

CONOSCENZA E FUTURO DEI BASSI FONDALI

**VARIABILITÀ DEI PARAMETRI CHIMICO-
FISICI IN AMBIENTE LAGUNARE: UTILIZZO
SPERIMENTALE DI SISTEMI DI
MISURAZIONE
IN CONTINUO**

ARPA FVG

Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente Friuli Venezia Giulia

Dott. Alessandro Acquavita

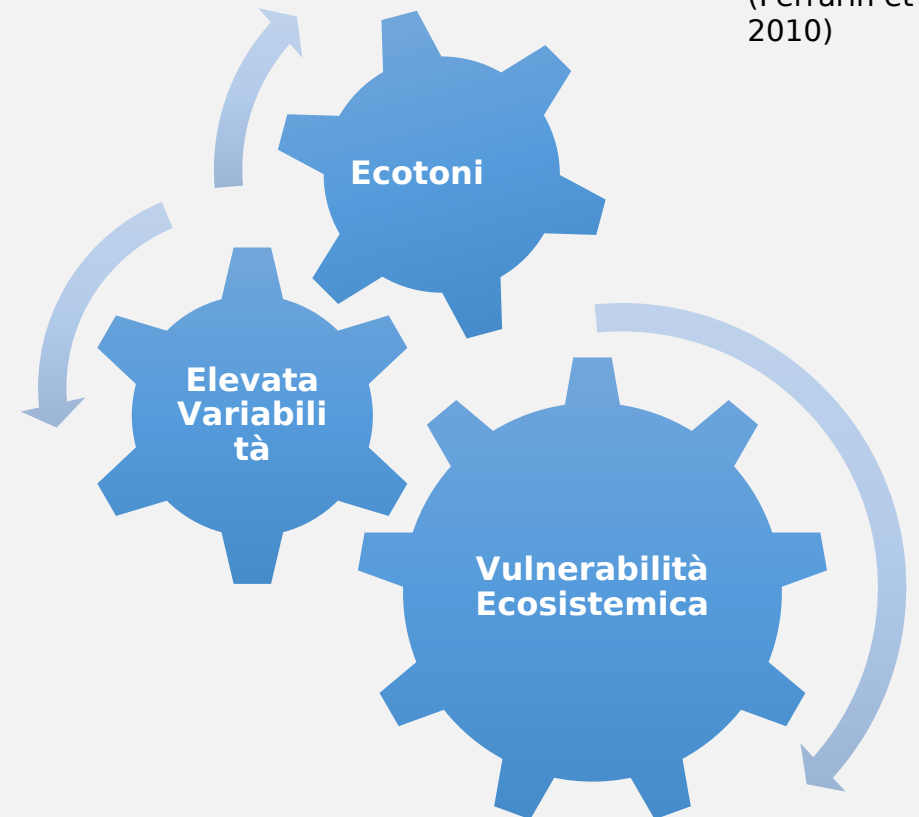
Dott. Federico Pittaluga

Dott. Nicola Venica

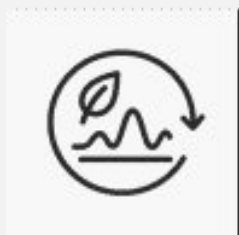
LA LAGUNA COME SISTEMA DINAMICO E VULNERABILE



(Ferrarin et al 2010)



I MONITORAGGI A CONFRONTO



Variabilità
temporale e
migliore
comprensio
ne di
processi



Rilevamento
eventi critici
in qualsiasi
condizione
meteo



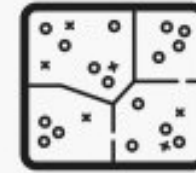
Riduzione dei
costi
operativi nel
lungo
termine



Creazione di
serie
storiche
robuste



Minore
accuratezza e
possibile deriva
dei sensori



Copertura
spaziale
limitata

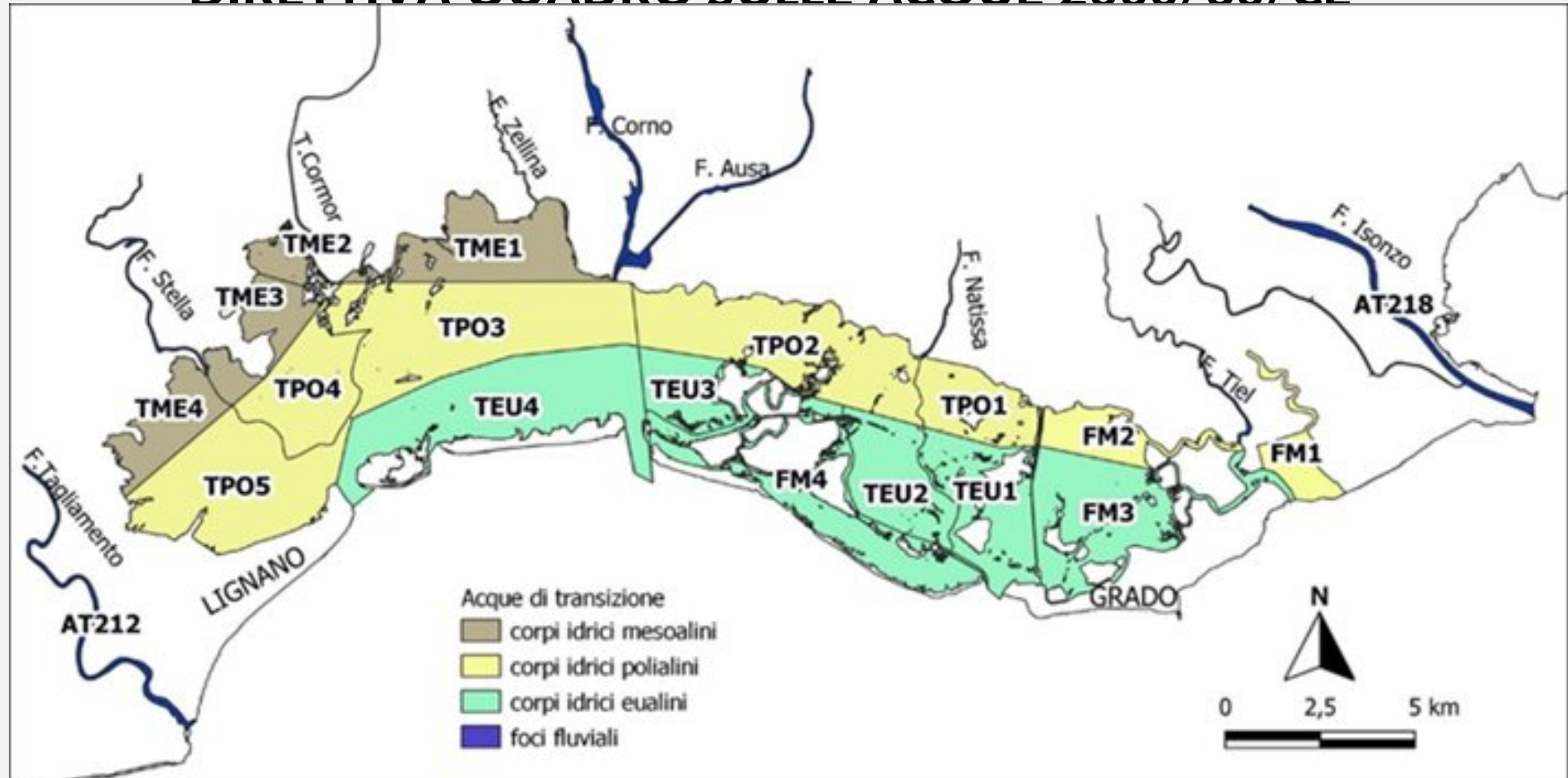


Riparazioni e
manutenzioni
posso portare
alla perdita di
dati

Differenze nella *risoluzione temporale* e nella capacità di intercettare *eventi transitori*

IL QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO

DIRETTIVA QUADRO SULLE ACOUE 2000/60/CE



- Ossigeno disciolto;
- Clorofilla *a*.

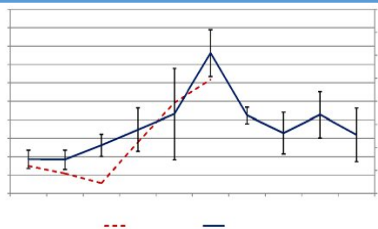
(Acquavita et al
2024)

SCOPO E OBIETTIVI



VALUTARE L'EFFICACIA DEL MONITORAGGIO IN CONTINUO

- Risoluzione temporale e capacità di intercettare eventi transitori



ANALIZZARE LA VARIABILITA' INFRA-GIORNALIERA

- Dinamiche diurne, mareali e stagionali dei parametri chimico-fisici



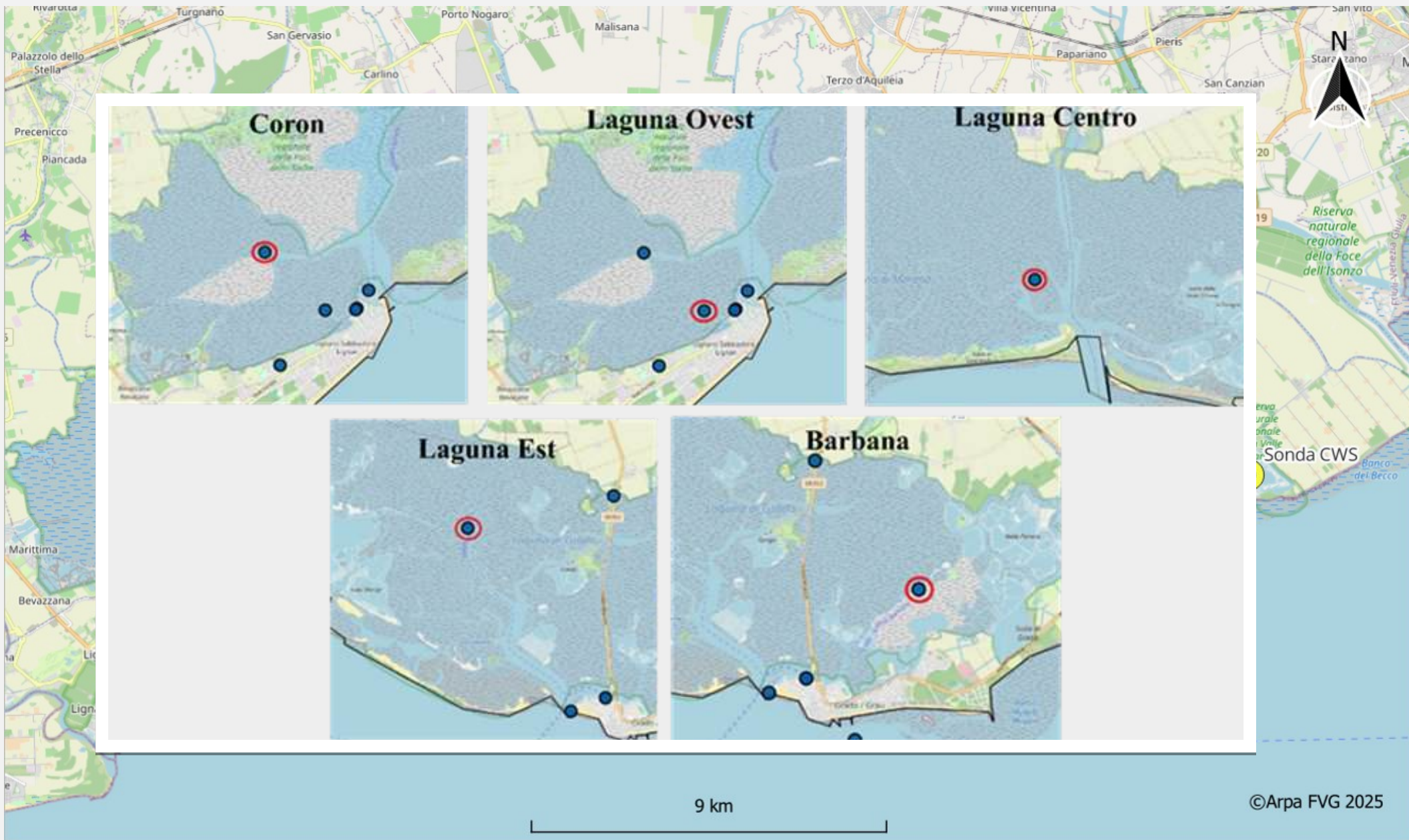
VALIDARE IL PROTOCOLLO DI QUALITA' DEI DATI

