

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA



DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE
CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA CIVILE IDRAULICA

Tesi di laurea Magistrale in Ingegneria Civile

**Evoluzione temporale delle reti di canali a marea nella
Laguna di Venezia**

Relatore: Ch.mo Prof. Ing. Stefano Lanzoni

Laureando: Marco Rado

Matricola: 1019976

Anno Accademico 2013-2014

Indice

1	Introduzione	1
2	Caratteristiche dell'area lagunare	4
2.1	Tipologie di ambienti lagunari	4
2.2	Storia e geografia della Laguna di Venezia	7
2.3	Analisi zone oggetto di studio	10
2.3.1	Casse di colmata	10
2.3.2	Palude di Pagliaga	16
2.3.3	Area barenicola delle ex saline di San Felice	18
3	Georeferenziazione	19
3.1	Archivio fotografico	19
3.2	Fondamenti e problemi della georeferenziazione	23
3.2.1	Georeferenziazione: definizione	23
3.2.2	Georeferenziazione: introduzione ai software di tipo Gis e procedura	25
3.3	ArcMap, ArcCatalog e modello vettoriale	39
3.3.1	ArcCatalog	43
3.3.2	ArcMap	45
4	Evoluzione delle reti di canali a marea e delle barene nella laguna di Venezia	48
4.1	Casse di Colmata di Marghera	49

4.1.1	Georeferenziazione delle foto aeree	49
4.1.2	Reti a marea analizzate	52
4.1.3	Analisi delle singole reti di canali a marea	55
4.1.3.1	<i>ZONA 1: Canale Avesa</i>	57
4.1.3.2	<i>ZONE 2-3: reti di canali a marea all'interno e all'esterno della cassa B</i>	65
4.1.3.3	<i>ZONA 4: Limite nord-occidentale delle casse DE</i>	75
4.1.3.4	<i>ZONE 5-6: Reti di canali a marea fuori dalla cassa DE</i>	81
4.1.3.5	<i>ZONA 7: Rete di canali in una zona interna alla laguna</i>	91
4.1.4	Conclusioni	94
4.2	Palude di Pagliaga	95
4.2.1	Georeferenziazione delle foto aeree	95
4.2.2	Aree analizzate	97
4.2.3	Analisi delle singole aree di Pagliaga	99
4.2.3.1	<i>ZONA A</i>	99
4.2.3.2	<i>ZONA B</i>	106
4.2.3.3	<i>ZONA C</i>	112
4.2.3.4	<i>ZONA D</i>	117
4.2.3.5	<i>ZONA E</i>	125
4.2.4	Conclusioni	132

4.3	Ex saline di San Felice	133
	4.3.1 Georeferenziazione delle foto aeree	135
	4.3.2 Aree analizzate	136
	4.3.2.1. AREA NORD	136
	4.3.2.2. AREA SUD	139
	4.3.3 Conclusioni	142
5	Analisi comportamentale di barene e canali nelle Paludi di Pagliaga	144
	5.1 Erosione e deposito delle barene	145
	5.2 Analisi delle modifiche planimetriche di alcuni canali	163
	5.2.1 Selezione dei canali	164

1 Introduzione



Fig. 1.1. Immagine aerea della Laguna di Venezia. Isola di Sant'Erasmus

Il presente lavoro di tesi ha come scopo principale l'analisi morfologica delle reti di canali a marea presenti all'interno della laguna di Venezia e il loro sviluppo nel corso del tempo, con particolare attenzione a tutti quei cambiamenti che ne possono interessare l'andamento planimetrico, quali per esempio la mobilità dei meandri che caratterizzano i canali stessi ed eventuali fenomeni evolutivi a essi associati, come per esempio il taglio di meandro (cut-off).

Il meandro riveste, in termini di studio di strutture morfologiche presenti in ambienti a marea o fluviali, notevole importanza per gli scienziati, in quanto praticamente onnipresente in natura: da zone sedimentarie di tipo roccioso o sabbioso, a strutture rocciose incise e, come nel caso analizzato, anche nelle barene e nelle velme lagunari. Sono state scoperte e osservate tracce di canali con andamento meandriforme persino alla base delle piattaforme continentali e, grazie alle sonde spaziali Viking, sulla superficie di Marte.

Il termine “meandro”, o in greco *Μαιανδρος*, prende origine dall’omonimo fiume che attraversa l’odierna Turchia, che fu descritto per la prima volta dallo scrittore Senofonte nella famosa *Anabasi*, opera che tratta della marcia compiuta dai diecimila mercenari greci che, dopo la sconfitta e la morte di Ciro il giovane nella battaglia di Cunassa, contro il fratello Artaserse II, riuscirono a raggiungere il Mar Nero, attraverso deserti e montagne medio orientali, e a ritornare nell’agognata patria. La struttura del fiume colpì lo scrittore, in particolare per la sua sinuosità che ricordava moltissimo, ai suoi occhi, il complicato intrico di spire di un serpente.

La prima zona oggetto di analisi nel presente lavoro è situata nella parte meridionale della laguna e include le Casse di Colmata che avrebbero dovuto costituire la base del terzo polo industriale, a sud di Marghera, mai realizzato a causa della forte opposizione popolare alla costruzione e per disposizioni legislative atte a tutelare la laguna stessa. La seconda zona, localizzata invece nella zona nord-ovest, è un insieme di barene meglio note come “Palude di Pagliaga”, immediatamente adiacente all’aeroporto Marco Polo. Le due aree sono state studiate perché presentano delle interessanti diversità pur essendo entrambe un tipico ambiente a marea: infatti, mentre le Casse di Colmata hanno subito notevoli interventi di scavo e costruzione, durante gli anni ‘60 e nei primissimi anni ‘70, con interventi di ripristino e nuovi scavi di canali per diminuire l’impatto sulla laguna delle casse stesse, che si sono protratti fino ai primi anni del XXI secolo, determinando un ambiente a marea fortemente antropizzato, la Palude di Pagliaga non è stata oggetto di interventi da parte dell’uomo, perché la costruzione dell’aeroporto di Tessera non l’ha interessata, e le reti di canali a marea ivi presenti sono state influenzate solamente dai fenomeni di trasformazione morfodinamica tipici degli ambienti lagunari, quali l’azione delle maree e del vento, sia per quanto concerne la generazione di moti ondosi che per fenomeni erosivi, lo sviluppo di vegetazione alofila e il trasporto di sedimenti.

Introduzione

Entrambe le aree presentano fitte reti di canali a marea, che sono state studiate e visionate tramite un software di tipo Gis e con il supporto di un nutrito archivio fotografico che ha consentito di seguirne l'evoluzione in un intervallo di circa sessant'anni, precisamente tra il 1954 e il 2010, date estreme dei fotogrammi aerei utilizzati per il lavoro svolto. Il confronto visivo tra le diverse zone ha avuto come obiettivo primario la verifica della stabilità o della variabilità delle reti analizzate, cercando di individuare le maggiori analogie o, viceversa, le principali diversità, tra le reti stesse, considerando sia il diverso grado di antropizzazione delle aree, sia la posizione dei siti all'interno della laguna di Venezia. Conclusa questa prima parte di determinazione delle reti e del loro sviluppo temporale, sono state poi svolte delle indagini di tipo statistico sempre con l'uso del software di tipo Gis.

Infine, come studio di approfondimento, si è focalizzata l'attenzione su una zona di accrescimento barenale, situata nella parte nord della laguna, a est di Pagliaga e sopra la zona di Lio Piccolo, in un'area anticamente adibita alla produzione di sale. L'esame di tale area è giustificato dal notevole interesse che le barene occupano, come tipologia di ambiente mareale, nello studio dell'idrodinamica lagunare e, con i dati in possesso, per formulare delle ipotesi sulla loro formazione.

2 Caratteristiche dell'area lagunare

2.1 Tipologie di ambienti lagunari



Fig. 2.2.1. Area della laguna di Venezia, in cui si notano gli ambienti lagunari fondamentali, con barene, velme, ghebi e chiari

Un ambiente di tipo lagunare, soggetto principalmente all'azione delle maree, presenta alcune tipiche formazioni, con caratteristiche peculiari, che suscitano l'interesse degli studiosi, sia per il ruolo che esse svolgono da un punto di vista morfologico, sia per l'influenza che esercitano sull'idrodinamica locale. In particolare, in un bacino a marea, di cui la laguna di Venezia è un esempio eloquente, è possibile distinguere, da un punto di vista strutturale e comportamentale, tre differenti ambienti.

- Le barene, situate appena sopra il livello del mare, sono le aree a quota più elevata del bacino a marea, e rappresentano il risultato del complesso sistema che coinvolge il processo erosivo esercitato dall'azione delle maree e delle onde da vento, e dal deposito di sedimenti. Esse sono frequentemente inondate dalla marea (in media due volte al giorno nel caso della laguna di Venezia), ma i periodi di sommersione sono tali da garantirne comunque la colonizzate da parte

Caratteristiche dell'area lagunare

di una fitta vegetazione di tipo alofita, costituita da piante che si sono adattate, in varia misura, ad ambienti salati e privi di ossigeno. Le alofite meritano una menzione speciale quando si parla di barene, poiché esse giocano un ruolo centrale nella loro stabilizzazione in quanto lo sviluppo dell'apparato radicale delle piante immobilizza e fissa la superficie dei sedimenti, incrementando la resistenza all'azione idrodinamica delle maree e favorendo il deposito e l'accumulo dei sedimenti per la ridotta capacità di trasporto dell'acqua. Inoltre, inibiscono la formazione di onde da vento che causano la risospensione dei sedimenti stessi. A sua volta, lo sviluppo della vegetazione è collegato alle caratteristiche topografiche delle barene, poiché si crea una forte dipendenza tra le strutture geomorfologiche e la distribuzione della vegetazione, che si dispone a macchie, fenomeno noto come zonazione. Le barene, la cui superficie è principalmente composta da limo e argilla, definiscono la transizione tra terre emerse permanenti e ambienti sommersi, e quindi, i gradienti ecologici loro associati ne fanno oggetto di grande interesse, essendo una risultante dinamica dell'interazione tra fattori di tipo fisico, chimico e biologico.

- I bassi fondali, detti anche velme quando sono posizionate alle quote superiori, sono caratterizzate da quote più basse e sono spesso disposte ai margini dei canali principali. I bassi fondali sono sommersi dalle fluttuazioni di marea molto più spesso rispetto alle barene, e pertanto non consentono la colonizzazione da parte di piante alofite. La mancanza di vegetazione comporta che i bassi fondali siano molto più soggetti all'inerzia della marea rispetto alle barene, e che quindi ne sono maggiormente influenzati, soprattutto perché i sedimenti non sono trattenuti da alcun apparato radicale e non sono quindi stabilizzati dall'eventuale presenza di biofilm. Esse quindi giocano un ruolo fondamentale nell'idrodinamica della laguna, e rivestono anche un certo interesse a livello ecologico, considerando che ospitano diversi organismi, quali ad esempio fanerogame marini, alghe, piccoli

Caratteristiche dell'area lagunare

crostacei e diverse colonie microbiche. Infine, la loro composizione è molto più ricca di sabbia rispetto a quella delle barene.

- I numerosi canali o ghebi (espressione dialettale veneziana per indicare i canali minori) che solcano e dividono le barene e le velme della laguna rappresentano, nel loro complesso, una struttura ramificata e variamente interconnessa, nella quale l'acqua scorre, a causa delle escursioni di livello durante l'alta e la bassa marea, permettendo il deposito o l'erosione dei sedimenti, influenzando e modificando il tracciato degli stessi canali, e garantendo lo scambio di nutrienti. I bracci di collegamento tra canali sono posti a differenti quote rispetto al livello medio mare: in particolare, si osserva la tendenza dei canali con larghezza maggiore a presentare una minore elevazione, mentre quelli più stretti raggiungono quote maggiori e pertanto partecipano effettivamente al flusso di marea solo quando il livello della stessa è particolarmente alto. All'interno delle barene, in caso d'interrimento di un canale minore e creazione di una zona di basso fondale di modeste dimensioni, si parla di chiaro. Lo sviluppo dei canali all'interno di bassi fondali e barene è il fattore fondamentale che controlla l'idrodinamica delle stesse.

I tre elementi che costituiscono il paesaggio lagunare sono quindi variamente collegati tra loro e la loro evoluzione, oltre a essere oggetto di fattori caratteristici della laguna già specificati, è legata agli eventi esterni, come tempeste, o all'interferenza umana. È possibile quindi sostenere l'ipotesi che le lagune siano il risultato dell'interazione di forze contrastanti agenti sia sul piano verticale, come la risospensione e la compattazione dei sedimenti, la subsidenza e l'innalzamento del livello del mare, sia sul piano orizzontale, come la formazione e la modifica dei canali, legati ai fenomeni erosivi ai margini delle velme, e la dinamica orizzontale delle barene.

2.2 Storia e geografia della Laguna di Venezia



Fig. 2.3.1. Veduta della Laguna di Venezia

La Laguna di Venezia si trova nel Mare Adriatico settentrionale, lungo le coste del Veneto, nell'Italia del Nord-Est. Ha un'estensione geografica di circa 550 km², di cui meno del dieci per cento è costituito da terre emerse (tra cui ovviamente sono comprese Venezia e le isole minori), una percentuale poco superiore (circa l'11%) è occupata permanentemente dall'acqua e la restante gran parte della superficie comprende barene, velme e casse di colmata. La complessità strutturale della laguna, dichiarata dall'UNESCO patrimonio dell'umanità, dipende, oltre che dalla sua naturale evoluzione, dai numerosi interventi di natura antropica realizzati sotto il governo della Serenissima, dopo l'istituzione nel 1501 del Magistrato delle Acque.

La nascita di quest'organo, avente la funzione di gestione e tutela per la salvaguardia della laguna di Venezia, insieme alla contemporanea conquista da parte della Repubblica dell'entroterra (dall'odierno Friuli alla foce del Po), permise al governo veneziano una sistematica programmazione degli interventi idraulici da eseguire. Questi interventi avevano come obiettivo principale evitare il lento ma progressivo

Caratteristiche dell'area lagunare

interramento della laguna, a causa dei sedimenti portati dai numerosi fiumi che sfociavano all'interno, per non pregiudicare il ruolo di potenza marittima europea conquistato dopo la battaglia di Lepanto del 1472 e la natura commerciale, vera anima della città. Pertanto, per preservare la natura di città marinara, la Serenissima si impegnò fortemente in diversi interventi idraulici che si protrassero fino al termine del governo della repubblica, con la caduta dell'ultimo doge Ludovico Manin, che consegnò la città alle truppe francesi il 12 maggio del 1797. Tra i lavori più importanti si ricordano:

- La diversione delle acque fluviali, e conseguentemente l'allontanamento dei sedimenti trasportati, dei fiumi Piave, Sile, Bacchiglione e Brenta (per quest'ultimo in particolare i veneziani si erano già impegnati a deviarne un argine nel 1330 per impedire la diffusione della malaria, dovuta all'impaludamento provocato dai fanghi trasportati, nel sestiere di Cannaregio, il più esterno della città), tra il 1540 e il 1683.
- Lo spostamento della foce del Po dal bacino di Chioggia con il taglio di Poto Viro, nel 1599.
- La conterminazione della laguna, cioè il tracciamento del confine di competenza della Repubblica di Venezia, in modo da definire con chiarezza i limiti territoriali del suo governo, frutto di un lavoro di quasi due secoli, cominciato nel 1600 e ufficialmente concluso nel 1791, con l'erezione di 99 cippi in cotto, sostituiti successivamente con la pietra d'Istria tra il 1846 e il 1898 (Figura 2.2.2).
- La posa dei Murazzi, possenti opere di difesa in pietra d'Istria per la protezione del litorale di Pellestrina, nel 1972.
- L'apertura di nuovi canali per garantire le rotte commerciali.

A oggi, il bacino della Laguna è messo in comunicazione con il Mar Adriatico da tre bocche di porto (Lido, Malamocco, Chioggia), regolate attraverso i secoli per controllare il flusso della marea e stabilizzare la profondità di navigazione. Dalle bocche di porto si diparte una serie di

Caratteristiche dell'area lagunare

canali che si diramano all'interno della laguna, la cui profondità passa da un valore medio di 8-10 metri a poco meno di un metro negli ambienti più interni, dove l'azione della marea risulta fortemente attenuata.

La laguna è un ambiente a marea estremamente diversificato e articolato, poiché soggetto a complesse dinamiche idromorfologiche, e questa peculiarità ne fa un affascinante oggetto di studio che, soprattutto negli ultimi anni, ha interessato anche opere di notevole importanza, come il M.O.S.E. Questo sistema di paratoie mobili, da realizzare nelle tre bocche di porto, sarà in grado di isolare la laguna in caso di marea con livello superiore a quello prestabilito.



Fig. 2.2.2. Cippo nell'isola di Sant'Erasmus

2.3 Analisi zone oggetto di studio

2.3.1 Casse di colmata

Come già anticipato nell'introduzione di questo lavoro di tesi, la prima area analizzata è stata quella ospitante le Casse di Colmata, nella parte sud occidentale della laguna di Venezia, che da progetto avrebbe dovuto ospitare gli edifici e gli alloggi della terza zona industriale, dopo la realizzazione delle prime due aree, i cui lavori iniziarono rispettivamente nel 1919 e nel 1958, per concludersi pochi anni dopo.

L'idea di realizzare un'opera di tale portata nacque dall'esigenza di rendere disponibile un'area molto più vasta rispetto a quella già esistente, per far fronte all'esaurimento degli spazi per l'alloggiamento di strutture industriali. L'ampliamento fu sancito dalla legge del 2 marzo 1963 n. 397, nota anche con il nome "Nuovo ampliamento del porto e zona industriale di Venezia-Marghera". Questa legge, secondo quanto riportato dallo scrittore Ivone Chinello,

istituisce il nuovo "Consorzio obbligatorio tra i Comuni di Venezia e di Mira, la Provincia di Venezia, la Camera di commercio, industria e agricoltura di Venezia, il Provveditorato al porto di Venezia" al quale possono essere annessi quei Comuni della provincia di Venezia che dimostrino di avere comunque interesse al nuovo ampliamento portuale"; stabilisce i contributi dei singoli Comuni [...] delimita l'area per l'espansione in 4.035 ettari, la vincola a piano regolatore e la cede – con atti esenti da ogni onere fiscale – al consorzio [...]. Inoltre la legge stabilisce i criteri per la cessione delle aree... e la struttura organizzativa del consorzio [...]. Con questa legge cessa la sua attività – il 30 giugno 1963 – il vecchio consorzio costituito nel '58 e istituzionalizzato dalla legge 20 ottobre 1960 n. 1233 e comincia quella del nuovo [art. 6]. Il punto di passaggio sarà costituito dalla "relazione finale" del vecchio consorzio che riassume [...] l'attività svolta, fa il punto della

Caratteristiche dell'area lagunare

situazione in II zona [industriale] e imposta anche il "grande piano" della III zona, sottolineando così, non a caso, la continuità fra il vecchio e il nuovo consorzio.

Il Piano Regolatore Generale della futura terza zona fu approvato e adottato dal Consorzio il 7 luglio 1964, approvato con decreto del ministro dei lavori pubblici, on. Mancini, il 12 maggio del 1965, divenendo così immediatamente esecutivo con i lavori di scavo del canale Malamocco-Fusina e con l'installazione delle casse di colmata, che si sarebbero dovute riempire con il materiale risultante dallo scavo del canale. L'eccezionale evento di marea che il 4 novembre del 1966 sommerse Venezia sotto 194 centimetri d'acqua, causando danni per miliardi di lire, generò però un movimento di opinione atto a tutelare il confine lagunare, e che mise sotto accusa tutti gli interventi effettuati durante la costruzione delle zone industriali di Marghera durante il corso del novecento. Fu così che i lavori di costruzione, già iniziati, furono definitivamente bloccati in seguito all'approvazione della prima legge speciale per Venezia, n°171 del 16 aprile del 1973, e questo comportò la fine dell'espansione spaziale del polo chimico e industriale di Marghera, poiché tutti gli spazi erano già stati saturati dal 1971.

Altri interventi di origine antropica, successivi alle leggi riportate, hanno riguardato il dragaggio dei canali navigabili della zona, soggetti a insabbiamento a causa del materiale perduto dalle barene e portato dalle correnti mareali e la costruzione di nuove idrovie (su tutti, per importanza dell'opera, lo scavo del canale dei Mattoni, avvenuto negli anni '90). Negli ultimi anni, al fine di stabilizzare la zona e per prevenire i fenomeni di scavo ed erosione delle casse per l'azione delle acque, sono state costruite delle barene artificiali, tra cui possiamo citare quella allo sbocco del Canale Avesa nel bacino Sant'Angelo.

Il territorio in esame appartiene per la quasi totalità al comune di Mira e in minima parte a quello di Venezia (piccola porzione a sud di Fusina). Geograficamente, il confine settentrionale del complesso delle casse è

Caratteristiche dell'area lagunare

rappresentato dalle frazioni di Fusina e di Dogaletto, più a nord-ovest, mentre la parte occidentale è a diretto contatto con la Laguna di Venezia. Più precisamente, la zona è delimitata a nord dal canale Bondante di Sotto e dal canale Fossetta Barambani, a sud-est dal canale Tagliata Nuova che si conclude nel bacino di Malamocco e dal canale Darsena di San Leonardo. Le casse di colmata confinano a ovest con la terraferma e a est con la laguna viva e in particolare con il canale Malamocco - Marghera.

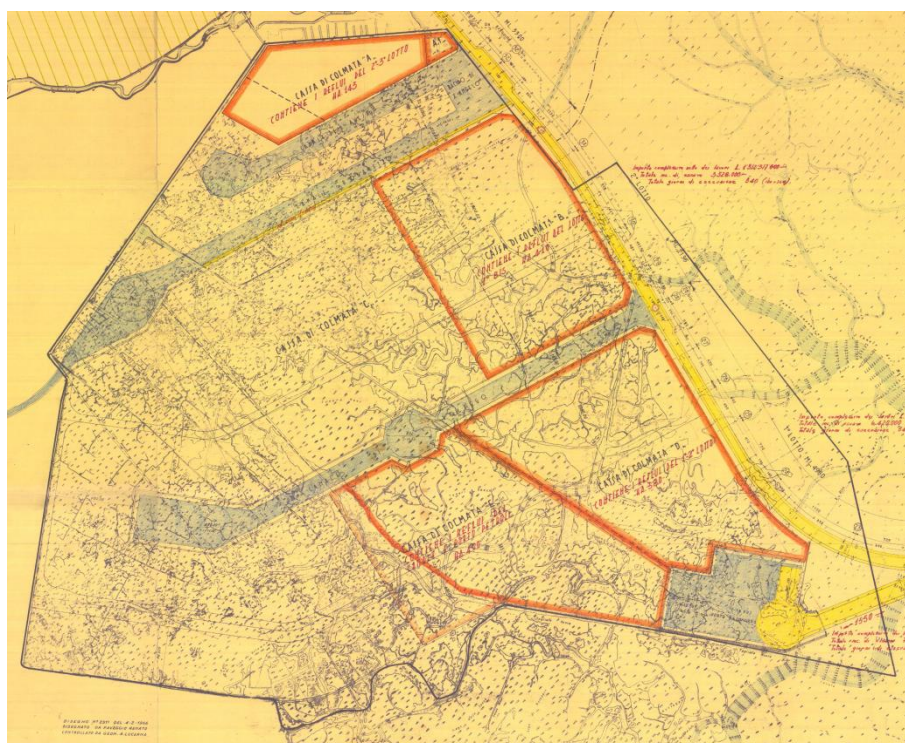


Fig. 2.3.1.1. Planimetria generale delle casse di colmata sovrapposta alla carta idrografica

Nell'area soggetta a costruzione delle casse, si possono riconoscere tre complessi principali:

- La cassa A, la più settentrionale, è in realtà divisa in due parti: la prima, cioè il corpo originale, è a ridosso della Fossetta dei Barambani, mentre la seconda, denominata A1 o A', è più sporgente rispetto allo sbocco della Fossetta nel canale Malamocco-Marghera. La cassa A, che si estende per circa 143 ettari, alla quale vanno sommati quelli della cassa A1 per un totale di circa 155 ettari complessivi, è delimitata a sud dal canale Avesa che confluisce nel bacino Sant'Angelo, ed è di fatto

Caratteristiche dell'area lagunare

considerata terraferma per le sue caratteristiche morfologiche, a causa dei numerosi interventi che ne hanno comportato la completa arginatura e il conseguente imbonimento con materiali derivanti da dragaggi. Queste sue caratteristiche ne hanno fatto oggetto di discussioni sull'opportunità di realizzare un complesso per il trattamento delle acque fognarie e di prima pioggia di Porto Marghera, ospitante un impianto di fitobiodepurazione per il trattamento delle acque tramite l'uso di laghi e piante per la riduzione del carico di nutrienti alle stesse. Il progetto prevede inoltre la creazione di un'area umida aperta al pubblico come oasi naturalistica, perché le casse rivestono una notevole importanza per la variegata avio fauna lagunare. Inizialmente, secondo i progetti fatti, la cassa A sarebbe dovuta essere il polo commerciale della terza zona industriale di Marghera, ma i lavori, iniziati nel 1963, si interruppero nel 1969 con il provvedimento del Ministero dei Lavori Pubblici, per poi terminare definitivamente con la Legge n. 171 del 16 aprile del 1973, la Legge speciale per Venezia.



Fig. 2.3.1.2. Cassa A: anno 2006

- La cassa B si trova a sud della cassa A, ed è delimitata dal canale Cunetta, che corre parallelo al canale Avesa e sbocca anch'esso nel bacino Sant'Angelo. Inoltre, è situata a nord del complesso di casse D-E, da cui è distinta da una parte di laguna in collegamento col canale

Caratteristiche dell'area lagunare

Malamocco-Marghera (confine est della cassa stessa) che ospita alcune isole barenali, mentre a occidente è a diretto contatto con la zona della laguna chiamata “morta” per la scarsa attività vista. La cassa B è il risultato dell'arginatura e del riempimento con materiale di dragaggio proveniente dal canale Malamocco-Marghera. All'arginatura, iniziata nel 1966 e conclusa dopo otto mesi di lavoro, è seguito il riempimento vero e proprio, che ha interessato una superficie di circa 410 ettari. È la cassa che presenta le maggiori elevazioni del terreno, e raggiunge anche i 3 metri sul livello medio mare nella zona est, mentre la parte ovest, che ha risentito meno dell'imbonimento, oltre a essere più bassa, è anche meno soggetta ai tipici fenomeni erosivi e deposizionali tipici degli ambienti lagunari: questi fenomeni si esplicano molto più intensamente nella parte est con il risultato di un costante deterioramento degli argini orientali e dell'arretramento della linea che segna il limite tra canale e cassa. A differenza della cassa A, è solcata da alcuni canali, di cui i principali sono indicati nella Figura 2.3.1.3, e da reti con strutture a meandro tipiche degli ambienti lagunari. La zona è stata giudicata di notevole interesse per la coesistenza tra strutture oggetto di interventi antropici (i tagli dei canali principali, tra cui la riapertura del canale Volpego) e reti naturali in fase di sviluppo.

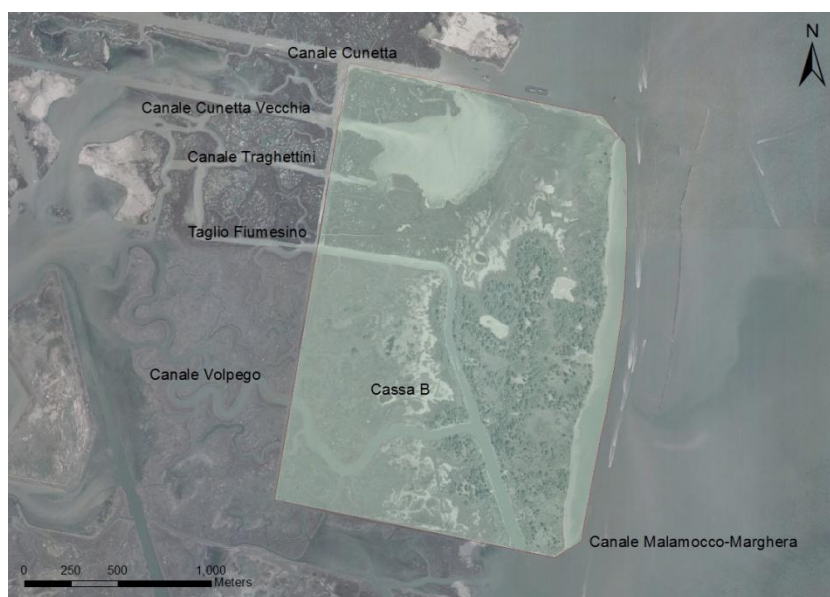


Fig. 2.3.1.3. Cassa B: anno 2006

Caratteristiche dell'area lagunare

- La cassa DE, considerata un complesso unico per la similarità nelle caratteristiche morfologiche e per la continuità tra le casse adiacenti, è stata l'ultima a essere realizzata ed è la più meridionale delle tre, trovandosi a sud della cassa B, ad est del canale Malamocco-Marghera e confinando a sud con il canale la Tagliata Nuova e ampie zone di barena. I lavori di arginatura per la cassa D sono cominciati nel 1965 e sono stati finiti nel settembre del 1966, mentre la cassa E è più recente, poiché i lavori di arginatura sono terminati nel marzo del 1967. Nel complesso raggiunge un'area di 780 ettari, estensione che la rende la più grande in assoluto tra le tre costruite e sorge su un'area in precedenza occupata da barene naturali, inframmezzate da canali e dall'ampio lago delle Corbole Vecchie. La cassa è solcata da due canali, il Taglio Vecchio, da nord-ovest a sud-est, e il canale dei Mattoni. Il complesso sistema delle casse presenta caratteristiche morfologiche non omogenee a causa del dragaggio del canale dei Petroli e per il parziale cedimento delle arginature, con conseguente azione della marea. È l'unica delle casse a ospitare una costruzione, la Darsena San Leonardo o Porto Petroli, progettata in origine per l'attracco di superpetroliere e oggi utilizzata per scopi modesti.



Fig. 2.3.1.4. Cassa DE: anno 2006

2.3.2 *Palude di Pagliaga*



Fig. 2.3.2.1. Vista dall'alto della palude di Pagliaga, zona sud

Il complesso di piccole isole barenali detto Palude di Pagliaga si trova nei pressi dell'aeroporto Marco Polo, dove la resistenza al flusso della marea riduce di molto le normali oscillazioni di livello. Situata vicino al confine nord-ovest della laguna di Venezia, essa è delimitata a nord dal canale Osellino e dallo sbocco del fiume Dese, a est da una zona di laguna denominata Palude di Cona e dalle valli da pesca di Ca' Deriva, a sud-est è chiusa dall'isola di Torcello e dal canale Dese, a sud-ovest è circondata dal bacino di Lido o Palude del Monte, mentre il confine occidentale è rappresentato dall'aeroporto già citato.

La palude di Pagliaga si presenta come un insieme di barene solcate da una fitta rete di canali, di cui i principali sono il Fossetta, il Terzo, il canale delle Cape, il ramo Passerini, il Berna e il Canale Dese (Canale Nuovo). L'origine della Palude di Pagliaga è fluviale, dovuta al costante afflusso di sedimenti portati dal fiume Dese, ma nel complesso l'estensione della superficie barenale non ha subito molti cambiamenti nel corso degli ultimi anni, mantenendosi relativamente costante, al contrario della rete di canali che si è ridotta. La sua elevazione varia da 0.10 a 0.45

Caratteristiche dell'area lagunare

m.s.m.m, mentre i canali che la solcano presentano profondità variabili comprese tra poche decine di centimetri e -1.50 m.s.m.m. Come le Casse di Colmata già trattate, assume un importante ruolo ecologico poiché ospita ampie aree di *Fragmites australis*, una pianta di tipo glicofita, e molte piante alofite tra cui lo *Junctus Maritimum*, *Halimione Portulacoides* e la *Pucciniella Maritima*. Le uniche costruzioni che si notano sono delle piccole strutture lungo il bordo del canale Berna, provviste di ampie reti.

La palude di Pagliaga è stata analizzata per diverse ragioni: infatti, già da una prima supervisione delle foto in possesso, si nota subito la complessità delle reti di canali che la solcano e la continua evoluzione che ne caratterizza l'andamento. Inoltre, la grande disponibilità fotografica reperibile in rete e i modesti interventi antropici che la zona ha subito nel corso del tempo, ne permettono un'indagine temporale ampia e ricca, riguardante alcune reti assolutamente naturali e senza forzanti dovute all'attività umana.



Fig. 2.3.2.2. Vista dall'alto della palude di Pagliaga, anno 2010 con nomi dei canali

2.3.3 Area barenicola delle ex saline di San Felice

L'ultima zona oggetto di analisi è un'area di formazione e accrescimento barenale, indagata poiché in controtendenza rispetto alla situazione di perdita di terra emersa che in generale caratterizza la laguna di Venezia nell'ultimo secolo, per la mancanza di apporto di sedimenti: per dare delle cifre indicative, basti pensare che la superficie barenale è passata da 149 km² nel 1912, a 91 km² nel 1938 ai soli 47 km² del 1997, con una perdita di superficie concentratasi soprattutto nella parte centrale e meridionale della laguna.

Situata nella zona nord della Laguna di Venezia, essa si trova a sud di Caposile e delle valli da pesca presso Jesolo, a est di Pagliaga e delle isole di Burano e Torcello, a nord della Barena di San Felice e di Lio Piccolo ed è chiusa a ovest da Cavallino e Jesolo. Nel dettaglio, la zona oggetto di analisi si trova sulla sponda orientale del canale di San Felice, appena sopra l'isola di Salina, ed è chiusa a nord dal canale dell'Ancora: corrisponde all'area una volta occupata delle saline di San Felice.

L'indagine della zona è giustificata perché consente di indagare non solo il processo di accrescimento dell'area barenicola, ma anche la sua formazione, grazie all'ampio archivio fotografico, che nelle foto più vecchie inquadra la zona di studio quando non erano ancora presenti aree di barena.



Fig. 2.3.4.1. Isola di Santa Caterina con barene limitrofe

3 Georeferenziazione

3.1 Archivio fotografico



Fig. 3.1.1. Esempio di fotogramma aereo, Veduta di Pagliaga, giugno 1954

Il processo di formazione e sviluppo degli ambienti lagunari descritti nel capitolo 2, siano essi le reti di canali a marea presenti nelle Casse di Colmata e nella Palude di Pagliaga o le formazioni barenicole in accrescimento delle ex saline di San Felice, è un fenomeno in continua evoluzione la cui descrizione, anche a livello puramente visivo, richiede un periodo di osservazione abbastanza ampio, di alcune decine d'anni, per consentire di apprezzare le differenze.

La migliore metodologia d'indagine adottata consiste nell'analizzare le numerose fotografie aeree (Figura 3.1.1.), scattate durante i voli di ricognizione sulla laguna di Venezia con aeromobili a pilotaggio remoto

Georeferenziazione

(Figura 3.1.2), eseguiti per conto di numerosi enti, sia pubblici che privati, tra i quali si ricordano la Regione Veneto (Reven), l'Istituto Geografico Militare (IGM) e il Gruppo Aeronautico Italiano (GAI).

Le foto, disponibili online e scaricabili gratuitamente grazie ad una collaborazione tra la Regione Veneto e il laboratorio di Cartografia e GIS dell'Università IUAV di Venezia, consentono una visione d'insieme della laguna veneziana temporalmente abbastanza estesa: infatti, le foto più vecchie sono state scattate nel biennio 1954-55, mentre le foto più recenti, con migliore risoluzione, sono datate settembre 2010.

Per maggiore chiarezza, nel seguito sono riportati i diversi rilievi fotografici utilizzati nella fase di georeferenziazione. Per ogni rilievo è riportato il periodo in cui le foto sono state scattate, gli enti che hanno commissionato le foto e quelli che le hanno materialmente eseguite (in alcuni casi questi enti coincidono), la tipologia della foto, la distanza focale dell'obiettivo fotografico, le quote medie dei voli mantenute dagli aerei, la scala media dei fotogrammi e se a colori o in bianco e nero. Il formato delle foto è lo stesso per tutti, ed è pari a 23 x 23 cm.

- Volo 1954-55 GAI, 9 aprile 1954 - 14 ottobre 1955, commissionato da USA Army Map Service, eseguito da Gruppo Aeronautico Italiano, tipo analogico, focale 153-154mm, quota media di volo da 5000 a 10000 m, scala media dei fotogrammi da 1:30000 a 1:62000, in bianco e nero
- Volo 1961 IGM, 18 giugno - 5 agosto 1961, commissionato ed eseguito da Istituto Geografico Militare, tipo analogico, focale 152,27 mm, quota media di volo 4300 m, scala media dei fotogrammi 1:28000, in bianco e nero
- Volo 1975 reven Benedetti, 9 - 14 maggio 1975, commissionato da Regione Veneto, eseguito da Benedetti, tipo analogico, focale 153,15 mm, quota media di volo 2600 m, scala media dei fotogrammi 1:17000, in bianco e nero

Georeferenziazione

- Volo 1978 reven, giugno 1978, commissionato da Regione Veneto, eseguito da CGR - Parma, tipo analogico, focale 305,38, quota media di volo 6000 m, scala media dei fotogrammi 1:20000, in bianco e nero
- Volo 1987 reven, 22 aprile - 22 maggio 1987, commissionato da Regione Veneto, eseguito da CGR - Parma, tipo analogico, focale 151,77 o 153,26, quota media di volo 3000 m, scala media dei fotogrammi 1:20000, a colori
- Volo 1987 reven, 22 aprile - 22 maggio 1987, commissionato da Regione Veneto, eseguito da CGR - Parma, tipo analogico, focale 151,77 o 153,26, quota media di volo 3000 m, scala media dei fotogrammi 1:20000, a colori
- Volo 1994 reven Comune Venezia, 22 aprile - 3 maggio 1994, commissionato da Zollet, eseguito da CGR - Parma, tipo analogico, focale 153,93, quota media di volo 3000 m, scala media dei fotogrammi 1:20000, in bianco e nero
- Volo 1996 Regione Veneto, caratteristiche non note, a colori
- Volo 1999 reven Provincia Venezia, 19 marzo 1999, commissionato da Zollet, eseguito da CGR - Parma, tipo analogico, focale 153,93, quota media di volo 3000 m, scala media dei fotogrammi 1:20000, in bianco e nero
- Volo 2005 reven Venezia, 6 maggio - 22 giugno 2005, Regione Veneto, eseguito da CGR - Parma, tipo analogico, focale 153,64, quota media di volo 2500 m, scala media dei fotogrammi 1:16000, a colori,
- Volo 2006 Regione Veneto, caratteristiche non note, a colori
- Volo 2010 reven area Venezia (volo alto), 21 agosto - 21 settembre 2010, Regione Veneto, eseguito da Blom/CGR - Parma, tipo digitale, focale 100,465, quota media di volo 3030 m, scala media dei

Georeferenziazione

fotogrammi 1:16000, a colori, con pixel al suolo del fotogramma originale di 18 cm, pixel al suolo del fotogramma da scaricare 24 cm, fotogramma originale pari a 17310 x 11310 pixel e fotogramma da scaricare pari a 12983 x 8483 pixel

Tutti i set rilievi fotografici elencati, eccezion fatta per quelli del 1996 e del 2006, che erano già stati georeferenziati in un lavoro precedente, o sono stati scaricati dal sito della già citata sezione di Cartografia e di Gis dello Iuav (Istituto Universitario di Architettura di Venezia), in particolare quelli relativi alla Palude di Pagliaga e alla zona delle ex saline di San Felice, o sono stati forniti dall'Ingegnere Alberto Bulfon, già autore di una tesi sulle Casse di Colmata della terza zona industriale di Marghera. Dopo l'acquisizione, gli aerofotogrammi sono stati trattati e ritagliati con un apposito programma, in modo da non perdere definizione e inquadrare nel miglior modo possibile la zona di studio (Figura 3.1.3).



Fig. 3.1.3. Pteryx UAV, un aereo civile di tipo UAV per fotografie aeree



Fig. 3.1.2. Confronto tra fotogrammi aerei della Palude di Pagliaga, il primo non trattato il secondo ritagliato per inquadrare la zona di interesse.

3.2 Fondamenti e problemi della georeferenziazione

3.2.1 Georeferenziazione: definizione

La georeferenziazione è un insieme di tecniche che permette l'attribuzione a un dato di un'informazione riferita alla sua dislocazione geografica: tale posizione è espressa in un particolare sistema geodetico di riferimento. Nei software di tipo Gis (sigla per Geographical Information System) la georeferenziazione può essere applicata a ogni elemento, dai pixel che compongono le immagini raster, ai file geometrici di forma, come punti, linee, poligoni e altri.

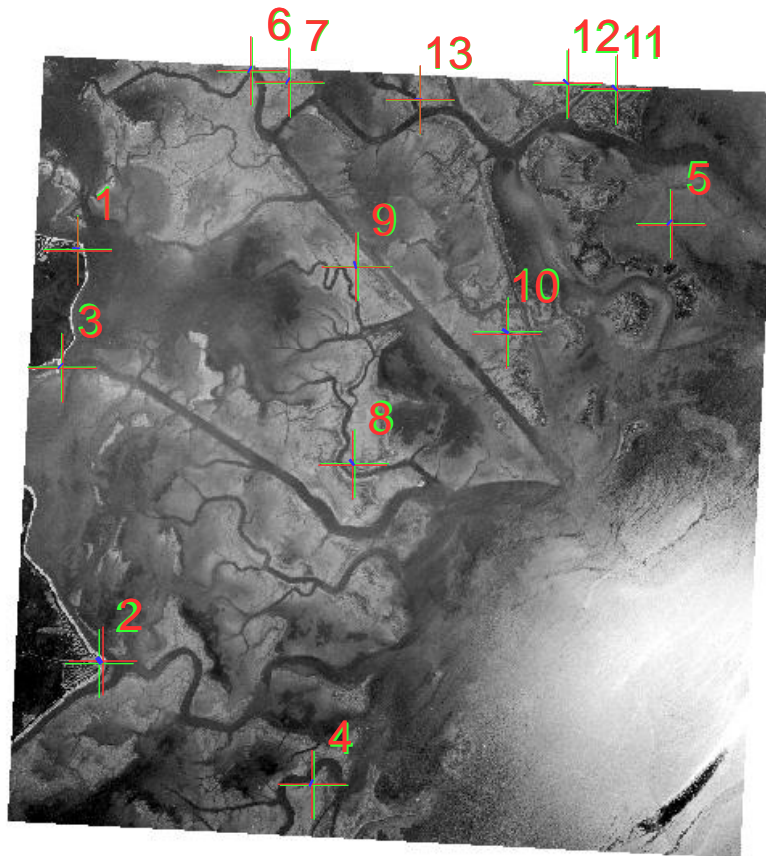


Fig. 3.2.1.1. Esempio di immagine raster georeferenziata, anno 1961, con riportati i GCP utilizzati come riferimento.

Gli aerofotogrammi su cui è stata eseguita la georeferenziazione sono dati di tipo "raster": il termine, che in origine si riferiva alle righe orizzontali dei televisori o di monitor, rivela che le immagini sono

Georeferenziazione

sostanzialmente delle griglie, costituite da un numero discreto di quadrati o di celle rettangolari, chiamate pixel, che rappresentano l'unità di riferimento territoriale. Ogni cella dell'immagine raster può essere di piccole o grandi dimensioni, secondo il dettaglio dell'informazione spaziale: ovviamente, nonostante sia logico che a pixel di dimensioni ridotte corrispondono informazioni più dettagliate del dato raster, è anche vero che, di contro un'immagine con molte informazioni richiede più tempo per essere correttamente elaborata dal calcolatore e quindi analizzata.

Nell'immagine di Figura 3.2.1.2 si può apprezzare la differenza esistente nel caso di pixel di grandi dimensioni (a sinistra) e di piccole (destra): i due particolari, che rappresentano esattamente la stessa regione, non lasciano spazio a dubbi sulla definizione migliore dell'immagine con maggior numero di pixel.



Fig. 3.2.1.2. Particolare della Palude di Pagliaga, anno 1987 a sinistra e 2010 a destra.

Inoltre, ogni pixel possiede un certo valore specifico, utilizzato per rappresentare qualche caratteristica dell'immagine. Ad esempio, per quanto riguarda le immagini aeree della laguna di Venezia, ogni cella contiene delle informazioni relative alle bande di colore oppure, in caso di

foto in bianco e nero, alla gradazione di grigio. Comunemente, set di dati di questo genere, acquisiti cioè da cataloghi disponibili online, non contengono informazioni di riferimento spaziale (sia incorporate nel file o come file separato) ed è pertanto necessario assegnare a questi dati un sistema di coordinate che lo collochi correttamente nello spazio.

4.2.2 Georeferenziazione: introduzione ai software di tipo Gis e procedura

La georeferenziazione dei dati è stata eseguita con un software di tipo Gis, cioè un sistema informativo computerizzato che permette l'acquisizione, la registrazione e l'analisi di dati geografici, e di conseguenza la visualizzazione e la restituzione delle immagini a essi associate: trattasi quindi di un sistema informatico che permette di gestire e analizzare i dati spaziali, associando a ciascun elemento geografico delle descrizioni di tipo alfanumerico. Il Gis è quindi l'ambiente che permette l'elaborazione e la manipolazione di dati geometrici georeferenziati.

La storia dei Gis nasce nel 1963, quando in Canada si sviluppa il progetto CGIS, nato con lo scopo di analizzare i dati raccolti dal Canada Land Inventory e di produrre statistiche utili per la gestione del territorio. Nel 1971, il CGIS diventa pienamente operativo, e questo stimola lo sviluppo di altri due progetti di tipo Gis, uno del dipartimento ambientale degli USA e uno del Maryland. La nascita di nuovi software procede a un ritmo sempre maggiore, finché, per la prima volta, nel 1982 viene rilasciato al pubblico, in vendita, ARC/INFO ® versione 1.0, disponibile quattro anni più tardi anche per personal computer. Da qui in poi si otterranno continui miglioramenti, come nuove interfacce grafiche e dati di tipo Gis di numerose località, disponibili in internet e quindi facilmente accessibili.

Con queste premesse, si può quindi dire che un software di tipo Gis è

Georeferenziazione

una commistione tra strumenti informatici, cartografici e statistici, in cui gli elementi cartografici sono le informazioni che permettono la georeferenziazione delle mappe e garantiscono la corrispondenza tra elementi grafici e la loro reale posizione secondo un preciso riferimento geografico, gli elementi grafici sono determinati da combinazioni di enti geometrici primitivi (punto, linea, area, pixel, simbolo e annotazione grafica) e le informazioni statistiche sono ricavabili dagli attributi di ogni elemento, cioè da tutte le informazioni utili che ne permettono la rappresentazione. La gestione delle informazioni avviene tramite la raccolta in un database relazionale che cataloga i diversi file in modo strutturato.

Il programma utilizzato è noto con il nome di ArcGis: in particolare, le applicazioni di riferimento del programma sono state ArcMap, per la mappatura, l'editing, l'analisi e la gestione dei dati, che si presenta come un foglio bianco in cui ogni punto corrisponde a un luogo in un prefissato sistema di riferimento geografico, consentendo quindi corrispondenze relative tra i diversi dati, e ArcCatalog, utile per la creazione di file vettoriali, per la rappresentazione, nel nostro caso, di canali e barene, e per la raccolta di questi file in cartelle. L'argomento, con particolare attenzione alla parte operativa, sarà ampliato in una sezione successiva.

Una corretta procedura di georeferenziazione richiede un certo numero di punti fissi, di coordinate geografiche note, su cui basare poi il processo di elaborazione. Questi punti, noti con l'acronimo GCP (Ground Control Point), sono in pratica un set di punti di controllo, coincidenti con oggetti di sicura e certa localizzazione al suolo, quali ad esempio intersezioni di assi stradali, nodi della rete fluviale oppure angoli di edifici, e devono essere ovviamente individuabili sull'immagine.

In fase di georeferenziazione, la determinazione di ogni punto certo è in realtà stabilita da due posizioni: la prima individua il punto preciso (per esempio, un'intersezione di tipo stradale) sull'immagine da georeferenziare, la seconda corrisponde alle esatte coordinate geografiche

con cui quel punto è identificato. I collegamenti o link, che connettono i punti dell'immagine alle loro coordinate, sono realizzati con una funzione di trasformazione o, più precisamente, un polinomio. Questo polinomio può essere lineare o di grado più elevato e ha lo scopo di deformare (warping) l'immagine di partenza come fosse un foglio di carta materiale, in modo da collocarla correttamente nel sistema prescelto: così, grazie alle funzioni di trasformazione, si forma una matrice vuota, ma corretta dal punto di vista spaziale, che viene "riempita" successivamente con i corrispondenti valori dei pixel dell'immagine di partenza.

A questo punto l'immagine subisce il "ricampionamento" o resampling, definito come la procedura per determinare i valori dei pixel della nuova immagine corretta noti quelli presenti nell'immagine distorta. Il valore da assegnare può essere indicato con diversi algoritmi:

- nearest neighbor: approssimazione del primo ordine che attribuisce a ogni pixel dell'immagine corretta il valore di radianza proprio del pixel più vicino al punto corrispondente nell'immagine non corretta. E' la tecnica più utilizzata per immagini di tipo raster, perché ha il vantaggio di essere veloce e di non alterare i valori di radianza della scena acquisita, pur creando errori di posizionamento (la radianza è la quantità di luce riflessa da una superficie di area unitaria).
- Interpolazione bilineare (bilinear convolution): la nuova radianza è scelta tra i quattro pixel non corretti vicini, con peso maggiore a seconda della maggiore vicinanza. Il risultato, più complesso, presenta contrasti meno marcati ma richiede un tempo di elaborazione molto più lungo.
- Interpolazione cubica (cubic convolution): la nuova radianza è scelta tra i sedici pixel non corretti più vicini. Il processo, molto più lungo e complesso, presenta dati più alterati ma con maggiore accuratezza geometrica.

Gli due ultimi algoritmi presentati mantengono gli elementi lineari e i

Georeferenziazione

bordi degli oggetti anche in seguito alla correzione, ma determinano una modifica dei valori originari dei pixel, con un conseguente effetto di sfocatura (smoothing) dell'immagine. Pertanto, si è scelto sempre il primo criterio.

La scelta appare più giustificata se si osservano le Figure 3.2.2.1 e 3.2.2.2, che mostrano, rispettivamente, la differenza concettuale nell'utilizzo dell'algorithmo d'interpolazione nearest neighbor o bilinear convolution, e i differenti risultati che si ottengono applicando l'uno o l'altro. Come si può vedere, prendere come valore di radianza del pixel della nuova immagine ricampionata la media ponderata, basata sulla distanza, dei valori di radianza dei quattro pixel più vicini, valida per l'interpolazione bilineare, porta a contrasti molto meno marcati e perciò è inadatta per discriminare correttamente tra zone canalizzate e no.

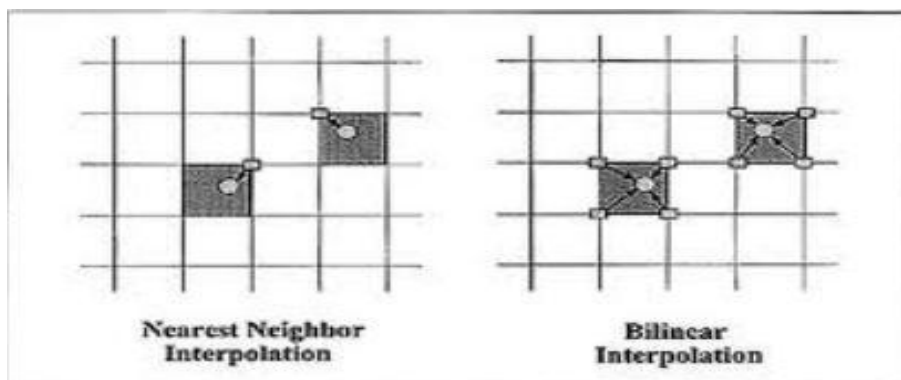


Fig. 3.2.2.1. Differenza concettuale e operativa tra il metodo di resampling secondo nearest neighbor e bilinear convolution

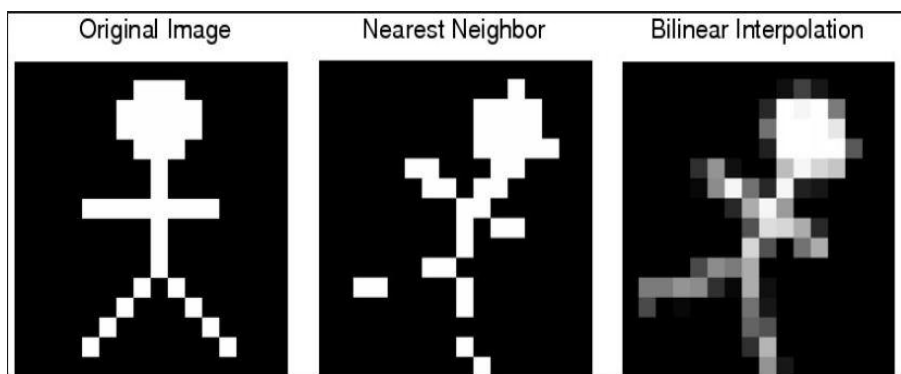


Fig. 3.2.2.2. Risultati differenti di resampling tra il metodo nearest neighbor e il metodo bilinear convolution

Georeferenziazione

Per i siti trattati, ci sono state delle differenze sostanziali per la determinazione dei GCP: mentre per le Casse di Colmata ci si è basati sui set già georeferenziati, per la Palude di Pagliaga e per le ex saline di San Felice, le coordinate dei punti di controllo sono state acquisite tramite Google Earth.

Con il programma ArcMap, oltre alla tipologia di algoritmo di trasformazione da usare, è possibile anche intervenire sulla dimensione dei pixel risultanti, modificandola a piacere. Per evitare però altri errori di disposizione e per non intervenire sulla radianza del pixel si è scelto di lasciare la dimensione del pixel come proposta dal programma.

In sintesi, per georeferenziare un'immagine si è proceduto nel seguente modo:

1. Importazione dell'immagine fotografica in ArcMap.
2. Individuazione del maggior numero di GPC possibile, con determinazione del grado del polinomio da usare per la connessione dei link.
3. Georeferenziazione delle immagini.
4. Controllo dei risultati.
5. Revisione del processo con soppressione dei collegamenti con un errore statistico particolarmente elevato rispetto agli altri.

In ArcGis le informazioni di georeferenziazione di un'immagine sono salvate in un file che ha lo stesso nome dell'immagine e un'estensione che dipende dal formato (.tfw per immagini .tiff e .jpgw per immagini .jpeg). Il file di georeferenziazione contiene sei valori, uno per riga, con riportate la dimensione dei pixel nella direzione X, la rotazione rispetto agli assi Y e X, la dimensione dei pixel nella direzione Y (negativa), le coordinate X (easting) e Y (northing) del primo pixel in alto a sinistra. In questo modo, per ogni immagine georeferenziata rimane sempre l'informazione spaziale a essa relativa.

3.2.3 Georeferenziazione: problemi, soluzioni e precisazioni

Tra i tanti problemi da risolvere per ottenere una corretta e sensata georeferenziazione il più complicato è stato trovare, per ciascuna delle foto, dei sensati GCP. Secondo Mather (1999), essi devono soddisfare tre caratteristiche fondamentali:

- Il numero di punti da individuare deve essere tale da garantire una corretta trasformazione dell'immagine. Infatti, ogni processo di georeferenziazione può essere schematizzato secondo l'immagine riportata in Figura 3.2.3.1:

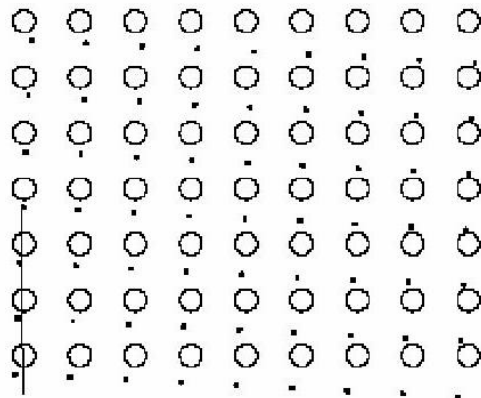


Fig. 3.2.3.1. Esempificazione del processo di trasformazione di un'immagine raster durante la georeferenziazione

I cerchi vuoti rappresentano il dato raster (la foto) di partenza, non georeferenzata, mentre i puntini neri sono i centri dei pixel appartenenti all'immagine trasformata. Maggiore è il numero di punti di controllo, più alto può essere il grado di trasformazione del polinomio interpolante i punti di controllo stessi: un polinomio con grado più alto consente deformazioni più marcate e riduce gli errori di posizionamento, come si può apprezzare dalla Figura 3.2.3.2. Tipicamente, il grado di trasformazione del polinomio interpolante può essere:

- di primo ordine, quando l'immagine è semplicemente traslata, scalata, ruotata o inclinata nel piano

- di secondo ordine o più quando intervengono trasformazioni di linee rette in curve, con uno o più punti di flesso

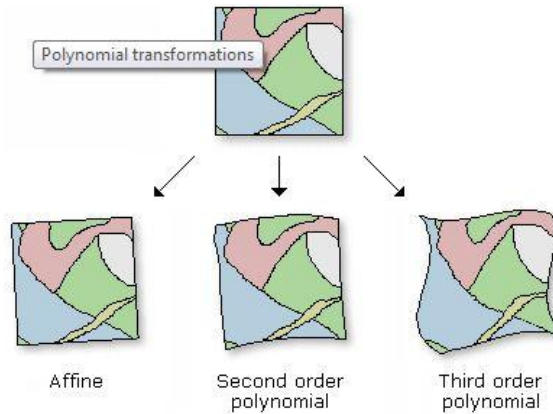


Fig. 3.2.3.2. Differenze nell'uso delle trasformazioni polinomiali

- La distribuzione dei punti utilizzati per il processo di georeferenziazione deve essere più diffusa possibile e coprire tutte le zone dell'immagine.
- La distanza temporale tra l'immagine da georeferenziare e quella dei punti di controllo a terra deve essere minima, per evitare che eventi morfologicamente rilevanti intervengano e comportino una differenza di posizione rispetto alla realtà.

Le tre condizioni purtroppo non sempre sono state soddisfatte. Le cause sono numerose, e ciascuna di esse richiede un approfondimento.

1. *Ambiente*: L'ambiente lagunare oggetto di interesse è soggetto a mutamenti morfologici relativamente rapidi, quali alta e bassa marea, azione del vento, crescita vegetale e variazione di superficie emersa (barena). L'insieme di tutte queste cause ha impedito l'acquisizione di punti di controllo relativamente sicuri e certi. Da osservare per esempio la Figura 3.2.3.1, che riporta il cambiamento avvenuto nel sito analizzato a distanza di circa 45 anni, a seguito della scomparsa, nel 2006, delle reti di canali a marea e delle barene presenti nel 1961.
2. *Manca di attività edilizia*: La quasi totale assenza di edifici

o costruzioni ha reso più arduo il collocamento spaziale delle immagini, perché non è stato possibile, esclusa la parte settentrionale delle casse di colmata (Fusina), la parte orientale della Palude di Pagliaga (Aeroporto Marco Polo) e le isole di Santa Cristina e di Salina per la zona delle ex saline di San Felice, rifarsi a edifici o incroci stradali per garantire dei corretti GCP.

3. *Differenti dimensioni del pixel*: dimensioni non uniformi dei pixel hanno fatto sì che le poche strutture presenti, sia nell'immagine da georeferenziare che nell'immagine di riferimento, venissero visualizzate in modo differente e non vi fosse corrispondenza tra le parti.
4. *Effetti cromatici*: le differenze cromatiche tra le foto hanno reso ancora più complicato il lavoro, in quanto per alcune foto non è stato possibile identificare correttamente i canali. Infatti, il riflesso del sole, i sedimenti trasportati o la presenza di alghe e affioramenti di velme o barene durante le fasi di bassa marea non hanno permesso una distinzione univoca tra zone canalizzate e no. Un esempio di come la luce solare può rendere difficoltosa la georeferenziazione è riportato in Figura 3.2.3.2: l'immagine del 1987, confrontata con quella più recente del 2006, non permette una corretta distinzione degli elementi che caratterizzano l'ambiente lagunare osservato.
5. *Evoluzione temporale*: l'evoluzione temporale della rete, non può essere considerata un vero problema, dato che lo scopo della tesi è appunto indagare le eventuali variazioni nelle reti dei canali o della barene degli ambienti lagunari, ma è certo che cercare di georeferenziare foto scattate a diversi decenni di distanza non è un'impresa facile.
6. *Disposizione punti individuati*: i punti individuati dopo attente e lunghe analisi visive non sono uniformemente distribuiti nello spazio. Questo perché, soprattutto per quanto riguarda le casse

di colmata, vi erano poche zone che mostrassero strutture costanti nel tempo, buona qualità della foto ed effetti cromatici non fuorvianti.

- 7. *Fenomeni di disturbo vario*: la presenza di nuvole o macchie nere sulla foto stessa (probabilmente dovute alla non perfetta conservazione della foto o all'obiettivo della macchina fotografica non pulito) è stata fonte di altre imprecisioni.

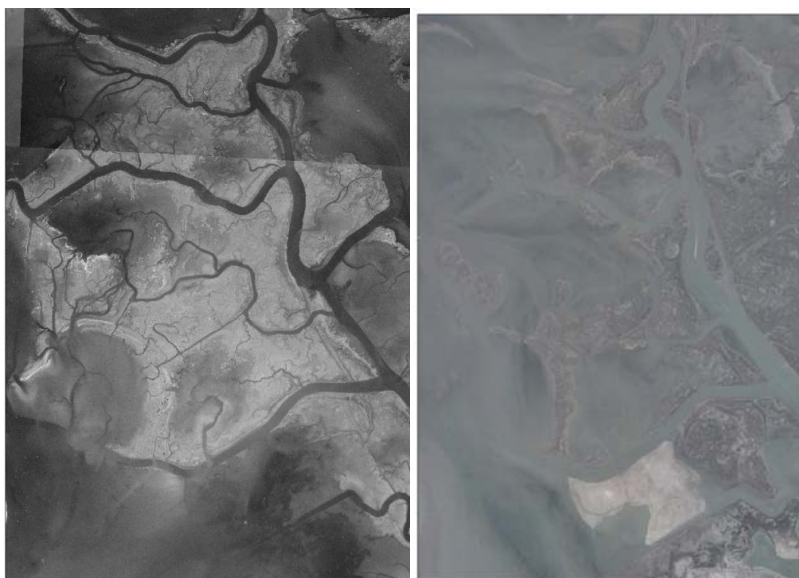


Fig. 3.2.3.1. Confronto tra immagini dello stesso sito, a sinistra la più datata (1961), a destra la più recente (2006)

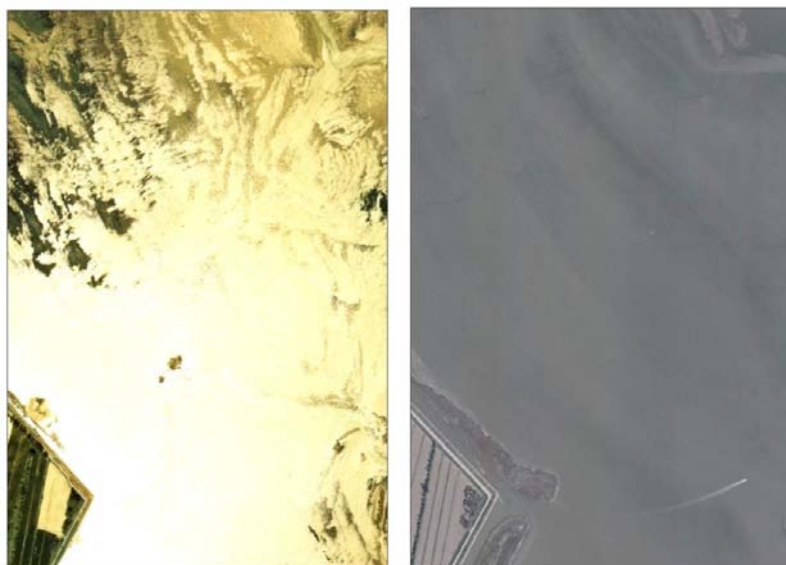


Fig. 3.2.3.2. Alcuni esempi di problematiche emerse nella georeferenziazione. A sinistra la foto del 1987, a destra quella del 2006

Georeferenziazione

La risoluzione dei problemi presentati non è stata agevole, anzi le foto georeferenziate risultanti sono il frutto di ore di lavoro e di diversi tentativi per ottenere il risultato migliore possibile. Spesso, infatti, ci si accorgeva, dopo aver svolto tutto il processo di georeferenziazione e avere svolto un confronto visivo, che il risultato prodotto non soddisfaceva le attese (ad esempio, è capitato che le tracce di alcuni canali fossero in sedi diverse rispetto a quelle prospettate, a causa di errori di posizionamento). Pertanto, in molti casi si è dovuto ragionare per mantenere i GCP corretti o meglio individuabili e cancellare quelli più forzati: l'applicazione ArcMap consentiva di salvare i GCP individuati e pertanto ciò ha agevolato molto il lavoro di rifinitura.

In generale, per evitare o limitare le cause di errore elencate, si è ricorsi al criterio del buon senso, e questo ha permesso di ottenere dei risultati discreti:

- A dispetto della straordinaria mutevolezza dell'ambiente a marea analizzato, alcune strutture morfologiche tendono a conservarsi: è il caso ad esempio delle confluenze tra maggiori canali a marea o di chiari d'acqua di canali estinti, la cui traccia è ancora ben visibile anche a differenza di anni, e pertanto queste strutture sono state utilizzate come punti di riferimento spaziale, così come i pochi edifici presenti (soprattutto nella palude di Pagliaga).
- La diversa dimensione dei pixel è stata un ostacolo perché non ha permesso la massima precisione del lavoro, ma gli errori sono stati contenuti nel miglior modo possibile cercando di lavorare sui pochi particolari presenti (ad esempio, il centro di un edificio o il suo limite se ben definito).
- Eventuali foto con tonalità di colore particolare (soprattutto il rilievo del 1987) non sono state considerate, prediligendo una miglior qualità a una maggior quantità.
- Alcune zone, prive di punti di controllo fissi a terra, per

mancanza di riferimenti oggettivi, non state considerate per l'analisi di reti di canali a marea: questo ha limitato notevolmente l'area oggetto di studio. Come sarà illustrato in seguito, questo ha riguardato, fortunatamente, solo le Casse di Colmata, zona tra l'altro molto estesa e quindi non analizzata nella sua interezza ma in zone limitate.

Il numero corretto di punti per una buona georeferenziazione è variabile: va precisato che è necessario avere a disposizione almeno un minimo di tre punti e di conseguenza tre collegamenti. In questo modo, con una trasformazione di primo ordine è possibile attribuire a ogni punto dell'immagine raster di partenza una nuova posizione nell'immagine di destinazione. L'aggiunta di nuovi collegamenti introduce errori di posizione o residui, che vengono distribuiti dal programma tra tutti i collegamenti. Tuttavia, la prassi comune impone l'aggiunta di più di tre collegamenti, perché se un link è posizionato in modo non corretto, ha un impatto molto maggiore sulla trasformazione. Così, anche se l'errore della trasformazione matematica aumenta quando si creano più collegamenti, parimenti aumenterà la precisione complessiva della trasformazione.

L'errore, definito come la differenza tra la posizione del punto materialmente precisato dall'utente e quella effettiva, generata secondo l'ordine della trasformazione, è in sostanza lo scarto quadratico medio tra la posizione del punto scelta e quella interpolata dal polinomio ed è indicato dalla sigla RMS (root mean square error). Il programma consente il calcolo del RMS, relativo sia al singolo punto che totale, tramite le formule

$$RMS = \sqrt{(X - X_{GCP})^2 + (Y - Y_{GCP})^2}$$

$$RMS_{tot} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n RMS_j}{n}}$$

Il RMS totale da un'indicazione di massima su come l'errore viene

distribuito mediamente su tutti i collegamenti. Il dato fornito dal RMS è però da prendere con le dovute precauzioni: se da un lato è vero che un errore basso può essere indice di una corretta georeferenziazione, dall'altro non è una condizione necessaria e sufficiente, poiché spesso le foto in possesso sono state distorte. In questo caso si è ricorsi a una trasformazione di grado più alto per compensare eventuali distorsioni.

