



REMTECH EXPO



LA PREVISIONE E I SISTEMI DI DECISIONE PER LA PROTEZIONE DEL TERRITORIO: IL CASO DELLA SALA OPERATIVA DECISIONALE DEL SISTEMA MOSE

*V. Volpe¹, A. Pedroncini², F. Rameni², A. Guarnieri^{2,3}, M. Lomazzi²
G. Barusolo⁴, S. Libardo⁴*

(1) Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti Provveditorato Interregionale alle Opere Pubbliche del Veneto, Friuli (2) DHI S.r.l; (3) Present address: INGV; (4) Consorzio Venezia Nuova

Sessione Congressuale – Conferenza Nazionale sul Rischio costiero e sui Cambiamenti Climatici (COAST CLIMETECH)

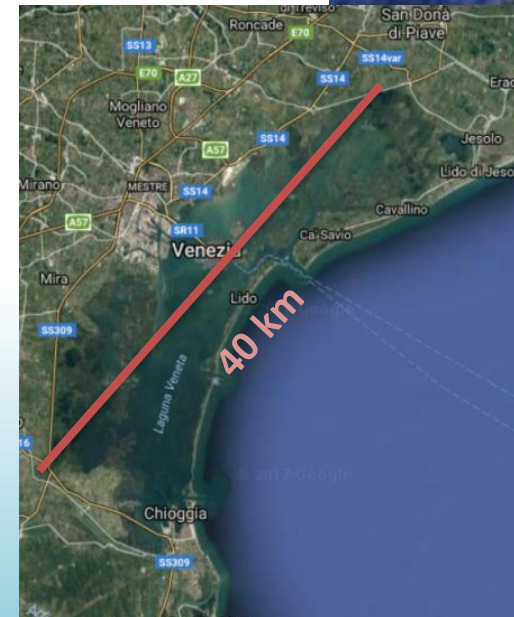
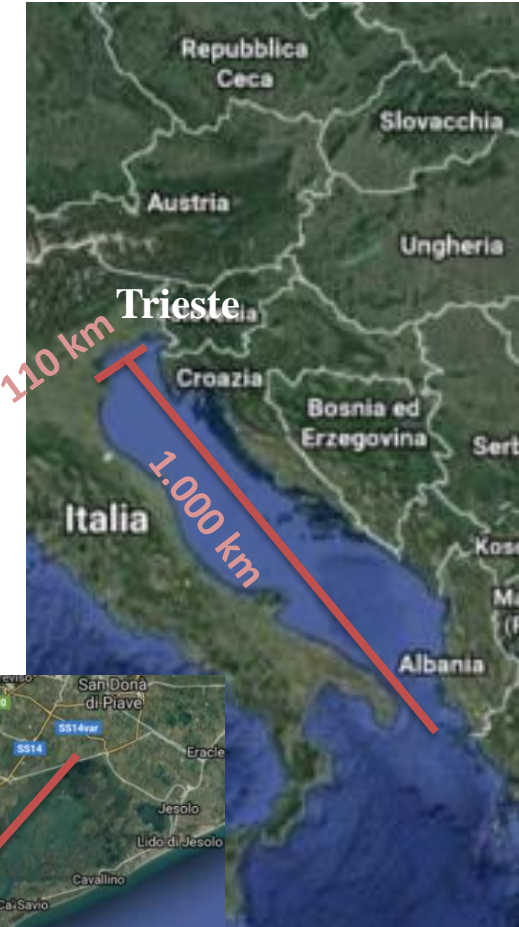
Giovedì 19 Settembre 2019