- Controllo, filtraggio e robustezza dell'analisi statistica

AREA DI STUDIO

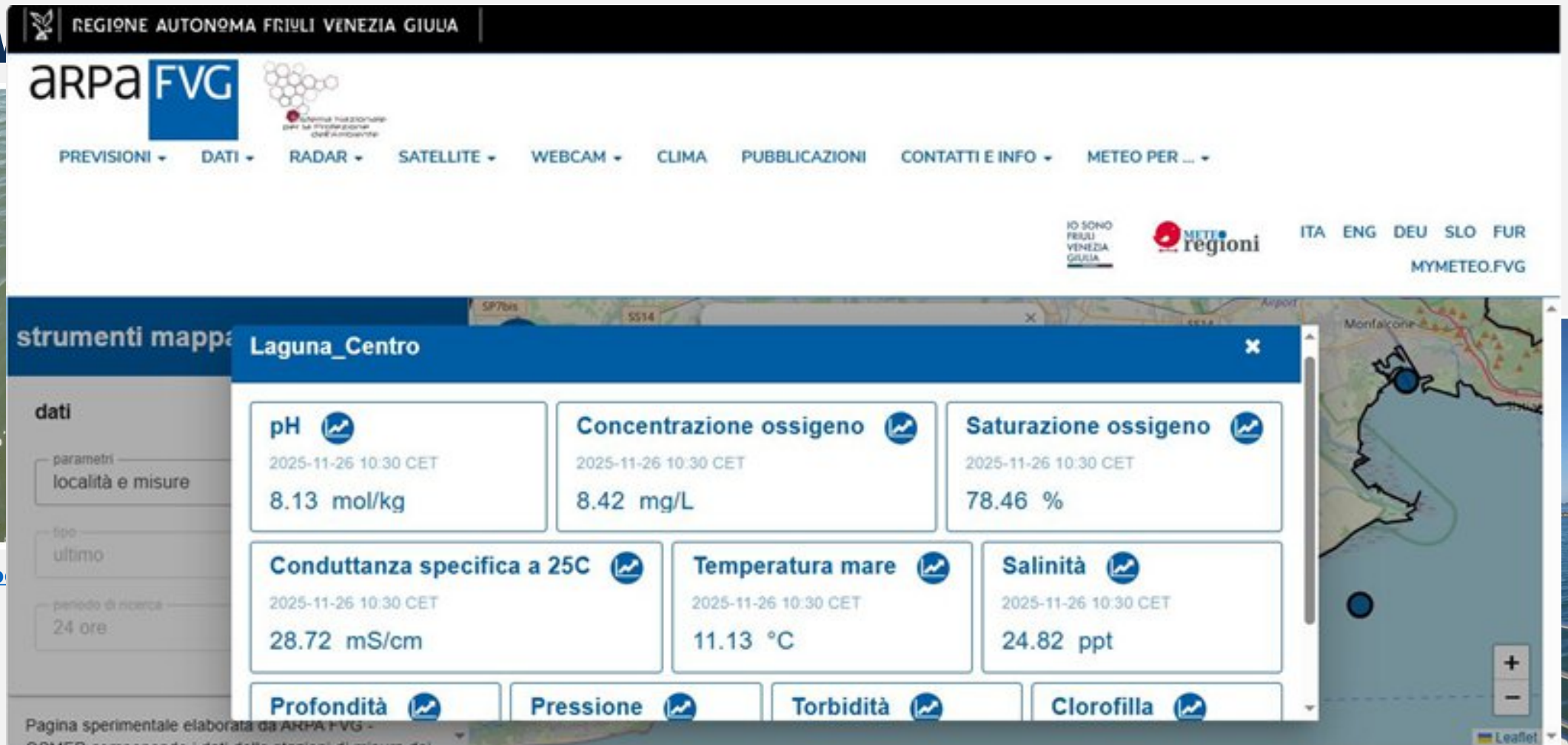


SITI DI MONITORAGGIO



STRUMENTAZIONE

W



Bro

PARAMETRI ANALIZZATI

TEMPERATURA

Influenza tutti i processi biologici. Variazioni anomale indicano possibili alterazioni ecosistemiche.

SALINITÀ

Determina la distribuzione delle specie. È influenzata da maree e apporti fluviali.

OSSIGENO DISCIOLTO

Essenziale per la vita acquatica. Valori bassi o eccessivamente elevati possono indicare distrofie.



CLOROFILLA a

Indicatore della biomassa fitoplanctonica. Parametro utile nella valutazione della produttività primaria e stato trofico.

TORBIDITÀ

Indicatore diretto della concentrazione di solidi sospesi. Impatta sulla fotosintesi e sull'intero ecosistema.

Sito	Periodo acquisizione	Temperatura	Salinità	Ossigeno	Clorifilla a	Torbidità
CORON	aprile-agosto (2019-2025)	x	x	x (solo 2025)		x
LAGUNA OVEST	aprile-agosto 2025	x	x	x	x	x
LAGUNA CENTRO	aprile-luglio 2025	x	x	x	x	x
LAGUNA EST	aprile-agosto 2025	x	x	x	x	x
BARBANA	aprile-agosto (2019-2025)	x	x	x (solo 2025)		x

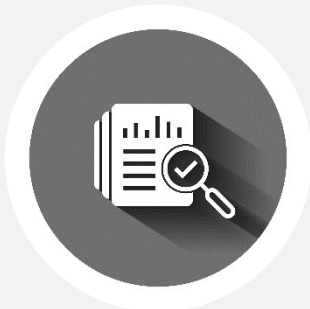
PROTOCOLLO DI VALIDAZIONE DATI

Qualità e formattazione del dataset

- Trasformazione dei dati acquisiti su base oraria (*Phyton*);
- Prima pulizia del dato relativamente al range operativo;

Metodo statistico basato sull'Intervallo Interquartile (IQR)

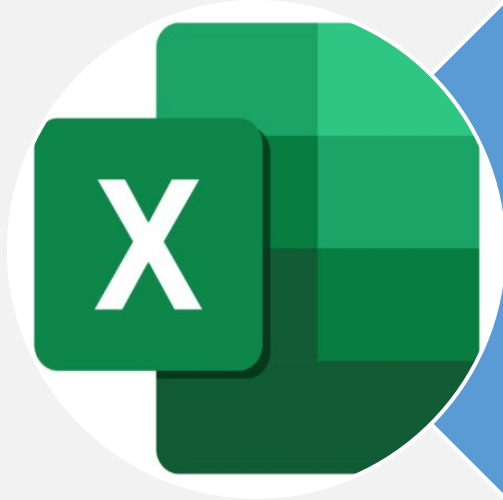
- Individuazione degli outlier statistici;
- Esclusione/inclusione dei valori anomali tramite valutazione approfondita;



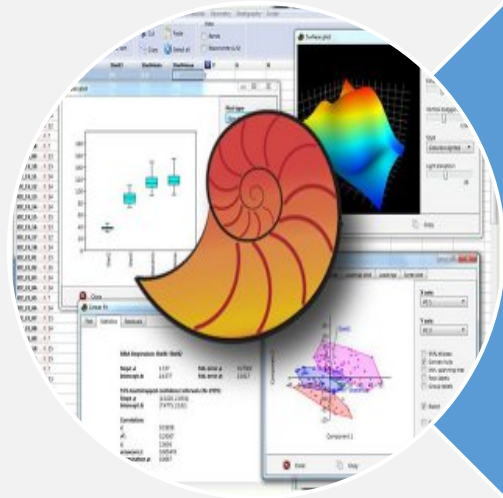
Validazione Incrociata

- Analisi delle relazioni tra parametri misurati (ad es. temperatura e ossigeno disciolto, torbidità e clorofilla *a*...).

ANALISI STATISTICA



Impostazione dei dati
originali ed
elaborazioni di base

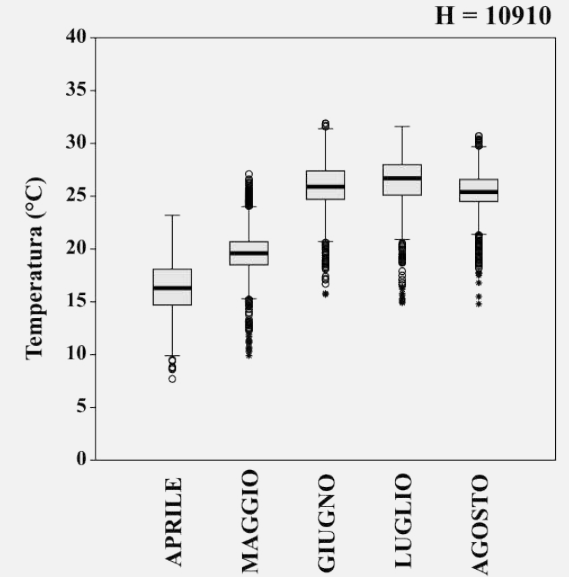
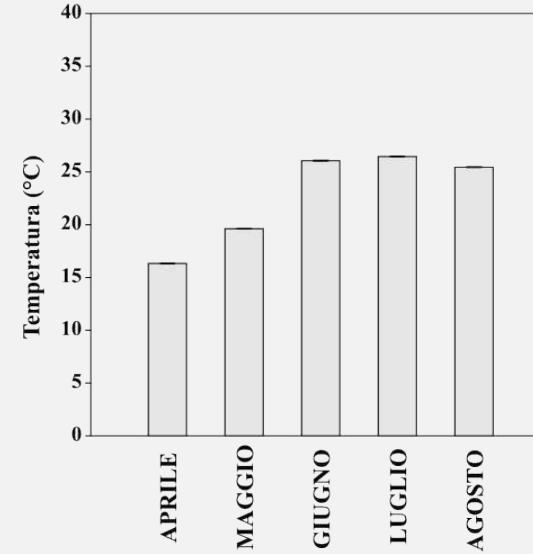
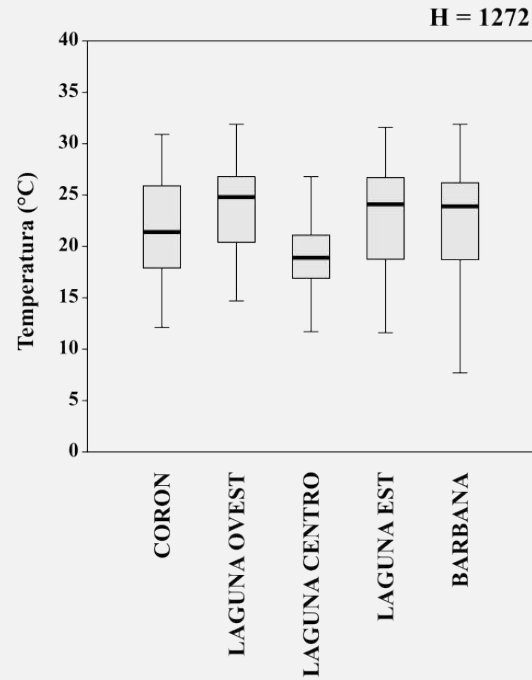
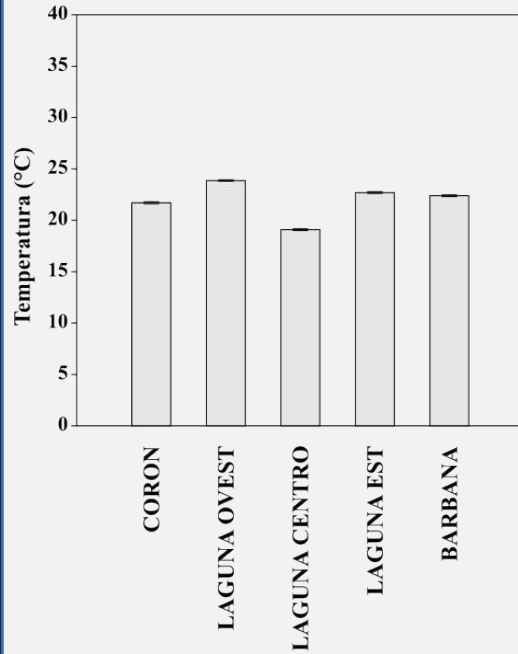