Va fatta anche una precisazione sulla distribuzione spaziale dei GCP. Infatti, per i problemi già citati, spesso la distribuzione dei GCP non è stata uniforme nell'immagine, ma anzi si è concentrata in zone particolari (vedi Fig. 3.2.1.1.). Questo, anche se va contro il secondo postulato di Mather, è stato un problema non sempre risolvibile, e quindi ha inficiato una corretta georeferenziazione. Pertanto, come già detto, le foto con problemi di questo genere non sono state considerate nelle analisi successive di tracciamento dei canali. Potendo scegliere, si è sempre preferito di trovare più GCP nella parte centrale dell'immagine piuttosto che ai bordi della stessa, privilegiando una buona georeferenziazione nella parte centrale, con errori di posizionamento nelle zone più esterne.

Come già detto, alcuni rilievi fotografici riguardanti l'area delle Casse di Colmata, cioè quelli del 1996 e del 2006, erano già stati georeferenziati in un lavoro antecedente, e pertanto il processo di georeferenziazione non è partito dal nulla. Usando queste foto come riferimento, si è proceduto all'attribuzione delle caratteristiche spaziali dei set fotografici semplicemente facendo coincidere dei punti dell'immagine da trattare con i dataset già disponibili, operando la trasformazione dopo aver raggiunto un discreto numero di punti. Per le immagini della parte nord della laguna invece, senza set di dati con riferimenti geografici annessi, si è lavorato con l'ausilio del programma Google Earth: con un lavoro di confronto tra le foto del volo 2010 reven area Venezia (volo alto), scattate tra il 21 agosto e il 21 settembre 2010, trattate con ArcMap, e le immagini datate 7 dicembre 2007 disponibili in Google Earth, si sono trovati alcuni GCP di coordinate note (opzione disponibile in Google Earth) e confrontabili tra i

Georeferenziazione

diversi set fotografici. È stato quindi possibile georeferenziare le immagini con un adeguato numero di punti e, successivamente, i set fotografici più datati sono stati georeferenziati come già fatto per le immagini relative alle Casse di Colmata.

Le foto già georeferenziate delle casse di colmata erano espresse in coordinate geografiche nel sistema Gauss-Boaga. Tale sistema ha come ellissoide di riferimento quello internazionale orientato a Roma Monte Mario (European Datum 1940), ed è una proiezione trasversa di Mercatore. Pertanto in Google Earth, si è scelto di cambiare il sistema di coordinate per avere dei confronti tra le zone di Pagliaga e delle ex saline di San Felice.

Per terminare il capitolo, si vuole porre l'attenzione anche su alcuni problemi secondari riguardanti lo scatto delle foto aeree. In particolare, alcune foto hanno evidenziato dei difetti intrinseci quali:

- *Effetti prospettici*: l'asse geometrico di presa, cioè la linea che congiunge obiettivo della macchina con il terreno, può non essere perfettamente ortogonale al piano tangente, rendendo difficile la reale percezione degli elementi osservati.
- *Non planarità dell'oggetto*: solitamente il terreno che è fotografato non è piano, perché la superficie della Terra è quasi sferica, e inoltre presenta morfologie irregolari come colline e montagne. Nel nostro caso, l'elevazione dei terreni non comporta deformazioni notevoli poiché l'ambiente lagunare presenta altezze massime dei terreni nell'ordine di due o tre metri sul livello medio mare.
- *Distorsioni radiali*: man mano che ci si allontana dal centro dell'obiettivo, le immagini tendono subire deformazioni sempre maggiori. Pertanto, la georeferenziazione delle foto va in difetto per quanto riguarda i riferimenti più esterni rispetto al centro delle stesse. Inoltre le diverse lenti focali e le differenti quote utilizzate per i voli hanno reso non omogenee queste

deformazioni, complicando ancora di più il lavoro in Gis.

- *Distorsione tangenziale*: ortogonale alla deformazione radiale, tende a essere trascurata perché minore di alcuni ordini di grandezza.
- *Anelli di Newton*: questi anelli concentrici, con chiaro scuri alternati, si formano quando tra due dischi di vetro, uno piano (il vetro dello scanner) e leggermente convesso (la foto non perfettamente aderente al vetro), premuti uno contro l'altro, imprigionano un sottile strato di aria il cui spessore è dello stesso ordine di grandezza della lunghezza d'onda della luce visibile, dando origine a fenomeni di riflessione e rifrazione della luce stessa.

3.3 ArcMap, ArcCatalog e modello vettoriale

In questa sezione conclusiva del capitolo, dopo aver delineato brevemente la storia che ha caratterizzato l'evoluzione dei programmi di tipo Gis fino ai giorni nostri e le applicazioni usate, si vuole dare una descrizione del programma da un punto di vista più operativo: l'obiettivo non vuole essere una spiegazione esaustiva di tutte le applicazioni e di tutte le possibilità che un software di questo genere può permettere, poiché molto ampie e facilmente reperibili in un qualunque manuale, ma una spiegazione sintetica di come è organizzato il lavoro svolto e di come si è sfruttata la potenzialità del Gis. Si spera così che il lavoro presentato possa essere il più chiaro possibile, anche nell'eventualità che questo oggetto di studio venga portato avanti da altri laureandi o da altri ricercatori.

Di fatto il Gis è un insieme di applicazioni che fornisce informazioni riguardanti dati cartografici, collegati e collegabili al territorio. Consente inoltre di rappresentare il mondo che ci circonda con figure geometriche, in modo da poter definire ogni elemento, sia esso una strada, un edificio, un lago o, nel nostro caso, canali a marea e barene, come un insieme di punti di coordinate note, e poterne quindi approssimare, certamente non nei minimi dettagli, ma efficacemente, la struttura. Tale approssimazione, tramite il software Gis, consente di utilizzare degli operatori matematici noti per studiare le proprietà dell'oggetto: quindi, tanto migliore sarà il modello geometrico di rappresentazione, più vicino alla realtà sarà il modello matematico.

In ambito Gis, questa procedura di rappresentazione della realtà tramite elementi geometrici è chiamata "modello vettoriale", in contrapposizione al "modello raster" che, come già visto, rappresenta la realtà tramite griglie di celle di forma e misura regolare, ordinate secondo righe e colonne con preciso valore associato. Le componenti fondamentali che formano il modello vettoriale sono il punto, la linea e il poligono, anche dette primitive geometriche vettoriali, perché da questi tre elementi

Georeferenziazione

o da loro combinazioni è possibile ricavare le geometria, in ambito Gis, di qualsiasi oggetto. Per il seguente elaborato, è stato necessario l'utilizzo di tutte le primitive citate.

- Il punto è costituito geometricamente da una coppia di coordinate, e può essere utilizzato per rappresentare non solo elementi effettivamente puntuali e privi di dimensione, come ad esempio un punto trigonometrico di riferimento, ma anche entità reali effettivamente esistenti e con una struttura areale ben definita. Questo può essere fatto per motivi di scala o per motivi legati all'uso che si intende fare dei dati stessi, quando magari non interessi l'estensione dell'area legata a quel punto, ma una sua caratteristica intrinseca come ad esempio il flusso turistico in un certo periodo di osservazione. Nel presente elaborato, il punto è stato utilizzato nel caso della georeferenziazione delle foto scattate nel 2010 riferite alla Palude di Pagliaga, facendo coincidere ogni punto rappresentato con delle coordinate precise all'interno del foglio di lavoro di ArcMap (Figura 3.3.1).



Fig. 3.3.1. Esempio di elementi puntuali (in verde) per la georeferenziazione degli aerofotogrammi della Palude di Pagliaga

- La linea è un insieme ordinato di punti di coordinate note, dove quelli iniziale e finale sono chiamati estremi. La linea consente la modellazione di oggetti del mondo reale con una dimensione prevalente sulle altre, in funzione della scala che s'intende usare: si può pensare ad esempio a elementi come linee di costa, curve di livello o acquedotti, se l'ingombro dell'acquedotto stesso è minimo rispetto alla scala utilizzata. Nell'elaborato, la linea è stata usata ampiamente, perché grazie al suo utilizzo è stato possibile discriminare tra terre emerse e zone canalizzate, modellando quindi i canali a marea all'interno della laguna, e rappresentare il contorno delle barene in fase di accrescimento. Ovviamente, la modellazione di tali elementi lagunari è affetta da errori, perché spesso la linea, che in pratica è un insieme di segmenti, è usata per simulare elementi curvilinei, come nel caso dei meandri dei canali a marea: pertanto, a errori intrinseci legati al valore delle coordinate, si aggiungono errori di discretizzazione e di approssimazione.
- Il poligono descrive una parte di piano compresa all'interno di una linea spezzata chiusa, costituita quindi da un insieme ordinato di punti i cui estremi coincidono. Consente la modellazione di elementi reali che possono essere descritti da aree, e quindi in sostanza ogni elemento caratterizzato da estensione, come limiti amministrativi di comuni, campi da calcio o complessi residenziali. Per il nostro lavoro, l'elemento area (chiamato poligono nel programma ArcMap) è stato usato per modellare le barene in espansione della zona delle ex saline di San Felice, e per poterne quindi apprezzare l'accrescimento e lo sviluppo nel tempo. Per l'elemento area vale quanto detto per la linea: essendo descritta da una spezzata che in genere approssima tratti curvilinei, presenta problemi di discretizzazione. La Figura 3.3.2 mostra un esempio di come gli elementi di tipo lineare e poligonale siano stati usati per

delimitare e disegnare le barene e i canali in evoluzione nell'area barenicola delle ex saline di San Felice.



Fig. 3.3.2. Esempio di elementi lineari e d'area (in blu) nelle ex saline di San Felice, anno 2010

Con queste descrizioni, abbiamo definito la prima delle due tipologie di elementi che il Gis elabora, cioè i dati spaziali: essi, come appare chiaro dalle precisazioni proposte, sono elementi visualizzati in formato digitale dal computer.

La seconda categoria dati in ambito Gis sono gli attributi, non georeferenziati ma associabili a ogni elemento georeferenziato sulla carta. Grazie agli attributi, è possibile fornire delle informazioni collegabili agli elementi geografici, per permettere una lettura completa delle carte visualizzate: le informazioni sono raccolte in un database.

Prima di parlare operativamente di cosa si è fatto è bene distinguere le due applicazioni Gis che hanno permesso di portare avanti il progetto. Il lavoro di tesi è stato realizzato, come già detto, con il software della ESRI, ArcGis, in particolare con le applicazioni ArcCatalog per la

Georeferenziazione

creazione e la gestione di geodatabase e ArcMap per la visualizzazione e la gestione dei file vettoriali o raster.

3.3.1 ArcCatalog

ArcCatalog è un'applicazione che serve per muovere, rinominare e copiare dati cartografici, e per avere una veloce anteprima delle forme geometriche e dei loro attributi. Permette inoltre la gestione dei collegamenti e l'accesso alle informazioni. In ambito ArcGIS è molto importante avere chiaro il percorso e il modo in cui si sono salvati i file perché, in caso di mancanza di informazioni (a causa di collegamenti non più presenti o incompleti, come ad esempio dopo un'operazione di taglia e incolla), il programma non consente più la visualizzazione dei layer.

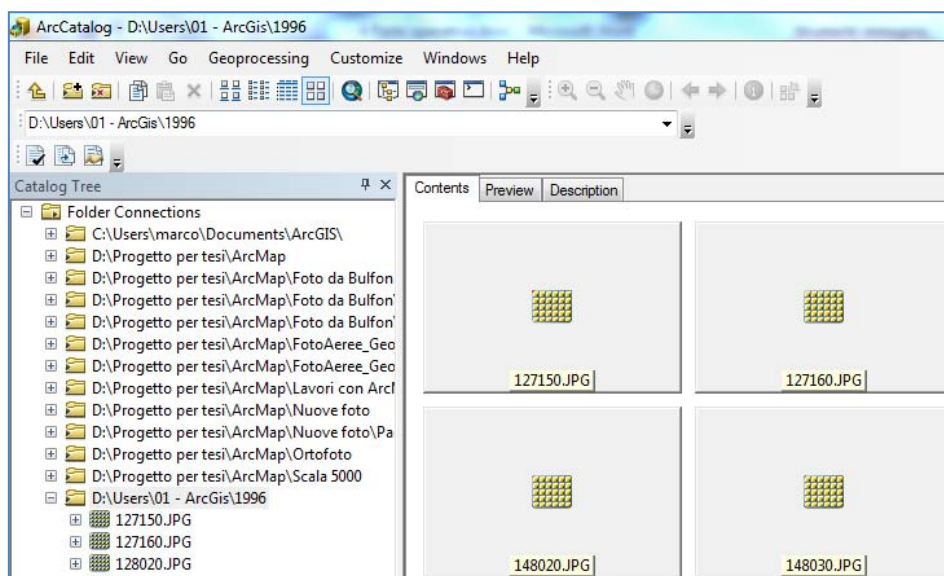


Fig. 3.3.1.1. Schermata iniziale di ArcCatalog

In ArcCatalog si trovano quindi tutte le strutture delle directories, le cartelle di connessione effettuate, e altri “data sources” (fonti di dati), come ad esempio la connessione ai database.

Nella Figura 3.3.1.1, che illustra la schermata iniziale dell'applicazione ArcCatalog, è possibile vedere:

Georeferenziazione

- La barra degli strumenti.
- Una finestra intitolata “Catalog Tree”, una struttura ad albero che mostra le cartelle disponibili e i layer in esse contenuti.
- Un gruppo di pulsanti che consentono di accedere a differenti modi di analisi del dato. In particolare:
 - 1) Contents: vengono visualizzati i file contenuti nella cartella, che sono rappresentati da piccole icone che mostrano la tipologia del dataset o del layer (tipo shapefile, raster etc.). In questa sottofinestra i dati possono essere trattati per adattarli alle diverse esigenze (spostati, cancellati o rinominati).
 - 2) Preview: questa sottofinestra consente di visualizzare l’anteprima del file selezionato.
 - 3) Description: si riporta una breve descrizione dei file selezionati.

In ArcCatalog quindi ogni file o layer presente nel progetto viene riportato o catalogato.

Per digitalizzare i layer contenenti la geometria dei canali, è necessario, dal punto di vista operativo, creare i contenitori dai dati vettoriali che si intende poi digitalizzare. In ArcCatalog quest’operazione si può fare, selezionando la directory in cui si vogliono creare i nuovi file e utilizzando il menù file per creare lo shapefile di riferimento (letteralmente, file di forma): ogni shapefile è caratterizzato da nome, tipologia, cioè se punto, linea o poligono e riferimenti spaziali. I prodotti finali di questa procedura sono la creazione di un layer atto a ospitare e a visualizzare il risultato della successiva fase di digitalizzazione e la definizione della struttura di salvataggio dei dati, elemento fondamentale in ArcGis: il layer così creato può essere aggiunto in ArcMap e si può quindi cominciare la fase di digitalizzazione.

3.3.2 ArcMap

ArcMap è l'applicazione principale utilizzata in ArcGis per la mappatura, l'editing, l'analisi e la gestione dei dati. È l'ambiente di ArcGis dove si visualizzano e si esplorano i dati Gis per l'area di studio, in cui si assegnano i simboli, e dove si creano i layout di mappa per la stampa o la pubblicazione: si presenta come un foglio bianco (che rappresenta la superficie terrestre) su cui è possibile iniziare nuovi progetti o caricare progetti già esistenti. Tra le diverse funzionalità che l'applicazione fornisce, si ricordano le seguenti:

- Visualizzazione delle proprietà della struttura dei dati e dei layer stessi.
- Aggiunta o rimozione di layer.
- Utilizzo di strumenti di navigazione e attribuzione dei singoli dati.
- Impostazione del layout di stampa.
- Salvataggio e pubblicazione dei progetti.

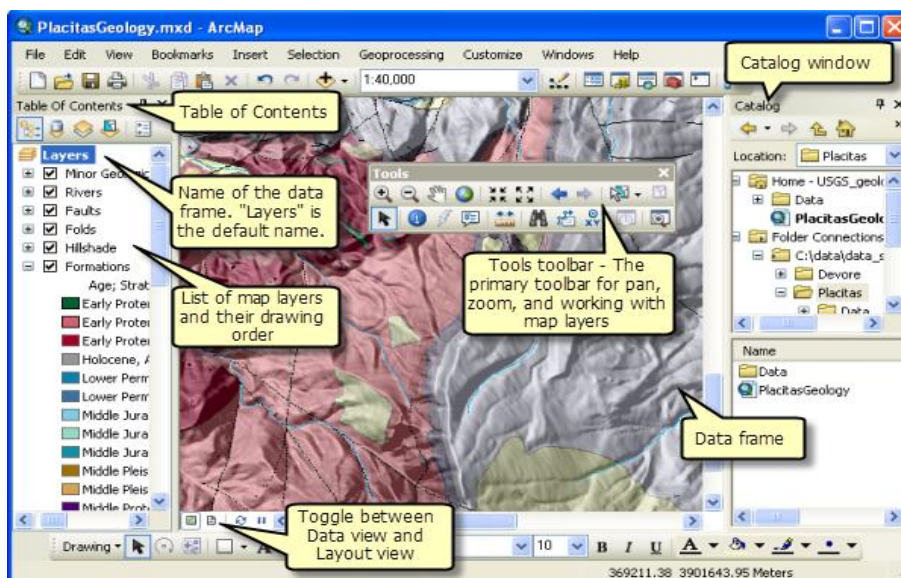


Fig. 3.3.2.1. Esempio di schermata di ArcMap, con elementi evidenziati

In ArcMap, di cui si riporta la schermata iniziale in Figura 3.3.2.1, ci sono due tipi di visualizzazione: la visualizzazione dell'elenco dei dati e la visualizzazione dei layout generati da questi dati.

La prima tipologia di visualizzazione, riportata nella Table of Contents (tabella dei contenuti), fornisce una mappa della struttura dei dati, raccolti come un elenco di livelli, che possono essere nascosti, resi visibili, rimossi o nascosti. Nella Table of Contents è anche possibile visualizzare le proprietà dei singoli layer e, in caso, raggrupparli se presentano alcune affinità, come ad esempio, le foto dello stesso anno delle zone analizzate. L'ordine in cui i layer sono riportati influenza anche la visualizzazione dei layout, in quanto il layer che sta sopra nella Table of Contents, sarà visualizzato sopra agli altri anche nella finestra di layout (nota anche come Data Frame). Il Data Frame consente la visualizzazione di una pagina in cui gli elementi della mappa sono disposti e sviluppati, pronti per la stampa.

Nel lavoro di tesi, ArcMap è stato utilizzato principalmente per georeferenziare le fotografie aeree, processo già ampiamente descritto nel capitolo precedente. La georeferenziazione è uno strumento insito nel programma, cui si accede tramite la barra degli strumenti, e che permette di trattare l'immagine raster prescelta aggiungendo GCP e salvandoli in formato .txt, per richiamarli in seguito se necessario oppure per modificare la tipologia del polinomio di interpolazione, supervisionando il RSM.

In generale, la procedura per georeferenziare dati raster è la seguente:

1. In ArcMap, aggiungere il raster che si desidera allineare con i dati proiettati.
2. Aggiungere i link che collegano le posizioni note del dataset raster alle posizioni note in coordinate della mappa.
3. Salvare le informazioni di georeferenziazione quando si è soddisfatti dell'allineamento.
4. Rendere permanente la trasformazione tramite l'opzione "Rectify". In questo modo si crea un altro layer da aggiungere al progetto con tutte le informazioni riguardanti la georeferenziazione.

Georeferenziazione

In ArcMap è anche possibile editare un layer, cioè importare un layer dall'applicazione ArcCatalog e lavorarci sopra: questa fase, detta digitalizzazione, consente quindi di disegnare o modificare, tramite numerosi comandi, il layer scelto, salvare i progressi fatti e ovviamente visualizzarli. Da notare che a ogni layer vettoriale è associata una tabella di attributi, cioè un insieme di dati che definisce in modo univoco la caratterizzazione geometrica dell'elemento. Per esempio, nella tabella degli attributi, è possibile il programma calcolo automaticamente le lunghezze delle polilinee o l'area dei poligoni: quindi, nel nostro caso, è possibile determinare la lunghezza dei canali o, allo stesso modo, l'area barenale occupata. La tabella degli attributi quindi è uno strumento fondamentale in fase di analisi.

Per il lavoro di tesi quindi ArcMap è servito per i seguenti scopi:

- Importazione dei file di tipo raster e vettoriale
- Georeferenziazione dei file raster.
- Editing dei file vettoriali.

Nel capitolo successivo, descriveremo le analisi condotte sui siti barenali considerati.

4 Evoluzione delle reti di canali a marea e delle barene nella laguna di Venezia

Dopo aver descritto, nei precedenti capitoli, la posizione geografica dei siti studiati all'interno della laguna di Venezia e le procedure utilizzate, sia per la georeferenziazione delle foto aeree, sia per la creazione dei layer vettoriali caratterizzanti i canali a marea e le barene, si analizzano i risultati ottenuti. Per meglio comprendere quanto fatto, conviene riassumere la struttura del capitolo.

Per ogni sito analizzato, in una prima sezione s'illustrano i risultati ottenuti con la georeferenziazione dei rilievi fotografici in possesso; segue quindi una seconda parte, che cambia in funzione dell'oggetto di analisi.

- Per le Casse di Colmata, illustra brevemente le reti a marea considerate, a seconda dalla posizione geografica e del grado di antropizzazione, e motiva le ragioni per cui si è scelto di studiarle.
- Per la Palude di Pagliaga, poiché il sito è molto meno esteso e tutta la zona è stata analizzata, presenta la suddivisione in microaree, per una migliore comprensione dei cambiamenti osservati.
- Per le barene in formazione nelle ex saline di San Felice, si limita a riportare qualche breve nota introduttiva e a specificare che l'analisi è suddivisa in due zone.

Una terza sezione, che illustra il lavoro svolto in ArcMap, riporta una breve descrizione dei layer vettoriali, usati per definire i canali e le barene, i confronti visivi tra i differenti anni di osservazione, e la discussione sui cambiamenti osservati.

Infine una quarta sezione analizza i possibili processi che hanno determinate le modifiche.

4.1 Casse di Colmata di Marghera

4.1.1 Georeferenziazione delle foto aeree

In questo paragrafo s'illustra il processo di georeferenziazione fatto con ArcGis relativamente alle foto aeree delle Casse di Colmata, forse la fase più complessa del lavoro, per i problemi già citati nel capitolo precedente. I rilievi fotografici georeferenziati a disposizione erano, come detto, quelli risalenti agli anni 1996 e 2006 (Figura 4.1.1.1).



Fig. 4.1.1.1. Rilievi fotografici georeferenziati, 1996 (sinistra) e 2006 (destra)

Utilizzando questi rilievi come mappe di base, le altre foto sono state georeferenziate di conseguenza, ricavando dei GCP (acronimo che sta per Ground Control Point, oggetti di sicura e certa localizzazione al suolo), dal confronto visivo e sistemando con un lavoro di correzione manuale e visiva i collegamenti ritenuti non soddisfacenti. Poiché il numero di GCP, a causa della qualità delle foto e delle diverse condizioni di marea che le caratterizzano, non è lo stesso per tutte le immagini, ma varia da undici a ventiquattro, la maggior parte delle trasformazioni effettuate è di secondo ordine, per garantire una maggior adattabilità ai rilievi già georeferenziati. Nella Figura 4.1.1.2 s'illustrano i rilievi fotografici georeferenziati manualmente.

Evoluzione delle reti di canali a marea e delle barene nella laguna di Venezia

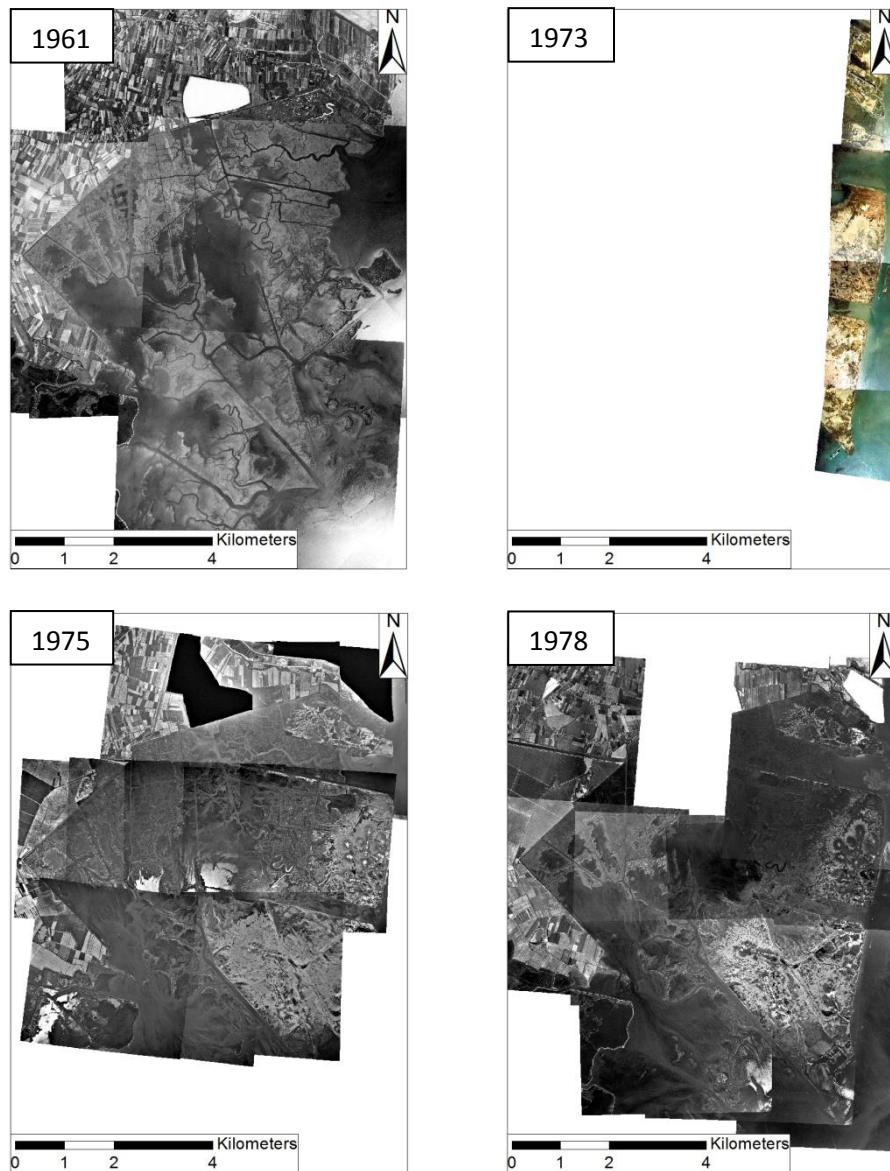


Fig. 4.1.1.2. Panoramica dei rilievi georeferenziati, ordinati cronologicamente (dal 1961 al 1978)

Evoluzione delle reti di canali a marea e delle barene nella laguna di Venezia

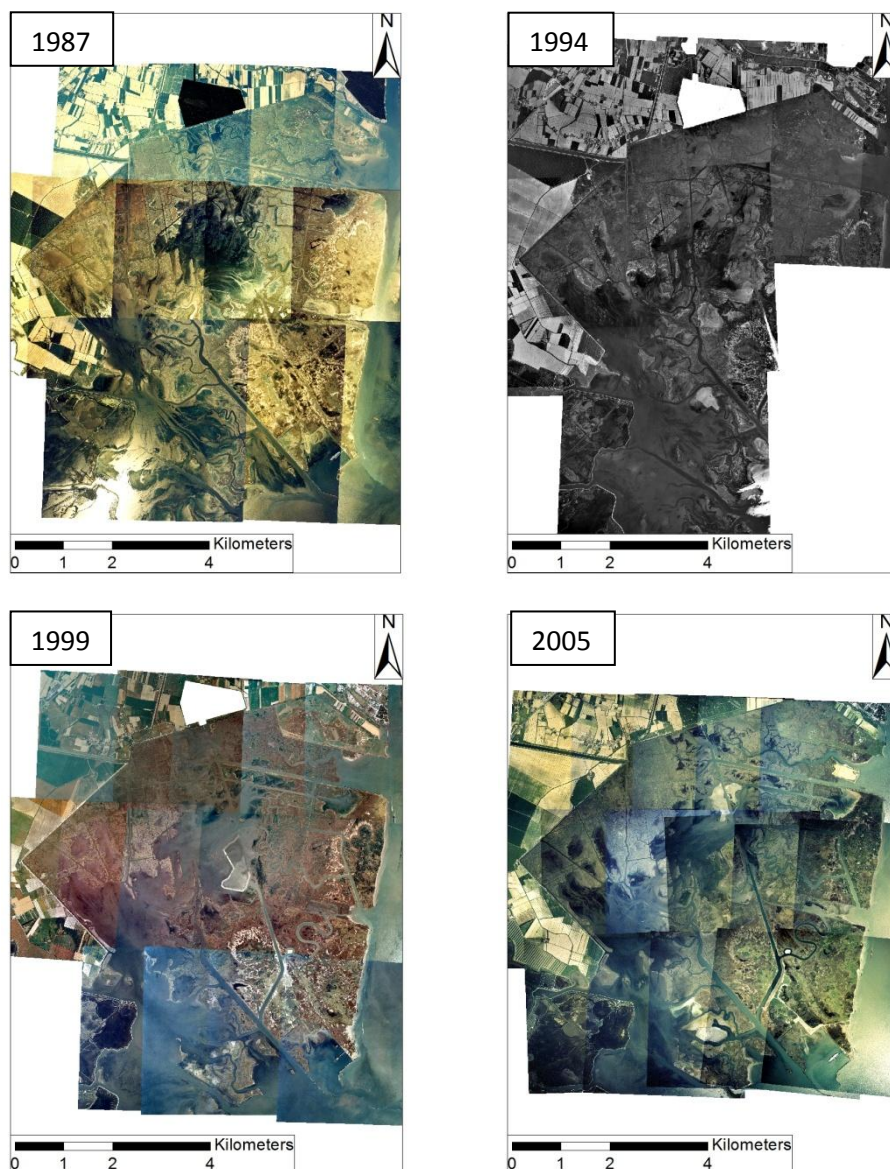


Fig. 4.1.1.3. Panoramica dei rilievi georeferenziati, ordinati cronologicamente (dal 1987 al 2005)

Come si può chiaramente osservare dalla Figura 4.1.1.2, l'area di studio non sempre è totalmente coperta dagli aerofotogrammi, sia per mancanza di foto reperibili in rete, sia per scarsa qualità: in questo caso è stato impossibile applicare la georeferenziazione. L'esempio più significativo è il rilievo fotografico del 1973, nel quale l'unica parte delle Casse di Colmata effettivamente coperta dalle immagini è la zona orientale delle casse B e DE.

4.1.2 Reti a marea analizzate

Come anticipato, per l'area occupata dalle Casse di Colmata, si è deciso di limitare l'analisi sia da un punto di vista spaziale che temporale. La scelta è giustificata da diversi fattori.

- La costruzione delle casse occupa un periodo limitato che, come scritto, interessa tutti gli anni '60, per arrestarsi definitivamente nel 1973 con l'approvazione della Legge Speciale per Venezia. È vero che l'intervento antropico non è definitivamente terminato con questa legge in quanto, per tutto il corso degli anni '90 e nel primo decennio del XXI secolo, sono stati realizzati numerosi lavori, come la creazione di barene artificiali o opere di dragaggio all'interno delle Casse di Colmata, con scavo di nuovi canali, volti a limitare l'influenza negativa delle stesse casse nei confronti dell'azione della marea (Figura 4.1.1.2, anno 1999). È però possibile affermare che la costruzione delle casse, e quindi l'influenza del fattore antropico sulle reti a marea ivi presenti, termina, di fatto, nel 1969, con la realizzazione degli ultimi lavori di arginatura e interrimento.
- Le reti di canali a marea presentano uno sviluppo non costante nel corso del tempo: infatti, dai rilievi fotografici, emerge che le reti tendono a mostrare i maggiori cambiamenti nei primi anni di vita, dopo di che intervengono dei meccanismi che fissano la struttura della rete stessa e che non permettono modifiche sostanziali dei canali o del bordo delle barene (questo risulterà chiaramente nell'analisi della zona di sbocco del canale Avesa).
- I rilievi fotografici reperiti, come visto, non sempre inquadrano completamente l'area occupata dalle Casse di Colmata. Ciò può dipendere dal fatto che la zona non sia stata sorvolata dall'aeromobile durante lo scatto delle fotografie o che alcune

foto non fossero state rese disponibili online: a causa di questi fattori, l'analisi delle reti è stata limitata da un punto di vista geografico.

- Non tutta l'area è caratterizzata dalla presenza di canali a marea: molte zone, infatti, sono occupate totalmente da terre emerse e non presentano zone canalizzate.

Con queste premesse, si è pensato quindi di limitare l'analisi a quei luoghi che ospitassero reti di canali a marea ampie e ramificate, tali da essere sempre presenti negli aerofotogrammi disponibili, e si è scelto di considerare solo alcuni dei rilievi fotografici a disposizione. La scelta è ricaduta sulle foto più risalenti al 1961, ovvero antecedenti la realizzazione delle casse, e quelle relative agli anni immediatamente successivi alla loro costruzione, cioè il 1975, il 1978 e il 1987. In questo modo si è garantita un'osservazione quasi trentennale dei siti, che ha consentito di apprezzare le evoluzioni morfologiche, escludendo le opere di dragaggio e di scavo dei canali artificiali. Non si è ritenuto opportuno procedere con l'analisi oltre il 1987, assumendo che gli ulteriori cambiamenti nella morfologia delle reti siano stati relativamente modesti rispetto a quelli che si sono realizzati nelle condizioni di disequilibrio immediatamente successive la costruzione delle Casse di Colmata. La Figura 4.1.2.1 mostra, delimitate da poligoni colorati, le reti di canali a marea analizzate.

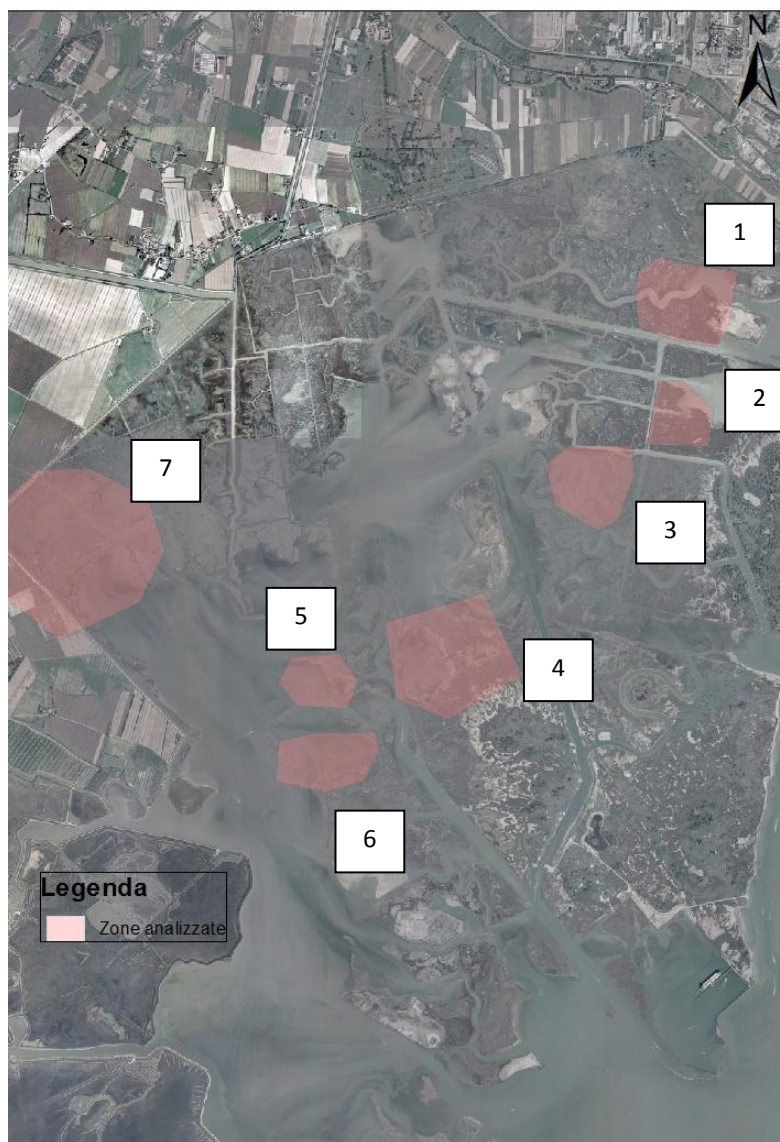


Fig. 4.1.2.1. Reti di canali a marea analizzate nella zona delle Casse di Colmata, anno 2006

Le diverse reti analizzate sono state scelte in relazione alla loro specifica localizzazione spaziale e gli eventuali interventi antropici.

- La zona 1 è stata scelta per indagare l'evoluzione del Canale Avesa nel lasso di tempo considerato, e lo sviluppo di eventuali reti di canali a marea ad esso collegate.
- Le zone 2 e 3 sono state scelte per affinità di posizione geografica. Infatti, si sono volute valutare differenze e similitudini tra reti di canali a marea molto vicine, una soggetta

a forte antropizzazione, in quanto interessata dai lavori di costruzione e arginatura della cassa B, l'altra all'esterno della stessa cassa, libera di svilupparsi e espandersi.

- La zona 4, anch'essa interessata da interventi antropici, (arginatura della cassa DE e successivo interrimento) delimita un'area in precedenza occupata dalle acque. L'analisi permette di seguire la nascita di una rete a marea e l'evoluzione di una piccola isola barenale.
- Le zone 5 e 6 delimitano aree quasi totalmente occupate da barene, prima della costruzione delle Casse di Colmata, e oggi in gran parte sommerse, a causa dei processi erosivi lagunari. Questa è la motivazione per cui si è scelto di studiarle.
- Infine, la zona 7 racchiude una rete di canali a marea indipendente da quelle contenute nelle casse e situata in una zona più interna, detta "laguna morta" per la scarsa attività mostrata. Si è quindi voluto valutare se, effettivamente, l'evoluzione dei canali rispecchiasse la scarsa attività dimostrata.

Nel paragrafo successivo saranno presentati i risultati ottenuti, suddivisi in base alla zona d'interesse.

4.1.3 Analisi delle singole reti di canali a marea

In questa sezione ogni zona oggetto di studio, introdotta da una breve descrizione, è analizzata in dettaglio, con il supporto delle immagini ottenute da ArcMap, e riprodotta con layer vettoriali. Per tutti gli anni di osservazione, sono rappresentate le reti di canali a marea ottenute; tali reti sono quindi sovrapposte al fine di osservare i cambiamenti avvenuti nel corso del tempo.

Prima di svolgere l'analisi, nella Tabella 4.3.1.1 si riportano per completezza, i dati riguardanti i rilievi fotografici utilizzati per

l'individuazione dei canali.

Anno	N° foto	Dettaglio foto	Dimensione pixel [m]	N° GCP	RMS _{totale} [m]
1961	3	2536	0.955537	20	1.45479
		2556	0.946448	11	2.48621
		2558	0.940998	18	2.01624
1975	6	1975_12_723	0.701448	12	1.37867
		1975_12_724	0.653443	19	1.60994
		1975_12_748	0.679992	17	1.89614
		1975_12_751	0.672003	13	1.28269
		1975_12_752	0.676509	13	1.17596
		1975_12_754	0.703305	16	1.47214
1978	4	1978reven_10_320	0.92524	18	1.72382
		1978_11_233	0.92187	14	1.1425
		1978_11_236	0.887756	17	2.42104
		1978_11_240	0.906614	18	1.72382
1987	3	1987reven_4338	0.876016	20	2.2651
		1987reven_4383	0.922608	13	1.81173
		1987_9_4385	0.864285	13	1.62125

Tab. 4.1.3.1. Dati degli aerofotogrammi usati come mappe di base per la digitalizzazione dei layer vettoriali

Come si può vedere, la dimensione dei pixel dei rilievi, seppur diversa, è comparabile. Pertanto, non ci sono differenze sostanziali nella determinazione dei canali a marea aventi ovviamente sezioni maggiori rispetto alla massima dimensione del pixel (escludendo quindi le ramificazioni più esili). Da notare che anche il valore del RMS totale resta abbondantemente sotto i tre metri: questo risultato, considerando la qualità delle foto in possesso e la tipologia di ambiente su cui si è svolta l'analisi, è stato ritenuto soddisfacente.

Tutti i polinomi utilizzati per la georeferenziazione delle immagini sono di secondo ordine, per permettere un'approssimazione migliore, in funzione del numero GCP trovati e dei relativi collegamenti.

4.1.3.1 ZONA 1: Canale Avesa

Il canale Avesa, e in particolare il tratto terminale, ha subito alcune modifiche nel corso del tempo. Già presente nel 1961, come si può vedere dagli aerofotogrammi riportati in Figura 4.1.3.1.1, è compreso oggi tra l'arginatura meridionale della cassa A e l'arginatura settentrionale della cassa B. Esso in sostanza rappresenta la divisione naturale tra le due strutture. Da aggiungere che il tratto terminale del canale Avesa è stato oggetto di alcuni interventi, seppure in epoca successiva a quella da noi trattata (ovvero nei primi anni del 2000) volti alla stabilizzazione della zona di afflusso nel bacino Sant'Angelo, con la costruzione di una barena artificiale per ridurre il fenomeno dell'erosione allo sbocco. Tramite l'uso di layer vettoriali, e in particolare con lo strumento polilinea, sono stati individuati i contorni delle zone canalizzate costituenti sia il canale Avesa sia i piccoli ghebi che da esso si diramano. I risultati sono poi stati sovrapposti per valutare i cambiamenti morfologici dettati dai fenomeni erosivi e deposizionali, nonché lo sviluppo dei canali minori.

Evoluzione delle reti di canali a marea e delle barene nella laguna di Venezia

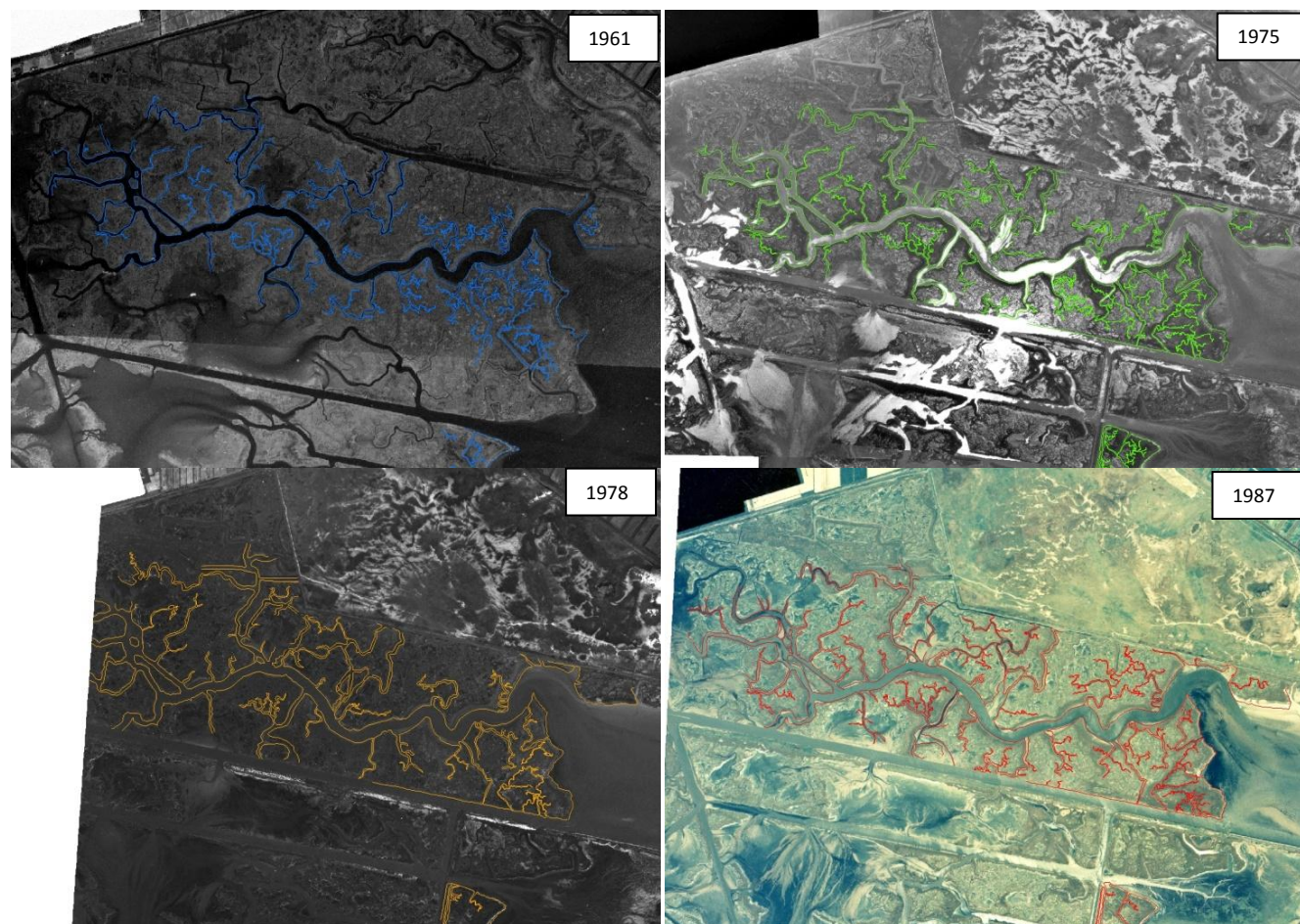


Fig. 4.1.3.1.1. Zona 1: Canale Avesa. Successione temporale degli aerofotogrammi relativi al sito in esame e i vettoriali associati. Disposizione: in alto a sinistra la foto del 1961 (layer blu), in alto a destra la foto del 1975 (layer verde), in basso a sinistra la foto del 1978 (layer arancione), in alto a destra la foto del 1987 (layer rosso)

Evoluzione delle reti di canali a marea e delle barene nella laguna di Venezia

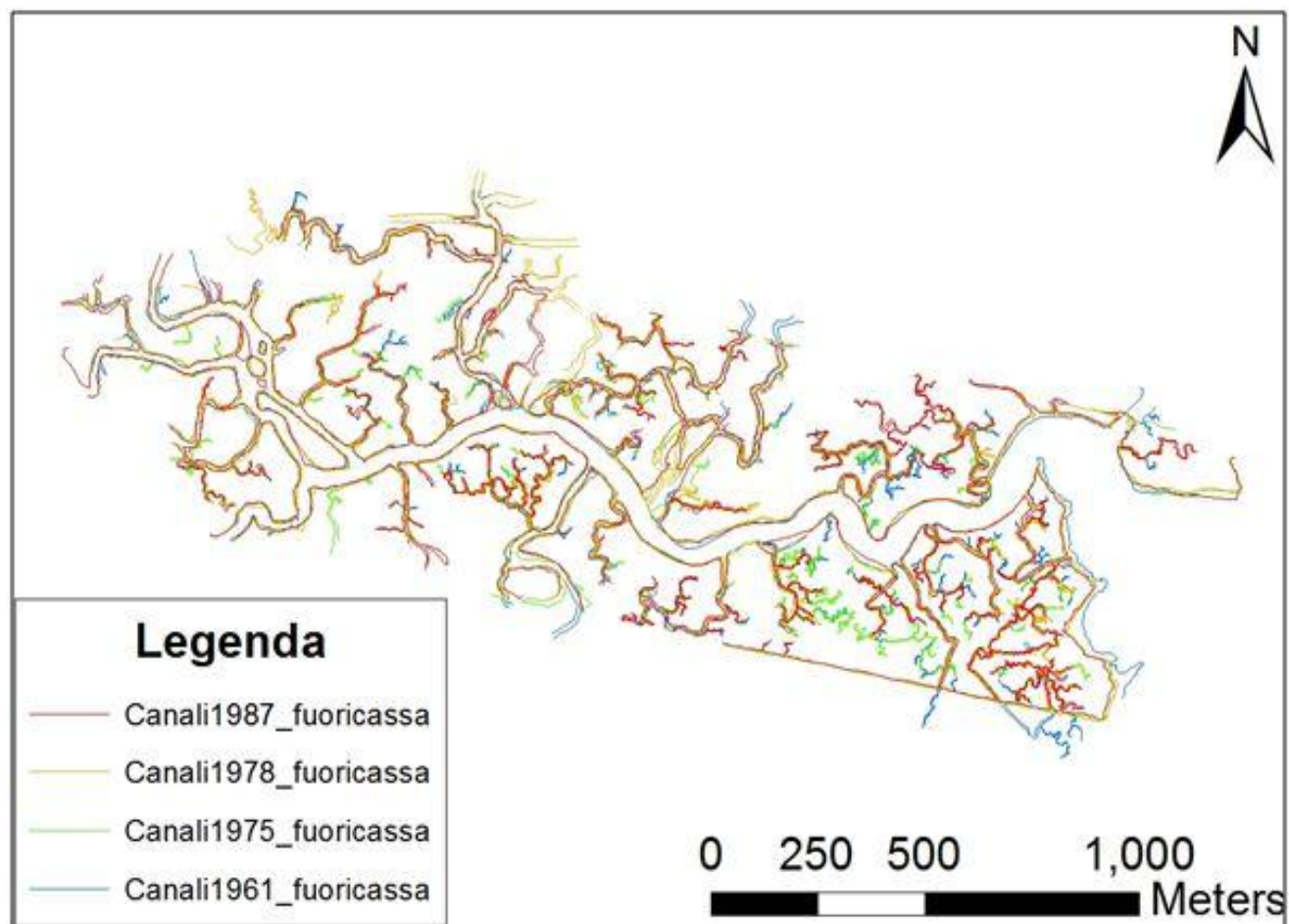


Fig. 4.1.3.1.2. Zona 1: Evoluzione morfologica del Canale Avesa e dei canali minori ad esso associati

Evoluzione delle reti di canali a marea e delle barene nella laguna di Venezia

Le Figure 4.1.3.1.1 e 4.1.3.1.2 mostrano, rispettivamente, la successione temporale degli aerofotogrammi contenenti il corso del canale Avesa, con i rispettivi layer vettoriali, utilizzati per rappresentare l'andamento temporale delle sponde del canale principale e dei canali principali che da esso si diramano. Per le reti di canali poste all'interno delle Casse di Colmata, e si è deciso di associare il colore blu al contorno dei canali del 1961, il verde per la configurazione dell'anno 1975, l'arancione per il 1978 e il rosso per il 1987.

Allo scopo di analizzare al meglio il canale Avesa, esso è stato suddiviso in due zone, studiate separatamente per avere una visione più dettagliata dell'evoluzione morfologica.

1. Tratto terminale del Canale Avesa e sbocco nel Bacino Sant'Angelo

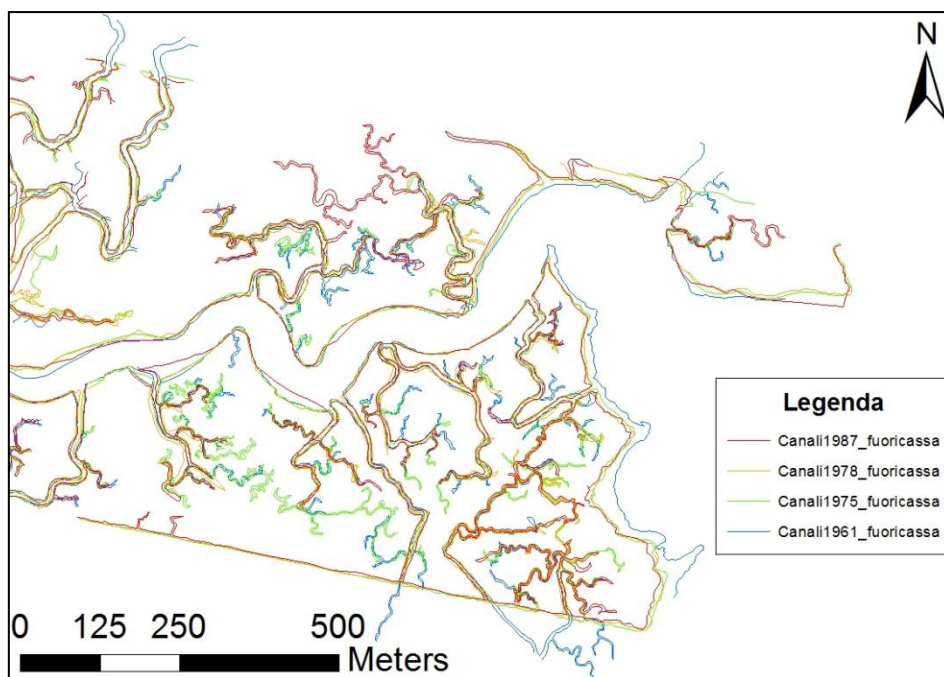


Fig. 4.1.3.1.3. Tratto terminale del Canale Avesa

La Figura 4.1.3.1.3 mostra che, nel tempo, la zona di sbocco nel bacino Sant'Angelo è stata soggetta a fenomeni di erosione consistenti, che hanno arretrato considerevolmente la linea di costa, raggiungendo anche i 45 metri in alcuni punti. Questi fenomeni erosivi hanno portato, nei primi anni duemila, alla

necessità di arginare un'ampia area di fronte alla barena posta nella zona di sbocco, successivamente riempita per formare una barena artificiale di protezione. Seguendo il corso del canale, da ovest verso est, si nota come la linea di sponda sia leggermente mutata nel corso del tempo: in particolare, si può osservare la presenza di zone di deposito e di scavo rispetto alla configurazione originaria. Questo fenomeno è evidente in corrispondenza della sponda meridionale del canale e vicino al confine con la cassa A dove, rispetto al 1961, la linea di sponda del 1987 quasi lambisce l'arginatura sud della cassa stessa: le massime differenze riscontrate superano i 10 metri.

Per quanto riguarda le reti di canali a marea che si originano dal Canale Avesa, vi sono delle incongruenze probabilmente legate alla qualità delle foto utilizzate, soprattutto per quelle in bianco e nero del 1975 e 1978, che non consentono una facile discriminazione tra zona canalizzate e no e, forse, alle differenti condizioni di marea, che hanno reso difficoltosa la corretta valutazione della reale estensione della rete: l'alta marea, infatti, ha probabilmente riempito alcuni canali terminali, in genere non interessati dalla presenza di acqua. L'incongruenza riguarda soprattutto la rete del 1975 (in verde) che, rispetto alle altre configurazioni, appare molto più ramificata.

Andando nel dettaglio, discriminando tra zona nord e sud rispetto allo sbocco del canale Avesa, è possibile notare che le reti di canali della zona nord presentano, in prossimità dello sbocco, una sensibile evoluzione. Infatti, il corso di alcuni canali più datati, presenti nel 1961 (in blu), è scomparso, e la rete di canali del 1987 (in rosso) è decisamente più ramificata, segno che i processi di erosione, oltre all'arretramento della linea di costa in corrispondenza dello sbocco nel bacino Sant'Angelo, hanno contribuito sia allo sviluppo di nuove ramificazioni sia alla nascita

Evoluzione delle reti di canali a marea e delle barene nella laguna di Venezia

di nuovi tratti canalizzata. La zona sud invece ha risentito dello scavo del canale Cunetta, che corre parallelamente all'Avesa e che ha comportato il taglio delle ramificazioni terminali della rete del 1961. In generale, il confronto tra le varie configurazioni induce ad affermare che le reti di canali non abbiano subito molti cambiamenti: piuttosto, rispetto al 1961, si nota una riduzione dell'estensione delle ramificazioni. Unici segni di attività sono la nascita di due insenature nella sponda nord del canale Cunetta, un contenuto fenomeno di taglio di meandro (cut-off) e un cedimento del perimetro di un piccolo ghebo confinante con il canale Avesa. La Figura 4.1.3.1.4 mostra questi particolari.

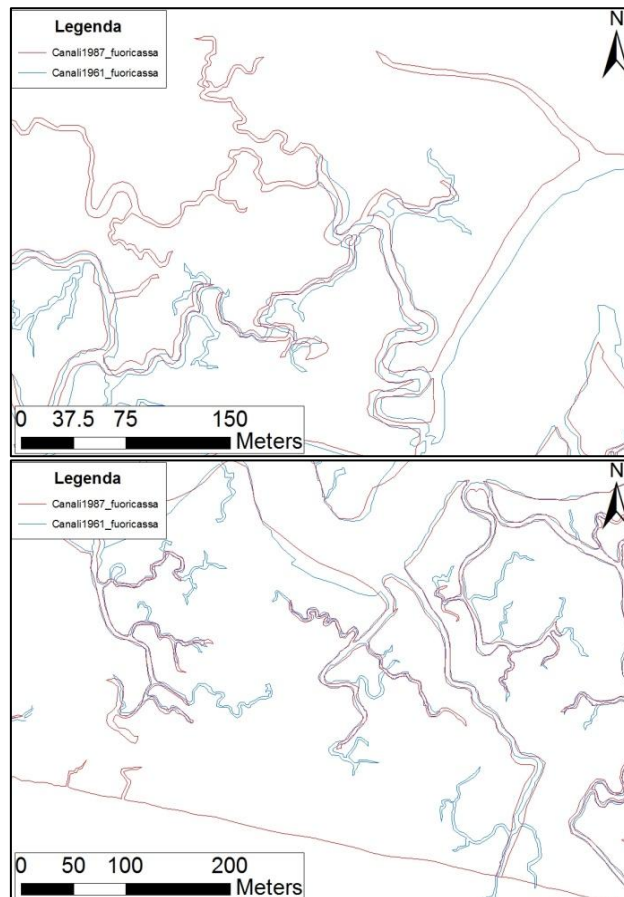


Fig. 4.1.3.1.4. Particolari del tratto terminale del Canale Avesa. Si notano l'incremento di estensione della rete e la nascita di nuovi canali (in alto), il taglio di meandro, la nascita di nuovi canali e il troncamento della rete del 1961 per lo scavo del canale Cunetta (in basso)

2. *Tratto iniziale del Canale Avesa*

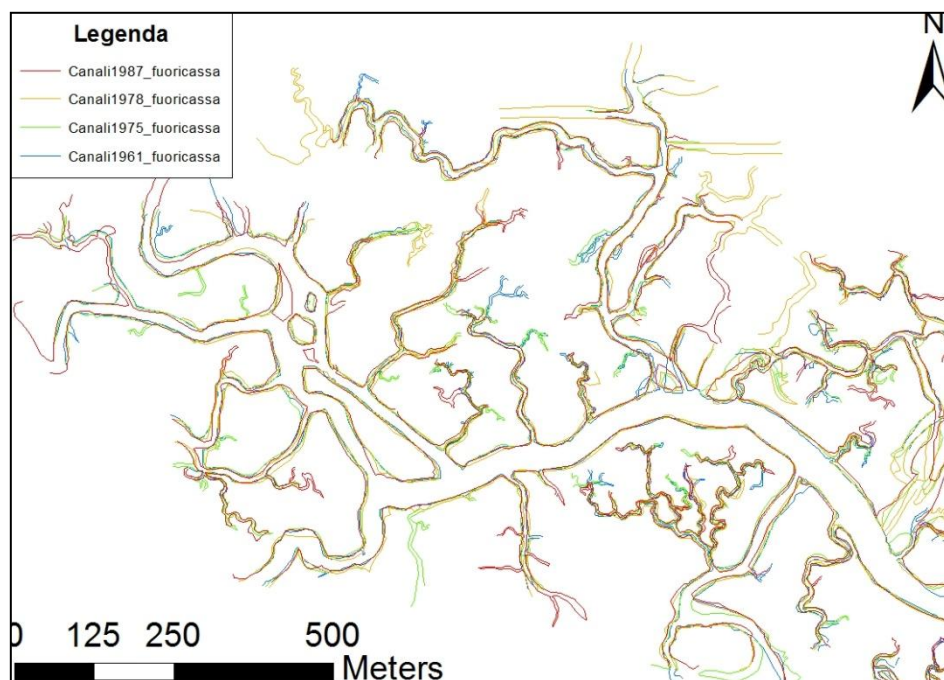


Fig. 4.1.3.1.5. Tratto iniziale del Canale Avesa

La parte iniziale dell’Avesa, riportata nella Figura 4.1.3.1.5, non è oggetto di cambiamenti importanti, sia per quanto riguarda il corso del canale, sia per le reti di marea a esso connesse. Infatti, non si osservano più i fenomeni di deposito ed erosione caratterizzanti il tratto terminale e, quindi, il corso del canale si mantiene pressoché inalterato nel tempo. Analogo comportamento è seguito dalle reti secondarie di canali a marea, fermo restando il fatto che l’estensione della configurazione riferita al 1975 è maggiormente estesa. Le uniche differenze significative sono la formazione di piccoli isolotti barenali nel tratto d’origine del canale Avesa, dovuti quasi certamente a fenomeni di deposito, e la modifica di un canale laterale che originariamente era costituito da due canali minori ravvicinati, e si presenta oggi come un unico canale a marea con una piccola isola di materiale sabbioso nel tratto iniziale.

L’analisi differenziata della zona di sbocco del canale Avesa e del suo tratto iniziale consente di valutare come, lungo il corso di uno

stesso canale, la dinamica evolutiva possa essere differente. Infatti, la porzione iniziale presenta un comportamento quasi statico, mentre il tratto terminale del canale presenta notevoli variazioni dovuti a processi di erosione e deposito, particolarmente attivi nella zona di sbocco. Questo fenomeno è verosimilmente dovuto alla vicinanza di quest'ultima al bacino di Sant'Angelo e quindi a una zona molto attiva della laguna. Anche le reti di canali a marea che si originano dal Canale Avesa non variano uniformemente nello spazio: statiche nel tratto iniziale, con poche modifiche nella zona meridionale rispetto allo sbocco e con significativa evoluzione a nord del canale Avesa, in prossimità della Cassa di Colmata A. La diversa variabilità degli elementi considerati dipende dalla zona cui questi elementi si trovano: più vicino sono alla parte attiva della laguna, più evidenti sono i fenomeni evolutivi, poiché sono più esposte all'azione erosiva esercitata dalla marea e, soprattutto, delle onde generate dal vento e il trasporto dei sedimenti. Viceversa, le zone più interne sono più protette e pertanto meno soggette a cambiamento. La Figura 4.1.3.1.6 riporta le poche modifiche osservate nel tratto iniziale del Canale Avesa.

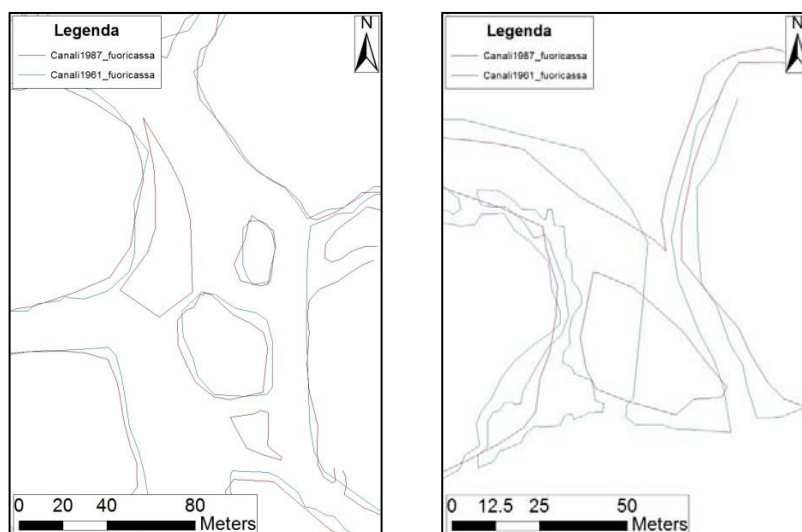


Fig. 4.1.3.1.6. Particolari del tratto iniziali del Canale Avesa. Si notano le piccole isole barenali, formatesi per deposito dei sedimenti (sinistra), e il nuovo corso di un canale laterale dell'Avesa con isola al centro, originato dall'evoluzione di due piccoli ghebi (destra)

4.1.3.2 ZONE 2-3: reti di canali a marea all'interno e all'esterno della cassa B

Le reti di canali a marea contenute nelle zone 2 e 3 sono state indagate per due ragioni principali, tra loro collegate: la loro posizione e la similarità degli ambienti che le costituiscono.

Le reti, infatti, distano meno di 500 metri e, quindi, sono verosimilmente composte dalla stessa tipologia di sedimenti. Quest'ipotesi potrebbe apparire forzata, in quanto l'interrimento che ha seguito l'arginatura della cassa B è stato effettuato coi materiali dragati derivanti dallo scavo del canale Malamocco-Marghera. Tuttavia, confrontando le strutture canalizzate interne alla stessa cassa prima e dopo i lavori effettuati, è possibile vedere che esse si sono mantenute inalterate.

Inoltre, le reti oggetto di studio sono attualmente separate dall'arginatura occidentale della cassa B; si è quindi reputato interessante valutare eventuali differenze o similarità nello sviluppo di reti che drenano zone simili, poste internamente alla Cassa B (zona 2) ed esternamente a essa (zona 3).

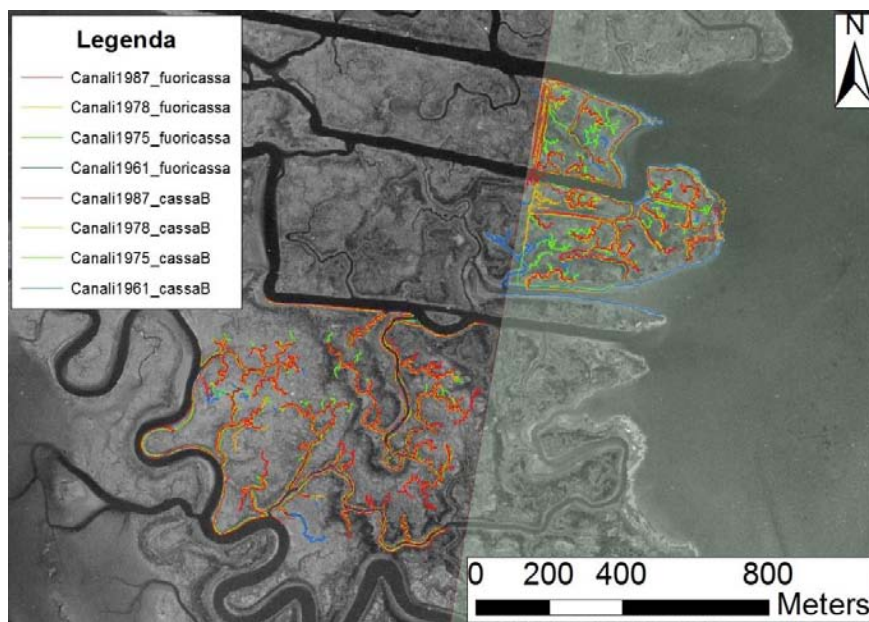


Fig. 4.1.3.2.1. Reti di canali delle zone 2 e 3: Foto del 1961. In verde l'ingombro della Cassa B

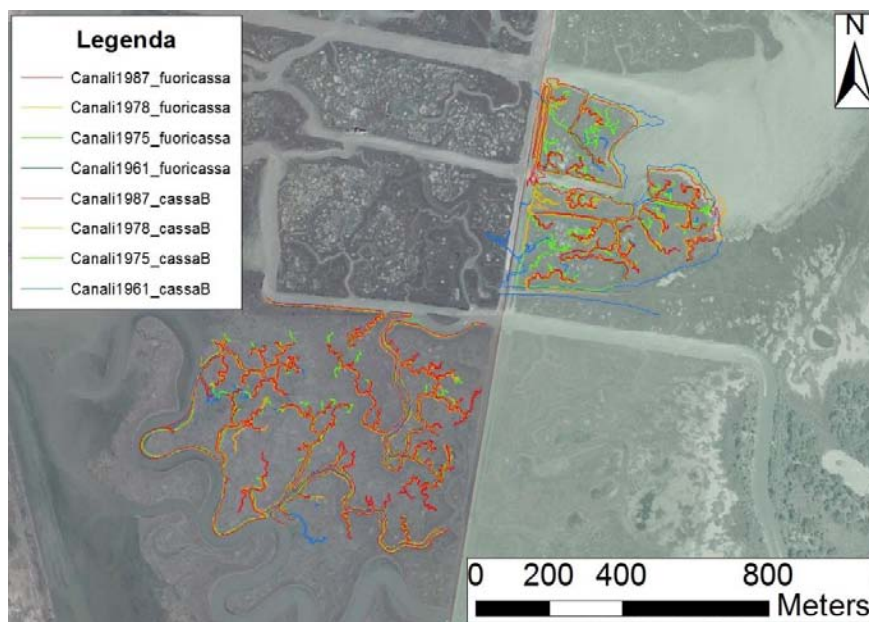


Fig. 4.1.3.2.1. Reti di canali delle zone 2 e 3: Foto del 2006. In verde l'ingombro della Cassa B

Nelle Figure 4.1.3.2.1 e 4.1.3.2.2 è possibile vedere entrambe le reti di canali a marea considerate e la loro reciproca posizione, con scala espressa in metri: gli aerofotogrammi permettono anche di confrontare la situazione prima della costruzione della Cassa di Colmata B, nel 1961, e quella più recente, datata 2006.