RemTech Expo 2019 (18, 19, 20 Settembre) FerraraFiere

www.remtechexpo.com

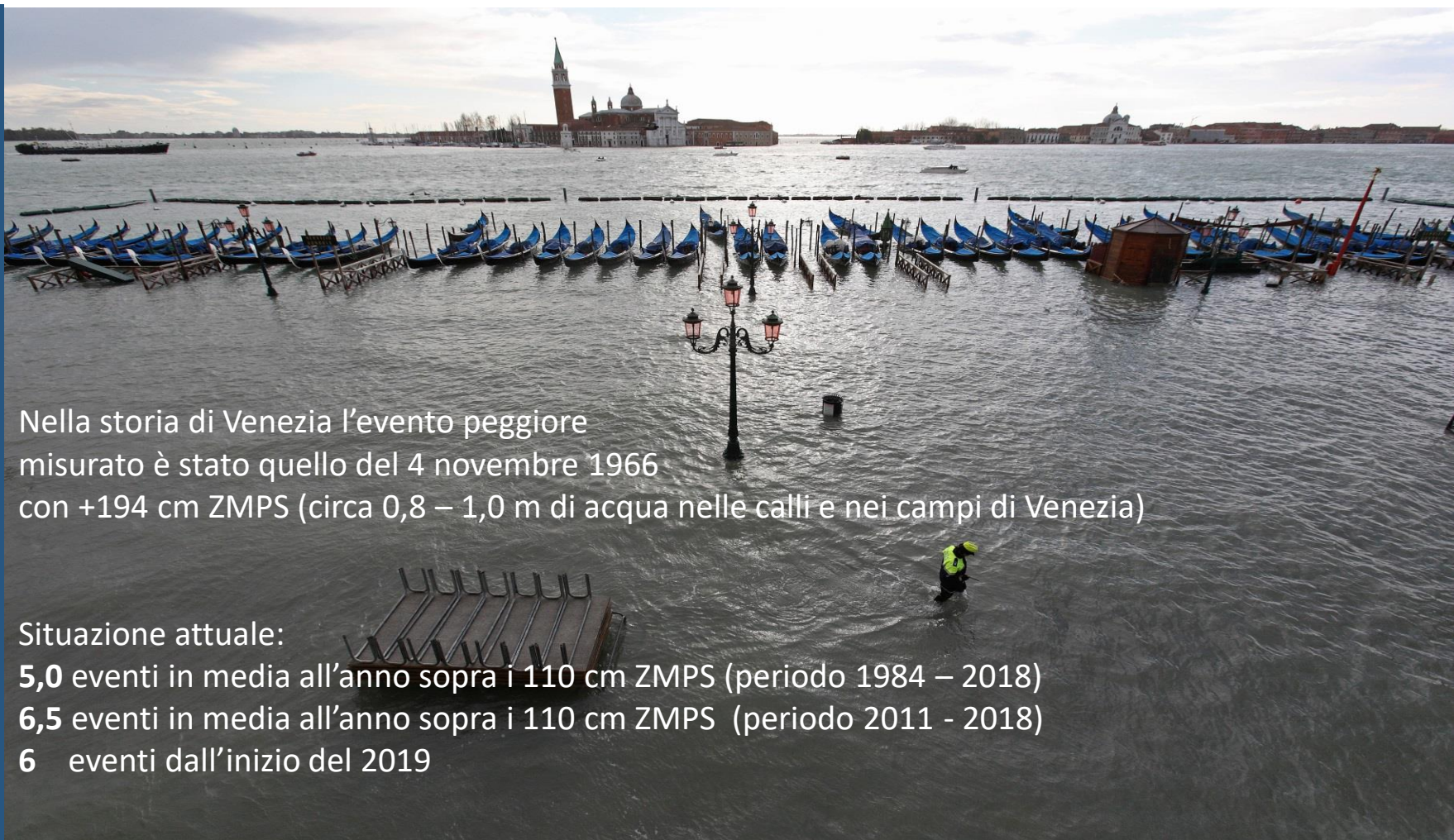
Scaletta

- Gli eventi di alta marea in laguna di Venezia
- La protezione di Venezia e della sua laguna
- Il Centro Operativo
- Storia degli strumenti previsionali
- Evoluzione della piattaforma integrata per il monitoraggio e la previsione
- Descrizione generale della piattaforma
- Focus sui modelli – deterministici, probabilistici, *machine learning*
- Ulteriori sviluppi



Gli eventi di «acqua alta» a Venezia sono generati dal sommarsi di:

- **Marea astronomica** con un'ampiezza di 1,1 m
(definibile anche anni prima con margine di errore limitato)
- **Marea meteorologica:**
(prevedibile solo pochi giorni prima con margine di errore comunque non nullo)
 - Set – up da vento nel mare Adriatico (per venti di Scirocco provenienti da Sud Est, *fetch* circa 1.000 km o di Bora provenienti da Nord Est, *fetch* circa 110 km);
 - Set – up da vento in laguna di Venezia
 - Delta di pressione fra Venezia e Genova (effetto barometrico inverso) per cui si ha ~ 1 cm per ogni hPa
 - Sesse nel mare Adriatico



Nella storia di Venezia l'evento peggiore misurato è stato quello del 4 novembre 1966 con +194 cm ZMPS (circa 0,8 – 1,0 m di acqua nelle calli e nei campi di Venezia)

Situazione attuale:

5,0 eventi in media all'anno sopra i 110 cm ZMPS (periodo 1984 – 2018)

6,5 eventi in media all'anno sopra i 110 cm ZMPS (periodo 2011 - 2018)

6 eventi dall'inizio del 2019

19 eventi sopra i 140 cm ZMPS dal 1872

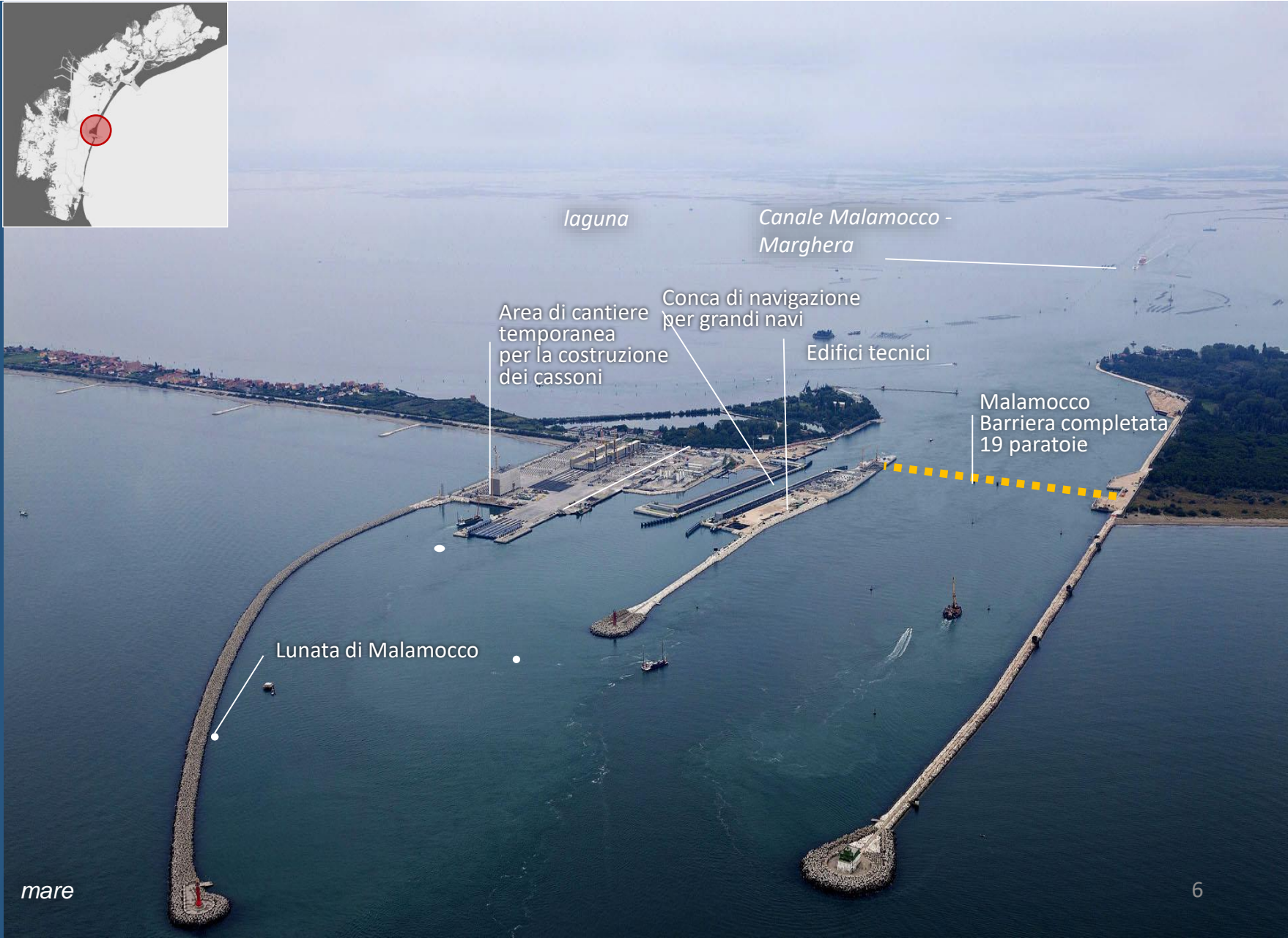
Il riferimento locale, Punta della Salute (ZMPS), è lo zero della rete altimetrica dello Rete Altimetrica dello Stato 1897, più basso di 23,56 cm rispetto allo zero IGM Genova 1942