Analisi uni- e multivariate:
Shapiro Wilk test
Kruskall Wallis test
Dunn's post hoc test
Mann Kendall trend test

RISULTATI e CONSIDERAZIONI



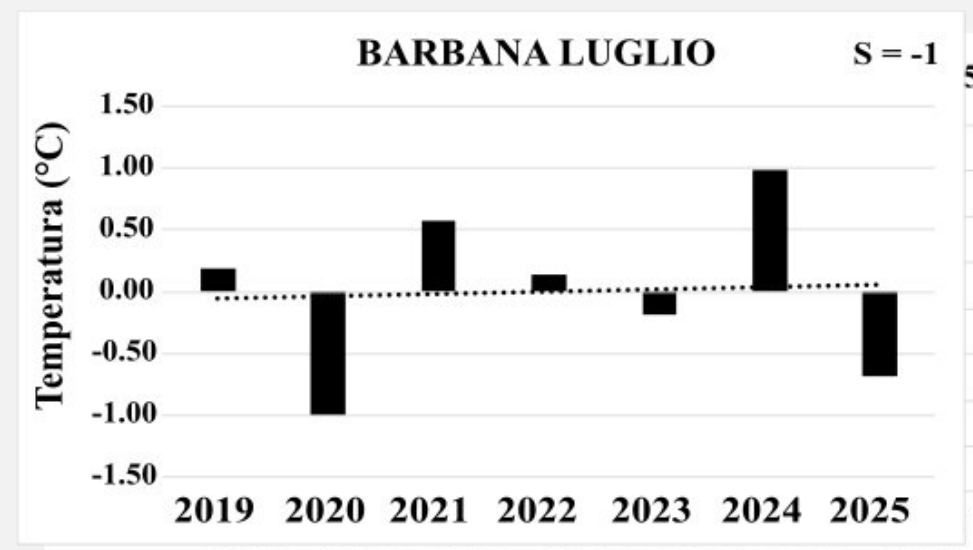
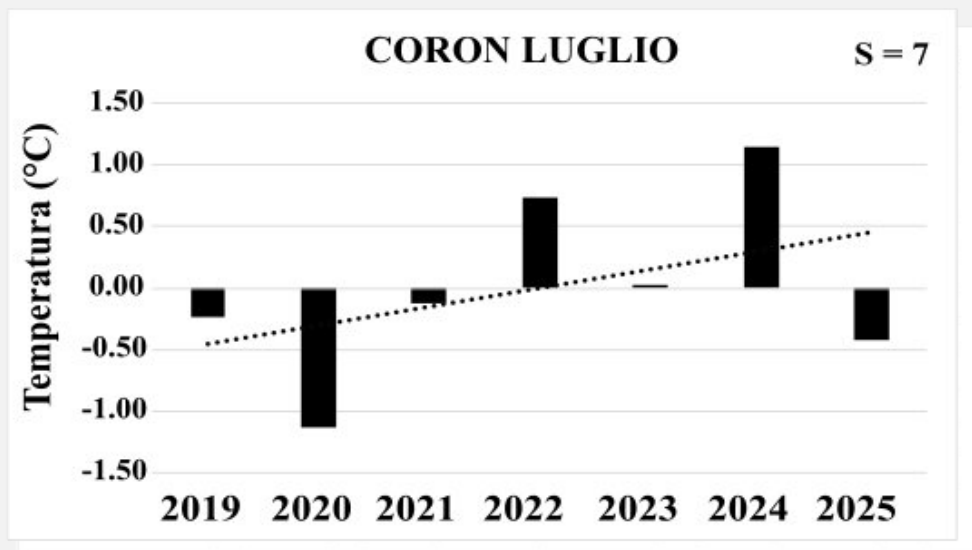
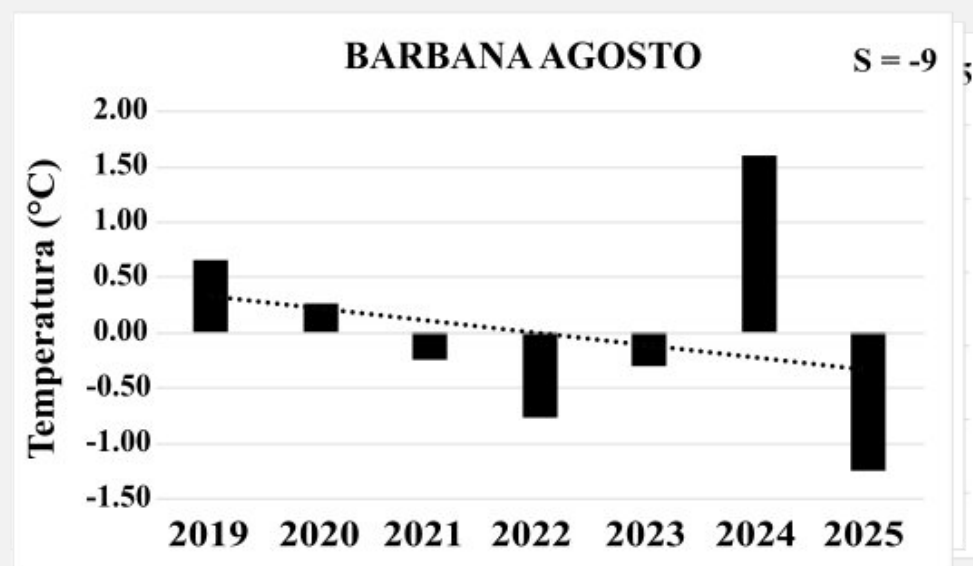
TEMPERATURA



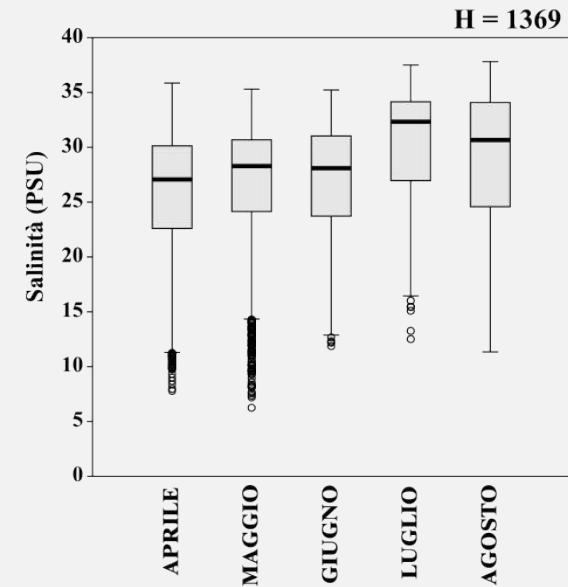
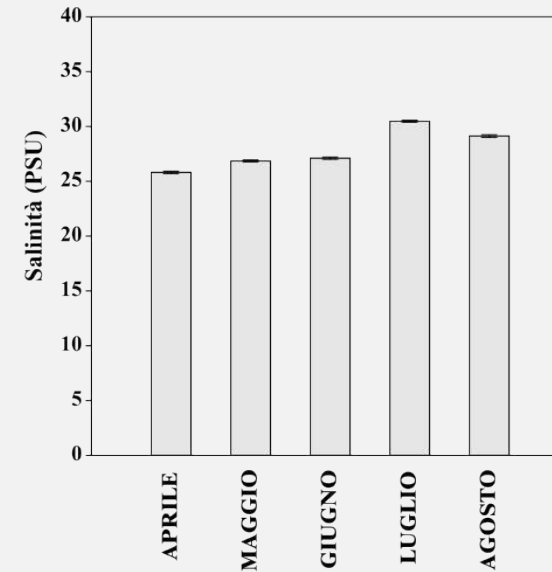
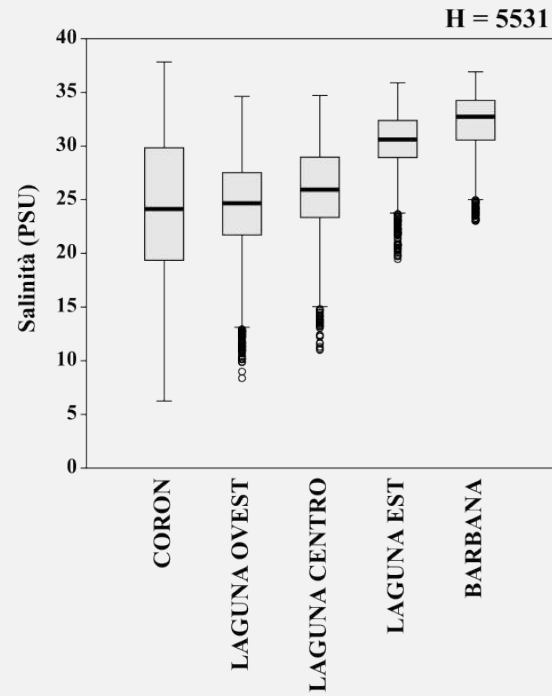
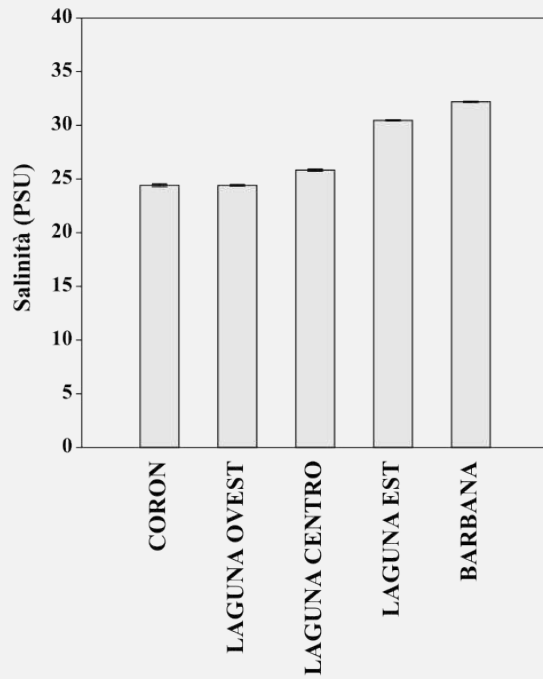
Incremento
progressivo
primaverile-estivo