Zona 2: Reti di canali a marea interne alla Cassa B

Le reti di canali a marea interne alla Cassa di Colmata B, situate nella parte nord-occidentale della cassa stessa, facevano parte di un complesso barenale che, durante i lavori di costruzione dell'arginatura, venne inglobato al suo interno e separato dal corpo principale.

Quest'arginatura, costituita molto probabilmente da un terrapieno delimitato da una doppia palizzata, presenta alcune discontinuità, che consentono l'alimentazione, da parte di due canali paralleli al Cunetta, il Cunetta Vecchia e il Traghettini, del chiaro situato nella zona nord-occidentale della cassa B. Inoltre, va sottolineato che la situazione è in continua evoluzione in quanto, in tempi successivi a quelli da noi

Evoluzione delle reti di canali a marea e delle barene nella laguna di Venezia

analizzati, vi è stato un cedimento dell'arginatura settentrionale in massi, probabilmente collegato al moto ondoso che caratterizza i transiti dei natanti nel canale Cunetta, parallelo alla sopracitata arginatura. La rottura di tale arginatura ha favorito l'ingresso d'acqua nel chiaro che, allo stato attuale, in mancanza interventi di sistemazione, è costantemente influenzato da processi erosivi che caratterizzano le aree lagunari, sia a nord, a causa del cedimento degli argini, e sia da ovest, a causa dei due canali artificiali sopra citati.

Le Figure 4.1.3.2.3 e 4.1.3.2.4 mostrano il confronto tra gli aerofotogrammi riferiti ai diversi anni di osservazione e i layer che individuano le reti di canali a marea.

Evoluzione delle reti di canali a marea e delle barene nella laguna di Venezia

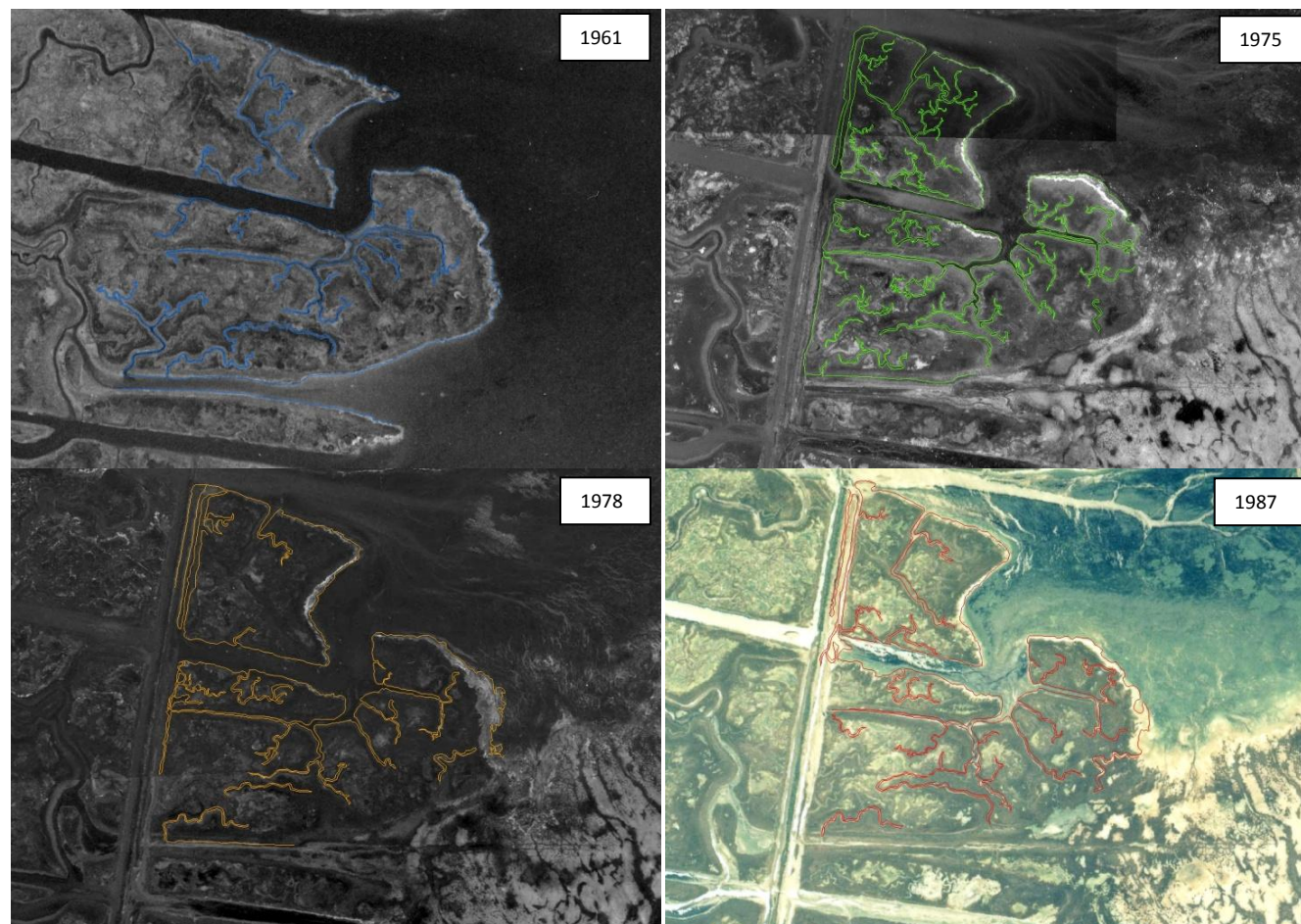


Fig. 4.1.3.2.3. Zona 2: Rete interna alla cassa B. Successione temporale degli aerofotogrammi inquadranti il sito e dei layer ad essi vettoriali associati. Disposizione: in alto a sinistra la foto del 1961 (layer blu), in alto a destra la foto del 1975 (layer verde), in basso a sinistra la foto del 1978 (layer arancione), in alto a destra la foto del 1987 (layer rosso)

Evoluzione delle reti di canali a marea e delle barene nella laguna di Venezia

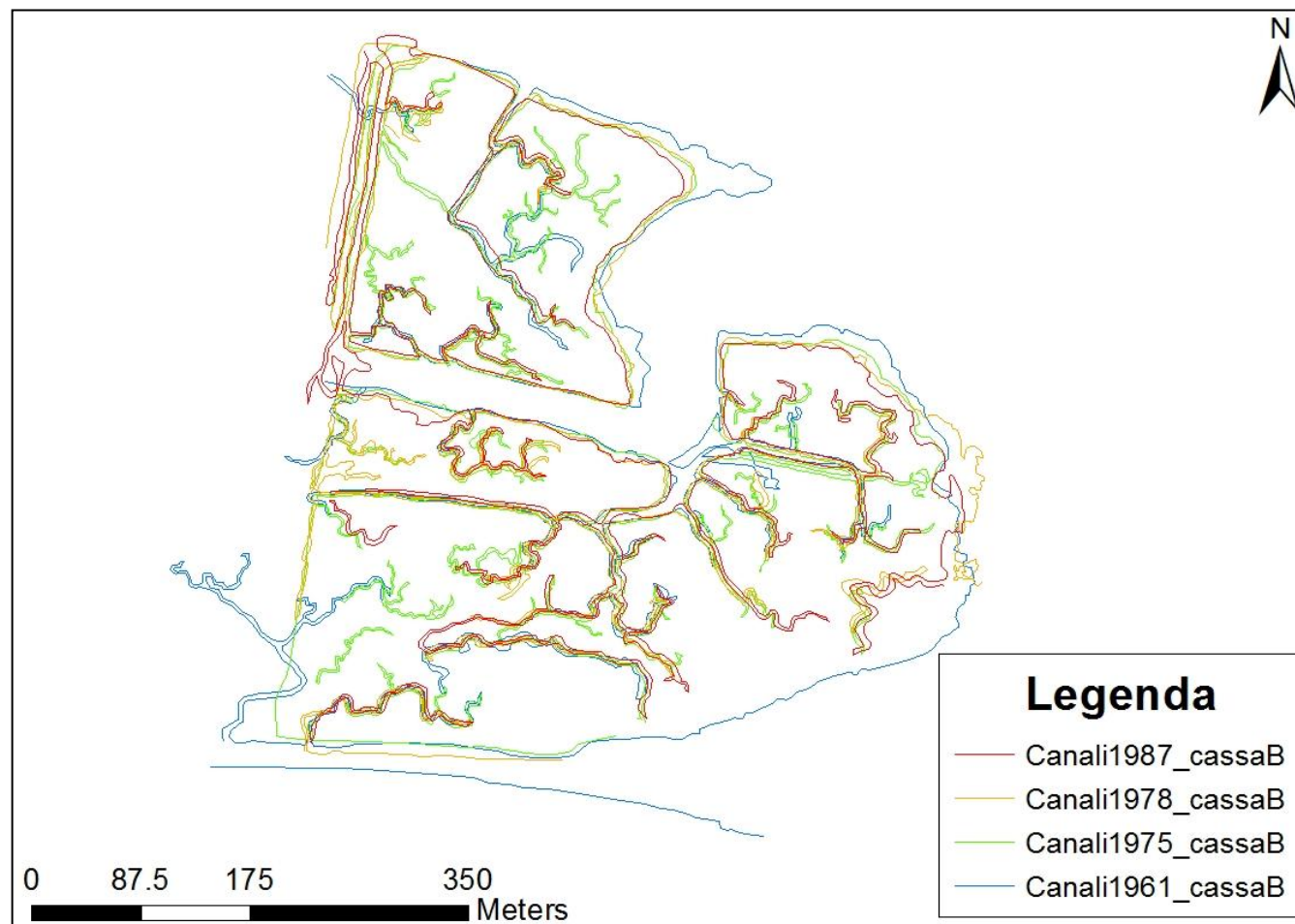


Fig. 4.1.3.2.4. Zona 2: Rete interna alla cassa B. Sovrapposizione dei layer vettoriali

Dalle Figure 4.1.3.2.3 e 4.1.3.2.4 si nota che le tracce dei canali relative all'anno 1961, esterne alla cassa B, sono ovviamente scomparse, in seguito alla costruzione dell'arginatura. I cambiamenti maggiori si riscontrano, in analogia con quanto osservato per la zona 1, in prossimità dello sbocco del canale Cunetta Vecchia nel chiaro interno alla cassa: infatti, la linea di costa, delimitante il confine tra area occupata dalle acque e terra emersa, è arretrata costantemente nel tempo, anche se le differenze maggiori si osservano tra il 1961 (layer blu) e il 1975 (layer verde) mentre, negli anni successivi, l'arretramento è meno consistente.

Diversa sembra essere la situazione delle reti di canali, che pare non abbiano subito modifiche di rilievo nel corso del tempo, mantenendosi sostanzialmente invariate. I pochi cambiamenti rilevati si osservano nella parte più orientale della barena che si protende maggiormente nel chiaro, nella quale si può vedere la formazione, cominciata negli anni '70, di un nuovo canale, ben definito nel 1987 (layer rosso). Inoltre, si nota la scomparsa di una piccola protuberanza barenale nella parte centrale dell'immagine, a causa probabilmente dell'azione del moto ondoso del canale ad essa adiacente.

Approfondendo ulteriormente l'analisi, è possibile discriminare tra zona a nord e a sud del canale Cunetta Vecchia. A nord del canale Cunetta Vecchia non si osservano variazioni di rilievo, escludendo la scomparsa di alcune ramificazioni terminali (parte centrale della barena, in blu) e la formazione di alcune piccole strutture a meandro. Come già osservato per il canale Avesa, la rete del 1975 (in verde) sembra essere molto più estesa rispetto a tutte le altre, per i motivi già citati. A sud del canale Cunetta Vecchia, si osserva la nascita di piccole ramificazioni, dovuta a fenomeni di probabile origine erosiva.

Nella Figura 4.1.3.2.5 si riportano alcuni ingrandimenti dei cambiamenti citati.

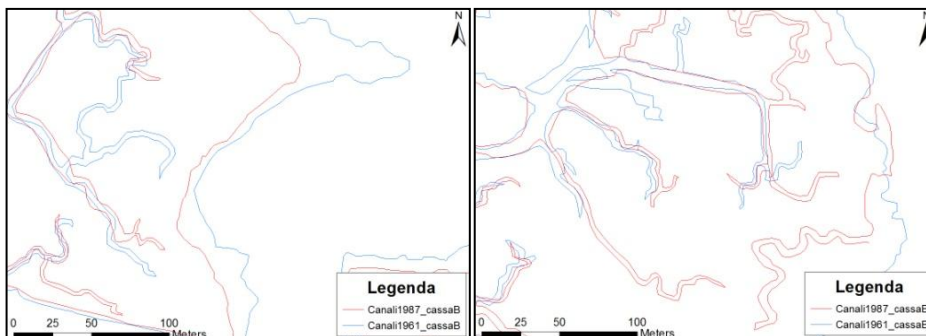


Fig. 4.1.3.2.5. Particolari della rete interna alla cassa B. Si nota l'arretramento della linea di bordo barena (sinistra), e la nascita di un nuovo canale a meandro (destra)

Zona 3: Reti di canali a marea esterne alla Cassa B

Le reti di canali a marea esterne alla cassa B sono delimitate da due canali, quello a nord, di origine artificiale, chiamato Taglio Fiumesino, scorre parallelo al canale Cunetta Vecchia e al canale Traghettoni, già citati nella descrizione della rete precedente. Il canale a sud, di probabile origine naturale, con la caratteristica conformazione a meandro, è noto come canale Volpego.

Come si può vedere dalle Figure 4.1.3.2.6 e 4.1.3.2.7, le reti di canali delimitate dalla zona 3 non presentano variazioni di rilievo dell'andamento planimetrico (non ci sono ad esempio tagli di meandro). Tuttavia, è possibile osservare il notevole sviluppo di alcuni canali terminali, soprattutto per quanto concerne la rete che si origina dal Taglio Fiumesino. Inoltre alcuni canali che si diramano dal Volpego, tra cui più orientale, mostrano un notevole incremento di larghezza. Probabilmente, sia l'aumento delle ramificazioni della rete che l'allargamento di sezione sono dovuti a fenomeni erosivi, indotti da variazioni dell'idrodinamica locale e, quindi, del prisma di marea. La Figura 4.1.3.2.8 illustra in dettaglio i cambiamenti elencati.

Evoluzione delle reti di canali a marea e delle barene nella laguna di Venezia

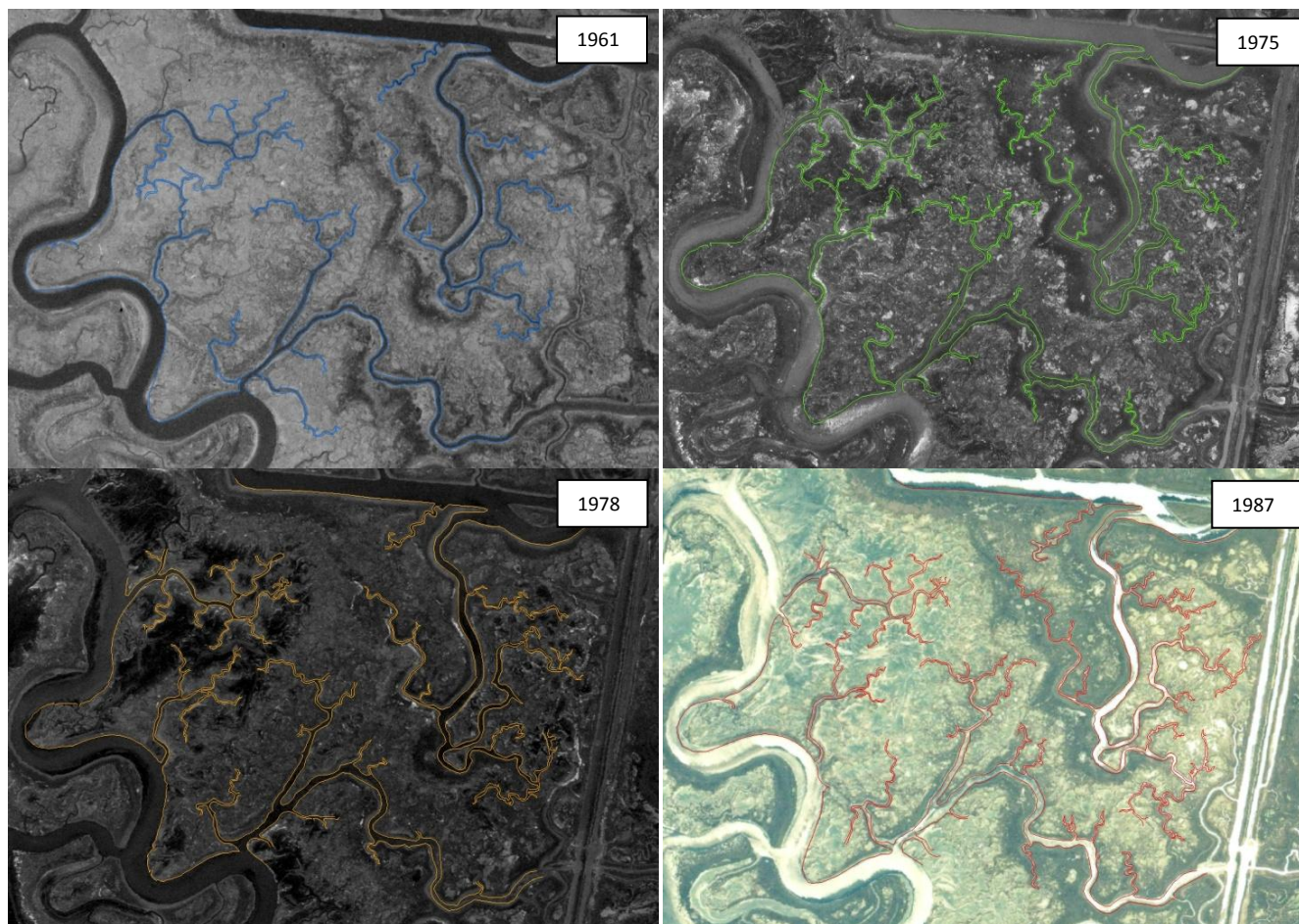


Fig. 4.1.3.2.6. Zona 3: Rete esterna alla cassa B. Successione temporale degli aerofotogrammi inquadranti il sito e dei layer ad esso vettoriali associati.
Disposizione: in alto a sinistra la foto del 1961 (layer blu), in alto a destra la foto del 1975 (layer verde), in basso a sinistra la foto del 1978 (layer arancione), in alto a destra la foto del 1987 (layer rosso)

Evoluzione delle reti di canali a marea e delle barene nella laguna di Venezia

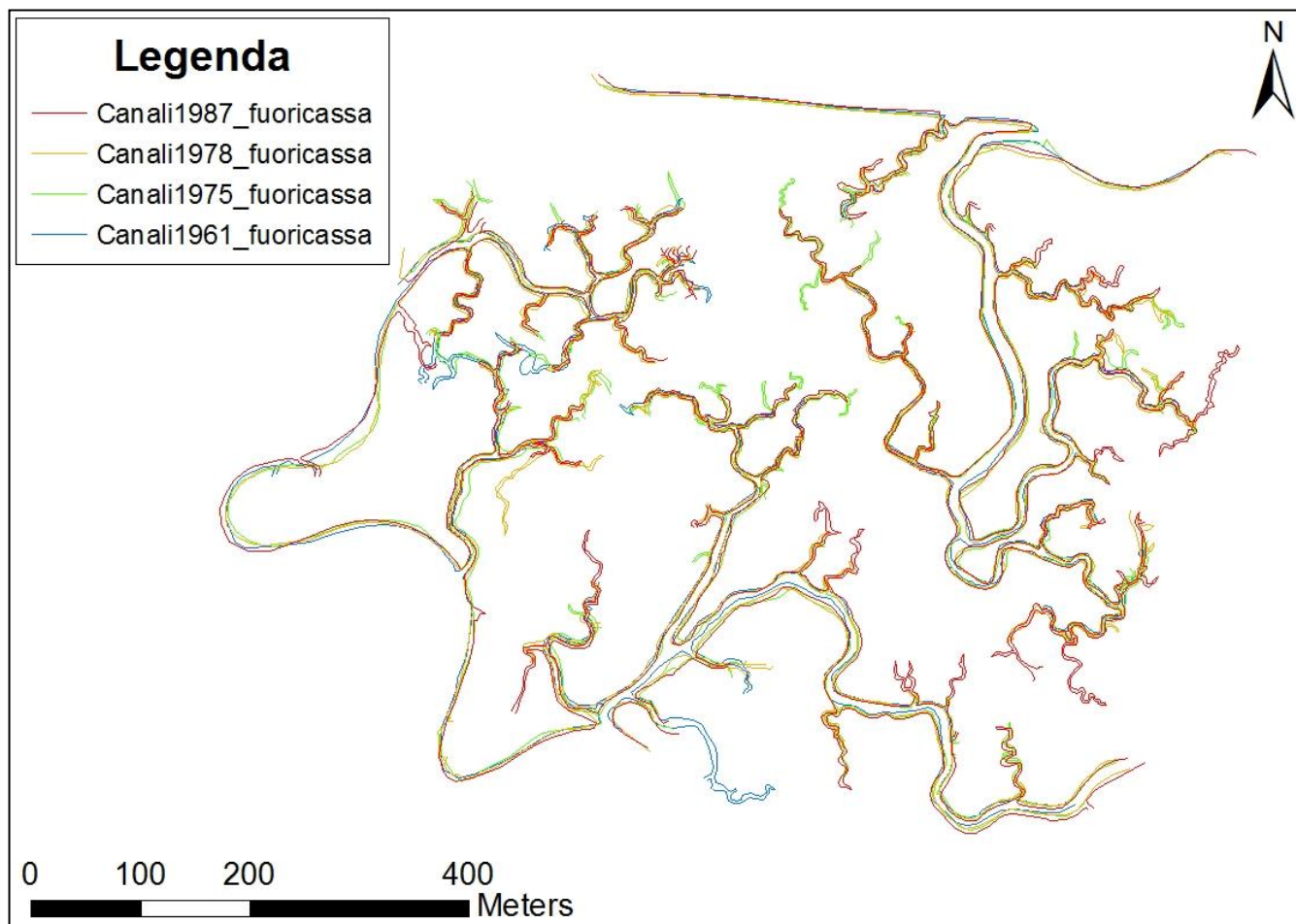


Fig. 4.1.3.2.7. Zona 3: Rete esterna alla cassa B. Sovrapposizione dei layer vettoriali

Evoluzione delle reti di canali a marea e delle barene nella laguna di Venezia

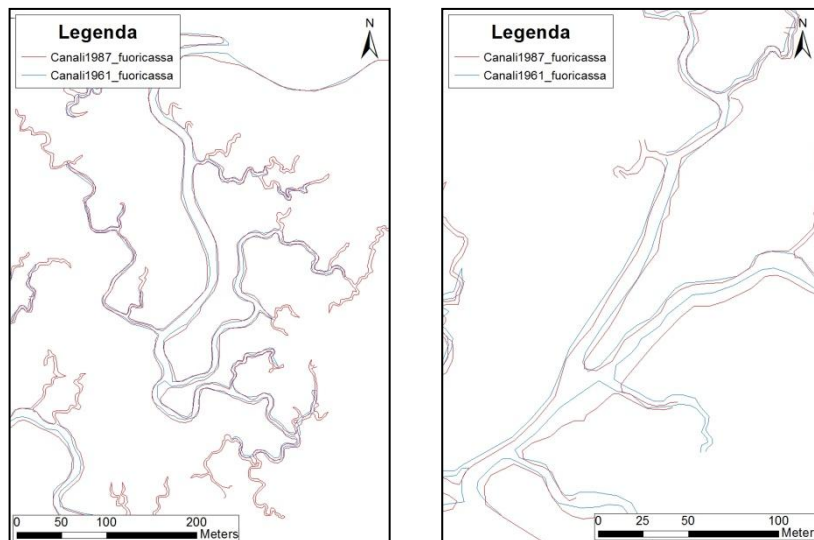


Fig. 4.1.3.2.8. Particolari della rete esterna alla cassa B. Si nota l'aumento delle ramificazione della rete che si origina dal Taglio Fiumesino (sinistra) e l'allargamento di sezione del canale (destra)

In conclusione, si può affermare che le zone 2 e 3 presentano alcune analogie nello sviluppo osservato. Le reti analizzate, infatti, nonostante la protezione offerta dal corpo della cassa di colmata B, che contribuisce in modo ottimale a smorzare l'influenza delle oscillazioni di marea o il moto ondoso dovuto all'intenso traffico dei natanti nel canale Malamocco-Marghera, presentano numerosi segni di attività erosiva che, come conseguenza, hanno comportato la nascita di nuovi piccoli canali, l'estensione delle ramificazioni di reti già esistenti, aumenti di sezione e arretramento o scomparse di elementi barenali. Tuttavia, a seguito dei dati ricavati, la conformazione delle reti può definirsi relativamente stabile: infatti, non si sono rilevate, durante il confronto tra le configurazioni planimetriche dei diversi anni, quelle caratteristiche che indicano un'evoluzione significativa dei canali come, per esempio, spostamenti di confluenze o tagli di meandro.

Infine, una precisazione sulle differenze tra le zone 2 e 3. I fenomeni erosivi che hanno determinato i cambiamenti osservati non hanno la medesima origine. Infatti, per le reti interne alla cassa B, essi sono dovuti alla mancata opera di manutenzione che ha comportato il cedimento delle arginature; le reti esterne alla cassa B, d'altra parte sono soggette, invece,

alle dinamiche tipiche dell'ambiente lagunare veneziano.

4.1.3.3 ZONA 4: Limite nord-occidentale delle casse DE

Originariamente, prima della costruzione delle Casse di Colmata, la quarta zona oggetto d'indagine era occupata quasi completamente dalle acque, fatta eccezione per alcune isole barenali delimitate a ovest dal canale Bondanton. Dopo i lavori di arginatura e interrimento dell'area, questo piccolo complesso barenale si trova compreso all'interno della cassa DE e, quindi, protetto da quelle che potevano essere le condizioni idrodinamiche precedenti alla costruzione dell'opera. Inoltre, queste isole barenali non possono più considerarsi tali, perché soggette esse stesse ai lavori d'interrimento che la zona ha subito. L'unica traccia che rimane di quella che una volta costituiva un'estesa area sommersa dalla laguna è un piccolo chiaro delimitato dall'arginatura costruita negli anni '60. Osservando la Figura 4.1.3.3.1, si può vedere com'è cambiata la zona tra il 1961 e il 1996 a causa degli interventi antropici citati.

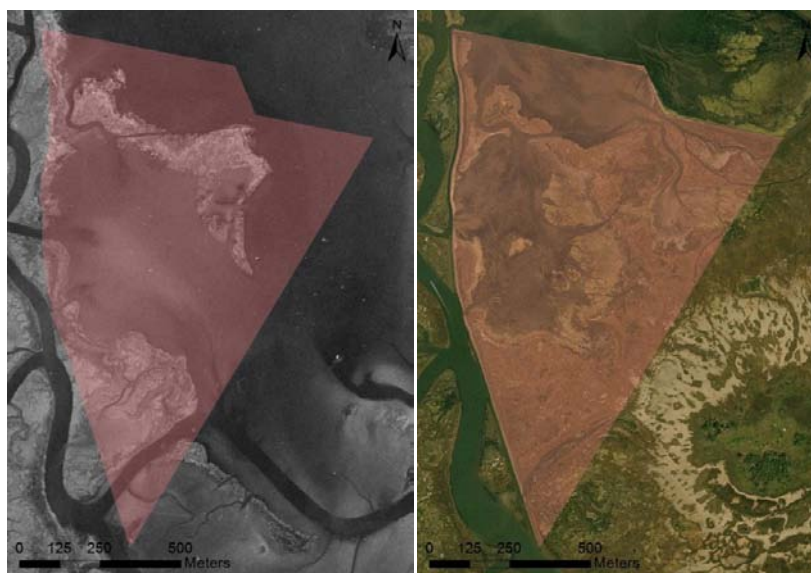


Fig. 4.1.3.3.1. Zona 4, area analizzata e confronto tra le immagini aeree del 1961 (sinistra) e del 1996 (destra)

Se, nel complesso, la cassa DE presenta la quasi totale assenza delle caratteristiche degli ambienti a marea fino a qui presentati (ghebi, canali, barene), a causa della vasta opera di interrimento, la zona oggetto di analisi, cioè il confine nord-occidentale della cassa stessa, è l'unica parte che ancora presenta alcune di queste strutture. Dato che i lavori non sono stati ultimati, l'area studiata non è completamente avulsa dall'influenza della marea: infatti, a un esame visivo preliminare, si osservano delle interruzioni nell'arginatura, sia sul lato occidentale, con conseguente alimentazione del chiaro prodotto dall'interramento, sia sul lato settentrionale, fattore che determina lo sviluppo di una rete di canali in evoluzione.

L'analisi mira a valutare l'evoluzione della barena isolata all'interno della cassa e delle reti di canali a marea presenti, per verificare come i processi che determinano la formazione degli ambienti lagunari possano operare in un ambiente fortemente condizionato dall'azione antropica.

Come già fatto, l'analisi visiva sarà condotta in primo luogo confrontando le diverse foto aeree, ovviamente riferite al sito d'interesse, con sovrapposti i layer rappresentanti i canali e i limiti delle barene per ciascun anno di osservazione (Figura 4.1.3.3.2). In secondo luogo, si sovrapporranno i layer per meglio valutare l'andamento temporale dei canali e delle barene in esame (Figura 4.1.3.3.3). I risultati saranno commentati in seguito.

Per maggiore chiarezza, è meglio anticipare che il sito è molto complesso, a causa degli interventi antropici e dello sviluppo iniziale delle reti di canali a marea, soprattutto nel chiaro più meridionale, con fenomeni intensi di trasporto dei sedimenti. Pertanto, si cercherà di rendere più comprensibile il tutto con ingrandimenti specifici e numerosi commenti.

Evoluzione delle reti di canali a marea e delle barene nella laguna di Venezia

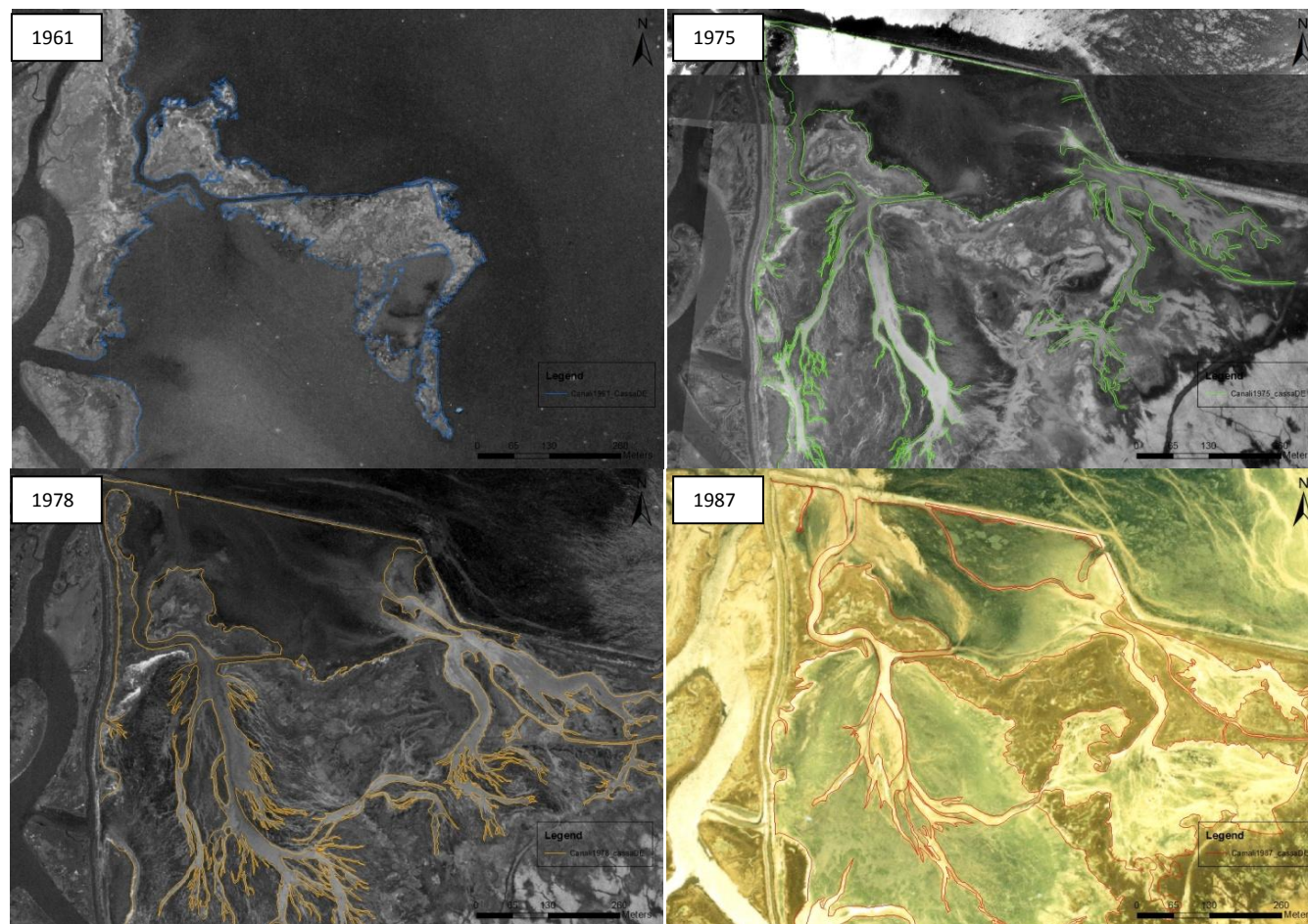


Fig. 4.1.3.3.2. Zona 4: Limite nord-occidentale della cassa DE. Successione temporale degli aerofotogrammi inquadranti il sito e dei layer vettoriali associati. Disposizione: in alto a sinistra la foto del 1961 (layer blu), in alto a destra la foto del 1975 (layer verde), in basso a sinistra la foto del 1978 (layer arancione), in alto a destra la foto del 1987 (layer rosso)

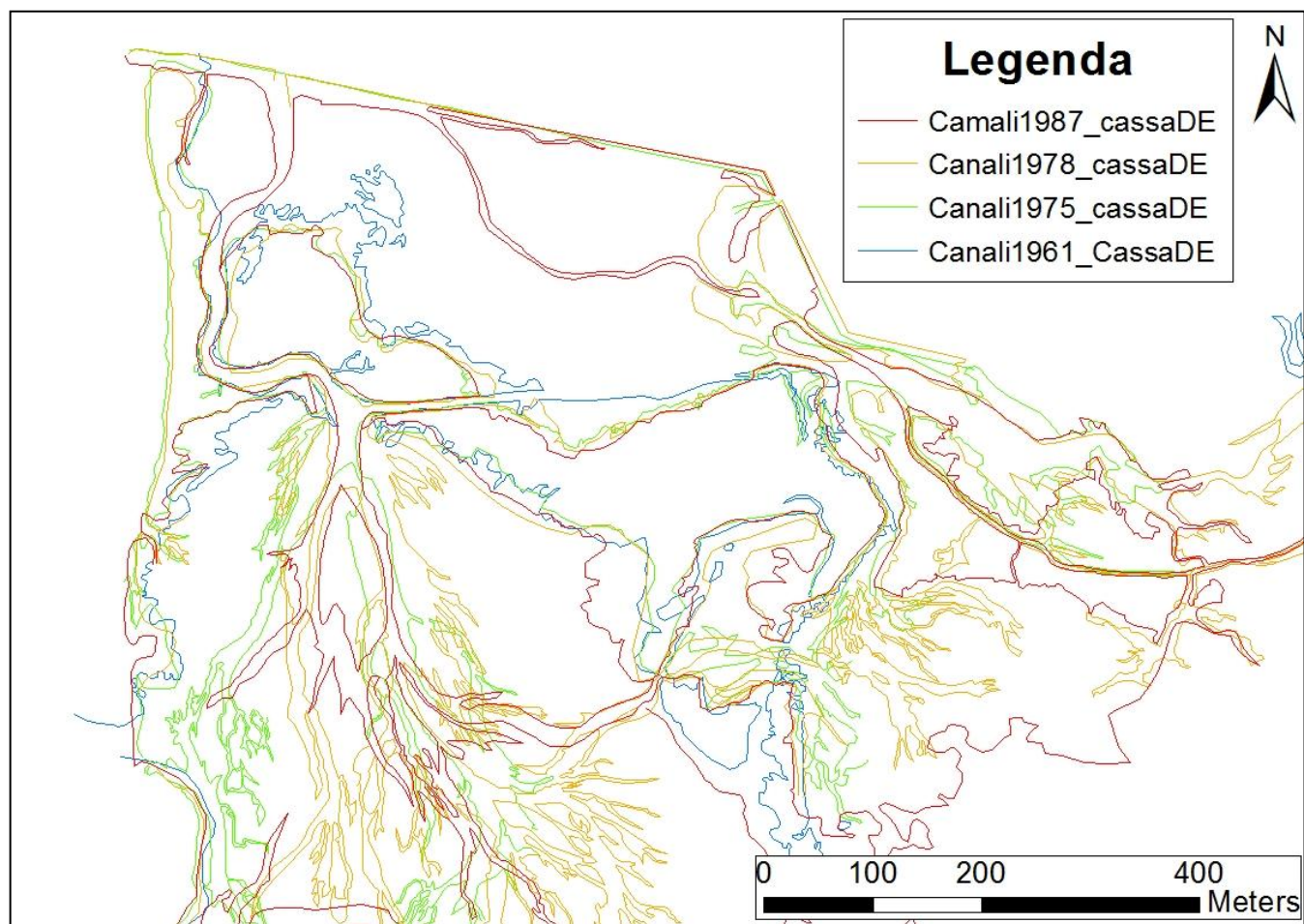


Fig. 4.1.3.3.3. Zona 4: Limite nord-occidentale della cassa DE. Sovrapposizione dei layer vettoriali

Descriviamo brevemente le differenze che si notano nella Figura 4.1.3.3.2. Conviene svolgere delle analisi separate per definire nel miglior modo possibile i caratteri degli ambienti a marea analizzati.

- 1961: la barena, che in realtà è formata da due isolotti minori separati da un canale rettilineo, probabilmente scavato artificialmente per la navigazione, appare, prima della costruzione della cassa, quasi completamente circondata dalle acque, esclusa la punta a nord-ovest, separata da una barena adiacente tramite un canale
- 1975: l'immagine, non chiara, mostra che i lavori di arginatura e di interrimento della cassa hanno portato a una modifica sostanziale dell'ambiente. Infatti, si nota che la punta nord della barena settentrionale è scomparsa, probabilmente erosa per l'azione delle acque, mentre la barena meridionale è stata interessata dai lavori d'interrimento e non è più pertanto isolata. Il canale a marea e la barena confinante presenti nel 1961 sono stati inglobati all'interno della cassa, e ne definiscono il confine occidentale. I lavori di interrimento hanno portato alla suddivisione delle acque circostanti in due chiari distinti, a est e a nord della barena sopraccitata: entrambi i chiari sono interessati da una rete di canali in formazione e da un intenso trasporto di sedimenti, quasi certamente derivanti dai cedimenti della struttura di ritenuta delimitante la cassa.
- 1978: a distanza di tre anni, non si osservano evidenti diversità nelle zone barenali sopra citate. Le maggiori differenze si notano nel chiaro meridionale, che appare solcato da una rete di canali molto più fitta e densa rispetto a quella del 1975. Questo potrebbe essere sintomo di un'intensa evoluzione morfologica, unita, forse, al fatto che la foto è stata scattata in condizioni di bassa marea che permette un contrasto marcato e una delineazione molto netta della rete.

- 1987: l'ultimo anno di osservazione suggerisce l'esistenza di una continua evoluzione della rete nel chiaro meridionale. Infatti, la rete appare meno diversificata ma con bracci di canale più segnati e, forse, più profondi. Inoltre, grazie all'uso del colore, è possibile confermare che l'area è caratterizzata da un intenso trasporto solido di sedimenti e che il materiale di riempimento della cassa subisce un processo erosivo costante, dovuto anche ai cedimenti sempre più consistenti dell'arginatura.

La sovrapposizione dei layer (Figura 4.1.3.3.3), in questo caso, non è chiara, a causa della significativa evoluzione delle reti di canali a marea e dei sedimenti trasportati che si osservano sia nel chiaro più meridionale che nella zona sud-orientale dell'area analizzata, adiacente alla parte interrita della cassa. Appare comunque evidente che l'estensione della barena situata nell'estremità nord-occidentale della cassa DE si è notevolmente ridotta nel corso del tempo, a causa, probabilmente, dell'azione erosiva delle correnti di marea che, attraverso le discontinuità nell'arginatura settentrionale, riesce a penetrare all'interno della cassa stessa. Inoltre, l'intenso trasporto solido che caratterizza il chiaro più meridionale, come si vede nella Figura 4.1.3.3.2, riferita al 1987, ha determinato un notevole aumento di deposito di materiale sulla sponda più orientale. Infine, è da notare che, come ulteriore effetto della discontinuità dell'arginatura, le reti di canali siano in continua evoluzione nella parte più orientale della cassa. La Figura 4.1.3.3.4 illustra in dettaglio alcuni dei cambiamenti citati.

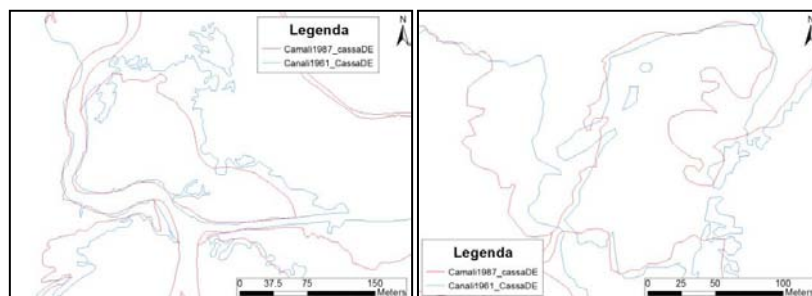


Fig. 4.1.3.3.4. Particolari del limite nord-occidentale della cassa DE. Erosione barenale (sinistra) e deposito nel chiaro meridionale (destra)

In conclusione, si può affermare che i meccanismi evolutivi tipici di un ambiente lagunare hanno svolto un ruolo rilevante nel modellare la morfologia della cassa DE con la formazione di una rete di canali dinamica e creazione di significative aree di deposito e scavo delle zone sedimentate. Questo appare evidente nella Figura 4.1.3.3.5, che riporta il rilievo fotografico del 2005 del sito in esame, sovrapposto al layer che segna il limite dei canali e delle barene nel 1987: è evidente la maggior presenza di zone di sedimentazione, un'estensione dei chiari ridotta e una rete di canali in fase di netta formazione.



Fig. 4.1.3.3.5. Confronto visivo tra la rete di canale e le barene del 1987 (in rosso) e le foto del 2005. Si nota una rete di canali in via di definizione nel chiaro a sud, dovuta a un cedimento dell'arginatura occidentale della cassa DE

4.1 .3.4 ZONE 5-6: Reti di canali a marea fuori dalla cassa DE

Le zone 5 e 6, a ovest della cassa DE analizzata nella sezione precedente, sono caratterizzate dalla presenza di ampie aree barenicole, solcate da alcune reti di canali. Queste zone sono delimitate a est dal canale Bondanton, che confluisce nel canale La Tagliata Nuova, confinante con la cassa DE e che sfocia nel canale Malamocco-Marghera a sud, mentre a ovest sono a diretto contatto con una zona completamente

Evoluzione delle reti di canali a marea e delle barene nella laguna di Venezia

occupata dalle acque. Il canale Poloschiavo funge da divisore naturale tra le due zone (Figura 4.1.3.4.1).



Fig. 4.1.3.4.1. Visione dall'alto dell'area barenale a ovest della cassa DE, anno 1996

La zona analizzata non presenta interventi antropici di rilievo e, sotto questo punto di vista, si mantiene pressoché invariata anche a distanza di anni. Un confronto tra i rilievi fotografici (Figura 4.1.3.4.2) mostra però che l'area barenale si è decisamente ridotta, soprattutto nella zona occidentale.

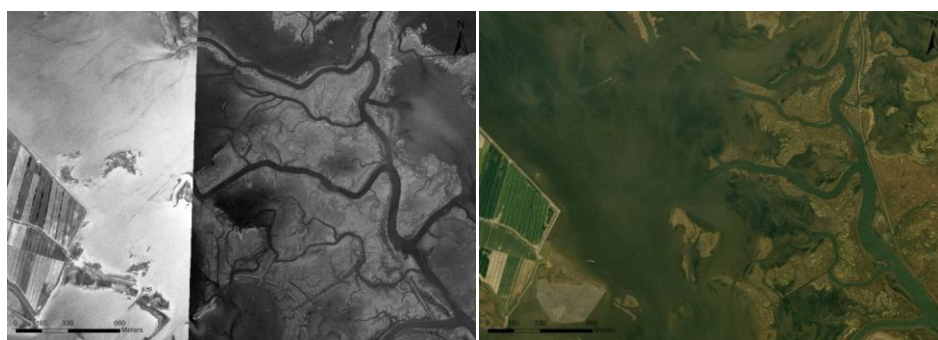


Fig. 4.1.3.4.2. Confronto dell'area barenale a ovest della cassa DE, anno 1961 (sopra) e anno 1996 (sotto). Si nota la diminuzione delle aree di barena

Come già fatto per le zone 2 e 3, le reti di canali a marea sono analizzate separatamente per evidenziare maggior chiarezza i cambiamenti verificatesi.

Zona 5: Rete di canali a marea esterna alla cassa DE, barena settentrionale

La “zona 5” comprende una delle numerose barene presenti a ovest della cassa DE, solcata da fitte reti di canali già presenti prima della costruzione delle casse. La barena è qui chiamata settentrionale, per distinguere da quella che in questo lavoro è indicata come “zona 6”, e che si trova più a sud rispetto alla barena in esame. Geograficamente parlando l’area è delimitata a nord dal canale Laroncello, a est dal Bondanton e a sud dal Poloschiavo. A ovest la barena confina direttamente con la laguna.

Come fatto per tutte le aree finora analizzate, si riportano i confronti tra le aerofotogrammetrie per i diversi anni di studio, con layer delle zone canalizzate sovrapposte (Figura 4.1.3.4.3), e la sovrapposizione tra i differenti layer, sempre su sfondo bianco (Figura 4.1.3.4.4), per apprezzare al meglio i cambiamenti avvenuti nel tempo.

Evoluzione delle reti di canali a marea e delle barene nella laguna di Venezia

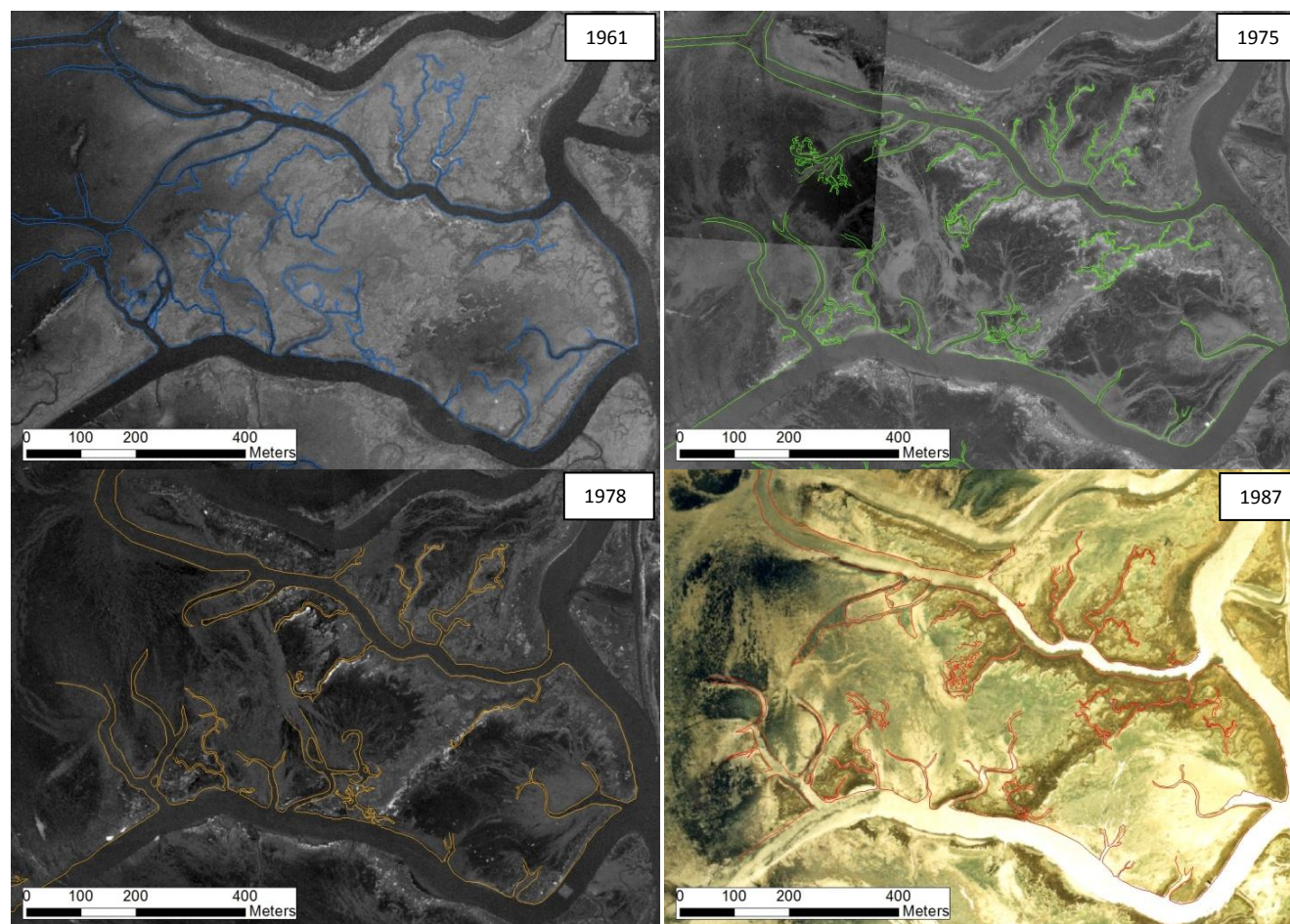


Fig. 4.1.3.4.3. Zona 5: Rete di canali a marea esterna alla cassa DE, barena settentrionale. Successione temporale degli aerofotogrammi inquadranti il sito e dei layer vettoriali associati. Disposizione: in alto a sinistra la foto del 1961 (layer blu), in alto a destra la foto del 1975 (layer verde), in basso a sinistra la foto del 1978 (layer arancione), in alto a destra la foto del 1987 (layer rosso)

Evoluzione delle reti di canali a marea e delle barene nella laguna di Venezia

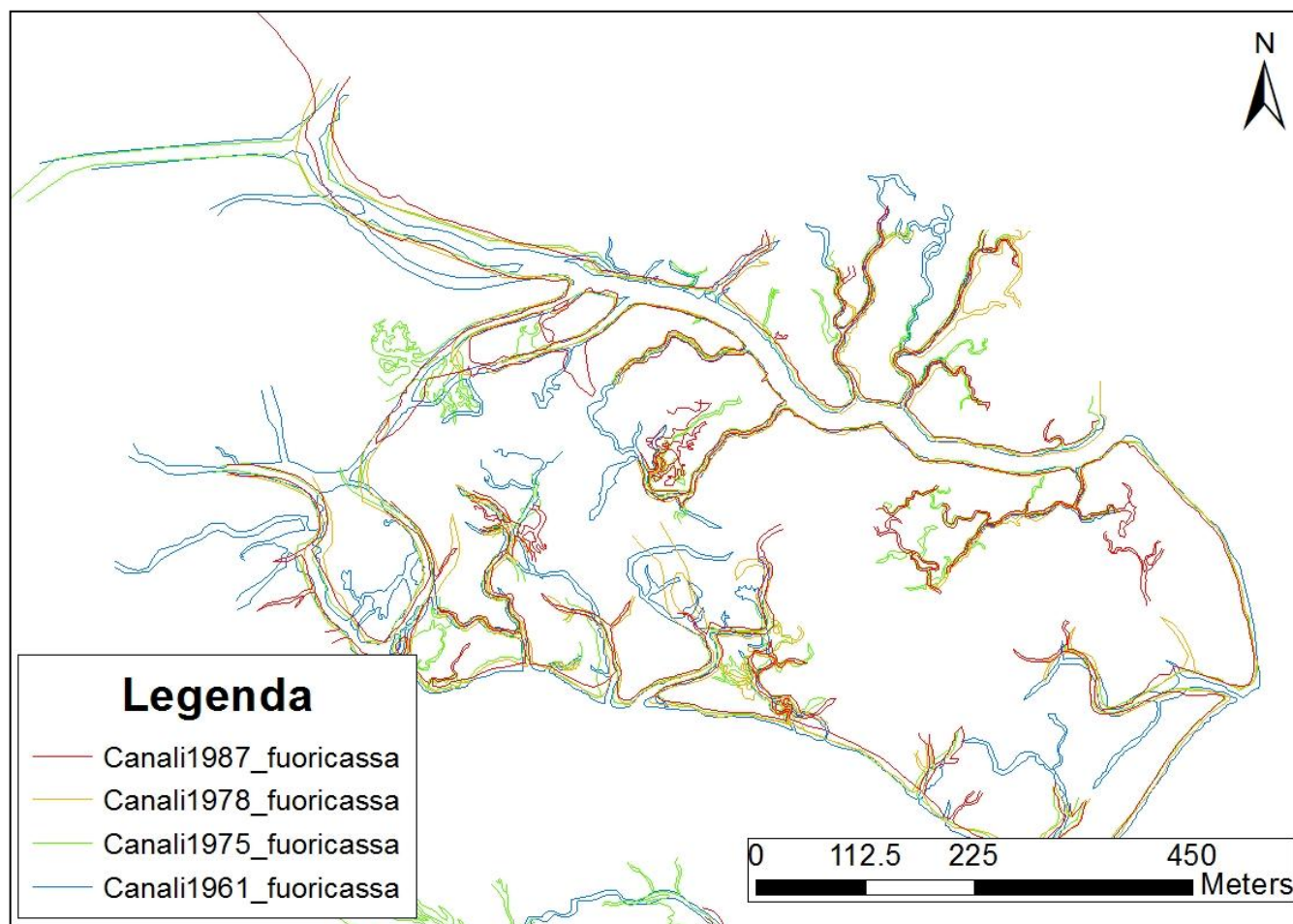


Fig. 4.1.3.4.4. Zona 5: Rete di canali a marea esterna alla cassa DE, barena settentrionale. Sovrapposizione dei layer vettoriali

Evoluzione delle reti di canali a marea e delle barene nella laguna di Venezia

Dal confronto ottenuto sovrapponendo i layer riferiti alle reti dei canali negli anni analizzati (Figura 4.1.3.4.4), è possibile vedere, oltre al fatto già evidenziato in precedenza della riduzione progressiva dell'area barenale, che vi è stata anche una netta diminuzione di estensione della rete di canali a marea. Infatti, in generale, il tracciato della rete di colore blu, relativo all'anno 1961, presenta delle ramificazioni più sviluppate rispetto alla rete in rosso, del 1987, che si riferisce ai dati più recenti analizzati. Questa tendenza è molto più marcata nella zona ovest, dove è anche più intenso il fenomeno della scomparsa delle zone barenali, e non verificata nella parte nord-orientale della barena: si nota, infatti, la maggiore ramificazione, caso unico in questa zona, della rete che si origina dal corso d'acqua che rappresenta il confine limite settentrionale della barena stessa. Inoltre, si può vedere che i fenomeni erosivi hanno comportato un aumento di sezione dei canali principali e delimitanti le barene, in particolare il canale Poloschiavo, con conseguente arretramento del limite barenale. I particolari sono riportati nella Figura 4.2.4.5.

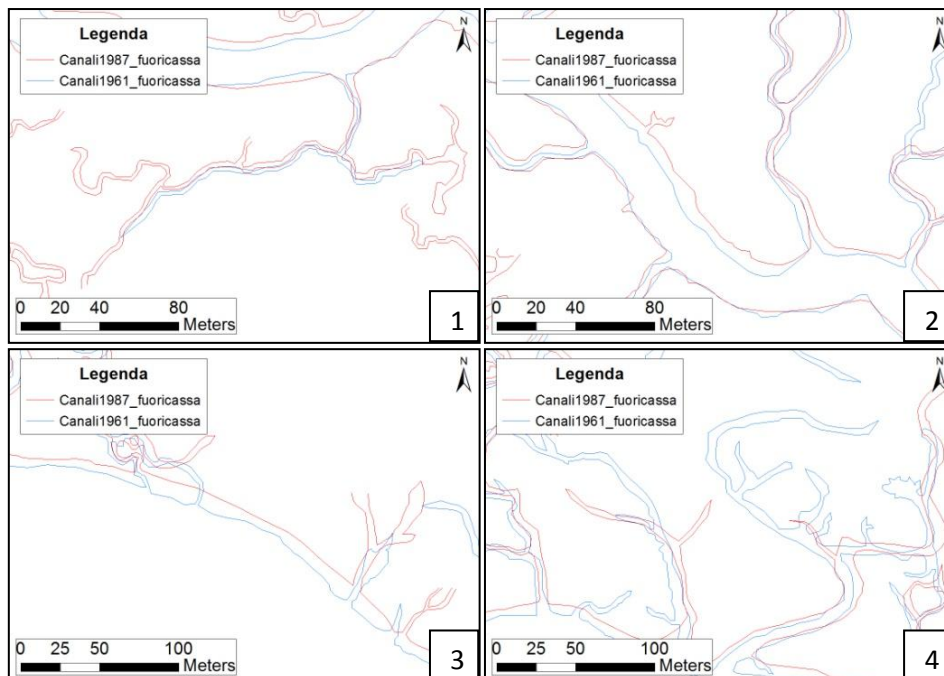


Fig. 4.1.3.4.5. Particolari rete di canali esterna alla cassa DE, barena settentrionale. Aumento di ramificazione dei canali nella rete nella parte nord-orientale della barena (1), aumento di sezione del canale Poloschiavo (2) e del canale delimitante la barena a nord (3), soppressione di alcune ramificazioni terminali (4)

Zona 6: Rete di canali a marea esterna alla cassa DE, barena meridionale

Il complesso di reti a marea che si sviluppa dal ghebo Vallesella che solca la barena più meridionale tra le due adiacenti alla cassa DE (Figure 4.1.3.4.6 e 4.1.3.4.7), presenta tendenze diverse, come già osservato in precedenza per la barena a nord. Il corpo centrale della barena, così come la zona sud della stessa, sono solcati da reti di canali che, nell'arco di tempo analizzato, hanno perduto buona parte delle ramificazioni secondarie, determinando anche con formazione di un chiaro. Le reti di canali che si originano dal canale posto al confine orientale della barena stessa mostrano la scomparsa delle ramificazioni secondarie più datate e la nascita di nuovi bracci di canale, a dimostrazione sia d'intensa attività sia di nuove vie preferenziali di flusso. Da notare che anche in questa zona i processi erosivi comportano un aumento della sezione dei canali principali. La Figura 4.1.3.4.8 mostra questi particolari.

Evoluzione delle reti di canali a marea e delle barene nella laguna di Venezia

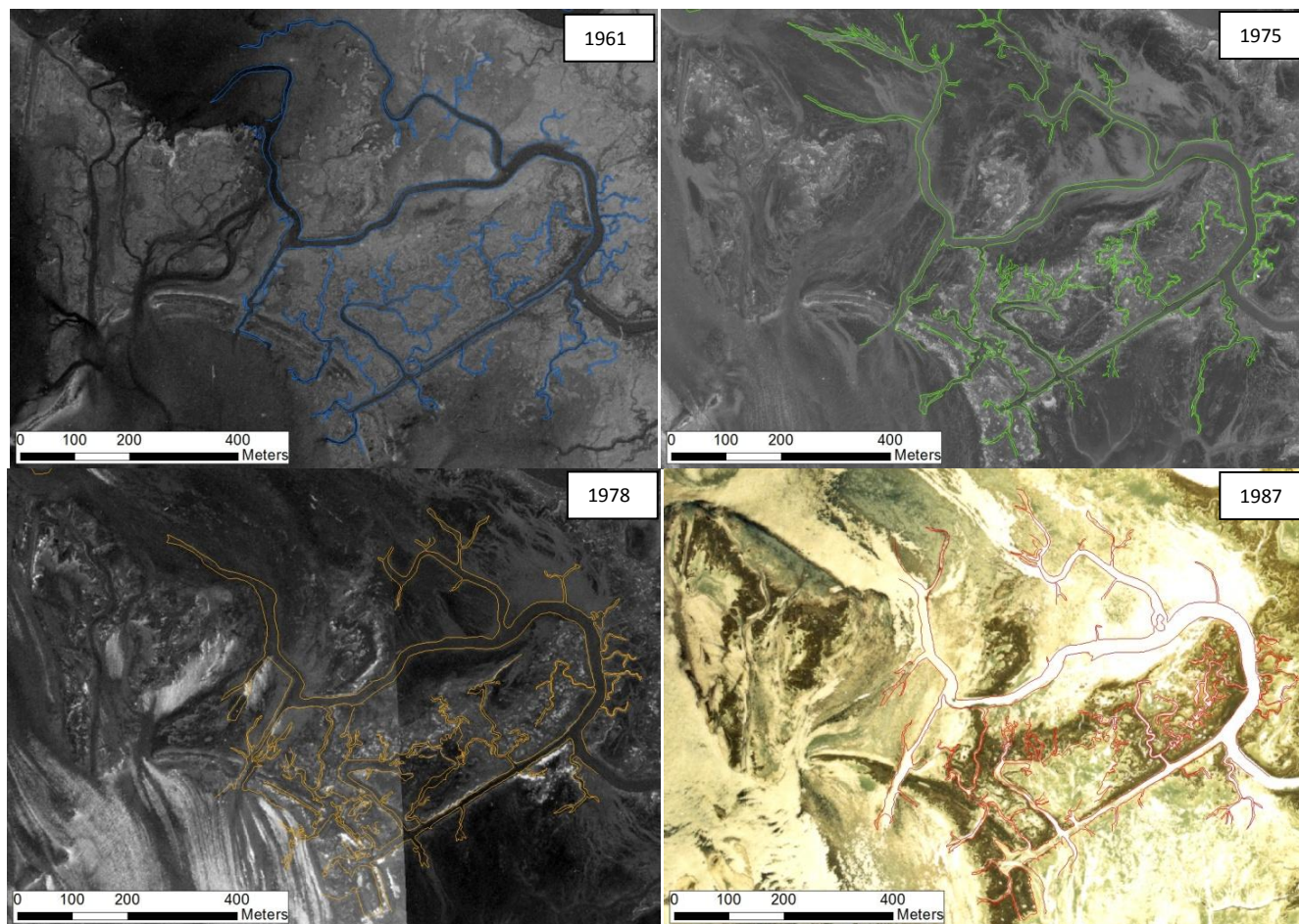
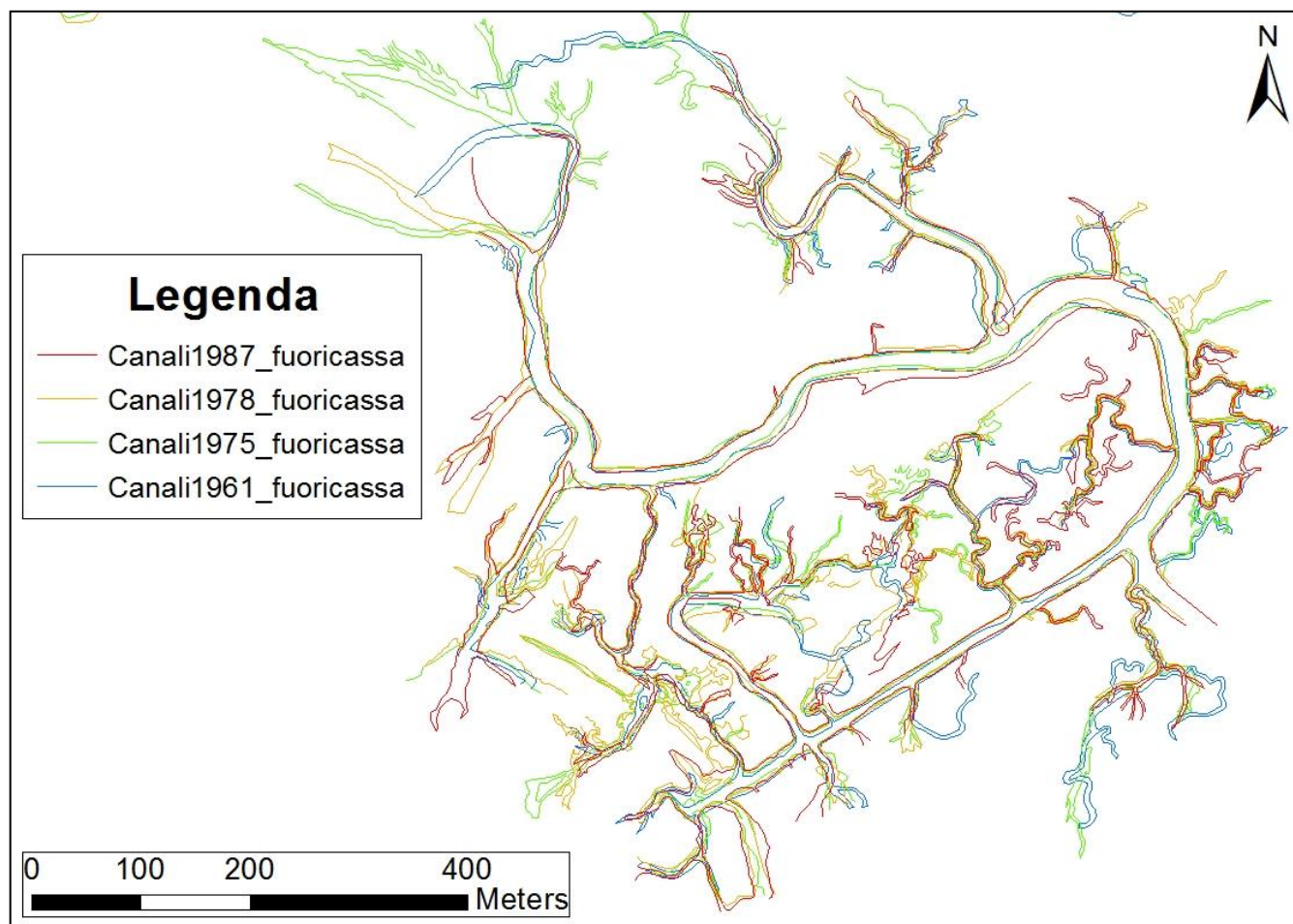


Fig. 4.1.3.4.6. Zona 6: Rete di canali esterna alla cassa DE, barena meridionale. Successione temporale degli aerofotogrammi inquadranti il sito e dei layer vettoriali associati. Disposizione: in alto a sinistra la foto del 1961 (layer blu), in alto a destra la foto del 1975 (layer verde), in basso a sinistra la foto del 1978 (layer arancione), in alto a destra la foto del 1987 (layer rosso)



Figg. 4.1.3.4.7. Zona 6: Rete di canali esterna alla cassa DE, barena meridionale. Sovrapposizione dei layer vettoriali

Evoluzione delle reti di canali a marea e delle barene nella laguna di Venezia

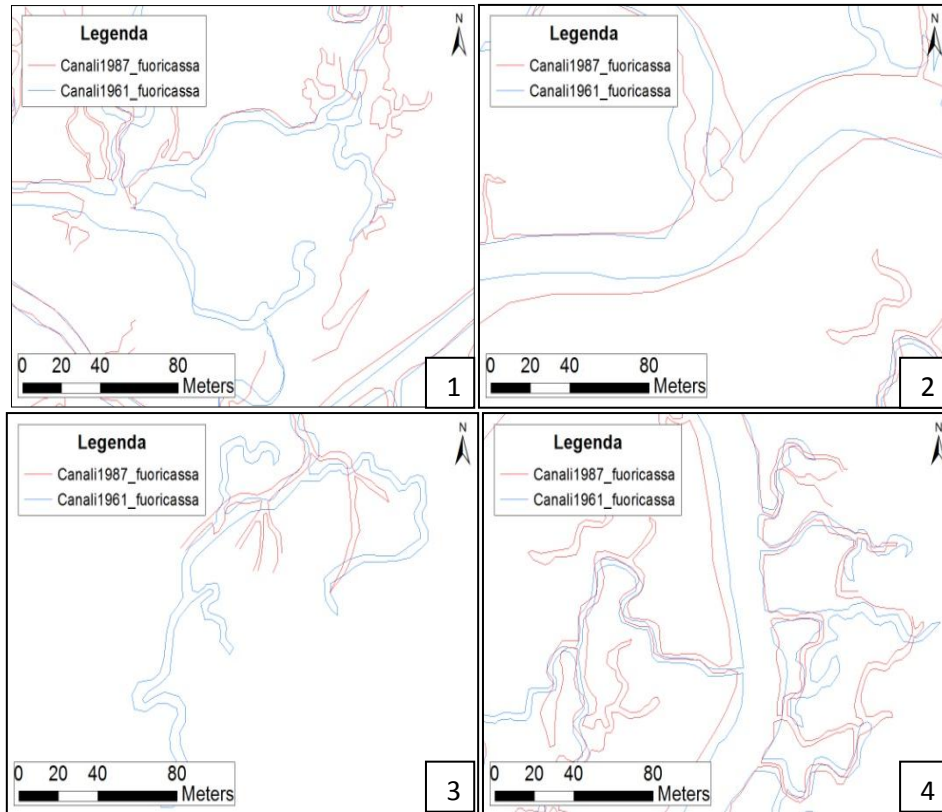


Fig. 4.1.3.4.8. Particolari reti di canali esterna alla cassa DE, barena meridionale. Formazione di chiaro, con perdita di ramificazioni (1), aumento di sezione del canale delimitante la barena e ramificazioni dei canali da esso originati (2), aumento di sezione del canale a nord (3), soppressione di alcune ramificazioni terminali (4)

In conclusione, le zone 5 e 6 sono caratterizzate, in generale, da una netta perdita di superficie barenale, che sicuramente influenza la morfologia delle reti di canali presenti. In particolare, le reti più occidentali (Figure 4.1.3.4.6 e 4.1.3.4.7), sono meno ramificate rispetto a quelle orientali. Inoltre, i processi erosivi hanno determinato notevoli aumenti di sezione dei canali principali che solcano entrambe le barene analizzate.

