



Università
Ca' Foscari
Venezia

**Corso di Laurea Magistrale
in Scienze Ambientali
LM-75 (Scienze e Tecnologie per l'Ambiente e il Territorio)**

Tesi di Laurea

*Studio ed analisi delle variazioni morfologiche delle valli da pesca nella
laguna Veneta*

Relatore:

Prof. Fabio Pranovi

Correlatore:

Dott.ssa Alice Stocco

Laureando:

Lorenzo Dupré

Matricola 865282

Anno accademico:

2021/2022

INDICE

1. INTRODUZIONE	2
1.1 STORIA E MORFOLOGIA DELLA LAGUNA	4
1.2 LE BARENE	7
1.3 LA VALLICOLTURA.....	9
1.4 STRUTTURA DELLE VALLI DA PESCA	11
1.5 LA FAUNA ITTICA E IL SUO ALLEVAMENTO IN LAGUNA.....	14
2. MATERIALI E METODI.....	16
2.1 EVOLUZIONE STORICA DEL PAESAGGIO: DAL 1932 AD OGGI ...	18
2.2 VARIAZIONI DELLE CARATTERISTICHE DELLA COPERTURA DEL SUOLO NEL CORSO DELL'ANNO 2021	20
2.2.1 L'INDICE NMI	22
2.2.2 L'INDICE NDWI.....	24
3. RISULTATI	26
3.1 VARIAZIONI MORFOLOGICHE DECADEALI.....	26
3.2 VARIAZIONI DELLE CARATTERISTICHE DELLA COPERTURA DEL SUOLO NEL CORSO DELL'ANNO 2021	32
4. DISCUSSIONE.....	50
5.CONCLUSIONI	53
6. BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA.....	56
7. ALLEGATI.....	60

1. INTRODUZIONE

Nell'ultimo ventennio le attività antropiche hanno notevolmente impattato sulla "salute" del nostro pianeta; questo ha portato i governi nazionali ad emanare diverse leggi che obbligano le persone a porre una maggiore attenzione all'uso delle risorse naturali al fine di salvaguardare l'ambiente in cui viviamo.

Dalla Dichiarazione di Rio del giugno 1992 al rilascio di Agenda 2030 nel settembre del 2015 si è capito quanto importante sia la relazione tra la salute dell'uomo e quella ambientale; lo sviluppo sociale ed economico deve quindi procedere parallelamente alla protezione del pianeta.

All'interno di questo contesto ha assunto grande importanza la comprensione dei servizi ecosistemici.

Nel 2001 è stato redatto, con il supporto delle Nazioni Unite, il progetto "*Millenium Ecosystem Assessment (MEA)*" con l'obiettivo di identificare i cambiamenti subiti dagli ecosistemi e di sviluppare degli scenari per il futuro, basandosi sul trend dei cambiamenti.

In questo report i servizi ecosistemici vengono definiti come tutti i benefici prodotti dagli ecosistemi (Costanza et al., 1997) e vengono suddivisi in diverse categorie. I benefici e i servizi che la Natura offre all'umanità includono infatti servizi di approvvigionamento come il cibo, l'acqua, il legname, le fibre, e le risorse genetiche; servizi di regolazione come la regolazione del clima, delle inondazioni, delle malattie, della qualità dell'acqua e anche del trattamento degli scarti; servizi di supporto come la formazione del suolo, l'impollinazione, e i cicli dei nutrienti; e infine, servizi culturali come la ricreazione, il piacere estetico, i valori spirituali; e infine. (MEA, 2005).

Il vantaggio principale della valutazione dei servizi ecosistemici risiede nella possibilità di visualizzare e quantificare tutti questi servizi che gli ecosistemi offrono alla società, che altrimenti verrebbero dati per scontati. In questo senso, può essere un utile strumento al servizio dell'amministrazione del territorio, ai fini di suggerire una gestione sostenibile delle risorse naturali ed economiche attraverso l'analisi della contabilità ambientale e della qualità di vita (Ronchi, 2021; Baró et al., 2016).

L'importanza dei servizi ecosistemici è indiscutibile, in quanto la loro fornitura influenza, direttamente o indirettamente, la vita ed il benessere umano in termini di sopravvivenza, salute, accesso alle risorse primarie e benessere psico-fisico secondo le relazioni esemplificate nella figura 1.

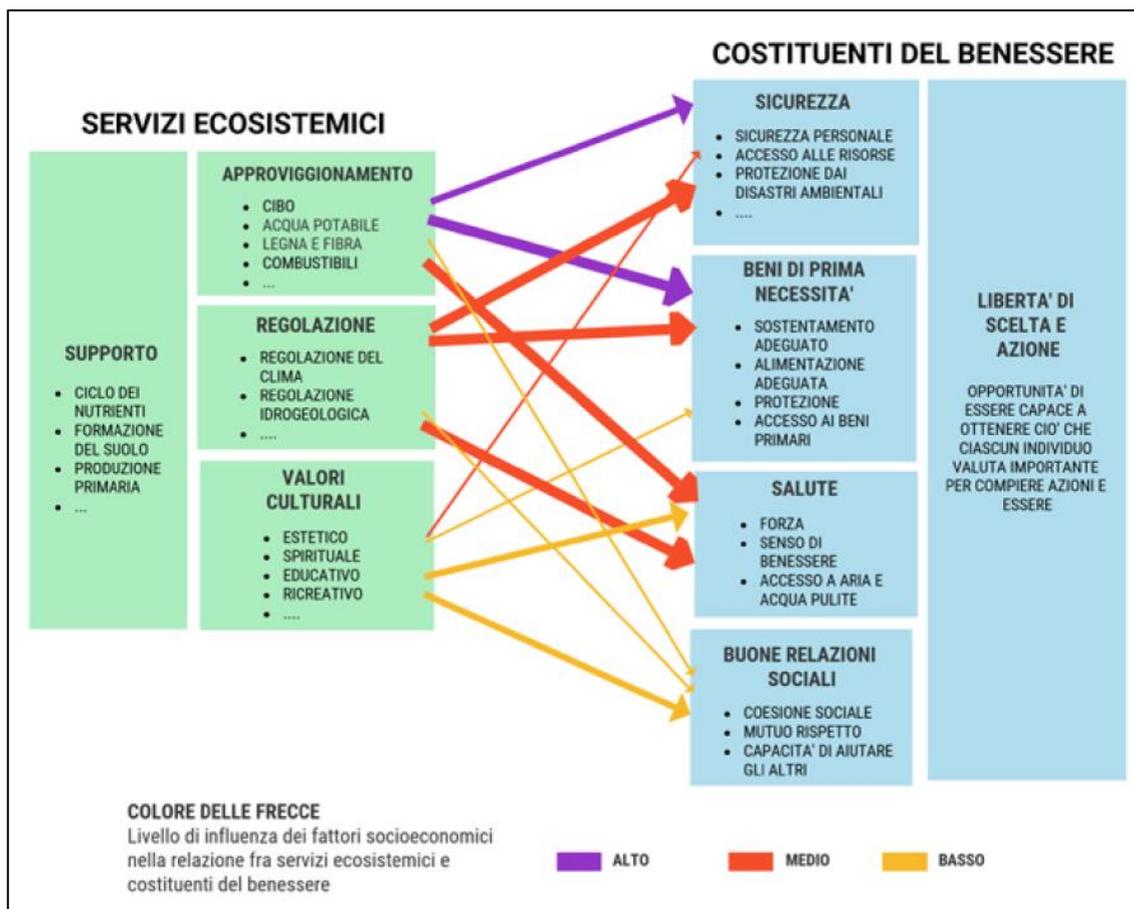


Figura 1: Classificazione dei servizi ecosistemici e loro relazione con i fattori costituenti il benessere. Fonte: www.reteclima.it

I servizi ecosistemici emergono quindi dalle interazioni complesse fra le attività degli esseri umani e le funzioni degli ecosistemi (Liu et al., 2007), rappresentando un complesso sistema che prende il nome di socio-ecosistema (McGinnis & Ostrom, 2014; Ostrom, 2009).

La gestione della laguna di Venezia è uno degli esempi emblematici di socio-ecosistemi, data la lunga e complessa evoluzione di tale luogo, sia dal punto di vista ambientale che socioculturale.

In particolare, oltre alle zone maggiormente urbanizzate e già note per gli studi che le hanno interessate (Newton et al., 2014; Solidoro et al., 2010; van der Borg, 2014), ci sono nella laguna di Venezia alcune aree che si sono co-evolute con le necessità della società ma che sono state poco studiate: si tratta delle valli da pesca. Le valli da pesca veneziane sono zone confinate all'interfaccia tra laguna e terraferma, lungo la gronda lagunare. Da sempre ambienti molto produttivi e con un alto valore di biodiversità animale e vegetale, sono noti come ambienti ideali per l'acquacoltura estensiva e la caccia agli uccelli acquatici sin dalla loro origine, che risale al XIV secolo.

Essendo questi ambienti diventati, nel corso del tempo, ecosistemi gestiti dall'uomo, con scarsa accessibilità, sono ancora poco studiati nel contesto lagunare; ma ultimamente inizia a trasparire come stia aumentando in esse il numero di strutture a fini ricreativi e turistici e come la gestione inizi a cambiare rispetto a quella storica, basata solo sui servizi ecosistemici della pesca e della caccia. Sulla base di queste premesse, questa tesi si pone i seguenti obiettivi:

- analizzare le variazioni morfologiche delle valli da pesca nel periodo 1932-2021 a seguito delle diverse strategie gestionali adottate;
- descrivere le modificazioni stagionali dei livelli di acqua presente all'interno delle valli, legate alle varie esigenze di gestione.

Nel primo caso, i dati sono stati ottenuti partendo da foto aeree storiche, dalle quali sono stati registrati i cambiamenti di “*land cover*” su scala temporale pluridecadale.

Per lo studio delle variazioni stagionali, invece, si è ricorsi all'analisi di dati satellitari mediante fotointerpretazione e calcolo di indici multispettrali.

Ciò ha consentito, da un lato, di osservare le modifiche degli elementi del paesaggio avvenute nel corso degli anni e, dall'altro, di verificare se i cambiamenti legati al regime idraulico dei bacini idrici interni alle valli siano legati al tipo di gestione che viene condotta in ciascuna di esse.

1.1 STORIA E MORFOLOGIA DELLA LAGUNA

La laguna di Venezia trova origine nei processi geomorfologici che risalgono approssimativamente a 6.000 anni fa.

Durante l'era glaciale Wurmiana, la quarta ed ultima grande glaciazione che ha interessato il globo terrestre, il livello del mare era circa cento metri più basso rispetto a quello odierno e, come conseguenza, la linea di costa del Mar Adriatico si trovava 300 chilometri più a sud rispetto a quella attuale, cioè circa all'altezza di Pescara. Si è arrivati all'odierna configurazione in seguito allo scioglimento dei ghiacci polari che hanno provocato l'innalzamento del livello del mare. (Luigi D'Alpaos, 2010 “*Fatti e misfatti di idraulica lagunare. La Laguna di Venezia dalla diversione dei fiumi alle nuove opere alle bocche di porto*”).

L'aspetto odierno della laguna veneta è il risultato del succedersi di fenomeni naturali e di interventi antropici che ne hanno determinato la formazione.

Nella laguna l'azione umana si è esplicata con opere di vario genere.

Con una serie di interventi condotti tra il 1300 e il 1700, l'uomo ha modificato in maniera decisiva la relazione naturale fiumi-mare: sicuramente le opere più importanti riguardano la deviazione del corso dei vari affluenti sfocianti in laguna (Brenta, Sile e Piave); altrettanto può dirsi delle canalizzazioni e di tutte le opere di rettifica e di sistemazione lungo il corso anche in tratti lontani dalla zona lagunare dei fiumi.

E non vanno dimenticati a tal proposito anche i grandiosi interventi per l'utilizzazione delle acque dei fiumi sia dal punto di vista idroelettrico che sotto il profilo dell'irrigazione a scopo agricolo.

Con un'estensione di circa 550 km², oggi la laguna di Venezia è la più grande laguna costiera del Mar Mediterraneo e dal 1987 il suo intero territorio è stato inserito dall'UNESCO nella lista dei patrimoni mondiali dell'umanità.

Questa superficie si estende tra il corso terminale del fiume Brenta ad ovest ed il tratto finale del Sile ad est. A nord i confini della sono marcati da opere umane, piuttosto che da elementi naturali.

Le dimensioni massime sono 55 Km di lunghezza e 13 di larghezza con una forma che ricorda quella di uno spicchio di arancia, con la concavità a nord ovest (Fig.2).



Figura 2: Mappa della laguna del 1932, ufficio idrografico MAV.

La laguna presenta una struttura morfologica articolata, costituita da una rete fitta di canali che, partendo dalle tre bocche di porto, diminuiscono nella loro sezione in maniera graduale. Questa rete di canali convoglia l'acqua fino alle parti più interne, con maggiore velocità nelle zone più prossime alle bocche, dove le correnti sono più intense, mentre le aree più interne della laguna sono caratterizzate da un modesto idro-dinamismo e da un ridotto ricambio idrico.

Lo scambio mare-laguna e la conseguente circolazione idrodinamica interna alla laguna rappresentano la forzante principale dell'ecosistema lagunare, che condiziona lo stato delle acque e delle comunità biologiche, in stretta relazione con tempi di residenza, che arrivano anche a 20 giorni nelle parti più interne vicino ai confini con la terraferma (Umgiesser et al., 2004).

La profondità media della colonna d'acqua è di circa 1 metro con delle variazioni di circa $\pm 0,7$ m in base alle maree.

Per quanto riguarda la tessitura dei sedimenti che costituiscono i fondali lagunari, il gradiente granulometrico passa dai sedimenti più fini (di tipo limoso/argilloso), nelle aree più interne, a quelli più grossolani nelle aree prossime alle bocche di porto (di tipo sabbioso), in virtù della maggiore forza erosiva delle correnti e dell'interazione con substrati geomorfologici differenti (Zonta et al., 2018).

Dal punto di vista idrografico la laguna viene convenzionalmente suddivisa in tre porzioni: le tre bocche di porto di Chioggia, di Malamocco e del Lido (S. Nicolò) vanno infatti a determinare delle vere e proprie porzioni lagunari, che pur non essendo così nettamente separate geograficamente, hanno dei limiti abbastanza riconoscibili e separati da linee “spartiacque”.

La principale di queste zone interne è quella della laguna Nord, vivificata dalla bocca di porto di Lido, che occupa un'area di 276,05 Km² (48% della superficie totale); più a Sud c'è la laguna centrale con la bocca di porto di Malamocco (162,10 Km², 31%), mentre la laguna Sud collegata al mare attraverso la bocca di porto di Chioggia misura un'area di 110,74 Km² pari al 21% della superficie totale.

La parte settentrionale della laguna (Venezia compresa) è separata dal contiguo bacino di Malamocco da una linea “spartiacque” che si appoggia all'isola di Sant'Angelo della Polvere e tocca il Lido in corrispondenza del Lazzaretto in prossimità del quartiere delle Quattro Fontane del Lido.

La seconda linea “spartiacque”, tra laguna centrale e laguna Sud, si sviluppa partendo dal Casone Nuovo di Val Pierimpié fino a raggiungere il cordone del Lido a circa metà strada tra S. Pietro in Volta e Pellestrina.

Le tre porzioni di riferimento sono visualizzabili nella figura sottostante (Fig.3).



Figura 3: suddivisione della laguna in zone grazie alle due linee “spartiacque”.
Il numero 1 identifica la laguna Nord, il numero 2 la laguna centrale e il numero 3 la laguna Sud

È sicuramente interessante sottolineare che, sotto il profilo geografico e morfologico, l'area lagunare non si presenta come uno specchio d'acqua continuo e uniforme; al contrario si può osservare una certa eterogeneità, con zone emergenti costantemente, zone di barena e zone di acque libere, le quali prevalgono in via assoluta o quasi, nella zona lagunare a ridosso del Lido (Zille,1955).

Le percentuali tra queste aree di differente significato morfologico sono:

- Terre emerse: 4,6% (25,70 Km²)
- Barene: 16,75% (92,40 Km²)
- Acque libere: 78,65 % (431,90 Km²)

1.2 LE BARENE

Col termine barene si intendono tutte quelle formazioni, spesso rilevate rispetto al fondo lagunare, di area e forma alquanto varia, ma di solito contraddistinte da un bordo rialzato e talvolta da una parte centrale più depressa (Fig.4).

Normalmente queste superfici restano emerse per la maggior parte del tempo, ma possono essere soggette alla sommersione in caso di alte maree di sizigia o di alte maree eccezionali.

Le barene possono essere classificate in base ai processi che hanno portato alla loro formazione (<http://www.istitutoveneto.org>):

- *barene di antichi bordi fluviali*: hanno forme allungate e strette e possono essere localizzate anche ai lati di corsi d'acqua che ancora si immettono nella laguna, ad esempio allo sbocco della foce del fiume Dese.
- *barene con parte emergente invasa da acque salmastre*: questa parte emergente rappresenta la antica pianura costiera che era presente in precedenza; si trovano sul bordo lagunare verso la terraferma.
- *barene residue di ambienti palustri*: si tratta di superfici che si sono formate in seguito alla deposizione di sedimenti alluvionali di origine fluviale; sono coperte da vegetazione palustre in seguito alla loro emersione.
- *barene di bordo dei canali lagunari*: sono barene molto equilibrate in quanto il processo di sedimentazione va a compensare quello di lento approfondimento.

Nella laguna di Venezia, tuttavia, alcune barene sono nate o si mantengono grazie a interventi artificiali; altre si sono formate e mantenute in seguito alle opere di bonifica, ad esempio nella zona della “bonifica veronese” tra Portegrandi e Caposile oppure nella zona delle valli di Brenta.

Ci sono infine delle barene che sono state costruite artificialmente o difese con fascine nell'ambito di progetti di conservazione e *restoration* (ad esempio nel corso del progetto LIFE Vimine).

All'interno delle valli da pesca arginate, a fianco alle barene originarie che si sono conservate, compaiono piccole barene e isolotti artificiali costruiti dall'uomo.

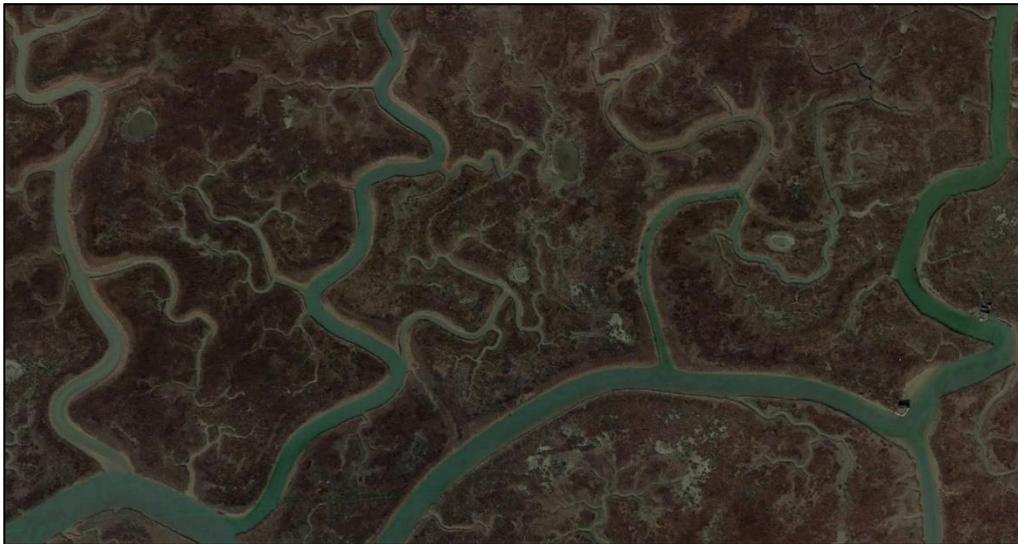


Figura 4: una barena della laguna veneta fotografata da un drone. Fonte: FAI (Fondo Ambiente Italiano)

Nel bacino di Chioggia le barene sono localizzate in prossimità della zona di bonifica del Delta del Brenta e nella fascia intermedia tra la laguna aperta e le valli più interne.

Nel bacino di Malamocco si trovano in maniera frammentata nella porzione più interna della laguna, mentre in quello del Lido le barene si estendono un po' ovunque, fino ad arrivare a toccare i confini settentrionali della laguna.

È da registrare però che quest'ampia porzione di sistemi barenali appena descritta, col passare dei decenni, ha subito una forte riduzione che arriva a più del 70% rispetto all'ultimo ventennio (Madricardo et al., 2018).

La responsabilità di questi cambiamenti è da attribuire quasi esclusivamente alle attività antropiche: le onde generate dalle barche a motore, le tecniche di pesca impattanti sui fondali, lo scarso apporto di sedimenti dai fiumi che non sfociano più in laguna, l'innalzamento del livello del mare e la subsidenza, lo scavo di grandi canali e la costruzione dei moli alle bocche di porto per permettere il passaggio di grandi navi commerciali e turistiche con la conseguente modifica del sistema di correnti lagunari, sono tutti processi che contribuiscono all'erosione, alla perdita dei sedimenti verso il mare e all'incremento della torbidità delle acque (Cavazzoni, 1977;1984; 1995; Molinaroli et al, 2019).

La nota negativa è che con la scomparsa delle barene viene persa anche l'incredibile biodiversità animale e vegetale che queste ospitano.

Ma proprio perché è stato l'uomo a portare a questi cambiamenti ecco che per questo motivo fermare l'erosione risulta un'impresa assai complessa.

1.3 LA VALLICOLTURA

Le zone all'interfaccia tra terra e acque lagunari sono da sempre riconosciute come estremamente adatte alla pesca e alla caccia; per tal motivo l'uomo ha volto a proprio favore la potenzialità di questi luoghi, intervenendo sulle aree naturali con scavi ed opere di ingrandimento al fine di creare un percorso di entrata e di uscita per l'acqua e per gli animali selvatici favorendone il controllo, l'accrescimento e la cattura (Fortibuoni et al., 2014; Granzotto et al., 2001).

Da questi presupposti è nata la vallicoltura, una tipologia di piscicoltura estensiva in cui vengono allevate specie ittiche diverse nello stesso bacino salmastro confinato, senza la somministrazione di alimenti dall'esterno.