Variabilità
spaziale non
significativa

Escursione
infra-
giornaliera
marcata



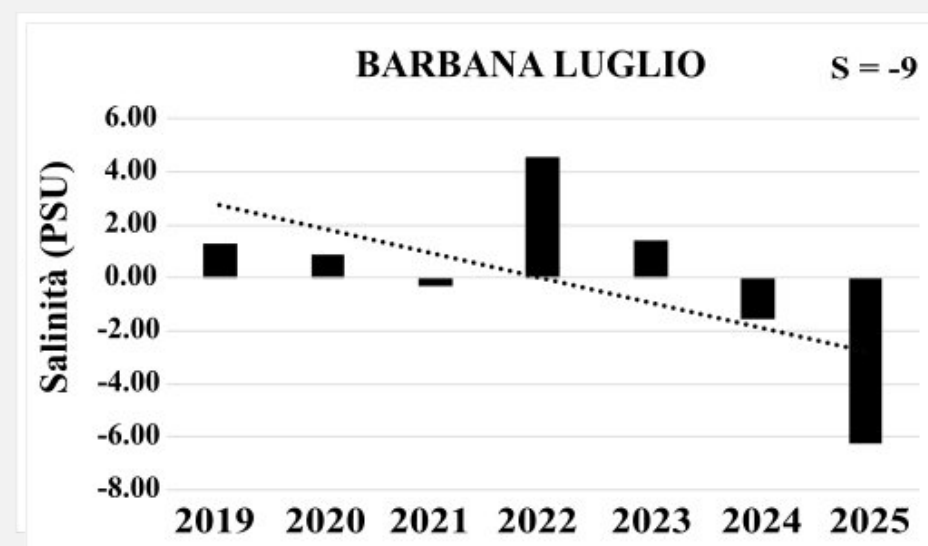
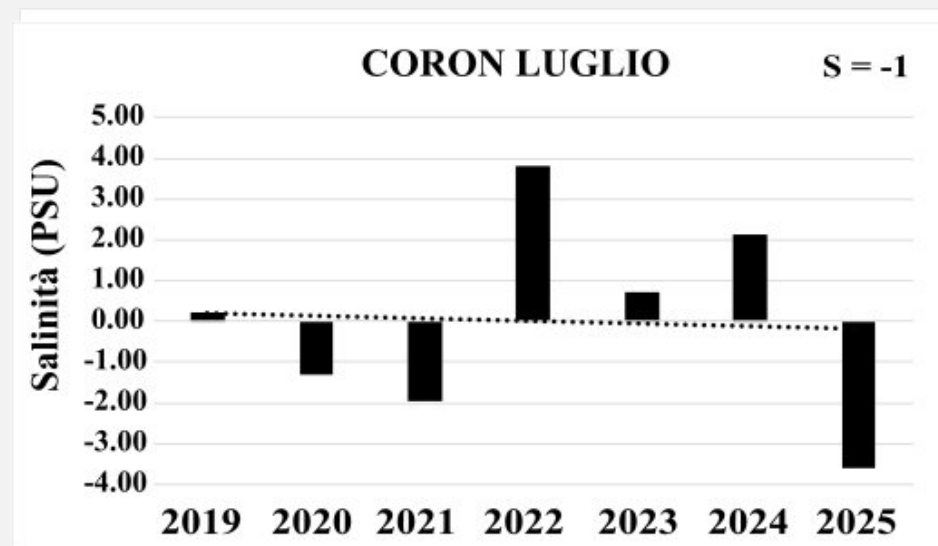
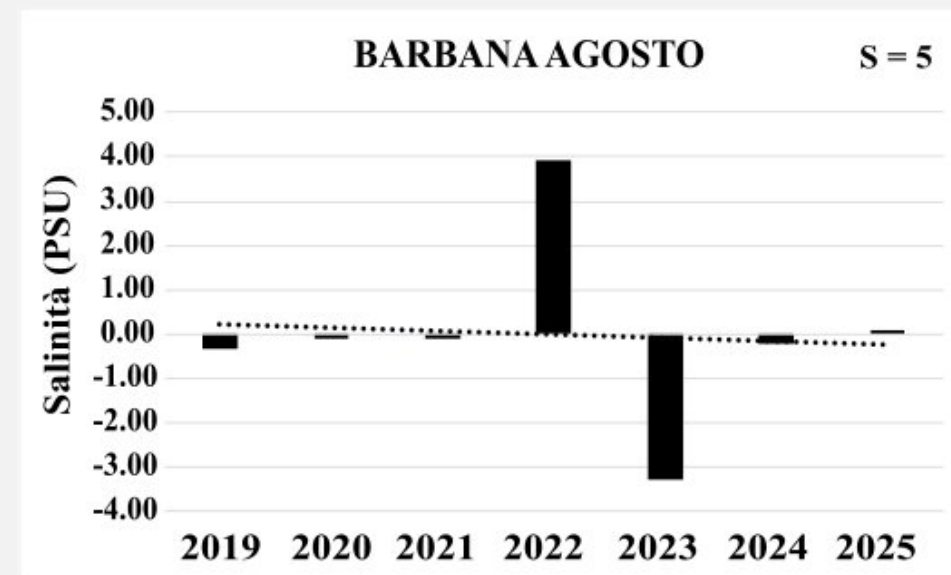
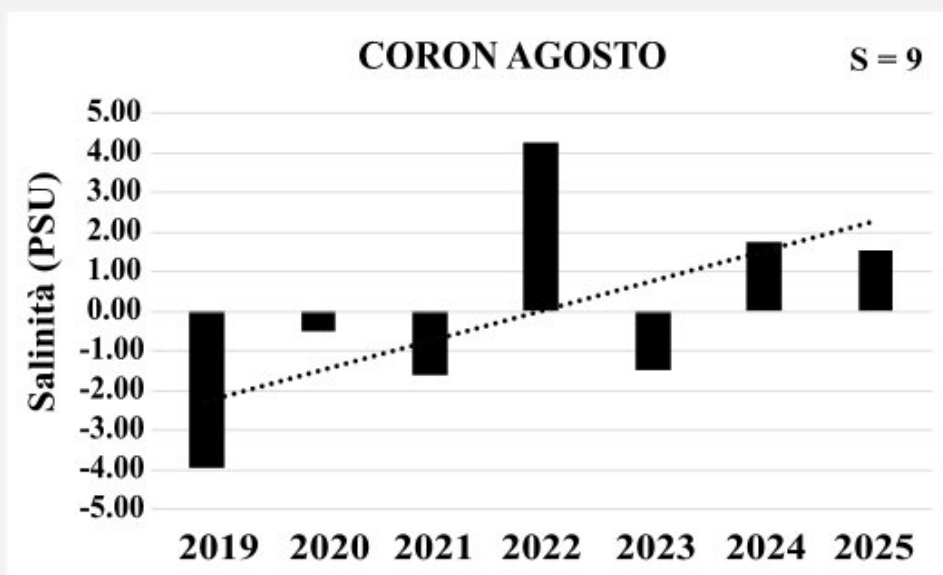
SALINITÀ



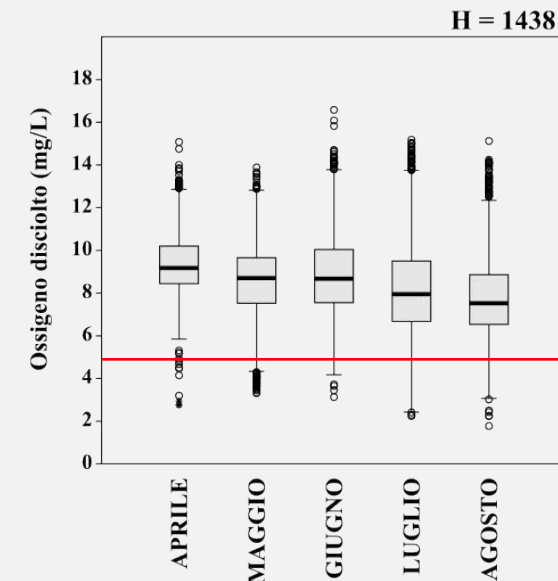
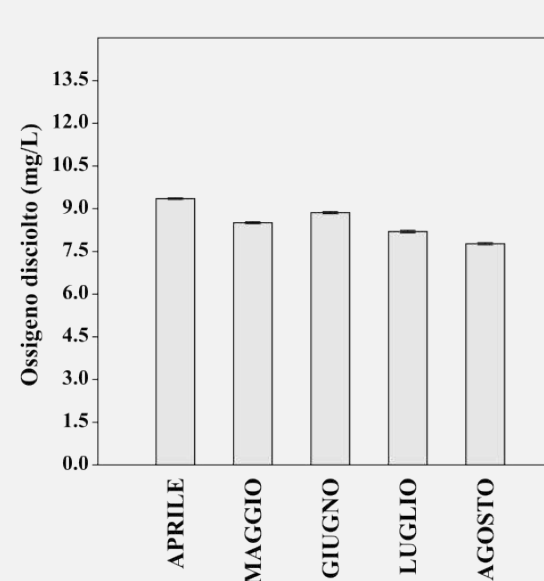
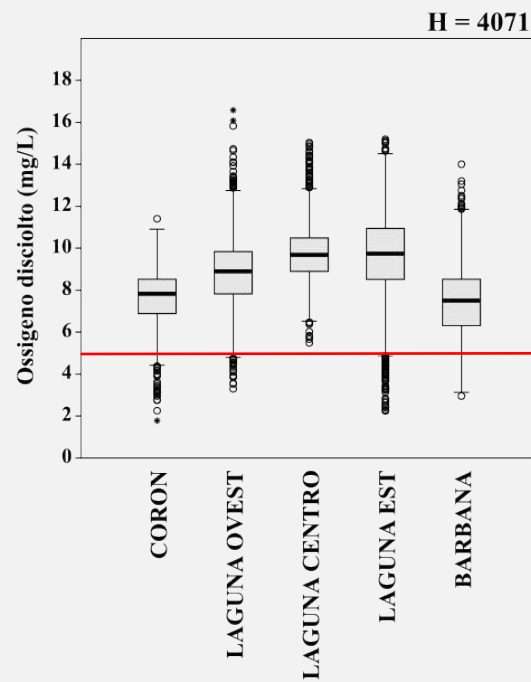
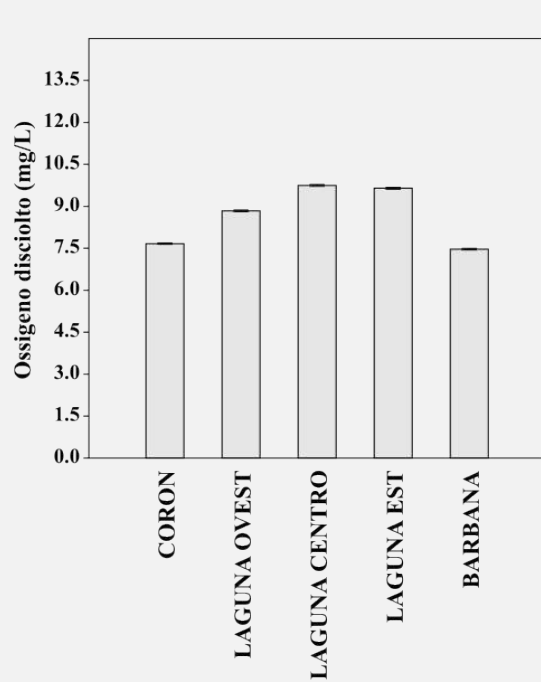
Influenza degli
apporti d'acqua
dolce