I canali considerati, tuttavia, presentano un andamento planimetrico relativamente statico, essendo assenti migrazioni di curve, tagli di meandro o spostamento di confluenze.

4.1 .3.5 *Zona 7: Rete di canali in una zona interna alla laguna*

La zona 7 comprende una rete di canali a marea che si trova fuori dal territorio interessato dalle casse di colmata, nella zona più interna della laguna, che comunemente viene chiamata zona morta, per la scarsa attività dinamica in essa presente. L'area si trova a est della frazione di Mira denominata Lughetto, ed è la più orientale tra le zone analizzate. La rete di canali è delimitata da vie di navigazione artificiali, cioè il Taglio Barbieri a nord-ovest, la Fossa Gambarara a nord-est e il canale Bondantino a sud-ovest: questi corsi d'acqua presentano delle costruzioni di tipo palafitta, dette "cavane" affacciate sui lati più interni. L'area occupa un territorio pressoché quadrato, il cui centro è costituito da un chiaro su cui la rete di canali si affaccia. La Figura 4.1.3.5.1 mostra come si presentava la rete nel 1996.



Fig. 4.1.3.5.1. Zona 7: rete a marea con chiaro centrale

La rete di canali è molto interna e dista dal canale Malamocco-Marghera circa sei chilometri. La Figura 4.1.3.5.2 illustra il confronto visivo tra le foto e i relativi layer, mentre la Figura 4.1.3.5.3, propone la sovrapposizione delle reti di canali ricavate per i diversi anni di osservazione.

Evoluzione delle reti di canali a marea e delle barene nella laguna di Venezia

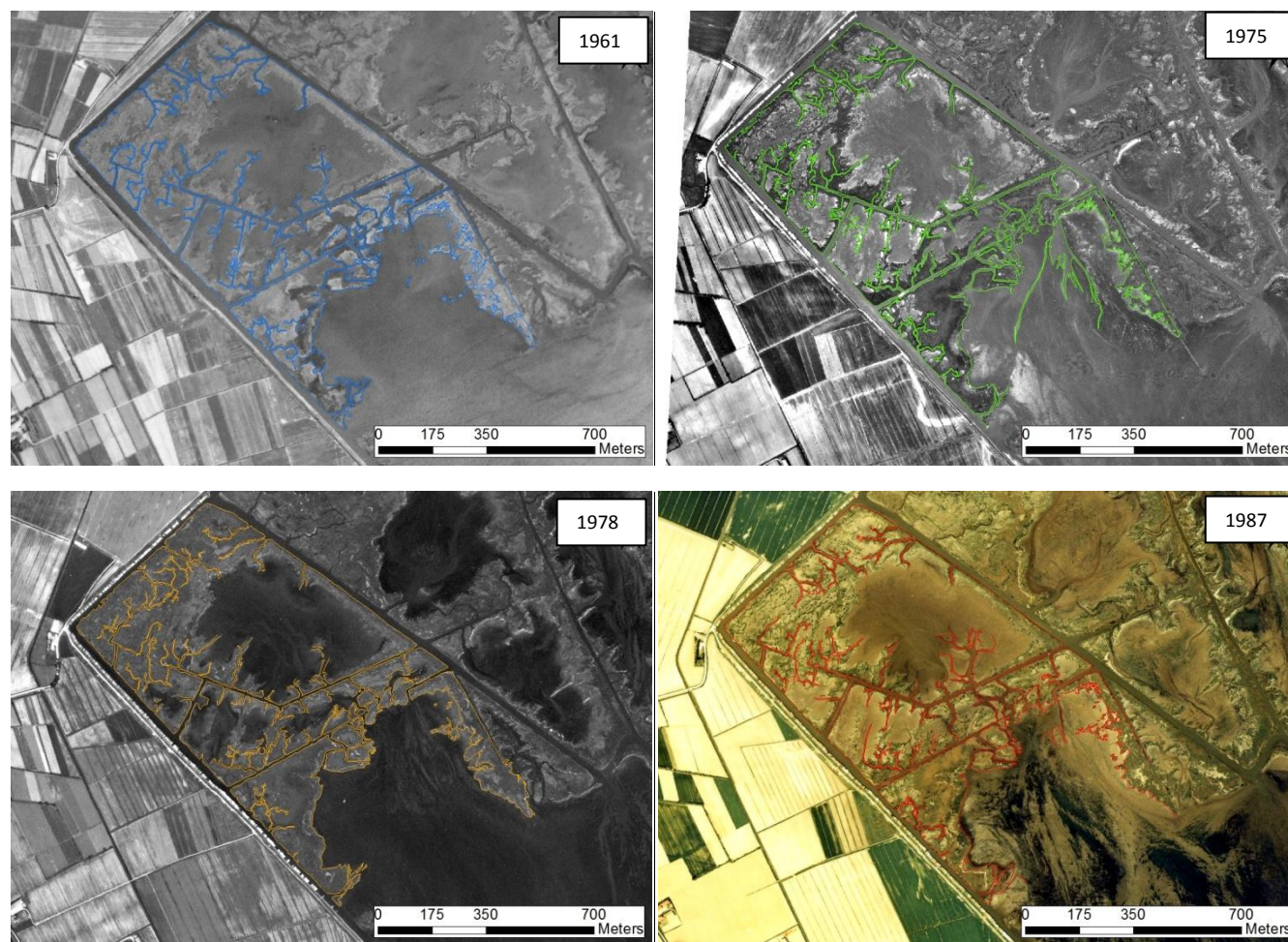


Fig. 4.1.3.5.2. Zona 7: Rete di canali interna al complesso lagunare. Successione temporale degli aerofotogrammi inquadranti il sito e dei layer vettoriali associati. Disposizione: in alto a sinistra la foto del 1961 (layer blu), in alto a destra la foto del 1975 (layer verde), in basso a sinistra la foto del 1978 (layer arancione), in alto a destra la foto del 1987 (layer rosso)

Evoluzione delle reti di canali a marea e delle barene nella laguna di Venezia

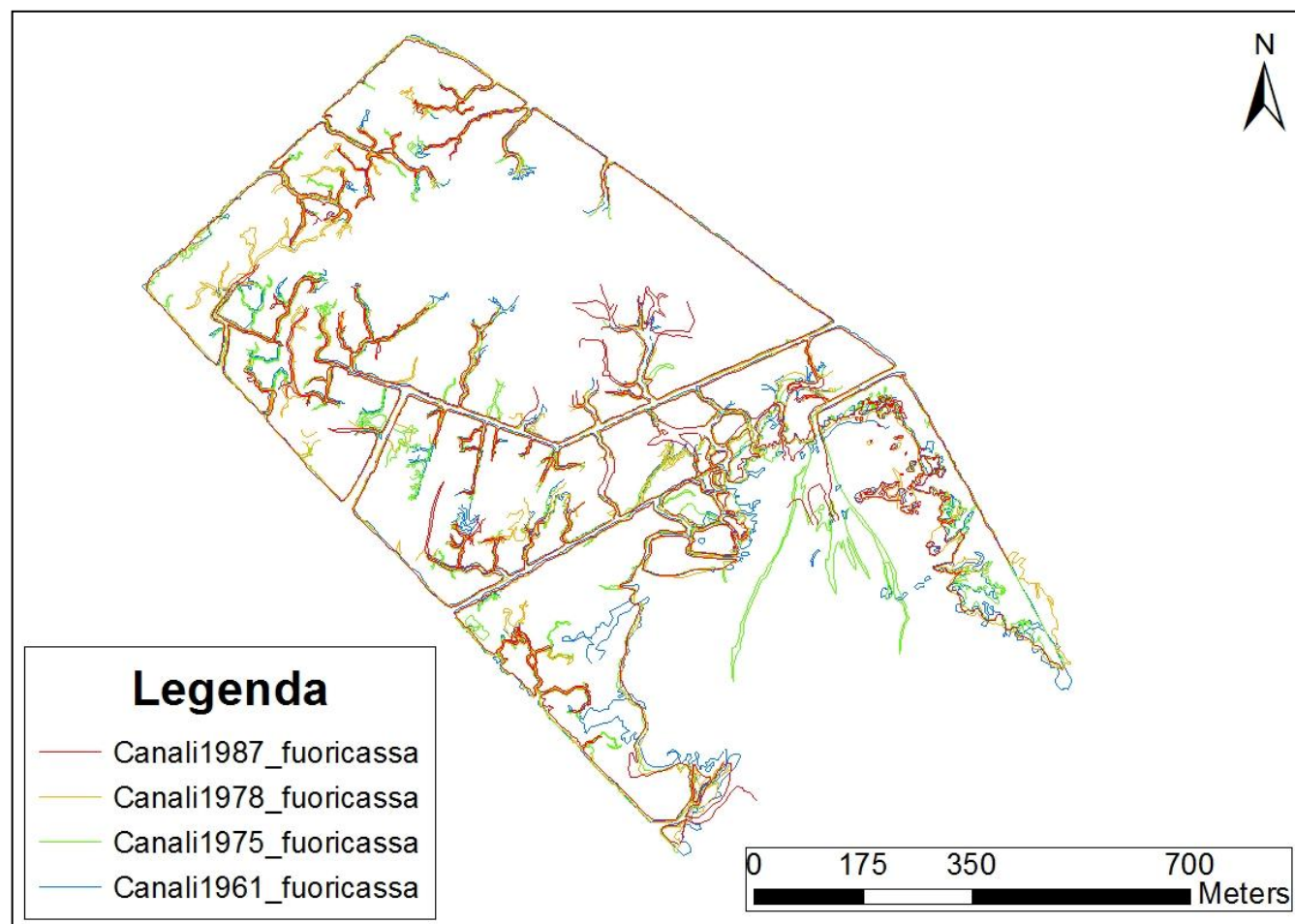


Fig. 4.1.3.5.3. Zona 7: Rete di canali interna al complesso lagunare. Sovrapposizione dei layer vettoriali

Com'è possibile prevedere, la posizione molto riparata della rete fa sì che non vi siano modifiche importanti nei canali, rimasti pressoché immutati durante l'intero arco di tempo di osservazione di circa 26 anni. Le uniche modifiche di un certo rilievo sono i depositi di materiale formati nel chiaro a sud della rete analizzata.

4.1.4 Conclusioni

Dai risultati emersi è possibile affermare che, in generale, l'area analizzata è prevalentemente statica dal punto di vista planimetrico. Le poche zone che presentano dei cambiamenti significativi nei canali sono quelle nella parte di laguna più attiva. In queste reti, in particolar modo nella zona 1, lungo il corso del canale Avesa, si sono osservati anche fenomeni di taglio di meandro e nascita di nuove reti di canali a marea.

Da notare che, anche se le reti analizzate non presentano molte variazioni, l'area è comunque in buona parte soggetta a fenomeni erosivi. Infatti, la zona 4, interna alla cassa DE, e le zone 5 e 6, ad essa esterne, presentano numerosi aumenti di sezione dei canali maggiori e scomparsa di zone di barena. I fenomeni erosivi sono prevalentemente rilevanti nelle zone confinanti con il canale Malamocco – Marghera, caratterizzato da un intenso traffico; gli arretramenti della linea di costa, in certe zone, arrivano anche a 50 metri.

Infine, l'area analizzata è tanto meno attiva quanto più ci si avvicina alla terraferma, in seguito all'azione protettiva che le Casse di Colmata svolgono nei confronti delle aree più interne.

4.2 Palude di Pagliaga

4.2.1 Georeferenziazione delle foto aeree

Dopo l'analisi dell'evoluzione dei canali all'interno della zona occupata dalla Casse di Colmata di Marghera e nelle aree limitrofe, si è deciso di cambiare località di studio, per vedere se esistono zone della laguna di Venezia che mostrano una maggiore variabilità planimetrica delle reti di canali. A differenza dell'area delle Casse di Colmata, per cui si era in possesso degli aerofotogrammi georeferenziati del 1996 e del 2006, non era disponibile nessun rilievo fotografico già georeferenziato e pertanto, per poter ottenere una mappa di base da usare come riferimento, si è reso necessario un lavoro preliminare con l'ausilio di Google Earth.

Tale programma permette di visualizzare fotografie aeree e satellitari della Terra con un dettaglio molto elevato, ottenute anche con tecniche di telerilevamento. E' stato così possibile confrontare i fotogrammi satellitari disponibili, acquisiti il 22/09/2007 e il 04/02/2011, e il rilievo fotografico più recente tra quelli acquisiti dall'archivio online del laboratorio di Cartografia e GIS dell'Università IUAV di Venezia, acquisito tra il 21 agosto e il 21 settembre 2010. Lo scopo del lavoro è stato individuare il maggior numero di punti di controllo (GCP) con posizione nota. Google Earth, infatti, consente, tramite opportuni segnalibri, di memorizzare dei luoghi d'interesse, con coordinate riferite a un dato sistema di riferimento. In questo modo, grazie al confronto visivo tra le diverse immagini e alla vicinanza temporale dei dati fotografici, si sono ricavati 131 GCP, che sono riportati nella Figura 4.2.1.1 e segnati in verde. Il numero così elevato di GPC è giustificato sia dalla vicinanza temporale tra le foto di confronto, sia dall'elevata definizione: grazie a questi due fattori decisivi, è stato possibile fare un ottimo lavoro di georeferenziazione (per esempio, si sono individuate in mare aperto le bricole delimitanti il confine dei canali navigabili).

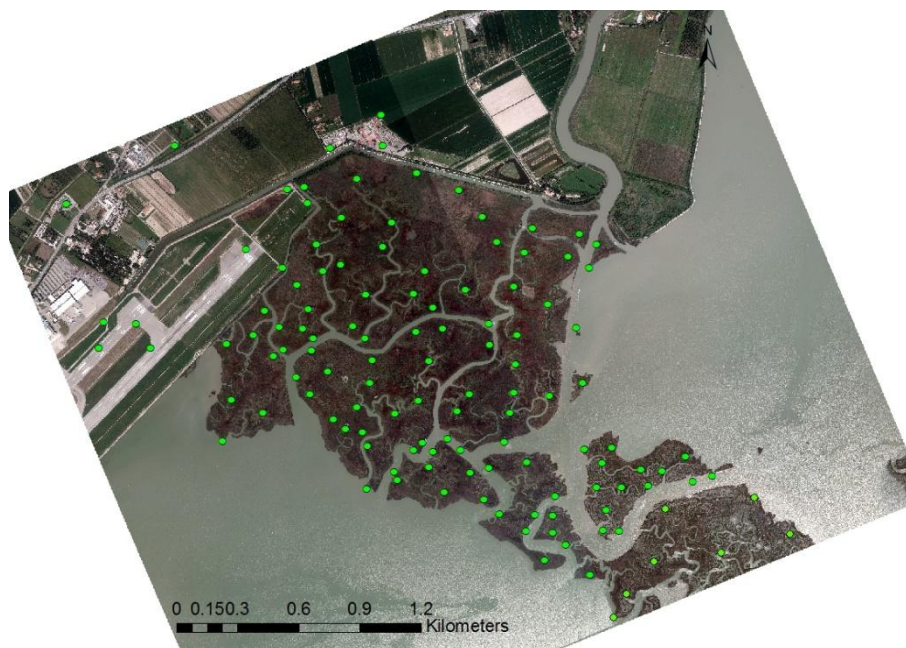


Fig. 4.2.1.1. Rilievo fotografico della Palude di Pagliaga con in verde i punti utilizzati per la georeferenziazione

In sostanza, il primo passo della procedura di georeferenziazione del rilievo fotografico 2010, è stato registrare in Google Earth le coordinate di punti relativi a elementi in comune tra le diverse foto (per esempio le bricole già citate). Queste coordinate sono state poi importate in ArcMap e, con l'ausilio dello strumento "Go to XY", contrassegnate con un punto verde all'interno nella mappa. Infine, si sono fatti coincidere il punto contrassegnato con l'elemento corrispondente.

La georeferenziazione, grazie all'elevato numero di punti acquisiti, è stata fatta utilizzando un polinomio d'interpolazione del terzo ordine: in questo modo, si è ridotto considerevolmente lo scarto quadratico medio totale delle due foto relative al 2010.

Nella fase successiva, prima di ricalcare con i layer vettoriali il contorno dei canali e delle barene come fatto in precedenza, utilizzando il rilievo fotografico del 2010 come mappa di base, si sono georeferenziati gli altri aerofotogrammi. I risultati del processo di ricampionamento sono elencati nella Tabella 4.2.1.1.

Anno	n° punti individuati	RMS [m]	Dimensione pixel
1954-55	30	2.13235	1.631939
1961	37	1.70802	1.23229
1975	50	1.59558	0.665782
1987	32	1.57886	0.836288
1999	44	1.13365	0.742411
2010-foto193	74	1.01177	0.321761
2010-foto195	72	1.14827	0.321519

Tab. 4.2.1.1. Dati dei rilievi fotografici georeferenziati per la Palude di Pagliaga

Non deve stupire che la somma dei GCP dei due aerofotogrammi costituenti il rilievo del 2010 superi il numero di GCP totale indicato in precedenza, e pari a 131. Infatti, le due foto hanno, per continuità di studio, una zona di sovrapposizione e, quindi, alcuni punti in comune.

4.2.2 Aree analizzate

Rispetto a quanto fatto per le Casse di Colmata, l'analisi della Palude di Pagliaga è stata più dettagliata. Infatti, la costruzione dell'aeroporto Marco Polo non ha influenzato le reti di canali a marea all'interno delle zone barenicole e l'ambiente è stato scarsamente antropizzato e a differenza delle stesse Casse di Colmata negli anni '60. Si è quindi deciso di analizzare lo sviluppo delle reti che solcano la Palude di Pagliaga dal biennio 1954-55 al 2010, datazioni estreme dei rilievi fotografici disponibili.

L'area oggetto di studio è stata suddivisa in zone di minor estensione, in modo da poter analizzare con il miglior dettaglio possibile le reti di canali e i numerosi cambiamenti verificatisi nel corso del tempo. Queste zone, che sono riportate nella Figura 4.1.2.1, sono state classificate nel seguente modo.

1. Zona A: include la barena più vicina all'aeroporto Marco Polo, nell'area più occidentale della Palude di Pagliaga.

2. Zona B: comprende tutte le reti di marea situate a nord, delimitate dal Ramo morto del canale Osellino, dal canale Fossetta e dal canale Terzo.
3. Zona C: corrisponde alla barena orientale delimitata dal canale Dese (canale Nuovo), ed è quindi a diretto contatto con la laguna aperta, che in quell'area prende il nome di Palude di Cona.
4. Zona D: è la barena delimitata a nord dal canale Terzo, ed è forse la più interessante perché presenta moltissime reti di canali.
5. Zona E: situata al limite orientale della Palude di Pagliaga, comprende tre barene isolate che sono particolarmente influenzate da fenomeni erosivi.

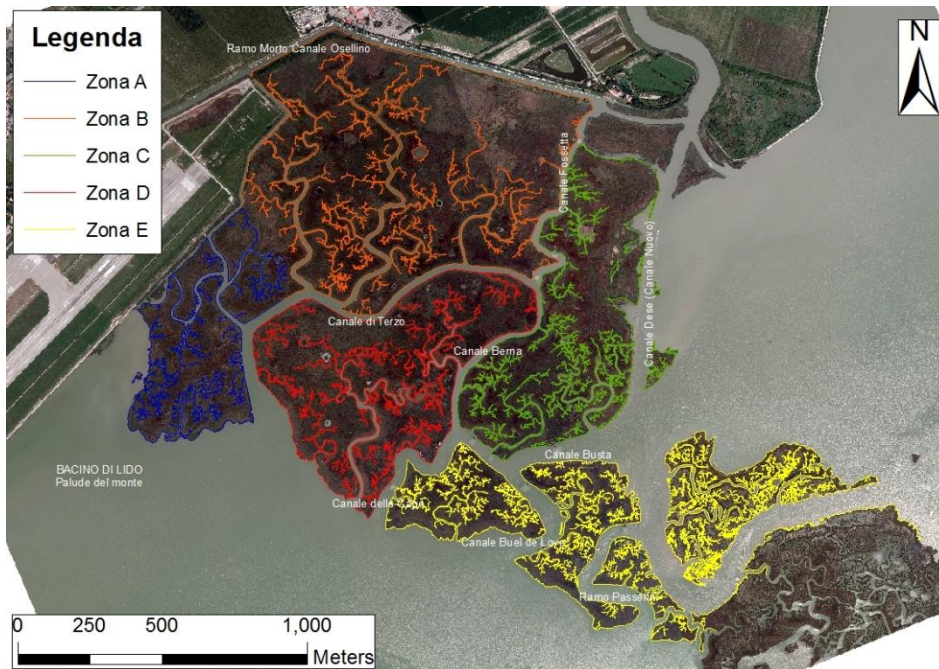


Fig. 4.1.2.1. Palude di Pagliaga: suddivisione in aree di studio

Prima di affrontare lo studio di Pagliaga è opportuno precisare che le differenti dimensioni dei pixel dei diversi aerofotogrammi (vedi Tabella 4.2.1.1) non hanno pregiudicato una corretta individuazione dei bordi dei canali e delle barene, in quanto i rilievi erano, tutti di buona qualità. Possono esserci delle imprecisioni nell'individuazione delle ramificazioni minori, ma il corpo dei canali con sezione maggiore di 2 o 3 metri è ben delineato in tutti gli anni di osservazione.

Infine, il layer vettoriale che individua il bordo dei canali e delle barene del 2010 non è stato considerato in fase di confronto, perché il rilievo fotografico, a differenza di tutti gli altri analizzati (in formato analogico) è digitale e quindi presenta una maggiore definizione. Esso comunque, per completezza d'informazione, è stato riportato e commentato separatamente per confermare eventuali tendenze evolutive.

4.2.3 Analisi delle singole aree di Pagliaga

Di seguito, saranno presentati, per ciascuna delle zone studiate, i cambiamenti che si sono verificati nel periodo analizzato.

4.2.3.1 ZONA A

Le reti di canali, che solcano la porzione occidentale della Palude di Pagliaga, sono le uniche caratterizzate da presenza di attività antropiche, a seguito della costruzione dell'aeroporto Marco Polo tra il 1958 e il 1961. L'area è delimitata a est dal canale Terzo e confina a ovest e sud direttamente con la laguna (bacino di Lido).

Un confronto visivo permette di apprezzare le differenze tra la configurazione esistente prima della costruzione della pista d'atterraggio (1954) e quella odierna (Figura 4.2.3.1.1).



Fig. 4.2.3.1.1. Foto aerea della zona A della Palude di Pagliaga: a sinistra prima della costruzione dell'aeroporto (1954), a destra dopo la costruzione (2010)

La costruzione dell'aeroporto ha quindi determinato la scomparsa delle reti di canali a marea più occidentali della Palude di Pagliaga ma, al tempo stesso, gli ambienti non interessati delle attività antropiche hanno potuto continuare a evolversi costantemente nel corso di tutto il periodo analizzato. Come fatto per la zona delle Casse di Colmata, si sono utilizzati layer di tipo lineare (polilinee) per definire il contorno dei canali negli anni di osservazione, per poi sovrapporli e valutarne le variazioni. Come si vede dalla Figura 4.2.3.1.2, la migliore qualità delle foto, l'analisi temporale più ampia e la costante presenza di fenomeni erosivi, hanno consentito di documentare uno sviluppo della rete e della barena costante e continuo.

Come già detto, l'anno 2010 non è riportato in fase di confronto, data la maggiore definizione delle foto che comportano una maggiore ramificazione della rete. In ogni caso, l'anno 2010 consente una visione maggiormente dettagliata del sito e, quindi, delle tendenze evolutive.

Evoluzione delle reti di canali a marea e delle barene nella laguna di Venezia

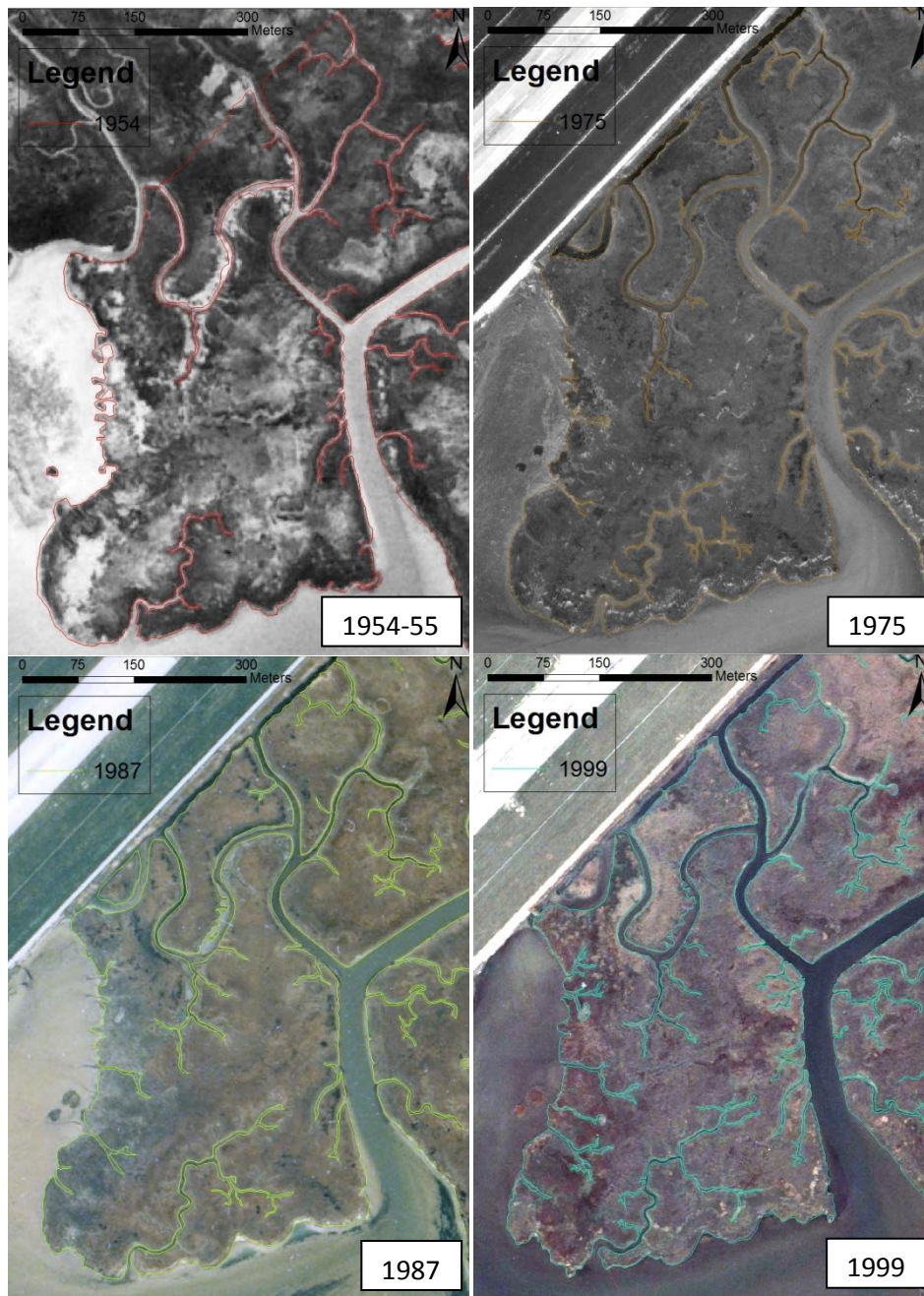


Fig. 4.2.3.1.2. Zona A: Successione temporale degli aerofotogrammi inquadranti il sito e dei layer vettoriali associati. Nella disposizione proposta, in alto a sinistra la foto del 1954 (layer rosso), in alto a destra la foto del 1978 (layer arancione), in basso a sinistra la foto del 1987 (layer verde), in basso a destra la foto del 1999 (layer azzurro)

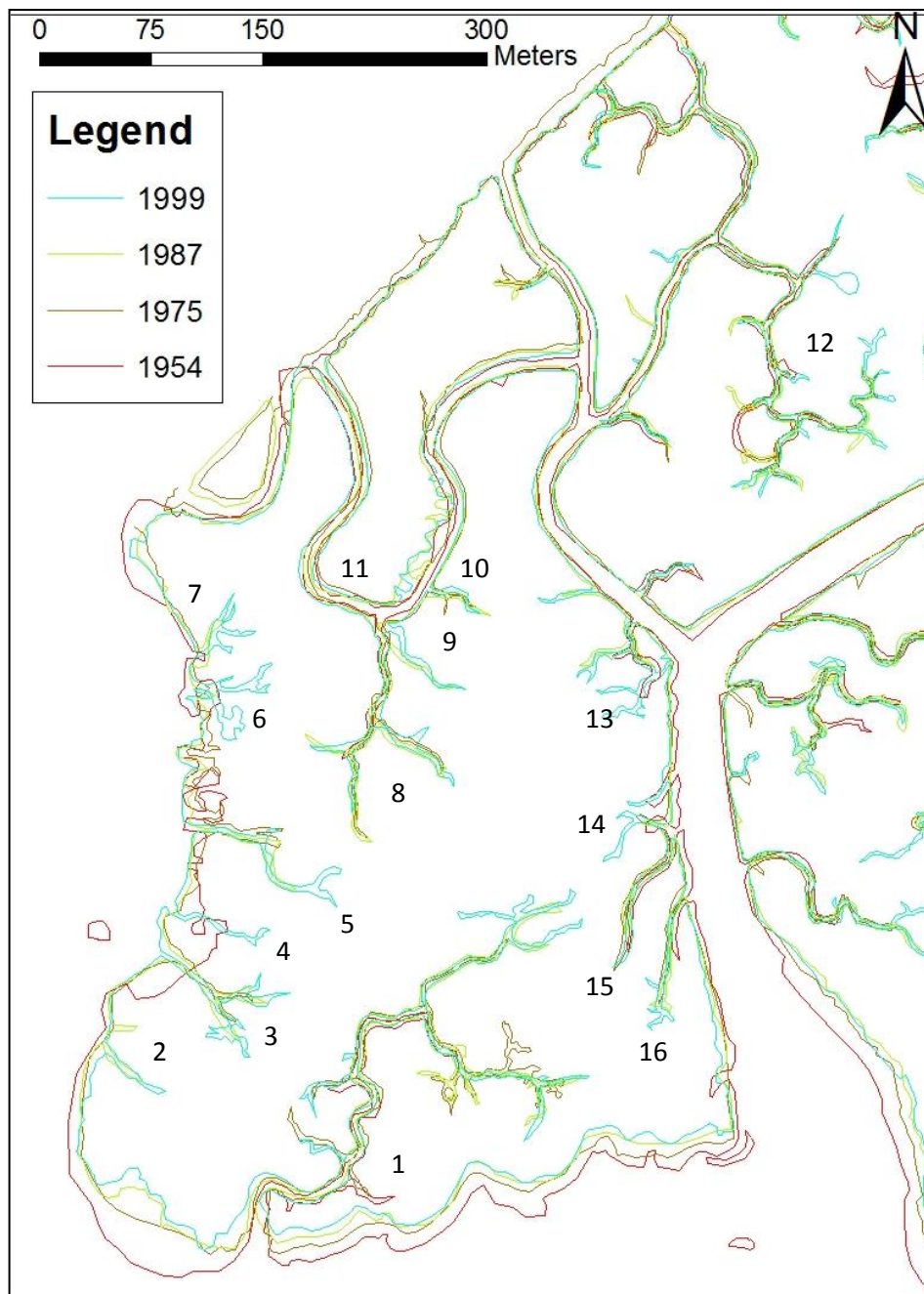


Fig. 4.2.3.1.3. Zona A: Sovrapposizione dei layer vettoriali, su sfondo bianco

Dalla Figura 4.2.3.1.3 che riporta la sovrapposizione dei diversi layer vettoriali, appare evidente che tutta la zona ha subito delle modifiche interessanti.

- Il limite sud della barena è arretrato costantemente, anche di alcune decine di metri, rispetto al primo rilevamento effettuato nel biennio 1954-55, di 50 nella zona sud-ovest (escludendo l'ultima rilevazione del 2010). Al contrario, il limite barenale occidentale mostra una tendenza al deposito di materiale con il conseguente avanzamento della linea di costa (cfr. Figura 4.2.3.2).
- Anche le reti di canali a marea hanno subito variazioni: si nota un aumento sensibile di ramificazioni che, soprattutto nella zona meridionale della barena, si estendono e si diramano verso l'entroterra (canale 1). Fenomeni erosivi della linea di costa si osservano lungo il corso del canale Terzo (sviluppo dei canali dal 13 al 14) e nel canale 11, adiacente alla zona di costruzione dell'aeroporto: nel tratto con curvatura più accentuata, è evidente l'arretramento e l'erosione barenale. Sul bordo occidentale della barena, si nota la nascita di nuovi canali, assenti nella configurazione del 1954 (canali da 2 a 7). Infine, nell'estremità nord-orientale del complesso barenale analizzato, è possibile vedere l'inizio della formazione di un chiaro (layer azzurro-1999, canale 12).

Per apprezzare al meglio tutti questi cambiamenti, sintomi di una costante e sviluppata evoluzione, si riporta nella Figura 4.2.3.1.4 un dettaglio delle maggiori modifiche osservate. Il confronto è stato fatto tra il layer più datato (riferito al biennio 1954-55) e quello del 1999.

Evoluzione delle reti di canali a marea e delle barene nella laguna di Venezia

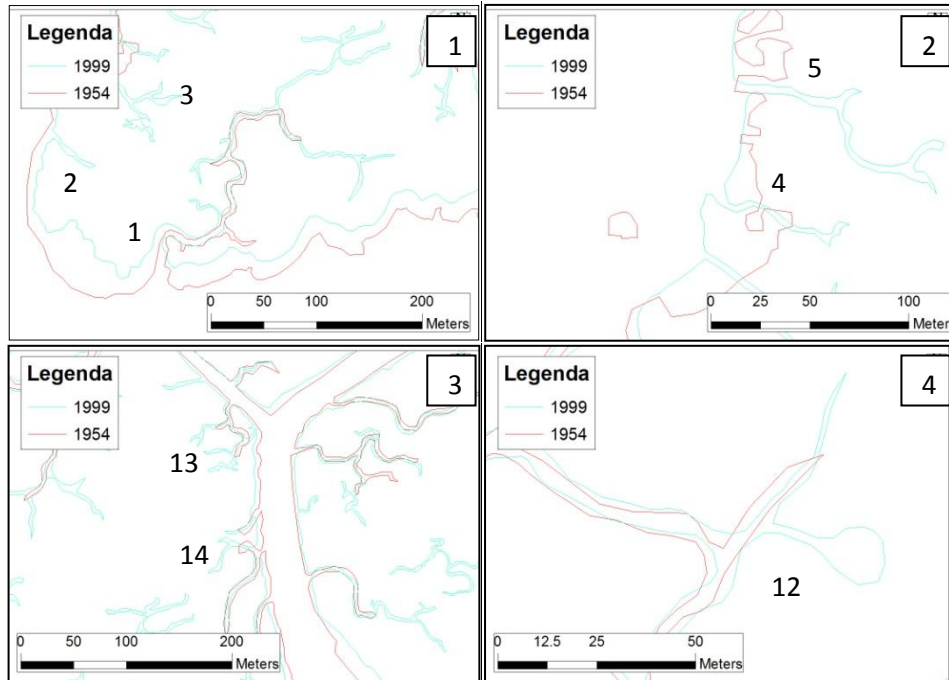


Fig. 4.2.3.1.4. Particolari zona A. Arretramento della linea di costa meridionale (1), deposito di materiale sulla costa occidentale (2), aumento di sezione nel canale Terzo (3), formazione di chiaro (4)

Per completezza di risultati, si riporta anche la Figura 4.2.3.1.5, dove si vede il rilievo fotografico relativo al 2010: grazie alla maggior definizione, la rete di canali appare maggiormente ramificata e si osserva un ulteriore progredir delle tendenze evolutive già citate. In particolare, è aumentata la superficie del chiaro posto nella zona nord-est della barena.

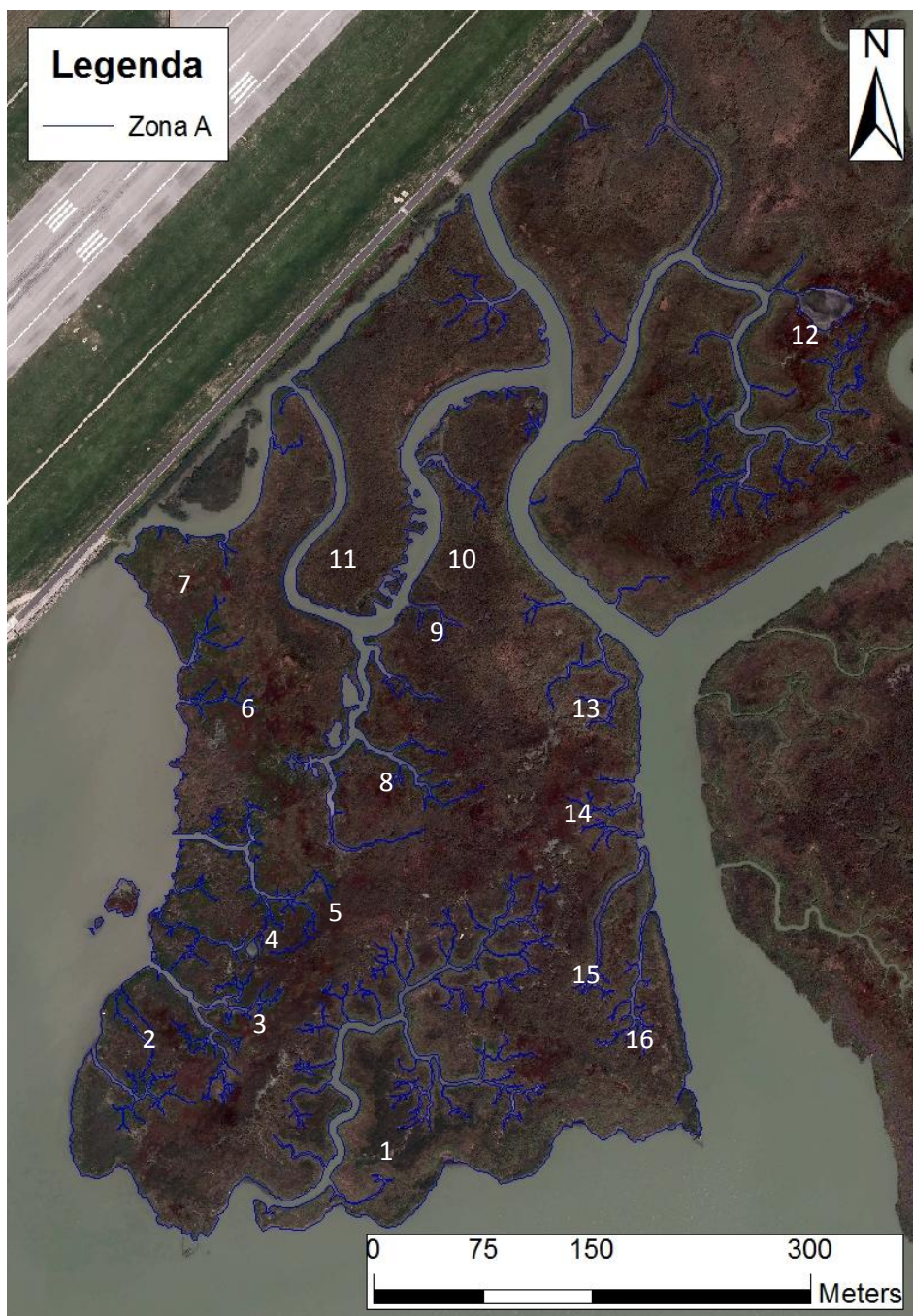


Fig. 4.2.3.1.5. Rete di canali della zona A della Palude di Pagliaga, anno 2010

4.2.3.2. ZONA B

La zona settentrionale della Palude di Pagliaga è delimitata a nord dal ramo morto del canale Osellino, a est dal canale Fossetta, che collega l'Osellino al canale Terzo, a sud dallo stesso Terzo, a ovest dalla pista d'atterraggio dell'aeroporto. È solcata da una fitta rete di canali, con diramazioni e ramificazioni sviluppate, che si estendono per tutta la sua lunghezza. Come per la zona occidentale già analizzata, anche in questo caso si riporta la successione temporale dei fotogrammi inquadranti il sito (Figura 4.2.3.2.1), e (Figura 4.2.3.2.2) la sovrapposizione dei layer vettoriali. Anche in questo caso, l'anno 2010 è servito come termine di paragone e sviluppo più dettagliato.

Evoluzione delle reti di canali a marea e delle barene nella laguna di Venezia

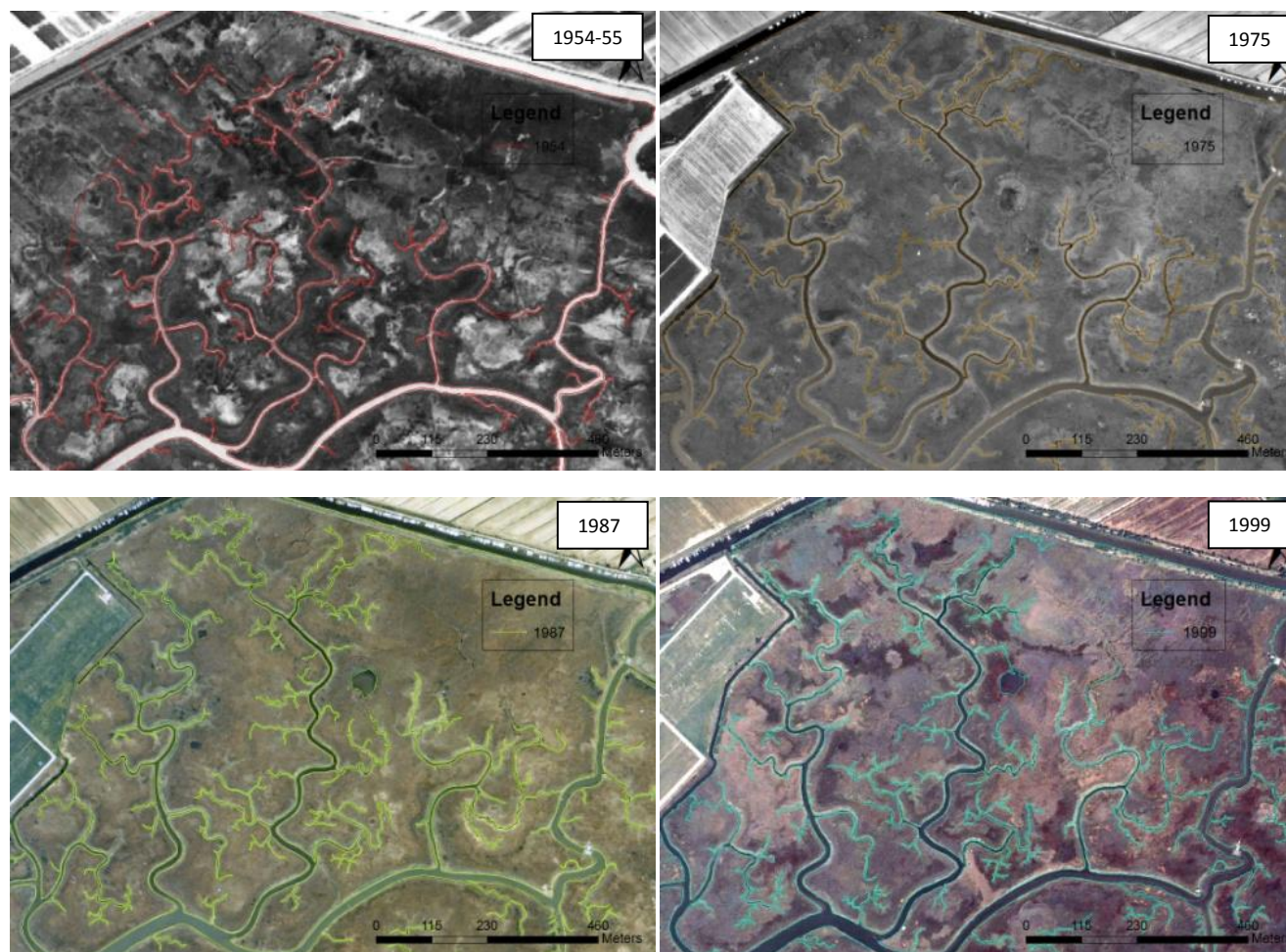


Fig. 4.2.3.2.1. Zona B: Successione temporale degli aerofotogrammi inquadranti il sito e dei layer vettoriali associati. Nella disposizione proposta, in alto a sinistra la foto del 1954 (layer rosso), in alto a destra la foto del 1978 (layer arancione), in basso a sinistra la foto del 1987 (layer verde), in basso a destra la foto del 1999 (layer azzurro)

Evoluzione delle reti di canali a marea e delle barene nella laguna di Venezia

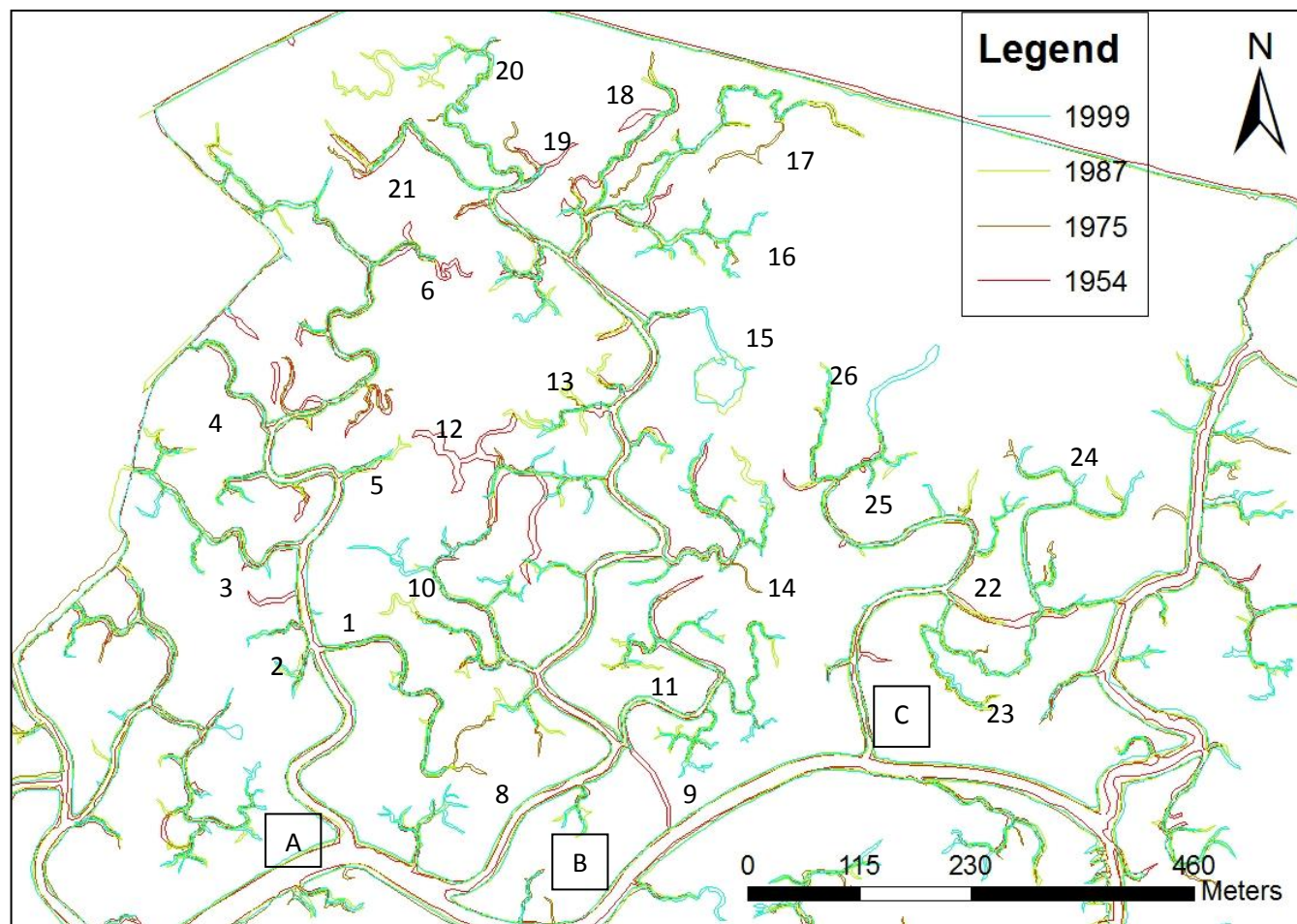


Fig. 4.2.3.2.2. Zona B: Sovrapposizione dei layer vettoriali, su sfondo bianco

Dal confronto tra i diversi layer (Figura 4.2.3.2.2), emerge che anche in questa zona, molto più riparata rispetto alle altre, le reti dei canali sono in evoluzione. Per rendere più chiare le modifiche, si è deciso di analizzare, procedendo da ovest verso est, le caratteristiche delle reti di canali.

- La prima rete di canali a marea (A) è costituita da un canale principale che si origina dal canale Terzo, estendendosi fino alla zona più settentrionale della barena, e da numerose ramificazioni uniformemente distribuite (canali da 1 a 6). La rete, nel complesso, non sembra presentare un'evoluzione accentuata, escludendo lo sviluppo di alcune ramificazioni nella zona settentrionale. Di certo si può affermare che i processi erosivi hanno determinato un aumento della larghezza del canale principale, e che la rete riferita all'anno 1975 pare in alcuni punti presentare delle ramificazioni molto più estese rispetto alla rete dei canali riferita ad altri anni: questo risultato potrebbe dipendere dalle diverse condizioni di marea in cui sono state scattate le foto (per cui, in condizioni di alta marea, le larghezze risultano minori).
- La seconda rete di canali a marea (B) era in origine formata da due canali a marea confluiti in un unico canale di maggiore importanza (canali 8 e 9): oggi, uno dei due rami è scomparso (canale 9) e la barena più piccola si è unita al corpo principale. Come visto prima, la rete presenta alcune ramificazioni che, evidenti nel 1954-55, sono scomparse nel corso del tempo (canale 12 e 19) e, viceversa, nuovi canali che si sono sviluppati per processi di erosione e scavo dalle estremità di canali più antichi (canali da 11 a 18 e da 20 a 21). Da notare che, dal 1987, è possibile osservare la formazione di un piccolo chiaro, alimentato da un canale a nord (canale 15).

Il processo di allargamento della sezione del canale, a differenza dello sviluppo delle ramificazioni, non sembra

Evoluzione delle reti di canali a marea e delle barene nella laguna di Venezia

cambiare indefinitamente ma, anzi, sembra che le sponde dei canali soggetti a erosione si assestino raggiunta una certa dimensione. Infatti, mentre il corso del canale principale della rete numero 2, nel 1954-55, si presenta molto stretto, si nota un allargamento consistente nel 1975, che poi negli anni seguenti si è mantenuto pressoché inalterato.

- La terza rete di canali a marea presente nella zona settentrionale della palude di Pagliaga (C) non presenta particolari novità rispetto alle altre due presentate: da osservare la completa sparizione di un braccio (canale 22), lo sviluppo di un nuovo canale (canale 23), di lunghezza pari a circa 500 metri, in tempi incredibilmente rapidi, dal 1954 al 1975, e la comparsa di nuove ramificazioni (canali da 24 a 26)

Nella Figura 4.2.3.2.3 si riportano i particolari sopra citati per le reti osservate.

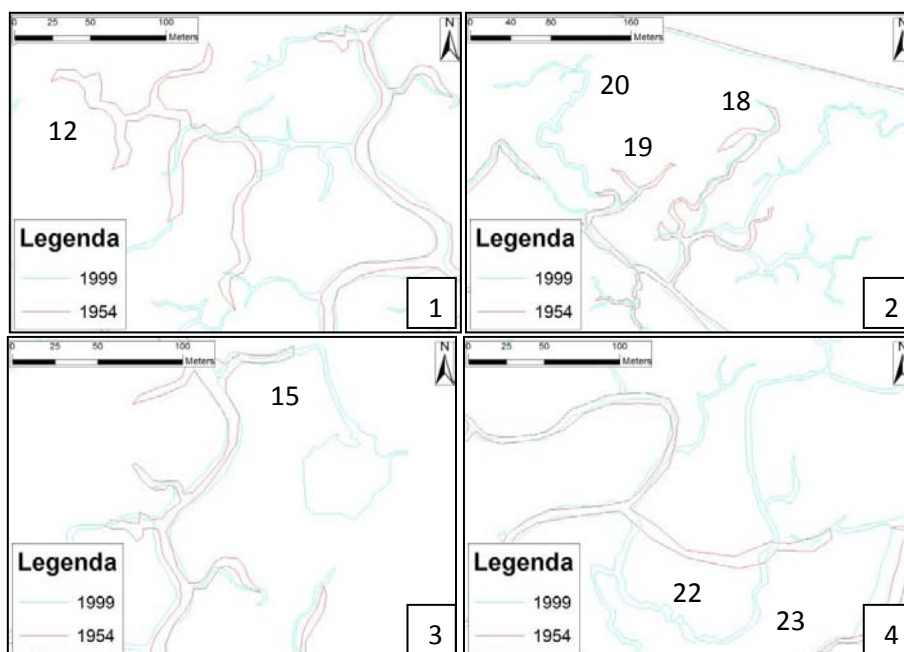


Fig. 4.2.3.2.3. Particolari zona B. Scomparsa ramificazioni del biennio 1954-55 (1), nascita di nuove ramificazioni nella zona nord della barena (2), aumento di sezione del canale e formazione di chiaro (3), sviluppo di nuove vie preferenziali (4)

Per una maggior completezza si riporta anche la rete del 2010 (Figura 4.2.3.2.4), maggiormente ramificata per la migliore definizione della foto.

Evoluzione delle reti di canali a marea e delle barene nella laguna di Venezia

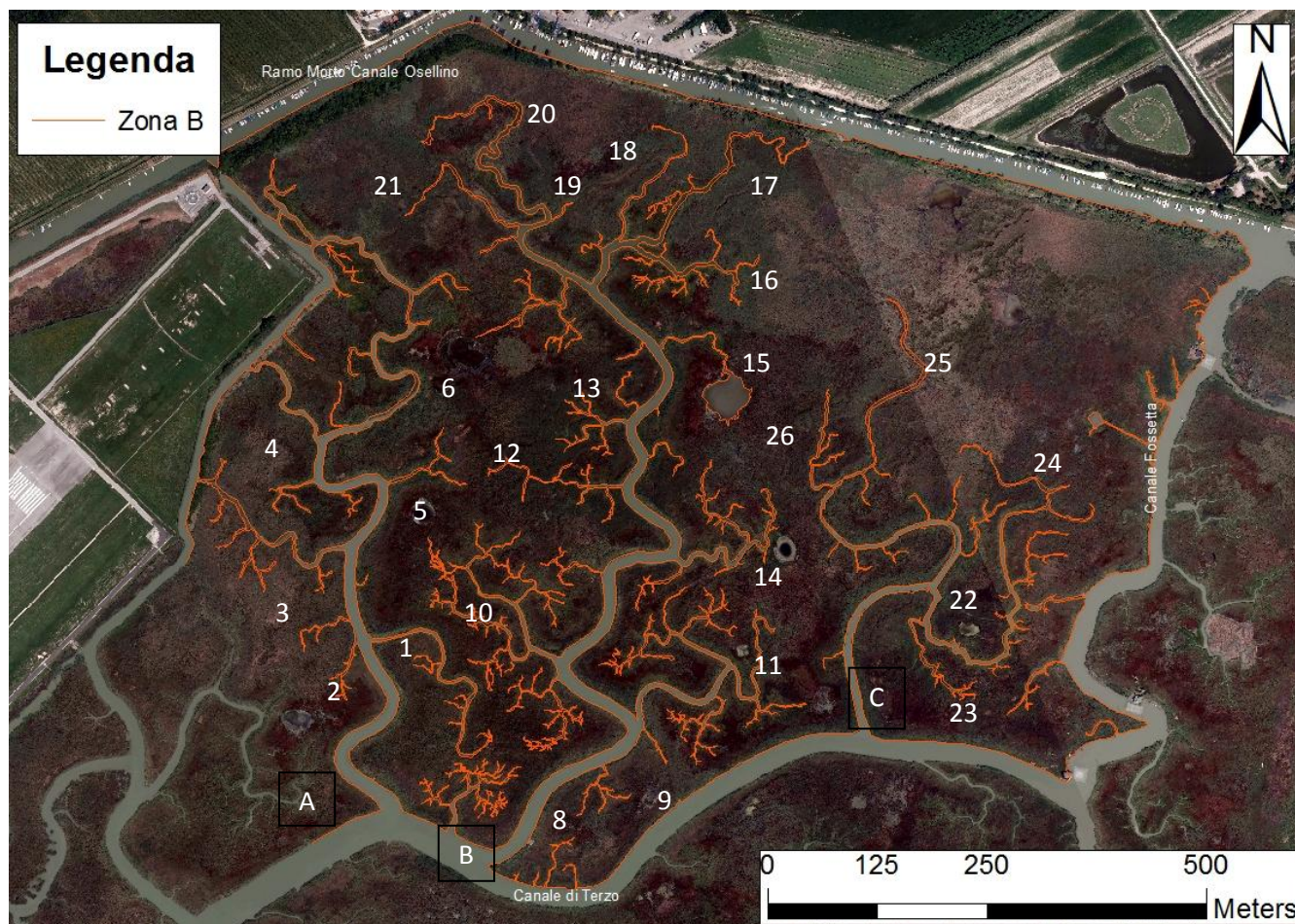


Fig. 4.2.3.2.4. Rete di canali della zona B della Palude di Pagliaga, anno 2010

4.2.3.3 *ZONA C*

La zona orientale è formata da un'unica grande barena. A est è in comunicazione diretta con la laguna di Venezia, che prende in quel sito il nome di Palude di Cona, mentre è chiusa a ovest dal canale Fossetta. A nord è delimitata da un canale minore, parallelo al ramo morto del canale Osellino e che collega il canale Dese (canale nuovo) al canale Fossetta; a sud il canale Busta la separa un altro complesso barenale. Il fatto che essa confini a est con la parte di laguna più attiva comporta fenomeni di erosione molto evidenti. Questo emerge già da un primo confronto visivo tra le foto dei diversi anni (Figura 4.2.3.3.1).

Evoluzione delle reti di canali a marea e delle barene nella laguna di Venezia

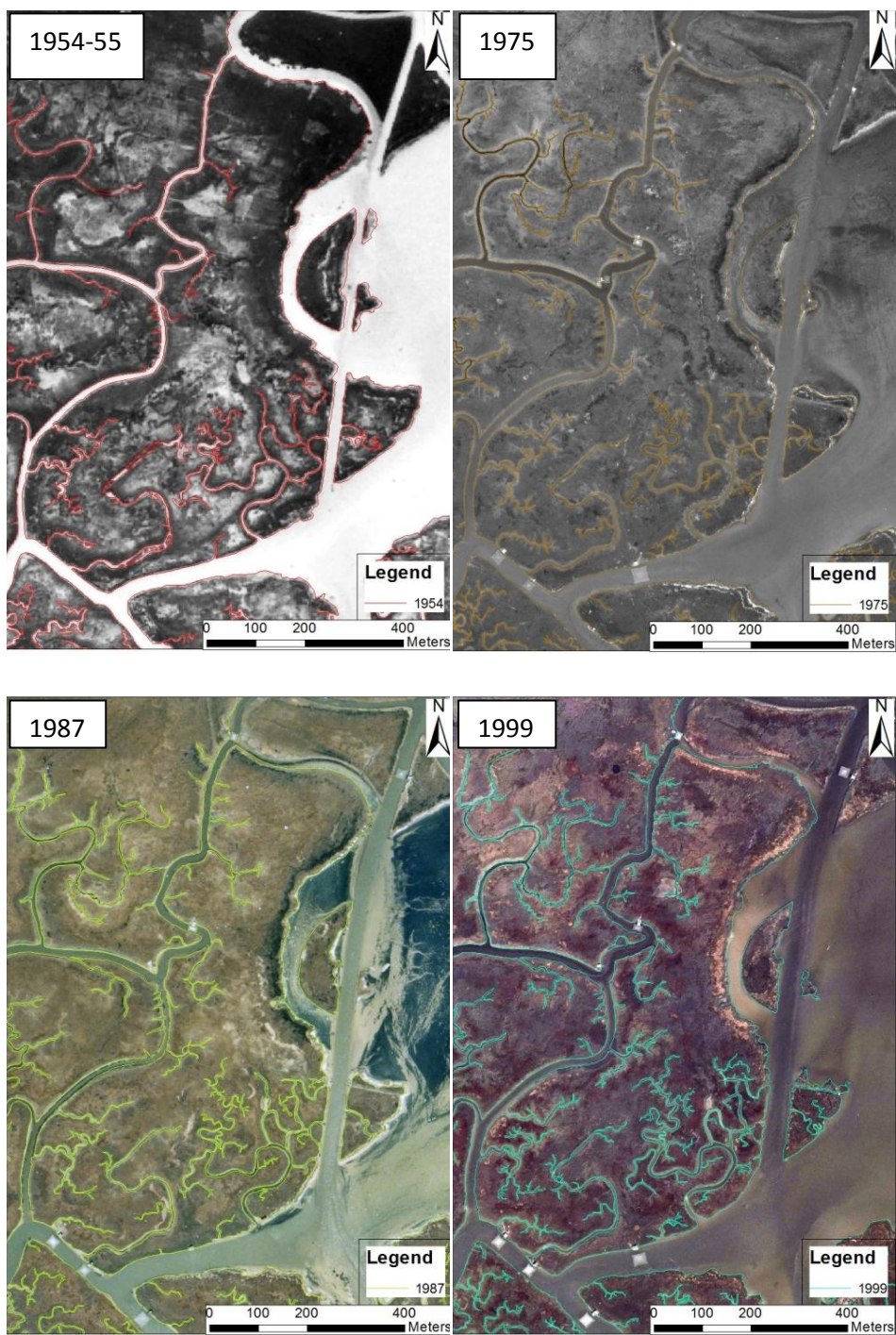


Fig. 4.2.3.3.1. Zona C: Successione temporale degli aerofotogrammi inquadranti il sito e dei layer vettoriali associati. Nella disposizione proposta, in alto a sinistra la foto del 1954 (layer rosso), in alto a destra la foto del 1978 (layer arancione), in basso a sinistra la foto del 1987 (layer verde), in basso a destra la foto del 1999 (layer azzurro)

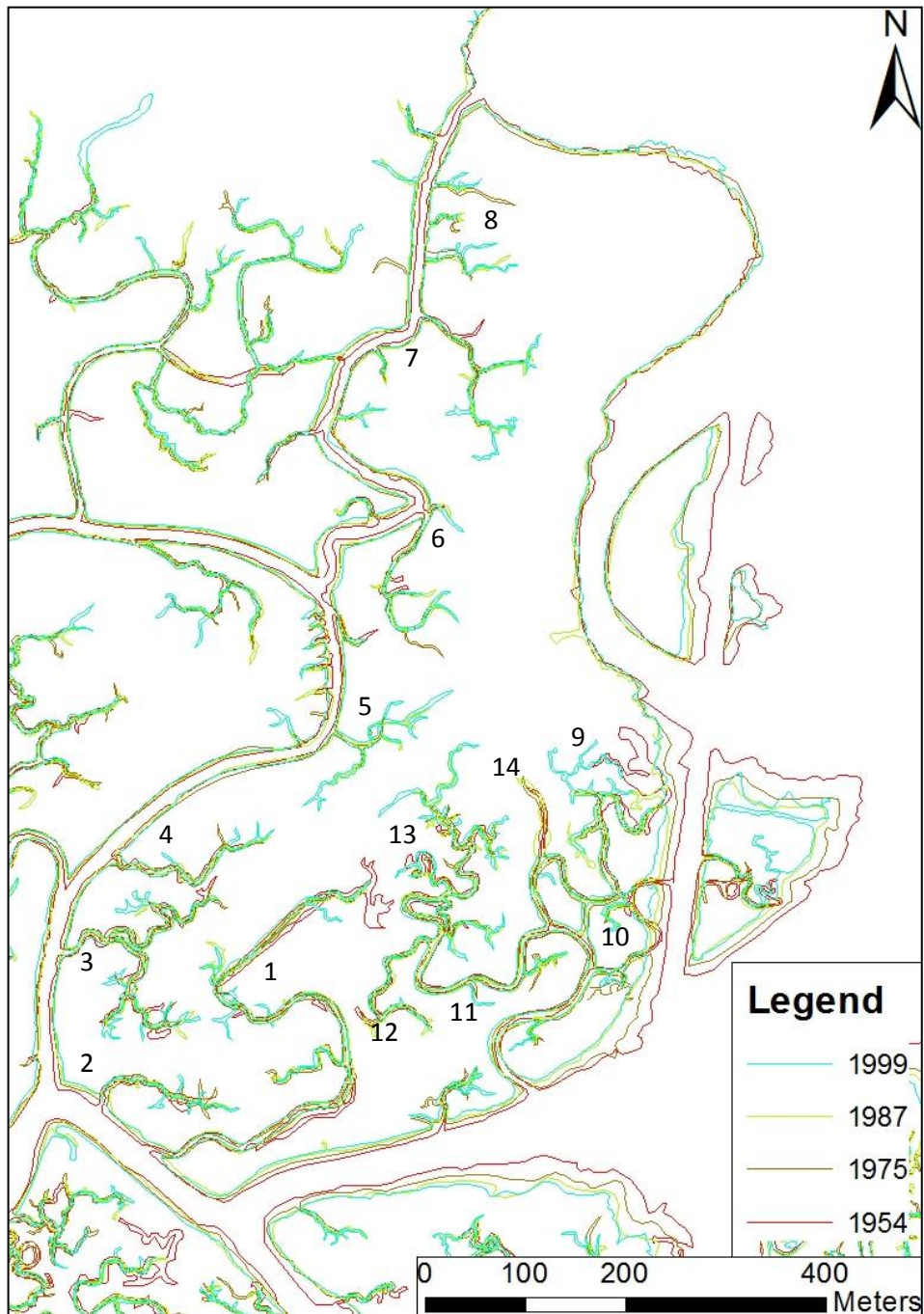


Fig. 4.2.3.3.2. Zona C: Sovrapposizione dei layer vettoriali, su sfondo bianco

In particolare, è possibile notare (Figura 4.2.3.3.2) che gli isolotti a est della barena si sono considerevolmente ridotti nell'intervallo analizzato o, addirittura, sono scomparsi: dal confronto tra i layer del biennio 1954-55 e del 1999, infatti, è possibile vedere che le quattro piccole isole inizialmente presenti, si sono ridotte, allo stato attuale, a tre con area decisamente inferiore (Figura 4.2.3.3.3-1 e 2).