194 cm ZMPS = 171,44 cm IGM Genova 1942

La protezione di Venezia e della sua laguna
BOCCA DI LIDO



La protezione di Venezia e della sua laguna
BOCCA DI MALAMOCCO

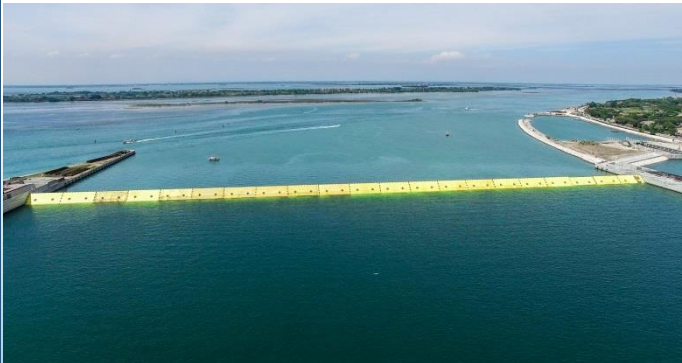
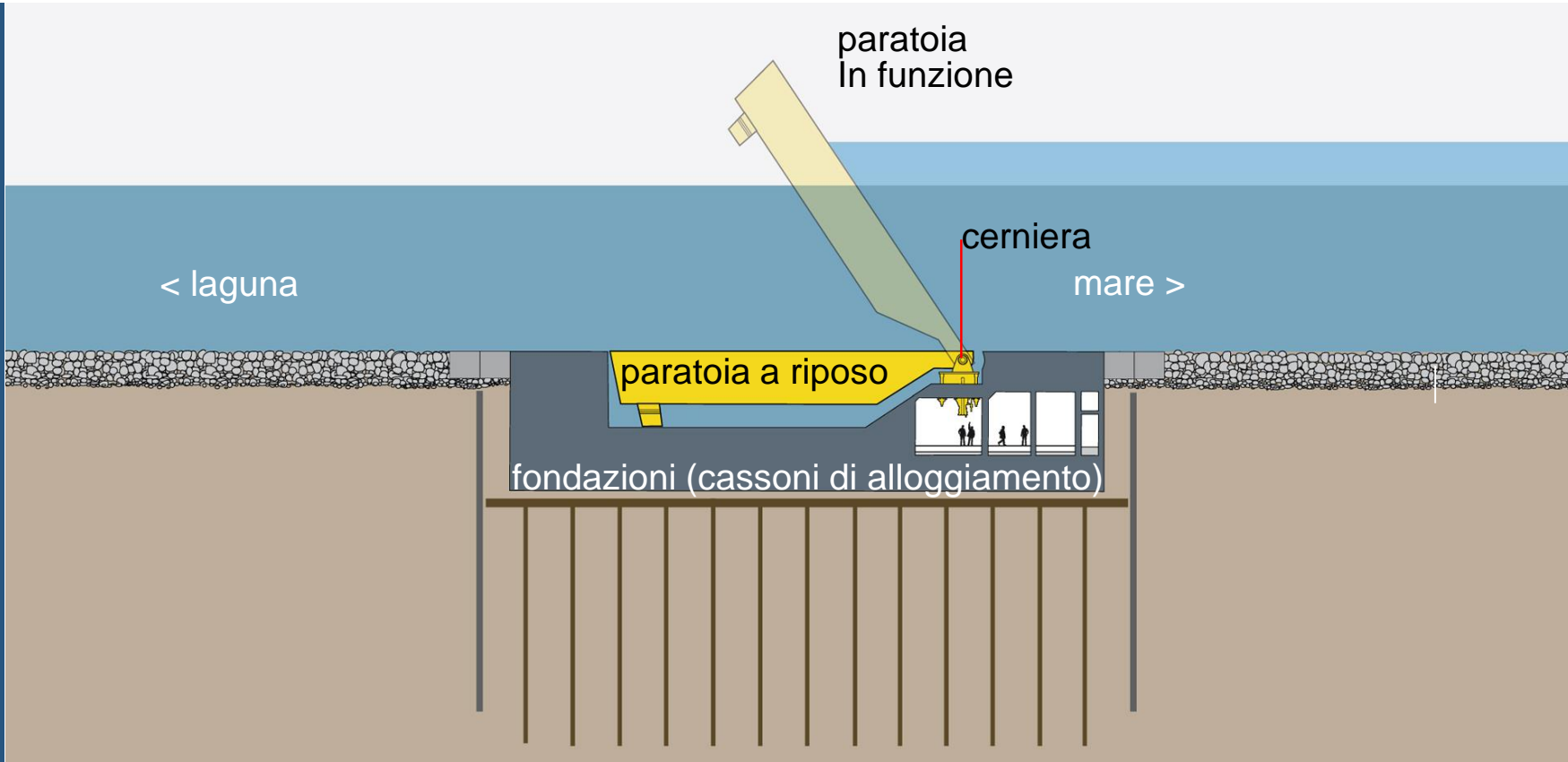