Variabilità
elevata

Differenza tra
i bacini di
Marano e
Grado



OSSIGENO DISCIOLTO

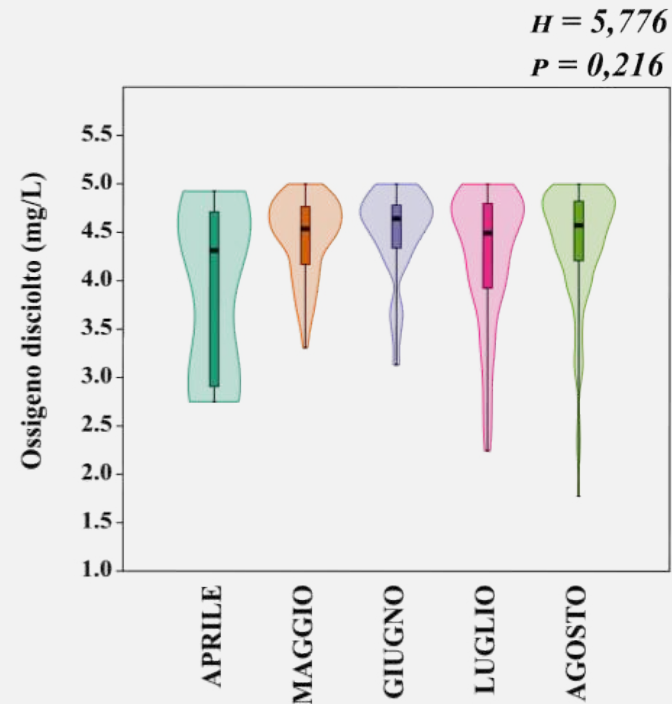
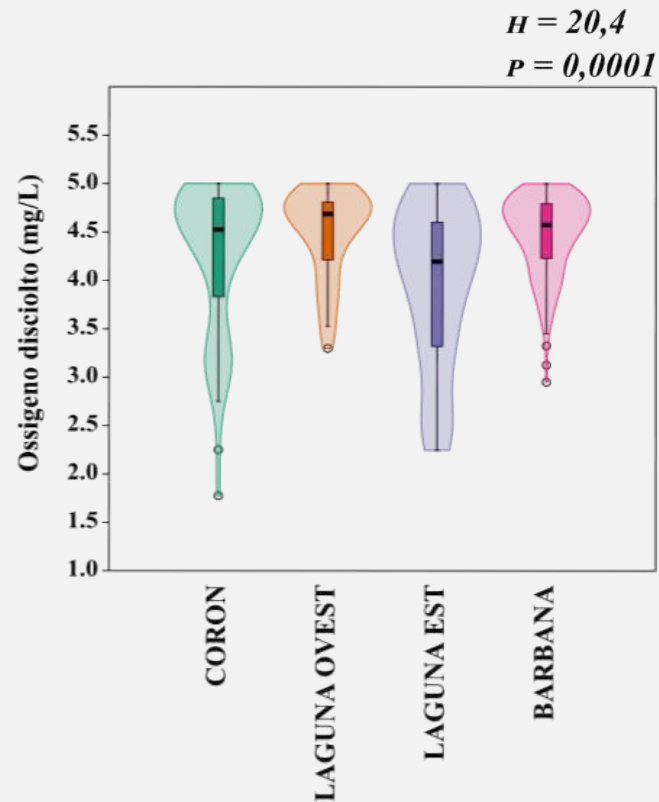


Marcata
oscillazione giorno-
notte

Episodi di
ipossia
notturna

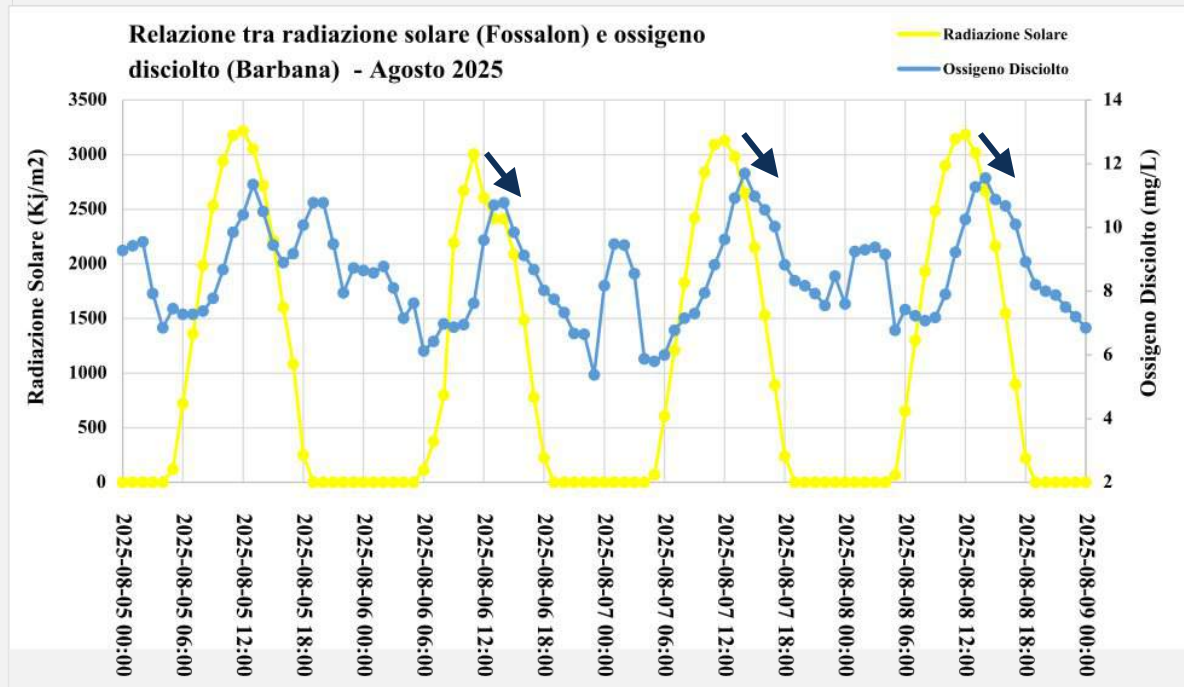
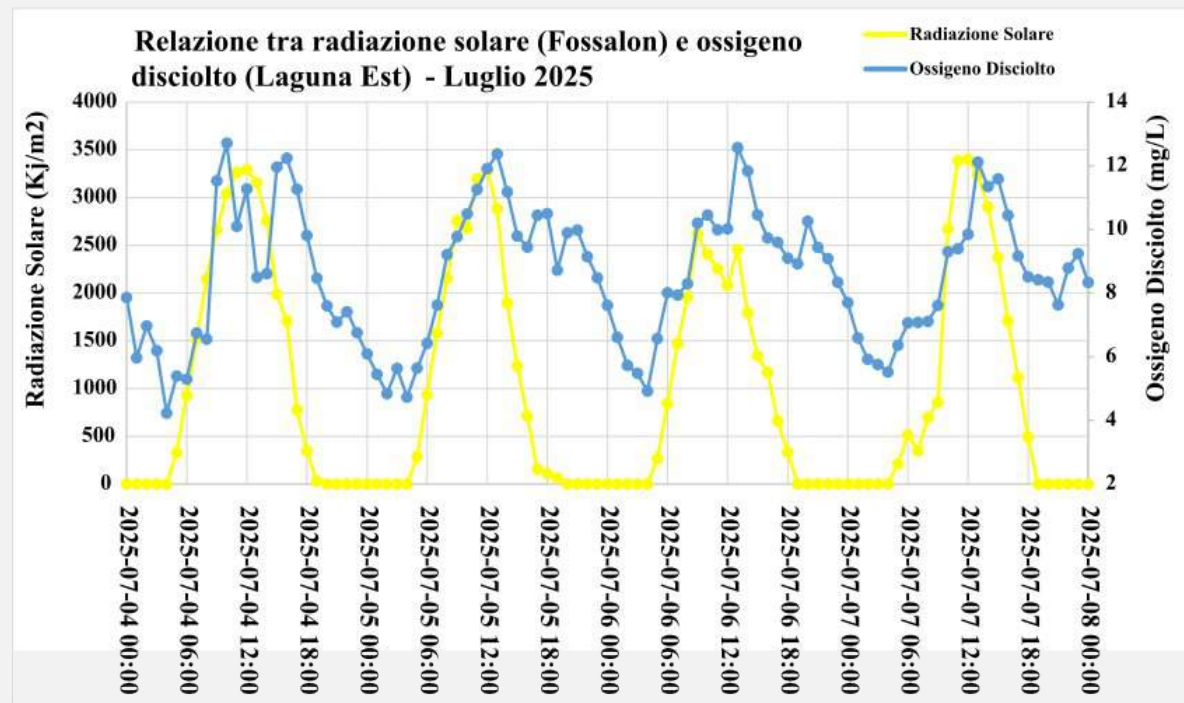
Maggiore
criticità nei
siti confinati

Episodi di Ossigeno Disciolto < 5 mg/L - Evidenze dal monitoraggio in continuo

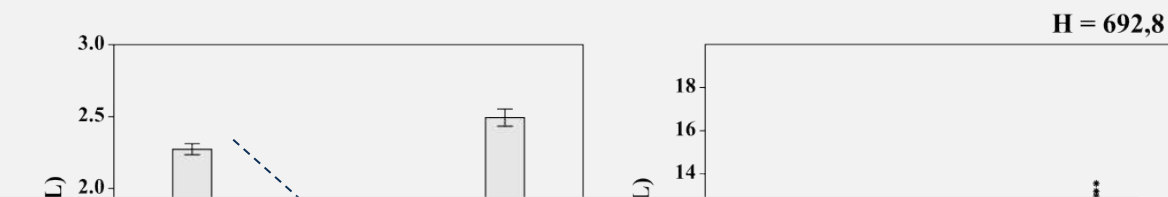
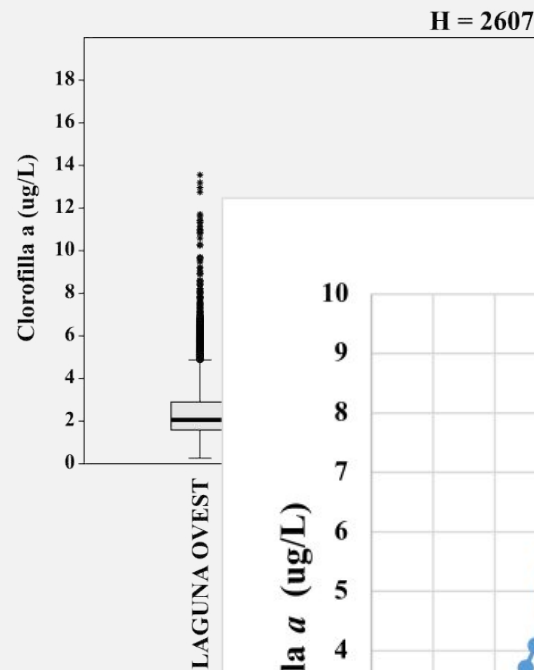
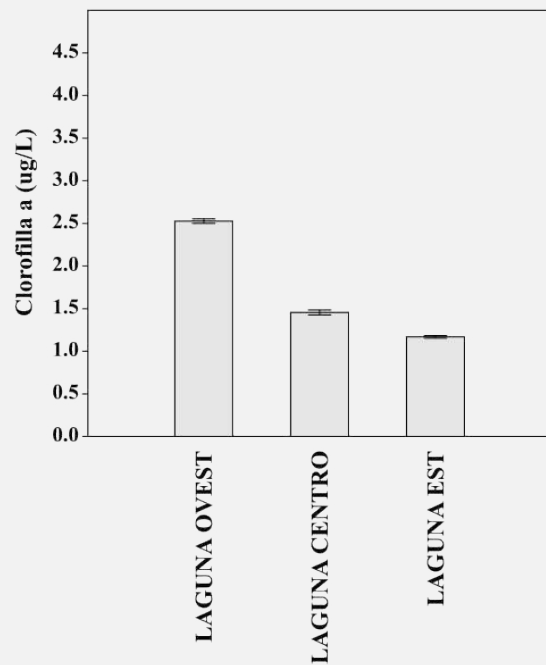