Oltre a questo, è possibile osservare evoluzioni morfologiche particolarmente rilevanti. Oltre al già citato fenomeno dell'aumento di estensione delle ramificazioni (canali 2, 3, 4, 6, 7, 9 e 13), alla scomparsa di alcuni rami terminali (canali 1 a 14), e alla nascita di nuovi canali per i fenomeni erosivi caratterizzanti il canale Fossetta (canali 5 e 8), si riscontrano anche sostanziali variazioni planimetriche. Se si prende ad esempio in esame il canale 1 (Figura 4.2.3.3.2), si vede che, mentre nel biennio 1954-55 il corso si mostrava molto più ampio e con depositi di materiale che andavano a formare dei piccoli isolotti, negli anni successivi questa tendenza è scomparsa e, adesso, la sezione del canale è molto più stretta e priva d'isola. Questo fenomeno potrebbe essere un indizio molto importante del fatto che la morfologia dei canali a marea non è influenzata solo da fenomeni erosivi, che causano l'allargamento della sezione dei canali, ma anche dal deposito di sedimenti, prodotti dai processi erosivi appena citati, in grado di modificare la struttura e il corso dei canali a marea.

Altro fenomeno osservato è stato lo spostamento di alcune confluenze: osservando il canale 13 (Figura 4.2.3.3.2), si vede che essa presenta uno spostamento del limite orientale della confluenza più meridionale. In generale, molti dei canali appartenenti alla barena sono caratterizzati da un'evoluzione planimetrica: questa tendenza, che osservata molto spesso negli alvei fluviali, è dovuta a fenomeni di deposito ed erosione, è evidente anche nella rete in esame. La Figura 4.2.3.3.3 mostra alcuni dei particolari citati, per apprezzare meglio quanto detto.

Evoluzione delle reti di canali a marea e delle barene nella laguna di Venezia

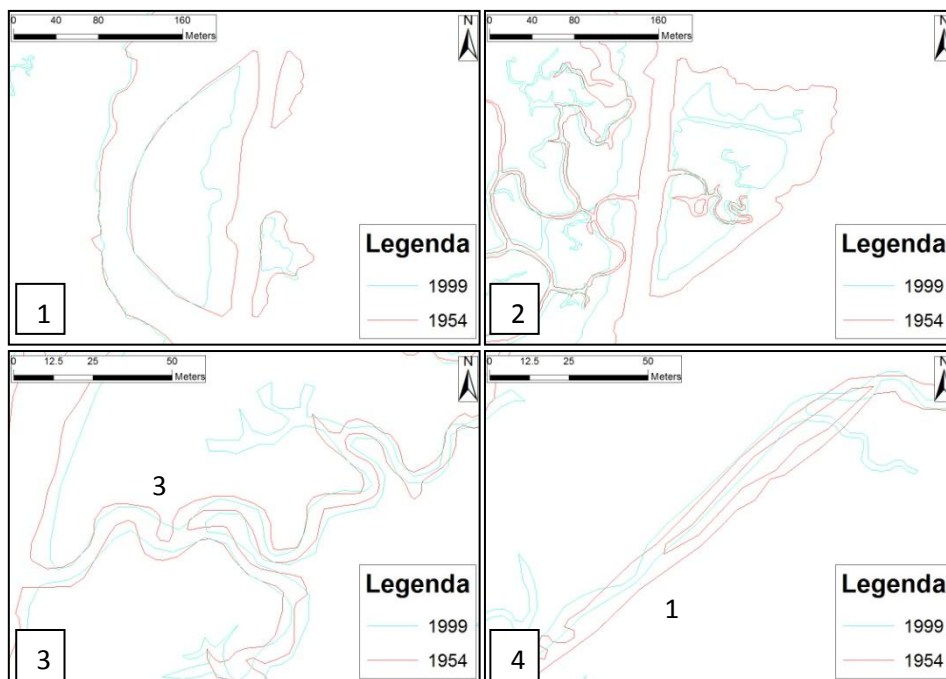


Fig. 4.2.3.3.3. Particolari zona C. Arretramento e scomparsa isole barenali a est (1-2), spostamento confluenze (3), la variazione subita dall'alveo del canale (4)

La rete del 2010 (Figura 4.2.3.3.4) mostra infine una tendenza al deposito di materiale vicino all'isola barenale più a nord, con ostruzione del canale che la separava inizialmente dalla barena maggiore.



Fig. 4.2.3.3.4. Rete di canali della zona C della Palude di Pagliaga, anno 2010

4.2.3.4 ZONA D

La zona D comprende una barena posta nella parte sud della Palude di Pagliaga, con un corpo centrale piuttosto esteso e due estremità di forma semicircolare a nord: il confine settentrionale della barena è costituito dal

canale Terzo, quello orientale dal canale Berna e dal canale delle Cape, mentre a sud e a ovest è in diretta comunicazione con la laguna.

La barena offre la possibilità, forse unica tra le zone fino a qui oggetto di studio, di analizzare compiutamente il corso di un canale a marea con andamento a meandro e, quindi, di valutarne l'evoluzione temporale e spaziale. Le reti di canali a marea che la solcano, infatti, sono lasciate libere di progredire, dando origine a forme particolari. Da considerare come la zona meridionale sia quella che offre la maggior superficie all'azione attiva della laguna e questo, come si vedrà, favorisce l'arretramento della linea di costa della barena.

Nonostante alcune peculiarità, i cambiamenti osservati sono simili a quelli visti fino ad ora riscontrati, cioè l'azione erosiva della marea e del vento, che causano l'arretramento della linea di costa, i fenomeni di deposito e di scavo lungo il corso di alcuni canali, gli allargamenti di sezione di alcuni canali (per esempio il Terzo), la comparsa di nuove ramificazioni o la scomparsa di canali più datati.

Le Figura 4.2.3.4.1 e 4.2.3.4.2 illustrano la sequenza temporale degli aerofotogrammi e la sovrapposizione dei layer vettoriali, utilizzati per segnare i confini dei canali e delle barene.

Evoluzione delle reti di canali a marea e delle barene nella laguna di Venezia

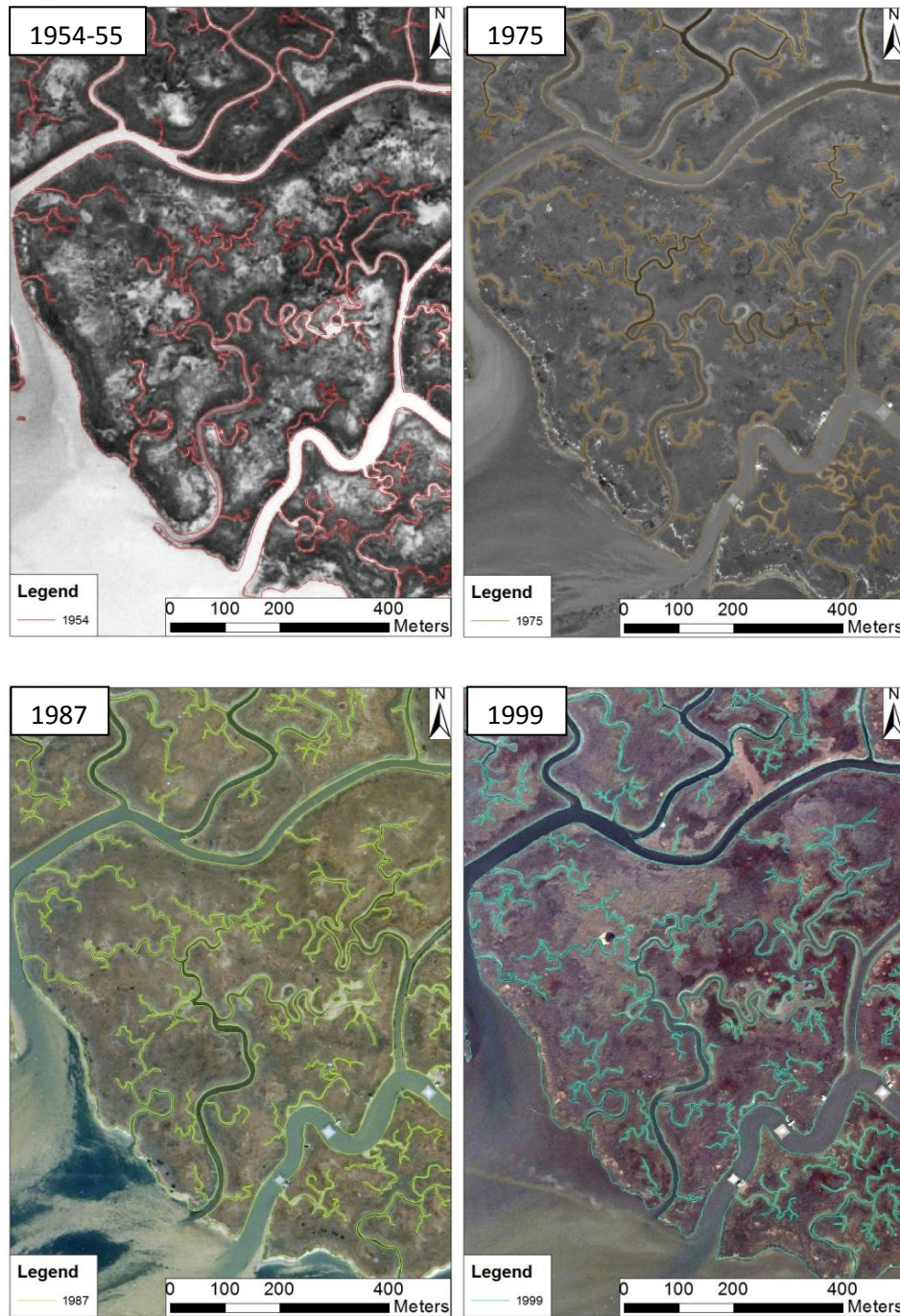


Fig. 4.2.3.4.1. Zona D: Successione temporale degli aerofotogrammi inquadranti il sito e dei layer vettoriali associati. Nella disposizione proposta, in alto a sinistra la foto del 1954 (layer rosso), in alto a destra la foto del 1978 (layer arancione), in basso a sinistra la foto del 1987 (layer verde), in basso a destra la foto del 1999 (layer azzurro)

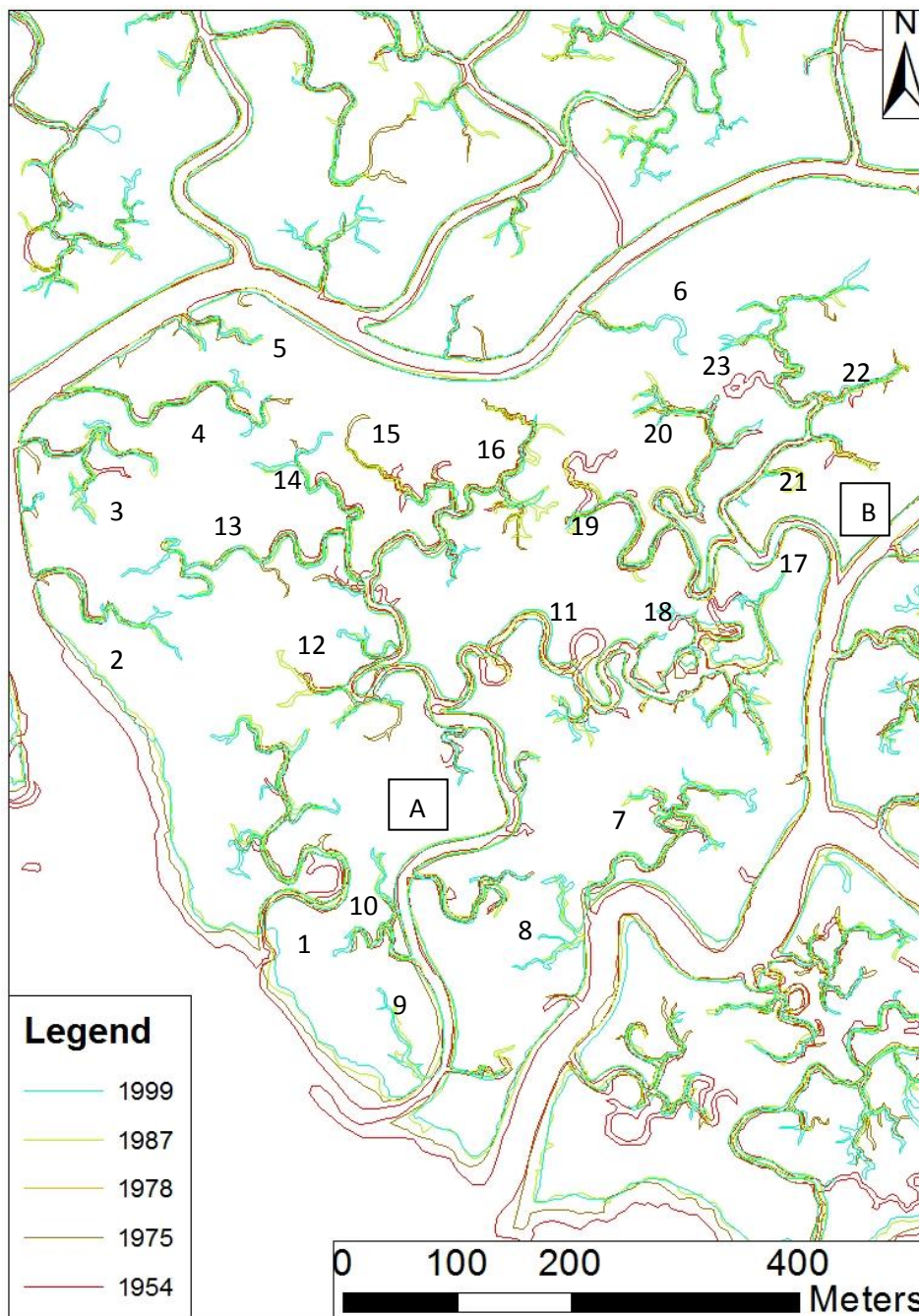


Fig. 4.2.3.4.2. Zona D: Sovrapposizione dei layer vettoriali, su sfondo bianco

La barena meridionale si presenta solcata da reti di canali ben sviluppate, come si può vedere dalla Figura 4.2.3.4.1, che riporta l'evoluzione temporale del sito. Più precisamente, si possono individuare due reti molto estese: la prima si origina da sud, direttamente dalla laguna (rete A – canali dal numero 9 al 16); la seconda che si sviluppa da est, dal canale Berna (rete B - canali dal numero 17 al 23). Si osservano inoltre

canali di minori dimensioni, uno a sud (canale 1), quattro a ovest (dal canale 2 al 5) e uno a nord (canale 6), a causa dei processi erosivi che nascono dal canale Terzo, e due nella zona sud-orientale (canali 7 e 8), confinanti con il canale Berna già trattato.

Si analizzano ora i cambiamenti che si sono verificati per le singole zone, basandoci su quanto già emerge a un primo confronto visivo:

- La zona meridionale della barena è stata soggetta, nel corso del tempo, a fenomeni erosivi evidenti, a causa del contatto diretto con la parte attiva della laguna, che hanno determinato un arretramento costante dal bordo, pari a circa 25 m in alcuni punti. In particolare, si può vedere come sia scomparso, in meno di vent'anni (dal 1954-55 al 1975) il braccio di barena che segnava l'inizio del canale sud (sbocco del canale 9). Anche la morfologia delle reti di canali più meridionali è cambiata: le zone terminali dei canali già esistenti si sono sviluppate, e sono nate nuove ramificazioni (canali 1, 10, 13, 14). Il cambiamento più evidente si riscontra nel canale a sud-ovest (canale 1), a fianco della rete di canali a marea più sviluppata, dove l'ampia curva del canale stesso si è assestata in una forma più stabile rispetto a quella iniziale del 1954-55, che presentava un'ansa più spostata verso ovest e con rientranze oggi assenti.
- La parte ovest della barena non è sede di modifiche rilevanti: si nota unicamente uno sviluppo delle estremità dei canali a contatto con il canale Terzo (canali da 2 a 5), e della rete principale A, anche se per quest'ultima il discorso appare complesso, dato che non si riesce a individuare una tendenza precisa nello sviluppo. Infatti, la rete con la maggior estensione dei bracci terminali nella parte nord-est è quella del 1987 e, non quella del 1999 come ci si aspetterebbe. Un'ultima osservazione riguarda il canale Terzo, la cui sezione si è

allargata in alcuni punti di circa 6 metri, in alcuni punti, rispetto al 1954-55.

- L'estremità nord-est della barena include la rete che si origina dal canale Berna (rete B). Le tendenze evolutive comprendono: la scomparsa di un piccolo chiaro e lo sviluppo di nuovi tratti terminali nella zona nord (canale 23); nuove tracce di canali nel confine ovest della rete (canale 18); scomparsa della traccia terminale relativa al 1954-55 e soppressione del braccio di collegamento tra le due reti più estese della barena, che oggi risultano separate (canale 11 e 18).
- La parte centrale della barena è quella più interessante: è segnata, infatti, dal solco del canale principale della rete più estesa, in cui è possibile notare dei sostanziali cambiamenti nel corso del tempo. In particolare, si vedono due fenomeni di cut off, cioè due tagli di meandro (canale 11), che hanno comportato la sparizione delle anse del canale e determinato un nuovo corso. Un ulteriore taglio di meandro si osserva nel canale occidentale della rete A (canale 12): in questo caso, però, non si è verificato un abbandono del tracciato originario del canale, ma la formazione di un'isola interna.

Alcuni dei cambiamenti descritti sono riportati nel dettaglio nella Figura 4.2.3.4.3.

Evoluzione delle reti di canali a marea e delle barene nella laguna di Venezia

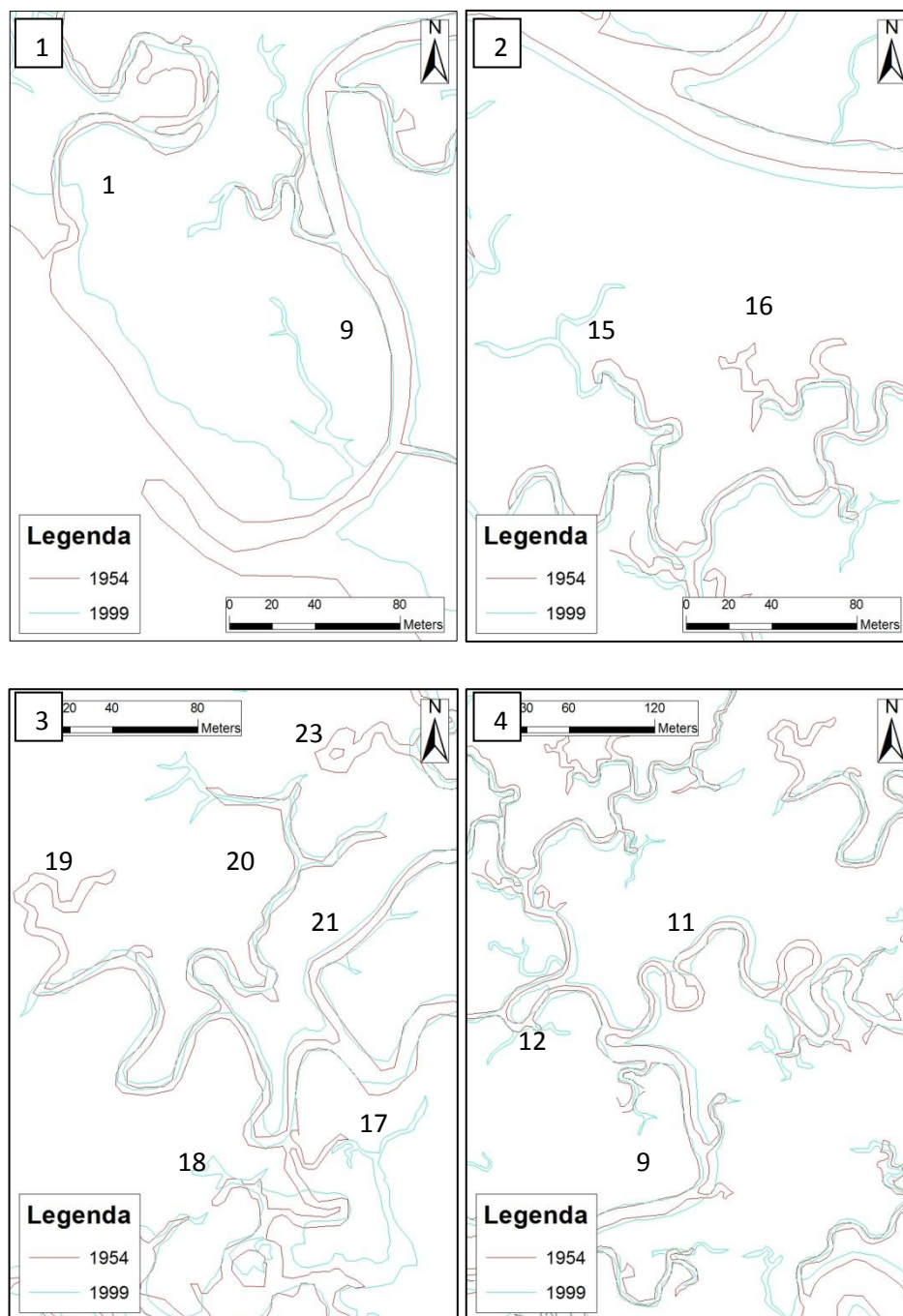


Fig. 4.2.3.4.3. Particolari zona D. In alto a sinistra l'arretramento della linea di costa meridionale della barena e la ridefinizione dell'ansa del canale (1); in alto a destra l'aumento della sezione del canale Terzo e l'allungamento delle estremità terminali di una delle due reti principali (2); in basso a sinistra la differenza tra la rete che si origina dal canale Berna nel 1954 e negli anni seguenti, con sparizione del chiaro e del braccio di collegamento tra le reti principali (3), in basso a destra si notano i vari cut-offs che caratterizzano tale rete(4)

La rete del 2010 presenta, come già osservato, una ramificazione più sviluppata dovuta alla maggior definizione della foto, senza però

Evoluzione delle reti di canali a marea e delle barene nella laguna di Venezia

sostanziali differenze rispetto ai casi già visti. Per quanto riguarda la zona in esame, è possibile osservare che nei primi anni duemila lo sviluppo della rete ha dato luogo alla formazione di un chiaro nella zona terminale, a nord-ovest, della rete che si origina dalla laguna (Figura 4.2.3.4.4).



Fig. 4.2.3.4.4. Rete di canali della zona meridionale della Palude di Pagliaga, anno 2010

4.2.3.5 ZONA E

Tale zona comprende un insieme di quattro barene isolate, situate nella parte orientale della Palude di Pagliaga. Queste barene sono percorse da alcune reti di canali in continua evoluzione e, da un punto di vista morfodinamico, somigliano molto alla zona orientale già descritta, in quanto comunicanti con la parte più attiva della laguna di Venezia, detta Palude di Cona. Esse sono soggette a fenomeni di erosione dovuti alle correnti di maree e alle onde da vento. A questi fenomeni erosivi va sommata l'azione del moto ondoso dovuto al traffico di natanti nel canale Berna, nel ramo Passerini e nel proseguimento della foce del fiume Dese, il canale Nuovo.

A un primo esame, l'evoluzione delle barene appare sostanzialmente caratterizzata da un processo erosivo costante nel tempo, che opera sia in corrispondenza del confine con la parte attiva della laguna sia dei canali. Le Figure 4.2.3.5.1 e 4.2.3.5.2 riportano, rispettivamente, la successione degli aerofotogrammi e la sovrapposizione dei layer vettoriali che delimitano i canali a marea e il confine delle barene ma, per analizzare al meglio i cambiamenti, le quattro barene saranno trattate singolarmente.

Evoluzione delle reti di canali a marea e delle barene nella laguna di Venezia

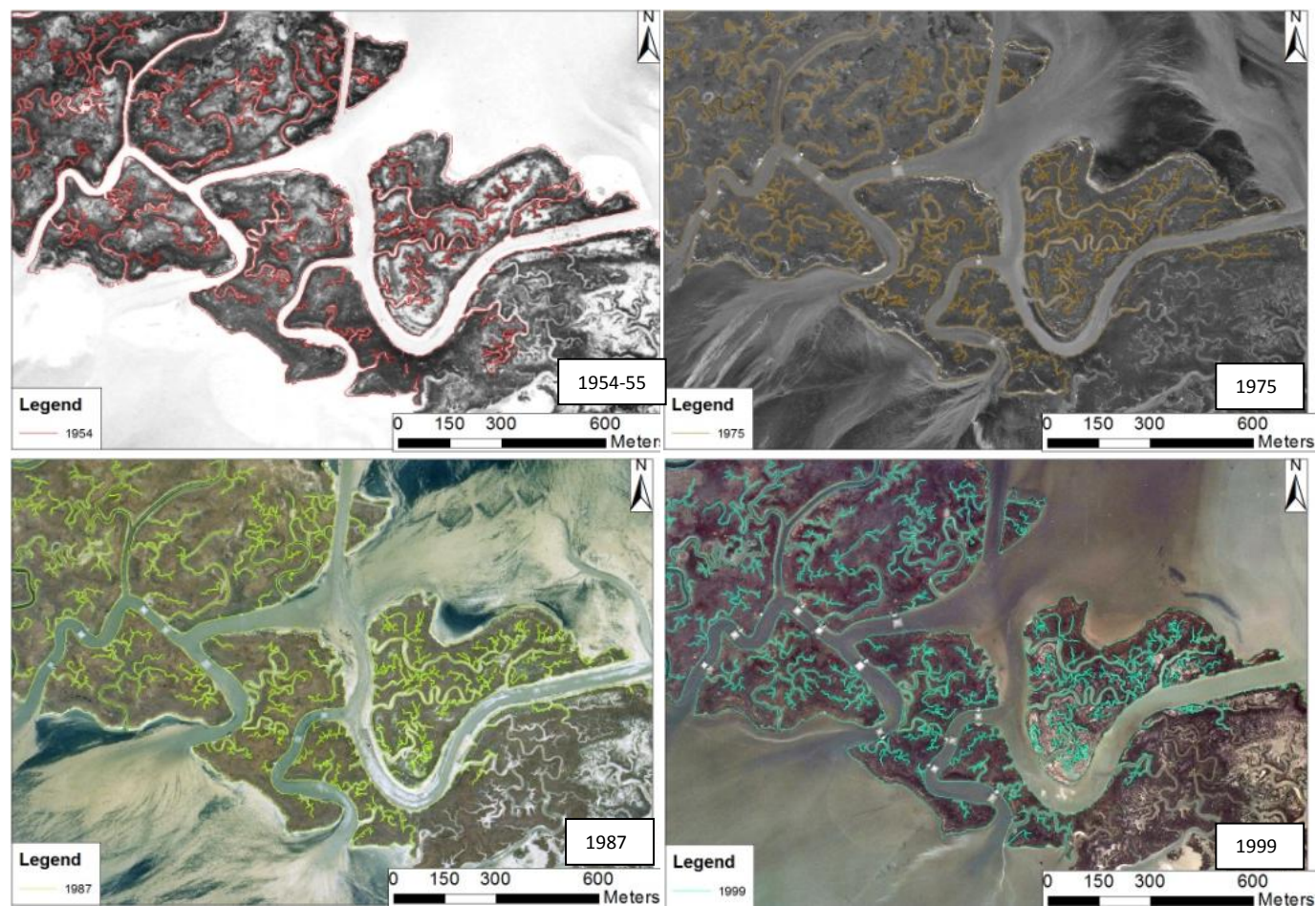


Fig. 4.2.3.5.1. Zona E: Successione temporale degli aerofotogrammi inquadranti il sito e dei layer vettoriali associati. Nella disposizione proposta, in alto a sinistra la foto del 1954 (layer rosso), in alto a destra la foto del 1978 (layer arancione), in basso a sinistra la foto del 1987 (layer verde), in basso a destra la foto del 1999 (layer azzurro)

Evoluzione delle reti di canali a marea e delle barene nella laguna di Venezia

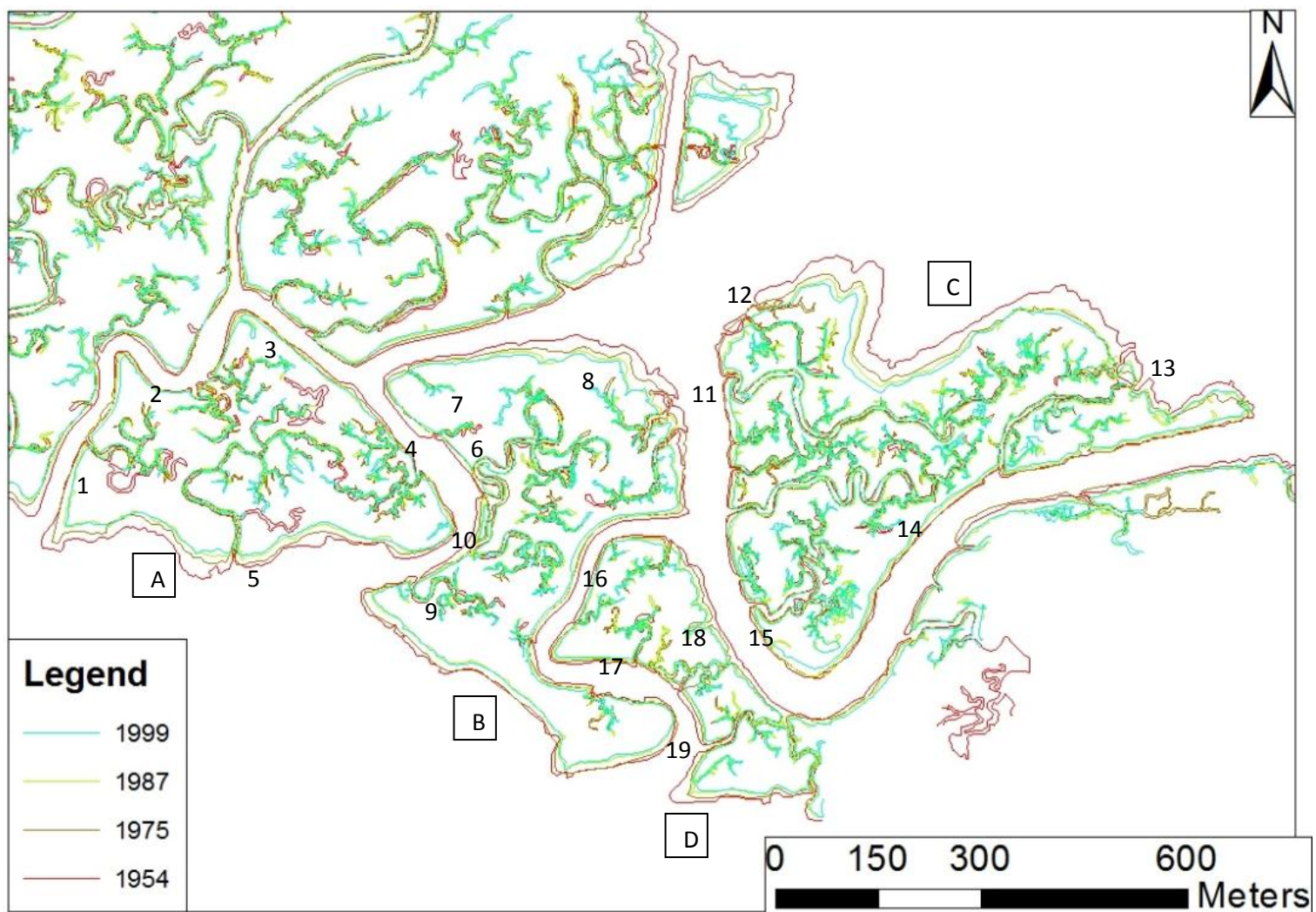


Fig. 4.2.3.5.2. Zona E: Sovrapposizione dei layer vettoriali, su sfondo bianco

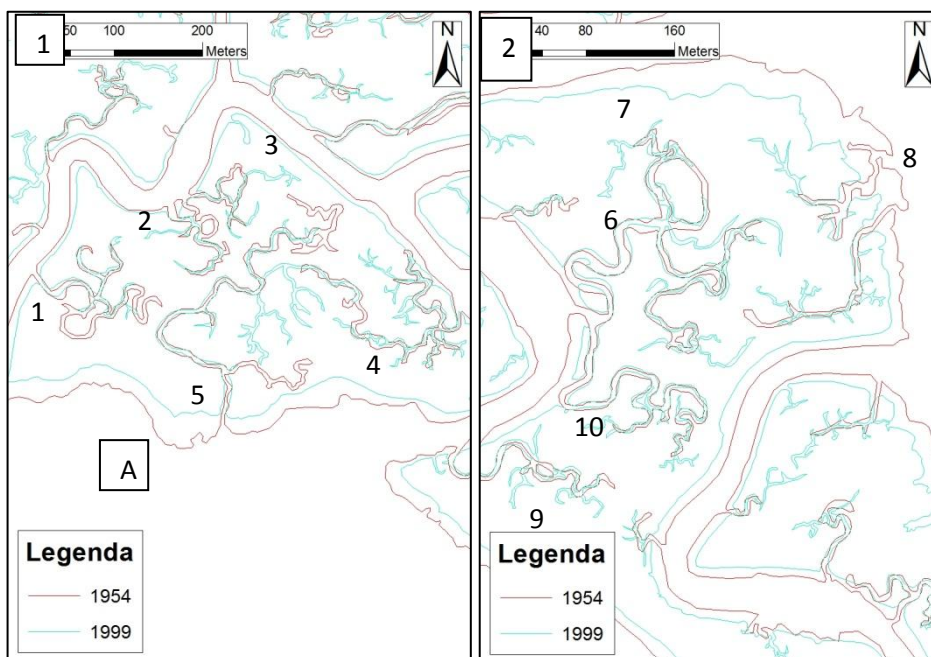
- La prima barena, la più orientale (A), è delimitata a sud dalla laguna, a nord e a ovest dal canale Berna, e dalle altre barene a est. Come si può osservare la barena nel corso degli anni ha subito un processo erosivo abbastanza marcato nella zona orientale, con arretramenti della linea di costa di circa 40 metri in alcuni punti. Oltre a questo, è possibile vedere che anche le reti di canali a marea che la segnano sono state oggetto di vistose variazioni planimetriche.
 - Il canale 1, a ovest, presenta un evidente cambiamento morfologico. L'ampia curva presente nel 1954 è oggi scomparsa, probabilmente a causa di un taglio di meandro iniziato in epoca precedente a quella analizzata.
 - Il complesso di canali nella zona nord della barena A presenta un taglio di meandro che ha comportato la scomparsa dell'ansa formata dal canale e il suo interrimento (canale 2).
 - La configurazione attuale del canale 4, a est, rispetto al primo anno di osservazione, risulta molto più ramificata, e presenta un ramo canalizzato lo connette al canale 5 (Figura 4.2.3.5.3, immagine 1). Si notano anche nuove ramificazioni, nella parte alta della rete, e scomparsa di bracci terminali, nella parte bassa.
 - Il canale che si origina da sud (canale 5), anche in questo caso, mostra dei bracci nuovi e abbandono di tracce di canali più antichi.
- La seconda barena, indicata con la lettera B nella Figura 4.2.3.5.2, è anch'essa interessata da un'erosione del bordo. La rete dei canali è influenzata dall'arretramento della linea di costa che implica un'azione più importante della marea sulla rete, che subisce di conseguenza maggiori modifiche. Nella parte superiore della barena, il tracciato del canale 8 è cambiato, perché la curva del canale principale sta subendo un processo

Evoluzione delle reti di canali a marea e delle barene nella laguna di Venezia

di arretramento, dovuto ad azioni erosive, che ne determinerà la scomparsa.

- La barena più orientale (C), a contatto con la zona di laguna attiva detta Palude di Cona, presenta le maggiori erosioni in assoluto. Gli arretramenti della linea di costa superano, in alcuni punti, anche i 50 m. Se tale tendenza non viene arrestata o invertita, questa barena è destinata a scomparire. La rete di canali che percorre la barena, tuttavia, rimane nel complesso immutata, escludendo ovviamente le parti terminali che, al solito, si sono sviluppate. Da notare però che nella parte meridionale della barena si è sviluppata una zona soggetta ad allagamento (canale 15).
- Il limite della barena D mostra un arretramento della linea di costa, dovuto all'azione erosiva del canale del Dese. Nella zona più orientale, lo sviluppo di alcuni canali già presenti nella configurazione originaria (canali 18 e 19) che ha di fatto suddiviso la barena in tre corpi separati.

La Figura 4.2.3.5.3 illustra i particolari analizzati sopra.



Evoluzione delle reti di canali a marea e delle barene nella laguna di Venezia

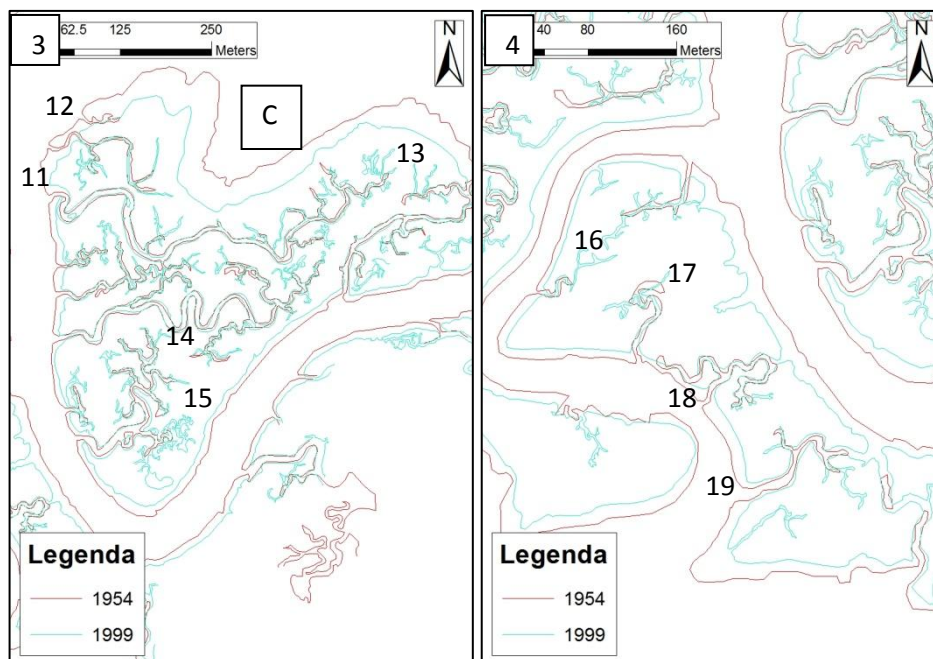


Fig. 4.2.3.5.3. Particolari zona E. In alto a sinistra l'arretramento della linea di costa della barena A e i relativi cambiamenti nelle reti a marea (1); in alto a destra l'arretramento della linea di costa della barena B (2); in basso a sinistra l'arretramento della linea di costa della barena C e la formazione dall'area soggetta a allagamento (3); in basso a destra il taglio del canale che separa la barena D (4)

La situazione dell'area nel 2010 mostra in sostanza che quanto detto e prospettato per l'evoluzione delle barene risulta verificato (Figura 4.2.3.5.4).

Evoluzione delle reti di canali a marea e delle barene nella laguna di Venezia

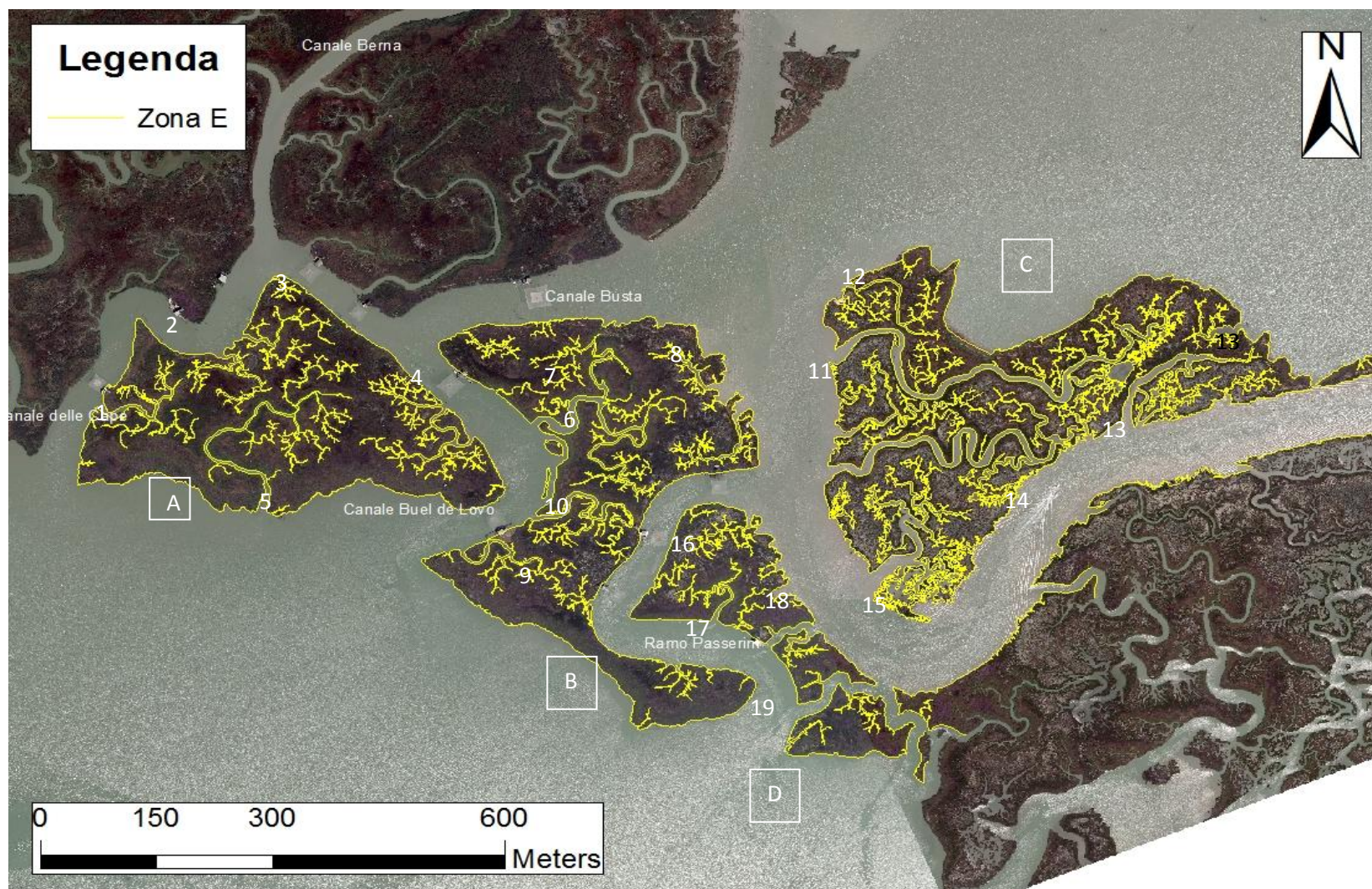


Fig. 4.2.3.5.4. Rete di canali della zona E della Palude di Pagliaga, anno 2010

4.2.4 Conclusioni

Dall'analisi svolta, si può affermare che le reti di canali a marea presenti nella Palude di Pagliaga, a differenza di quanto osservato nel caso dell'area occupata dalle Casse di Colmata, sono in generale molto più attive. Infatti, i canali a marea che le drenano presentano tagli di meandro, variazioni planimetriche, aumenti di sezione, estensione delle ramificazioni e soppressione di canali più datati. Queste caratteristiche sono maggiormente presenti, nelle zone più a diretto contatto con la laguna: in particolare, nelle aree che, in questo lavoro di tesi, sono state chiamate zona C, D ed E.

Le zone citate, oltre a quanto visto per le reti a marea, sono anche interessate da erosioni di una certa entità del bordo (zona D) scomparsa di alcune isole barenali (zona C). L'azione erosiva sembra essere tanto più intensa quanto maggiore è l'area di laguna aperta confinante con la barena e maggiore il fetch nella direzione del vento prevalente. In questo caso, infatti, viene esaltata l'erosione dovuta alle onde da vento.

Da notare infine che nella Palude di Pagliaga non si osservano solo fenomeni erosivi, ma anche tendenze al deposito. Questo è evidente osservando il bordo occidentale della barena compresa all'interno della zona A (Figura 4.2.3.1.1) e, negli ultimi anni, anche la linea di costa orientale della barena nella zona C (Figura 4.2.3.3.4).

4.3 Ex saline di San Felice



Fig. 4.4.1. Ex saline di San Felice, zone barenicole in espansione

Come già accennato nel paragrafo 4, l'ultima area della Laguna analizzata è stata la zona di San Felice, a nord dell'isola di Salina che, come dice il nome stesso, è stata sede, nella seconda metà del XIX secolo, di un importante impianto per la produzione di sale, abbandonato nel 1913 in favore di attività orticoltura e pesca. Per essere più precisi, il sito osservato è situato sulla sponda destra del canale di San Felice, che prosegue a nord, dopo una diramazione, con il nome di canale dell'Ancora.

La motivazione principale per cui si è scelto di studiare questo sito è

che, di fatto, esso è sede di una zona di accrescimento barenale, in controtendenza rispetto a quanto in generale osservato, nelle restanti parti della laguna veneziana, dove la superficie delle barene, nel corso degli anni, è sensibilmente diminuita. Questo fenomeno di accrescimento è probabilmente dovuto a deposito di materiale sia per merito delle correnti di marea che per azione del vento, che sono i principali fattori responsabili del trasporto dei sedimenti.

Volendo provare a formulare un'ipotesi sugli agenti esterni che hanno determinato la nascita e la formazione di queste zone barenicole, conviene indagare, in modo più approfondito, il secondo dei due fattori citati. Il vento, che è in sostanza il moto quasi orizzontale che l'aria compie rispetto alla superficie terrestre, caratterizzato dal succedersi di pulsazioni di diversa intensità e direzione, è studiato basandosi sui valori medi della frequenza per otto o sedici direzioni fondamentali, riportate nella rosa dei venti. Per quanto riguarda Venezia, una serie storica di circa quarant'anni mostra che la direzione più frequente è nord-est (NE), seguita da sud, est, nord e sud-est. I venti che provengono dal primo quadrante, di cui il principale è la Bora, sono dominanti per 7-8 mesi l'anno, da ottobre a tarda primavera. I venti che soffiano nel secondo quadrante (SE), di cui il principale è lo Scirocco, sono presenti durante l'estate e portano un aumento di umidità.

Quanto detto vale solo in senso generale, perché la direzione del vento è molto variabile e dipende dalla stazione di riferimento dove viene misurata. La stazione Cà Zane, la più vicina tra quelle disponibili e attive, indica che nel triennio 2001-2003 la direzione predominante del vento è sicuramente quella nord, nord-ovest durante l'autunno e l'inverno, mentre durante l'estate, ma soprattutto in primavera, la direzione predominante è quella sud, sud-est. Le maggiori intensità del vento si registrano comunque in direzione est.

In base ai dati disponibili e considerando l'andamento delle correnti e dei canali mareali nella parte nord della laguna, è possibile ipotizzare che

i sedimenti che nel corso del tempo hanno contribuito allo sviluppo delle zone barenicole provengano dalla barena di San Felice, da quelle adiacenti al canale di Burano e forse, in minima parte, dalla palude di Pagliaga. Questa però è solo un'ipotesi la cui valutazione necessita di futuri approfondimenti.

4.3.1 Georeferenziazione delle foto aeree

Nel seguito si considera un'analisi dai dati analoga a quella seguita per i rilievi fotografici della Palude di Pagliaga.

Per prima cosa si sono ricavati i GCP dal confronto tra gli aerofotogrammi in possesso, riferiti all'anno 2010, e le immagini ottenute grazie al telerilevamento, disponibili in Google Earth (data di acquisizione 7 dicembre 2007). Dal confronto si sono potuti ricavare 83 GCP, grazie ai quali si sono georeferenziati i rilievi del 2010, usati come mappa di base per georeferenziare le restanti foto. Nella tabella 4.3.1 si riportano i dati riguardanti le immagini dopo il processo di ricampionamento:

Anno	n° punti individuati	RMS [m]	Dimensione pixel
1954-55	19	1.48338	1.428
1978	20	1.99077	0.866489
1987	14	1.4294	0.857413
1999-1053	28	0.959427	0.748852
1999-1124	19	1.0935	0.791543
2010-foto249	36	0.846594	0.319171
2010-foto238	50	1.15783	0.317838

Tab. 4.2.1.1. Dati dei rilievi fotografici georeferenziati per le ex saline di San Felice

Non deve stupire che i punti ricavati siano meno numerosi rispetto a quanto visto per Pagliaga: questo dipende dal fatto che nel sito analizzato, con barene in fase di accrescimento, i punti di controllo che si mantengono nel tempo, sono rari. Infatti, la maggior parte dei punti

utilizzati per la georeferenziazione riguarda l'isola di Santa Cristina e l'isola di Salina, fortunatamente edificate.

4.3.2 Aree analizzate

Il lavoro, per quanto concerne l'area delle ex saline di San Felice, è consistito nel definire il contorno delle barene in fase di formazione e dei canali presenti, nel periodo 1954-2010. Poiché il sito si sviluppa da nord a sud, si è scelto per maggior chiarezza, di suddividerlo in due parti, in modo da analizzare la zona con il maggior dettaglio possibile.

4.3.2.1. AREA NORD

Quella che in questo lavoro di tesi è chiamata area nord è la zona che si trova sulla sponda est del canale dell'Ancora, compresa tra la diramazione con il canale Balolli fino alla zona a sud del canale Roganello. Come fatto per l'area delle Casse di Colmata e per la Palude di Pagliaga, si riporta il confronto tra i diversi anni di osservazione (Figure 4.3.2.1.1), e la sovrapposizione dei layer vettoriali (Figure 4.3.2.1.2). Il layer riferito al 2010, essendo il rilievo in formato digitale, sarà valutato separatamente.

Evoluzione delle reti di canali a marea e delle barene nella laguna di Venezia

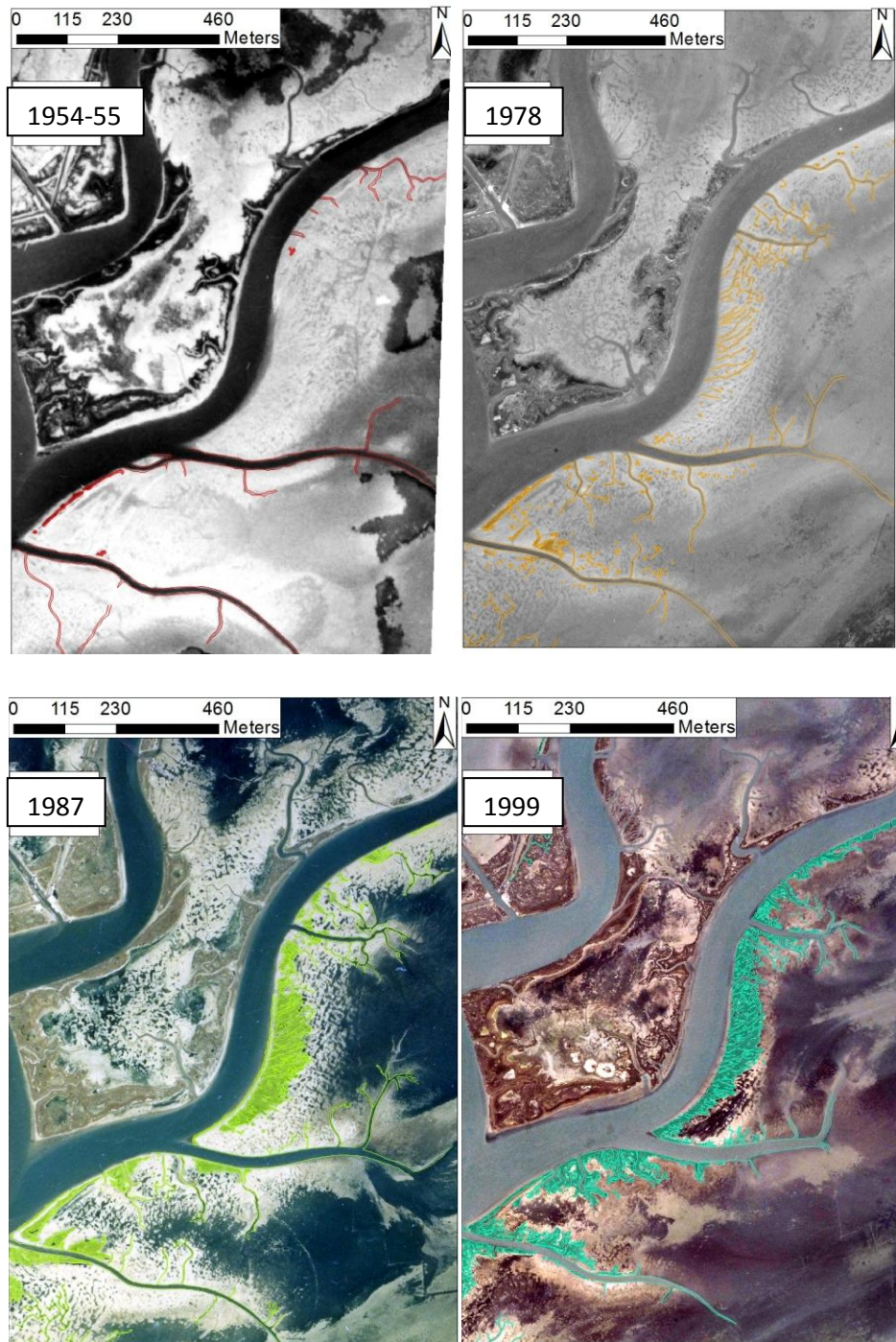


Fig. 4.3.2.1.1. Ex saline di San Felice, area nord: Successione temporale degli aerofotogrammi inquadranti il sito e dei layer vettoriali associati. Nella disposizione proposta, in alto a sinistra la foto del 1954 (layer rosso), in alto a destra la foto del 1978 (layer arancione), in basso a sinistra la foto del 1987 (layer verde), in basso a destra la foto del 1999 (layer azzurro)

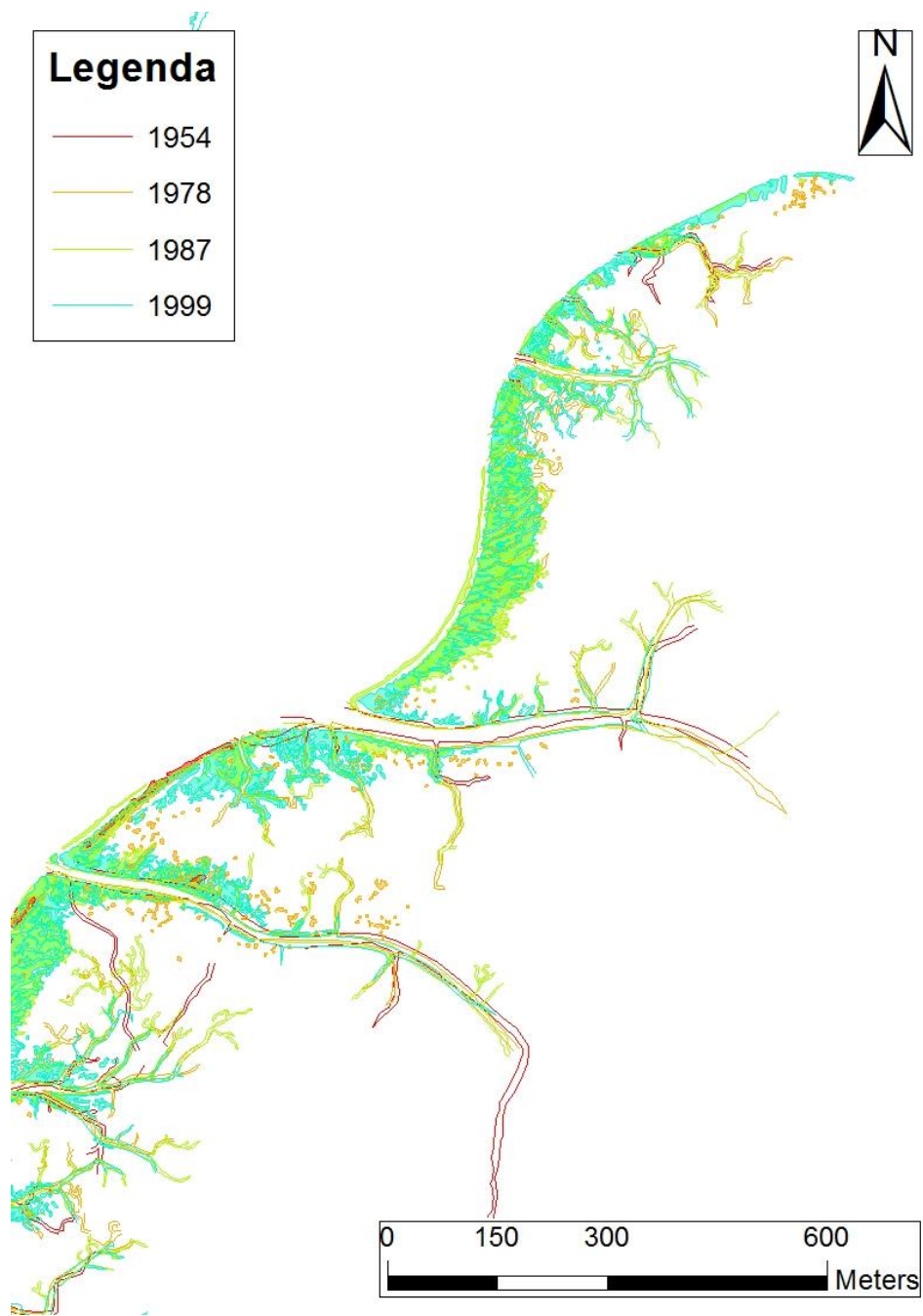


Fig. 4.3.2.1.2. Ex saline di San Felice, area nord: Sovrapposizione dei layer vettoriali, su sfondo bianco

Evoluzione delle reti di canali a marea e delle barene nella laguna di Venezia

I commenti, in quest'ultimo caso, sono lasciati alla fine, dato che entrambe le zone presentano le stesse tendenze.

Per completezza si riporta anche la situazione nel 2010 (Figura 4.3.21.3).



Fig. 4.3.2.1.3. Ex saline di San Felice, area nord, anno 2010

4.3.2.2. AREA SUD

L'area sud va dalla zona meridionale del canale Roganello fino all'isola di Salina. Tra le due analizzate, l'area sud è probabilmente la zona più interessante, perché l'estensione superficiale delle barene qui formatesi è, anche solo a un primo confronto visivo, certamente superiore rispetto all'area Nord. In Figura 4.3.2.2.1 si riporta il confronto tra i diversi anni di osservazione, mentre la Figura 4.3.2.2.2 illustra la sovrapposizione dei layer vettoriali.

Evoluzione delle reti di canali a marea e delle barene nella laguna di Venezia

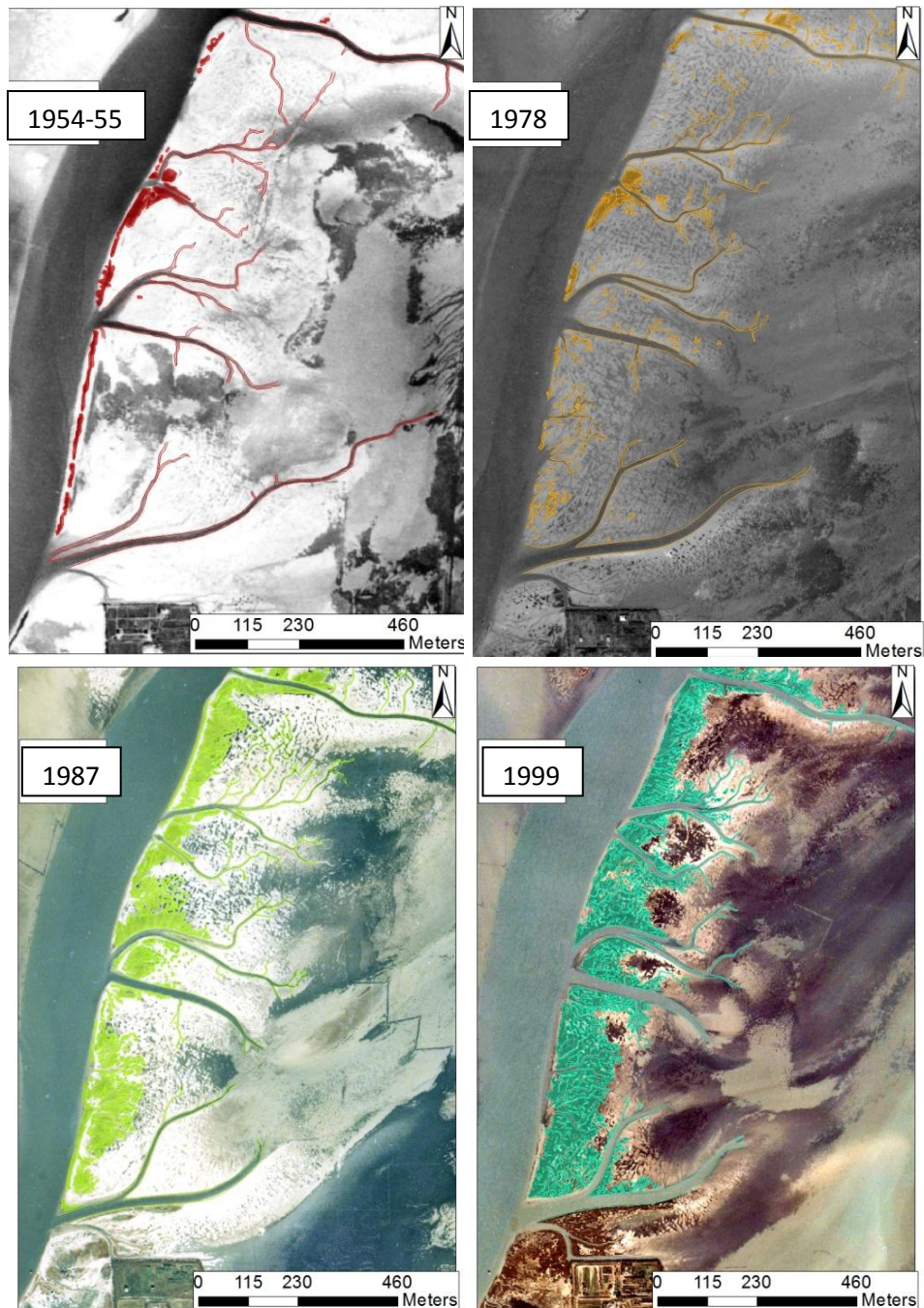


Fig. 4.3.2.2.1. Ex saline di San Felice, area sud: Successione temporale degli aerofotogrammi inquadranti il sito e dei layer vettoriali associati. Nella disposizione proposta, in alto a sinistra la foto del 1954 (layer rosso), in alto a destra la foto del 1978 (layer arancione), in basso a sinistra la foto del 1987 (layer verde), in basso a destra la foto del 1999 (layer azzurro)

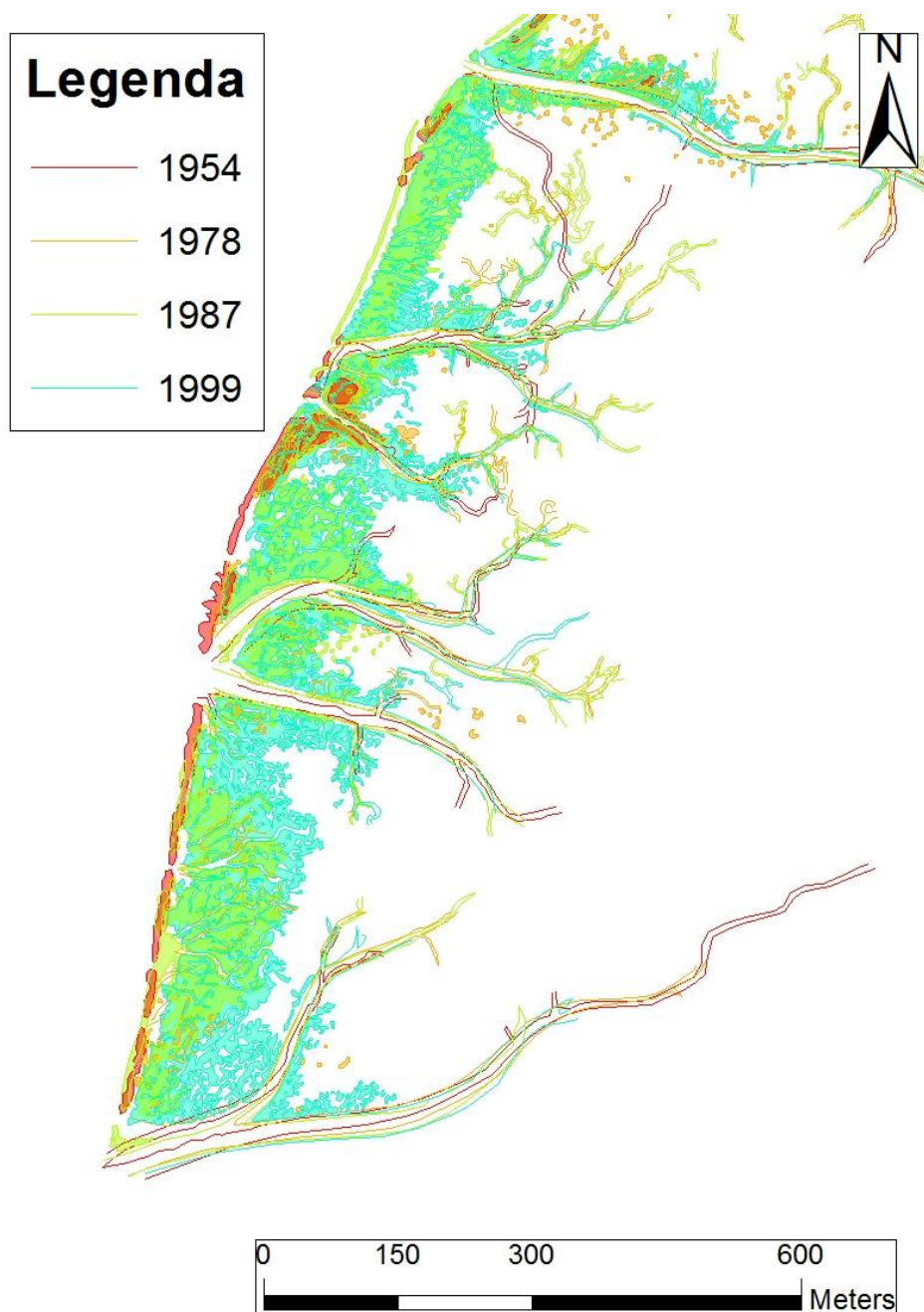


Fig. 4.3.2.2.2. Ex saline di San Felice, area sud: Sovrapposizione dei layer vettoriali, su sfondo bianco

Si riporta infine la situazione dell'area sud nel 2010 (Figura 4.3.2.2.3).