AVANZAMENTO LAVORI SISTEMA MOSE 95%

- 4 barriere mobili installate / 78 paratoie in totale
- 1,6 km estensione complessiva delle barriere
- movimentazione di tutte le barriere per test tecnici in corso
- ultimazione impianti in corso
- Consegna prevista **fine 2021**

La protezione di Venezia e della sua laguna
Barriere mobili – come funzionano



Test barriera di Treporti maggio 2016



barriera di San Nicolò parte maggio 2019



Test barriera di Chioggia parte agosto

Il Sistema MOSE opererà secondo **Regole di Esercizio** codificate e condivise.

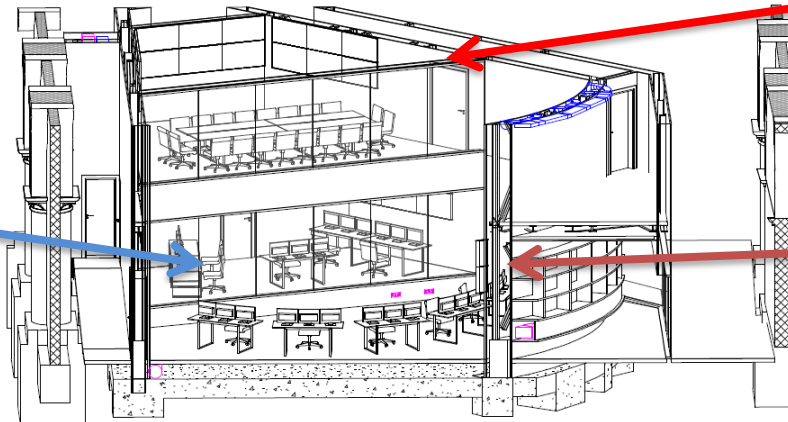
Il **Gestore dell'Esercizio** si occupa di definire ed emettere gli ordini di manovra a partire dai dati e dalle previsioni meteomarine.

Il **Gestore delle Operazioni Comandate e della Manutenzione** esegue gli ordini di manovra ed effettua le manutenzioni.

Il Gestore dell'Esercizio:

1. gestisce le reti di monitoraggio meteomarine;
2. gestisce l'acquisizione dati e la generazione di previsioni meteomarine;
3. definisce le modalità e le tempistiche di chiusura delle barriere;
4. si interfaccia con gli Enti (in particolare Capitanerie di Porto), compresa eventualmente l'Unità di Crisi – secondo la normativa nazionale - in situazioni di emergenza

SALA OPERATIVA DECISIONALE
5 OPERATORI PER TURNO



SALA SITUAZIONI
20 DELEGATI
per la gestione delle emergenze

SALA DI CONTROLLO D'OPERA -
STAZIONE CENTRALIZZATA
REMOTIZZATA 5 OPERATORI
PER TURNO

Il primo sistema di acquisizione dati (S.A.D.) è stato realizzato con un database relazionale SQL Server, una serie di servizi e una *console di controllo* strutturate in C#

I sistemi di previsione sono stati in principio strutturati con un database relazionale (inizialmente MySQL e successivamente SQL Server), una serie di procedure e servizi scritte in linguaggio VB e poi C#. Solo i modelli di previsione deterministici utilizzavano per il motore di calcolo già i moduli MIKE11 e MIKE21

Il sistema di supporto alle decisioni (S.S.D.) è stato anch'esso realizzato con un database relazionale SQL Server, una serie di servizi e una *console di controllo* strutturate in C#

Storicamente si disponeva quindi di:

1. un modello statistico autoregressivo (denominato EXCO2)
2. un modello deterministico con griglie innestate (Mediterraneo, Adriatico, Alto Adriatico e laguna di Venezia)
3. un modello idrologico afflussi – deflussi del bacino Scolante realizzato in MATLAB da ricercatori dell'Università degli Studi di Padova
4. un sistema di supporto alle decisioni

È in grado di generare la previsione della componente meteorologica (*storm surge*) del livello di marea con passo orario in un punto dato a partire da:

- livelli misurati precedenti in loco (33 valori orari t-1, t-2, ..., t-33);
- sui valori di previsti con diversi modelli meteo (ECMWF, GFS, COSMO 5M) di pressione e sui delta di pressione calcolati pressioni dell'aria prevista a 5 passi temporali presso Venezia, Genova, Alghero, Bari (t-1, t-4, t-7, t-10, t-13) – effetto barometrico inverso
- gradienti di pressione previsti a 5 passi temporali e per cinque selezioni Trieste - Ravenna, Pula - Rimini, Zara - Pescara/Ancona, Spalato - Termoli, Dubrovnik - Bari (t-1, t-4, t-7, t-10, t-13) – vento geostrofico