Le valli da pesca che sorsero nella laguna veneta nacquero con l'intento di sfruttare il naturale fenomeno di migrazione dei pesci, i quali da giovani entrano in laguna dal mare, raggiungono le barene e le zone a più bassa salinità, vi trovano nutrimento e vivono riparati dai predatori; solamente verso l'autunno ridiscendono verso il mare per affrontare lì l'inverno e riprodursi.

L'uomo ha imparato a sfruttare già dal Medioevo queste migrazioni per catturare i pesci quando sono piccoli e arrivano vicino al bordo lagunare: al loro arrivo venivano posizionate delle arginature mobili costituite da graticci di canna (grisiolle), che facevano entrare il novellame ma gliene impediva l'uscita.

È forse da ricercare in questa arginatura, inizialmente mobile e provvisoria, l'origine del nome "valle", che deriva dal latino "vallum" e significa "argine, protezione".

Le primissime testimonianze storiche della presenza di sistemi di pesca o intrappolamento del pesce risalgono al 514 d.C. allorché Cassiodoro riporta la presenza di "piscariae aquae" (acque da pesca) e "piscinae neptuniae" in cui nascevano e venivano raccolte ostriche, crostacei e talvolta pesce (Cassiodoro, libro XII delle "Varie").

Anche in alcune carte del 1118 e del 1181, si fa probabilmente riferimento alle valli da pesca indicate come "acque chiuse" o "piscariae".

Focalizzandoci sulla vallicoltura nella laguna veneta, le prime testimonianze ufficiali della presenza di valli da pesca operative si trovano a partire dal XV secolo.

G. Bullo riportava che nel 1532 nella laguna fossero presenti 61 valli (Bullo, 1940). L'importanza delle valli nell'ecosistema lagunare, da un lato, e la dispendiosità di mantenerle funzionali, erano concetti già chiari alla Serenissima, che nel 1624 dichiarò le valli di proprietà di coloro che vi effettuavano la pesca, sottraendole all'uso pubblico per preservarne la funzionalità.

I documenti esistenti dal XV secolo in poi testimoniano come la proprietà delle valli fosse nelle mani di poche famiglie nobili e dei monasteri benedettini che, tramite contratti di locazione, le concedevano annualmente in gestione, e spesso venivano riconfermati allo stesso conduttore per decine di anni.

Nei contratti di affitto che lo stato veneziano stipulava con i conduttori erano presenti delle clausole che vincolavano il gestore a provvedere ad una costante manutenzione dell'area, soprattutto nella costruzione di argini e fossi a protezione delle valli stesse e comunque di opere a difesa dell'ambiente lagunare.

Le spese sostenute dai vallesani per l'esecuzione di tali lavori, però, erano allora rimborsate dall'amministrazione dogale (www.istitutoveneto.org).

Dai primi anni dell'800 però, in seguito alla caduta della Serenissima e l'introduzione degli argini fissi di suolo o di pietra, le valli da pesca diventarono sempre più chiuse ed iniziarono a dipendere in modo più consistente dall'approvvigionamento esterno di avannotti e giovanili, detti novellame o "pesciatelli da semina", soprattutto per via del fatto che la montata naturale non risultava sufficiente.

Nel corso dell'ultimo secolo la morfologia della laguna è completamente cambiata: le singole valli hanno subito diverse modificazioni in seguito all'intervento dell'uomo tanto da cambiare l'aspetto della laguna stessa.

Ma aspetto ancor più preoccupante è l'evidente contrazione numerica delle valli, che si è registrata nel corso dell'ultimo secolo.

I dati raccolti nel 2002 (Franzoi et al. 2002) delineano la seguente tendenza:

- 14.000 ha di superficie nel 1900
- 12.505 ha di superficie nel 1926
- 10.075 ha di superficie nel 1939
- 9.500 ha di superficie nel 1985

Al giorno d'oggi le valli interessano circa il 16% (circa 9200 ha) della superficie della laguna di Venezia e sono localizzate nella parte più interna a nord e a sud (Fig. 5). Pur essendo aree modificate per scopi produttivi, esse mantengono una forte connotazione di naturalità, e contribuiscono a dare protezione all'ambiente lagunare come una sorta di fascia tampone. Inoltre, è un'importante area di svernamento, sosta e nidificazione per molte specie di uccelli acquatici e di recente è stato dimostrato che contribuiscono in maniera sostanziale al bilancio generale dei servizi ecosistemici dell'intera laguna (Stocco et al., submitted).



Figura 5: Ubicazione degli ambienti vallivi nella laguna di Venezia. Mappa base “Google satellite”

1.4 STRUTTURA DELLE VALLI DA PESCA

Nel corso del tempo, nella laguna di Venezia sono comparse principalmente tre tipologie di valli da pesca:

1. *Valli arginate o chiuse*: si tratta di bacini che sono totalmente isolati dagli specchi d'acqua o dalle terre circostanti. In queste valli l'afflusso di acqua dolce e di acqua salata è rigidamente controllato dall'uomo (Fig. 6). Si tratta di strutture in cui l'opera dell'uomo prevale in maniera assoluta rispetto ai fattori naturali nonostante in principio fossero depressioni naturali della laguna. In queste valli viene regolata anche l'intensità delle maree tanto da permettere la costruzione di abitazioni ed esercizio della pesca (casoni), senza che ci siano problematiche di varia natura.
2. *Valli semiarginate*: sono invece quei bacini, ove la chiusura dai contigui specchi d'acqua o canali non è assoluta e completa. È ovvio quindi che anche il regime idraulico non è artificiale e direttamente controllabile. Ne consegue che tali valli, di solito collocate nelle zone intermedie tra lo specchio lagunare libero (laguna viva) e le parti più vicine all'entroterra, sono soggette a un certo regime naturale. Tuttavia, vi è da far presente che l'attività dell'uomo anche nelle valli semiarginate è abbastanza intensa e la pesca risulta assai redditizia.

3. *Valli aperte*: con questo termine si fa riferimento a bacini nei quali l'azione dell'uomo è praticamente da escludersi; il regime idraulico lagunare si esplica quindi in pieno e, data la loro localizzazione spesso in corrispondenza della laguna viva, sono specchi lagunari in cui l'azione dell'uomo, almeno in forma stabile, è nulla.



Figura 6: Foto aerea di "Valle Grassabò", una tipica valle chiusa vicino a Jesolo. Fonte: <https://vallegrassabo.it>

All'interno di una valle sono presenti alcune strutture tipiche quali:

- *Chiaviche*: Aperture in muratura o pietra, munite di porta a saracinesca di metallo o legno, per porre le valli in comunicazione con i canali esterni e permettere la circolazione della acqua, la montata del pesce novello dall'esterno e la pesca. Le paratie a saracinesca vengono aperte e chiuse manualmente in modo da dosare la salinità ottimale per le specie ittiche allevate e di effettuare il ricambio dell'acqua (Fig. 7).

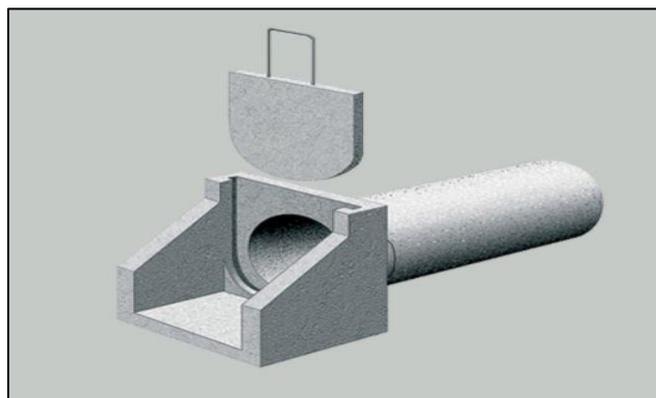


Figura 7: esempio di una chiavica idraulica. Fonte: wikipedia.org

- *Lavorieri*: si tratta di strutture adibite alla cattura dei pesci; fanno parte di vasche molto grandi che comunicano direttamente con la chiavica principale, nelle quali vengono intrappolati i pesci della valle durante una fase particolare del loro ciclo di allevamento (Fig. 8).



Figura 8: esempio di un lavoriero. Fonte: wikipedia.org

- *Peschiere di sverno*: si tratta di strutture per la stabulazione dei pesci ossia dei bacini dove i pesci che sono stati introdotti all'inizio della primavera e che non hanno raggiunto ancora la taglia adatta per essere immessi sul mercato vengono tenuti durante l'inverno (Fig. 9). Le peschiere di sverno sono profonde, in modo che l'acqua del fondo rimanga più calda e i pesci vi si possano rifugiare durante il periodo freddo. Nelle valli dove c'è anche acqua dolce, durante la stagione invernale viene fatto scorrere sulla superficie delle peschiere di sverno un velo d'acqua dolce, che successivamente ghiaccia e isola gli strati sottostanti dal freddo.



Figura 9: esempio di una peschiera di sverno. Fonte: Google Satellite

- *Cason di pesca*: si tratta di uno o più immobili, per lo più in stile ottocentesco, che possono essere adibiti a centro funzionale o ad alloggio del personale che vi risiede per alcuni periodi. Accanto al cason sono collocati i magazzini delle attrezzature, i magazzini frigorifero e la cavana principale, dove vengono tenute le barche di servizio (Fig. 10).



Figura 10: esempio di cason di pesca. Fonte: wikipedia.org

1.5 LA FAUNA ITTICA E IL SUO ALLEVAMENTO IN LAGUNA

Quando si parla delle lagune in generale è importante sottolineare come la produttività sia superiore a quella riscontrabile negli ambienti marini; tutto questo avviene soprattutto grazie alla capacità di intrappolamento dell'energia proveniente da varie fonti.

Per fare degli esempi numerici si può considerare che la produttività di una laguna, caratterizzata da un buon stato di funzionalità ecologica, può raggiungere i 20 g/m² al giorno di biomassa, mentre quella di una foresta temperata non supera mediamente i 3 g/m² di biomassa al giorno. (S.Cataudella & P.Bronzi, 2001). 'Questa elevata produttività si traduce in una notevole disponibilità trofica anche per gli organismi acquatici di interesse per l'uomo ed è per tal motivo che questi ambienti sono stati considerati, fin dall'antichità, come aree ottimali per pesca e allevamento della fauna ittica.

Le specie ittiche oggetto di allevamento che rappresentano la principale fonte di reddito per la vallicoltura sono tutte specie in grado di tollerare grandi variazioni di salinità dette anche eurialine. Tra queste spiccano: Anguilla, Branzini, Spigole, Orate e cinque specie di cefali. Vanno inoltre considerate le specie accessorie, naturalmente presenti nell'ambiente vallivo e oggetto di prelievo che comprendono: Latterino, Gobidi, Granchio comune, Gamberetti e Schie.

Il ciclo di allevamento all'interno delle valli può essere suddiviso in tre fasi:

1. *semina del novellame*: Con novellame si intendono tutti quei piccoli pesci allo stadio post larvale (Fig. 11). In genere questa pratica prende avvio nei primi mesi primaverili ed è considerata la fase più delicata in quanto gli esemplari più giovani sono maggiormente soggetti a stress di tipo termico e da trasporto che può portare ad un elevato tasso di mortalità. Per tal motivo il novellame viene tenuto inizialmente in apposite sezioni separate dal resto della valle, per almeno due mesi, in modo tale da acclimatarlo alle condizioni della valle. Quando hanno raggiunto una taglia sufficiente, i pesci vengono immessi nella valle vera e propria attraverso delle chiaviche.
2. *accrescimento*: In questa fase, tipicamente nel periodo estivo, il pesce permane nei laghi della valle e cresce nutrendosi di quello che è naturalmente disponibile per un periodo di tempo che può variare in funzione al ciclo biologico di ciascuna specie. In genere si parla di 18-20 mesi per l'orata, 4-5 anni per i mugilidi mentre nel caso in cui venisse allevata anche l'anguilla il ciclo d'allevamento si prolungherebbe fino a 7 anni. Per vivificare l'acqua delle valli può accadere più volte che nel corso dell'estate venga aperta la chiavica principale e fatta entrare nuova acqua di mare attraverso il canale principale che le collega alla laguna.
3. *raccolta con successiva commercializzazione del pesce allevato*: Alla fine dell'autunno il pesce viene diretto verso i lavorieri attraverso l'immissione di acqua fredda nella valle tramite le chiaviche: questo processo spinge i pesci a dirigersi verso il mare dove la temperatura dell'acqua è più alta e dove, nei mesi invernali, avviene la riproduzione. Il periodo di pesca della valle va da ottobre a dicembre. La raccolta avviene a ciclo ultimato ed inizia con una differenziazione degli esemplari da parte del personale. Il pesce che ha raggiunto una taglia sufficiente viene immesso in tinozze colme d'acqua e ghiaccio per essere successivamente posto in cassette per l'invio ai mercati ittici. Al contrario, il pesce che non ha ancora raggiunto la taglia sufficiente per essere commercializzato viene portato nelle peschiere di sverno. Come citato nel paragrafo 1.4, la tradizionale pratica di sverno si basa sul principio dell'isolamento termico per ghiacciatura, e prevede l'utilizzo di acqua dolce che viene fatta scorrere sulle acque salate, più dense, per formare uno strato ghiacciato in superficie. Questo processo permette di creare una "barriera" di ghiaccio tra l'aria e l'acqua e mantenere quest'ultima ad una temperatura non inferiore ai 3-4° C.



Figura 11: novellame pronto per la semina. Fonte: wikipedia.org

2. MATERIALI E METODI

Nella tabella 1 è riportato l'elenco delle valli da pesca: si tratta di 31 ambienti vallivi differenti caratterizzati da superfici che si aggirano intorno ai 350 /400 ettari di media.

Di questi 31 ambienti vallivi, 27 sono gestiti privatamente (Stocco et al, *submitted*).

NOME DELLA VALLE	
LAGUNA NORD	LAGUNA SUD
La Cura	Valle A.M.A.
Lago della Vallesina	Valle Averno
Mesole Sud	Valle Contarina-Tezze
Saline-Manciane-Sparasera	Valle Cornio
Santa Cristina	Valle Figheri
Valle Baseggia	Valle Millecampi
Valle Bianca	Valle Morosina
Valle Ca' Zane	Valle Pierimpiè
Valle Cavallino	Valle Serraglia
Valle di Lio Maggiore	Valle Zappa
Valle Dogà	
Valle Dragojesolo	
Valle Falconera	
Valle Fosse	
Valle Grassabò	
Valle Liona	
Valle Olivara	
Valle Paleazza	
Valle Perini o Ca' Deriva	
Valle Sacchetta	
Valle Sacchettina	

Tabella 1: elenco delle valli da pesca presenti nella laguna Veneta nel 2022

Le valli da pesca sono gestite in maniera differente a seconda del servizio ecosistemico che si propongono di massimizzare.

Nel lavoro di Stocco & Pranovi (submitted) sono stati identificati cinque diversi gruppi gestionali nei quali una valle può rientrare:

- Valli gestite per la pesca => gruppo “F”
- Valli gestite per la caccia => gruppo “H”
- Valli gestite sia per la caccia che per la pesca, talvolta unendo servizi ecosistemici culturali => gruppo “M”
- Valli gestite a scopi ricreativi => gruppo “R”
- Valli non gestite / non produttive => gruppo “N”

La tabella 2 mostra il gruppo gestionale di appartenenza di ciascuna valle, la figura 12 la loro geolocalizzazione.

NOME VALLE	GRUPPO GESTIONALE
Valle Paleazza	F
Valle A.M.A.	F
Valle Grassabò	F
Valle Dogà	F
Valle Figheri	H
Valle Fosse	H
Valle Liona	H
Valle Olivara	H
Valle Serraglia	H
Valle Morosina	H
Valle Bianca	H
Valle Ca' Zane Piscicoltura dei Coscritti	H
Lago della Vallesina	H
Valle Perini o Ca' Deriva	M
Valle Contarina-Tezze	M
Valle Dragojesolo	M
Valle Pierimpiè	M
Valle Cavallino	M
Valle di Lio Maggiore	M
Valle Zappa	M
Valle Cornio	M
Valle Averno	R
Saline-Manciane-Sparasera	R
Santa Cristina	R
Valle Falconera	R
Valle Sacchetta	R
Valle Sacchettina	R
Valle Millecampi	N
Mesole Sud	N
La Cura	N
Valle Baseggia	N

Tabella 2: Suddivisione delle valli in base al proprio gruppo gestionale

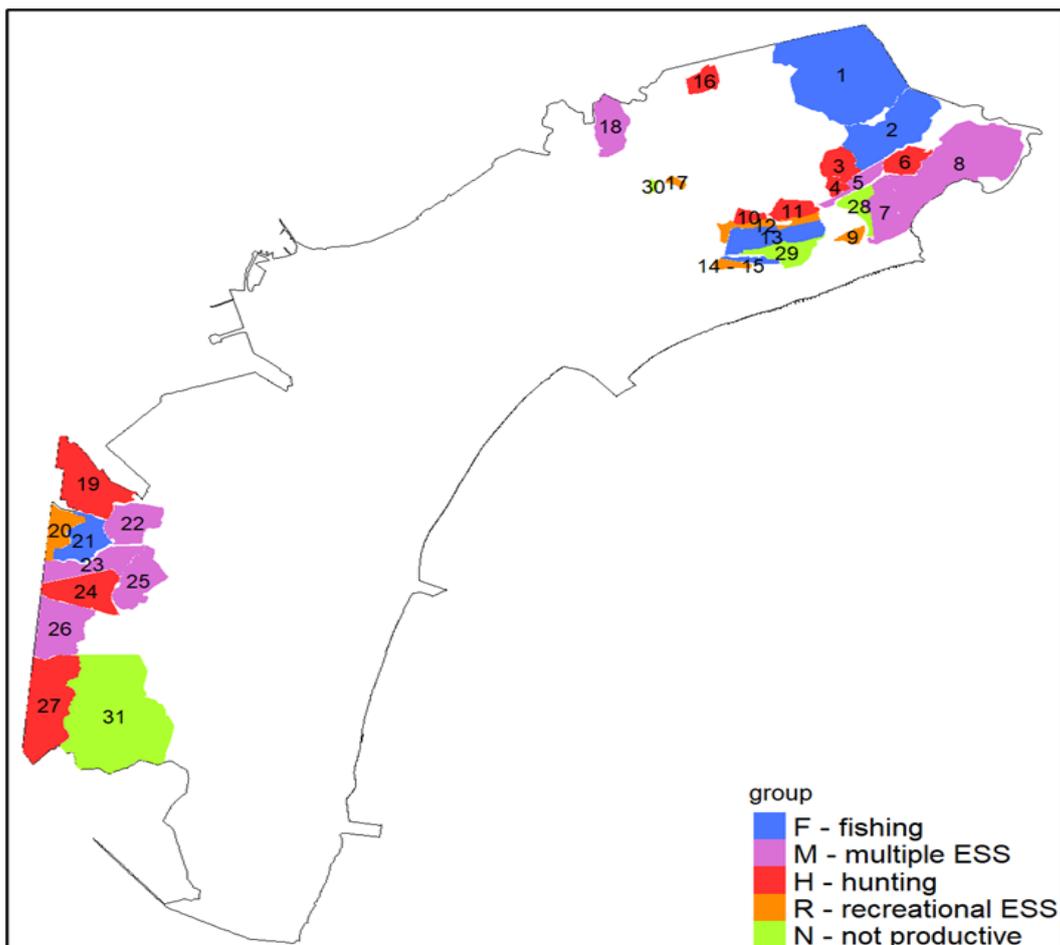


Figura 12: Distinzione e geolocalizzazione delle singole valli sulla base al gruppo gestionale di appartenenza

2.1 EVOLUZIONE STORICA DEL PAESAGGIO: DAL 1932 AD OGGI

Per la classificazione e identificazione delle caratteristiche del paesaggio nelle valli da pesca sono state richieste 148 foto aeree del “Database geotopografico e reti geodetiche” della Regione Veneto.

La prima fase del lavoro si è concentrata sulla scelta degli aereofotogrammi e sulla georeferenziazione.

Ai fini di questo studio, la base di riferimento è stata rappresentata dalle scansioni della carta idrografica della laguna di Venezia del 1932; per gli anni successivi sono state georeferenziate le foto aeree scattate nei voli 1938, 1954-1955, 1975-1978, 1987, 1999, 2010 e 2021.

Per questa fase si è ricorsi al georeferenziatore *core* di QGIS, usando da 5 a 12 *ground control point* per fotogramma, con riferimento all’ortofoto della Regione Veneto 2018 e ai grigliati geodetici del sistema di riferimento Monte Mario – Italy zone 2 (EPSG 3004, con revisione CRS 2021).

L'algoritmo di trasformazione impiegato è stato il polinomiale di 2° grado, che garantisce la miglior replicabilità e riproducibilità della georeferenziazione. Poiché le foto georeferenziate del 1938, 1954, 1978 e 1987 derivano da diapositive di archivio, presentavano la traccia del supporto con impressi i dati della fotocamera a bordo dell'aeromobile, come si può vedere in figura 13.

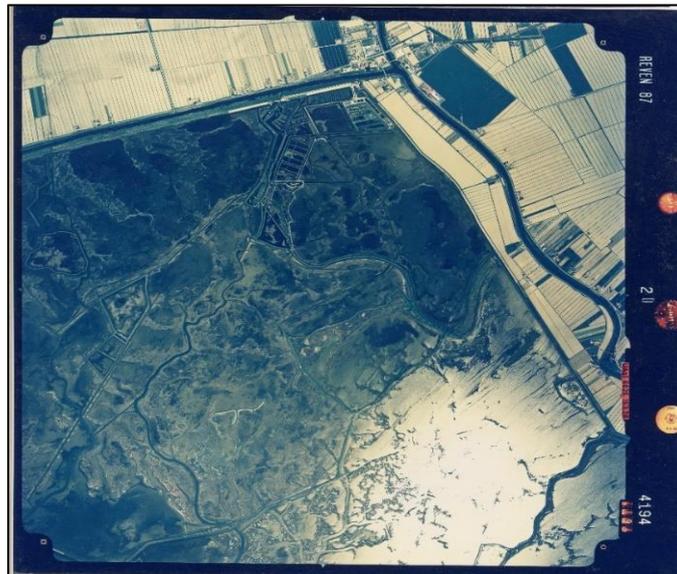


Figura 13: Foto aerea nella quale è visibile Valle Dogà nel 1987

Per ovviare a questo problema è stato necessario sottoporre le foto ad un pre-processing tramite il software GIMP 2.10.30.