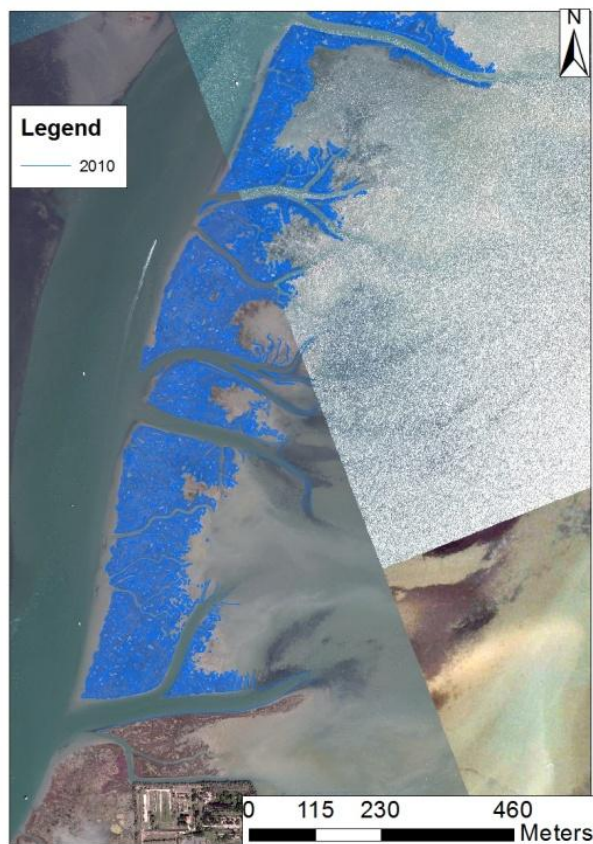


Fig. 4.3.2.2.3. Ex saline di San Felice, area sud, anno 2010

4.3.3 Conclusioni

Il confronto tra le diverse immagini permette di affermare che:

- L'estensione delle barene è notevolmente aumentata nel corso degli anni, passando da poche zone isolate di stampo barenale nel 1954/55 ad ampie aree nel 2010. L'area barenale, inoltre, si è spostata verso est, in particolare dal 1954 al 1987, dopo di che la superficie barenale sembra essersi assestata.
- Di contro, alcuni canali sembrano essersi ridotti in lunghezza e hanno perso definizione, quasi scomparendo all'interno della laguna.

La Figura 4.3.3.1 riporta un particolare dell'avanzamento verso ovest

delle zone barenicole al variare degli anni.

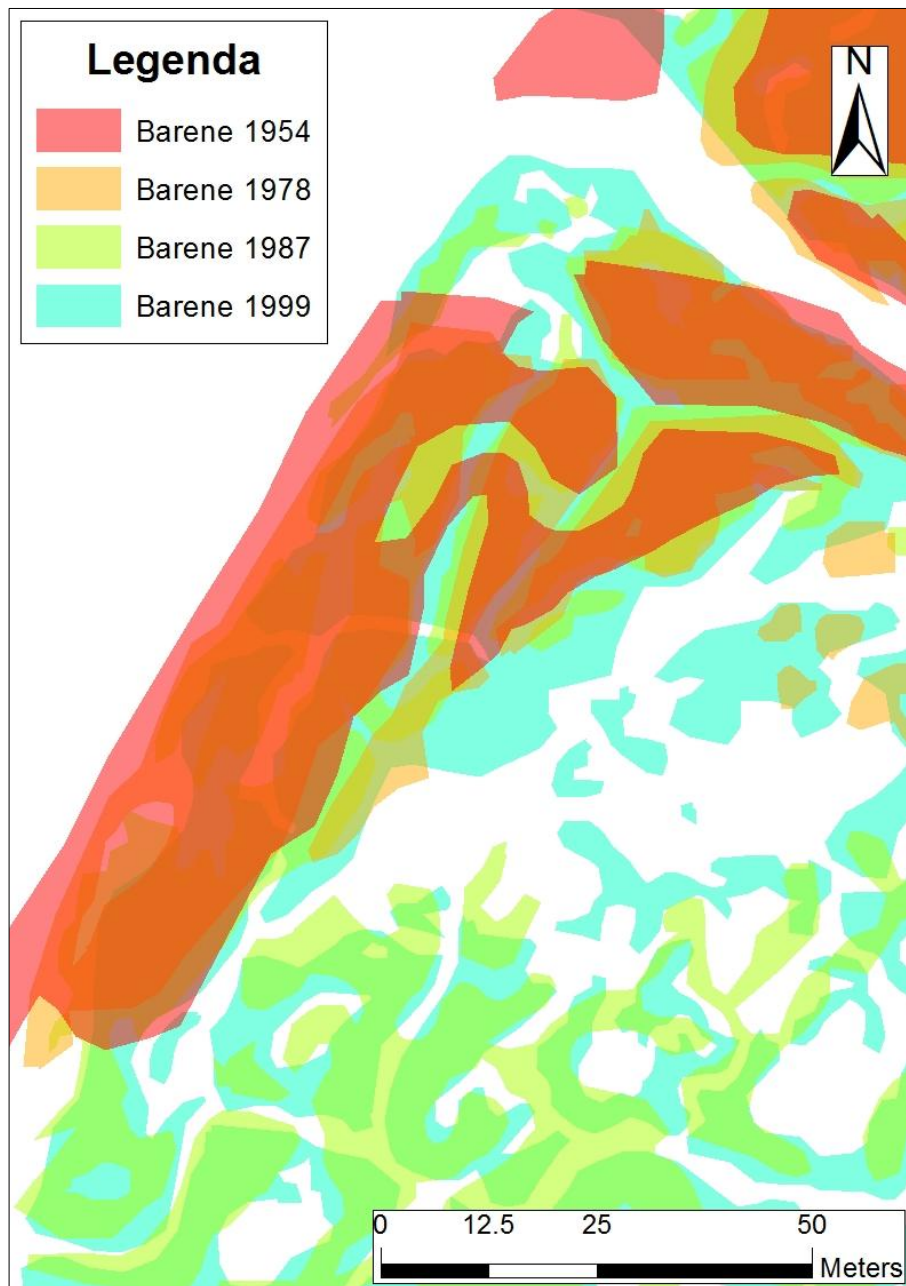


Fig. 4.3.2.2.3. Particolare area Ex saline di San Felice: avanzamento verso ovest delle aree barenicole

5 Analisi comportamentale di barene e canali nella Paludi di Pagliaga

Come visto nel capitolo precedente, la Palude di Pagliaga è l'area tra quelle studiate che presenta i maggiori cambiamenti nell'arco di tempo considerato: infatti, si osservano notevoli mutamenti morfologici sia nelle barene ivi presenti, sia nei canali a marea che le solcano.

In questo capitolo conclusivo del lavoro di tesi, si è deciso di approfondire, sempre tramite l'utilizzo dell'applicazione ArcMap, lo studio di alcune caratteristiche evidenziate nel corso delle analisi visive di confronto tra gli aerofotogrammi, scattati in anni diversi, e i layer rappresentanti i canali e le barene.

Gli obiettivi sono stati il calcolo del tasso annuo di erosione o deposito del bordo di alcune barene, con particolare attenzione alle zone più a contatto con la parte attiva di laguna e, quindi, soggette a maggiori erosioni, e la valutazione dell'evoluzione temporale della configurazione di alcuni canali, con misura delle modifiche della larghezza in alcune sezioni, la variazione di area di bacino sottesa e il prisma di marea corrispondente.

5.1 Erosione e deposito delle barene

Come ampiamente visto nel precedente capitolo, le barene costituenti la Palude di Pagliaga hanno subito numerose modifiche nell'arco di tempo analizzato: è infatti evidente che il bordo di queste barene presenta, in generale, notevoli regressioni e, in casi particolari, zone di deposito con conseguente avanzamento.

Nel presente lavoro, si è deciso di valutare questi arretramenti o avanzamenti del bordo barenale in zone determinate della Palude di Pagliaga che, ricorrendo alla classificazione effettuata nel precedente capitolo, sono:

- Il bordo delle barene localizzate a ovest e sud della zona A.
- Il limite sud-ovest della barena nella zona B.
- Il confine orientale (canale Nuovo del Dese) della zona C.
- Il bordo settentrionale della barena A e quella meridionale della barena C costituenti la zona E.

Queste aree sono state scelte perché l'analisi visiva ha evidenziato importanti modifiche morfologiche. Nella Figura 5.1.1 sono riportati le posizioni iniziali, di colore rosso (per un totale di 31 punti), del bordo barenale esistente nel biennio 1954-55. Prendendo come riferimento tali punti si sono calcolati gli arretramenti o gli avanzamenti del limite barenale, in colore azzurro chiaro, verificatisi nel corso del tempo.

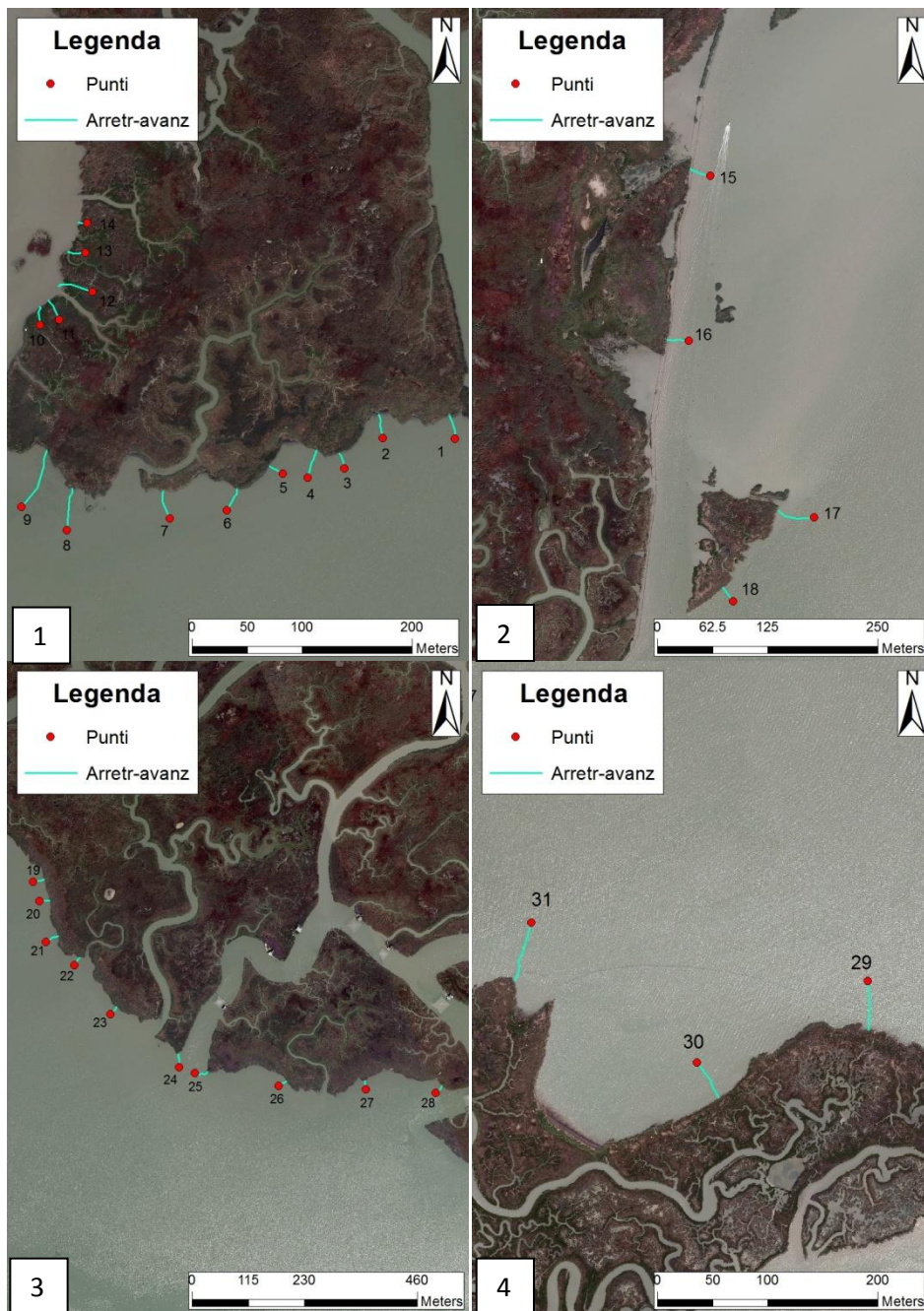


Fig. 5.1.1. Punti di riferimento e direzioni degli spostamenti del bordo delle barene analizzate, utilizzando come mappa di base gli aerofotogrammi del 2010. In alto a sinistra (1) la zona A, in alto a destra (2) la zona C, in basso a sinistra la zona D e la barena A, appartenente alla zona E (3), in basso a destra il limite settentrionale della barena C, la più orientale tra quelle facenti parte della zona E (4)

Nella Figura 5.1.1 si nota come, in generale, i fenomeni erosivi abbiano causato consistenti arretramenti del bordo barena; l'unica area soggetta a deposito è quella concernente la barena più occidentale (zona A), in contro tendenza rispetto al caso generale.

Prima di riportare i risultati ottenuti, è bene specificare che il calcolo dell'arretramento o avanzamento del bordo barena è stato fatto considerando la direzione perpendicolare alla stessa, in funzione dei diversi anni di osservazione. Più precisamente, al fine di determinare la direzione e l'entità dello spostamento, è stato fissato un punto sul bordo barena del layer riferito al rilievo fotografico del 1954-55 e si è tracciata la perpendicolare rispetto al bordo stesso, fino a incontrare il bordo riferito al 1975, anno successivo di osservazione. La procedura così descritta è stata applicata anche per i layer successivi.

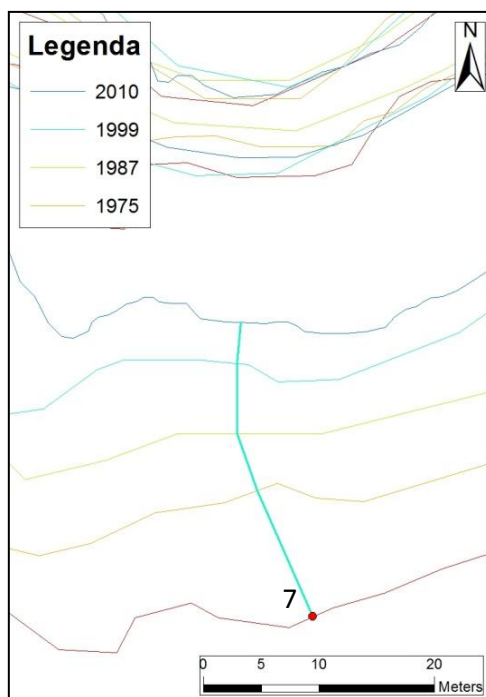


Fig. 5.1.2. Arretramento del bordo barena (punto 7). Si nota come la direzione dello spostamento vari nel tempo

Un esempio specifico è riportato nella Figura 5.1.2, che mostra la variabilità nella direzione dell'arretramento del punto 7, posizionato

meridionale della barena situata nella zona A.

La variabilità nella direzione di spostamento del bordo barena è sintomo del fatto che anche i fattori che intervengono nell'erosione o nel deposito sono, molto probabilmente, soggetti a variabilità, oppure che vi sia l'intervento di altre componenti, magari di tipo antropico come, per esempio, l'aumento di moto ondoso dovuto al traffico di mezzi acquei.

Nella Tabella 5.1.1, vengono riportati il valore degli spostamenti parziali del bordo barena, cioè ottenuti come differenza delle configurazioni osservate in due anni vicini; nella Tabella 5.1.2, si riportano invece i valori totali dello spostamento, ottenuti a partire dalla configurazione del bordo barena relativa al biennio 1954-55. Oltre ai dati citati, nelle tabelle viene fornita anche una stima della media degli spostamenti, e una stima del tasso di erosione (deposito) annuo, definito come la regressione (progressione) media annua del bordo barena, espresso in metri anno.

Si noti che nelle Tabelle 5.1.1 e 5.1.2, i valori negativi indicano attività erosiva, mentre quelli positivi sono indicano deposito.

Analisi comportamentale di alcune barene e canali nella Palude di Pagliaga

Zona A						
Punto	Posizione	1954-1975 [m]	1975-1987 [m]	1987-1999 [m]	1999-2010 [m]	Totale [m]
1	lato sud	-5.94	-4.51	-4.94	-6.36	-21.76
2	lato sud	-9.80	-2.12	-4.69	-5.26	-21.88
3	lato sud	-8.65	-0.36	-3.16	-2.79	-14.96
4	lato sud	-13.92	-4.49	-3.04	-4.87	-26.31
5	lato sud	-8.05	-1.63	-2.04	-2.23	-13.96
6	lato sud	-13.41	-4.59	-0.92	-2.93	-21.85
7	lato sud	-11.92	-5.18	-6.05	-3.56	-26.72
8	lato sud	-29.32	-1.45	-4.32	-3.79	-38.88
9	lato sud	-22.41	-20.21	-6.21	-8.68	-57.51
10	lato ovest	12.26	3.92	1.83	-1.42	16.60
11	lato ovest	15.39	3.53	2.14	-1.05	20.01
12	lato ovest	20.71	9.65	2.80	-3.29	29.86
13	lato ovest	11.65	3.95	0.62	-1.08	15.14
14	lato ovest	3.55	4.44	0.81	-2.28	6.53
	Media punti 1-9	-13.71	-4.95	-3.93	-4.50	-27.09
	Media punti 10-14	12.71	5.10	1.64	-1.82	17.63
	Δt (anni)	21	12	12	11	56
	Tasso 1-9 [m/anno]	-0.65	-0.41	-0.33	-0.41	-0.48
	Tasso 10-14 [m/anno]	0.61	0.42	0.14	-0.17	0.31
Zona C						
Punto	Posizione	1954-1975 [m]	1975-1987 [m]	1987-1999 [m]	1999-2010 [m]	Totale [m]
15	lato est - isola nord	-14.28	-2.22	-5.29	-3.13	-24.92
16	lato est - isola nord	-12.32	-4.39	-7.17	-1.13	-25.01
17	lato est - isola sud	-20.02	-12.10	-1.68	-11.09	-44.89
18	lato est - isola sud	-6.28	-7.32	-2.25	-4.61	-20.46
	Media punti 15-18	-13.22	-6.51	-4.10	-4.99	-28.82
	Δt (anni)	21	12	12	11	56
	Tasso 15-18 [m/anno]	-0.63	-0.54	-0.34	-0.45	-0.51

Analisi comportamentale di alcune barene e canali nella Palude di Pagliaga

Zona D						
Punto	Posizione	1954-1975 [m]	1975-1987 [m]	1987-1999 [m]	1999-2010 [m]	Totale [m]
19	lato sud-est	-11.81	-6.01	-3.70	-0.92	-22.44
20	lato sud-est	-10.66	-6.17	-1.25	-3.09	-21.18
21	lato sud-est	-15.52	-6.70	-1.52	-3.79	-27.53
22	lato sud-est	-11.77	-5.10	-2.25	-0.38	-19.51
23	lato sud-est	-9.48	-5.41	-2.72	-2.54	-20.14
24	lato sud-est	-16.54	-6.31	-2.13	-3.23	-28.21
	Media punti 19-24	-12.63	-5.95	-2.26	-2.33	-23.17
	Δt (anni)	21	12	12	11	56
	Tasso 19-24 [m/anno]	-0.60	-0.50	-0.19	-0.21	-0.41
Zona E						
Punto	Posizione	1954-1975 [m]	1975-1987 [m]	1987-1999 [m]	1999-2010 [m]	Totale [m]
25	barena A - lato sud	-5.44	-12.30	-1.68	-8.07	-27.49
26	barena A - lato sud	-8.49	-5.44	-1.38	-3.38	-18.68
27	barena A - lato sud	-5.44	-7.08	-4.03	-1.59	-18.14
28	barena A - lato sud	-6.12	-7.73	-0.62	-4.47	-18.95
29	barena C - lato nord	-23.74	-0.81	-5.71	-14.28	-44.55
30	barena C - lato nord	-19.85	-5.85	-5.49	-6.76	-37.94
31	barena C - lato nord	-29.37	-6.34	-9.30	-10.94	-55.96
	Media punti 25-28	-6.37	-8.14	-1.93	-4.38	-20.81
	Media punti 29-31	-24.32	-4.33	-6.83	-10.66	-46.15
	Δt (anni)	21	12	12	11	56
	Tasso 25-28 [m/anno]	-0.30	-0.68	-0.16	-0.40	-0.37
	Tasso 29-31 [m/anno]	-1.16	-0.36	-0.57	-0.97	-0.82

Tab. 5.1.1 Erosioni e depositi parziali, espressi in metri, relativi ai punti analizzati

Analisi comportamentale di alcune barene e canali nella Palude di Pagliaga

Zona A					
Punto	Posizione	1954-1975 [m]	1954-1987 [m]	1954-1999 [m]	1954-2010 [m]
1	lato sud	-5.94	-10.45	-15.40	-21.76
2	lato sud	-9.80	-11.93	-16.62	-21.88
3	lato sud	-8.65	-9.01	-12.17	-14.96
4	lato sud	-13.92	-18.40	-21.44	-26.31
5	lato sud	-8.05	-9.69	-11.73	-13.96
6	lato sud	-13.41	-18.00	-18.92	-21.85
7	lato sud	-11.92	-17.10	-23.15	-26.72
8	lato sud	-29.32	-30.77	-35.09	-38.88
9	lato sud	-22.41	-42.62	-48.83	-57.51
10	lato ovest	12.26	16.19	18.02	16.60
11	lato ovest	15.39	18.92	21.06	20.01
12	lato ovest	20.71	30.36	33.15	29.86
13	lato ovest	11.65	15.60	16.22	15.14
14	lato ovest	3.55	7.99	8.80	6.53
	Media punti 1-9	-13.71	-18.66	-22.60	-27.09
	Media punti 10-14	12.71	17.81	19.45	17.63
	Δt (anni)	21	33	45	56
	Tasso 1-9 [m/anno]	-0.65	-0.57	-0.50	-0.48
	Tasso 10-14 [m/anno]	0.61	0.54	0.43	0.31
Zona C					
Punto	Posizione	1954-1975 [m]	1954-1987 [m]	1954-1999 [m]	1954-2010 [m]
15	lato est - isola nord	-14.28	-16.50	-21.79	-24.92
16	lato est - isola nord	-12.32	-16.71	-23.88	-25.01
17	lato est - isola sud	-20.02	-32.12	-33.81	-44.89
18	lato est - isola sud	-6.28	-13.60	-15.85	-20.46
	Media punti 15-18	-13.22	-19.73	-23.83	-28.82
	Δt (anni)	21	33	45	56
	Tasso 15-18 [m/anno]	-0.63	-0.60	-0.53	-0.51

Analisi comportamentale di alcune barene e canali nella Palude di Pagliaga

Zona D					
Punto	Posizione	1954-1975 [m]	1954-1987 [m]	1954-1999 [m]	1954-2010 [m]
19	lato sud-est	-11.81	-17.82	-21.53	-22.44
20	lato sud-est	-10.66	-16.84	-18.09	-21.18
21	lato sud-est	-15.52	-22.22	-23.74	-27.53
22	lato sud-est	-11.77	-16.87	-19.12	-19.51
23	lato sud-est	-9.48	-14.88	-17.60	-20.14
24	lato sud-est	-16.54	-22.84	-24.97	-28.21
	Media punti 19-24	-12.63	-18.58	-20.84	-23.17
	Δt (anni)	21	33	45	56
	Tasso 19-24 [m/anno]	-0.60	-0.56	-0.46	-0.41
Zona E					
Punto	Posizione	1954-1975 [m]	1954-1987 [m]	1954-1999 [m]	1954-2010 [m]
25	barena A- lato sud	-5.44	-17.74	-19.42	-27.49
26	barena A - lato sud	-8.49	-13.92	-15.30	-18.68
27	barena A - lato sud	-5.44	-12.52	-16.55	-18.14
28	barena A - lato sud	-6.12	-13.85	-14.47	-18.95
29	barena C - lato nord	-23.74	-24.55	-30.26	-44.55
30	barena C - lato nord	-19.85	-25.70	-31.19	-37.94
31	barena C - lato nord	-29.37	-35.71	-45.02	-55.96
	Media punti 25-28	-6.37	-14.51	-16.44	-20.81
	Media punti 29-31	-24.32	-28.66	-35.49	-46.15
	Δt (anni)	21	33	45	56
	Tasso 25-28 [m/anno]	-0.30	-0.44	-0.37	-0.37
	Tasso 29-31 [m/anno]	-1.16	-0.87	-0.79	-0.82

Tab. 5.1.2 Erosioni e depositi totali, espressi in metri, relativi ai punti analizzati

Come si può vedere dai dati riportati nelle Tabelle 5.1.1 e 5.1.2, e come già anticipato, gli unici segni di attività di deposito sono collocati sul limite barenale ovest della zona A, mentre tutte le altre zone analizzate presentano chiari fenomeni di erosione che si mantengono nel corso del tempo, seppur con andamento non costante. Infatti, ogni specifico sito presenta valori di regressione o progressione diversi, in funzione sia del punto scelto sia del periodo di osservazione considerato.

Volendo dare una visione del fenomeno più globale possibile, in modo da potere confrontare i differenti siti e le diverse posizioni considerate, si può affermare quanto segue:

- I valori medi degli arretramenti delle linee di bordo barena per le diverse aree analizzate sono compresi tra i 23.17 metri della zona meridionale e i 46.15 metri dell'isola barenale C, la più orientale tra le tre che costituiscono la zona E. Si tratta, tuttavia, di valori medi che comprendono numerosi punti e, quindi, possiedono un elevato grado di eterogeneità. Per esempio, si osserva che i maggiori arretramenti riguardano il punto 9 (punto a ovest del bordo meridionale della barena situata nella zona A), e il punto 31, situato sul lato nord della barena C tra quelle costituenti l'area E: il valore di questi spostamenti è certamente più elevato delle medie osservate e raggiunge quasi i 60 metri.
- In linea di massima il tasso annuo di arretramento è simile tra le diverse zone, ed è molto più consistente nei primi anni di osservazione, cioè, considerando le variazioni della linea di bordo, tra il biennio 1954-55 e il 1975, rispetto a quanto osservato nei successivi periodi di osservazione. In particolare, questa tendenza si nota dalla Tabella 5.1.1, che riporta i risultati parziali. D'altra parte, confrontando i dati rilevati nei precedenti intervalli temporali con quelli riferiti al periodo 1999-2010, si può vedere come vi sia, in generale, un nuovo

incremento di attività erosiva, che comporta arretramenti più consistenti. Questa situazione è evidente osservando i dati parziali riferiti alla zona E che, oltretutto, presenta tassi di erosione sicuramente maggiori rispetto ai valori medi registrati nelle altre zone.

- Discorso a parte va fatto per i punti dal 10 al 14, situati sul lato ovest della barena costituente la zona A e caratterizzati da deposito di materiale. L'area, molto più riparata rispetto alle altre zone analizzate, presenta un andamento simile a quello già visto per le altre zone, con tassi di deposito maggiori nei primi anni di osservazione e decrescenti negli intervalli successivi. Da notare che, in questo caso, si ha un'inversione di tendenza nell'ultimo periodo considerato nell'analisi, ovvero dal 1999 al 2010, per il quale si osserva una situazione di erosione e non più di deposito.

I grafici riportati nelle pagine successive (dal Grafico 5.1.1 al Grafico 5.1.7) consentono di riassumere quanto visto e commentato in precedenza.

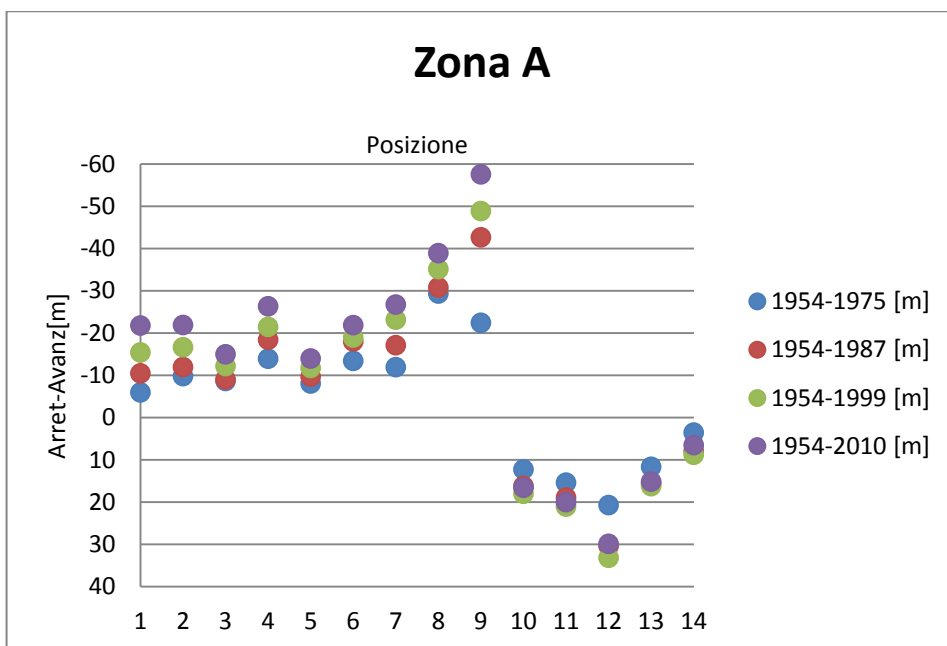


Grafico. 5.1.1. Arretramenti e depositi della linea di costa meridionale (punti da 1 a 9) e della linea di costa orientale (punti da 10 a 14) della zona occidentale della Palude di Pagliaga

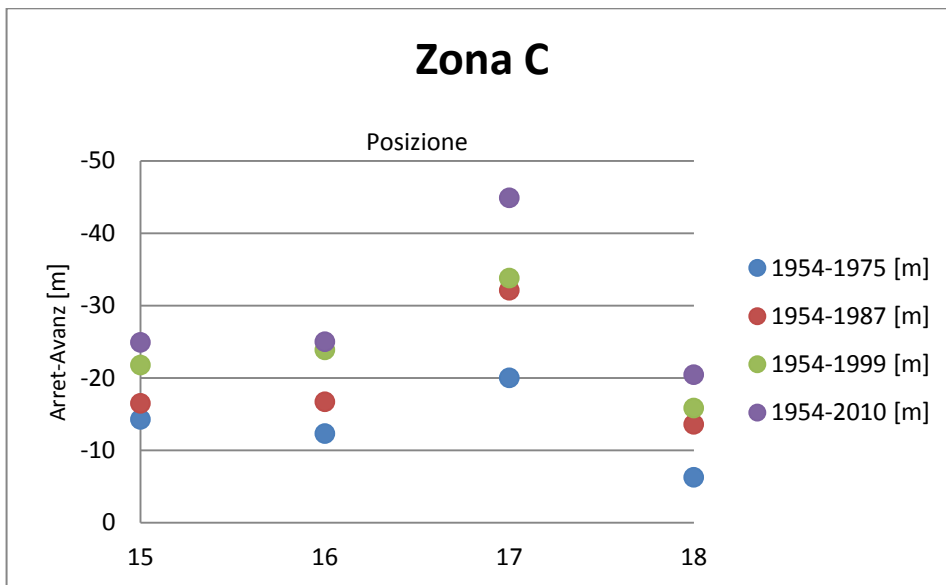


Grafico. 5.1.2. Arretramenti della linea di costa orientale delle due isole barenali (punti da 15 a 18) della zona orientale della Palude di Pagliaga

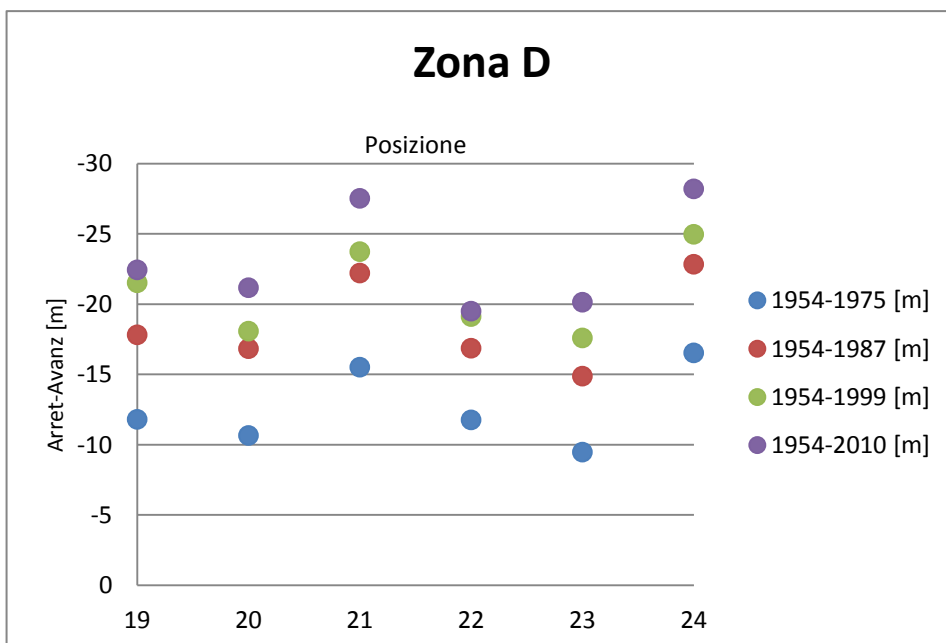


Grafico. 5.1.3. Arretramenti della linea di costa sud-occidentale (punti da 19 a 24) della zona meridionale della Palude di Pagliaga

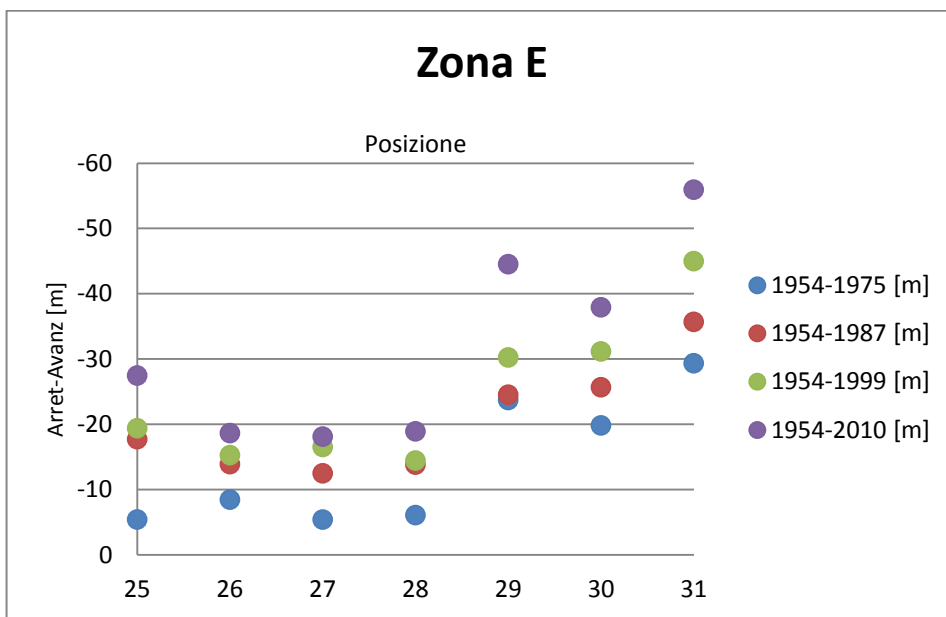


Grafico. 5.1.4. Arretramenti della linea di costa meridionale dell'isola occidentale (punti da 25 a 28) e della linea di costa settentrionale dell'isola orientale (punti da 29 a 31) della zona barenicola della Palude di Pagliaga

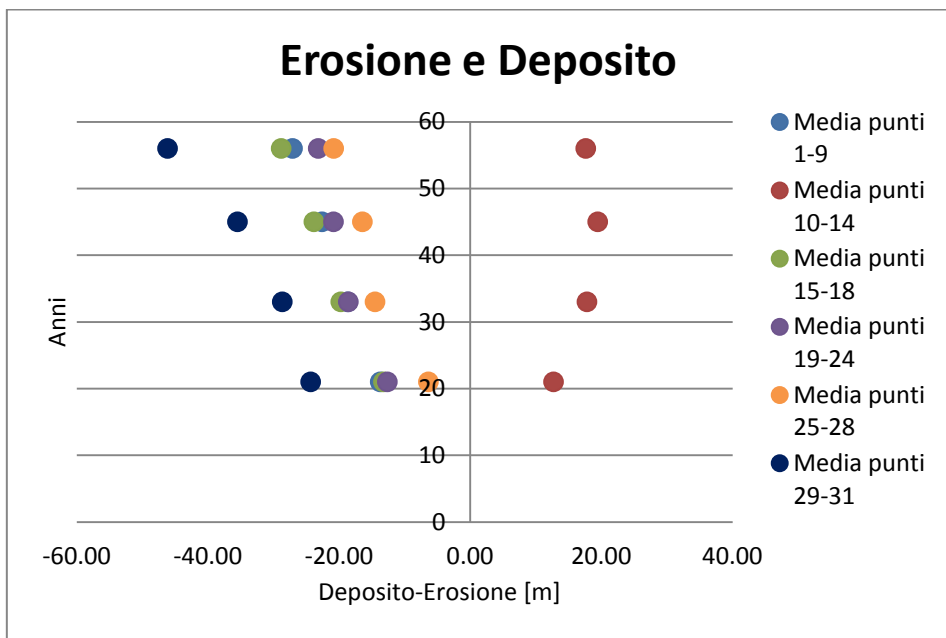


Grafico. 5.1.5. Arretramenti e depositi (in metri) medi dei siti studiati nel tempo

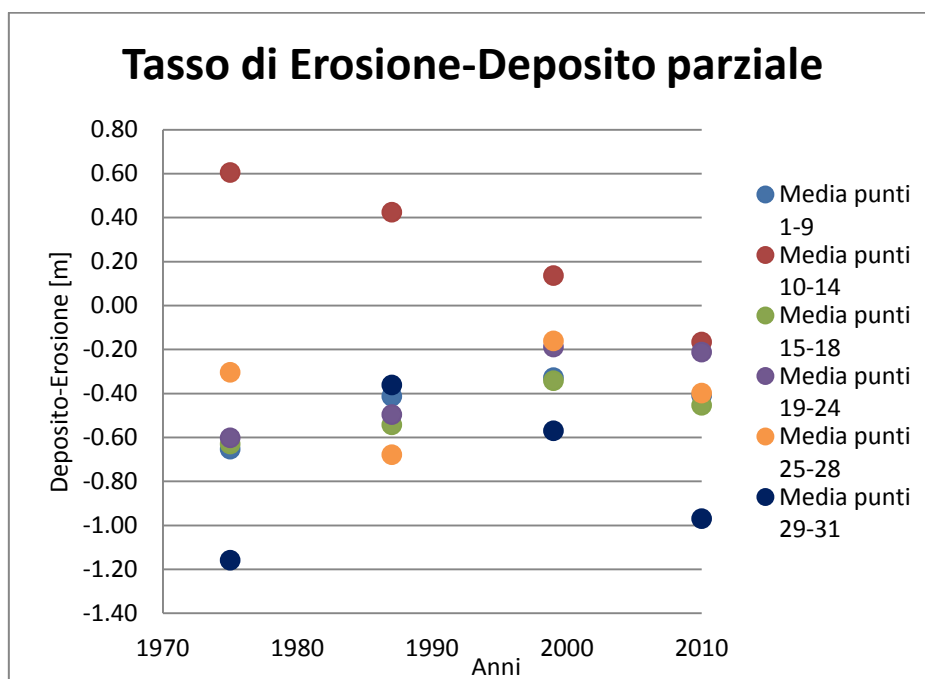


Grafico. 5.1.6. Tasso di erosione e di deposito parziale, riferito ai differenti intervalli studiati, dei siti studiati

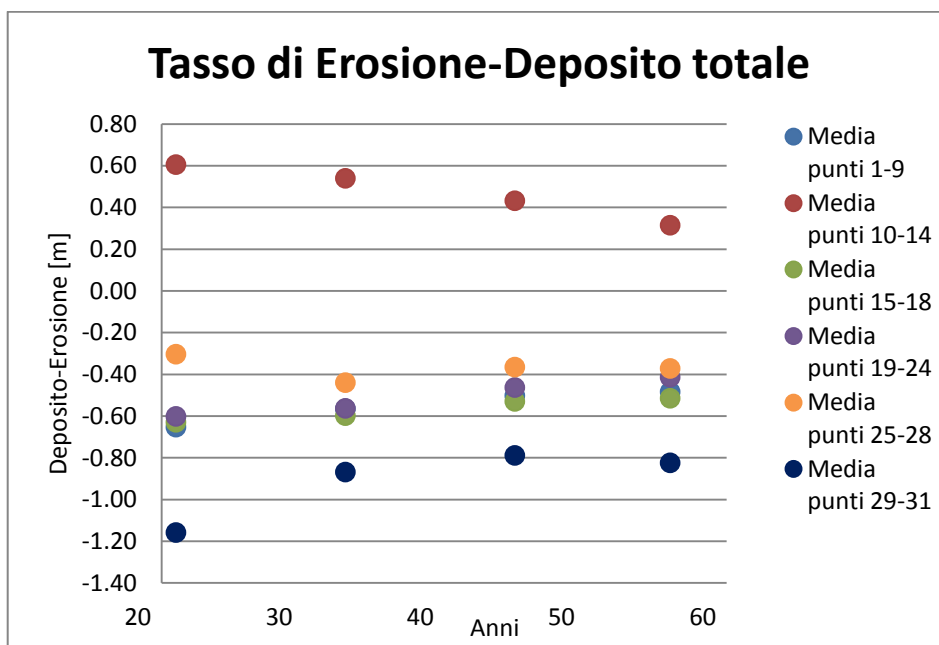


Grafico. 5.1.7. Tasso di erosione e di deposito totale, calcolato prendendo come riferimento il biennio 1954-55, dei siti studiati

Nei primi quattro grafici (dal Grafico 5.1.1 al Grafico 5.1.4) è possibile osservare l'andamento degli arretramenti (o nel caso della linea di costa orientale barenale situata nella zona A, gli avanzamenti) dei singoli punti analizzati, suddivisi in funzione della posizione, rispetto alla classificazione fatta per suddividere idealmente la Palude di Pagliaga in aree limitate. Come si può vedere, l'andamento delle regressioni o progressioni dei singoli punti analizzati non è costante, ed è anzi soggetto a notevoli variazioni, funzione della posizione dei siti studiati: le variazioni non permettono di identificare delle tendenze generali nel movimento dei bordi barenali.

Osservando invece gli ultimi tre grafici (dal Grafico 5.1.5 al Grafico 5.1.7), che riassumono i dati di ciascuna zona analizzata con valori medi, emergono delle situazioni interessanti.

- In primo luogo, dal Grafico 5.1.5, emerge che il processo erosivo è simile per le diverse aree trattate, eccezion fatta per la costa settentrionale dell'isola orientale (C) della zona E, caratterizzata da arretramenti molto più elevati rispetto alla media generale, forse a causa di processi erosivi più aggressivi. Da notare infine il cambio di tendenza del bordo orientale della barena situata nella zona A, che da zona di deposito si è trasformata, dalla fine degli anni '90 ai giorni nostri, in un'area soggetta a erosione.
- Dal Grafico 5.1.6, che riporta il tasso di erosione (deposito) parziale, riferito cioè ai diversi intervalli trascorsi tra due successive aerofotogrammetrie, si evince che, in generale, le maggiori trasformazioni sono sicuramente quelle che riguardano il primo intervallo temporale considerato, dal biennio 1954-55 al 1975. I tassi d'erosione registrati decrescono fino a raggiungere i minimi valori nel confronto tra il 1987 e il 1999, per poi ricrescere tra il 1999 e il 2010, in tutti i siti analizzati. Fanno caso a parte le isole barenali della zona E

che, in controtendenza, presentano tassi erosivi parziali differenti.

- L'ultimo grafico (il Grafico 5.1.7) mostra il tasso di erosione (deposito) totale, riferito alla configurazione osservata nel biennio 1954-55. Dai valori misurati si evince che il tasso annuo di deposito del bordo barenale orientale della zona A, mostra una decrescita costante negli anni, mentre il tasso di arretramento delle altre zone studiate (A lato sud, C e D) diminuisce e si assesta su valori costanti per il periodo di tempo osservato. Anche in questo caso per la zona E abbiamo una situazione particolare, poiché l'isola più occidentale presenta valori oscillanti intorno ai $-0,40$ metri annui e l'isola C (in particolare la linea di costa settentrionale) aumenta il tasso erosivo nell'ultima osservazione fatta, a causa dei notevoli arretramenti di costa verificatesi negli undici anni dal 1999 al 2010.

Le analisi condotte, interessanti dal punto di vista dei risultati ottenuti, non consentono, però, di capire le cause dei diversi tassi di erosione osservati e, soprattutto, perché gli arretramenti del bordo barena siano così differenti tra loro, anche in punti molto vicini tra loro.

Pertanto, ricordando come tra le cause di erosione principale dovute a fattori naturali vi siano le onde generate da vento, si è deciso di caratterizzare ogni punto considerato per calcolare la direzione dello spostamento del bordo barena con due valori: l'inclinazione media dello spostamento rispetto alla direzione del vento dominante e il fetch, cioè la lunghezza di mare libero.

Per quanto riguarda la direzione del vento dominante, quello cioè di maggior intensità tra quelli registrati all'interno della laguna, i dati in possesso (forniti grazie alla collaborazione con l'Ingegnere Tommaso Santini, autore anch'egli di una tesi riguardante la laguna di Venezia) si

risferiscono al lasso di tempo tra il 2000 e il 2012 e riguardano una stazione di monitoraggio collocata nella zona delle saline di San Felice che, nonostante sia abbastanza vicina alla Palude di Pagliaga, è verosimilmente caratterizzata da scostamenti dei dati registrati rispetto allo stato di vento che si realizza a Pagliaga.

Premesso tutto questo, dai dati forniti emerge che il vento dominante è indiscutibilmente la Bora, che spira in direzione nord-est. Pertanto, in mancanza di dati più completi e ipotizzando di poter estendere i risultati forniti dalla stazione di Salina all'area occupata della Palude di Pagliaga, e supponendo che la direzione del vento dominante sia la medesima per tutto l'arco di tempo considerato (dal biennio 1954-55 fino al 2010), si ottengono i risultati riportati nella Tabella 5.1.3.

Punti	Er/Dep (°)	Angolo Bora (°)	Fetch [m]	Er/Dep [m]
1	104.65	59.65	0.00	-21.76
2	98.60	53.60	0.00	-21.88
3	112.19	67.19	0.00	-14.96
4	69.59	24.59	0.00	-26.31
5	153.41	108.41	0.00	-13.96
6	74.17	29.17	0.00	-21.85
7	99.61	54.61	0.00	-26.72
8	77.17	32.17	0.00	-38.88
9	71.72	26.72	0.00	-57.51
10	93.02	48.02	0.00	16.60
11	125.87	80.87	0.00	20.01
12	188.07	143.07	0.00	29.86
13	164.06	119.06	0.00	15.14
14	176.09	131.09	0.00	6.53
15	155.27	110.27	419.95	-24.92
16	179.11	134.11	44.04	-25.01
17	163.03	118.03	2437.06	-44.89
18	126.56	81.56	2572.90	-20.46
19	18.40	-26.60	0.00	-22.44
20	5.32	-39.68	0.00	-21.18
21	17.24	-27.76	0.00	-27.53
22	60.02	15.02	0.00	-19.51
23	58.95	13.95	0.00	-20.14
24	91.13	46.13	0.00	-28.21

25	0.64	-44.36	0.00	-27.49
26	28.42	-16.58	0.00	-18.68
27	97.70	52.70	0.00	-18.14
28	48.71	3.71	0.00	-18.95
29	267.76	-137.24	1904.26	-44.55
30	298.30	-106.70	1275.21	-37.94
31	253.96	-151.04	1520.23	-55.96

Tab. 5.1.3 Caratterizzazione dei punti osservati con la direzione media dello spostamento rispetto all'orizzontale, l'inclinazione rispetto alla Bora, il Fetch e l'erosione (deposito)

Dalla Figura 5.1.3, si può vedere che il fetch, caratterizzato dal verde per ciascun punto osservato, e l'inclinazione rispetto alla direzione del vento influenzino la regressione del bordo barena. Infatti, i punti dal 29 al 31, appartenenti alla barena C (la più orientale) della zona E, presentano, in media, gli arretramenti più consistenti, e sono caratterizzati da elevati fetch e da inclinazioni maggiori rispetto alla Bora. Tuttavia, anche gli altri punti analizzati presentano regressioni notevoli. Infatti, il massimo arretramento di bordo barenale riguarda il punto 9, appartenente alla barena compresa all'interno della zona A, situato in un'area riparata dal vento dominante e, quindi, con lunghezza di mare libero nulla.

Questo suggerisce l'importanza della redistribuzione locale del moto ondoso generato nel tratto di laguna aperta antistante le barene considerate. Inoltre, altre cause di possibile erosione sono associate al moto ondoso prodotto dall'intenso traffico di natanti che caratterizza la zona.

Analisi comportamentale di alcune barene e canali nella Palude di Pagliaga

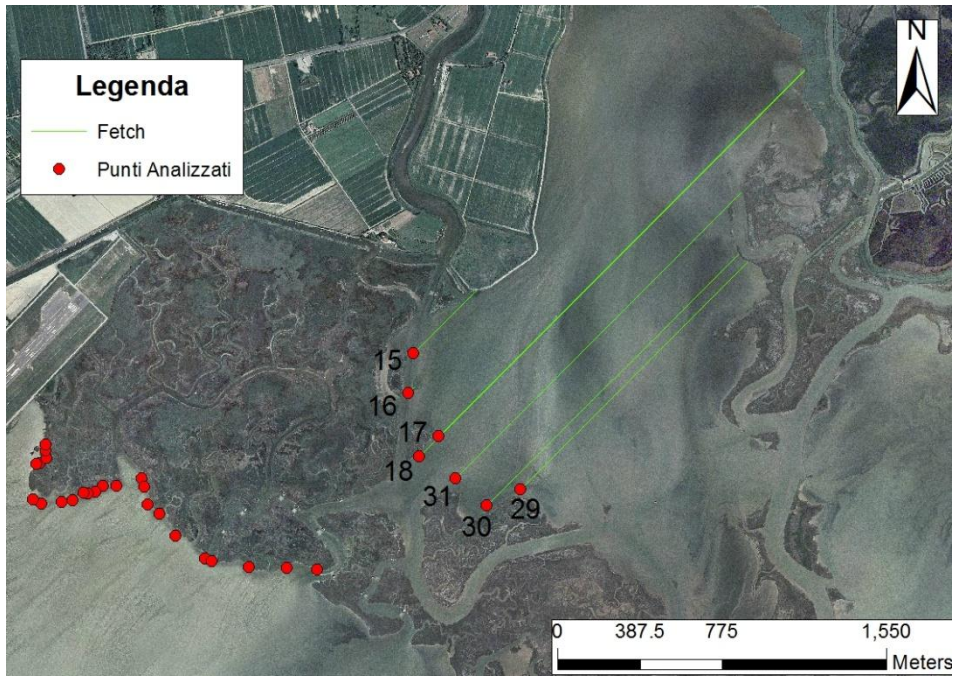


Fig. 5.1.3. Fetch (in verde), rispetto alla bora, in funzione del sito analizzato

5.2 Analisi delle modifiche planimetriche di alcuni canali

L'ultima fase del presente lavoro è stata analizzare se anche i canali a marea presenti all'interno della Palude di Pagliaga abbiano subito cambiamenti morfologici rilevanti.

Le osservazioni descritte nel capitolo 4 indicano che i canali principali della Palude di Pagliaga, separanti le singole barene, hanno contribuito alla regressione del bordo barenale, probabilmente a causa del già citato traffico di natanti. Inoltre, anche i canali a marea di sezione minore, interni alle barene, mostrano notevoli mutamenti, sia dal punto di vista planimetrico, con tagli di meandro e spostamenti di confluenze, sia dal punto di vista dell'estensione, con notevole aumento delle ramificazioni terminali degli stessi canali.

Lo studio condotto ha consentito di mettere in relazione diverse grandezze caratteristiche dei canali osservati, con l'obiettivo di ricavare delle tendenze morfologiche generali. In particolare, suddivisi gli stessi canali in un numero discreto di sezioni, l'attenzione si è concentrata sulla misura delle larghezze dei canali, sulla lunghezza dell'asse, sull'area sottesa dalla sezione corrispondente e sullo studio del prisma di marea.

Particolare attenzione merita lo studio del rapporto esistente tra il prisma di marea e la larghezza del canale. Esiste, infatti, una relazione empirica, conosciuta come legge di O'Brien-Jarrett-Marchi (1976), che esprime, con una semplice relazione di tipo esponenziale, il legame tra la minima sezione trasversale Ω del canale a marea e il prisma di marea di sizigie P (marea astronomica massima). La relazione è del tipo:

$$\Omega = kP^\alpha \quad (5.1)$$

dove l'esponente α assume valori diversi, in funzione sia della forma del bacino drenato dal canale, sia della marea che interessa il bacino

stesso. Nell'ipotesi di considerare un bacino corto, ovvero considerando una propagazione quasi statica della marea, ovvero assumendo che la superficie libera sia orizzontale ad ogni istante, e considerando un canale rettilineo rettangolare, all'interno del quale la marea genera un moto unidimensionale, si ottiene che $\alpha = 6/7$ (Marchi 1990).

Benché numerose osservazioni sperimentali abbiano suffragato la relazione (5.1), non è qui possibile valutare la sua validità in quanto non si hanno a disposizione dati sulla barimetria dell'area riferita esaminata. Tuttavia, si è voluto indagare, tramite l'ausilio di un grafico logaritmico se esiste una relazione sperimentale tra la larghezza dei canali nelle diverse sezioni e il prisma di marea, supponendo che questo possa ricavarsi dalla relazione (5.2).

$$P = 2\psi A(x) \quad (5.2)$$

dove il coefficiente 2 deriva dall'integrazione nel periodo T dell'oscillazione di marea, supposta sinusoidale, mentre ψ è un coefficiente che vale 1 se il bacino resta sempre sommerso durante la marea, ed è minore di 1 nel caso in cui, durante le diverse fasi di marea, possano esserci zone che si scoprono. Nel nostro caso, in mancanza di dati adeguati, si è ipotizzato un coefficiente ψ sempre pari all'unità.

Con queste dovute precisazioni, si riportano nelle sezioni successive i risultati ottenuti per i singoli canali, e un'analisi globale dei risultati ottenuti.

5.2.2 *Selezione dei canali*

La scelta dei canali da studiare all'interno della Palude di Pagliaga è stata guidata dai seguenti criteri

- I canali considerati, dovevano mostrare segni di attività morfologica in atto, come ad esempio estensioni di

ramificazioni, modifiche planimetriche o altri fenomeni simili. Sono stati quindi esclusi dall'analisi tutti quei canali che, nel tempo, si sono rivelati pressoché statici.

- I canali dovevano presentare degli andamenti abbastanza lineari: la presenza di molte ramificazioni, con estensioni particolarmente rilevanti dei bracci secondari, implica, infatti, notevoli problemi nell'individuazione dell'area barenicola afferente al canale e, conseguentemente, un calcolo molto approssimato del prisma di marea.
- Il canale doveva essere compreso all'interno di una singola barena e non presentare sbocchi su più lati della stessa, per evitare di considerare casi di circuitazioni chiuse (loop) e, quindi, difficoltà d'individuazione del prisma di marea associato. Questa condizione ha comportato l'esclusione dall'analisi di tutti i canali principali, confinanti con varie barene o con la laguna aperta.
- Infine, i canali non dovevano essere troppo stretti, per consentire una corretta stima delle larghezze nelle sezioni considerate. In altre parole, la larghezza dei canali doveva essere maggiore della dimensione massima del pixel appartenente al rilievo fotografico di riferimento.

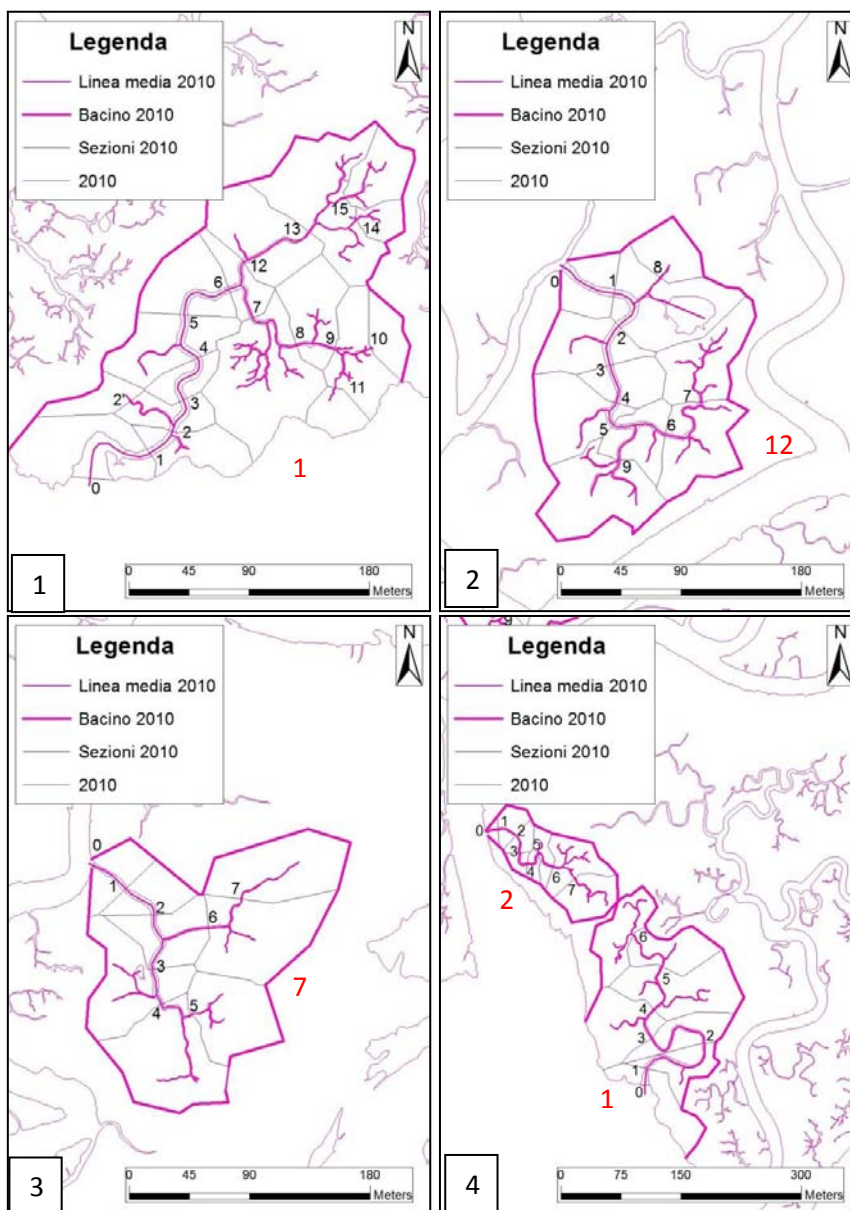


Fig. 5.2.1.1. Canali analizzati: in alto a sinistra il canale 1 situato nella parte meridionale della zona A (1), in alto a destra il canale 12 posto al confine nord-est della zona A (2), in basso a sinistra il canale 7 situato nella zona C (3), in basso a destra i canali 1 e 2 situati lungo il confine sud-ovest della zona D (4)

La Figura 5.2.1.1 riporta i layers delimitanti i canali studiati, riferiti all'anno 2010, e individuanti l'asse del canale, le sezioni considerate e l'area del bacino afferente. Quest'ultima, mancando riferimenti batimetrici, è stata calcolata utilizzando il metodo della bisettrice,

sezionando quindi la superficie barenale in corrispondenza di confluenze e sezioni di sbocco in canali più grandi o direttamente in laguna.

In quanto segue i singoli canali saranno trattati separatamente. In particolare, a ogni layer rappresentante l'ingombro del canale, l'asse del canale, le sezioni in cui è suddiviso e l'area di bacino afferente, corrisponde una tabella, contenente le sezioni, numerate, a partire da quella di sbocco (sezione 0); le larghezze corrispondenti; il valore dell'ascissa curvilinea s , sia parziale che totale, calcolata a partire dal punto di sbocco del canale; l'area di bacino, parziale e totale, sottesa dalla specifica sezione; il prisma di marea, calcolato con la relazione 5.2.

Da precisare che il calcolo dell'ascissa curvilinea tiene conto della presenza di eventuali sezioni separate da una confluenza. Si noti inoltre che il layer riferito all'anno 2010, caratterizzato da una maggior definizione dovuta al formato digitale della foto, è stato modificato. A tale scopo, per renderlo con quelli degli anni precedenti, si sono eliminate le ramificazioni con larghezza minore della dimensione del pixel propria delle aerofotogrammetrie analogiche.

