenaria</i> "	41
Tabella 4: Specie rilevate in C4 "Retroduna, depressione interdunale"	42
Tabella 5: Specie rilevate in C5 "Retroduna, depressione interdunale"	42
Tabella 6: Specie rilevate in C11 "Duna grigia con cintura a <i>Tamarix gallica</i> "	42
Tabella 7: Specie rilevate in C6 "Macchia mediterranea su duna grigia"	43
Tabella 8: Specie rilevate in C7 "Pineta a <i>Pinus pinaster</i> con sottobosco a <i>Quercus ilex</i> "	44
Tabella 9: Specie rilevate in C12 "Pineta (come C7) vicino a depressione umida interdunale"	44
Tabella 10: Specie rilevate in C8 "Pineta a <i>Pinus pinaster</i> , con <i>Ulmus minor</i> e priva di sottobosco"	44
Tabella 11: Specie rilevate in C13 "Lecceta"	45
Tabella 12: Specie rilevate in C10 "Zona umida in prossimità del pontile, barena"	45
Tabella 13: Specie rilevate in C9 "Zona umida a prevalenza di <i>Limonium</i> spp."	45
Tabella 14: Specie rilevate in A14 "Campo da golf"	50
Tabella 15: Specie rilevate in A14 "Aiuola di fiori, specie ornamentali, zona centrale dell'isola"	51
Tabella 16: Specie rilevate in A5 "Duna stabile con arbusti a prevalenza di <i>Ligustrum</i> spp."	52
Tabella 17: Specie rilevate in A8 "Pineta artificiale senza sottobosco, zona centrale dell'isola"	53
Tabella 18: Specie rilevate in A9 "Nuovi impianti delimitati da rete di protezione (come A8)"	53
Tabella 19: Specie rilevate in A12 "Bosco a prevalenza di <i>Quercus ilex</i> , senza sottobosco"	54
Tabella 20: Specie rilevate in A13 "Prato in prossimità di A8, zona centrale dell'isola"	55
Tabella 21: Specie rilevate in A11 "Prato con <i>Populus x canescens</i> "	56
Tabella 22: Specie rilevate in A2 "Duna artificiale recente, formata per accumulo di sabbia da operazioni di pulizia"	57
Tabella 23: Specie rilevate in A3 "Duna artificiale meno recente, formata per accumulo di sabbia da operazioni di pulizia"	58
Tabella 24: Specie rilevate in A4 "Canneto di <i>Arundo donax</i> "	58
Tabella 25: Specie rilevate in A6 "Duna stabile con mantello macchia mediterranea"	58
Tabella 26: Specie rilevate in A7 "Duna stabile con pineta semi-naturale e leccio"	59
Tabella 27: Corrispondenza tra i punti rilevati nei due siti	70
Tabella 28: Matrice di similarità tra i punti campione di Albarella e Caleri	73
Tabella 29: Sintesi	73
Tabella 30: Indici di biodiversità dei punti confrontabili tra Porto Caleri e l'isola di Albarella	75
Tabella 31: Test non parametrico di Wilcoxon	75