Tramite il pre-processing sono state ritagliate le foto mantenendo la georeferenziazione, mascherate nubi e zone di sovraesposizione, e infine desaturati i colori delle foto più recenti ad un valore omogeneo, per ottenere valori di riflettanza in un range ridotto, allo scopo di procedere alla mosaicatura.

Dopo una prima fase di interpretazione visuale dell'idoneità delle foto pre-processate e georeferenziate, i fotogrammi idonei (monobanda o tri-banda nel visibile) sono stati mosaicati insieme in QGIS, ottenendo 7 scene uniche per tutta l'estensione dell'area di studio, una scena per ogni anno considerato.

Per analizzare oggettivamente la copertura del suolo, è stata ottenuta per ogni step temporale una mappa di land cover (LC) categorizzata, in cui la classe 1 corrisponde a terra emersa consolidata, la classe 2 corrisponde a barene, la classe 3 corrisponde a superfici coperte dall'acqua.

Per ogni anno considerato, la prima fase di lavoro è stata l'identificazione di poligoni di interesse con relativa etichettatura nella classe di appartenenza, in formato vettoriale (shapefile di labelling). I valori di riflettanza dei pixel dei fotogrammi mosaicati che ricadevano in ciascun poligono di interesse sono stati estratti e associati in formato matriciale alla classe imposta manualmente.

Questo ha permesso di ottenere una matrice di valori di riferimento della riflettanza, da cui il 75% delle occorrenze è stato considerato come input di training per un modello di classificazione ad alberi decisionali multipli *random forest*.

Il modello, noto come tra i più diffusi e consolidati algoritmi nell'ambito del *machine learning*, ha permesso di classificare nelle tre classi scelte tutta la scena fotografica aerea. Il restante 25% è stato tenuto come dato per il testing dei modelli ottenuti per verificarne l'accuratezza; sulla base dei risultati del testing sono stati considerati solo i modelli e gli output che garantivano la correttezza della classificazione LC superiore all'86%.

Ciascun raster categorico ottenuto, che aveva risoluzione 5 m per lato del pixel, è stato poi sottoposto ad analisi geostatistiche in cui l'unità spaziale di riferimento era ciascuna valle da pesca.

Le analisi condotte hanno considerato l'area coperta da ogni classe di LC (terra, barene, acqua) ed il rapporto tra area delle zone emerse e area delle zone acquatiche.

L'obiettivo finale è stato verificare se ci fossero stati cambiamenti nel corso dei decenni, dal 1932 al 2021, e in caso affermativo, sintetizzarli e descriverne la tendenza, specialmente nell'ambito di diversi stili di gestione.

2.2 VARIAZIONI DELLE CARATTERISTICHE DELLA COPERTURA DEL SUOLO NEL CORSO DELL'ANNO 2021

Oltre a indagare se ci siano state modifiche nel corso dei decenni, in questo lavoro ci siamo posti l'obiettivo di verificare se dati da telerilevamento satellitare potessero essere utili per verificare i cambiamenti stagionali o periodici che le valli da pesca attraversano durante l'anno. Nel caso la metodica si fosse rivelata utile per il nostro caso di studio, lo studio si proponeva di identificare i cambiamenti delle caratteristiche della copertura del suolo su scala temporale annuale.

Per fare ciò, sono state prese in esame le immagini satellitari della flotta Sentinel-2, fornite gratuitamente dal programma Copernicus dell'Agenzia Spaziale Europea (ESA).

I Sentinel-2 sono dei satelliti con strumento multispettrale a bordo, sviluppati nell'ambito del programma Copernicus per monitorare la superficie del pianeta e fornire supporto nella gestione di disastri naturali.

I sensori a bordo di questi satelliti acquisiscono scene a 13 bande spettrali, con la risoluzione spaziale di 10m, 20m e 60m a seconda della fascia dello spettro elettromagnetico compreso nella banda, come illustrato nella tabella 3.

SENTINEL-2 BANDA	LUNGHEZZA D'ONDA CENTRALE (micrometri)	RISOLUZIONE (metri)
Banda 1 - coastal aerosol	0.443	60
Banda 2 - blue	0.49	10
Banda 3 - green	0.56	10
Banda 4 - red	0.665	10
Banda 5 - Vegetation Red Edge	0.705	20
Banda 6 - Vegetation Red Edge	0.74	20
Banda 7 - Vegetation Red Edge	0.783	20
Banda 8 - NIR	0.842	10
Banda 8A - Vegetation Red Edge	0.865	20
Banda 9 - Water vapour	0.945	60
Banda 10 - SWIR-Cirrus	1.1375	60
Banda 11 - SWIR	1.61	20
Banda 12 - SWIR	2.19	20

Tabella 3: bande spettrali dei satelliti Sentinel 2

I dati da Sentinel-2 sono stati scaricati dal database raggiungibile dal sito “<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>”. Da questo servizio è stata selezionata per ogni mese una scena multispettrale fornita dai satelliti Sentinel 2A o 2B, preferibilmente in orbita ascendente. La scelta delle scene da analizzare è stata guidata dalla necessità di avere, tra le varie immagini a disposizione, quella con la più bassa percentuale di copertura nuvolosa (inferiore al 10%).

Sono state scelte 18 date differenti, in modo da rappresentare periodi regolari approssimativamente quindicinali. Purtroppo, non è stato possibile individuare un’immagine satellitare idonea per il mese di dicembre 2021, perciò per ovviare a questo problema è stata selezionata un’immagine di fine novembre 2021 e una dell’8 gennaio 2022.

Ciascun layer monobanda di ogni scena satellitare campionata è stata visualizzata e analizzata nel software “QGIS”.

Alla preparazione dei dati è seguita una prima fase di fotointerpretazione a colori naturali, ossia in composito human vision natural color con la sovrapposizione delle bande R-G-B. Ciò ha consentito la registrazione analogica delle differenze tra i vari passaggi in tempi diversi sulla stessa zona.

Inoltre, al fine di valutare oggettivamente e quantitativamente le variazioni registrate, sono stati cercati degli indici multispettrali che potessero evidenziare in particolare cambiamenti della copertura idrica.

Dopo una review della letteratura, è emerso che gli indici più adatti ai nostri scopi, idonei ad essere applicati alle zone costiere con batimetria limitata, sembrano essere l’indice NMI e l’indice NDWI (Bhangale et al., 2020).

Nel software “QGIS”, grazie alla funzione “calcolatore raster”, è stato possibile scrivere le formule per il calcolo di entrambi questi indici, facendo riferimento sia al file raster raffigurante tutte le acque superficiali delle singole valli, che al raster sottoposto a clipping delle aree con i soli laghi d’acqua dolce.

I dati così ottenuti sono stati riportati su un foglio di lavoro excel per l’analisi statistica.

2.2.1 L’INDICE NMI

Il *Normalized Moisture Index* (NMI) è un indice che varia in base ai livelli di umidità presenti nella vegetazione e si basa su una combinazione delle bande spettrali del vicino infrarosso (NIR) e dell’infrarosso a onde corte (SWIR).

L’NMI è conosciuto come strumento di supporto nel settore agricolo, ma alcune applicazioni permettono un utilizzo anche per monitorare l’umidità al livello del suolo.

La capacità di discriminare zone più umide o meno umide, infatti, oltre a renderlo utile per monitorare l’irrigazione, permette di discriminare da remoto le zone con ristagni di acqua o, al contrario, zone particolarmente secche.

Questo lo renderebbe adatto ad essere usato come indice che permette di monitorare nel tempo come varia l’umidità a livello del suolo di un’area di interesse, verificando se ci siano stati cambiamenti nel corso di un dato periodo.

Formula indice NMI

L’NMI viene calcolato utilizzando la riflettanza nel vicino infrarosso (NIR) e nell’infrarosso a onde corte (SWIR) secondo la seguente equazione:

$$\text{NMI} = (\text{NIR} - \text{SWIR}) / (\text{NIR} + \text{SWIR})$$

Per il calcolo dell’indice NMI su dati Sentinel-2, la formula finale si basa sulle seguenti bande spettrali:

$$\text{NMI} = (\text{B08A} - \text{B11}) / (\text{B08A} + \text{B11})$$

Accanto all’indice NMI ne esiste un secondo, correlato all’NMI, chiamato NDMI (Normalized Difference Moisture Index) e altresì noto come NDWI GAO ((Gao, 1996): esso differisce dal primo solamente per il centro della banda spettrale NIR, che per il sensore a bordo della flotta di Sentinel-2 è riferito a due diversi range nell’ambito della banda 8. La formula per il calcolo dell’NDMI risulta infatti:

$$\text{NDMI} = (\text{B08} - \text{B11}) / (\text{B08} + \text{B11})$$

La risoluzione spaziale delle due bande 8 e 8A è diversa: 10m per la 8, 20m per 8A. La prima banda è utilizzata soprattutto per la mappatura delle coste e del contenuto di biomassa, nonché per rilevare e analizzare la vegetazione. Nonostante la migliore risoluzione della banda 8, la banda 8A viene tuttavia preferita quando si intenda classificare la copertura del suolo e monitorarne i cambiamenti.

Scegliere indici che comprendano bande NIR e SWIR generalmente aiuta a mitigare gli effetti dello scattering dell'illuminazione al suolo e dell'atmosfera.

Il canale spettrale infrarosso a onde corte (SWIR) è infatti sensibile al contenuto d'acqua della vegetazione e alla struttura del mesofillo delle foglie, ma non viene facilmente disperso dall'atmosfera.

D'altra parte, la banda del vicino infrarosso (NIR) raccoglie la riflettanza luminosa dalla struttura interna della foglia e dal contenuto di sostanza secca delle foglie.

Se combinati, l'accuratezza dei dati sul contenuto d'acqua della vegetazione, specialmente quella erbacea al suolo, diventa molto più elevata.

Interpretazione dei valori NMI

L'NMI può avere solo valori compresi tra -1 e 1, il che lo rende molto facile da interpretare. Lo stress idrico sarebbe segnalato da valori negativi prossimi a -1, mentre il +1 potrebbe indicare un ristagno idrico (<https://eos.com/>).

Pertanto, ogni valore intermedio corrisponderà a una situazione leggermente diversa (Tab.4)

VALORE	INTERPRETAZIONE VALORE
da -1 a -0,8	terreno nudo
da -0,8 a -0,6	copertura arborea quasi assente
da -0,6 a -0,4	copertura arborea bassa
da -0,4 a -0,2	copertura arborea bassa e asciutta o copertura arborea molto bassa ma bagnata
da -0,2 a 0	copertura arborea medio bassa con elevato stress idrico oppure copertura arborea bassa ma con basso stress idrico
Da 0 a 0,2	copertura arborea media con elevato stress idrico oppure copertura arborea medio bassa con basso stress idrico
da 0,2 a 0,4	copertura arborea medio alta con elevato stress idrico oppure copertura arborea media ma con basso stress idrico
da 0,4 a 0,6	copertura arborea alta, senza stress idrico
da 0,6 a 0,8	copertura arborea molto alta, senza stress idrico
da 0,8 a 1	copertura arborea totale senza stress idrico o ristagno idrico

Tabella 4: valori dell'indice NMI

2.2.2 L'INDICE NDWI:

Il Normalized Difference Water Index (NDWI), nella formulazione proposta da McFeeters (2007), viene utilizzato per evidenziare le caratteristiche di una zona coperta dall'acqua aperta in un'immagine satellitare multispettrale, consentendo a un corpo idrico di "distinguersi" dal suolo e dalla vegetazione.

Poiché l'indice NDWI misura efficacemente il contenuto di umidità, viene spesso confrontato con l'indice NMI precedentemente illustrato (citazione).

A differenza del primo indice proposto da Gao, che viene calcolato utilizzando la combinazione NIR-SWIR (vicino infrarosso e infrarosso a onde corte) per migliorare la presenza di acqua nelle foglie delle piante, l'indice NDWI, invece, viene calcolato utilizzando la combinazione GREEN-NIR (verde visibile e vicino infrarosso), che consente di rilevare anche sottili variazioni del contenuto idrico delle zone coperte da acquei corpi idrici.

L'unico suo svantaggio è che è sensibile alle strutture costruite, specialmente se inquadrare al di fuori del nadir dell'orbita satellitare, il che può portare a una sovrastima dei corpi idrici. Nel nostro caso, questo svantaggio non era problematico in quanto l'area di studio non presenta alte densità di edifici e le poche costruzioni presenti sono isolate e ben localizzate.

Formula indice NDWI

L'equazione dell'indice NDWI è la seguente:

$$NDWI = (B03 - B08) / (B03 + B08)$$

Per i dati di provenienza Sentinel 2A e 2B, si presenta così:

$$NDWI = (B03 - B08) / (B03 + B08)$$

Le lunghezze d'onda del verde visibile massimizzano la riflettanza tipica della superficie dell'acqua. Le lunghezze d'onda del vicino infrarosso massimizzano l'elevata riflettanza della vegetazione terrestre e delle caratteristiche del suolo, riducendo al minimo la bassa riflettanza delle caratteristiche dell'acqua.

Il risultato dell'equazione NDWI sono dei valori positivi per le caratteristiche dell'acqua e negativi (o zero) per il suolo e la vegetazione terrestre: in buona approssimazione, quindi, il valore di NDWI è da considerare proporzionale alla profondità dell'acqua di una zona interessata dal monitoraggio.

Interpretazione dei valori NDWI

I valori dei corpi idrici a batimetria elevata sono maggiori di 0,5; in caso di zone costiere a bassa profondità, però, il valore segnala acqua fino a valori di 0.01 – 0.1, per cui la fotointerpretazione è sempre necessaria (Taloor et al., 2021).

Il suolo non inondato e con presenza di vegetazione comunque ha sempre valori molto più piccoli, il che si traduce nella possibilità di individuare una soglia efficace per distinguere la vegetazione dai corpi idrici. Nella tabella 5 sono riportate le varie soglie dei valori dell'indice NDWI e la conseguente interpretazione.

VALORE	INTERPRETAZIONE VALORE
da -1 a -0,3	Siccità, superfici non acquose
da -0,3 a 0	siccità moderata, superfici non acquose
da 0 a 0,2	inondazioni, umidità
da 0,2 a 1	superficie dell'acqua

Tabella 5: valori dell'indice NDWI

3. RISULTATI

3.1 VARIAZIONI MORFOLOGICHE DECADALI

Attraverso l'analisi delle aree coperte da diverse classi di LC è stato possibile osservare che la tendenza generale dagli anni '30 al presente rispecchia un generale mantenimento della terra emersa (Fig.14a), una diminuzione della superficie delle barene (Fig.14b) e un relativo aumento dell'area coperta da acqua (Fig.14c), pur in un quadro di sostanziale eterogeneità.

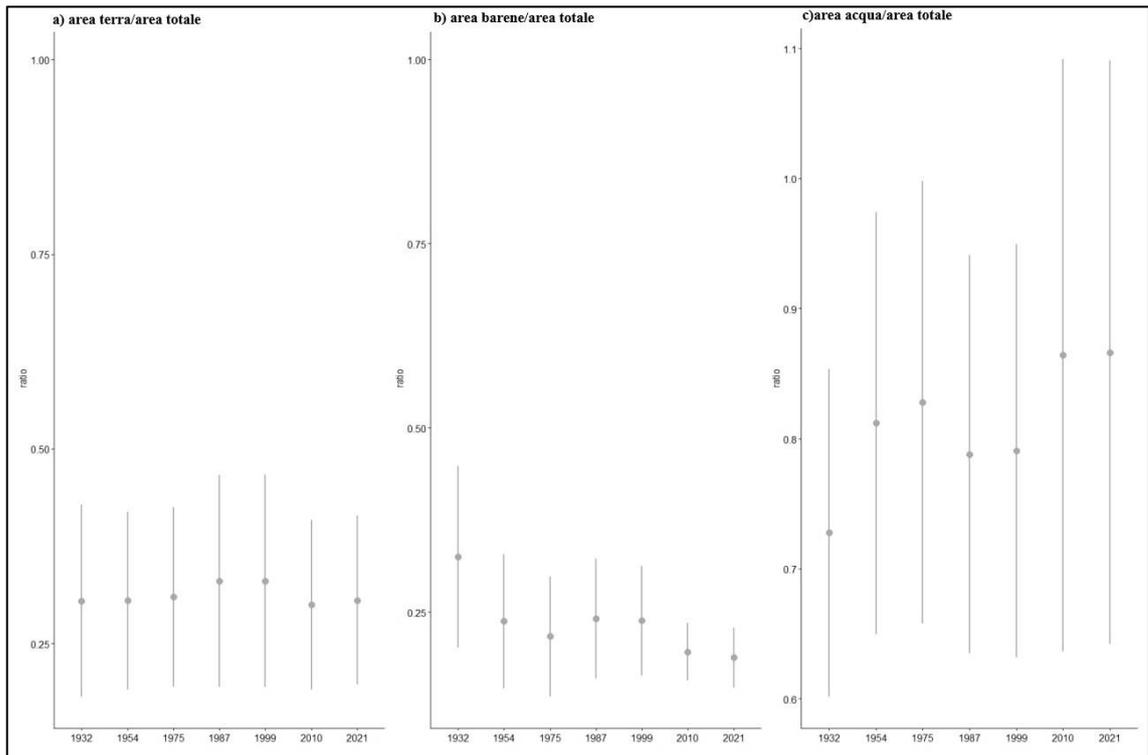


Figura 14: a) rapporto tra terre emerse e area totale della valle dagli anni '30 ad oggi;
b) rapporto tra area delle barene e area totale della valle dagli anni '30 ad oggi;
c) rapporto tra superficie acqua e area totale dagli anni '30 ad oggi

La parallela analisi delle caratteristiche del paesaggio in base ai gruppi gestionali ha fatto emergere tendenze differenti a seconda dell'elemento del paesaggio considerato e a seconda della strategia gestionale.

Per le valli del gruppo F, che fin dalle origini hanno mantenuto il servizio ecosistemico dell'acquacoltura, si può notare innanzitutto come per tutti gli indicatori l'eterogeneità tra valli diminuisca andando avanti con tempo, restringendo la casistica del gruppo (Fig. 15).

La proporzione di terra emersa tende ad aumentare fino al 1999, poi resta pressoché costante. Al contrario, le barene diminuiscono in maniera non lineare, mentre aumenta area coperta da acqua che va a coprire la superficie persa di barene (Fig. 15).

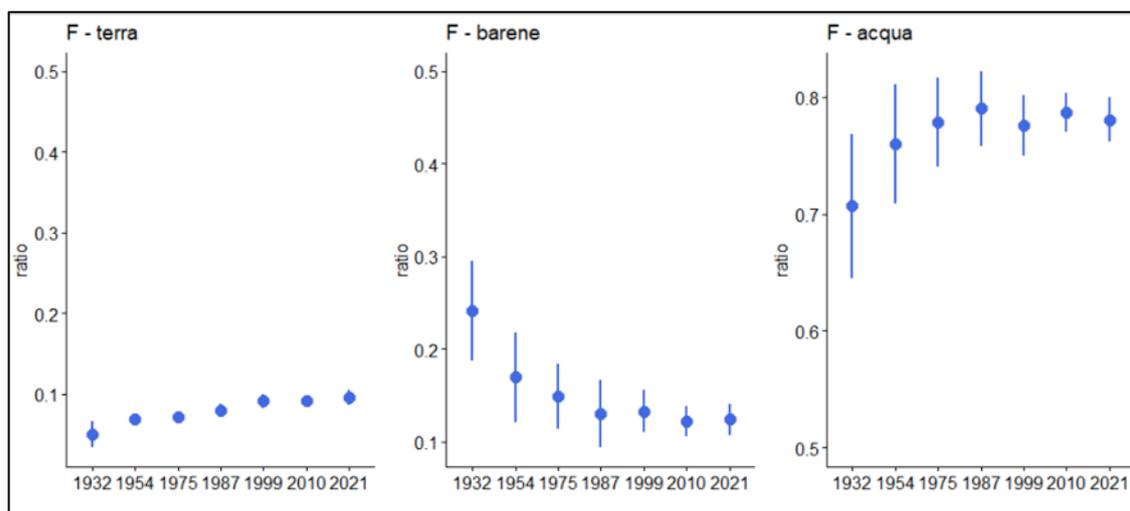


Figura 15: variazioni morfologiche per le valli gestite per massimizzare l'attività di pesca (gruppo F) dagli anni '30 ad oggi; **a)** rapporto tra terre emerse e area totale della valle; **b)** rapporto tra area delle barene e area totale della valle; **c)** rapporto tra superficie acqua e area totale della valle.

È molto probabile che questo sia dovuto alla costruzione di nuove peschiere, come si vede nell'immagine esemplificativa sottostante (Fig.16).



Figura 16: a sinistra una foto aerea del 1954 di una porzione di Valle Dogà. A destra la stessa zona immortalata da foto aerea nel 2010. Nei riquadri rossi si può osservare come nel 2010 siano presenti delle peschiere, tuttora esistenti, che non c'erano cinquant'anni prima.

Nel caso delle valli del gruppo H, che hanno progressivamente massimizzato la caccia abbandonando o minimizzando l'acquacoltura, la dispersione è maggiore per tutti gli indicatori (Fig.17).

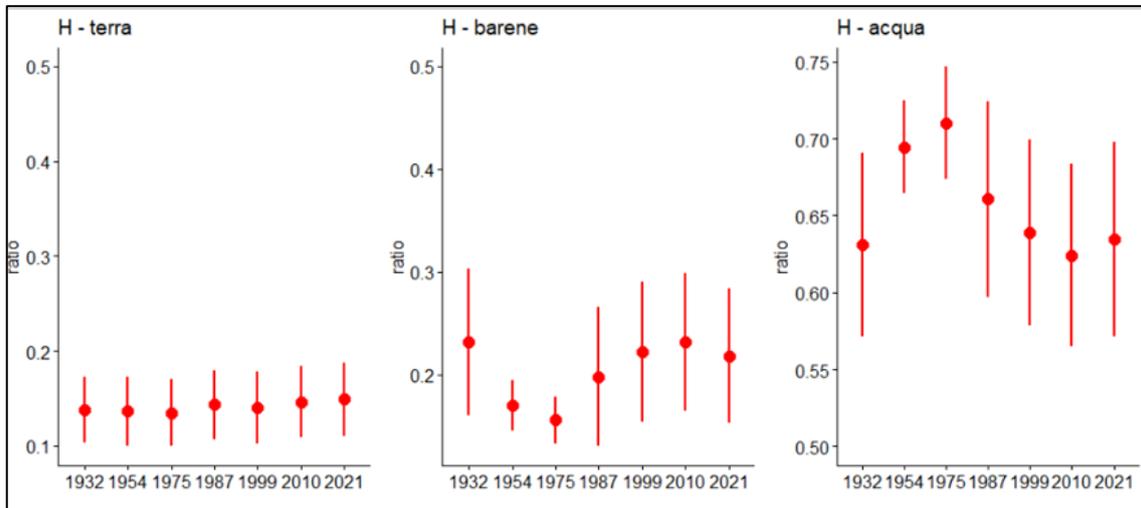


Figura 17: variazioni morfologiche per le valli gestite per massimizzare l'attività di caccia (gruppo H) dagli anni '30 ad oggi; **a)** rapporto tra terre emerse e area totale della valle; **b)** rapporto tra area delle barene e area totale della valle; **c)** rapporto tra superficie acqua e area totale della valle.