Zona A– Canale 1(parte meridionale)

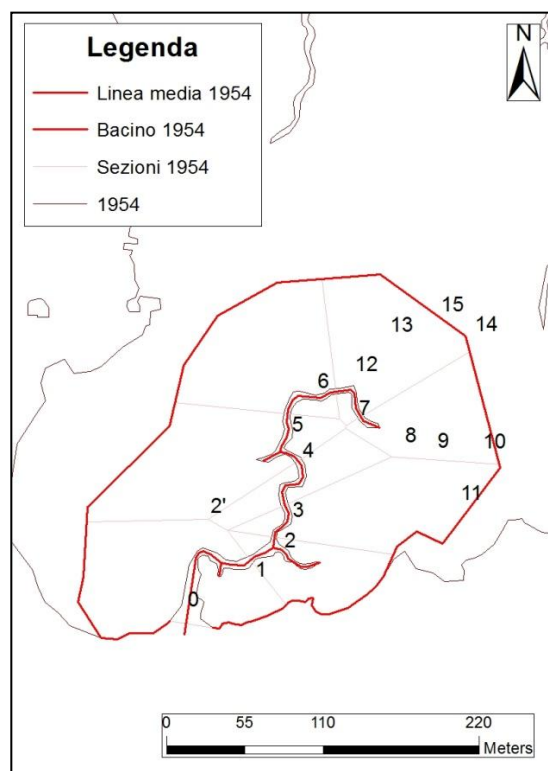


Fig. 5.2.1.2. Canale 1 – Zona A, anno 1954

Sezioni	1954					
	B [m]	s [m]	s tot. [m]	Area [m ²]	Area tot. [m ²]	P [m ³]
0	30.60	0	0	9107.24	50669.35	101338.7
1	5.68	90.95	90.95	3753.2	41562.11	83124.22
2	3.75	25.79	116.74	7177.58	37808.91	75617.82
2'						
3	4.91	27.29	144.03	2747.13	30631.33	61262.66
4	5.6	41.5	185.53	8558.95	27884.2	55768.4
4	4.7	43.79	229.32	7963.27	19325.25	38650.5
5	3.82	42.93	272.25	6595.57	11361.98	22723.96
7	4.05	31.47	303.72	4766.41	4766.41	9532.82

Tab. 5.2.1.1. Canale 1 – Zona A, anno 1954. Si riportano le larghezze delle sezioni, la distanza rispetto alla sezione di sbocco calcolata in funzione dell'ascissa curvilinea (parziale e totale) riferita all'asse del canale l'area sottesa dalla sezione (parziale e totale), il prisma di marea relativo alla sezione considerata

Analisi comportamentale di alcune barene e canali nella Palude di Pagliaga

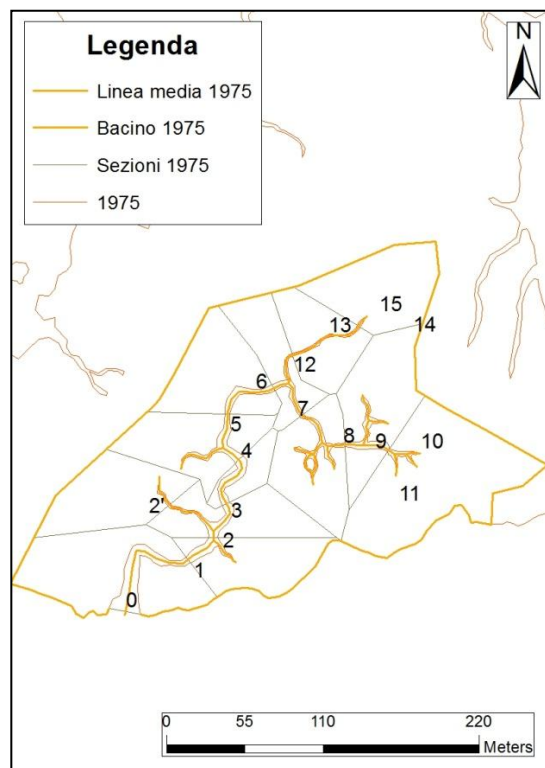


Fig. 5.2.1.3. Canale 1 – Zona A, anno 1975

Sezioni	1975					
	B [m]	s [m]	s tot. [m]	Area [m ²]	Area tot. [m ²]	P [m ³]
0	22.63	0	0	6470.35	48934.096	97868.19
1	5.32	82.64	82.64	3291.07	42463.746	84927.49
2	6.58	24.66	107.3	3139.53	39172.676	78345.35
2'	2.29	38.89	150.18	3930.17	3930.17	7860.34
3	5.69	28.52	135.82	1169.97	32102.976	64205.95
4	7.76	39	174.82	3785.48	30933.006	61866.01
5	3.53	38.74	213.56	3965.24	27147.526	54295.05
6	4.86	43.52	257.08	2526.64	23182.286	46364.57
7	3.05	36.04	293.12	3747.18	16199.61	32399.22
8	3.05	43.06	336.18	4382.04	12452.43	24904.86
9	2.41	31.86	368.04	8070.39	8070.39	16140.78
10						
11						
12	1.88	22.98	291.39	2945.72	6982.676	5891.44
13	2.53	53.13	344.52	4,036.96	4,036.96	8073.912

Tab. 5.2.1.2. Canale 1 – Zona A, anno 1975. Si riportano le larghezze delle sezioni, la distanza rispetto alla sezione di sbocco calcolata in funzione dell'ascissa curvilinea (parziale e totale) riferita all'asse del canale l'area sottesa dalla sezione (parziale e totale), il prisma di marea relativo alla sezione considerata

Analisi comportamentale di alcune barene e canali nella Palude di Pagliaga

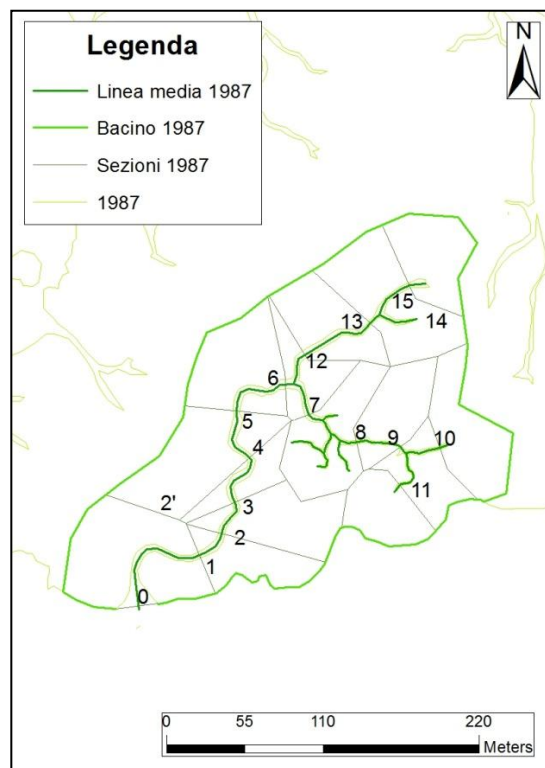


Fig. 5.2.1.4. Canale 1 – Zona A, anno 1987

Sezioni	1987					
	B [m]	s [m]	s tot. [m]	Area [m ²]	Area tot. [m ²]	P [m ³]
0	29.48	0	0	6,036.51	47,279.54	94559.08
1	4.63	81.6	81.6	2,313.15	41,243.04	82486.07
2	4.74	23	104.6	3,415.58	38,929.89	77859.77
2'						
3	4.75	25.78	130.38	1,544.21	35,514.31	71028.61
4	4.83	39	169.38	4,779.73	33,970.09	67940.18
5	4.26	39.04	208.42	3,987.87	29,190.36	58380.73
6	6.51	46.66	255.08	1885.47	25,202.49	50404.99
7	5.58	31.58	286.66	3,792.07	14,467.06	28934.11
8	2.18	42.45	329.11	2,685.78	10,674.99	21349.97
9	1.56	31.85	360.96	2,236.95	7,989.21	15978.42
10	2.43	30.16	391.12	3,453.15	3,453.15	6906.3
11	2.68	36.71	397.67	2,299.11	2,299.11	4598.216
12	5.73	39.22	294.3	3,103.91	10,735.44	21470.87
13	2.66	53.61	347.91	4,657.24	7,631.53	15263.06
14	3.52	39.62	387.53	2,974.29	2,974.29	5948.579

Tab. 5.2.1.3. Canale 1 – Zona A, anno 1987. Si riportano le larghezze delle sezioni, la distanza rispetto alla sezione di sbocco calcolata in funzione dell'ascissa curvilinea (parziale e totale) riferita all'asse del canale l'area sottesa dalla sezione (parziale e totale), il prisma di marea relativo alla sezione considerata

Analisi comportamentale di alcune barene e canali nella Palude di Pagliaga

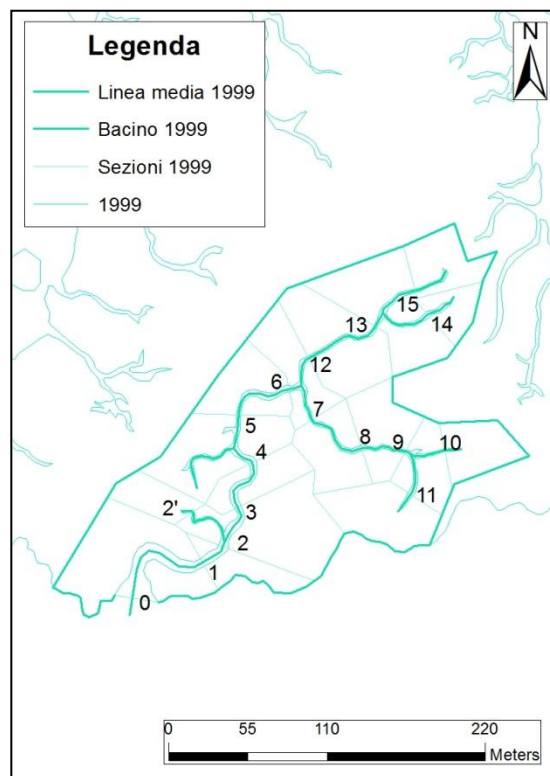


Fig. 5.2.1.5. Canale 1 – Zona A, anno 1999

Sezioni	1999					
	B [m]	s [m]	s tot. [m]	Area [m ²]	Area tot. [m ²]	P [m ³]
0	30.81	0	0	5,293.03	40,603.87	81207.75
1	5.8	77.49	77.49	1,397.96	35,310.84	70621.69
2	6.97	18.67	96.16	4,369.15	33,912.88	67825.77
2'	2.13	42.87	139.03	1,268.09	1,268.09	2536.18
3	4.44	31.74	127.9	1,650.52	28,275.65	56551.29
4	5.32	39.38	167.28	3,652.91	26,625.13	53250.25
5	2.91	40.36	207.64	2,172.66	22,972.22	45944.43
6	4.14	46.63	254.27	2,095.87	20,799.56	41599.11
7	2.06	34.16	288.43	2,161.93	10,395.00	20789.99
8	3.59	45.55	333.98	2,152.41	8,233.07	16466.13
9	2.05	32	365.98	1,663.26	6,080.66	12161.32
10	1.61	28.25	394.23	1,769.04	1,769.04	3538.073
11	3.84	32.96	398.94	2,648.36	2,648.36	5296.72
12	2.89	30.35	284.62	3,545.42	10,404.56	20809.12
13	2.16	54.17	338.79	3,935.72	6,859.14	13718.29
14	2.41	39.66	378.45	1,852.13	1,852.13	3704.26
15	3.93	47.76	386.55	1,071.30	1,071.30	2142.591

Tab. 5.2.1.4. Canale 1 – Zona A, anno 1999. Si riportano le larghezze delle sezioni, la distanza rispetto alla sezione di sbocco calcolata in funzione dell'ascissa curvilinea (parziale e totale) riferita all'asse del canale l'area sottesa dalla sezione (parziale e totale), il prisma di marea relativo alla sezione considerata

Analisi comportamentale di alcune barene e canali nella Palude di Pagliaga

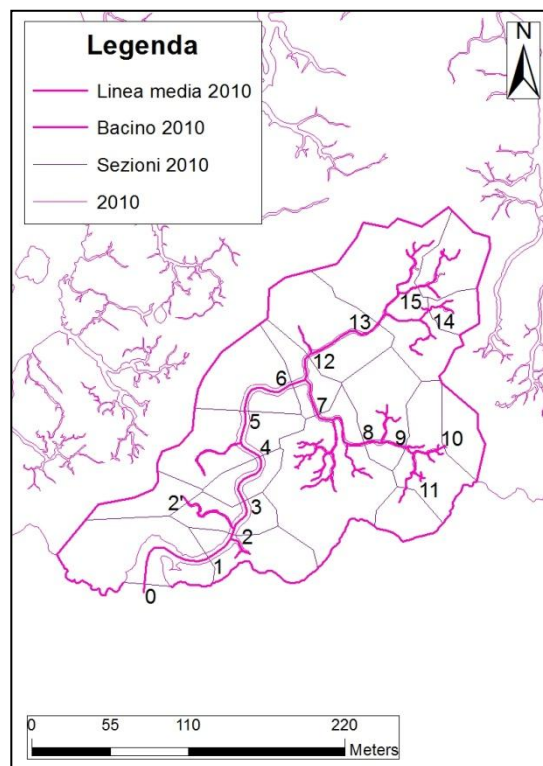


Fig. 5.2.1.6. Canale 1 – Zona A, anno 2010

Sezioni	2010					
	B [m]	s [m]	s tot. [m]	Area [m ²]	Area tot. [m ²]	P [m ³]
0	32.761	0	0	4,441.13	42,785.91	85571.82
1	6.01	68.3	68.3	2,201.17	38,344.78	76689.55
2	5.56	24.27	92.57	1,530.52	36,143.61	72287.22
2'	1.93	53.22	145.79	1,234.63	1,234.63	2469.268
3	5.91	27.15	119.72	1,144.27	33,378.46	66756.92
4	5.83	40.83	160.55	3,286.01	32,234.19	64468.38
5	5.77	39.16	199.71	2,948.34	28,948.18	57896.36
6	4.71	47.11	246.82	1,379.62	25,999.84	51999.67
7	3.1	36.54	283.36	6,042.11	13,990.79	27981.58
8	2.09	49.97	333.33	2,762.42	7,948.68	15897.37
9	1.93	29.64	362.97	2,744.87	5,186.27	10372.53
10	1.04	30.69	393.66	1,292.14	1,292.14	2584.282
11	1.35	43.84	406.81	1,149.25	1,149.25	2298.502
12	2.98	27.03	273.85	3,545.42	12,009.04	24018.09
13	1.57	57.19	331.04	5,675.07	8,463.63	16927.25
14	1.53	41.56	372.6	1,937.39	1,937.39	3874.786
15	0.59	43.82	374.86	851.16	851.16	1702.322

Tab. 5.2.1.5. Canale 1 – Zona A, anno 2010. Si riportano le larghezze delle sezioni, la distanza rispetto alla sezione di sbocco calcolata in funzione dell'ascissa curvilinea (parziale e totale) riferita all'asse del canale l'area sottesa dalla sezione (parziale e totale), il prisma di marea relativo alla sezione considerata

Zona A– Canale 12(parte settentrionale)

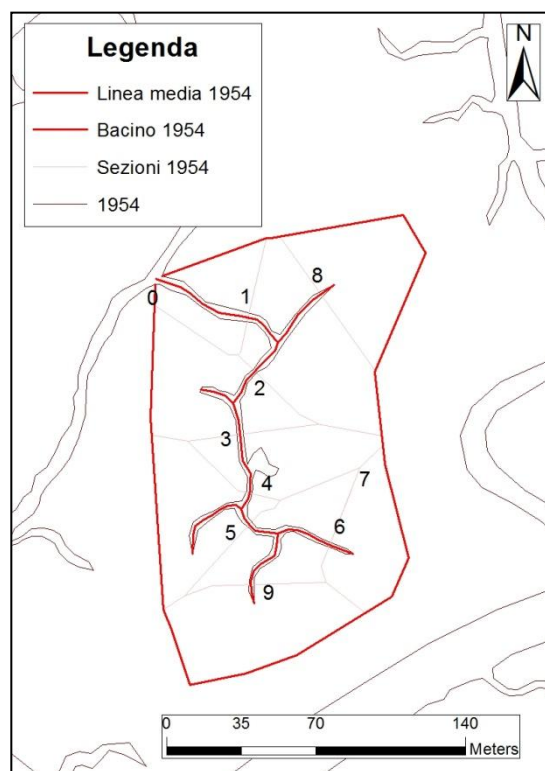


Fig. 5.2.1.7. Canale 12 – Zona A, anno 1954

Sezioni	1954					
	B [m]	s [m]	s tot. [m]	Area [m ²]	Area tot. [m ²]	P [m ³]
0	4.14	0	0	1,612.42	22,144.93	44289.86
1	4.15	45.48	45.48	2,628.35	20,532.51	41065.02
2	2.49	36.37	81.85	4,154.93	15,365.14	30730.28
3	2.98	33.14	114.99	2,000.66	11,210.22	22420.43
4	2.73	28.8	143.79	2,379.03	9,209.55	18419.1
5	3.08	16.72	160.51	2,057.62	6,830.52	13661.04
6	2.26	40.8	201.31	1,848.42	1,848.42	3696.842
7						
8	2.33	49.43	94.91	2,539.03	2,539.03	5078.052
9	2.27	43.8	204.31	2,924.48	2,924.48	5848.961

Tab. 5.2.1.6. Canale 12 – Zona A, anno 1954. Si riportano le larghezze delle sezioni, la distanza rispetto alla sezione di sbocco calcolata in funzione dell'ascissa curvilinea (parziale e totale) riferita all'asse del canale l'area sottesa dalla sezione (parziale e totale), il prisma di marea relativo alla sezione considerata

Analisi comportamentale di alcune barene e canali nella Palude di Pagliaga

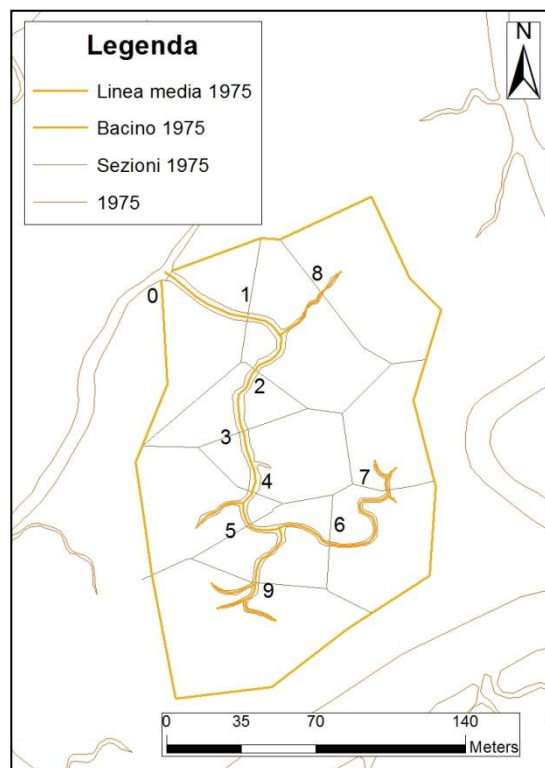


Fig. 5.2.1.8. Canale 12 – Zona A, anno 1975

Sezioni	1975					
	B [m]	s [m]	s tot. [m]	Area [m ²]	Area tot. [m ²]	P [m ³]
0	5.62	0	0	2,595.05	25,186.84	50373.68
1	3.77	42.53	42.53	3,072.12	22,591.79	45183.58
2	3.43	40.57	83.1	1,381.08	16,515.04	33030.09
3	4.37	31.77	114.87	2,135.41	15,133.96	30267.93
4	4.02	29.59	144.46	2,327.01	12,998.55	25997.1
5	2.54	17.47	161.93	2,964.15	10,671.54	21343.07
6	1.79	41.6	203.53	1,750.01	3,587.90	7175.804
7	1.76	55.65	259.18	1,837.89	1,837.89	3675.782
8	1.32	46.22	88.75	3,004.62	3,004.62	6009.244
9	2.64	45.4	207.33	4,119.48	4,119.48	8238.96

Tab. 5.2.1.7. Canale 12 – Zona A, anno 1975. Si riportano le larghezze delle sezioni, la distanza rispetto alla sezione di sbocco calcolata in funzione dell'ascissa curvilinea (parziale e totale) riferita all'asse del canale l'area sottesa dalla sezione (parziale e totale), il prisma di marea relativo alla sezione considerata

Analisi comportamentale di alcune barene e canali nella Palude di Pagliaga

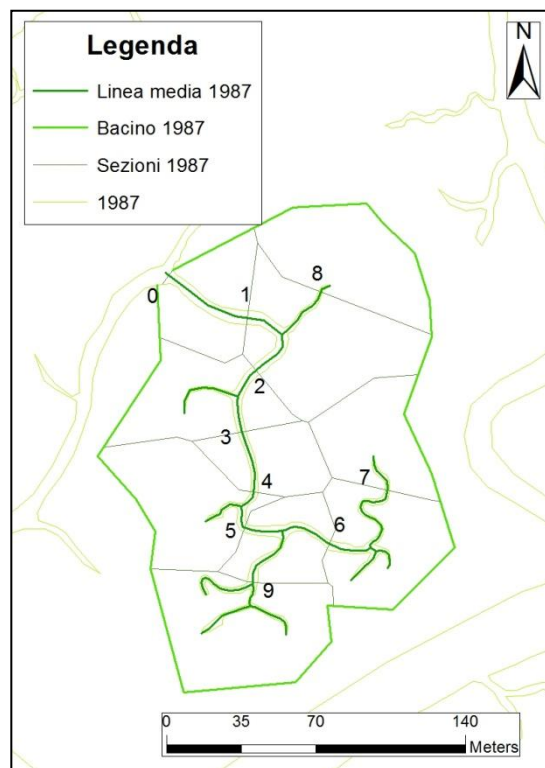


Fig. 5.2.1.9. Canale 12 – Zona A, anno 1987

Sezioni	1987					
	B [m]	s [m]	s tot. [m]	Area [m ²]	Area tot. [m ²]	P [m ³]
0	8.21	0	0	1,981.81	25,861.35	51722.71
1	6.34	42.65	42.65	3,696.07	23,879.54	47759.09
2	4.71	42.85	85.5	2,498.63	17,212.92	34425.83
3	3.71	29.83	115.33	1,535.48	14,714.28	29428.57
4	3.53	29.12	144.45	2,855.80	13,178.81	26357.61
5	4.33	20.08	164.53	1,636.03	10,323.01	20646.01
6	4.06	42.41	206.94	2,757.82	4,934.94	9869.878
7	2.29	64.3	271.24	2,177.12	2,177.12	4354.244
8	1.99	46.08	88.73	2,970.56	2,970.56	5941.114
9	4.77	48.33	212.86	3,752.03	3,752.03	7504.068

Tab. 5.2.1.8. Canale 12 – Zona A, anno 1987. Si riportano le larghezze delle sezioni, la distanza rispetto alla sezione di sbocco calcolata in funzione dell'ascissa curvilinea (parziale e totale) riferita all'asse del canale l'area sottesa dalla sezione (parziale e totale), il prisma di marea relativo alla sezione considerata

Analisi comportamentale di alcune barene e canali nella Palude di Pagliaga

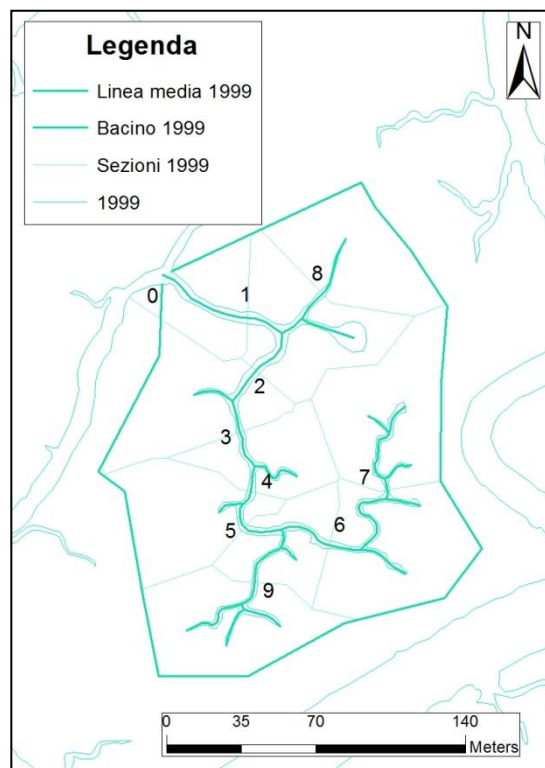


Fig. 5.2.1.10. Canale 12 – Zona A, anno 1999

Sezioni	1999					
	B [m]	s [m]	s tot. [m]	Area [m ²]	Area tot. [m ²]	P [m ³]
0	7.35	0	0	1,701.05	27,438.61	54877.23
1	5.68	43.68	43.68	3,107.18	25,737.56	51475.12
2	5.02	40.81	84.49	3,003.73	19,792.94	39585.89
3	3.75	33	117.49	1,535.48	16,789.21	33578.43
4	4.16	29.99	147.48	2,753.32	15,253.74	30507.47
5	3.77	19.39	166.87	1,938.22	12,500.42	25000.84
6	3.74	43.3	210.17	3,654.04	7,268.92	14537.85
7	1.74	61.51	271.68	3,614.88	3,614.88	7229.76
8	3.12	44.85	88.53	2,837.44	2,837.44	5674.879
9	2.65	49.44	216.31	3,293.27	3,293.27	6586.545

Tab. 5.2.9. Canale 12 – Zona A, anno 1999. Si riportano le larghezze delle sezioni, la distanza rispetto alla sezione di sbocco calcolata in funzione dell'ascissa curvilinea (parziale e totale) riferita all'asse del canale l'area sottesa dalla sezione (parziale e totale), il prisma di marea relativo alla sezione considerata

Analisi comportamentale di alcune barene e canali nella Palude di Pagliaga

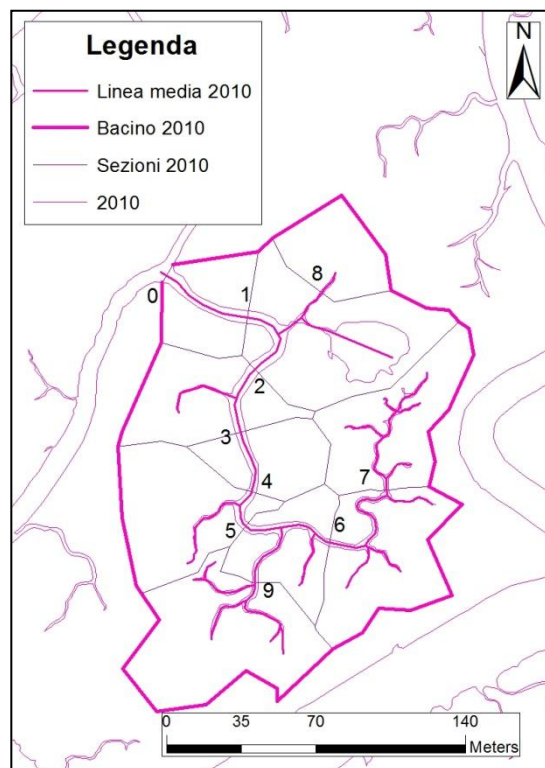


Fig. 5.2.1.11. Canale 12 – Zona A, anno 2010

Sezioni	2010					
	B [m]	s [m]	s tot. [m]	Area [m ²]	Area tot. [m ²]	P [m ³]
0	9.62	0	0	1,775.46	30,820.79	61641.59
1	5.89	44.02	44.02	4,331.02	29,045.33	58090.66
2	5.65	38.91	82.93	2,577.31	23,052.58	46105.15
3	4.63	32.47	115.4	4,817.29	20,475.27	40950.53
4	4.48	29.48	144.88	3,139.92	15,657.97	31315.95
5	3.7	18.99	163.87	1,909.35	12,518.06	25036.11
6	2.97	42.63	206.5	3,279.45	6,339.49	12678.98
7	2.23	58.33	264.83	3,060.04	3,060.04	6120.071
8	1.53	46.11	90.13	1,661.74	1,661.74	3323.476
9	2.83	48.2	212.07	4,269.22	4,269.22	8538.435

Tab. 5.2.10. Canale 12 – Zona A, anno 2010. Si riportano le larghezze delle sezioni, la distanza rispetto alla sezione di sbocco calcolata in funzione dell'ascissa curvilinea (parziale e totale) riferita all'asse del canale l'area sottesa dalla sezione (parziale e totale), il prisma di marea relativo alla sezione considerata

Zona D – Canale 1 (parte meridionale)

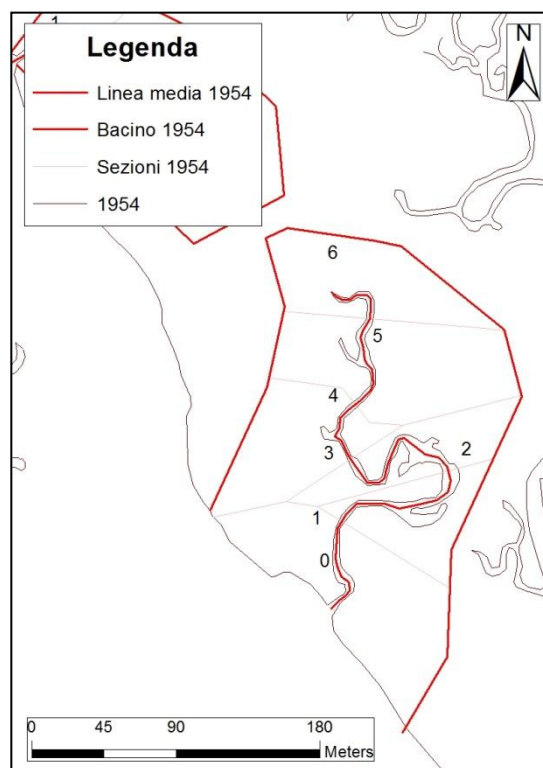


Fig. 5.2.1.12. Canale 1 – Zona D, anno 1954

	1954					
Sezioni	B [m]	s [m]	s tot. [m]	Area [m ²]	Area tot. [m ²]	P [m ³]
0	6.37	0	0	8,610.93	34,639.04	69278.09
1	3.54	63.14	63.14	3,761.62	26,028.12	52056.23
2	9.76	87.61	150.75	3,878.32	22,266.50	44533
3	4.35	95.09	245.84	5,198.16	18,388.17	36776.35
4	3.75	42.79	288.63	7,750.53	13,190.01	26380.02
5	3.67	61.52	350.15	5,439.48	5,439.48	10878.95

Tab. 5.2.1.11. Canale 1 – Zona D, anno 1954. Si riportano le larghezze delle sezioni, la distanza rispetto alla sezione di sbocco calcolata in funzione dell'ascissa curvilinea (parziale e totale) riferita all'asse del canale l'area sottesa dalla sezione (parziale e totale), il prisma di marea relativo alla sezione considerata

Analisi comportamentale di alcune barene e canali nella Palude di Pagliaga

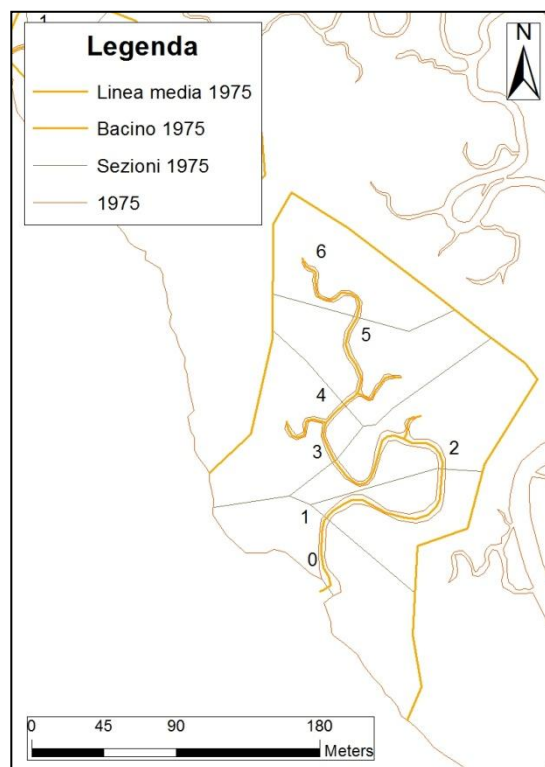


Fig. 5.2.1.13. Canale 1 – Zona D, anno 1975

Sezioni	1975					
	B [m]	s [m]	s tot. [m]	Area [m ²]	Area tot. [m ²]	P [m ³]
0	12.76	0	0	6,349.51	32547.69185	65095.38
1	4.71	46.17	46.17	3,996.53	26198.18235	52396.36
2	4.57	101.76	147.93	6,572.43	22201.65585	44403.31
3	3.62	104.69	252.62	5,155.96	15629.23	31258.46
4	3.48	41.99	294.61	5,491.39	10473.27	20946.54
5	4.05	62.49	357.1	4,981.88	4981.883	9963.766

Tab. 5.2.1.12. Canale 1 – Zona D, anno 1954. Si riportano le larghezze delle sezioni, la distanza rispetto alla sezione di sbocco calcolata in funzione dell'ascissa curvilinea (parziale e totale) riferita all'asse del canale l'area sottesa dalla sezione (parziale e totale), il prisma di marea relativo alla sezione considerata

Analisi comportamentale di alcune barene e canali nella Palude di Pagliaga

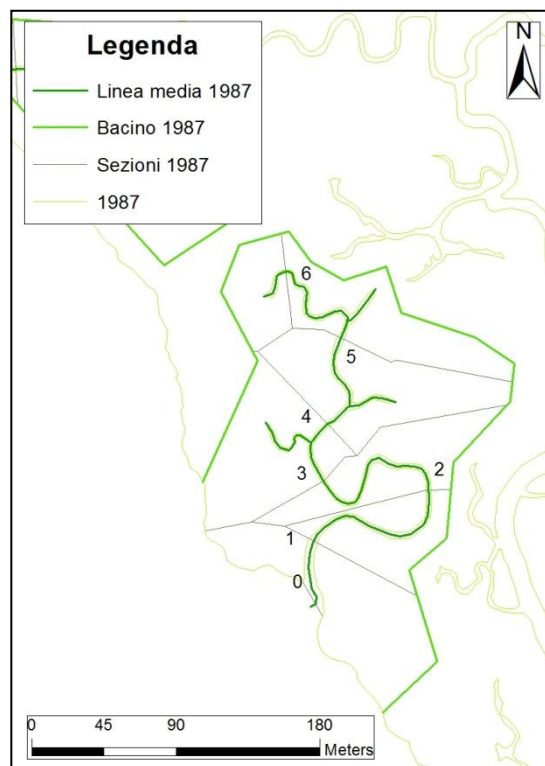


Fig. 5.2.1.14. Canale 1 – Zona D, anno 1987

Sezioni	1987					
	B [m]	s [m]	s tot. [m]	Area [m ²]	Area tot. [m ²]	P [m ³]
0	23.59	0	0	6,414.42	32,566.03	65132.07
1	6.25	41.32	41.32	3,361.23	26,151.62	52303.24
2	2.76	101.97	143.29	4,379.70	22,790.39	45580.78
3	2.83	102.72	246.01	5,487.29	18,410.69	36821.38
4	2.85	41.23	287.24	5,786.60	12,923.39	25846.79
5	3.98	64.97	352.21	4,915.26	7,136.80	14273.59
6	2.12	77.38	429.59	2,221.54	2,221.54	4443.08

Tab. 5.2.1.13. Canale 1 – Zona D, anno 1987. Si riportano le larghezze delle sezioni, la distanza rispetto alla sezione di sbocco calcolata in funzione dell'ascissa curvilinea (parziale e totale) riferita all'asse del canale l'area sottesa dalla sezione (parziale e totale), il prisma di marea relativo alla sezione considerata

Analisi comportamentale di alcune barene e canali nella Palude di Pagliaga

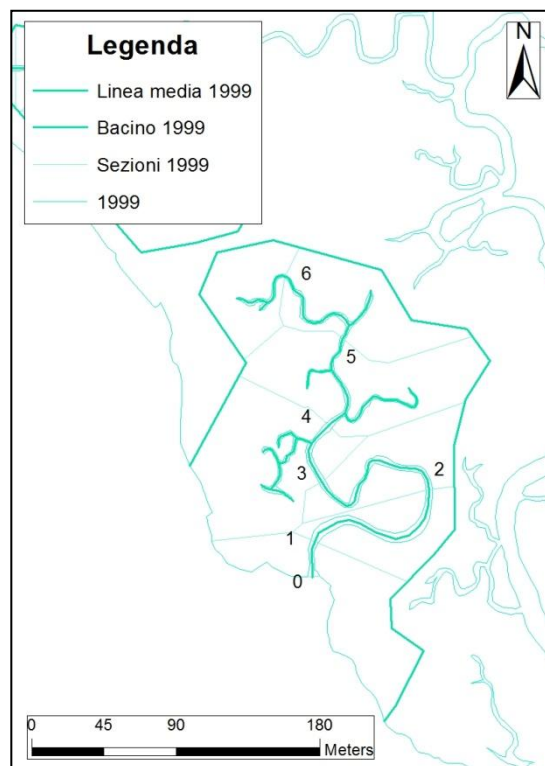


Fig. 5.2.1.15. Canale 1 – Zona D, anno 1999

Sezioni	1999					
	B [m]	s [m]	s tot. [m]	Area [m ²]	Area tot. [m ²]	P [m ³]
0	7.91	0	0	4,880.43	31,985.01	63970.02
1	4.18	22.48	22.48	3,262.13	27,104.58	54209.16
2	4.15	99.8	122.28	3,769.24	23,842.46	47684.91
3	4.14	101.5	223.85	6,464.30	20,073.21	40146.42
4	4.52	7	265.61	6,364.30	13,608.91	27217.82
5	2.74	41.76	330.53	4,427.70	7,244.61	14489.22
6	1.93	64.92	404.14	2,816.91	2,816.91	5633.83

Tab. 5.2.1.14. Canale 1 – Zona D, anno 1999. Si riportano le larghezze delle sezioni, la distanza rispetto alla sezione di sbocco calcolata in funzione dell'ascissa curvilinea (parziale e totale) riferita all'asse del canale l'area sottesa dalla sezione (parziale e totale), il prisma di marea relativo alla sezione considerata

Analisi comportamentale di alcune barene e canali nella Palude di Pagliaga

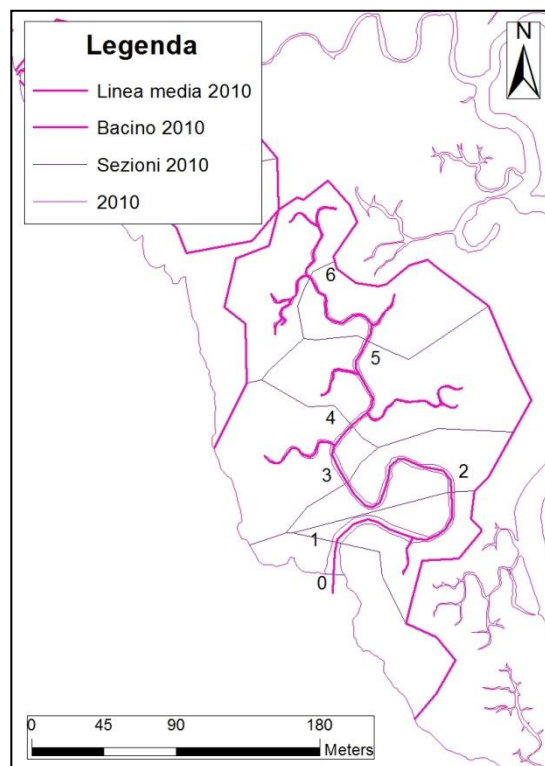


Fig. 5.2.1.16. Canale 1 – Zona D, anno 2010

Sezioni	2010					
	B [m]	s [m]	s tot. [m]	Area [m ²]	Area tot. [m ²]	P [m ³]
0	12.04	0	0	4,205.86	35,395.46	70790.92
1	5.3	20.23	20.23	3,510.56	31,189.59	62379.19
2	3.88	102.41	122.64	4,076.92	27,679.03	55358.06
3	3.01	103.14	225.78	5,976.15	23,602.11	47204.23
4	3.08	42.27	268.05	8,268.72	17,625.97	35251.93
5	3.42	63.13	331.18	4,476.82	9,357.25	18714.5
6	1.5	71.98	403.16	4,880.43	4,880.43	9760.86

Tab. 5.2.1.15. Canale 1 – Zona D, anno 2010. Si riportano le larghezze delle sezioni, la distanza rispetto alla sezione di sbocco calcolata in funzione dell'ascissa curvilinea (parziale e totale) riferita all'asse del canale l'area sottesa dalla sezione (parziale e totale), il prisma di marea relativo alla sezione considerata

Zona D – Canale 2 (parte occidentale)

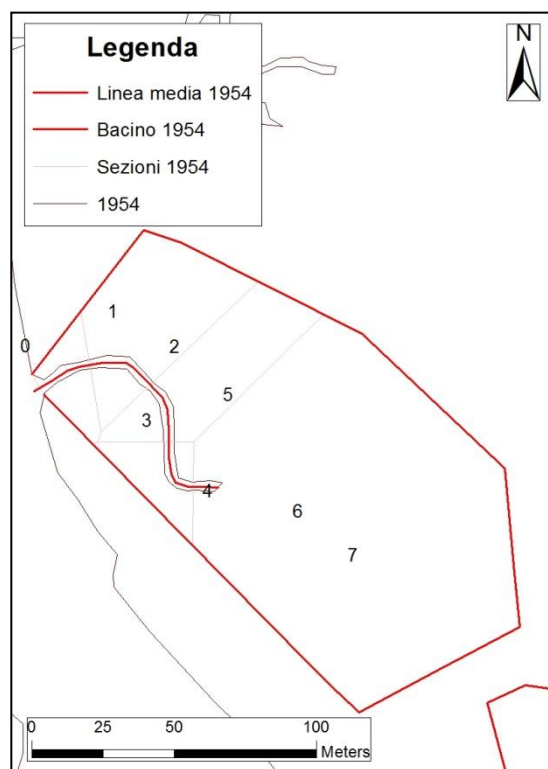


Fig. 5.2.1.17. Canale 2 – Zona D, anno 1954

	1954					
Sezioni	B [m]	s [m]	s tot. [m]	Area [m ²]	Area tot. [m ²]	P [m ³]
0	8.35	0	0	548.31	15,642.94	31285.88
1	3.06	19.4397	19.43969	2,160.44	15,094.62	30189.25
2	3.3	24.3562	43.7959	1,804.97	12,934.18	25868.37
3	3.63	22.1467	65.9426	652.79	11,129.22	22258.43
4	3.1	20.9374	86.88	10,476.43	10,476.43	20952.86

Tab. 5.2.1.16. Canale 2 – Zona D, anno 1954. Si riportano le larghezze delle sezioni, la distanza rispetto alla sezione di sbocco calcolata in funzione dell'ascissa curvilinea (parziale e totale) riferita all'asse del canale l'area sottesa dalla sezione (parziale e totale), il prisma di marea relativo alla sezione considerata

Analisi comportamentale di alcune barene e canali nella Palude di Pagliaga

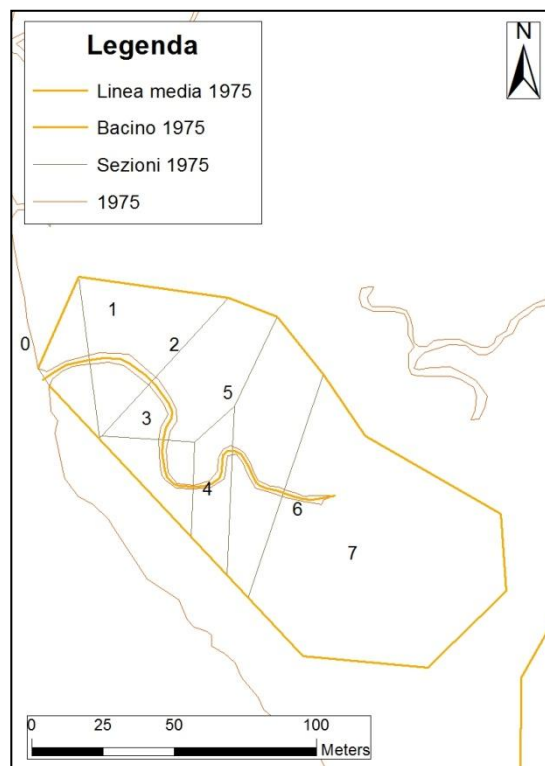


Fig. 5.2.1.18. Canale 2 – Zona D, anno 1975

Sezioni	1975					
	B [m]	s [m]	s tot. [m]	Area [m ²]	Area tot. [m ²]	P [m ³]
0	7.48	0	0	541.55	12,114.56	24229.12
1	2.97	17.14	17.14	1,626.10	11,573.01	23146.03
2	3.68	24.62	41.76	1,435.57	9,946.92	19893.83
3	3.41	38.89	65.27	541.55	8,511.35	17022.69
4	1.29	47.15	88.91	614.51	7,969.80	15939.6
5	3.08	22.19	111.1	1,740.24	7,355.29	14710.59
6	2.57	25.01	136.11	5,615.05	5,615.05	11230.1

Tab. 5.2.1.17. Canale 2 – Zona D, anno 1954. Si riportano le larghezze delle sezioni, la distanza rispetto alla sezione di sbocco calcolata in funzione dell'ascissa curvilinea (parziale e totale) riferita all'asse del canale l'area sottesa dalla sezione (parziale e totale), il prisma di marea relativo alla sezione considerata

Analisi comportamentale di alcune barene e canali nella Palude di Pagliaga

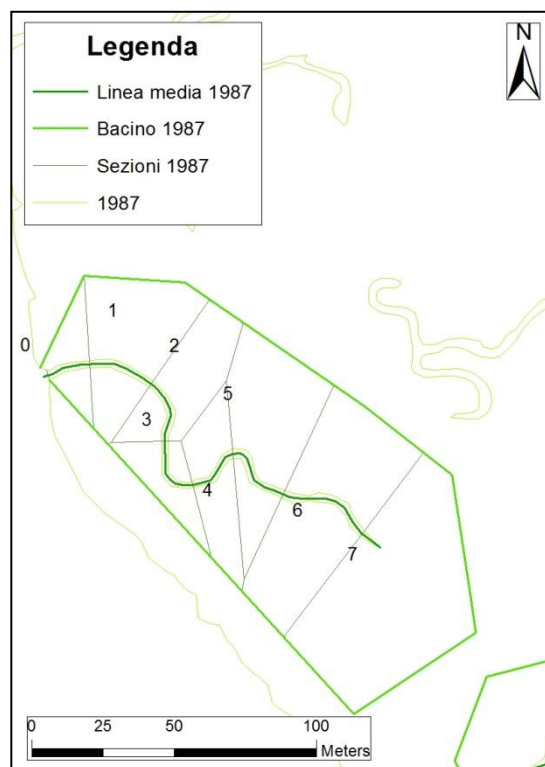


Fig. 5.2.1.19. Canale 2 – Zona D, anno 1987

Sezioni	1987					
	B [m]	s [m]	s tot. [m]	Area [m ²]	Area tot. [m ²]	P [m ³]
0	4.02	0	0	212.53	11,874.74	23749.48
1	2.6	15.3	15.3	1,757.70	11,662.21	23324.43
2	2.47	23.48	38.78	1,045.61	9,904.51	19809.03
3	2.23	22.86	61.64	543.62	8,858.91	17717.81
4	1.97	22.6	84.24	841.21	8,315.28	16630.56
5	3.7	19.09	103.33	1,700.26	7,474.07	14948.13
6	2.12	25.18	128.51	2,452.79	5,773.81	11547.61
7	2.4	33.85	162.36	3,321.02	3,321.02	6642.039

Tab. 5.2.1.18. Canale 2 – Zona D, anno 1987. Si riportano le larghezze delle sezioni, la distanza rispetto alla sezione di sbocco calcolata in funzione dell'ascissa curvilinea (parziale e totale) riferita all'asse del canale l'area sottesa dalla sezione (parziale e totale), il prisma di marea relativo alla sezione considerata

Analisi comportamentale di alcune barene e canali nella Palude di Pagliaga

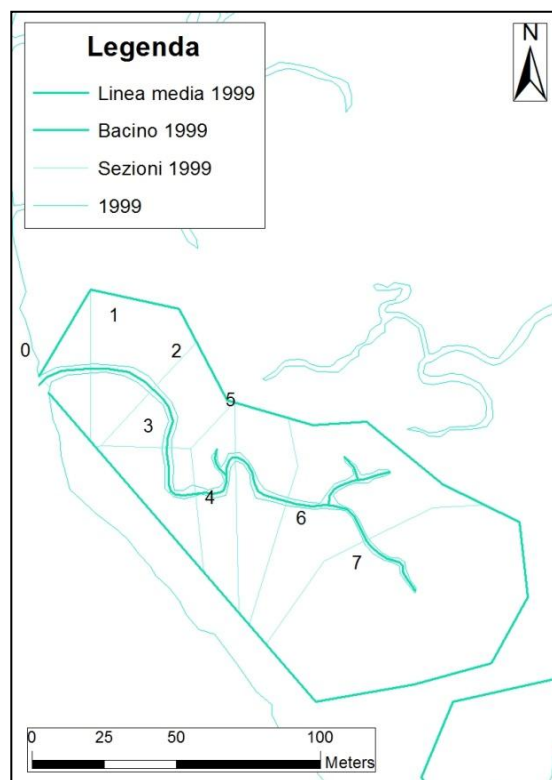


Fig. 5.2.1.20. Canale 2 – Zona D, anno 1999

Sezioni	1999					
	B [m]	s [m]	s tot. [m]	Area [m ²]	Area tot. [m ²]	P [m ³]
0	5.42	0	0	474.44	11,563.37	23126.73
1	3.12	17.2	17.2	1,213.62	11,088.92	22177.85
2	3.6	23.7	40.9	816.41	9,875.31	19750.61
3	3.35	22.98	63.88	709.26	9,058.90	18117.8
4	3.63	24.03	87.91	786.93	8,349.64	16699.28
5	2.72	23.46	111.37	1,067.16	7,562.71	15125.42
6	2.8	25.72	137.09	2,324.04	6,495.55	12991.09
7	2.02	33.93	171.02	4,171.51	4,171.51	8343.01

Tab. 5.2.1.19. Canale 2 – Zona D, anno 1999. Si riportano le larghezze delle sezioni, la distanza rispetto alla sezione di sbocco calcolata in funzione dell'ascissa curvilinea (parziale e totale) riferita all'asse del canale l'area sottesa dalla sezione (parziale e totale), il prisma di marea relativo alla sezione considerata

Analisi comportamentale di alcune barene e canali nella Palude di Pagliaga

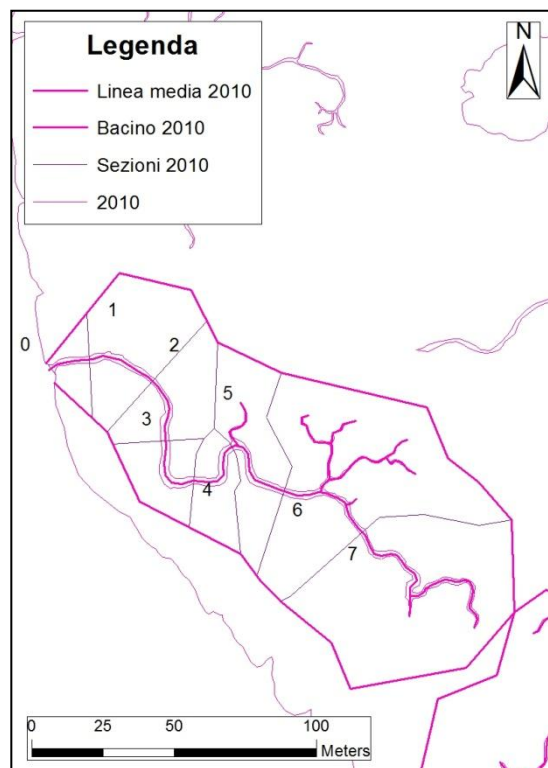


Fig. 5.2.1.21. Canale 2 – Zona D, anno 2010

Sezioni	2010					
	B [m]	s [m]	s tot. [m]	Area [m ²]	Area tot. [m ²]	P [m ³]
0	4.47	0	0	303.48	11,930.63	23861.25
1	2.3	14.29	14.29	1,389.10	11,627.15	23254.3
2	1.91	25	39.29	908.02	10,238.05	20476.1
3	2.76	22.9	62.19	601.80	9,330.03	18660.06
4	2.77	23.57	85.76	557.96	8,728.23	17456.45
5	2.49	22.69	108.45	1,225.94	8,170.27	16340.54
6	2.4	27.72	136.17	3,490.74	6,944.33	13888.67
7	2.31	34.98	171.15	3,453.60	3,453.60	6907.192

Tab. 5.2.1.20. Canale 2 – Zona D, anno 2010. Si riportano le larghezze delle sezioni, la distanza rispetto alla sezione di sbocco calcolata in funzione dell'ascissa curvilinea (parziale e totale) riferita all'asse del canale l'area sottesa dalla sezione (parziale e totale), il prisma di marea relativo alla sezione considerata

Zona C – Canale 7 (parte orientale)

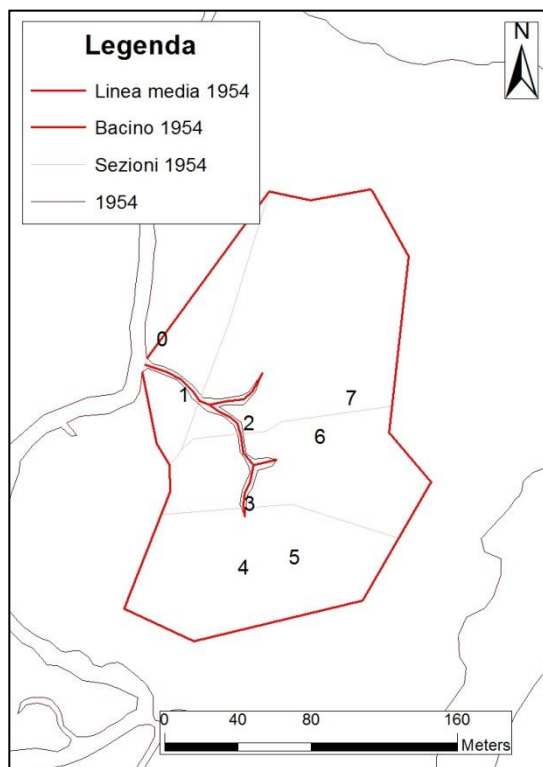


Fig. 5.2.1.22. Canale 7 – Zona C, anno 1954

	1954					
Sezioni	B [m]	s [m]	s tot. [m]	Area [m ²]	Area tot. [m ²]	P [m ³]
0	8.24	0	0	3,172.01	28,759.49	57518.98
1	4.67	36.41	36.41	11,326.86	25,587.48	51174.95
2	2.95	30.3	66.71	6,533.56	14,260.62	28521.23
3	2.25	43.65	110.36	7,727.05	7,727.05	15454.1

Tab. 5.2.1.21. Canale 7 – Zona C, anno 1954. Si riportano le larghezze delle sezioni, la distanza rispetto alla sezione di sbocco calcolata in funzione dell'ascissa curvilinea (parziale e totale) riferita all'asse del canale l'area sottesa dalla sezione (parziale e totale), il prisma di marea relativo alla sezione considerata

Analisi comportamentale di alcune barene e canali nella Palude di Pagliaga

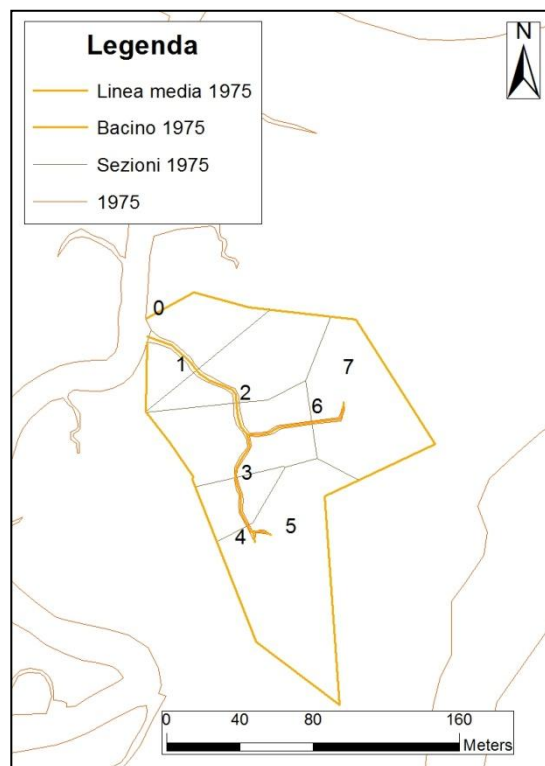


Fig. 5.2.1.23. Canale 7 – Zona C, anno 1975

Sezioni	1975					
	B [m]	s [m]	s tot. [m]	Area [m ²]	Area tot. [m ²]	P [m ³]
0	6.91	0	0	2,085.18	18,070.86	36141.71
1	3.61	32.58	32.58	2,772.58	15,985.68	31971.36
2	3.11	30.54	63.12	3,128.15	13,213.10	26426.2
3	1.34	38.89	107.41	1,027.72	6,306.39	12612.79
4	1.7	71.99	135.11	5,278.68	5,278.68	10557.36

Tab. 5.2.1.22. Canale 7 – Zona C, anno 1954. Si riportano le larghezze delle sezioni, la distanza rispetto alla sezione di sbocco calcolata in funzione dell'ascissa curvilinea (parziale e totale) riferita all'asse del canale l'area sottesa dalla sezione (parziale e totale), il prisma di marea relativo alla sezione considerata

Analisi comportamentale di alcune barene e canali nella Palude di Pagliaga

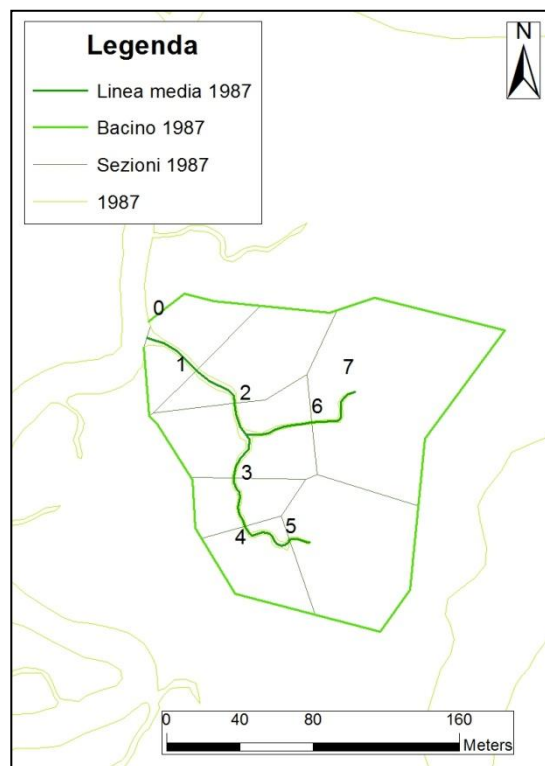


Fig. 5.2.1.24. Canale 7 – Zona C, anno 1987

Sezioni	1987					
	B [m]	s [m]	s tot. [m]	Area [m ²]	Area tot. [m ²]	P [m ³]
0	12.04	0	0	2,008.98	23,612.33	47224.66
1	3.33	32.95	32.95	2,900.36	21,603.35	43206.7
2	1.96	29.34	62.29	3,350.96	18,702.99	37405.97
3	2.06	45.21	107.5	1,434.32	7,842.97	15685.93
4	2.08	28.17	135.67	1,840.03	6,408.65	12817.3
5	2.58	32.18	167.85	4,568.62	4,568.62	9137.238
6	1.74	55.54	117.83	7,509.05	7,509.05	15018.11

Tab. 5.2.1.23. Canale 7 – Zona C, anno 1987. Si riportano le larghezze delle sezioni, la distanza rispetto alla sezione di sbocco calcolata in funzione dell'ascissa curvilinea (parziale e totale) riferita all'asse del canale l'area sottesa dalla sezione (parziale e totale), il prisma di marea relativo alla sezione considerata

Analisi comportamentale di alcune barene e canali nella Palude di Pagliaga

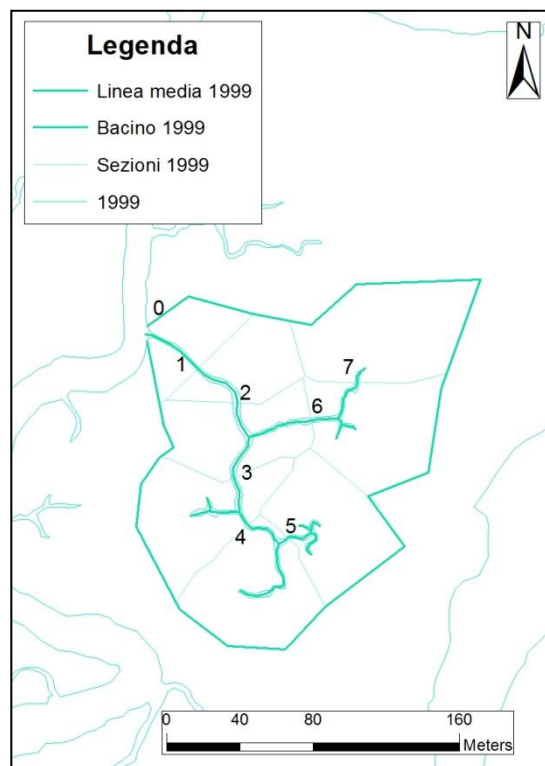


Fig. 5.2.1.25. Canale 7 – Zona C, anno 1999

Sezioni	1999					
	B [m]	s [m]	s tot. [m]	Area [m ²]	Area tot. [m ²]	P [m ³]
0	6.96	0	0	1,709.51	25,429.18	50858.36
1	1.98	33.45	33.45	2,183.57	23,719.67	47439.35
2	4.35	30.9	64.35	3,002.13	21,536.10	43072.21
3	2.4	45.26	109.61	3,444.89	10,517.62	21035.23
4	2.37	27.98	137.59	3,657.11	7,072.73	14145.46
5	1.35	27.37	164.96	3,415.62	3,415.62	6831.248
6	2.56	56.21	120.56	3,638.96	8,016.36	16032.72
7	1.89	39.38	159.94	4,377.40	4,377.40	8754.799

Tab. 5.2.1.24. Canale 7 – Zona C, anno 1999. Si riportano le larghezze delle sezioni, la distanza rispetto alla sezione di sbocco calcolata in funzione dell'ascissa curvilinea (parziale e totale) riferita all'asse del canale l'area sottesa dalla sezione (parziale e totale), il prisma di marea relativo alla sezione considerata

Analisi comportamentale di alcune barene e canali nella Palude di Pagliaga

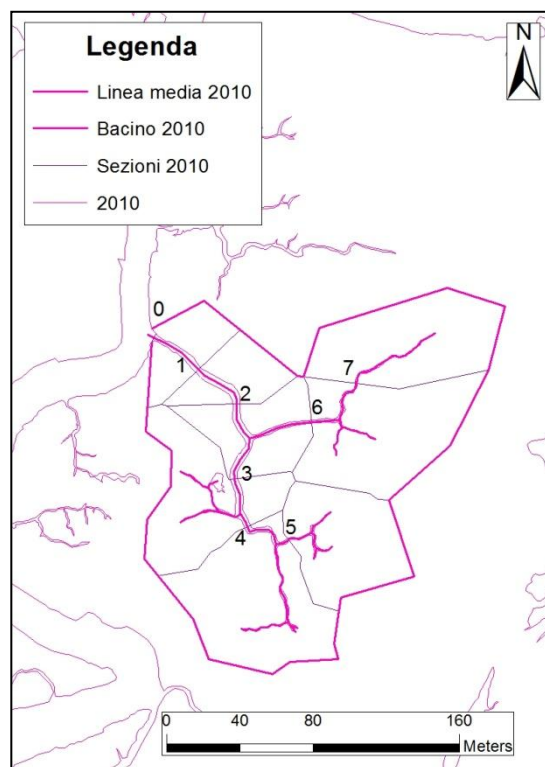


Fig. 5.2.1.26. Canale 7 – Zona C, anno 2010

Sezioni	2010					
	B [m]	s [m]	s tot. [m]	Area [m ²]	Area tot. [m ²]	P [m ³]
0	5.25	0	0	1,519.73	26,527.42	53054.85
1	3.74	30.16	30.16	1,613.98	25,007.69	50015.39
2	3.9	30.15	60.31	2,389.54	23,393.71	46787.42
3	3.96	45.28	105.59	3,796.40	12,114.22	24228.43
4	3.28	19.99	125.58	4,937.49	8,317.81	16635.62
5	1.28	7.64	133.22	3,380.32	3,380.32	6760.64
6	1.69	56.45	116.76	4,714.94	8,889.95	17779.91
7	1.29	40.15	156.91	4,175.02	4,175.02	8350.032

Tab. 5.2.1.25. Canale 7 – Zona C, anno 2010. Si riportano le larghezze delle sezioni, la distanza rispetto alla sezione di sbocco calcolata in funzione dell'ascissa curvilinea (parziale e totale) riferita all'asse del canale l'area sottesa dalla sezione (parziale e totale), il prisma di marea relativo alla sezione considerata

I valori della larghezza e del prisma di marea sono stati poi trasformati in scala logaritmica, come riportato Tabella 5.2.1.26.

Tali dati sono riportati nei grafici Grafico 5.2.1.1 - 5.2.1.15.