- ❖ Episodi Notturni
- ❖ Maggiore frequenza nei siti confinati (~5%)
- ❖ Non rilevabili da monitoraggio tradizionale

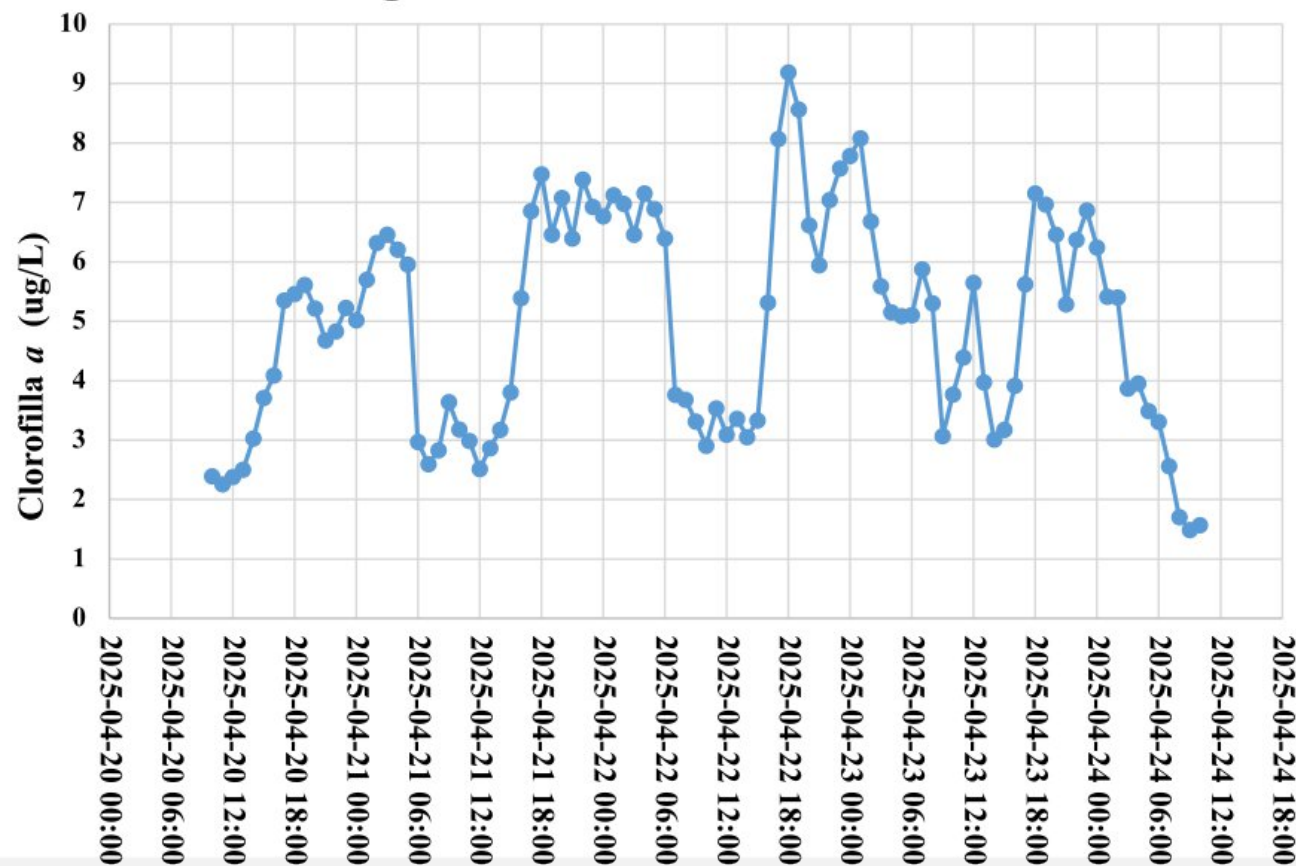




CLOROFILLA *a*

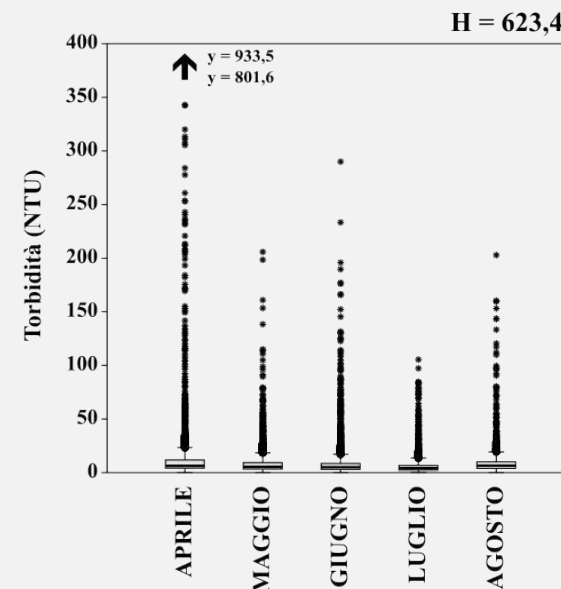
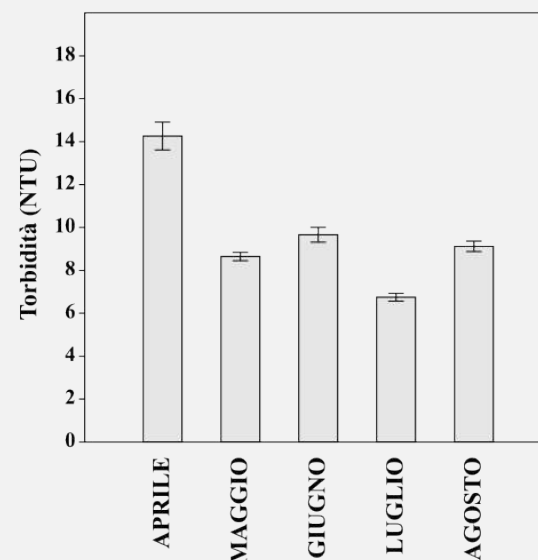
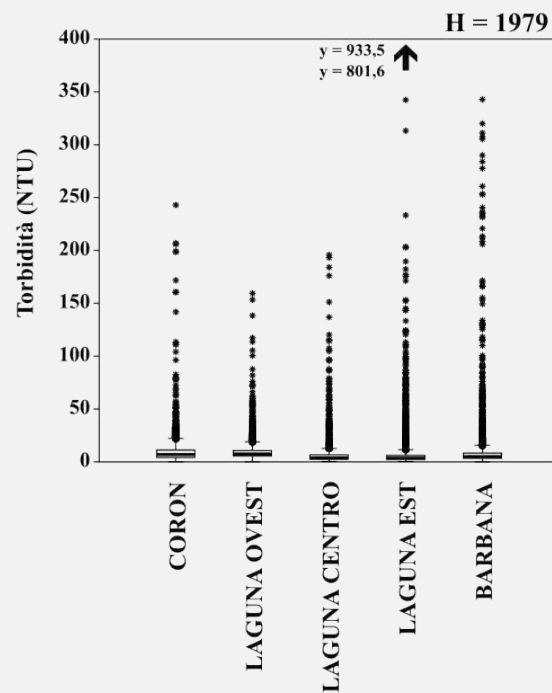
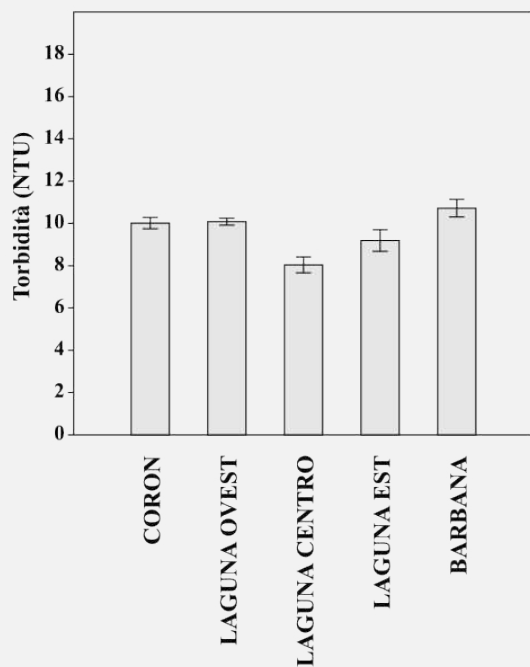