La terra tende a rimanere costante con solo un lieve aumento negli ultimi due decenni, mentre l'andamento delle barene risulta essere in calo fino alla metà degli anni '70, per poi aumentare in modo considerevole (Fig.18)



Figura 18: a sinistra una foto aerea del 1954 ritraente Valle Bianca. A destra la stessa valle ripresa da satellite Worldview-2 nel 2021 in cui è percepibile l'aumento delle barene

L'analisi del gruppo M evidenzia come questo sembri una specie di "mix" dei gruppi precedenti: si ripresenta l'andamento delle barene con il flesso 1954-1975-1987; al contrario, la crescita della terra ha rapporto maggiore rispetto al gruppo F (Fig. 19).

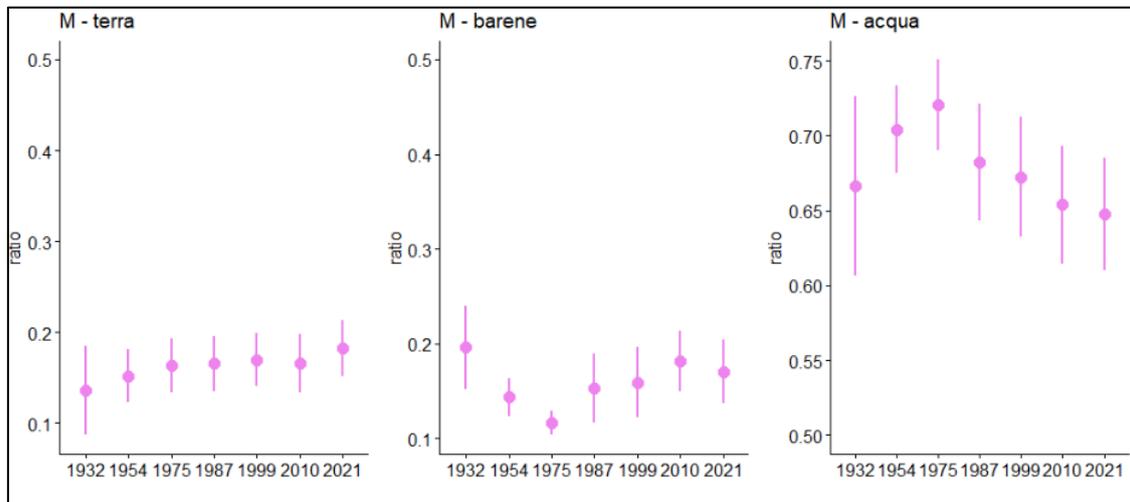


Figura 19: variazioni morfologiche per le valli del gruppo M dagli anni '30 ad oggi; **a)** rapporto tra terre emerse e area totale della valle; **b)** rapporto tra area delle barene e area totale della valle; **c)** rapporto tra superficie acqua e area totale della valle.

Per questo gruppo è emblematico l'esempio nella figura 20 in cui è percepibile l'aumento delle barene per Valle Dragojesolo.



Figura 20: a sinistra una foto aerea del 1954 ritraente Valle Dragojesolo. A destra la stessa valle ripresa da satellite Worldview-2 nel 2021 in cui è percepibile l'aumento delle barene

I grafici del gruppo R mostrano come la terra si mantenga costante nel corso degli anni, però bisogna prestare attenzione al fatto che già nel 1932 si partiva con valori di quantità di terra emersa più alti rispetto ai gruppi F, H ed M (Fig.21).

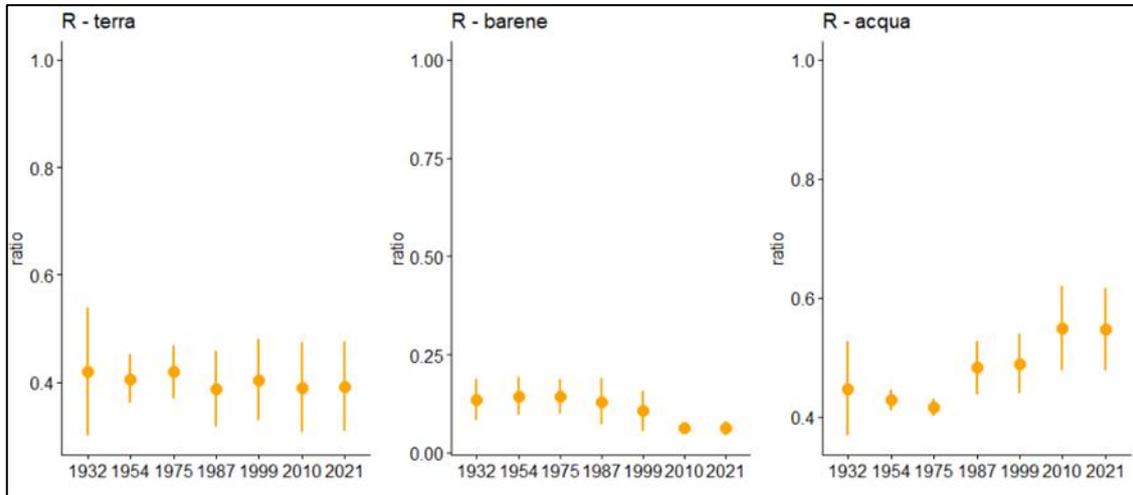


Figura 21: variazioni morfologiche per le valli gestite per massimizzare l'attività ricreativa (gruppo R) dagli anni '30 ad oggi; **a)** rapporto tra terre emerse e area totale della valle; **b)** rapporto tra area delle barene e area totale della valle; **c)** rapporto tra superficie acquosa e area totale della valle.

C'è la tendenza a perdere barene, specialmente nelle ultime due decadi, come confermato dalla figura 22. Anche per questo gruppo si nota un andamento inverso della proporzione di acqua rispetto alla proporzione di barene.



Figura 22: a sinistra una foto aerea del 1954 ritraente Valle Falconera. A destra la stessa valle ripresa da satellite Worldview-2 nel 2021: la grande barena che nel '54 è visibile come una grande macchia biancastra, nel 2021 è stata tolta per la costruzione di un lavoriero.

Concludendo con il gruppo N si osserva come ci sia una elevata dispersione dei dati, legata ad una marcata eterogeneità (Fig.23).

Le barene diminuiscono: seguono la stessa tendenza della laguna aperta, che sta perdendo barene per erosione. In ogni caso la terra tende a ridursi rispetto all'acqua.

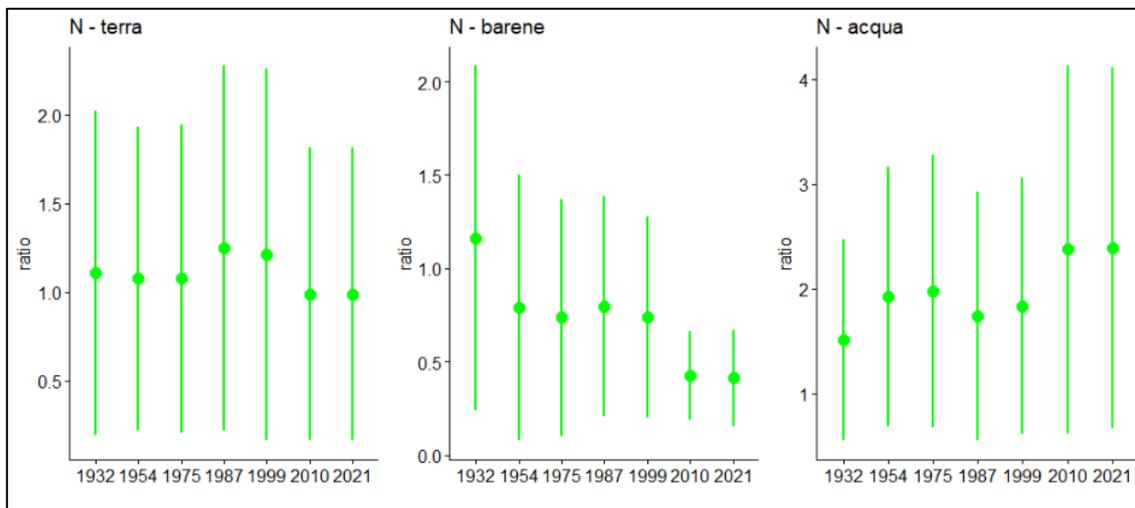


Figura 23: variazioni morfologiche per le valli non gestite (gruppo N) dagli anni '30 ad oggi; **a)** rapporto tra terre emerse e area totale della valle; **b)** rapporto tra area delle barene e area totale della valle; **c)** rapporto tra superficie acqua e area totale della valle.

La diminuzione delle barene è confermata dalla figura 24, in cui si porta l'esempio di Valle Millecampi.



Figura 24: a sinistra una foto aerea del 1954 ritraente una porzione di Valle Millecampi. A destra la stessa valle immortalata da satellite nel 2021: la diminuzione delle barene è leggermente percepibile.

3.2 VARIAZIONI DELLE CARATTERISTICHE DELLA COPERTURA DEL SUOLO NEL CORSO DELL'ANNO 2021

Osservando le singole immagini satellitari nel composito a colori naturali (RGB), è emerso come, nel corso dell'anno, parecchie di queste presentino delle differenze: non si tratta di cambiamenti a livello di infrastrutture costruite dall'uomo, così come non cambiano le configurazioni delle terre emerse; i cambiamenti maggiori appaiono a carico delle zone coperte da acqua, confermando quanto si attendeva.

Su 31 valli da pesca presenti, oggi sono 19 quelle che presentano laghi d'acqua dolce e sono riportate nella tabella sottostante (Tab.6).

LAGUNA NORD	LAGUNA SUD
Valle Paleazza	Valle A.M.A.
Lago della Vallesina	Valle Zappa
Valle Grassabò	Valle Serraglia
Valle Dogà	Valle Avertò
Valle Bianca	Valle Contarina-Tezze
Valle Fosse	Valle Cornio
Valle Liona	Valle Figheri
Valle Perini o Ca' Deriva	Valle Pierimpiè
Valle Cavallino	

Tabella 6: Elenco delle valli da pesca aventi laghi d'acqua dolce

Per avere un quadro più completo, l'analisi degli indici NMI e NDWI per ciascuna valle è stata affiancata all'analisi delle precipitazioni e delle temperature superficiali nella laguna nel corso di tutto il 2021.

È stato seguito questo tipo di approccio per determinare se ci fosse una influenza delle precipitazioni e della temperatura atmosferica sull'andamento degli indici ottenuti: se infatti l'andamento degli indici legati all'umidità del suolo fossero risultati concordi con gli eventi piovosi o l'abbassamento delle temperature, ciò avrebbe significato che l'andamento osservato non è nient'altro che una risposta ad un driver esterno, ossia le condizioni meteorologiche; in caso contrario, invece, si conferma che gli indici spettrali sono efficaci indicatori della situazione nei bacini idrici delle valli e della loro gestione idraulica.

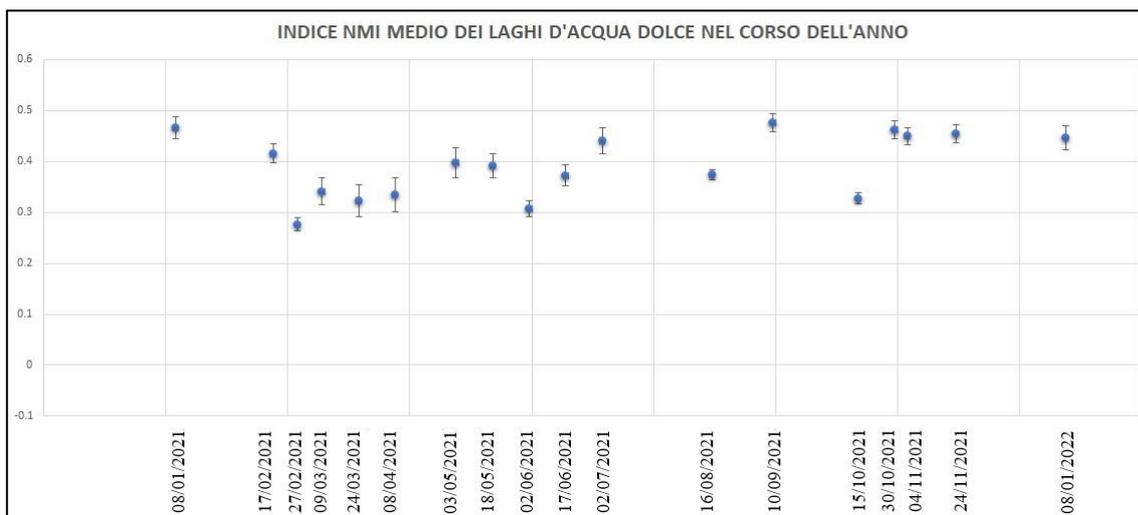


Figura 25: Valori medi (± err. st.) dell'indice NMI per le acque dolci presenti nelle 19 valli in esame

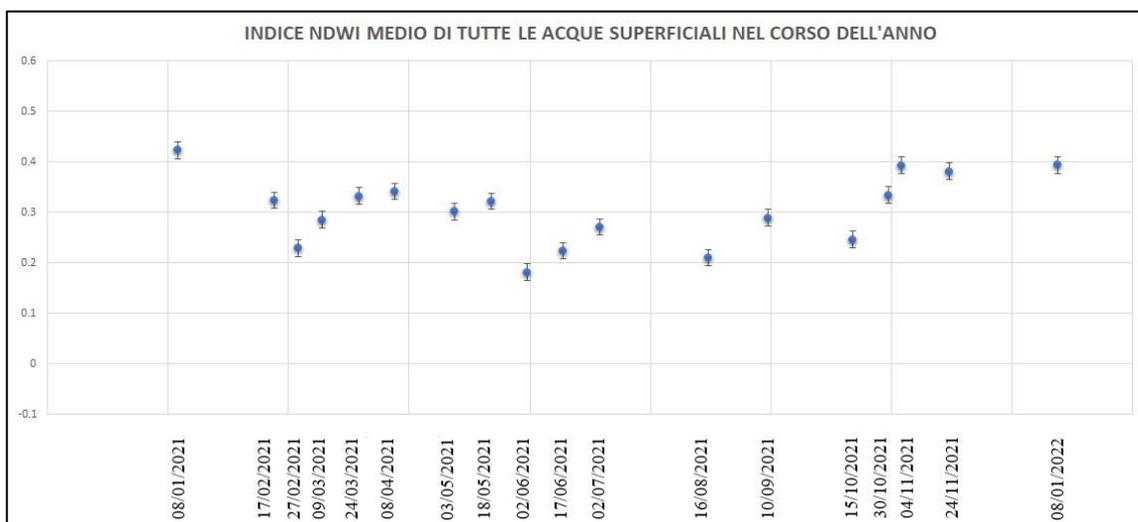


Figura 26: Valori medi (± err. st.) dell'indice NDWI per tutte le acque superficiali delle 31 le valli presenti nella laguna veneta

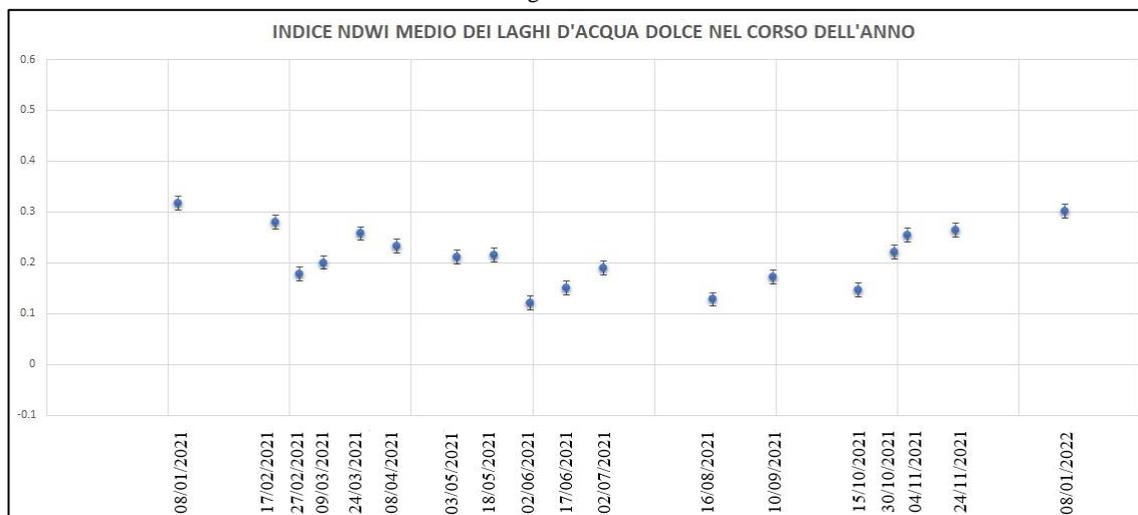


Figura 27: Valori medi (± err. st.) dell'indice NDWI per le acque dolci presenti nelle 19 valli in esame

Da una attenta analisi dei valori ottenuti con l'applicazione dell'indice NMI è emerso che questo non risulta utile ai fini della ricerca di eventuali variazioni nella gestione idrica annuale delle valli lagunari.

Infatti, sebbene si possa individuare un deciso calo dei valori di tutte le valli a fine febbraio, nel corso dell'anno considerato i dati appaiono tutti sostanzialmente costanti, sempre compresi tra 0.2 e 0.5, sintomo di una copertura arborea diffusa ed una assenza di stress idrico.

Siccome questo indice non dà informazioni chiare che possano essere utili per ulteriori analisi del caso di studio, si è scelto di considerarlo non adatto per le particolari caratteristiche delle nostre aree di studio.

Al contrario, i dati ottenuti con l'applicazione dell'indice NDWI appaiono decisamente più informativi. Per l'analisi sono stati estratti tutti i valori inerenti alla superficie acqua delle 31 valli (Fig.26) e quelli delle superfici coperte dalle acque dolci presenti nelle 19 valli con i laghi di dolce (Fig.27). Di questi valori ne è stato estratto il valore medio.

- La figura 26 mostra dei valori medi quasi sempre positivi compresi tra un minimo di 0.181 in data 02/06/2021 ed un massimo 0.422 in data 08/01/2021.
- Al contrario, nella figura 27, si osserva come i valori medi per le acque dolci siano più bassi e schiacciati, compresi tra un minimo di 0.127 ed un massimo pari 0.316 sempre nelle stesse date riportate al punto precedente.

Innanzitutto, i due grafici relativi all'indice NDWI mostrano un andamento simile per tutte le valli nello stesso periodo: sono le variazioni del livello della marea nel momento del passaggio del satellite ad essere responsabili di queste oscillazioni del segnale (Figg. 26 e 27).

Per questo stesso motivo, i valori prossimi allo 0 che si riscontrano nella figura 26 sono di fatto influenzati dalle basse maree che portano ad una diminuzione del livello idrico in tutta la valle.

Tenendo presente questo segnale di fondo, al fine di avere una panoramica più esaustiva e dettagliata, un ulteriore passo è stato quello di analizzare le valli osservandole all'interno dei loro attuali gruppi gestionali, già elencati al paragrafo 2 (Figg. 28-35).

Lo scopo di questa operazione geostatistica è stato quello restringere il campo e verificare se lo stile di gestione delle valli possa influire anche sul regime idraulico delle stesse.

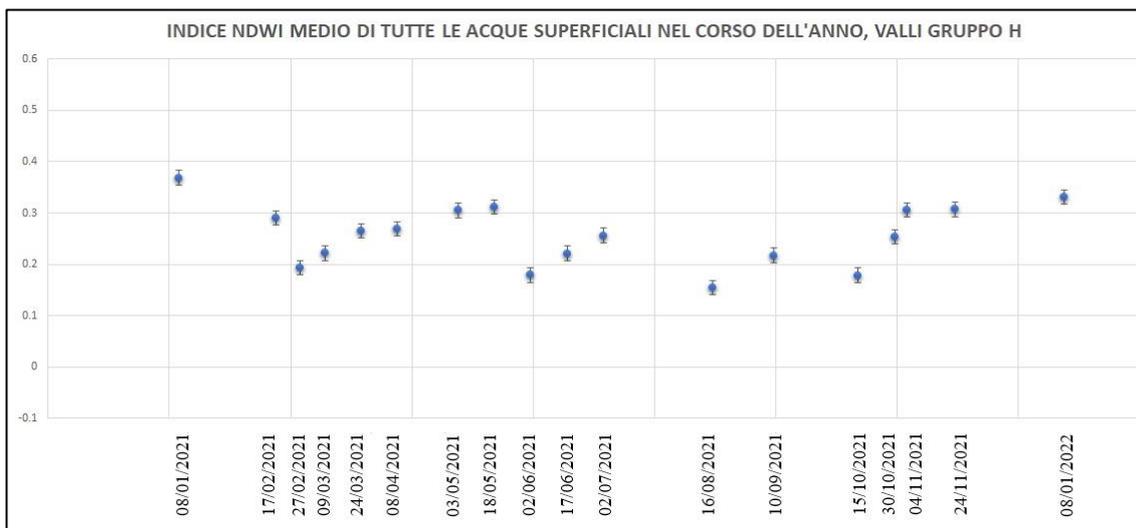


Figura 28: Valori medi (± err. st.) dell'indice NDWI per le acque superficiali nelle valli adibite alla caccia.