Sezione	Zona A - canale 1									
	1954		1975		1987		1999		2010	
	log B	log P	log B	log P	log B	log P	log B	log P	log B	log P
0	1.49	5.01	1.35	4.99	1.47	4.98	1.49	4.91	1.52	4.93
1	0.75	4.92	0.73	4.93	0.67	4.92	0.76	4.85	0.78	4.88
2	0.57	4.88	0.82	4.89	0.68	4.89	0.84	4.83	0.75	4.86
3			0.36	3.90			0.33	3.40	0.29	3.39
4	0.69	4.79	0.76	4.81	0.68	4.85	0.65	4.75	0.77	4.82
5	0.75	4.75	0.89	4.79	0.68	4.83	0.73	4.73	0.77	4.81
6	0.67	4.59	0.55	4.73	0.63	4.77	0.46	4.66	0.76	4.76
7	0.58	4.36	0.69	4.67	0.81	4.70	0.62	4.62	0.67	4.72
8	0.61	3.98	0.48	4.51	0.75	4.46	0.31	4.32	0.49	4.45
9			0.48	4.40	0.34	4.33	0.56	4.22	0.32	4.20
10			0.38	4.21	0.19	4.20	0.31	4.08	0.29	4.02
11			0.00	0.00	0.39	3.84	0.21	3.55	0.02	3.41
12			0.00	0.00	0.43	3.66	0.58	3.72	0.13	3.36
13			0.27	4.15	0.76	4.33	0.46	4.32	0.47	4.38
14			0.40	3.91	0.42	4.18	0.33	4.14	0.20	4.23
15					0.55	3.77	0.38	3.57	0.18	3.59
16							0.59	3.33	-0.23	3.23

Sezione	Zona A - canale 12									
	1954		1975		1987		1999		2010	
	log B	log P	log B	log P	log B	log P	log B	log P	log B	log P
0	0.62	4.65	0.75	4.70	0.91	4.71	0.87	4.74	0.98	4.79
1	0.62	4.61	0.58	4.65	0.80	4.68	0.75	4.71	0.77	4.76
2	0.40	4.49	0.54	4.52	0.67	4.54	0.70	4.60	0.75	4.66
3	0.47	4.35	0.64	4.48			0.57	4.53	0.67	4.61
4	0.44	4.27	0.60	4.41	0.55	4.42	0.62	4.48	0.65	4.50
5	0.49	4.14	0.40	4.33	0.64	4.31	0.58	4.40	0.57	4.40
6	0.35	3.57	0.25	3.86	0.61	3.99	0.57	4.16	0.47	4.10
7			0.25	3.57	0.36	3.64	0.24	3.86	0.35	3.79
8	0.37	3.71	0.12	3.78	0.30	3.77	0.49	3.75	0.18	3.52
9	0.36	3.77	0.42	3.92	0.68	3.88	0.42	3.82	0.45	3.93

		Zona D - canale 1									
		1954		1975		1987		1999		2010	
Sezione		log B	log P	log B	log P	log B	log P	log B	log P	log B	log P
0		0.80	4.84	1.11	4.81	1.37	4.81	0.90	4.81	1.08	4.85
1		0.55	4.72	0.67	4.72	0.80	4.72	0.62	4.73	0.72	4.80
2		0.99	4.65	0.66	4.65	0.44	4.66	0.62	4.68	0.59	4.74
3		0.64	4.57	0.56	4.49	0.45	4.57	0.62	4.60	0.48	4.67
4		0.57	4.42	0.54	4.32	0.45	4.41	0.66	4.43	0.49	4.55
5		0.56	4.04	0.61	4.00	0.60	4.15	0.44	4.16	0.53	4.27
6						0.33	3.65	0.29	3.75	0.18	3.99
		Zona D - canale 2									
		1954		1975		1987		1999		2010	
Sezione		log B	log P	log B	log P	log B	log P	log B	log P	log B	log P
0		0.92	4.50	0.87	4.31	0.60	4.38	0.73	4.36	0.65	4.38
1		0.49	4.48	0.47	4.29	0.41	4.37	0.49	4.35	0.36	4.37
2		0.52	4.41	0.57	4.21	0.39	4.30	0.56	4.30	0.28	4.31
3		0.56	4.35	0.53	4.13	0.35	4.25	0.53	4.26	0.44	4.27
4		0.49	4.32	0.11	4.09	0.29	4.22	0.56	4.22	0.44	4.24
5				0.49	4.05	0.57	4.17	0.43	4.18	0.40	4.21
6				0.41	3.88	0.33	4.06	0.45	4.11	0.38	4.14
7						0.38	3.82	0.31	3.92	0.36	3.84
		Zona C - canale 7									
		1954		1975		1987		1999		2010	
Sezione		log B	log P	log B	log P	log B	log P	log B	log P	log B	log P
0		0.92	4.76	0.84	4.56	1.08	4.67	0.84	4.71	0.72	4.72
1		0.67	4.71	0.56	4.50	0.52	4.64	0.30	4.68	0.57	4.70
2		0.47	4.46	0.49	4.42	0.29	4.57	0.64	4.63	0.59	4.67
3		0.35	4.19	0.13	4.10	0.31	4.20	0.38	4.32	0.60	4.38
4		0.49	4.32	0.23	4.02	0.32	4.11	0.37	4.15	0.52	4.22
5						0.41	3.96	0.13	3.83	0.11	3.83
6				0.17	3.88	0.24	4.18	0.41	4.21	0.23	4.25
7								0.28	3.94	0.11	3.92

Tab. 5.2.1.26. Valori del logaritmo delle larghezze dei canali (log B) che quelli dei prismi di marea (log P), calcolati in funzione sia dei singoli canali che dell'anno di osservazione

Analisi comportamentale di alcune barene e canali nella Palude di Pagliaga

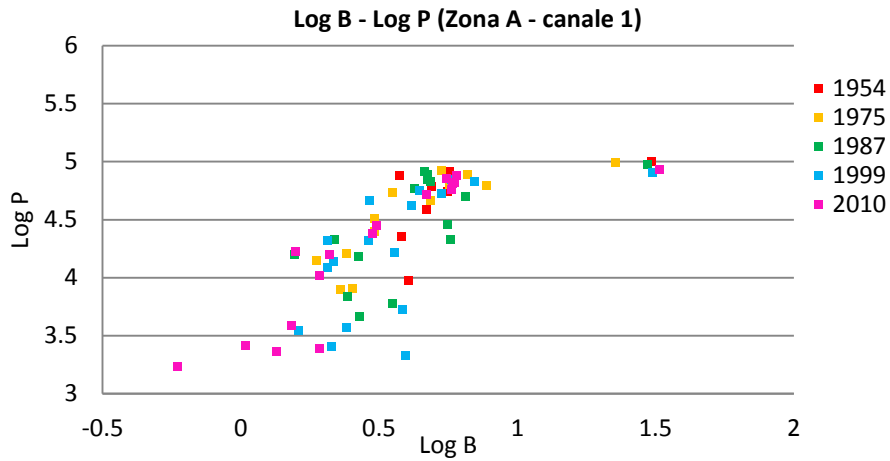


Grafico. 5.2.1.1. Canale 1 – Zona A: relazione logaritmica tra la larghezza del canale in una data sezione (B) e il prisma di marea associato (P)

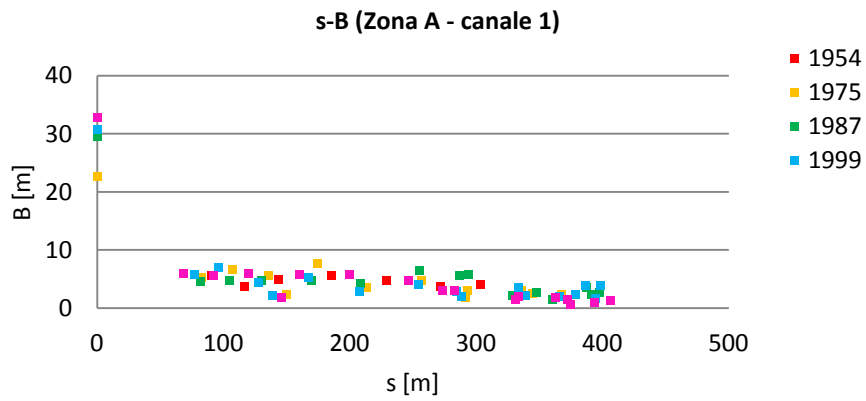


Grafico. 5.2.1.2. Canale 1 – Zona A: relazione tra l'ascissa curvilinea (s) del canale e la larghezza corrispondente (B)

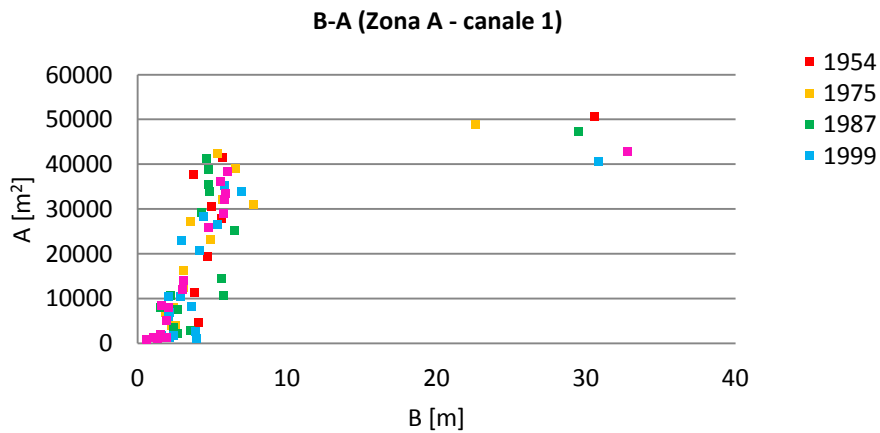


Grafico. 5.2.1.3. Canale 1 – Zona A: relazione tra la larghezza del canale (B) e l'area del bacino afferente (A)

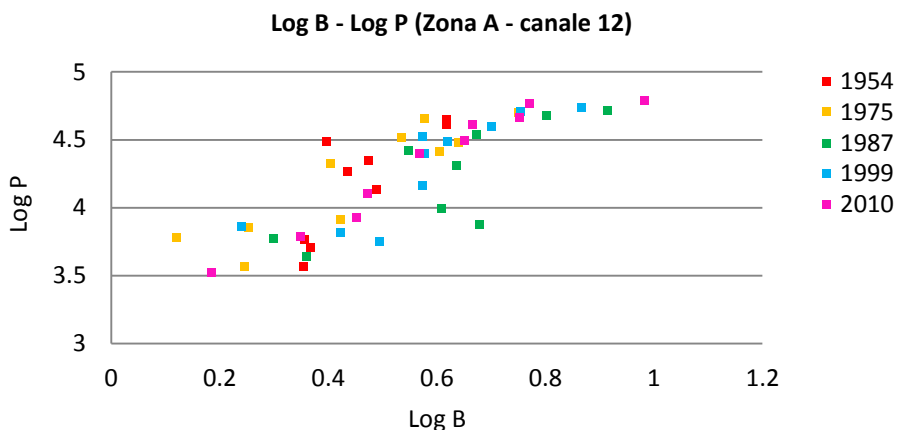


Grafico. 5.2.1.4. Canale 12 – Zona A: relazione logaritmica tra la larghezza del canale in una data sezione (B) e il prisma di marea associato (P)

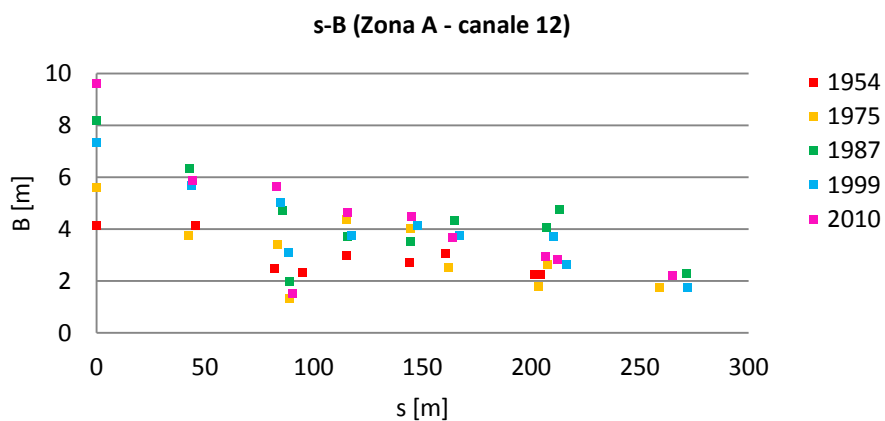


Grafico. 5.2.1.5. Canale 12 – Zona A: relazione tra l'ascissa curvilinea (s) del canale e la larghezza corrispondente (B)

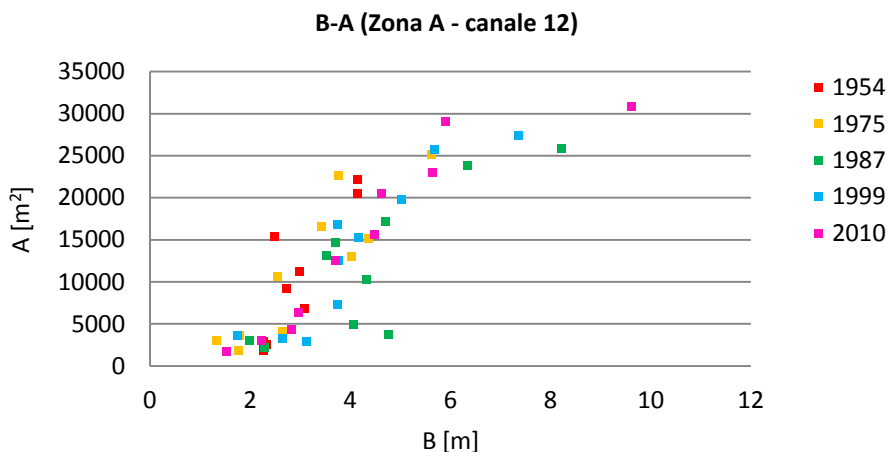


Grafico. 5.2.1.6. Canale 12 – Zona A: relazione tra la larghezza del canale (B) e l'area del bacino afferente (A)

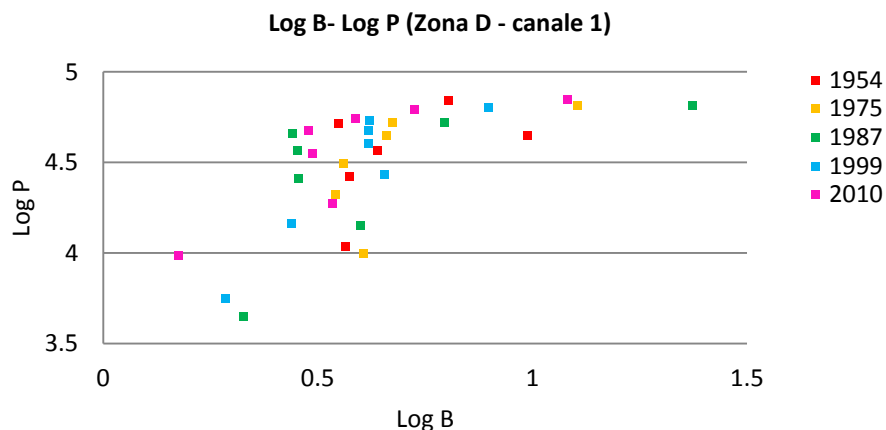


Grafico. 5.2.1.7. Canale 1 – Zona D: relazione logaritmica tra la larghezza del canale in una data sezione (B) e il prisma di marea associato (P)

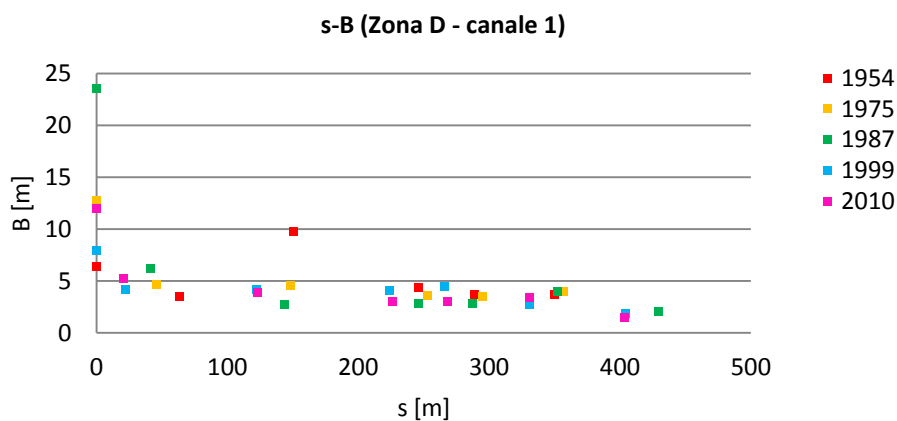


Grafico. 5.2.1.8. Canale 1 – Zona D: relazione tra l'ascissa curvilinea (s) del canale e la larghezza corrispondente (B)

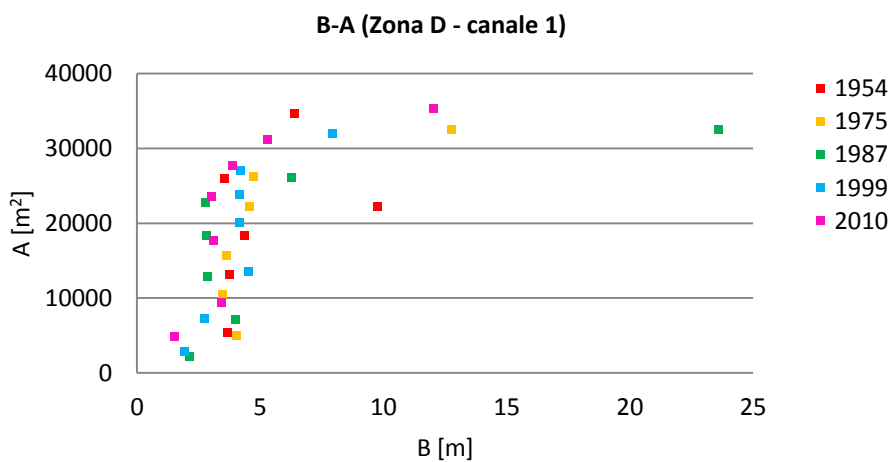


Grafico. 5.2.1.9. Canale 1 – Zona D: relazione tra la larghezza del canale (B) e l'area del bacino afferente (A)

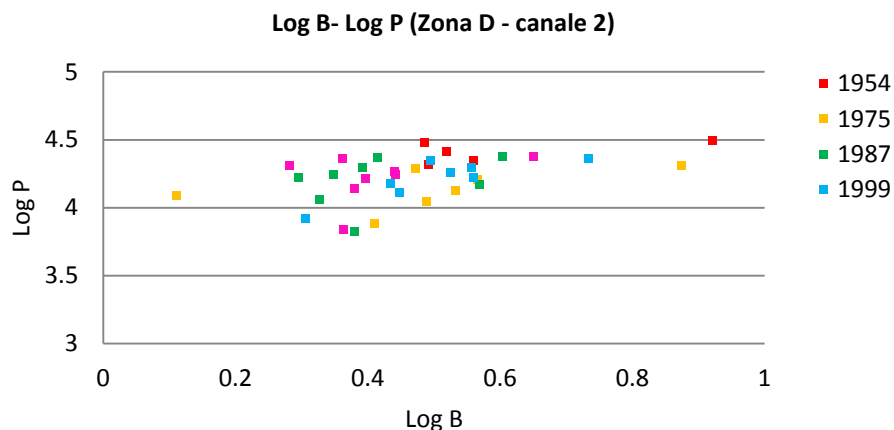


Grafico. 5.2.1.10. Canale 2 – Zona D: relazione logaritmica tra la larghezza del canale in una data sezione (B) e il prisma di marea associato (P)

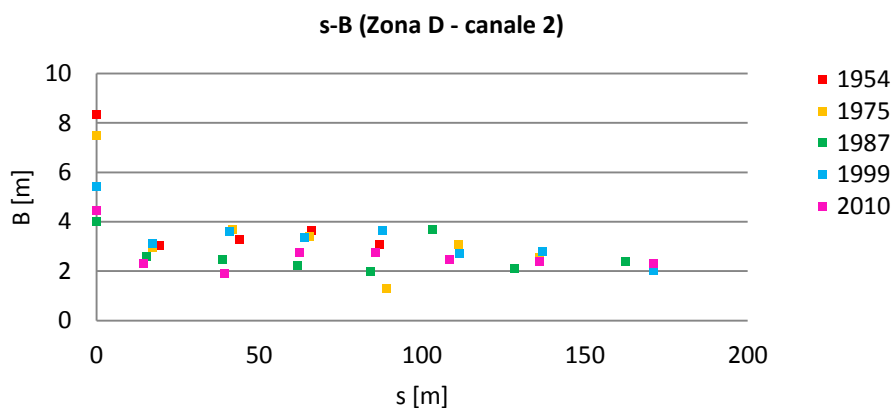


Grafico. 5.2.1.11. Canale 2 – Zona D: relazione tra l'ascissa curvilinea (s) del canale e la larghezza corrispondente (B)

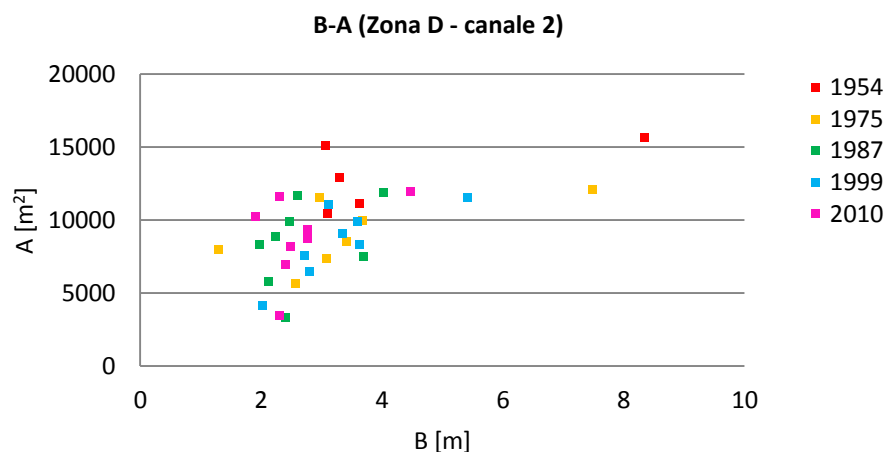


Grafico. 5.2.1.12. Canale 2 – Zona D: relazione tra la larghezza del canale (B) e l'area del bacino afferente (A)

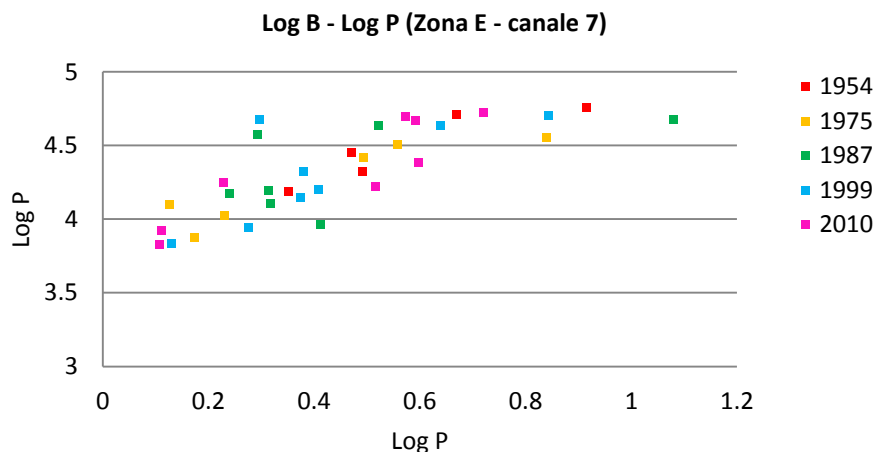


Grafico. 5.2.1.13. Canale 7 – Zona C: relazione logaritmica tra la larghezza del canale in una data sezione (B) e il prisma di marea associato (P)

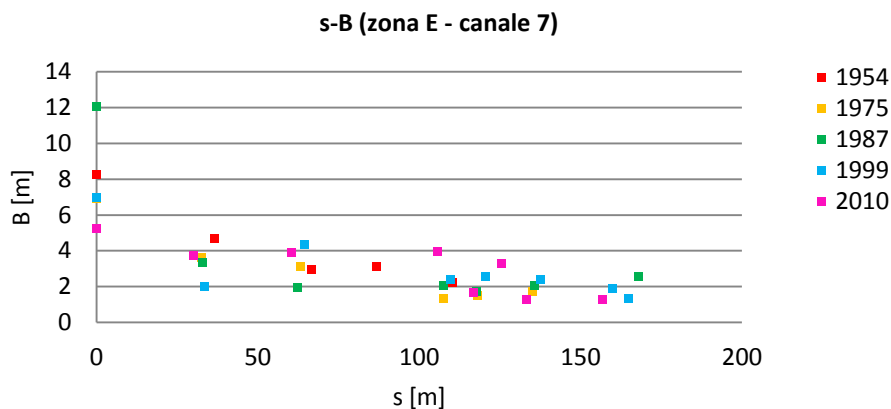


Grafico. 5.2.1.14. Canale 7 – Zona C: relazione tra l'ascissa curvilinea (s) del canale e la larghezza corrispondente (B)

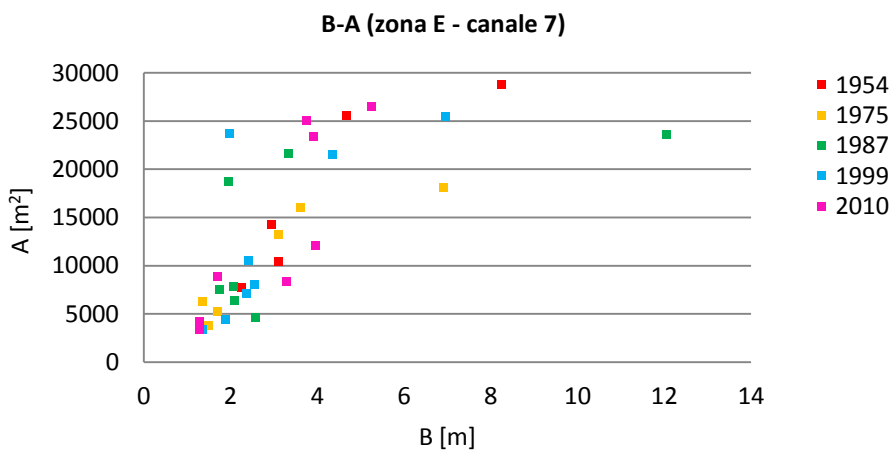


Grafico. 5.2.1.15. Canale 7 – Zona C: relazione tra la larghezza del canale (B) e l'area del bacino afferente (A)

L'analisi dei dati per ciascun singolo canale ha richiesto un ulteriore approfondimento. Infatti, la larghezza di alcune sezioni, in particolare quelle poste in prossimità delle zone di sbocco in canali di maggiore dimensione o direttamente in laguna (cfr. Grafico 5.1.2.1-5.1.2.3 e Grafico 5.1.2.12), presentano valori che sono superiori, rispetto alla larghezza media del canale oggetto di studio, anche di un ordine di grandezza.

Quindi, al fine di ricavare le rette di regressione che l'interpolano, si è svolta un'analisi statistica per evitare che alcuni valori fuori scala (outlayers) influenzassero significativamente il calcolo dei parametri delle rette stesse.

L'analisi è stata condotta ipotizzando che la distribuzione statistica delle larghezze calcolate nelle differenti sezioni di ciascun singolo canale fosse di tipo normale, e che, quindi, i valori misurati oscillassero intorno a un media. L'analisi, che è stata condotta con un livello di significatività al 95%, ha consentito di escludere tutti quei dati che fossero troppo diversi rispetto al valore medio proposto.

I risultati dell'analisi statistica condotta sono riportati nella tabella 5.2.1.27 e, come si può vedere, tutti i dati scartati (in rosso) riguardano sempre le larghezze delle sezioni misurate in prossimità dello sbocco, come già anticipato.

Analisi comportamentale di alcune barene e canali nella Palude di Pagliaga

Zona A - Canale 1					
Sezioni	1954	1975	1987	1999	2010
	B [m]	B [m]	B [m]	B [m]	B [m]
0	30.60	22.63	29.48	30.81	32.76
1	5.68	5.32	4.63	5.8	6.01
2	3.75	6.58	4.74	6.97	5.56
2'		2.29		2.13	1.93
3	4.91	5.69	4.75	4.44	5.91
4	5.6	7.76	4.83	5.32	5.83
5	4.7	3.53	4.26	2.91	5.77
6	3.82	4.86	6.51	4.14	4.71
7	4.05	3.05	5.58	2.06	3.1
8		3.05	2.18	3.59	2.09
9		2.41	1.56	2.05	1.93
10			2.43	1.61	1.04
11			2.68	3.84	1.35
12		1.88	5.73	2.89	2.98
13		2.53	2.66	2.16	1.57
14			3.52	2.41	1.53
15				3.93	0.59
Media	7.89	5.51	5.70	5.12	4.98
Varianza	84.81	29.82	45.38	46.05	55.09
S.q.m	9.21	5.46	6.74	6.79	7.42
Z	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96
Limite s.	25.94	16.21	18.91	18.42	19.53
Limite i.	-10.16	-5.20	-7.50	-8.18	-9.57
Zona A - Canale 12					
Sezioni	1954	1975	1987	1999	2010
	B [m]	B [m]	B [m]	B [m]	B [m]
0	4.14	5.626	8.21	7.35	9.62
1	4.15	3.77	6.34	5.68	5.89
2	2.49	3.43	4.71	5.02	5.65
3	2.98	4.37	3.71	3.75	4.63
4	2.73	4.02	3.53	4.16	4.48
5	3.08	2.54	4.33	3.77	3.7
6	2.26	1.79	4.06	3.74	2.97
7		1.76	2.29	1.74	2.23
8	2.33	1.32	1.99	3.12	1.53
9	2.27	2.64	4.77	2.65	2.83
Media	2.94	3.13	4.39	4.10	4.35
Varianza	0.64	1.84	3.35	2.54	5.45
S.q.m	0.80	1.36	1.83	1.60	2.33
Z	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96
Limite s.	4.50	5.79	7.98	7.22	8.93
Limite i.	1.37	0.47	0.81	0.97	-0.22

Zona D - Canale 1					
Sezioni	1954	1975	1987	1999	2010
	B [m]	B [m]	B [m]	B [m]	B [m]
0	6.37	12.76	23.59	7.91	12.04
1	3.54	4.71	6.25	4.18	5.3
2	9.76	4.57	2.76	4.15	3.88
3	4.35	3.62	2.83	4.14	3.01
4	3.75	3.48	2.85	4.52	3.08
5	3.67	4.05	3.98	2.74	3.42
6			2.12	1.93	1.5
Media	5.24	5.53	6.34	4.22	4.60
Varianza	6.01	10.65	59.71	3.53	12.03
S.q.m	2.45	3.26	7.73	1.88	3.47
Z	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96
Limite s.	10.05	11.93	21.49	7.90	11.40
Limite i.	0.43	-0.87	-8.81	0.54	-2.19
Zona D - Canale 2					
Sezioni	1954	1975	1987	1999	2010
	B [m]	B [m]	B [m]	B [m]	B [m]
0	8.35	7.48	4.02	5.42	4.47
1	3.06	2.97	2.6	3.12	2.3
2	3.3	3.68	2.47	3.6	1.91
3	3.63	3.41	2.23	3.35	2.76
4	3.1	1.29	1.97	3.63	2.77
5		3.08	3.7	2.72	2.49
6		2.57	2.12	2.8	2.4
7			2.4	2.02	2.31
Media	4.29	3.50	2.69	3.33	2.68
Varianza	5.21	3.68	0.57	0.99	0.60
S.q.m	2.28	1.92	0.75	1.00	0.78
Z	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96
Limite s.	8.76	7.26	4.17	5.28	4.20
Limite i.	-0.18	-0.26	1.21	1.38	1.16
Zona C - Canale 7					
Sezioni	1954	1975	1987	1999	2010
	B [m]	B [m]	B [m]	B [m]	B [m]
0	8.24	6.91	12.04	6.96	5.25
1	4.67	3.61	3.33	1.98	3.74
2	2.95	3.11	1.96	4.35	3.9
3	2.25	1.34	2.06	2.4	3.96
4	3.1	1.7	2.08	2.37	3.28
5			2.58	1.35	1.28
6		1.49	1.74	2.56	1.69
7				1.89	1.29

Media	4.24	3.03	3.68	2.98	3.05
Varianza	5.78	3.73	11.88	3.35	2.14
S.q.m	2.40	1.93	3.45	1.83	1.46
Z	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96
Limite s.	8.95	6.81	10.44	6.57	5.92
Limite i.	-0.47	-0.76	-3.07	-0.60	0.18

Tab. 5.2.1.27. Analisi statistica al 95% sulle larghezze calcolate nelle sezioni proposte per tutti i canali analizzati. In rosso, le larghezze scartate nelle successive analisi numeriche perché troppo elevate

In base all'analisi statistica, si sono rifatti i grafici (Grafico 5.2.1.16-5.2.1.30), dove gli outliers, segnati in rosso nella Tabella 5.2.1.27, non sono stati considerati nelle analisi successive e pertanto non compaiono nei grafici success. Inoltre, per evidenziare eventuali tendenze, i dati presentati sono stati interpolati da rette di regressione, i cui parametri sono stati calcolati con l'ausilio delle relazioni 5.3 e 5.4.

$$b = \frac{N \sum_i x_i y_i - \sum_i x_i \sum_i y_i}{N \sum_i x_i^2 - (\sum_i x_i)^2} \quad (5.3)$$

$$a = \frac{\sum_i y_i \sum_i x_i^2 - \sum_i x_i \sum_i x_i y_i}{N \sum_i x_i^2 - (\sum_i x_i)^2} = \bar{y} - b\bar{x} \quad (5.4)$$

Infine, per un confronto migliore dei risultati ottenuti, questi parametri sono stati riportati in Tabella 5.2.1.28, in funzione del singolo canale e dell'anno di osservazione studiato.

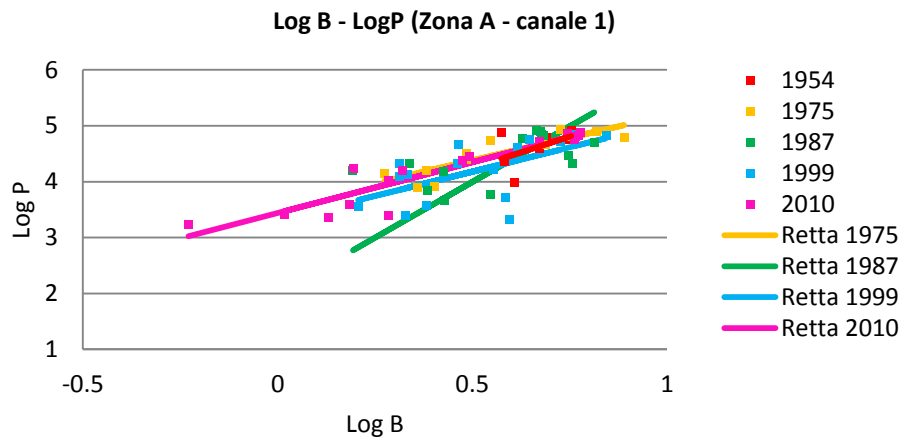


Grafico. 5.2.1.16. Canale 1 – Zona A: relazione logaritmica tra la larghezza del canale in una data sezione (B) e il prisma di marea associato (P)

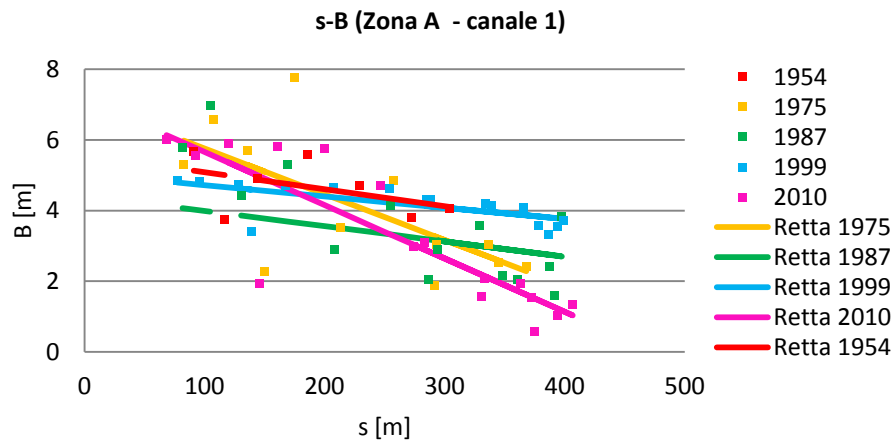


Grafico. 5.2.1.17. Canale 1 – Zona A: relazione tra l'ascissa curvilinea (s) del canale e la larghezza corrispondente (B)

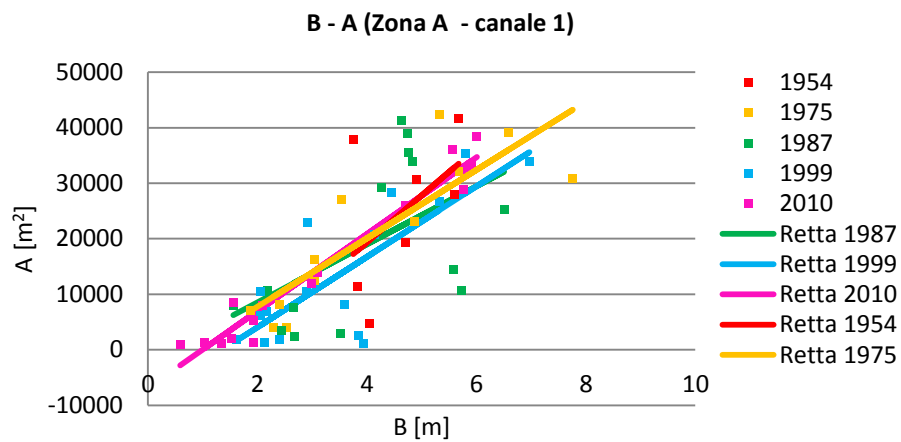


Grafico. 5.2.1.18. Canale 1 – Zona A: relazione tra la larghezza del canale (B) e l'area del bacino afferente (A)

Analisi comportamentale di alcune barene e canali nella Palude di Pagliaga

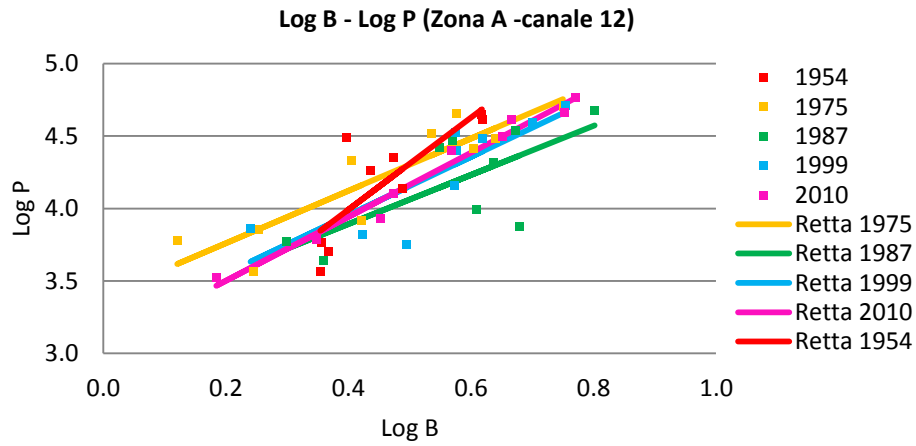


Grafico. 5.2.1.19. Canale 12 – Zona A: relazione logaritmica tra la larghezza del canale in una data sezione (B) e il prisma di marea associato (P)

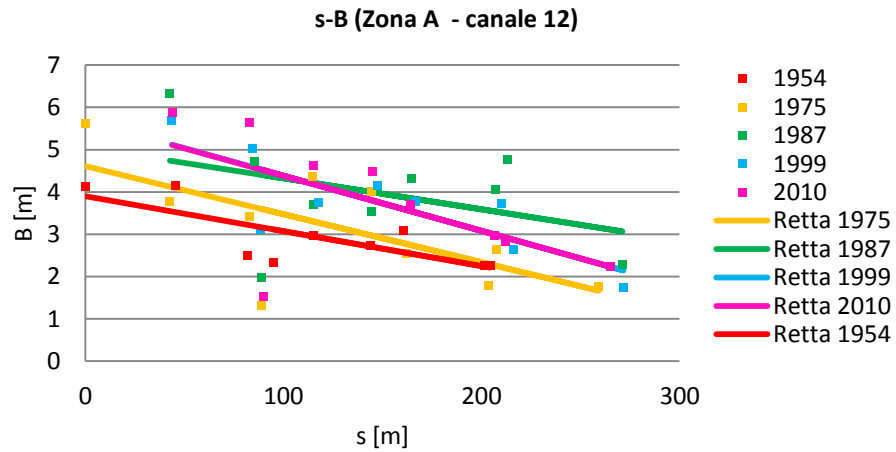


Grafico. 5.2.1.20. Canale 12 – Zona A: relazione tra l'ascissa curvilinea (s) del canale e la larghezza corrispondente (B)

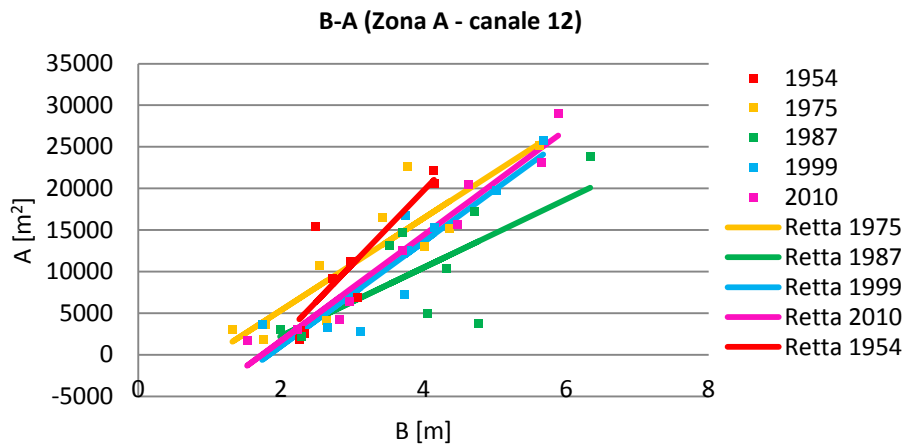


Grafico. 5.2.1.21. Canale 12 – Zona A: relazione tra la larghezza del canale (B) e l'area del bacino afferente (A)

Analisi comportamentale di alcune barene e canali nella Palude di Pagliaga

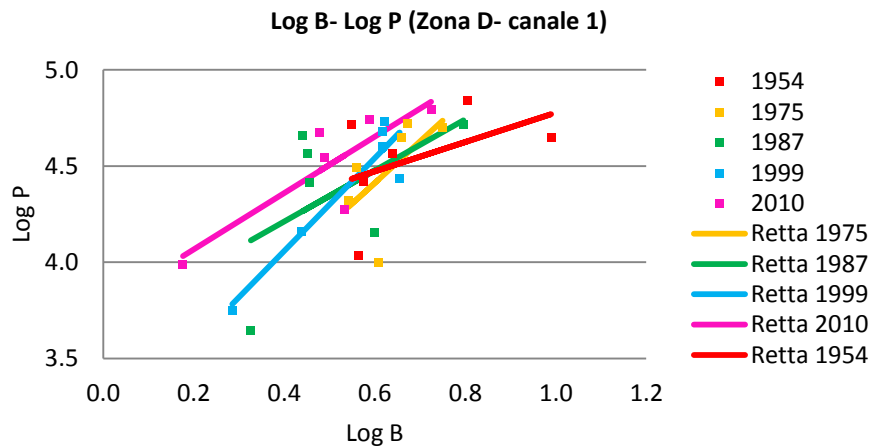


Grafico. 5.2.1.22. Canale 1 – Zona D: relazione logaritmica tra la larghezza del canale in una data sezione (B) e il prisma di marea associato (P)

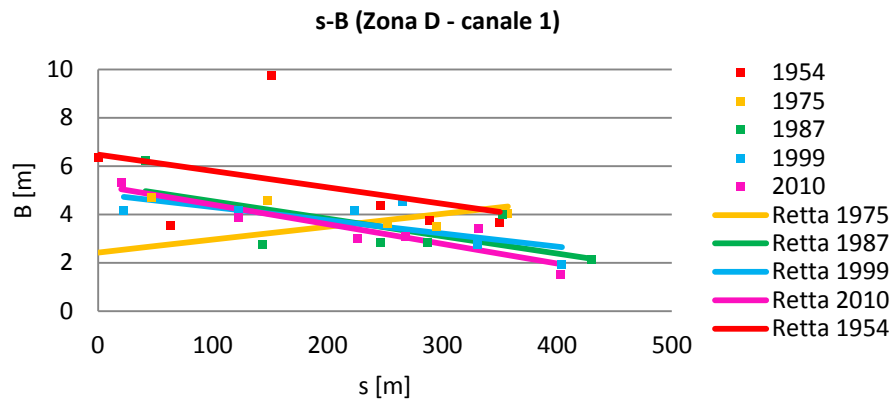


Grafico. 5.2.1.23. Canale 1 – Zona D: relazione tra l'ascissa curvilinea (s) del canale e la larghezza corrispondente (B)

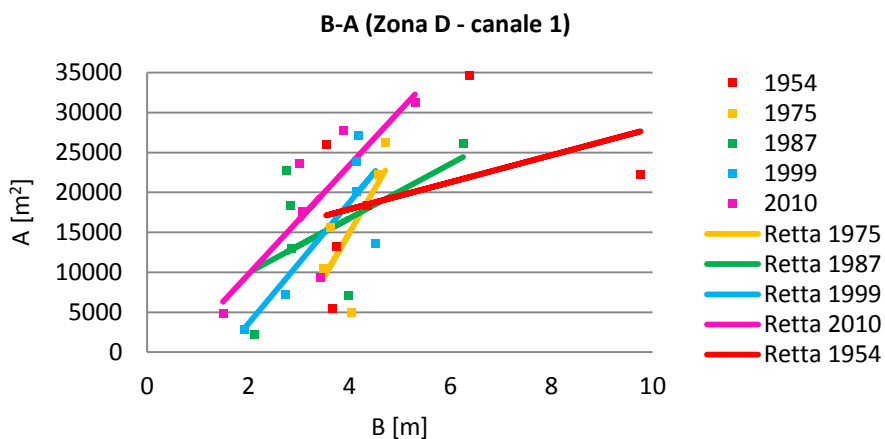


Grafico. 5.2.1.24 Canale 1 – Zona D: relazione tra la larghezza del canale (B) e l'area del bacino afferente (A)

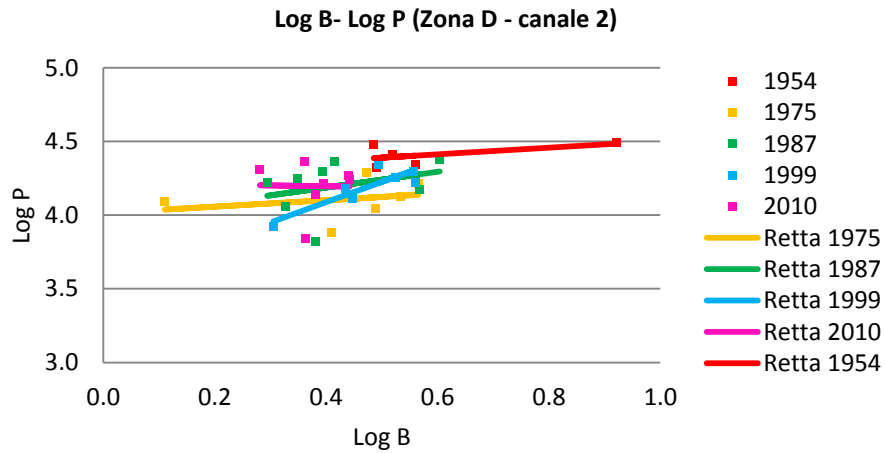


Grafico. 5.2.1.25. Canale 2 – Zona D: relazione logaritmica tra la larghezza del canale in una data sezione (B) e il prisma di marea associato (P)

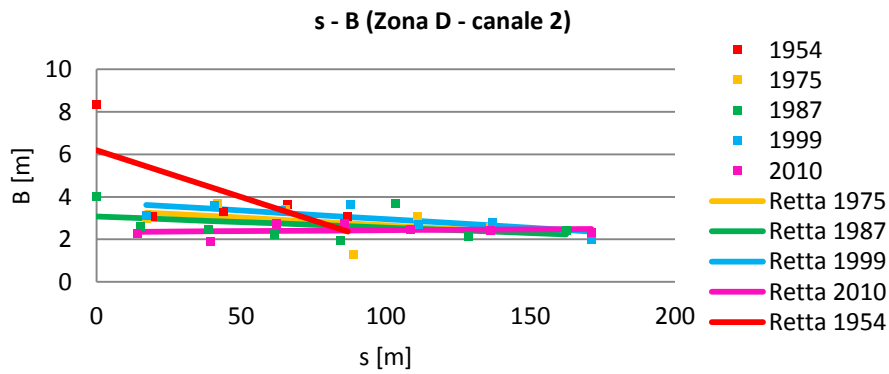


Grafico. 5.2.1.26. Canale 2 – Zona D: relazione tra l'ascissa curvilinea (s) del canale e la larghezza corrispondente (B)

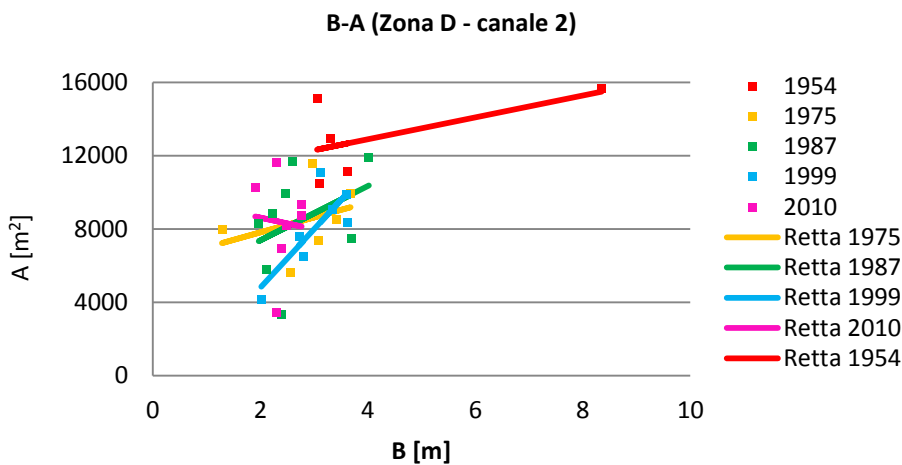


Grafico. 5.2.1.27. Canale 2 – Zona D: relazione tra la larghezza del canale (B) e l'area del bacino afferente (A)

Analisi comportamentale di alcune barene e canali nella Palude di Pagliaga

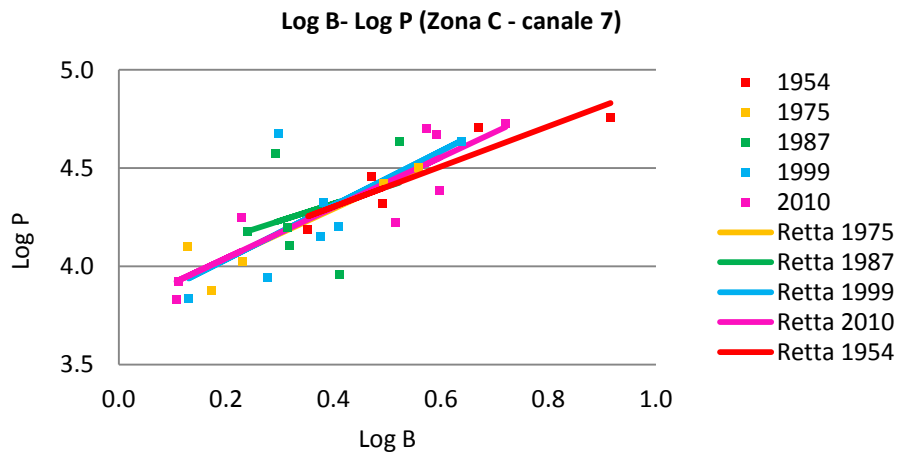


Grafico. 5.2.1.28. Canale 7 – Zona C: relazione logaritmica tra la larghezza del canale in una data sezione (B) e il prisma di marea associato (P)

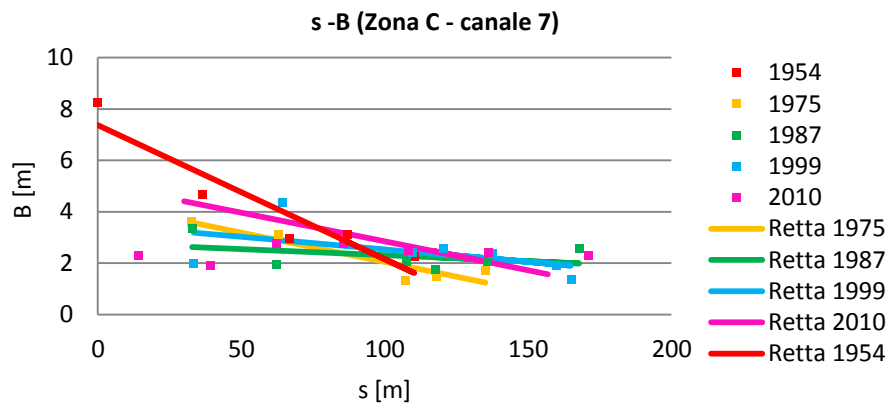


Grafico. 5.2.1.29. Canale 7 – Zona C: relazione tra l'ascissa curvilinea (s) del canale e la larghezza corrispondente (B)

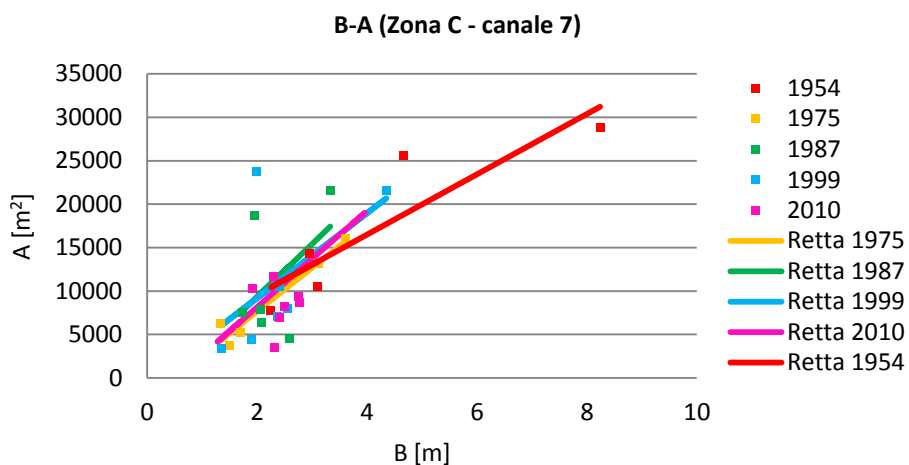


Grafico. 5.2.1.30. Canale 7 – Zona C: relazione tra la larghezza del canale (B) e l'area del bacino afferente (A)

Analisi comportamentale di alcune barene e canali nella Palude di Pagliaga

Parametri rette di regressione relazione log B - Log P												
Area studiata	1954		1975		1987		1999		2010		Media a	Media b
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b		
Zona A - canale 1	3.12	2.24	3.57	1.62	2.00	3.98	3.31	1.74	3.44	1.82	3.09	2.28
Zona A - canale 12	2.72	3.18	3.40	1.81	3.17	1.70	3.15	2.01	3.06	1.70	3.10	2.08
Zona D - canale 1	4.02	0.76	3.12	2.15	3.68	1.33	3.09	2.41	3.77	1.33	3.54	1.60
Zona D - canale 2	4.27	0.23	3.57	0.22	3.97	0.53	3.54	1.38	4.22	0.53	3.92	0.58
Zona C - canale 7	3.89	1.03	3.79	0.93	3.97	0.87	3.76	1.12	3.79	0.87	3.84	0.96
Media	3.61	1.49	3.49	1.35	3.36	1.68	3.37	1.73	3.65	1.25	3.50	1.50
Parametri rette di regressione relazione s - B												
Area studiata	1954		1975		1987		1999		2010		Media a	Media b
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b		
Zona A - canale 1	5.57	-0.0048	7.05	-0.0129	4.43	-0.0043	5.04	-0.0032	7.17	-0.0151	6.00	-0.0085
Zona A - canale 12	3.90	-0.0083	4.61	-0.0113	5.18	-0.0078	5.69	-0.0131	5.68	-0.0130	5.01	-0.0107
Zona D - canale 1	6.48	-0.0068	2.43	0.0053	5.27	-0.0072	4.86	-0.0055	5.22	-0.0081	4.85	-0.0045
Zona D - canale 2	6.19	-0.0440	7.05	-0.0072	3.07	-0.0052	3.77	-0.0081	2.34	0.0009	4.48	-0.0127
Zona C - canale 7	7.38	-0.0522	4.34	-0.0229	2.78	-0.0047	3.52	-0.0098	5.09	-0.0224	4.62	-0.0224
Media	5.91	-0.0232	5.10	-0.0098	4.29	-0.0063	4.57	-0.0079	5.10	-0.0115	4.99	-0.0118
Parametri rette di regressione relazione B - A												
Area studiata	1954		1975		1987		1999		2010		Media a	Media b
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b		
Zona A - canale 1	-14496.52	8453.27	-4596.54	6166.15	-1882.47	5217.84	-8677.46	6352.30	-6912.12	6930.75	-7313.02	6624.06
Zona A - canale 12	-15759.17	8870.12	-5754.15	5539.22	-7108.64	4225.42	-11554.26	6276.44	-11026.74	6349.76	-10240.59	6252.19
Zona D - canale 1	11109.35	1695.14	-28986.23	10984.60	3144.53	3403.91	-11651.32	7599.20	-3944.73	6835.20	-6065.68	6103.61
Zona D - canale 2	10490.82	598.10	-4596.54	823.21	4429.32	1476.06	-1554.67	3177.27	9892.14	-634.79	3732.21	1087.97
Zona C - canale 7	2649.14	3468.43	-2391.45	5023.97	-2897.53	6110.60	-532.70	4874.82	-2925.95	5543.82	-1219.70	5004.33
Media	-1201.27	4617.01	-9264.98	5707.43	-862.96	4086.77	-6794.08	5656.01	-2983.48	5004.95	-4221.36	5014.43

Tab. 5.2.1.28. Valori tabellati dei parametri delle rette di regressione, calcolate elidendo i valori considerati outliers a seguito dell'analisi statistica. Sono stati calcolati i valori medi dei parametri riferiti ad ogni anno di osservazione per il singolo canale che i valori medi, fatti rispetto ai 5 anni osservati, per il singolo anno di osservazione.

Dal confronto tra i grafici proposti (dal Grafico 5.2.1.16 al 5.2.1.30) e i valori riportati nella Tabella 5.2.1.28, è possibile estrapolare alcune particolarità sui canali osservati.

Canale 1 – zona A. Il canale presenta degli andamenti delle diverse caratteristiche misurate comparabili tra loro. Infatti, i logaritmi delle larghezze e dei prismi di marea (funzioni delle aree delineate con il metodo della bisettrice), sono caratterizzati da pendenze delle rette interpolatrici molto vicine tra loro, esclusa quella riferita ai dati del 1987 (in verde nel Grafico 5.2.1.16). La differenza è quasi certamente dovuta alla difficoltà nell'individuare il corretto corso del canale e, conseguentemente, di misurare la larghezza delle sezioni del canale: è possibile, infatti, vedere delle diversità rispetto agli altri layer, in quanto non si è riusciti a individuare il braccio di canale, certamente presente, che consentisse in calcolo della larghezza nella sezione 2'. Analizzando invece il Grafico 5.2.1.17, che riporta la relazione esistente tra l'ascissa curvilinea s dell'asse e la corrispondente larghezza, si vede come la variabilità dei dati sia molto più alta, in conseguenza del fatto che, nel corso degli anni, vi sia stato un arretramento della linea di barena che ha influenzato anche il calcolo dell'ascissa curvilinea (da notare l'aumento di pendenza della retta interpolante i dati del 2010). Il terzo grafico della serie (Grafico 5.2.1.18) mostra che la relazione tra l'area A sottesa dalla sezione e la sua larghezza sono simili per tutti gli anni osservati, eccezion fatta per il biennio 1954-55: questo è dovuto alla dimensione maggiore dei pixel degli aerofotogrammi, che non consente l'individuazione corretta dei canali di minor dimensione e, di conseguenza, non consente un'attribuzione precisa dell'area afferente.

Canale 12 – zona A. A una prima analisi visiva, sembra che i valori misurati riferiti al secondo canale studiato siano più dispersi rispetto a quanto visto in precedenza, effetto probabilmente dovuto anche al minor numero di sezioni che si è riusciti a misurare correttamente. Il Grafico 5.2.1.19, mostra la relazione esistente tra il logaritmo delle larghezze

misurate e quello del prisma di marea corrispondente. Risulta evidente la maggiore pendenza della retta interpolante i dati riferiti al biennio 1954-55. Tale risultato è dovuto alla maggior dimensione dei pixel del rilievo fotografico usato come mappa di base, che comporta misure più grandi delle sezioni della configurazione del biennio 1954-55, rispetto a quelle degli anni successivi. La tendenza è confermata anche dal Grafico 5.2.1.21, che riporta l'area afferente in funzione della larghezza: si nota anche qui la diversa pendenza della rete interpolante i dati del 1987, mentre i dati rappresentanti gli altri layer presentano pendenze molto simili. Situazione differente per quanto riguarda il Grafico 5.2.1.20, che mostra come la distribuzione della larghezza lungo il canale è molto simile per tutti i dati raccolti: la differenza concerne, in questo caso, il valore dell'intercetta, ma questo appare ovvio considerando i dati eliminati nella Tabella 5.2.1.27, dove si può osservare che, in base all'analisi statistica condotta, per i dati riferiti agli anni 1954 e 1975, non è stato possibile eliminare le larghezze calcolate allo sbocco.

Canale 1 – zona D. In questo caso, l'analisi dei dati misurati mostra una grande dispersione e i parametri delle rette interpolanti sono notevolmente variabili. Le differenze principali con i valori medi si osservano per il canale del 1954-55: infatti, osservando la Figura 5.2.1.12, si nota come il corso del suddetto canale sia caratterizzato dalla presenza di anse di notevole dimensione e da ristagni d'acqua che inficiano la corretta misura della larghezza delle sezioni, ma che l'analisi statistica non ha permesso di eliminare. Un esempio di quanto detto riguarda la sezione numero 2, la cui larghezza risulta essere molto elevata a causa dei citati ristagni, ma il cui valore numerico risulta essere inferiore rispetto al limite massimo individuato dell'analisi statistica e che quindi non può essere scartato. La terzina di grafici riferiti al canale in esame (dal Grafico 5.2.1.22 al Grafico 5.2.1.24) mostra come la variabilità riguardi tutti i dati osservati. Inoltre, emerge dal Grafico 5.2.1.23 una tendenza mai osservata prima: la retta interpolante i dati riferiti al 1975 presenta una pendenza

positiva. L'assurda conseguenza di questo fatto sarebbe che, allontanandosi dalla sezione di sbocco, la larghezza del canale andrebbe aumentando: questo risultato, certamente da scartare, è dovuto al numero esiguo delle sezioni utili per una corretta misura della larghezza e al fatto di non aver considerato, a seguito dell'analisi statistica, il dato riferito alla sezione di sbocco.

Canale 2 – D. Il secondo canale situato nella zona meridionale è certamente quello che presenta i dati con la maggior variabilità intrinseca riscontrata (Figure dalla 5.2.1.17 alla 5.2.1.21), fatto dovuto sia all'aumento di estensione del canale stesso, che ha più che raddoppiato la sua lunghezza durante il periodo osservato, sia allo sviluppo delle ramificazioni dei canali limitrofi, che hanno quindi comportato una diversa attribuzione dell'area di bacino afferente. A complicare ulteriormente il confronto tra i dati, vi è da dire che l'analisi statistica ha imposto di non considerare le larghezze delle sezioni di sbocco di tutti i canali, eccetto che del canale riferito al biennio 1954-55, la cui distribuzione delle larghezze risulta quindi decisamente sproporzionata. Pertanto, dai grafici proposti (Grafico 5.2.1.25 al Grafico 5.2.1.27) e dai valori dei parametri interpolanti i dati, emerge una notevole variabilità e, soprattutto, una sequenza di valori assolutamente anomala: i risultati riferiti al layer del 2010, infatti, mostrano, oltre al fenomeno citato nel caso del canale 1 della zona meridionale, riferito all'anno 1975, anche la tendenza dell'area sottesa a diminuire in funzione dell'aumento della larghezza. In questo caso, i risultati ottenuti dipendono non solo dai motivi già citati prima, ma anche dal fatto che il layer è stato trattato in modo da poter essere confrontato con i contorni dei canali riferiti agli anni precedenti.

Canale 7 – zona E. L'ultimo canale analizzato è anche quello che, nonostante l'esiguo numero di sezioni individuate, presenta la minor variabilità registrata. Il Grafico 5.2.1.28, il primo della terzina, è, infatti, quello che tra tutti consente di apprezzare meglio quanto i dati riferiti ai

diversi anni di osservazione siano simili e, inoltre, nella Tabella 5.2.1.28 è possibile vedere come le pendenze delle rette di regressione presentino un coefficiente b molto vicino al valore medio calcolato (di conseguenza, anche il Grafico 5.2.1.30 presenta pendenza delle rette di regressione vicine tra loro). Il fatto che, anche in questo caso l'analisi statistica non abbia concesso di escludere, per ciascun anno studiato, il dato relativo alla sezione di sbocco, ha come conseguenza che la pendenza della retta interpolante le larghezze delle sezioni e la corrispondente ascissa curvilinea riferita al biennio 1954-55 sia leggermente maggiore rispetto al valore medio.

Infine, si è voluto calcolare il valore della pendenza della retta interpolante i dati del logaritmo delle larghezze e del prisma di marea, e confrontare i risultati ottenuti con l'esponente $6/7$ proposto da Marchi. I risultati, riportati nella Tabella 5.2.1.29, non si avvicinano al valore proposto e differiscono non solo tra i differenti canali, ma anche all'interno dei diversi anni di osservazione.

	1954	1975	1987	1999	2010	Media
	b	b	b	b	b	
Zona A - canale 1	2.24	1.62	3.98	1.74	1.82	2.28
Zona A - canale 12	3.18	1.81	1.70	2.01	2.21	2.18
Zona D - canale 1	0.76	2.15	1.33	2.41	1.46	1.62
Zona D - canale 2	0.23	0.22	0.53	1.38	-0.05	0.46
Zona C - canale 1	1.03	0.93	0.87	1.12	1.27	1.04
Media	1.49	1.35	1.68	1.73	1.34	1.52

Tab. 5.2.1.29. Pendenze della rette interpolanti i dati riferiti ai logaritmi delle larghezze e dei prismi di marea misurati e calcolati

Per terminare l'analisi dei canali studiati, si riporta una breve sezione dedicata al commento dei risultati ottenuti.

- Come già detto, l'analisi statistica condotta presenta alcuni limiti, poiché non è vero che la larghezza dei canali tenda a un valore medio, ma piuttosto presenta le dimensioni maggiori in prossimità delle sezioni di sbocco, che diminuiscono via che ci

si addentra all'interno della barena. Tuttavia, la bontà di questo tipo di metodologia sta nell'aver identificato un criterio oggettivo che ha consentito di escludere i dati fuori scala, tenendo conto anche del fatto che i valori non considerati sono riferiti alle sezioni di sbocco, soggette in modo drastico all'azione erosiva portata dalla marea che, a causa della regressione della linea di costa, inficia una corretta valutazione dell'ascissa curvilinea s.

- Aver considerato nell'analisi canali con larghezze superiori alla dimensione dei pixel dei rilievi fotografici ha evitato errori rilevanti nella misura delle caratteristiche elencate.
- Il metodo della bisezione è un metodo che non consente di individuare con precisione l'area afferente a un canale, in quanto non si considera il diverso gradiente legato alla quota e altri eventuali fattori. In mancanza di batimetria però, il risultato ottenuto si è rivelato abbastanza buono, essendo comunque l'ambiente barenale privo di gradienti altimetrici elevati.
- In conclusione, l'analisi ha permesso di vedere che, per ogni singolo canale, configurazioni relative a diversi anni di osservazioni mostrano, in generale, pendenze simili delle rette interpolanti le diverse caratteristiche. I risultati migliori si sono ottenuti per i canali compresi all'interno della zona A, probabilmente a causa dal maggior numero di sezioni considerate, e per il canale situato nella zona C, per il quale si è individuata con maggior precisione l'area afferente. I canali posti nella zona D, forse più soggetti all'azione antropica dovuta al moto ondoso, hanno presentato notevoli difficoltà nella determinazione di sezioni corrette da considerare, sia per l'andamento particolare dell'asse (canale 1) sia per l'aumento di estensione di ramificazioni dei canali adiacenti (canale 2): le difficoltà si sono ripercosse nei grafici e nella determinazione

dei parametri delle rette interpolatrici che, in certi casi, hanno portato a risultati assurdi.

- Nonostante si siano riusciti a ottenere dei buoni risultati analizzando il singolo canale, la descrizione generale delle relazioni che legano le caratteristiche dei canali della Palude di Pagliaga appare difficile, a causa delle azioni antropiche o naturali che, localmente, contribuiscono alla modifica dell'andamento planimetrico dei canali.

Ringraziamenti

I miei più sinceri ringraziamenti vanno al prof. Stefano Lanzoni, per la straordinaria disponibilità dimostrata durante tutto il percorso che ha portato alla realizzazione della presente tesi, e per l'attenzione con cui ha ascoltato e analizzato ogni sviluppo del lavoro, motivandomi, con il suo entusiasmo, a svolgerlo al meglio delle mie possibilità.

Ringrazio anche i prof. Luca Carniello, Andrea D'Alpaos, Marco Marani e l'Ing. Enrica Belluco per il vivo interesse con cui hanno ascoltato l'esposizione dei risultati proposti, per i nuovi spunti di analisi forniti e per i consigli pratici dati.

Ringrazio anche l'Ing. Alberto Bulfon per i dati forniti riguardanti l'area di studio delle Casse di Colmata e le numerose informazioni.

Esprimo infine un ringraziamento speciale alla mia famiglia per avermi sempre splendidamente sostenuto e motivato, non soltanto durante questo lavoro ma durante tutto il difficile percorso universitario, e alla mia ragazza Agnese, che mi ha incessantemente incoraggiato, senza farmi mai mancare la sua incredibile fiducia e il suo costante appoggio, per me fondamentali.

Venezia, 28 marzo 2014

Marco Rado

Bibliografia

Fagherazzi S., Bortoluzzi A., Dietrich W. E., Adami A., Lanzoni S., Marani M., Rinaldo A., “Tidal networks 1. Automatic network extraction and preliminary scaling features from DTMs”, *Water Resources Research*, vol. 35(12), p. 3891-3904, 1999.

Rinaldo A., Fagherazzi S., Lanzoni S., Marani M., Dietrich W. E., “Tidal networks 3. Landscape-forming discharges and studies in empirical geomorphic relationship”, *Water Resources Research*, 35(12), 3919-3929, 1999.

Rinaldo A., Fagherazzi S., Lanzoni S., Marani M., Dietrich W. E., “Tidal networks 2. Watershed delineation and comparative network morphology”, *Water Resources Research*, 35(12), 3905-3917, 1999.

Solari L., Seminara G., Lanzoni S., Marani M. and Rinaldo A., “Sand bars in tidal channels. Part two: Tidal meanders”, *Journal of Fluid Mechanics*, 451, 203-238, 2002.

Lanzoni S., Seminara G., “Long term evolution and morphodynamic equilibrium of tidal channels”, *Journal of Geophysical Research-Oceans*, 107(C1), art. 3001, 2002.

Marani M., Lanzoni S., Zandolin D., Seminara G., Rinaldo A., “Tidal meanders”, *Water Resources Research*, 38(11), 1225, doi:10.1029/2001WR000404, 2002.

Marani M., Bellucco E., D'Alpaos A., Defina A., Lanzoni S., Rinaldo A., “On the drainage density of tidal networks”, *Water Resources Research*, 39(2), 1040, doi:10.1029/2001WR001051, 2003.

Marani M., Lanzoni S., Silvestri S., Rinaldo A., “Tidal landforms, patterns of halophytic vegetation and the fate of the lagoon of Venice”, *Journal of Marine Systems*, 51(1-4), 191-210, 2004.

D'Alpaos A., Lanzoni S., Marani M., Fagherazzi S., Rinaldo A., “Tidal network ontogeny: channel initiation and early development”, *Journal of Geophysical Research-Earth Surface*, 110, F02001, doi:10.1029/2004JF000182, 2005.

Feola A., Belluco E., D'Alpaos A., Lanzoni S., Marani M., Rinaldo A., “A geomorphic study of lagoonal landforms”, *Water Resources Research*. 41, W06019, doi:10.1029/2004WR003811, 2005.

D'Alpaos A., Lanzoni S., Mudd S.M., and Fagherazzi S., “Modelling the influence of hydroperiod and vegetation on the cross-sectional formation of tidal channels”, *Estuarine, Coastal and Shelf Science* , 69, 311-324, 2006

Lanzoni S., and Seminara G., “On the nature of meander instability”, *Journal of Geophysical Research-Earth Surface*, 111, F04006, doi:10.1029/2005JF000416, 2006.

D'Alpaos A., Lanzoni S., Marani M., Bonometto A., Cecconi G. and Rinaldo A., “Spontaneous tidal network formation within a constructed salt marsh: observations and morphodynamic modeling”, *Geomorphology*, 91, 186-197, 2007

D'Alpaos A., Lanzoni S., Marani M., Rinaldo A., (2009), “On the O'Brien-Jarrett-Marchi law”, *Rend. Fis. Acc. Lincei*, 20:225-236, doi:10.1007/s12210-009-0052-x.

Gregory Hood W., “A conceptual model of depositional, rather than erosional, tidal channel development in the rapidly prograding Skagit River Delta (Washington, USA)”, *Earth Surf. Process. Landforms* 31, 1824–1838 (2006)

Toffolon M., “*Sulla formazione dei meandri lagunari: teoria di stabilità lineare*”, 1998

Giacomini E.,, “ *La tura di Treporti alla Bocca di Lido – Venezia: simulazione numerica delle fasi di costruzione*”, 2009

Stefanon L., “*Analisi sperimentale sulla nascita e sullo sviluppo delle reti a marea generate in laboratorio*”, 2011

Molmenti P. G.,” *La storia di Venezia nella vita privata*”, Edizioni Lint Trieste, 1973

Chinello I., “*Venezia - Porto Marghera 1902-1926. Alle origini del problema di Venezia*”, [Marsilio Editore](#), 1979

Senofonte, “*Anabasi*”, BUR, 2004

Osservatorio naturalistico della Laguna del Comune di Venezia, con la collaborazione di CNR – Istituto di Scienze Marine di Venezia , “*Atlante della Laguna: Venezia tra terra e mare*”, Marsilio Editore, 2010

Laguna di Venezia (Internet), consultato il 12 gennaio 2014.

Disponibile all’indirizzo:

[http://it.wikipedia.org/wiki/Laguna di Venezia](http://it.wikipedia.org/wiki/Laguna_di_Venezia)

Magistrato alle acque di Venezia (Internet), consultato il 14 gennaio 2014.

Disponibile all'indirizzo: <http://www.magisacque.it/ilmav.htm>

Appunti per un secolo di storia di Porto Marghera (Internet), capitolo 2 (consultato il 15 gennaio 2014, modificato per l'ultima volta il 1 luglio 2004).

Disponibile all'indirizzo:

www.centrostudiluccini.it/pubblicazioni/libri/annale4/cap_2.pdf

Aerofotogrammetria (Internet), consultato il 16 gennaio 2014.

Disponibile all'indirizzo:

<http://it.wikipedia.org/wiki/Aerofotogrammetria>