Laguna Ovest - Clorofilla *a*



Elevata variabilit 
spaziale

TORBIDITÀ



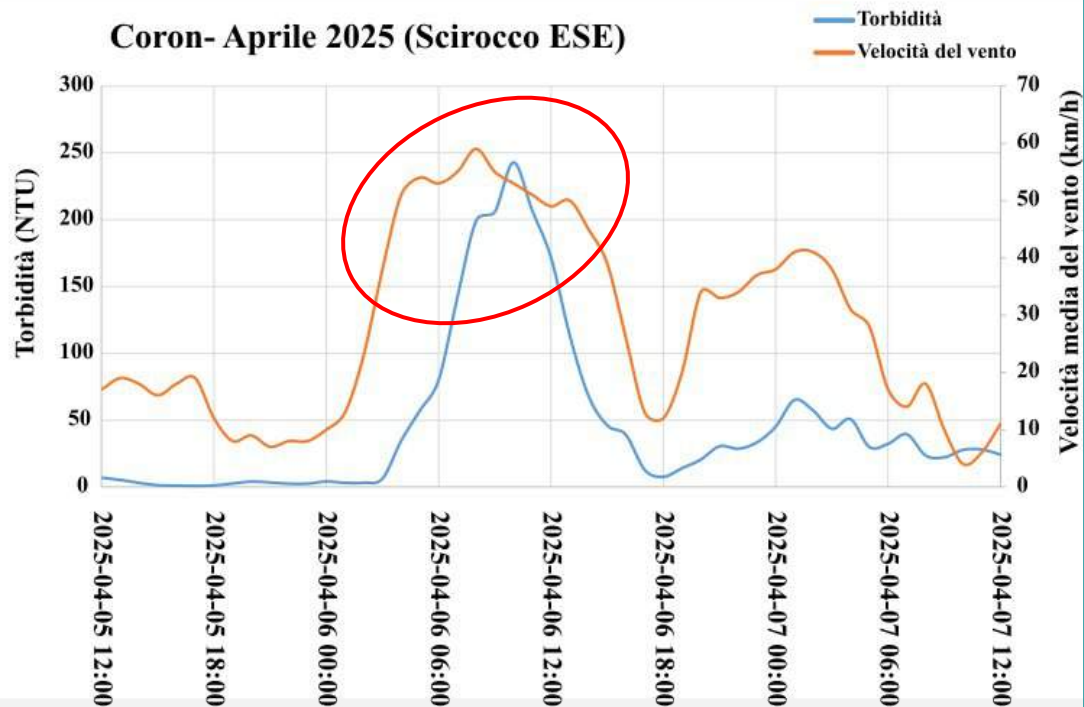
Elevata variabilità a breve termine

Influenzata da fattori meteoroclimatici

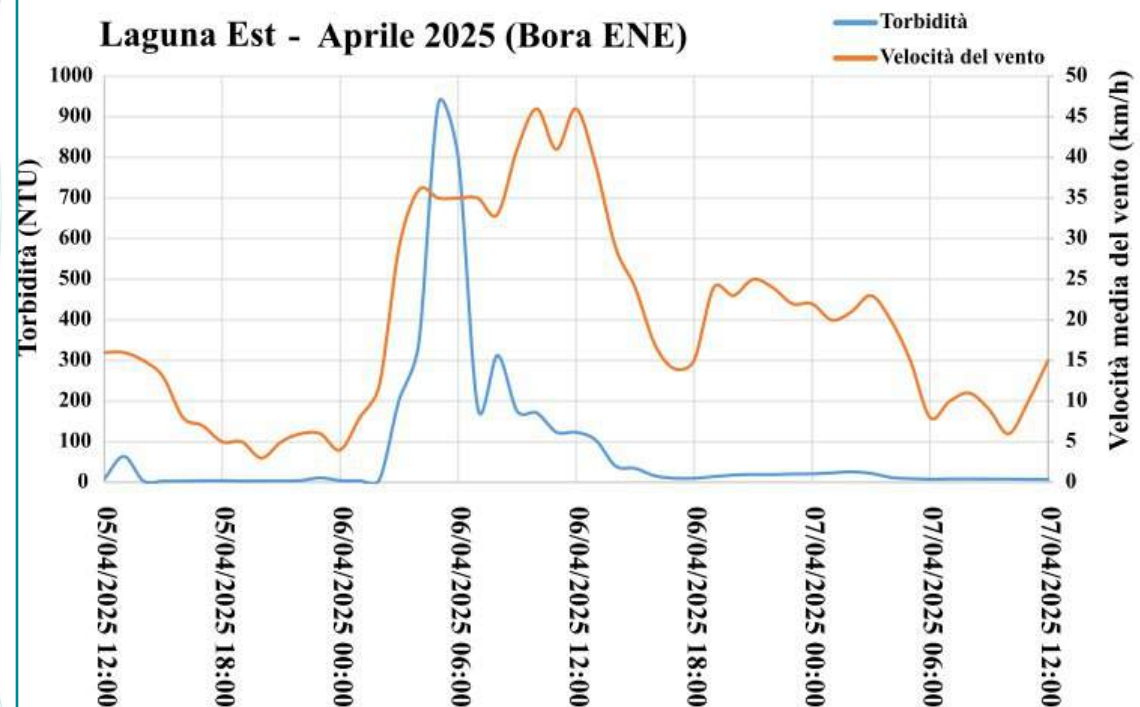
Maggiore variabilità = minore batimetria

No effetto dragaggi e navigazione

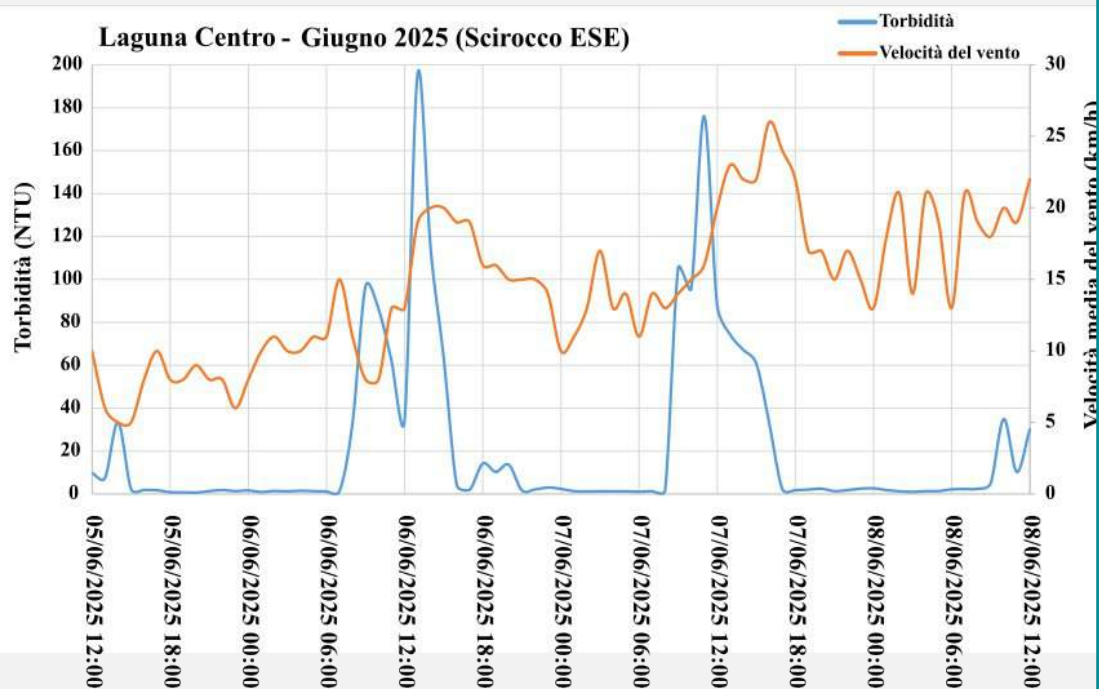
Coron- Aprile 2025 (Scirocco ESE)



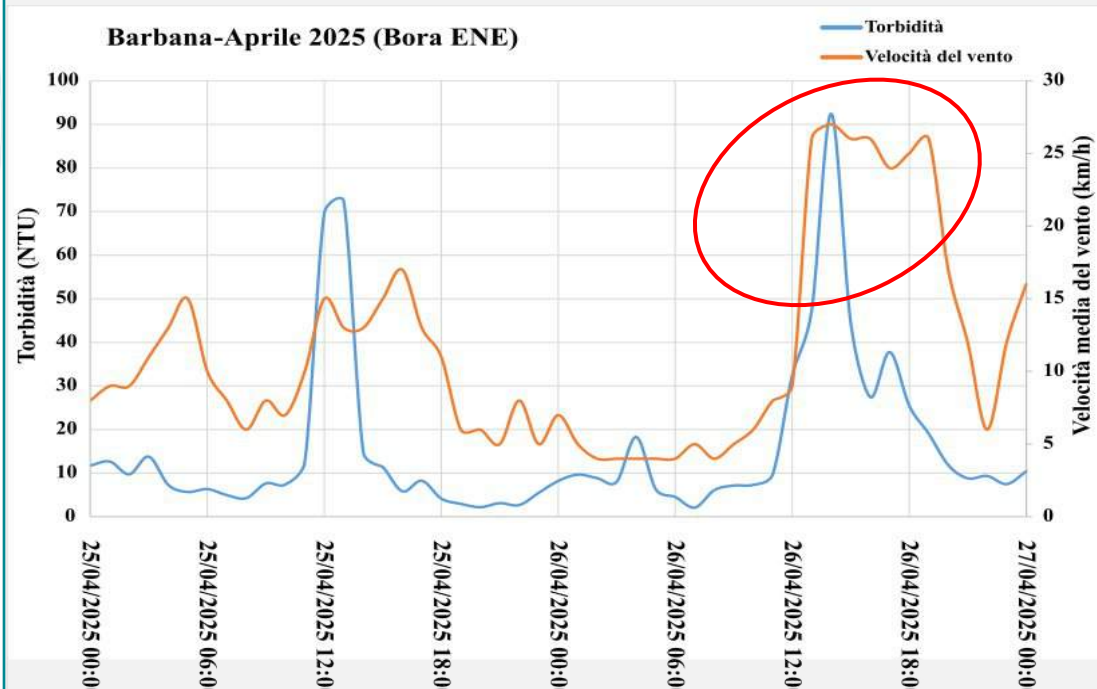
Laguna Est - Aprile 2025 (Bora ENE)



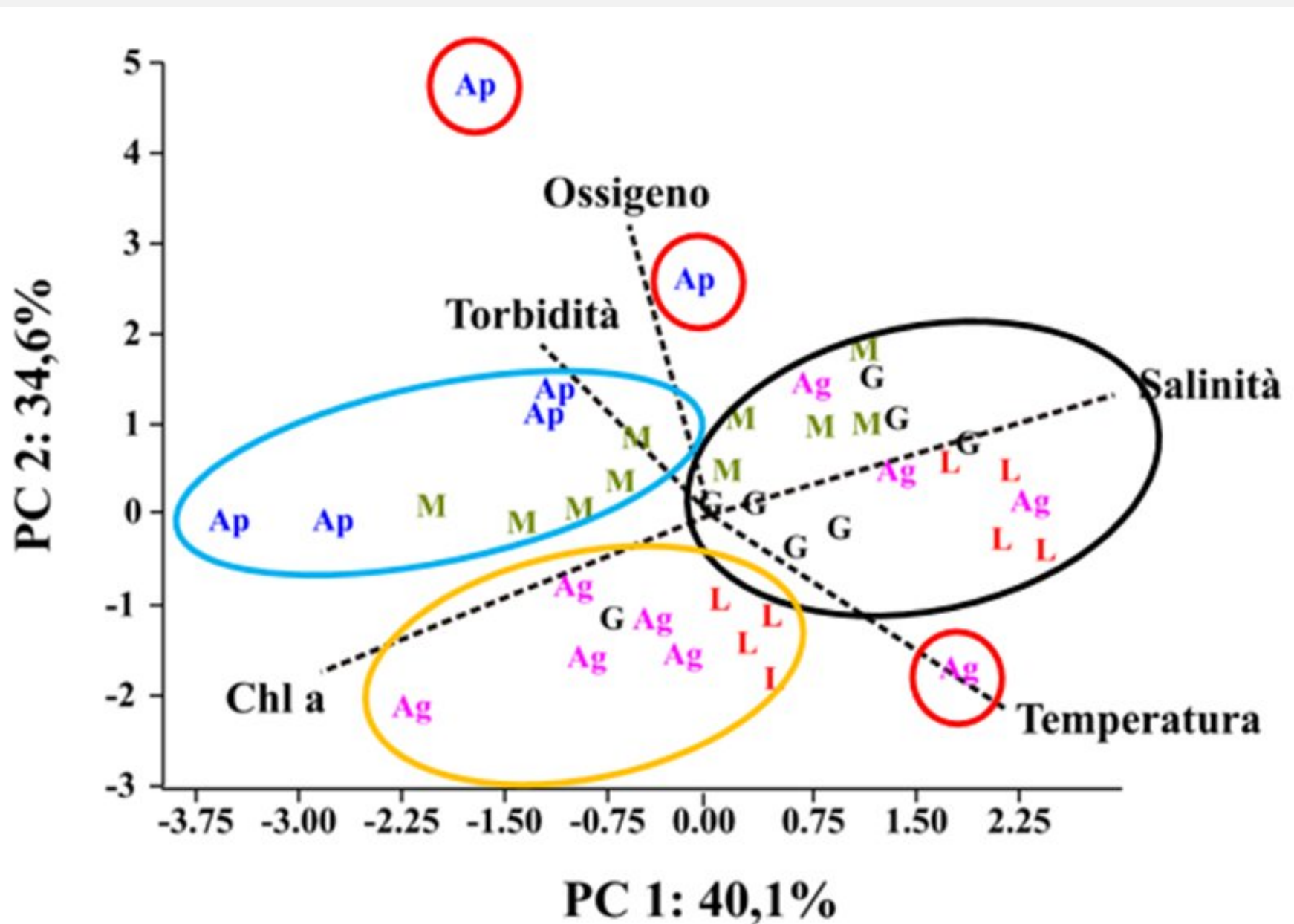
Laguna Centro - Giugno 2025 (Scirocco ESE)