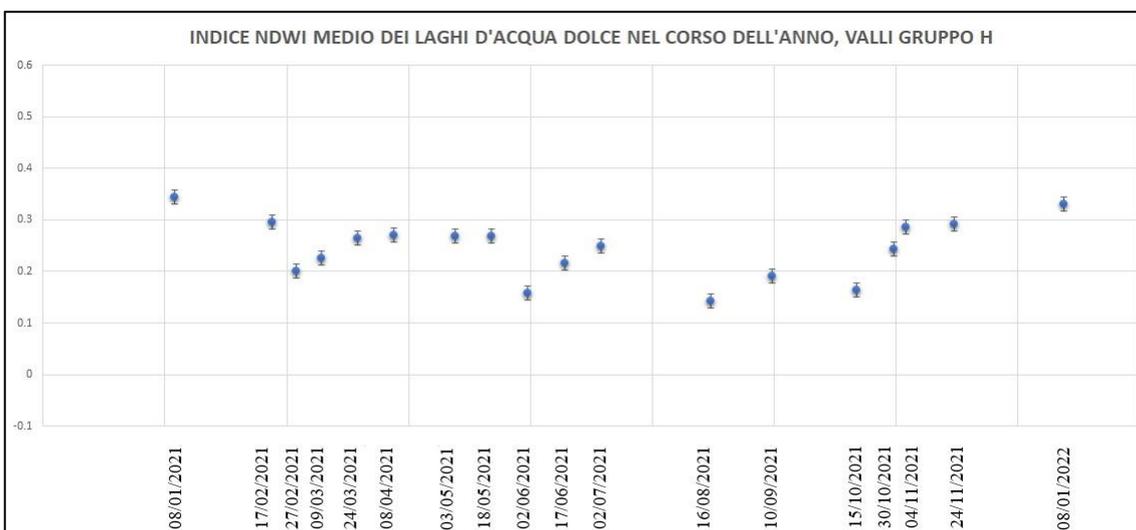


Figura 29: Valori medi (± err. st.) dell'indice NDWI per le acque dolci nelle valli adibite alla caccia.

Il gruppo H include le valli che nel 2021 hanno massimizzato il servizio ecosistemico della caccia agli anatidi.

Si tratta di: Valle Olivara, Valle Liona, Valle Fosse, Valle Figheri, Valle Serraglia, Valle Bianca, Valle Morosina, Valle Ca' Zane e Lago della Vallesina.

Nella figura 28 si può constatare la presenza di valori sempre positivi: i due picchi più bassi si riscontrano nel periodo estivo, rispettivamente in data 02/06/2021 e 16/08/2021

A seguire, per realizzare il grafico della figura 29, che analizza solamente gli specchi d'acqua dolce, sono state escluse le due valli che presentano solamente acque salmastre, ossia Valle Olivara e Valle Ca' Zane.

Anche in questo caso i valori medi risultano sempre positivi nel corso di tutto l'anno ma appaiono leggermente più contratti verso il basso.

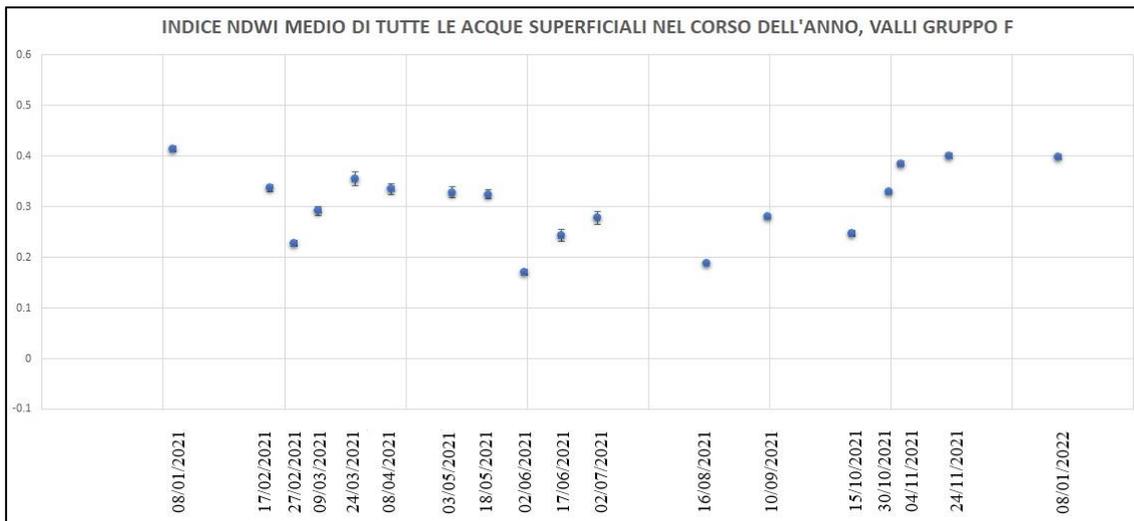


Figura 30: Valori medi (\pm err. st.) dell'indice NDWI per le acque superficiali nelle valli adibite alla pesca

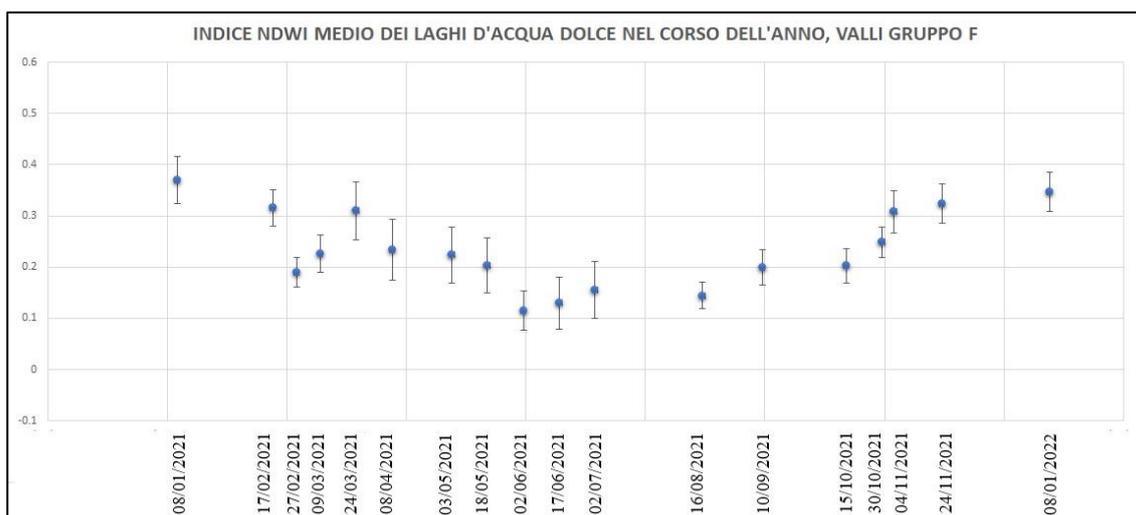


Figura 31: Valori medi (\pm err. st.) dell'indice NDWI per le acque dolci nelle valli adibite alla pesca.

Il gruppo F include le valli che nel 2021 hanno massimizzato soprattutto, o esclusivamente, il servizio ecosistemico della produzione di pesce da acquacoltura. Si tratta di: Valle Grassabò, Valle Dogà, Valle Paleazza e Valle A.M.A; tutte e quattro presentano dei laghi d'acqua dolce, sebbene di estensione molto diversa in ordine decrescente.

La figura 30 e la figura 31 palesano una netta differenza nei valori. La prima riporta dei dati poco variabili e sempre positivi nel corso di tutto l'anno.

La seconda invece mostra dei valori con una variabilità più significativa ed evidenzia come, in tutti i bacini di dolce, a cavallo del periodo estivo ci siano valori medi che si avvicinano a 0.1.

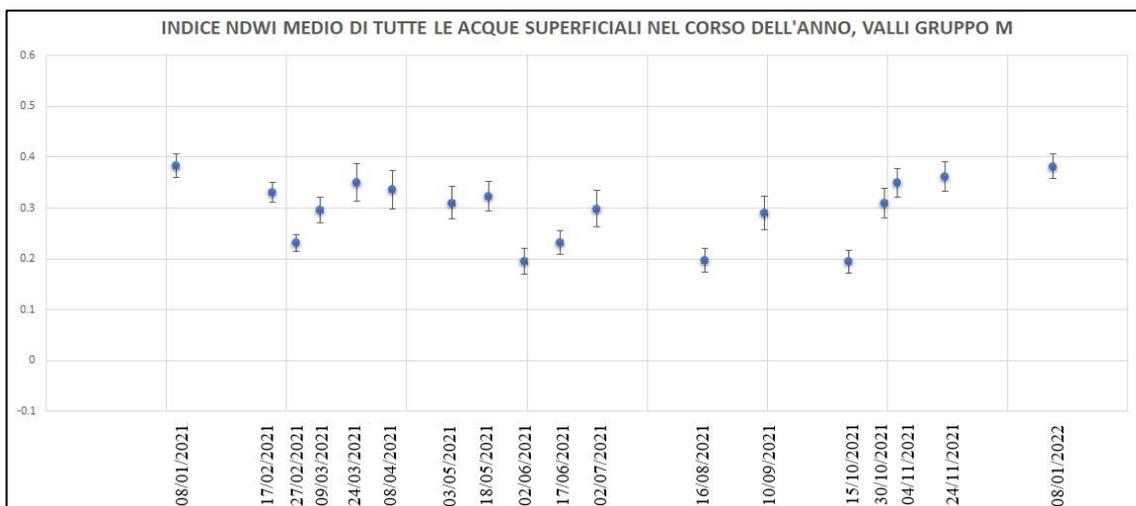


Figura 32: Valori medi (\pm err. st.) dell'indice NDWI per le acque superficiali nelle valli gestite sia per la caccia che per la pesca, talvolta unendo opere e servizi ecosistemici culturali

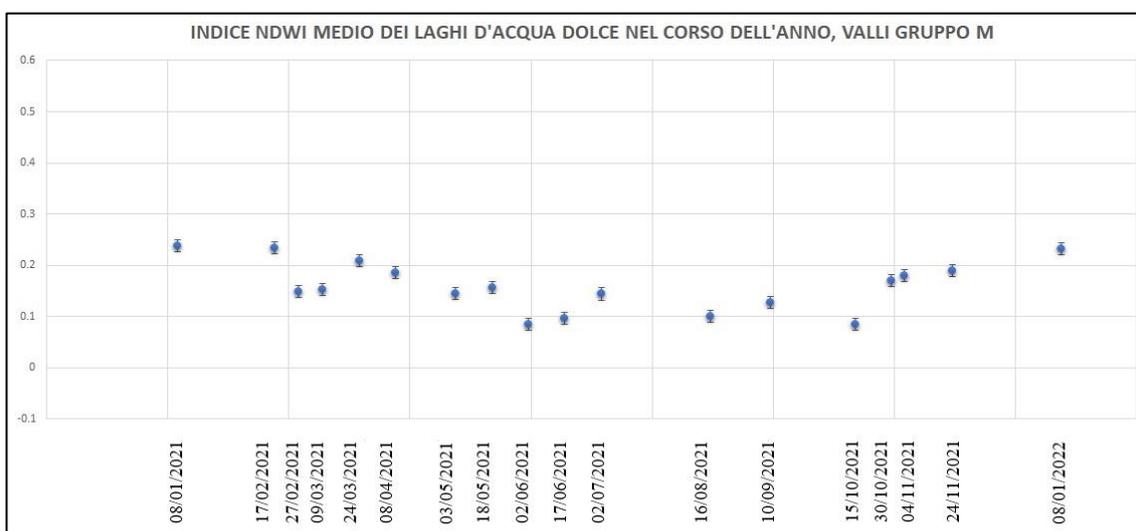


Figura 33: Valori medi (\pm err. st.) dell'indice NDWI per le acque dolci nelle valli gestite sia per la caccia che per la pesca, talvolta unendo opere e servizi ecosistemici culturali

Il gruppo M include le valli che nel 2021 avevano una gestione che consente la massimizzazione di servizi ecosistemici multipli, comprendendo sempre la caccia, la piscicoltura e talvolta servizi ecosistemici culturali (turismo ed escursionismo). Si tratta di: Valle di Lio Maggiore, Valle Contarina-Tezze, Valle Perini o Ca' Deriva, Valle Cavallino, Valle Zappa, Valle Pierimpiè, Valle Dragojesolo e Valle Cornio.

Nella figura 32 si possono osservare dei valori medi contraddistinti da una discreta variabilità ma pur sempre positivi nell'arco di tutto l'anno.

Nella figura 33, che tiene conto solamente degli specchi d'acqua dolce, è stata esclusa Valle di Lio Maggiore in quanto non è stato possibile identificare bacini di acqua dolce dalla risoluzione dei dati satellitari Sentinel-2. In questa seconda figura si osservano valori medi molto schiacciati, compresi tra un massimo di 0.238 ed un minimo di 0.08; i valori più bassi sono a ridosso dell'estate.

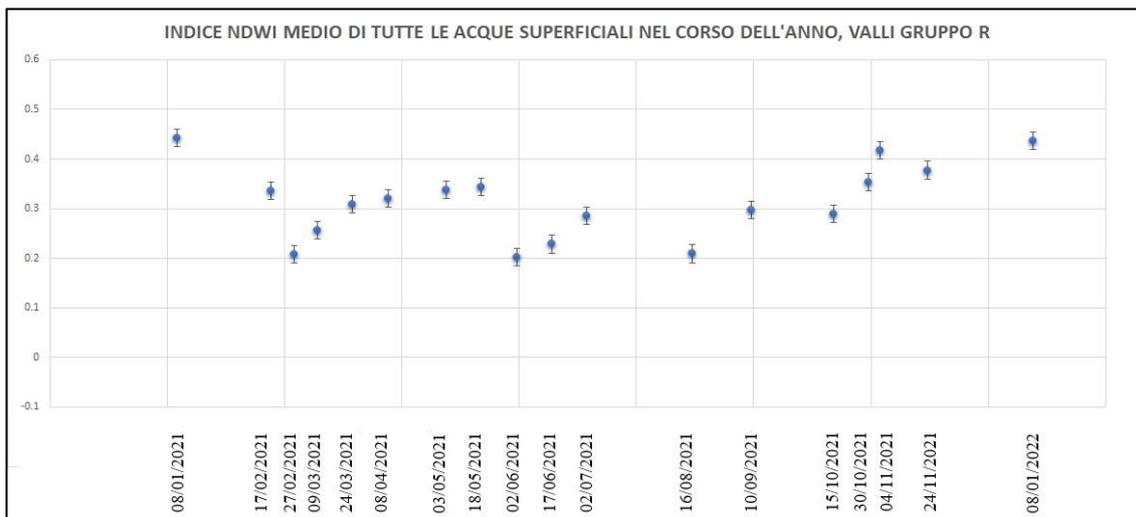


Figura 34: Valori medi (± err. st.) dell'indice NDWI per le acque superficiali nelle valli gestite a scopo ricreativo

Il gruppo R include le valli che nel 2021 avevano uno scopo ricreativo.

Si tratta di: Saline - Manciane – Sparasera (nota come zona di Lio Piccolo), isola di Santa Cristina, Valle Falconera, Valle Sacchetta, Valle Sacchettina e Valle Avertò.

La figura 34 evidenzia che queste valli con scopi ricreativi presentino dei valori medi piuttosto elevati, indice di una copertura idrica sempre abbondante.

Alla stessa conclusione si può arrivare osservando la figura 35 che prende in esame solamente Valle Avertò, ovvero l'unica valle di questo gruppo che presenta specchi d'acqua dolce di estensione ragguardevole.

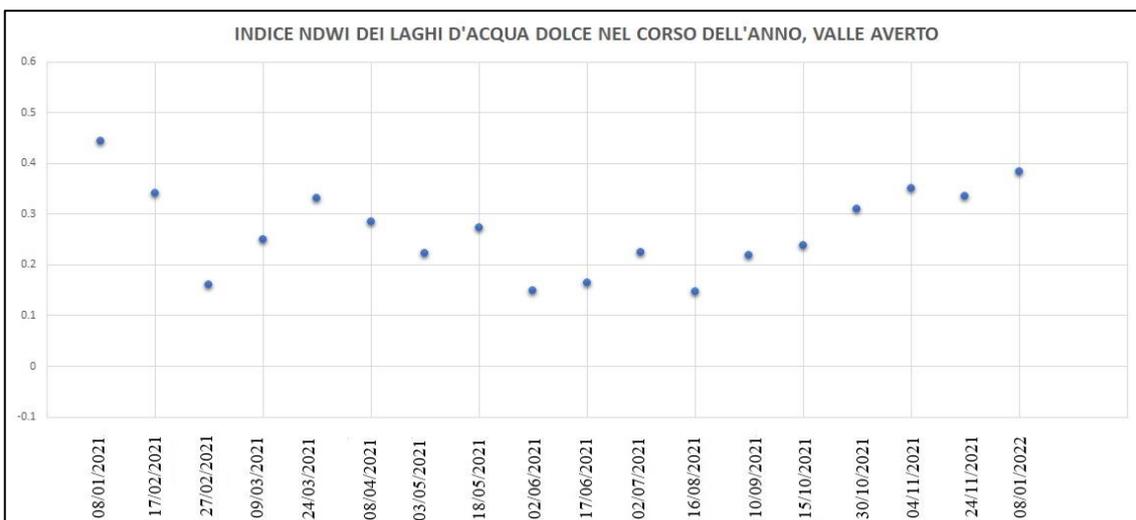


Figura 35: andamento complessivo dell'indice NDWI rispetto all'unica valle del gruppo R che presenta laghi d'acqua dolce, valle Avertò

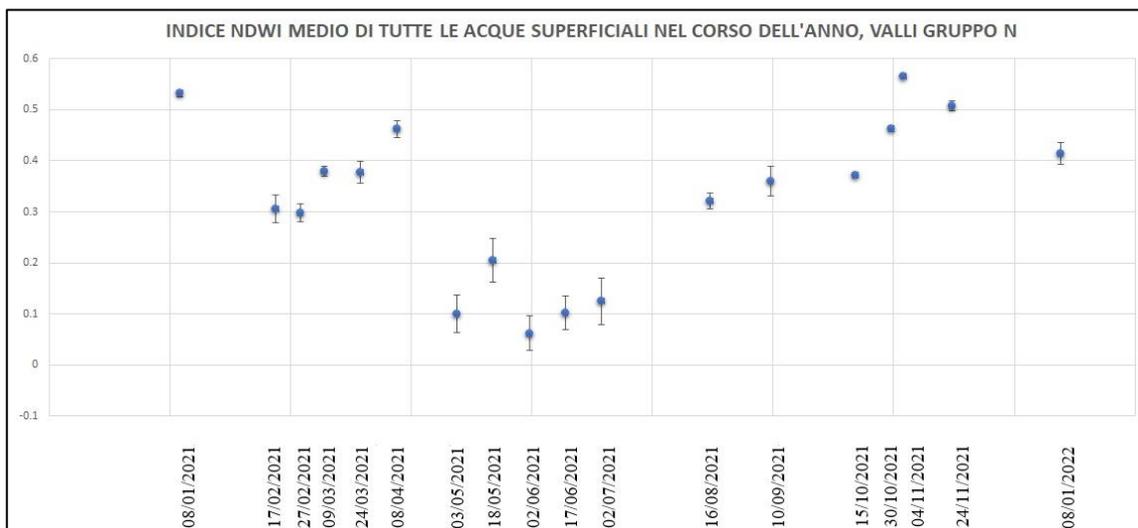


Figura 36: Valori medi (\pm err. st.) dell'indice NDWI per le acque superficiali nelle valli gestite non gestite/ non produttive

Il gruppo N, infine, include le valli che nel 2021 non risultavano gestite o comunque non erano produttive.

Di questo gruppo fanno parte: Valle Baseggia, La Cura, Le Mesole e Valle Millecampi.

Si tratta di quattro valli aperte al flusso di marea, in piena comunicazione con la laguna aperta, che di conseguenza non presentano specchi d'acqua dolce.

Osservando la figura 36 si osserva come il periodo estivo sia quello nel quale si registrano dei valori medi più vicini allo 0 contraddistinti da una grande variabilità. Anche in questo grafico è percepibile un rumore di fondo dettato dalla stagionalità; tuttavia, si deve segnalare come il valore registrato il 27 febbraio, che è basso nelle valli di tutti gli altri gruppi, nel gruppo N non presenta alcun abbassamento.

Per analizzare in modo dettagliato i dati, specialmente in riferimento alla dispersione talvolta osservata, l'analisi è stata successivamente focalizzata sulla rappresentazione dell'indice NDWI valle per valle, considerando le 19 valli con i laghi d'acqua dolce.

Per ciascuna di queste è stato svolto uno studio più dettagliato sull'andamento dell'indice nel corso dell'anno, discretizzando i valori continui in classi binarie 0 o 1, in modo tale da indicare in maniera netta la presenza o l'assenza di acqua nel lago in questione, secondo lo schema:

- Se il valore dell'NDWI risulta > 0 , il valore attribuito è "1", per segnalare che il lago presenta acqua
- Se il valore dell'NDWI risulta ≤ 0 , il valore attribuito è "0" per indicare che il lago è asciutto

Di seguito, dalla figura 37 alla figura 55 sono riportati i grafici per ogni singola valle.