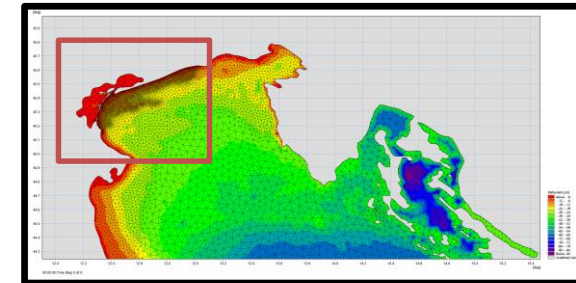
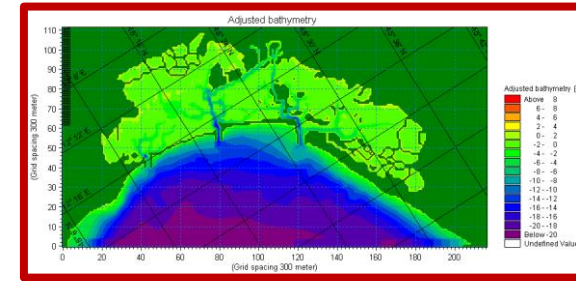
con i seguenti limiti:

- essendo basato sull'andamento di una lunga serie di eventi pregressi non è completamente adeguato a riprodurre eventi futuri con andamento diverso dall'usuale (cambiamenti climatici)
- inutilizzabile per la previsione del livello di marea **all'interno della laguna** nelle ore che seguono una chiusura delle bocche di porto, cioè per eventi ravvicinati



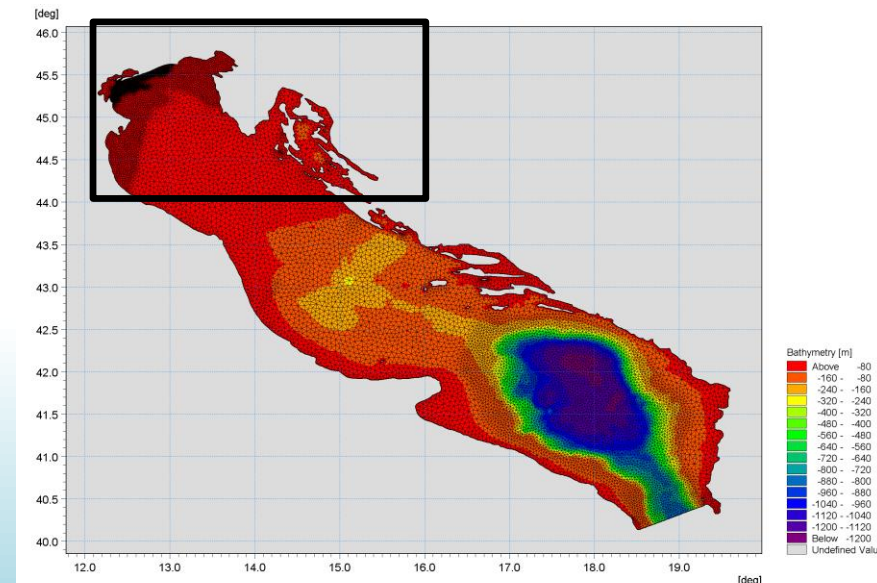
Il modello Mediterraneo – Adriatico – Laguna è in grado di generare la previsione del livello di marea in mare e in laguna a partire dalle forzanti di vento e pressione del modello meteo con i seguenti limiti:

- limitata attendibilità della previsione di vento ECMWF in Adriatico;
- insoddisfacente risoluzione spaziale (0.25°) e temporale (6 ore) della forzante meteo;
- condizione iniziale della corsa da *run* precedente, senza possibilità di correzione



Per tali motivi a valle di una sperimentazione di svariati anni, a partire dal 2016 si è provveduto a realizzare:

1. un modello «ibrido»
2. la migrazione su un'unica piattaforma degli strumenti operativi



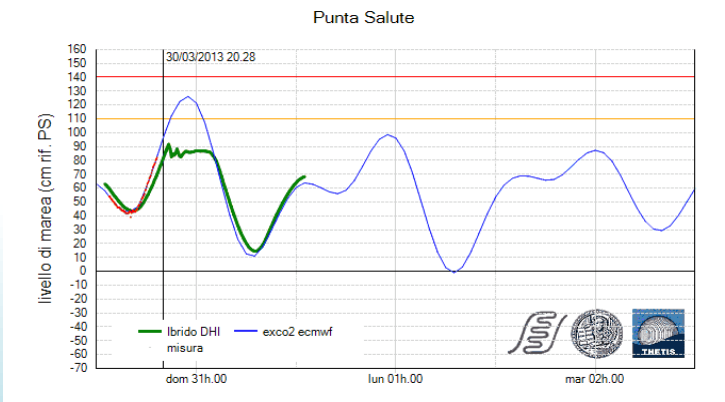
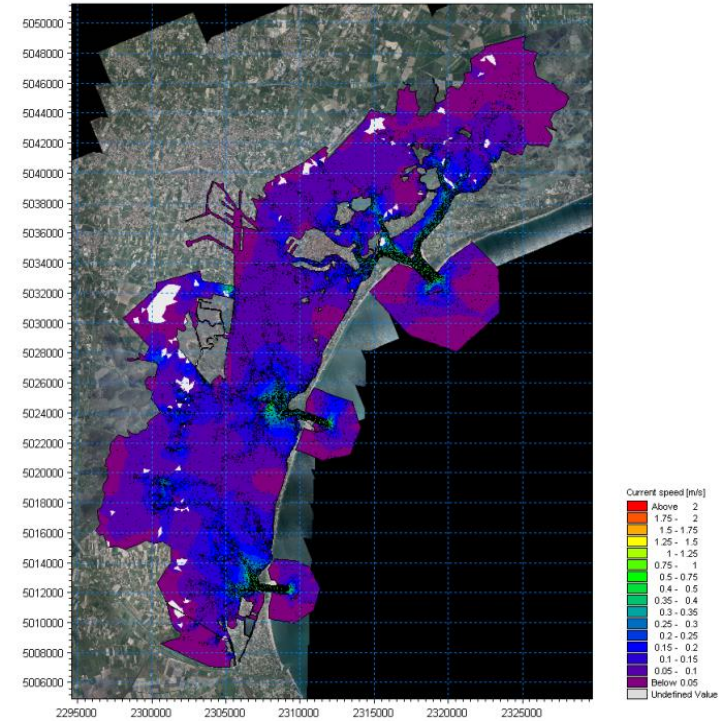
Per la simulazione delle chiusure utilizza come forzanti:

- la previsione di livello di marea in mare alle bocche di porto realizzata con modello statistico
- il vento previsto a scala locale (COSMO 5M)
- le portate previste in ingresso dai corsi d'acqua generate da modello afflussi-deflussi del bacino scolante in laguna (Mike 11) forzato con previsioni di precipitazione a scala locale (COSMO 5M)

Prevede il:

- trasferimento della marea all'interno della laguna con modello deterministico su *template* Mike 21 HD FM
- l'introduzione dell'effetto della movimentazione delle paratoie alle bocche
- l'interazione con il SSD per le tempistiche delle chiusure da simulare

Il modello ha il grande vantaggio di essere utilizzabile anche per la previsione del livello di marea in laguna per gli eventi successivi dopo una chiusura in caso di più eventi ravvicinati



Il Sistema di Supporto alle decisioni:

- prende in carico i possibili eventi di acqua alta con 36 ore di anticipo e li segue fino alla riapertura delle barriere (aggiornamento ogni 10')
- classifica gli eventi in funzione delle previsioni di livello massimo di marea, di vento e di precipitazione, individuando quota idrometrica e momento della chiusura
- verifica continuamente le previsioni con i dati monitorati in tempo reale
- comunica con gli operatori di barriera, a supporto delle operazioni di chiusura e riapertura
- avvisa gli enti competenti sulla navigazione e sulla gestione delle emergenze



MAGISTRATO ALLE ACQUE DI VENEZIA



CONSORZIO VENEZIA NUOVA



Questo bollettino è stato emesso il 29/10/2018 alle ore 07:50 UTC

0

È previsto un massimo di acqua alta di 148 cm a Punta della Salute per il giorno 29/10/2018 alle ore 13:00 UTC

È previsto un massimo di acqua alta di 140 cm a Chioggia per il giorno 29/10/2018 alle ore 23:00 UTC

La durata prevista dei livelli sopra la soglia di chiusura è di 21ore 31min a partire dalle ore 07:47 UTC

L'evento è stato classificato come EX **Le paratoie delle bocche di porto sono state sollevate.**

Grafico di Livello "Punta Della Salute" (orari UTC)

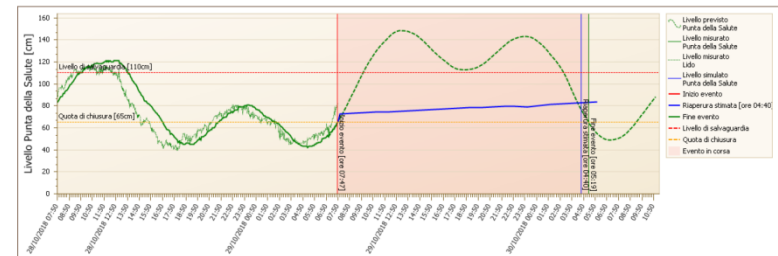
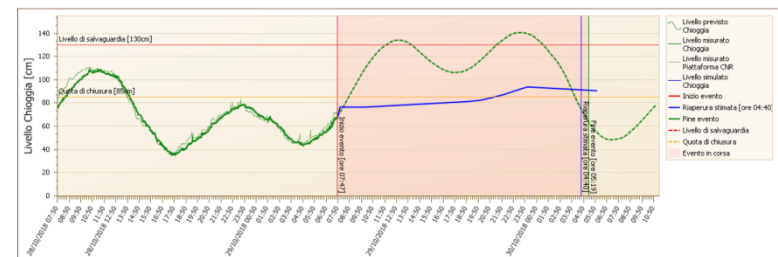