Barbana-Aprile 2025 (Bora ENE)



ANALISI DELLE COMPONENTI PRINCIPALI (PCA)



MISURE PUNTUALI

Campionamento
mensile/stagionale

«Fotografia» istantanea

Costi operativi minori

Bassa risoluzione temporale

Rischio mancato rilevamento
eventi transitori

Dati facilmente gestibili

MISURE IN CONTINUO

Misura ogni 15 minuti

Serie temporale dinamica

Maggiore investimento
tecnologico

Alta risoluzione temporale

Rilevamento eventi critici

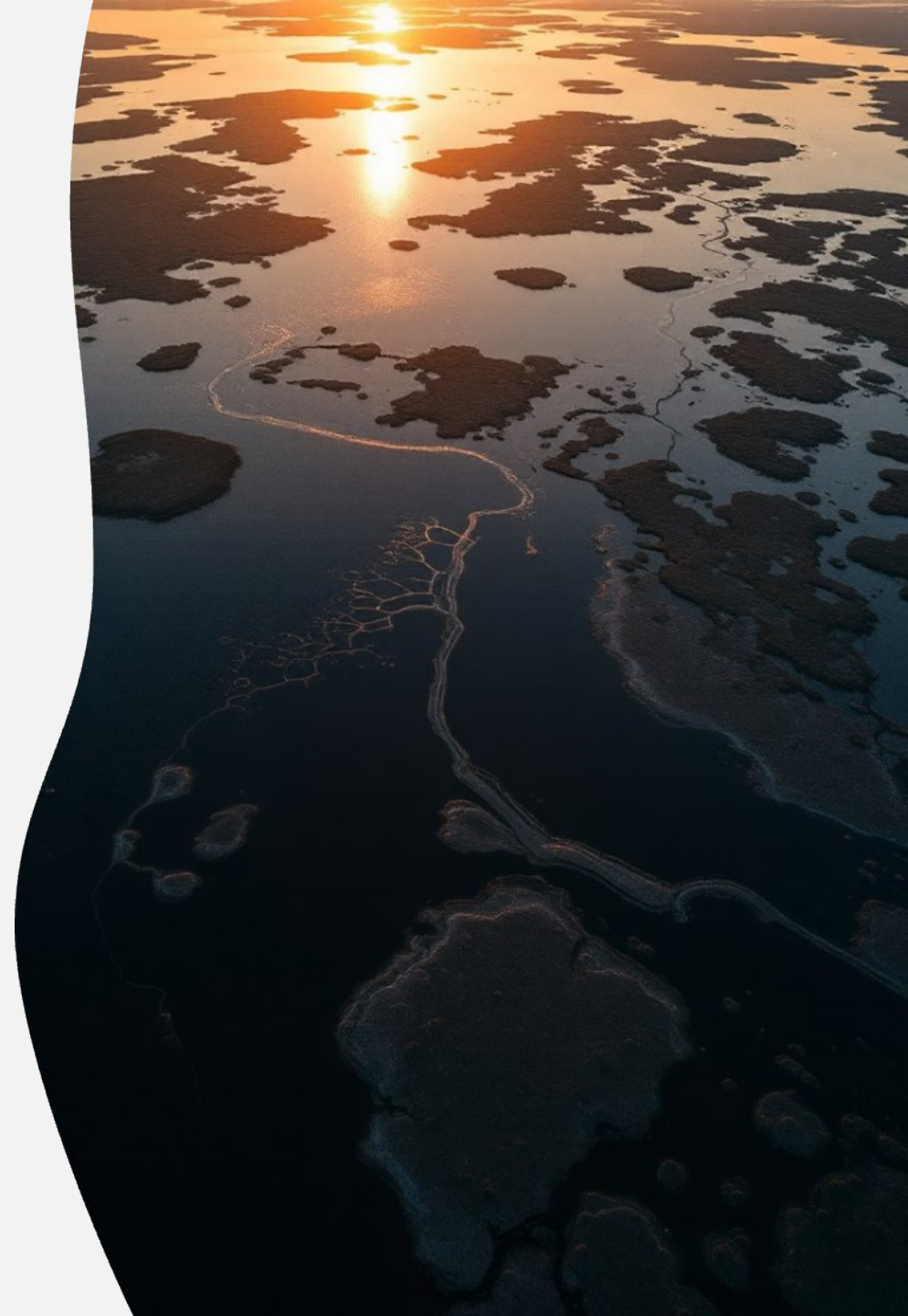
Necessità di validazione
avanzata

CONCLUSIONI e PROSPETTIVE FUTURE



EVIDENZE CHIAVE

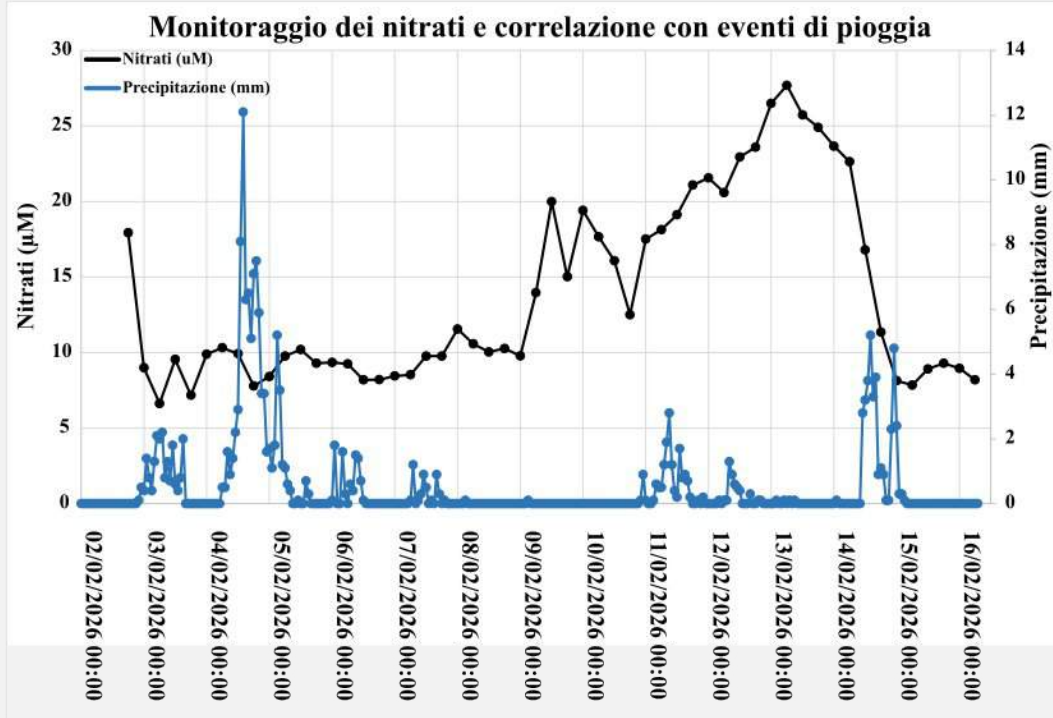
- ❑ Marcata stagionalità e forte eterogeneità spaziale del sistema lagunare;
- ❑ Variabilità spaziale controllata dal grado di confinamento idrodinamico e dall'interazione tra apporti continentali e scambi mareali;
- ❑ Stato ambientale complessivamente buono, con criticità ipossiche localizzate;
- ❑ Gradiente stagionale dominante confermato dall'analisi multivariata;
- ❑ Il monitoraggio in continuo **migliora** la rappresentatività ecologica rispetto alle misure puntuali.



PROSPETTIVE FUTURE e SVILUPPI OPERATIVI

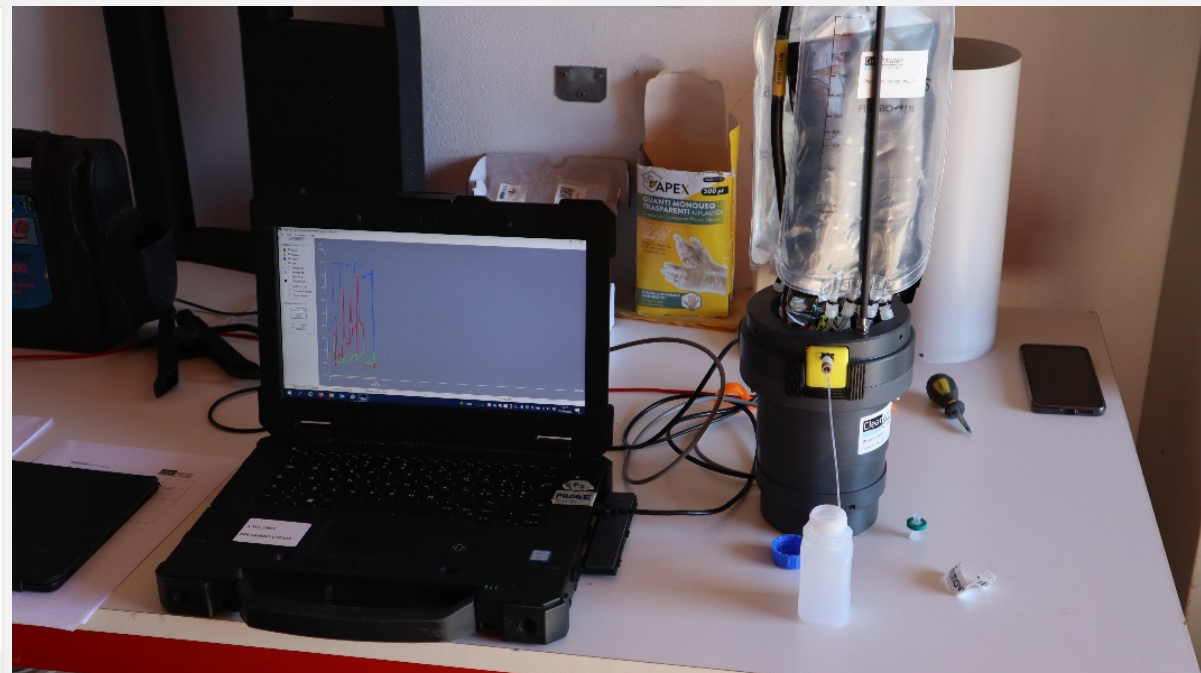
- Integrazione sistematica della misura dei nutrienti (sonda Nitrati in [Val Cavanata](#));
- Estensione del monitoraggio ad alta frequenza ad ambienti costieri e marini adiacenti;
- Integrazione con modellistica idrodinamica e biogeochimica;
- Applicazione di tecniche di Intelligenza Artificiale per analisi e gestione.





Sonda Nitrati (N-NO₃) della *Clear Water Sensors* (CWS) nel sito della Riserva Naturale della Valle Cavanata.

Nel mese di Marzo 2026 è stata installata, nello stesso sito, anche la sonda per la



GRAZIE PER L'ATTENZIONE