Valori medi normalizzati indice NDWI valle per valle nella laguna Nord:

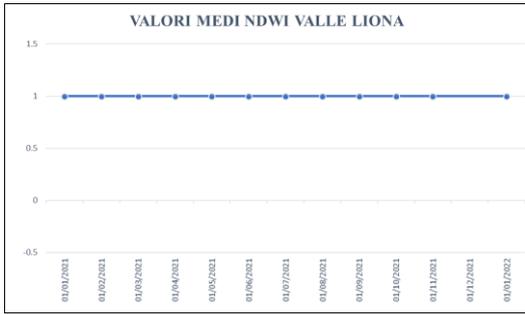


Figura 37: valori medi indice NDWI Valle Liona

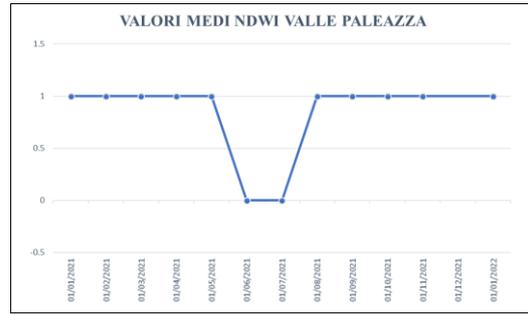


Figura 38: valori medi indice NDWI Valle Paleazza

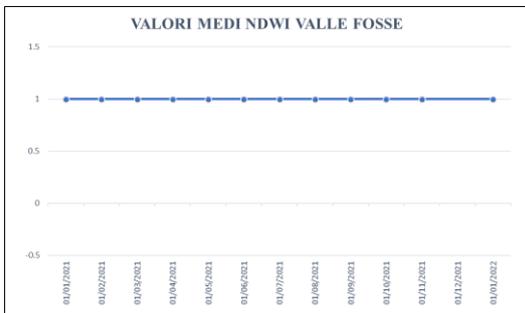


Figura 39: valori medi indice NDWI Valle Fosse

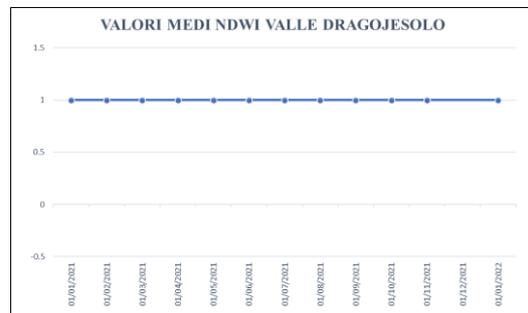


Figura 40 valori medi indice NDWI Valle Dragojesolo

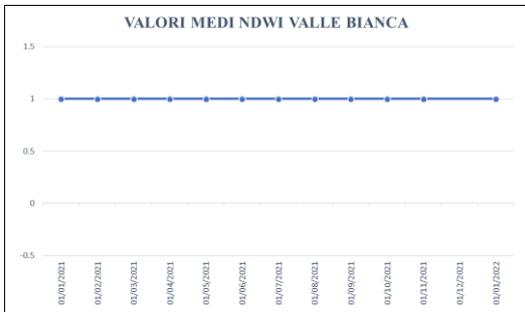


Figura 41: valori medi indice NDWI Valle Bianca

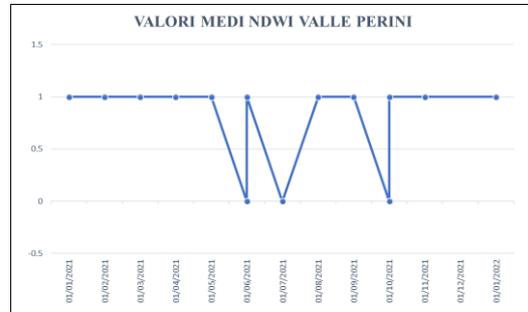


Figura 42: valori medi indice NDWI Valle Perini

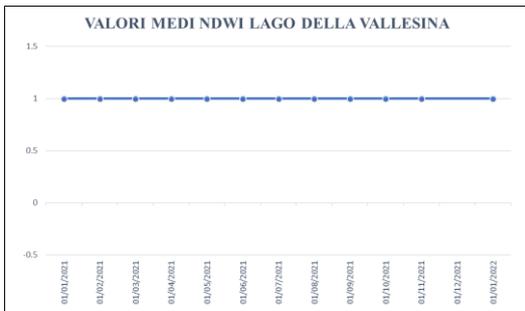


Figura 43: valori medi indice NDWI Lago della Vallesina

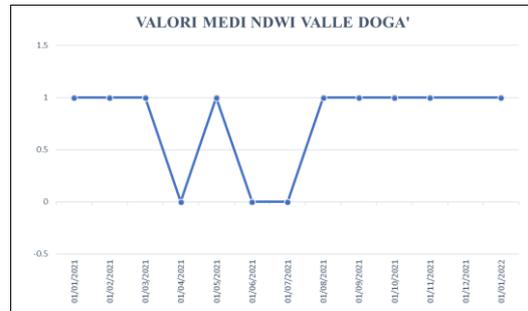


Figura 44: valori medi indice NDWI Valle Doga'

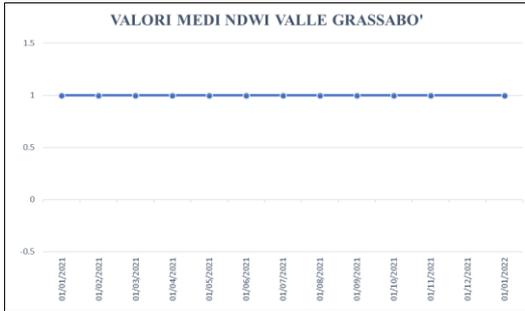


Figura 45: valori medi indice NDWI Valle Grassabò

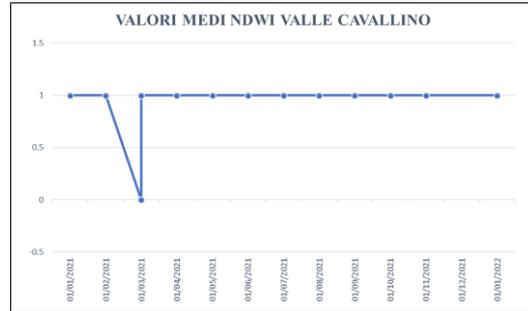


Figura 46: valori medi indice NDWI Valle Cavallino

Valori medi normalizzati indice NDWI valle per valle nella laguna Sud:

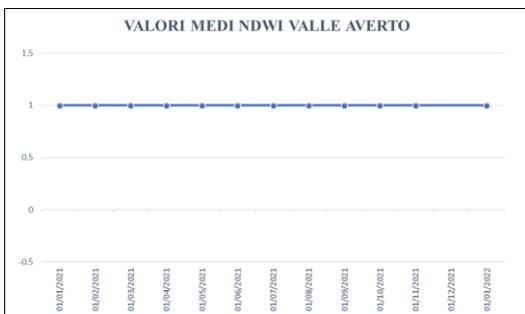


Figura 47: valori medi indice NDWI Valle Averno

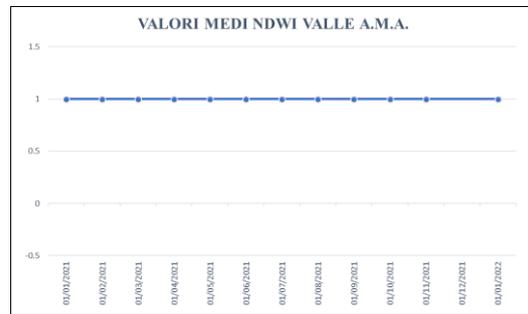


Figura 48: valori medi indice NDWI Valle A.M.A.

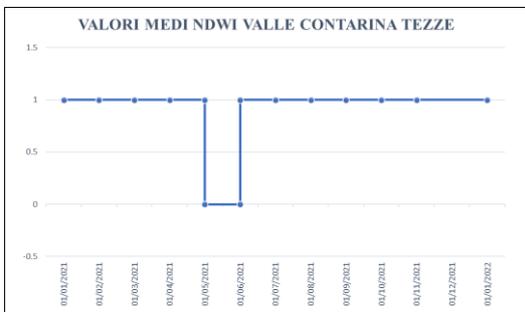


Figura 49: valori medi indice NDWI Valle Contarina Tezze

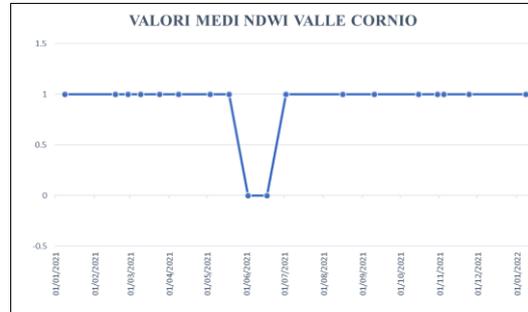


Figura 50: valori medi indice NDWI Valle Cornio

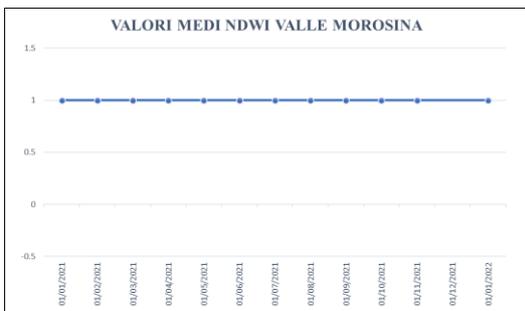


Figura 51: valori medi indice NDWI Valle Morosina

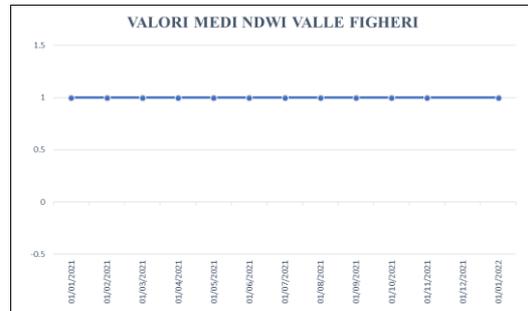


Figura 52: valori medi indice NDWI Valle Figheri

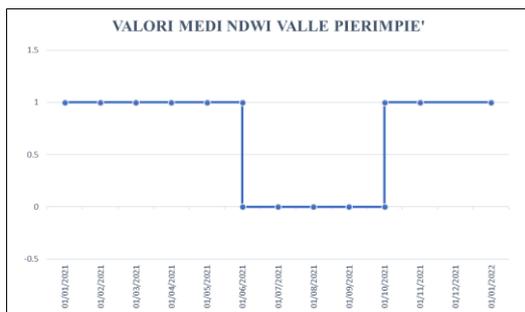


Figura 53: valori medi indice NDWI Valle Pierimpiè

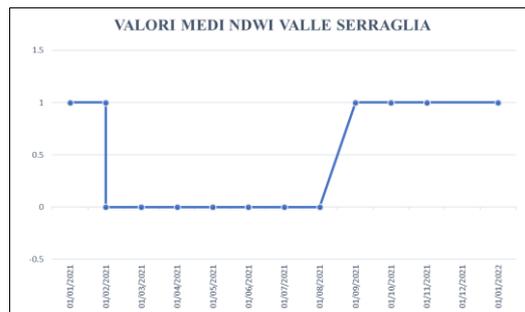


Figura 54: valori medi indice NDWI Valle Serraglia

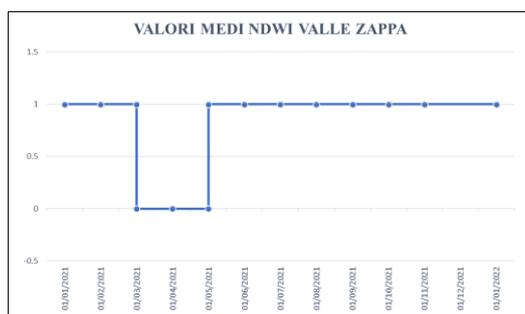


Figura 55: valori medi indice NDWI Valle Zappa

Osservando i grafici relativi alle valli della laguna Nord si può constatare che:

- Valle Liona, Valle Fosse, Valle Dragojesolo, Valle Bianca, Lago della Vallesina e Valle Grassabò presentano nel corso di tutto l'anno dei valori positivi.
- Valle Paleazza, Valle Perini, Valle Dogà e Valle Cavallino sono contraddistinte da valori occasionalmente inferiori o uguali a 0. Valle Paleazza ha questi valori per tutto il mese di giugno (dal 2/06 al 2/07); Valle Perini in tre date distinte (02/06, 02/07 e 15/10); Valle Dogà in data 08/04 e successivamente, come per valle Paelazza, per tutto il mese di giugno (dal 02/06 al 02/07); infine Valle Cavallino fa registrare un solo picco negativo in data 09/03.

A seguire, analizzando i grafici inerenti alle nove valli della laguna Sud, si conclude che:

- Valle Averno, Valle A.M.A., Valle Morosina e Valle Figheri presentano nel corso di tutto l'anno dei valori positivi.
- Valle Contarina Tezze, Valle Cornio, Valle Pierimpiè, Valle Serraglia e Valle Zappa presentano invece dei valori inferiori o comunque uguali a 0.

Valle Contarina Tezze ha un picco negativo dal 18/05 al 02/06; Valle Cornio dal 02/16 al 17/06; Valle Pierimpiè ha un flesso di valori negativi che continua ininterrottamente dal 17/06 al 15/10; Valle Serraglia è quella che mantiene dei valori negativi per più tempo, dal 27/02 al 16/08; infine Valle Zappa mostra dei valori inferiori o uguali a zero dal 24/03 al 03/05.

Allo scopo di validare i dati ottenuti tramite indice NDWI, all'analisi valle per valle dell'indice è stato affiancato anche il risultato della fotointerpretazione visiva dei compositi in RGB. Prendendo in esame le valli del gruppo H si può notare che:

- C'è una grande variabilità e una grande dispersione dei valori ottenuti, ma permane ed è visibile una tendenza dettata dalla stagionalità.
- Su nove valli che contraddistinguono questo gruppo, sei non presentano mai nel corso dell'anno dei valori inferiori o uguali a 0 e si tratta di Valle Olivara, Valle Liona, Valle Fosse, Lago della Vallesina, Valle Figheri e Valle Bianca; è però da sottolineare che per le ultime tre citate si sono verificati dei periodi in cui i valori dell'indice NDWI erano prossimi allo 0: il 16/08 per il Lago della Vallesina, il 15/10 per Valle Bianca e dal 24/03 al 17/06 per Valle Figheri. (Figg.56,57 e 58).



Figura 56: A sinistra il Lago della Vallesina durante l'anno; a destra lo stesso immortalato il 16/08. Immagini realizzate con la combinazione di bande "natural color" grazie al software "QGIS"



Figura 57: A sinistra Valle Bianca durante l'anno; a destra la stessa immortalata il 15/10. Immagini realizzate con la combinazione di bande "natural color" grazie al software "QGIS"



Figura 58: A sinistra Valle Figheri durante l'anno; a destra la stessa immortalata nel periodo a cavallo tra il 24/03 e il 17/06. Immagini realizzate con la combinazione di bande "natural color" grazie al software "QGIS"

- Le restanti tre valli nelle quali viene praticata la caccia, ossia Valle Serraglia, Valle Morosina e Valle Ca' Zane, presentano, invece, dei picchi negativi a testimonianza del fatto che in queste, i laghi d'acqua dolce vengono completamente asciugati (Fig.59). In valle Ca' Zane, in assenza di laghi d'acqua dolce, i valori leggermente negativi che sono stati registrati sono da attribuire a fenomeni di bassa marea.



Figura 59: A sinistra Valle Serraglia il 17/02; a destra la stessa immortalata nel periodo a cavallo tra il 27/02 e il 16/08. Immagini realizzate con la combinazione di bande "natural color" grazie al software "QGIS"

Spostando le analisi sulle valli appartenenti al gruppo F, si può osservare che:

- Nonostante tutte e quattro le valli di questo gruppo presentino degli specchi d'acqua dolce, solamente in Valle Paleazza e in Valle Dogà sono riscontrabili degli evidenti fenomeni di asciugatura dei laghi (Fig.60 e 61).



Figura 60: A sinistra Valle Paleazza durante l'anno; a destra la stessa immortalata nel mese di giugno. Immagini realizzate con la combinazione di bande "natural color" grazie al software "QGIS"

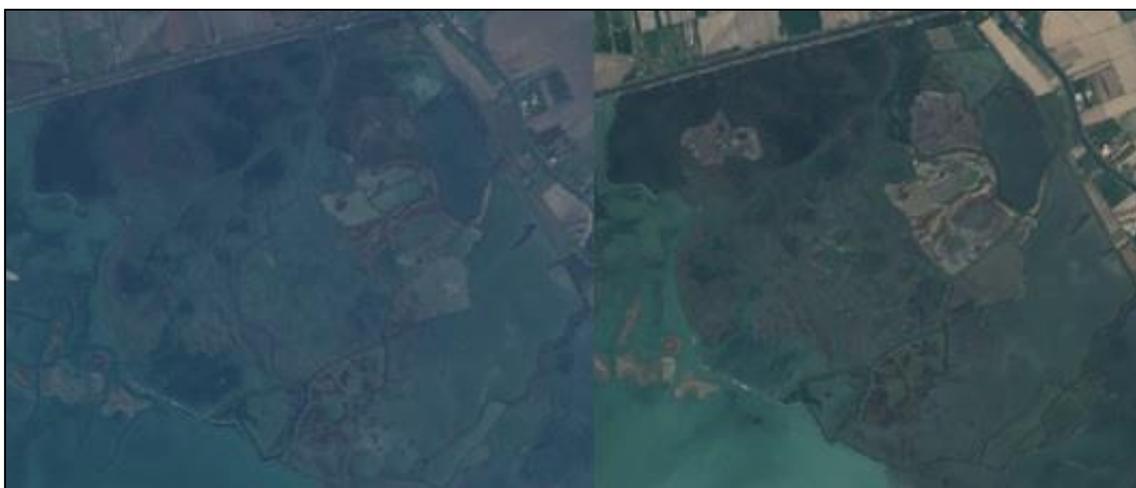


Figura 61: A sinistra Valle Dogà durante l'anno; a destra la stessa immortalata in data 08/04. Da segnalare che appare così anche per tutto il mese di giugno. Immagini realizzate con la combinazione di bande "natural color" grazie al software "QGIS"

- Valle A.M.A e Valle Grassabò mantengono un livello di copertura idrica sempre positivo nel corso di tutto l'anno, nonostante un piccolo flesso a ridosso dei mesi più caldi. In valle Grassabò è da segnalare, in seguito ad una comunicazione diretta da parte del gestore della stessa, che da metà ottobre a fine ottobre vengono abbassati i livelli idrici della valle perché viene iniziata l'attività di pesca. Questa comunicazione ha trovato conferma anche dall'analisi delle immagini RGB come visibile nella figura 62.



Figura 62: A sinistra Valle Grassabò il 15/10; a destra la stessa immortalata il 30/10. Immagini realizzate con la combinazione di bande “natural color” grazie al software “QGIS”

Passando al gruppo M si può concludere che:

- Da un attento confronto tra la figura 32 e la figura 33 risulta evidente come un’analisi volta a guardare tutte le acque superficiali, evidenzia che nel corso di tutto l’anno non vengono mai raggiunti dei valori inferiori o pari a 0. Parallelamente, osservando i risultati sui laghi d’acqua dolce, ben sei valli su sette hanno valori negativi in periodi dell’anno differenti, si tratta di Valle Contarina-Tezze, Valle Perini o Ca' Deriva, Valle Zappa, Valle Pierimpiè, Valle Cornio e Valle Cavallino (Figg. 63,64,65,66 e 67).
- Valle Dragojesolo e Valle di Lio Maggiore sono le uniche due che mantengono sempre un regime idrico positivo. Quest’ultima, inoltre, è anche l’unica a non avere specchi d’acqua dolce.
- Curiosità su Valle Cavallino: l’unico picco negativo che si registra in data 09/03 evidenzia come ci sia stato un improvviso svuotamento del lago d’acqua dolce. (Fig. 68).

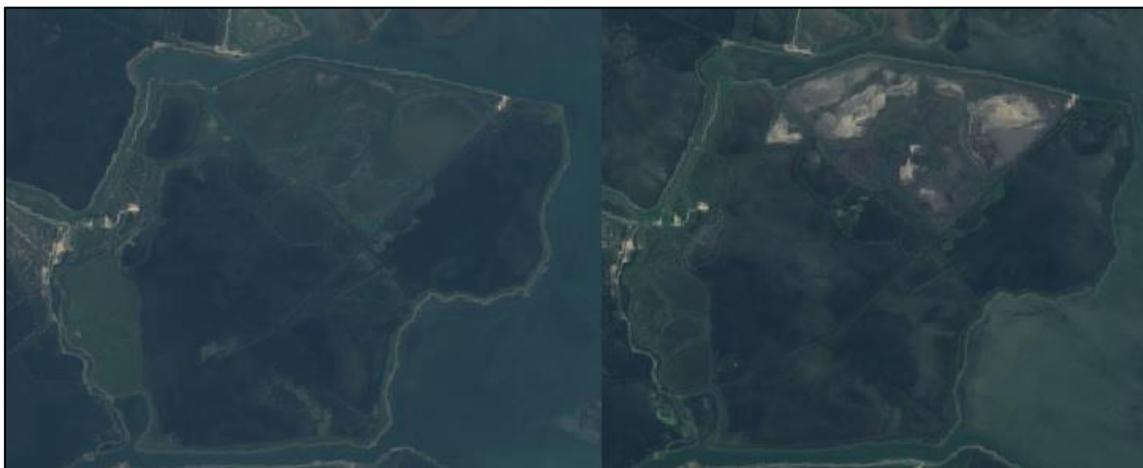


Figura 63: A sinistra Valle Contarina Tezze nel corso dell’anno; a destra la stessa immortalata tra il 18/05 e il 02/06. Immagini realizzate con la combinazione di bande “natural color” grazie al software “QGIS”



Figura 64: A sinistra Valle Perini nel corso dell'anno; a destra la stessa immortalata il 15/10. Immagini realizzate con la combinazione di bande "natural color" grazie al software "QGIS"



Figura 65: A sinistra Valle Zappa nel corso dell'anno; a destra la stessa immortalata nel periodo dal 24/03 al 03/05. Immagini realizzate con la combinazione di bande "natural color" grazie al software "QGIS"



Figura 66: A sinistra Valle Pierimpiè nel corso dell'anno; a destra la stessa immortalata nel periodo dal 17/06 al 15/10. Immagini realizzate con la combinazione di bande "natural color" grazie al software "QGIS"



Figura 67: In alto Valle Cornio nel corso dell'anno; in basso la stessa immortalata nel periodo dal 02/06 al 17/06. Immagini realizzate con la combinazione di bande "natural color" grazie al software "QGIS"



Figura 68: A sinistra il bloom algale nel mese di gennaio 2021 in Valle Cavallino; a destra la stessa immortalata in data 09/03 in cui è avvenuto lo svuotamento del lago d'acqua dolce. Immagini realizzate con la combinazione di bande "natural color" grazie al software "QGIS"

Passando quindi ad un'analisi del gruppo gestionale "R" è da constatare la presenza di valori positivi dell'indice NDWI per tutte e sei le valli che ne fanno parte, compresa Valle Averno che è l'unica ad avere uno specchio d'acqua dolce.

L'ultimo gruppo gestionale preso in esame è il gruppo "N". Delle quattro valli che ne fanno parte spiccano dei valori leggermente negativi per Valle Baseggia e La Cura a ridosso del periodo estivo: è molto probabile che questo si possa attribuire a dei fenomeni di bassa marea che insistono su superfici sottoposte a grande sedimentazione, in cui la batimetria è minima, dell'ordine dei 10-30 cm.

4. DISCUSSIONE

Questo caso di studio si proponeva di verificare i cambiamenti della copertura e dell'uso del suolo nelle valli da pesca della laguna di Venezia, sia su scala temporale decadale, sia su scala annuale, sfruttando dati da telerilevamento sia aereo, sia satellitare.

Le analisi dei dati sulle variazioni morfologiche decadali hanno confermato, in primo luogo, come la gestione orientata alla massimizzazione di un ristretto insieme di servizi ecosistemici influenzi in maniera evidente il paesaggio delle valli da pesca; infatti, si osserva come l'eterogeneità dei valori degli indicatori nelle valli dello stesso tipo gestionale diminuisca con l'avanzare del tempo.

In secondo luogo, i risultati hanno reso evidente come diversi tipi di gestione abbiano effetti differenti sul paesaggio.

Nell'arco di cinquant'anni, dal 1932 al 1987, nelle valli adibite alla pesca si è registrato un deciso aumento della superficie coperta dall'acqua ed un meno evidente, ma comunque percepibile, aumento della quantità di terre emerse, il tutto a discapito delle barene che sono costantemente diminuite fino ai giorni nostri.

Questo aumento della quantità di terra è attribuibile alla costruzione di nuove peschiere di sverno, ma anche probabilmente al minor interesse di mantenere le barene all'interno dei bacini da acquacoltura, dando la precedenza ai bacini acquei in cui ospitare pesci.

Uno stesso andamento è riscontrabile per le valli del gruppo M, dove però l'aumento della terra a discapito dell'acqua appare più evidente. Ciò si ricollega alla tendenza di questo gruppo di includere anche la caccia e servizi ecosistemici culturali, per i quali evidentemente si sfruttano edifici e strade su terreni consolidati.

Le valli adibite alla caccia hanno andamenti particolari degli elementi del paesaggio, che spiccano in particolar modo per l'oscillazione della superficie coperta da barene, ma mostrano una eterogeneità maggiore rispetto alle valli del gruppo F ed M, poiché la dispersione dei dati è costante ed elevata per tutto l'arco di tempo preso in esame.

Questo è indicativo del fatto che le decisioni personali dei gestori possono rendere diverse tra loro le singole valli, pur nell'ambito dello stesso servizio ecosistemico della caccia che richiede una tendenza generale simile.

Ponendo sguardo alle valli del gruppo R, è da sottolineare come queste, già a partire dal 1932, presentino una quantità di terre emerse decisamente superiore rispetto a quella per le valli degli altri gruppi gestionali. È possibile avanzare l'ipotesi che una valle con maggior superficie di terra emersa fosse più facilmente convertibile ad usi ricreativi, e che la gestione per la caccia abbia "semplicemente" enfatizzato questa caratteristica, senza occuparsi delle barene che quindi sono state progressivamente perse.

Considerando infine le valli non gestite, si ottiene ulteriore conferma che è la gestione ad influenzare le caratteristiche del paesaggio: infatti, per tutti gli elementi considerati si palesa un andamento simile a quello lagunare, con particolare tendenza a perdere superficie di barene.

Per questo gruppo N c'è una elevatissima dispersione dei dati che rende complessa l'interpretazione di quello che può essere successo precisamente nel corso del tempo; soprattutto, è difficile capire in che anno sia terminata la gestione di ogni singola valle e, conseguentemente, non si riesce a identificare il momento in cui è cessato totalmente il controllo del regime idraulico.

Per quanto riguarda le variazioni su scala annuale, i dati da Sentinel-2A e 2B, concessi gratuitamente dal programma Copernicus e liberamente scaricabili a fini di ricerca scientifica, sono risultati molto utili per il monitoraggio e in particolare per lo studio del regime idrico delle singole valli lagunari; potrebbero addirittura essere considerati la base per programmi di monitoraggio costanti, nel futuro.

La fotointerpretazione delle immagini composite a colori naturali ha rappresentato, infatti, un ottimo punto di partenza per il monitoraggio dello stato di aree circoscritte in ciascuna valle. Per quanto riguarda gli indici spettrali, l'indice NMI e l'indice NDMI, basati su bande NIR e SWIR, si sono rivelati non adatti alle finalità di questo lavoro. Al contrario, i risultati dell'indice NDWI, che coinvolge anche una banda nel visibile (la banda del verde), confermano che questo indice è stato applicato correttamente e risulta efficace per monitorare lo stato dei bacini idrici, anche se a bassa batimetria e confinati: è possibile distinguere, infatti, come i valori ottenuti sulle zone delle valli coperte da acqua risultino più alti, nella stessa data, rispetto a quelli inerenti alle superfici dei laghi d'acqua dolce. Anche questa osservazione ha supportato la deduzione che, pur nell'ambito di una certa eterogeneità tra le valli, ciò che determina le singole differenze sia da imputare soprattutto alla gestione idrica dei laghi d'acqua dolce che risulta legata al servizio ecosistemico su cui la valle punta maggiormente.

Questo risultato è concorde con le informazioni riguardanti le prassi empiriche e storiche sulla gestione idraulica delle valli lagunari (in parte già suggeriti in altri lavori, quale quello di Ravagnan, 1982) e, in generale, con le informazioni circa le pratiche in uso oggi per massimizzare servizi ecosistemici diversi.

Tra pesca e caccia, i due servizi ecosistemici di approvvigionamento originariamente sfruttati nelle valli da pesca, la caccia agli anatidi ha preso sempre maggior piede tra le attività praticate oggi, come testimoniato anche dalla numerosità delle valli che appartengono al gruppo H e dalle tendenze di cambiamento del paesaggio analizzate nel corso dei decenni.

La caccia è diventata particolarmente remunerativa negli ultimi due decenni, e ciò significa che per garantirsi un elevato "stock" di anatidi da poter prelevare durante l'attività venatoria, i vallicoltori hanno adottato numerose strategie per favorire l'insediamento e la sosta delle anatre nella propria valle.

Infatti, la caccia agli anatidi richiede la disponibilità di bacini di acqua dolce, con piccoli isolotti e barene a disposizione per gli animali svernanti di passo o in sosta (Arzel et al., 2006), che in inverno si concentrano facilmente in questi laghi protetti, diventando così bersagli per l'attività venatoria (Ravagnan, 1982).

Tra le diverse misure adottate per rendere l'ambiente della valle più attrattivo spiccano, soprattutto nel periodo invernale, la costruzione di varie tipologie di ripari naturali sfruttando canne di palude, giunchi e tamerici: questi ripari garantiscono protezione dal vento e dalle temperature più rigide dei mesi più freddi.

A questi interventi si aggiunge molto spesso il foraggiamento di emergenza, ossia lo spargimento sulle rive dei laghi di acqua dolce di cereali, o di mangimi a base di miglio e semi di graminacee. Una delle problematiche principali che talvolta i vari gestori delle valli devono fronteggiare come conseguenza di questi interventi è la possibilità che, a causa del mangime non consumato e della presenza di deiezioni degli animali, durante lo svernamento si accumuli una grande quantità di sostanza organica che potrebbe portare a processi di ipossia/anossia e a rischio di eutrofizzazione.

Per evitare questa problematica i proprietari delle valli possono decidere di seguire una di queste due strade: lo svuotamento completo dei laghi d'acqua dolce oppure il lavaggio di questi con acqua salata.

- 1) *Svuotamento completo dei laghi d'acqua dolce*: durante il periodo primaverile e nei primi mesi estivi, il lago soggetto a forte eutrofizzazione viene completamente liberato dall'acqua lasciando che il fondale sia esposto al calore e all'aria. Facendo così si lascia evaporare la sostanza organica rimasta che viene di conseguenza eliminata. Si procede quindi a riempire di nuovo il lago sempre con acqua dolce.
- 2) *Lavaggio dei laghi*: il lago viene liberato da un discreto quantitativo di acqua dolce ricca di nutrienti e vi si fa entrare dell'acqua salata, che funge da acqua di lavaggio e sfrutta l'attività batteriostatica e leggermente antimicrobica dell'acqua a maggiore salinità (Baird-Parker & Freame, 1967). Terminato il lavaggio si torna a riempire il lago con acqua dolce pulita (informazioni da comunicazione personale).

L'analisi del composito RGB e dell'indice NDWI, specialmente quando focalizzato nelle valli da pesca del gruppo H, ha permesso di discriminare con buona accuratezza la tecnica attuata dalle diverse valli, confermando che in alcune di esse queste pratiche storicamente note per contrastare i fenomeni di eutrofizzazione vengono applicate anche oggi.

Un effetto collaterale su cui riflettere riguardo a queste pratiche di gestione, che prevedono l'asciugatura e il "rewetting" dei laghi, è il rischio che possano innescare l'emissione di gas serra, quali diossido di carbonio e metano (Krüger et al., 2014; Sturtevant et al., 2016; Wilson et al., 2009).

L'esposizione di abbondante materia organica all'aria aperta, ricca di ossigeno, porta, infatti, al rilascio di notevoli quantità di CO₂ e CH₄ che si accumulano nell'atmosfera e contrastano di conseguenza le varie misure che la popolazione sta adottando per ridurre i gas serra che vengono rilasciati nell'atmosfera per combattere il surriscaldamento globale.

5. CONCLUSIONI

Esiste un generale consenso sul fatto che la laguna di Venezia sia una zona umida unica al mondo e per questo motivo è forte il dovere di conservarla e proteggerla in tutti i suoi aspetti. Le valli da pesca, finora poco considerate a causa del loro isolamento fisico e della "gestione privatistica", sono una importante parte dell'ecosistema lagunare e giocano un ruolo rilevante sotto diversi aspetti: la conservazione degli habitat, la protezione di elementi del paesaggio e il bilancio di servizi ecosistemici.

Sarebbe quindi opportuno e interessante studiare meglio e monitorare queste aree che ospitano e sostengono una elevata biodiversità.

Nel corso del tempo queste zone sono molto cambiate: in origine, nel XIV secolo, erano zone lagunari con alta densità di barene e apporto di acque dolci dai fiumi che sfociavano in laguna, capaci di attrarre naturalmente pesci e uccelli.

Per sfruttare più efficacemente queste zone per pesca e caccia, gli uomini hanno iniziato a trovare dei sistemi di arginatura e contenimento per gli animali, cosicché fosse più semplice allevare pesci e raccogliarli nello stesso luogo, come anche prelevare uccelli e selvaggina. Con l'instaurazione di arginature fisse, chiuse e chiaviche, il parziale isolamento ha portato queste zone a diventare sempre più indipendenti le une dalle altre, acquisendo ciascuna degli elementi e delle caratteristiche del paesaggio che dipendevano dalle traiettorie volute dai gestori, più che dalla naturale evoluzione che ci si aspetterebbe da un ecosistema di transizione. Ciò significa che la gestione mirata per un servizio ecosistemico, o per una ristretta scelta di servizi, risulta quindi determinante nel modificare gli elementi del paesaggio.

L'analisi delle foto aeree si è rivelato un metodo utile ed efficace per ricostruire le varie fasi, e getta luce sull'importanza di avere a disposizione dati geografici e immagini ad alta risoluzione per le zone costiere e lagunari.

Considerando che gli elementi di un ecosistema ne determinano la funzionalità e i processi, tenere sotto controllo questi elementi con dati presi da telerilevamento su

scale lunghe sarebbe importante per garantire che l'evoluzione non vada a minare la funzionalità ecosistemica.

In seguito alle analisi svolte per monitorare invece le modifiche su scala temporale breve, annuale, a fini di monitoraggio da telerilevamento è risultato di grande utilità l'indice NDWI calcolato su dati Sentinel-2, poiché ha aiutato ad evidenziare la quantità di acqua presente sulla superficie delle valli e la variabilità dei livelli durante l'anno 2021, sia con l'accostamento delle immagini in RGB, sia senza.

Un importante aspetto che è stato preso in esame, e rassicura circa la possibile applicabilità dell'indice NDWI a questi fini, è legato ai fenomeni meteorologici: l'analisi delle immagini RGB è stata svolta parallelamente a quella delle precipitazioni e delle temperature nei sette giorni precedenti alla data dell'acquisizione satellitare per valutare un eventuale influenza di queste sulla copertura idrica delle valli. Come riscontrabile nelle tabelle 11 e 12 presenti negli allegati, non ci sono stati fenomeni tali da influenzare i valori dell'indice NDWI.

Le analisi parallele dei valori di quest'indice con i dati meteorologici confermano che se la temperatura risulta elevata per un discreto numero di giorni e non vengono rilevate delle precipitazioni in tale intervallo di tempo, allora l'indice si abbassa. Se per alti valori dell'NDWI si trovano valori bassi di temperatura oppure se per bassi valori dell'indice si ottengono invece valori alti della stessa, allora ha senso immaginare che quello che si vede è causato da fenomeni atmosferici e dalle condizioni meteorologiche. Se così non fosse, si potrebbe concludere che queste variazioni sono causate dalla gestione idraulica della valle.

Nell'analisi svolta valle per valle, il processo di discretizzazione dei dati ha portato ad escludere parecchi casi in cui sono stati registrati dei valori positivi attorno a 0 (da 0.05 a 0.2). La realtà dei fatti è che i gestori della valle, in quei casi, possono aver optato per abbassare drasticamente il livello dell'acqua dolce nel lago, pur senza asciugarlo del tutto.

È importante comprendere che una quota dell'acqua attorno ai 20 cm, a livello di riflettanza può apparire molto diversa da una quota di 40 cm, motivo per il quale ci sono apparsi dei valori intermedi prossimi allo 0.

Come si è potuto vedere nelle analisi fatte precedentemente si può constatare che, prendendo in esame solamente le valli con specchi d'acqua dolce, nella laguna Nord in ben cinque valli su dieci i laghi vengono svuotati del tutto, o comunque i volumi idrici vengono tenuti molto bassi, per un determinato periodo di tempo.

Per quanto riguarda la laguna Sud sono invece tre valli su nove nelle quali vengono segnalate delle anomalie: valle Morosina, valle Serraglia e valle Zappa.

Questo pattern concorda con un antico sistema di gestione idraulica che ha l'obiettivo di ridurre all'osso i processi di eutrofizzazione che potrebbero rendere il lago stesso inospitale per l'avifauna che deve viverci.

Per quanto questa scuola di pensiero possa risultare efficace in termini di risultati da ottenere in brevi periodi di tempo, le problematiche associate a questa tipologia di intervento potrebbero essere notevoli, specialmente in termini di possibili emissioni di gas serra. Potrebbe essere dunque di grande interesse indagare maggiormente su questo aspetto con delle ricerche future, specialmente nell'ottica di mantenere efficiente la gestione di queste zone preziose per la biodiversità, ma potenzialmente critiche a più livelli se gestite in maniera sconsiderata.

6. BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA:

- Arzel, C., Elmberg, J., & Guillemain, M. (2006). *Ecology of spring-migrating Anatidae: A review*. In *Journal of Ornithology* (Vol. 147, Issue 2, pp. 167–184). Springer. <https://doi.org/10.1007/s10336-006-0054-8>
- Baird-Parker & Freame, (1967). *Combined Effect of Water Activity, pH and Temperature on the Growth of Clostridium botulinum from Spore and Vegetative Cell Inocula*. In: *Journal of Applied Bacteriology*, Volume30, Issue3, Pag. 420-429
- Baró, F. et al., (2016). *Mapping ecosystem service capacity, flow and demand for landscape and urban planning: A case study in the Barcelona metropolitan region*. *Land use policy*, 57, 405-417.
- Bhangale U. et al., (2020). *Analysis of Surface Water Resources Using Sentinel-2 Imagery*.
- Bullo G.S. (1940). *Le valli salse da pesca e la vallicoltura*. Venezia.
- Cataudella S. & Bronzi P. (2001). “*Acquacoltura Responsabile. Verso Le Produzioni Acquatiche Del Terzo Millennio*”. 1–42.
- Cavazzoni S. (1977). *Variazioni batimetriche e idrografiche nella Laguna di Venezia intercorse tra il 1933 ed il 1971*. In: *Istituto Veneto Scienze Lettere ed Arti, Rapporti e studi*. Vol. VII
- Cavazzoni S. (1984). *Valutazione del trasporto solido e della modificazione dei fondali dei canali della laguna di Venezia sulla base dei valori di velocità di corrente*. In: *Commissione di studio, Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti, Venezia*.
- Cavazzoni S. (1995). *La Laguna: origine ed evoluzione*. In: *La laguna di Venezia*”, CIERRE Edizioni, Verona.
- Costanza, R., D’Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O’Neill, R. v., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P., & van den Belt, M. (1997). *The value of the world’s ecosystem services and natural capital*. *Nature*, 387(6630), 253–260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>
- Cristiano, S., & Gonella, F. (2020). ‘*Kill Venice*’: a systems thinking conceptualisation of urban life, economy, and resilience in tourist cities. *Humanities and Social Sciences Communications* 2020 7:1, 7(1), 1–13. <https://doi.org/10.1057/s41599-020-00640-6>
- D’Alpaos L. (2010). “*Fatti e misfatti di idraulica lagunare. La laguna di Venezia dalla diversione dei fiumi alle nuove opere alle bocche di porto*”. In: *Istituto veneto di scienze, lettere e arti, Venezia*

- Franzoi P. et al., (2002). *Vallicoltura e pesca del pesce novello*. In: Pesci, molluschi e crostacei della laguna di Venezia, risorse ittiche e ambiente lagunare tra storia e innovazione Provincia di Venezia. Assessorato alla Caccia, Pesca e Polizia Provinciale. Cicero Venezia.
- Granzotto A. et al. (2001). *La pesca nella laguna di Venezia: un percorso di sostenibilità nel recupero delle tradizioni. Lo stato dell'arte*. Fondazione Eni Enrico Mattei.
- Krüger, J. P., Beckedahl, H., Gerold, G., & Jungkunst, H. F. (2014). *Greenhouse gas emission peaks following natural rewetting of two wetlands in the southern Ukhahlamba-Drakensberg Park, South Africa*. [Http://Dx.Doi.Org/10.1080/03736245.2013.847798](http://Dx.Doi.Org/10.1080/03736245.2013.847798), 96(2), 113–118. <https://doi.org/10.1080/03736245.2013.847798>
- Liu, J., Dietz, T., Carpenter, S. R., Alberti, M., Folke, C., Moran, E., Pell, A. N., Deadman, P., Kratz, T., Lubchenco, J., Ostrom, E., Ouyang, Z., Provencher, W., Redman, C. L., Schneider, S. H., & Taylor, W. W. (2007). *Complexity of coupled human and natural systems*. In *Science* (Vol. 317, Issue 5844, pp. 1513–1516). American Association for the Advancement of Science. <https://doi.org/10.1126/science.1144004>
- Madricardo L. et al., (2018). *Geomorphology of scour holes at tidal channel confluences*. In: *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 123(6), pag. 1386-1406.
- McGinnis, M. D., & Ostrom, E. (2014). *Social-ecological system framework: initial changes and continuing challenges*. *Ecology and Society*, Published Online: May 20, 2014 | Doi:10.5751/ES-06387-190230, 19(2). <https://doi.org/10.5751/ES-06387-190230>
- MEA. (2005). MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (PROGRAM). (2005). *Ecosystems and human well-being*.
- Molinaroli E. et al. (2019). *The effects of ship wakes in the Venice Lagoon and implications for the sustainability of shipping in coastal waters*. In: Report scientifico.
- Newton, A., Icely, J., Cristina, S., Brito, A., Cardoso, A. C., Colijn, F., Riva, S. D., Gertz, F., Hansen, J. W., Holmer, M., Ivanova, K., Leppäkoski, E., Canu, D. M., Mocenni, C., Mudge, S., Murray, N., Pejrup, M., Razinkovas, A., Reizopoulou, S., ... Zaldívar, J. M. (2014). *An overview of ecological status, vulnerability and future perspectives of European large shallow, semi-enclosed coastal systems, lagoons and transitional waters*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 140, 95–122. <https://doi.org/10.1016/J.ECSS.2013.05.023>
- Ostrom, E. (2009). *A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems*. *Science*, 325(5939), 419–422. https://doi.org/10.1126/SCIENCE.1172133/SUPPL_FILE/OSTROM.SOM.PDF

- Pueyo-Ros, J. (2018). *The role of tourism in the ecosystem services framework*. Land, 7(3), 111.
- Ravagnan, G. (1982). *Vallicoltura moderna. Proposte operative per la ristrutturazione e lo sviluppo della itticoltura salmastra italiana*. Edagricole. <https://www.libreriauniversitaria.it/vallicoltura-moderna-proposte-operative-ristrutturazione/libro/9788820617769>
- Ronchi, S. (2021). *Ecosystem services for planning: A generic recommendation or a real framework? insights from a literature review*. Sustainability, 13(12), 6595.
- Solidoro, C., Bandelj, V., Bernardi, F. A., Camatti, E., Ciavatta, S., Cossarini, G., Facca, C., Franzoi, P., Libralato, S., Canu, D. M., Pastres, R., Pranovi, F., Raicevich, S., Socal, G., Sfriso, A., Sigovini, M., Tagliapietra, D., & Torricelli, P. (2010). *Response of the Venice Lagoon ecosystem to natural and anthropogenic pressures over the last 50 years*. Coastal Lagoons: Critical Habitats of Environmental Change, January, 483–511. <https://doi.org/10.1201/EBK1420088304>
- Sturtevant, C., Ruddell, B. L., Knox, S. H., Verfaillie, J., Matthes, J. H., Oikawa, P. Y., & Baldocchi, D. (2016). *Identifying scale-emergent, nonlinear, asynchronous processes of wetland methane exchange*. Journal of Geophysical Research: Biogeosciences, 121(1), 188–204. <https://doi.org/10.1002/2015JG003054>
- T. Fortibuoni et al., (2014). *The progressive deregulation of fishery management in the Venetian Lagoon after the fall of the Repubblica Serenissima: food for thought on sustainability*. ISPRA – Italian National Institute for Environmental Protection and Research, 42-55.
- Taloor A. et al. (2021). *Retrieval of land surface temperature, normalized difference moisture index, normalized difference water index of the Ravi basin using Landsat data*. Volume 9, Dipartimento di Remote Sensing e GIS, Università di Jammu, India. Elsevier
- Tantillo I. et al. (2015). *Cassiodoro varie*. Libro XII, L'Erma di Bretschneider editore.
- Umgiesser G. et al., (2004). *A finite element model for the Venice Lagoon. Development, set up, calibration and validation*. In: Journal of Marine Systems Volume 51, Pag. 123-145, Istituto di Scienze Marine, ISMAR-CNR, Elsevier.
- Van der Borg, J. (2014). *Tourism and Urban Development: The Case of Venice, Italy*. [Http://Dx.Doi.Org/10.1080/02508281.1992.11014649](http://Dx.Doi.Org/10.1080/02508281.1992.11014649), 17(2), 46–56. <https://doi.org/10.1080/02508281.1992.11014649>
- Wilson, D., Alm, J., Laine, J., Byrne, K. A., Farrell, E. P., & Tuittila, E. S. (2009). *Rewetting of Cutaway Peatlands: Are We Re-Creating Hot Spots of*

Methane Emissions? Restoration Ecology, 17(6), 796–806.
<https://doi.org/10.1111/J.1526-100X.2008.00416.X>

- Zille G.G. (1955). *Morfologia della laguna*. In “Monografia della Laguna”, Vol. I, Parte II, Tomo II, Venezia.
- Zonta R. et al., (2018). *Sediment texture and metal contamination in the Venice Lagoon (Italy): A snapshot before the installation of the MOSE system*. In: Estuarine, Coastal and Shelf Science, Volume 205, Pag.131-151, Istituto di Scienze Marine, ISMAR-CNR, Elsevier.

SITOGRAFIA:

- <https://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/acqua/acque-di-transizione/laguna-di-venez>
- <https://www.reteclima.it/pagamento-dei-servizi-ecosistemici-ed-ambientali-psea/>
- http://www.istitutoveneto.org/venezia/divulgazione/pirelli/pirelli_2005_it/Banca_Dati_Ambientale/192.168.10.66/pirelli_new/divulgazione/valli/valli_pesca.html#1
- <https://www.veneziainvela.com/it/articoli/morfologia-dellambiente-lagunare/>
- <https://eos.com/>

7. ALLEGATI

Valori medi indice NMI

VALLE	08/01/2021	17/02/2021	27/02/2021	09/03/2021	24/03/2021
Valle Grassabò	0.599765463	0.539805703	0.31931847	0.474658419	0.515021097
Valle Cornio	0.36947522	0.348519299	0.210375267	0.289268461	0.298375173
Valle Liona	0.487367218	0.471598794	0.277668286	0.445196769	0.381793917
Valle Paleazza	0.524545478	0.457087117	0.319345333	0.424374442	0.416938583
Valle Fosse	0.589377555	0.524048194	0.369124626	0.47499718	0.480945474
Valle Zappa	0.544580571	0.474646481	0.31541326	0.435274783	0.122538846
Valle Serraglia	0.428794972	0.383955651	0.199978833	0.047754021	0.002675081
Valle Averno	0.441924401	0.449057391	0.320919564	0.420679701	0.456713847
Lago della Vallesina	0.600692132	0.520485906	0.349314209	0.503623261	0.535186692
Valle AMA	0.28684285	0.269753735	0.258717868	0.260033501	0.166464589
Valle Pierimpiè	0.353520647	0.324051861	0.203932997	0.2861931	0.283052748
Valle Dogà	0.420344347	0.342512012	0.240061221	0.263235724	0.249009066
Valle Perini o Ca' Deriva	0.330132617	0.294604196	0.181438796	0.231313596	0.208727856
Valle Figheri	0.451889536	0.39057859	0.240012998	0.342231091	0.308042983
Valle Morosina	0.471856843	0.42463699	0.247910018	0.268671124	0.381401569
Valle Cavallino	0.488645508	0.424572149	0.330863477	0.235113238	0.312024669
Valle Dragojesolo	0.564554339	0.468950449	0.355485825	0.413711113	0.361480229
Valle Bianca	0.45893788	0.42163753	0.279884029	0.336347692	0.304757554
Valle Contarina-Tezze	0.451139868	0.365423302	0.237752543	0.331974918	0.352921619

Tabella 7: Valori medi indice NMI per ciascuna valle nelle 5 date che coprono i mesi di gennaio, febbraio e marzo

VALLE	08/04/2021	03/05/2021	18/05/2021	02/06/2021	17/06/2021
Valle Grassabò	0.54888597	0.579921299	0.497493763	0.266386917	0.530368735
Valle Cornio	0.29761751	0.412330574	0.39847041	0.315940154	0.318752904
Valle Liona	0.383229607	0.400045722	0.397157754	0.296552233	0.437997487
Valle Paleazza	0.404735767	0.49145621	0.471613245	0.316893605	0.181880178
Valle Fosse	0.500089663	0.510791662	0.526129592	0.285432745	0.484049914
Valle Zappa	0.079772666	0.194048122	0.464216814	0.305209461	0.358592156
Valle Serraglia	-0.01341025	0.067937674	0.100664634	0.104732933	0.258424616
Valle Averno	0.43798281	0.58865207	0.416628623	0.414403316	0.407836492
Lago della Vallesina	0.531619552	0.533098862	0.452151393	0.326868706	0.494938822
Valle AMA	0.30895924	0.318580099	0.394699303	0.353185486	0.378311398
Valle Pierimpiè	0.292362272	0.433399997	0.428899047	0.40518845	0.435951897
Valle Dogà	0.225593634	0.325888897	0.351327938	0.287406053	0.312997049
Valle Perini o Ca' Deriva	0.214930258	0.316319744	0.314880766	0.293101421	0.336289721
Valle Figheri	0.300724923	0.395706245	0.395067795	0.33277503	0.356194948
Valle Morosina	0.372894797	0.437572389	0.436542904	0.376101129	0.424861688
Valle Cavallino	0.375316871	0.426206464	0.381513209	0.356518227	0.374293171
Valle Dragojesolo	0.389284705	0.450852823	0.452366202	0.316702679	0.369427074
Valle Bianca	0.346440362	0.347970762	0.340544739	0.237760241	0.304760929
Valle Contarina-Tezze	0.35883921	0.316178522	0.215217027	0.239646107	0.31676583

Tabella 8: Valori medi indice NMI per ciascuna valle nelle 5 date che coprono i mesi di aprile, maggio e giugno

VALLE	02/07/2021	16/08/2021	10/09/2012	15/10/2021
Valle Grassabò	0.535162823	0.356121535	0.551323237	0.278149491
Valle Cornio	0.410083603	0.388827181	0.473604224	0.329609285
Valle Liona	0.375684814	0.332324109	0.398590073	0.274362206
Valle Paleazza	0.136724791	0.393886574	0.482214054	0.405592386
Valle Fosse	0.516013939	0.313604888	0.579107262	0.401115484
Valle Zappa	0.549165729	0.429250577	0.559162134	0.34433418
Valle Serraglia	0.466967583	0.383750466	0.432925634	0.322178759
Valle Averno	0.599897952	0.460500291	0.567910647	0.315852591
Lago della Vallesina	0.538705777	0.390606169	0.528013107	0.40835813
Valle AMA	0.343101413	0.327823862	0.2843283	0.290453368
Valle Pierimpiè	0.465101731	0.378017515	0.437961436	0.296665574
Valle Dogà	0.382143244	0.387032428	0.456417585	0.309980162
Valle Perini o Ca' Deriva	0.339678717	0.330725994	0.374686632	0.24251538
Valle Figheri	0.434650502	0.389906421	0.482957055	0.305634233
Valle Morosina	0.506803653	0.43350979	0.516521611	0.269572023
Valle Cavallino	0.499383828	0.365306175	0.50173667	0.375719988
Valle Dragojesolo	0.506112811	0.333934691	0.533866145	0.329555992
Valle Bianca	0.307316694	0.311252548	0.367393357	0.377035086
Valle Contarina-Tezze	0.467644539	0.403026159	0.512202191	0.347361572

Tabella 9: Valori medi indice NMI per ciascuna valle nelle 4 date che coprono i mesi da luglio ad ottobre

VALLE	30/10/2021	04/11/2021	24/11/2021	08/01/2022
Valle Grassabò	0.565207917	0.528340931	0.58558602	0.617137001
Valle Cornio	0.450448167	0.41256302	0.394957525	0.383786651
Valle Liona	0.439312297	0.355236509	0.403559832	0.418441703
Valle Paleazza	0.496466616	0.514253738	0.482066079	0.478396357
Valle Fosse	0.589704361	0.574182967	0.581829183	0.572949523
Valle Zappa	0.532869131	0.493061152	0.493419076	0.544571062
Valle Serraglia	0.410179316	0.372636348	0.381679612	0.42517408
Valle Averno	0.492075555	0.462506613	0.486475688	0.516050837
Lago della Vallesina	0.53188401	0.527343051	0.549405983	0.525276541
Valle AMA	0.277574606	0.37868135	0.408721776	0.17863114
Valle Pierimpiè	0.406482915	0.395216287	0.359145385	0.371856898
Valle Dogà	0.413994497	0.402029971	0.392938751	0.37015071
Valle Perini o Ca' Deriva	0.339073245	0.323709721	0.30621421	0.30622744
Valle Figheri	0.458151356	0.396948407	0.412492948	0.454954268
Valle Morosina	0.484197263	0.467687994	0.4688793	0.507233939
Valle Cavallino	0.472174975	0.497359664	0.504862625	0.470533994
Valle Dragojesolo	0.529555278	0.541026421	0.553207959	0.514942692
Valle Bianca	0.430451399	0.450244804	0.448621966	0.410625484
Valle Contarina-Tezze	0.473840727	0.454898323	0.425048865	0.423262349

Tabella 10: Valori medi indice NMI per ciascuna valle nelle 4 date che coprono i mesi da ottobre a gennaio 2022

Giorno	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
1	8.8				14.2		0.8				29.8	0.2
2	4.4						0.4	3.4				11.4
3		0.4			0.8		0.2				2.6	
4	2.4						42.4				1	
5	13.4									7		1.6
6			3.8	7.2		11.2				6.2		
7		1.2								0.6		
8		0.6									0.6	23.4
9		3.4										1.4
10		13				2						
11		0.8		20	6.8							
12				25.4	5.6							
13				6.6	9		0.2				3.8	
14			0.2		0.4						5.6	
15				1.6								
16					3		1	2	1.6		2.2	
17					6.6				5			
18			2.6		0.4	0.2						
19			1.2		4.2				0.6			
20												
21	0.2											0.6
22	6.6				0.2		3.8				5.4	
23	3.2							3.6			0.2	
24		0.2			27.6							
25					0.4						3.4	7.8
26									3.8		11	0.4
27				0.4			4.2	3.6			4.2	0.2
28							0.2				4.6	0.2
29				6.6		0.6		0.4				
30	3.4							10.2				
31	15.8				1							0.2

Tabella 11: andamento delle precipitazioni nella Città di Venezia e dintorni nel corso di tutto l'anno 2021. I valori sono espressi in mm/h di pioggia caduta. La stazione di rilevamento è l'Istituto Cavanis di Venezia

Giorno	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
1	5.5	5.7	9.8	15.9	16.4	19.4	24.6	24.3	21.1	17.9	11.9	5.7
2	6.6	7.2	10.3	15.4	16.3	19.8	24.1	22	21.1	17.5	12.3	6.5
3	7	6.4	9.7	13.6	13.6	20.9	25.1	23.3	21.1	19.7	12.7	7.2
4	6.1	7.4	8.9	11.6	14.8	22.2	22.3	23.9	21.3	20.8	13.4	5.1
5	5.5	8.6	10	10.8	15.8	23.3	23.5	23.9	22.2	20.6	11.9	5.3
6	4.9	8.8	7.2	7.6	13.5	20.7	25.1	23.8	22.6	17.3	11.7	7
7	2.3	9.9	6.3	7.8	16.1	22	26.6	25	22.4	15.7	10.9	5.1
8	4.3	9.3	7.2	8.3	15.1	23.9	26.8	25.6	21.7	16.2	10.4	3.7
9	3.6	9	8	10	16.7	25.1	24.3	25.1	21.2	14.7	10.6	5.3
10	3.9	9.3	8.7	11.8	17.3	24.1	26.8	26.2	20.8	12.9	11.8	5.1
11	3	7.1	8.6	10.1	17.6	23.3	27.5	27.9	21.1	14	12.3	5.9
12	1.4	1.9	9.2	11.3	15.5	24.5	26.6	27.4	22.7	13.5	11.6	5.4
13	2.6	0.5	9.4	7.9	15.1	24.4	25.9	28.1	23	13.6	11.4	6.4
14	4.9	3.2	7.7	9.4	15.4	23.3	23.6	28.3	23.3	12.7	12.4	6.4
15	4.7	2.8	6.5	9.2	15.5	23.4	23.3	28.2	22.7	12.3	12.2	6.8
16	3.3	3.7	9.8	9.8	16.3	24.7	21.8	25.8	21.6	14.6	11.1	7.1
17	2.2	5.6	9.5	10.9	15.9	25.7	23.8	24	21.5	14.3	11.4	4.2
18	2.2	7.6	7.7	11.2	16.6	24.7	25.7	23	21	13.6	11.5	3.7
19	2	8.3	6.7	11.9	13.9	25.6	27	23.5	19.9	13.8	10.1	1
20	3	9.3	6.3	12.4	16.5	26.7	25.4	24.2	19.1	14.3	8.7	4.2
21	4.6	10	5.8	13	17.4	27	25.3	25.2	18.5	14.1	7.5	5
22	7.2	8.9	8.6	13.1	17.6	26.3	24.8	25.4	18.4	14.5	10	4.9
23	7.4	7.3	9.9	14.5	17.5	26.5	25	22.1	18.2	14.3	10.5	2.8
24	5.5	12	9.7	15.3	14.1	27.1	25.7	22.9	19.4	12.9	7.6	3.8
25	4.2	14	10	15.9	16.1	24.7	25.7	22.2	19.8	11.9	6.2	5.2
26	4.6	11.5	11	14	16.6	25.2	24.9	21.4	20	12.4	8	5.6
27	3	12	11.9	12.4	17.7	26.4	23.2	19.1	19.1	13.5	9.8	6.7
28	2.5	9.2	12.5	13.7	18.2	26.5	23.9	19.3	20.7	12.7	7.9	7.2
29	3.1		12.5	14.7	18.7	26.5	25.6	19.2	21.3	11.9	6.1	7
30	4.3		14.7	16.3	18.3	25.4	26.4	18.7	19.5	12	5.5	4.3
31	6.3		16.5		18.1		26.1	19.7		12.5		2.9

Tabella 12: andamento delle temperature dell'aria nella Città di Venezia nel corso di tutto l'anno 2021. I valori sono espressi in °C e riportano le temperature a 2m dal suolo. La stazione di rilevamento è l'Istituto Cavanis di Venezia

Valori medi indice NDWI

VALLE	08/01/2021	17/02/2021	27/02/2021	09/03/2021	24/03/2021
Valle Grassabò	0.503730791	0.430832841	0.328248395	0.4250539	0.537316082
Valle Cornio	0.281786184	0.248702595	0.165476103	0.224775468	0.221552393
Valle Liona	0.557917709	0.435293906	0.321622093	0.341615963	0.461523797
Valle Paleazza	0.252492578	0.229921818	0.138480842	0.164028167	0.189339197
Valle Fosse	0.362903078	0.231511151	0.190521596	0.287762799	0.352743416
Valle Zappa	0.323093957	0.321529388	0.218407333	0.206224444	-0.01389559
Valle Serraglia	0.227595793	0.1649677	-0.02007841	-0.06817062	-0.08456561
Valle Averno	0.44473554	0.341390286	0.161435217	0.249291928	0.331189217
Lago della Vallesina	0.372106699	0.437434031	0.338573163	0.339546744	0.421231815
Valle AMA	0.566165754	0.454119551	0.237016443	0.256504245	0.482077119
Valle Pierimpì	0.086490682	0.179670594	0.102616777	0.154971799	0.197345179
Valle Dogà	0.160718924	0.14834768	0.055676117	0.06046422	0.033391683
Valle Perini o Ca' Deriva	0.225111204	0.163056302	0.056076675	0.076815498	0.116066827
Valle Figheri	0.270872387	0.253632202	0.181461614	0.218352366	0.093882922
Valle Morosina	0.268251255	0.234742731	0.130247126	0.132022357	0.191350917
Valle Cavallino	0.277127607	0.272251245	0.181179283	-0.03625586	0.344821045
Valle Dragojesolo	0.276236388	0.245417242	0.183801697	0.285259254	0.397651498
Valle Bianca	0.354109441	0.316803886	0.267270609	0.335553402	0.415215787
Valle Contarina-Tezze	0.199608641	0.207928343	0.135159664	0.153284436	0.201958186

Tabella 13: Valori medi indice NDWI per ciascuna valle nelle 5 date che coprono i mesi di gennaio, febbraio e marzo

VALLE	08/04/2021	03/05/2021	18/05/2021	02/06/2021	17/06/2021
Valle Grassabò	0.498428798	0.497211916	0.497317195	0.271799181	0.403331036
Valle Cornio	0.126173565	0.102809685	0.096209157	-0.00046093	-0.00146881
Valle Liona	0.540005695	0.548883283	0.546950347	0.341743814	0.433792341
Valle Paleazza	0.087000011	0.062422317	0.027645113	-0.02742134	-0.01109568
Valle Fosse	0.398423688	0.440409368	0.456458705	0.242655791	0.364492991
Valle Zappa	-0.01632279	-0.0145875	0.199694777	0.187935039	0.219530681
Valle Serraglia	-0.12347175	-0.1447089	-0.13519818	-0.16816044	-0.12542582
Valle Averno	0.28468644	0.222166218	0.272788731	0.149047549	0.164275385
Lago della Vallesina	0.43225205	0.43663081	0.424825012	0.30792099	0.395247803
Valle AMA	0.390662953	0.329698575	0.275762336	0.241573765	0.194727376
Valle Pierimpì	0.15376374	0.121400918	0.087151225	0.037385148	-0.02380271
Valle Dogà	-0.0386122	0.005748134	0.014714674	-0.02529452	-0.06776372
Valle Perini o Ca' Deriva	0.097162236	0.060674754	0.061402756	-0.0348448	0.009099423
Valle Figheri	0.068361525	0.04223892	0.064082215	0.032395584	0.09890003
Valle Morosina	0.18791498	0.203742584	0.180481235	0.140395386	0.11879358
Valle Cavallino	0.318968265	0.322638049	0.23974618	0.172607768	0.15334647
Valle Dragojesolo	0.444130556	0.403738895	0.417720148	0.246238829	0.286522182
Valle Bianca	0.396865617	0.358469099	0.347197429	0.206462332	0.223422198
Valle Contarina-Tezze	0.179498936	0.022333829	-0.00281418	-0.00945528	0.031137843

Tabella 14: Valori medi indice NDWI per ciascuna valle nelle 5 date che coprono i mesi di aprile, maggio e giugno

VALLE	02/07/2021	16/08/2021	10/09/2021	15/10/2021
Valle Grassabò	0.436654857	0.248609818	0.372924221	0.264666771
Valle Cornio	0.002612571	0.070890039	0.11894168	0.090526017
Valle Liona	0.494755098	0.373461535	0.479905819	0.455412342
Valle Paleazza	-0.01881181	0.11289051	0.148733761	0.159232311
Valle Fosse	0.370800019	0.106665476	0.183739254	0.168737941
Valle Zappa	0.261713068	0.22932006	0.248583639	0.19832419
Valle Serraglia	-0.06585999	-0.01318143	0.047948984	0.040661932
Valle Averno	0.225054062	0.147429822	0.219214438	0.239292217
Lago della Vallesina	0.418358315	0.19021774	0.225261685	0.217121591
Valle AMA	0.261509584	0.211439882	0.245433948	0.361527026
Valle Pierimpiè	-0.0297131	-0.06117043	-0.02225179	-0.01721548
Valle Dogà	-0.05671663	0.006091807	0.02781561	0.026735798
Valle Perini o Ca' Deriva	-0.00664465	0.000563433	0.007872961	-0.00534828
Valle Figheri	0.154033546	0.144078301	0.171645625	0.146111965
Valle Morosina	0.137325296	0.047357952	0.107250276	0.047320487
Valle Cavallino	0.274046501	0.164506929	0.197060747	0.157095852
Valle Dragojesolo	0.37098273	0.160974186	0.23055457	0.114944359
Valle Bianca	0.231412845	0.155073922	0.12833203	0.069698397
Valle Contarina-Tezze	0.136808955	0.133544065	0.113010247	0.061420938

Tabella 15: Valori medi indice NDWI per ciascuna valle nelle 4 date che coprono i mesi da luglio ad ottobre

VALLE	30/10/2021	04/11/2021	24/11/2021	08/01/2022
Valle Grassabò	0.412035358	0.468873812	0.47256258	0.501717762
Valle Cornio	0.180029958	0.190993397	0.205250677	0.257556194
Valle Liona	0.494625633	0.599024448	0.566254627	0.566714178
Valle Paleazza	0.207115428	0.192492382	0.2246315	0.239067847
Valle Fosse	0.231884102	0.275589874	0.285498863	0.35738768
Valle Zappa	0.289854979	0.316656781	0.345568338	0.341683724
Valle Serraglia	0.10813716	0.134690634	0.161158863	0.194427039
Valle Averno	0.31063527	0.351236516	0.335381323	0.384865485
Lago della Vallesina	0.306387683	0.353404421	0.385152645	0.468894012
Valle AMA	0.268621153	0.449571805	0.454172131	0.4709306
Valle Pierimpiè	0.052434475	0.041361807	0.05789097	0.107812719
Valle Dogà	0.106334352	0.121269752	0.14454298	0.179385217
Valle Perini o Ca' Deriva	0.075073162	0.112837126	0.128846445	0.195777327
Valle Figheri	0.231345934	0.268288121	0.259582102	0.252070107
Valle Morosina	0.186917738	0.212885245	0.224564785	0.21997094
Valle Cavallino	0.235775331	0.211994555	0.211846544	0.238006464
Valle Dragojesolo	0.244723212	0.250932499	0.249262423	0.291607868
Valle Bianca	0.151353112	0.153837561	0.168573094	0.254043839
Valle Contarina-Tezze	0.114571782	0.130421415	0.132973909	0.194895753

Tabella 16: Valori medi indice NDWI per ciascuna valle nelle 4 date che coprono i mesi di ottobre, novembre e gennaio 2022 (in sostituzione al mese di dicembre)