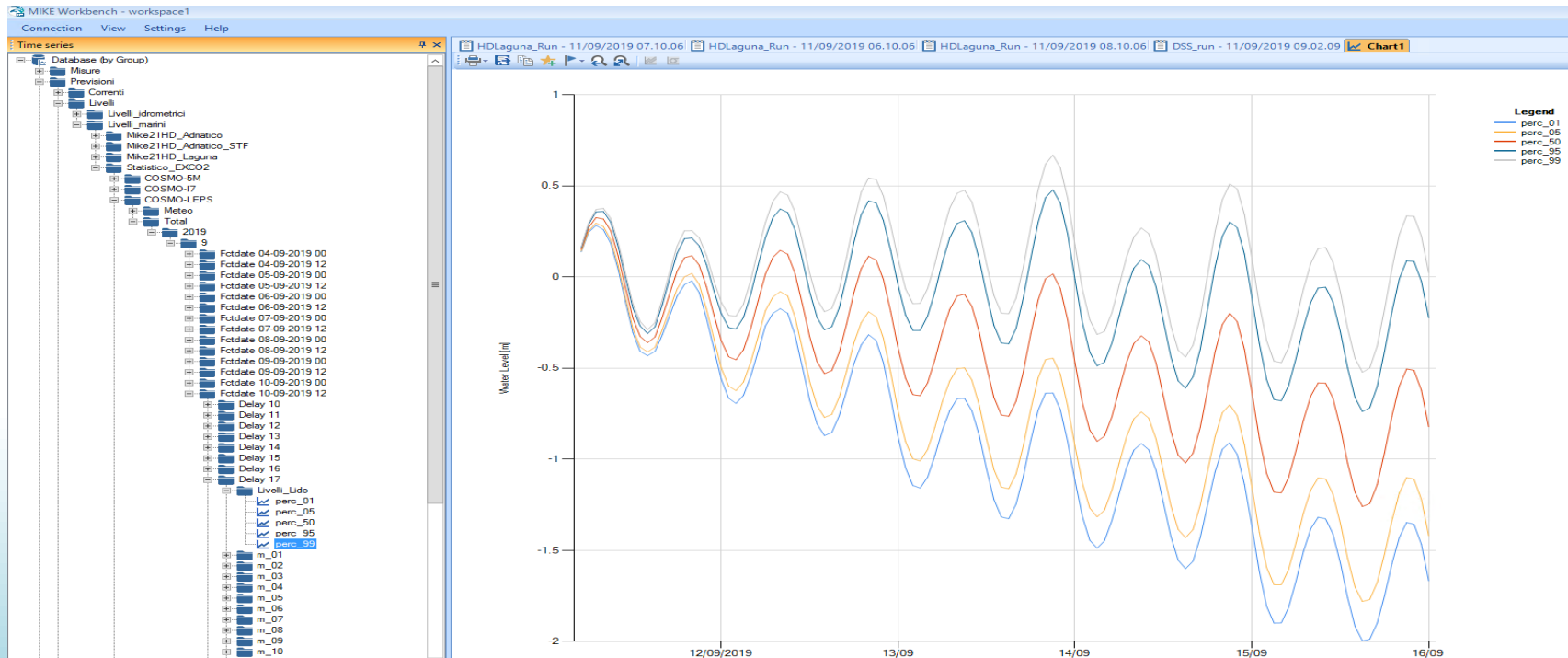
Grafico di Livello "Chioggia" (orari UTC)



Evento_201810300000

2016: avvio del progetto di evoluzione e consolidamento dei sistemi di gestione e previsione idrologica e idraulica → accentramento di tutti i processi informativi, gestionali e previsionali su **unica piattaforma software certificata per il supporto decisionale**

MIKE OPERATIONS

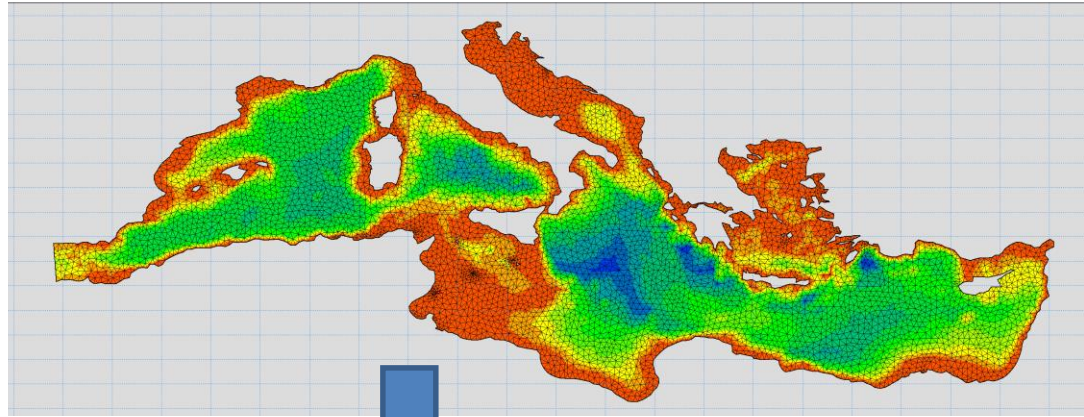


Evoluzione a piattaforma integrata per monitoraggio e previsione – MIKE OPERATIONS

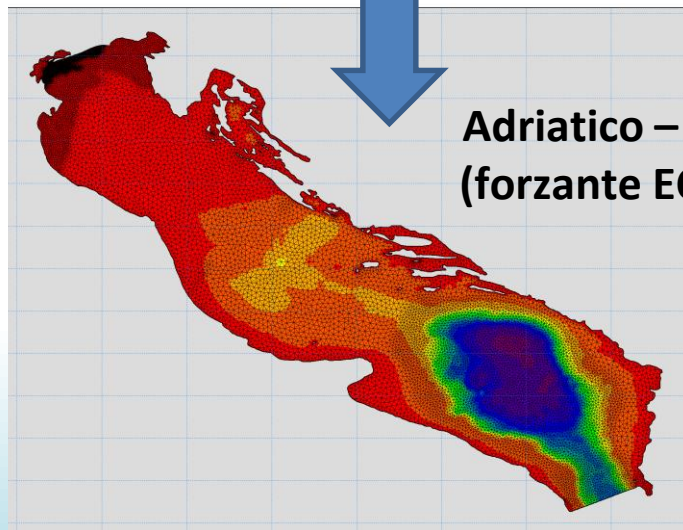
Le diverse fasi del percorso di evoluzione, ancora in corso, hanno riguardato:

- sviluppo e attivazione in MO di **algoritmi di acquisizione, validazione e processamento delle informazioni** (dati da monitoraggio o da modelli)
- **archiviazione** dei dati su database dedicato
- **migrazione** delle funzionalità operative già sviluppate **agli standard di MO**
- implementazione delle **procedure di controllo e gestione** delle catene modellistiche previsionali
- **reingegnerizzazione del sistema di supporto alle decisioni** per la previsione degli eventi di acqua alta a supporto della gestione operativa
- sviluppo di un **applicativo web** dedicato
- creazione di **interfacce grafiche utente** per la configurazione e gestione avanzata dell'intero sistema

La catena modellistica. Modelli deterministici – le scale spaziali

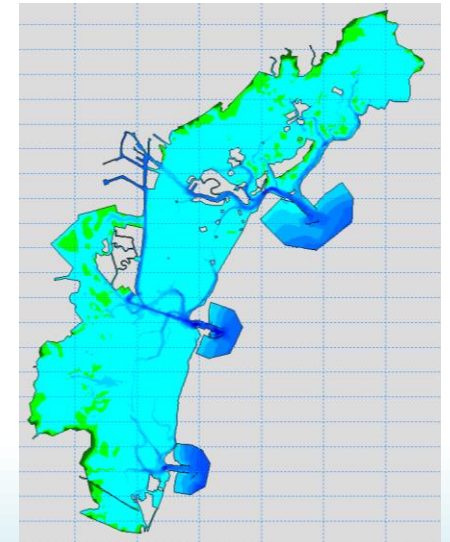


Mediterraneo - HD
(forzante ECMWF)



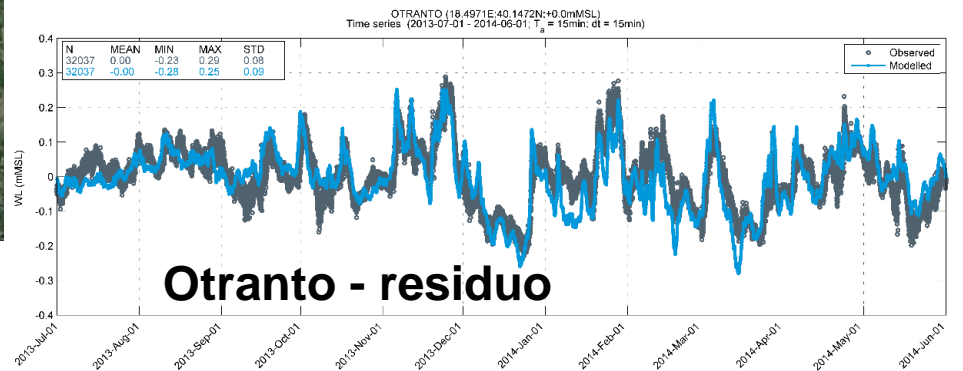
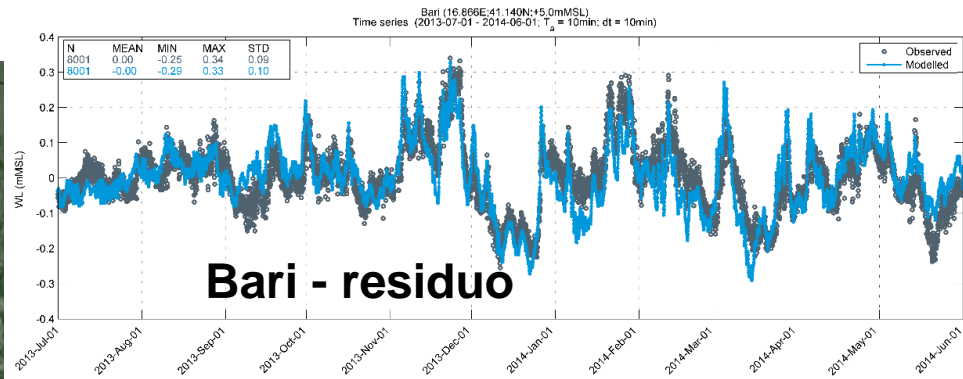
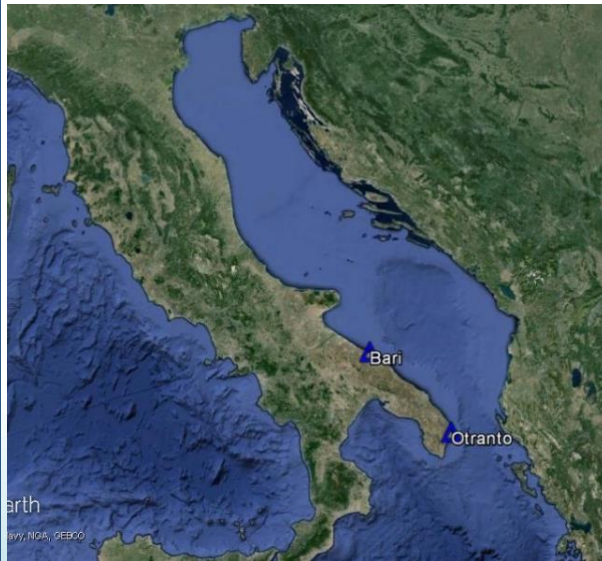
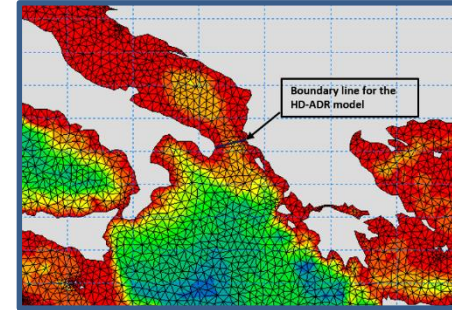
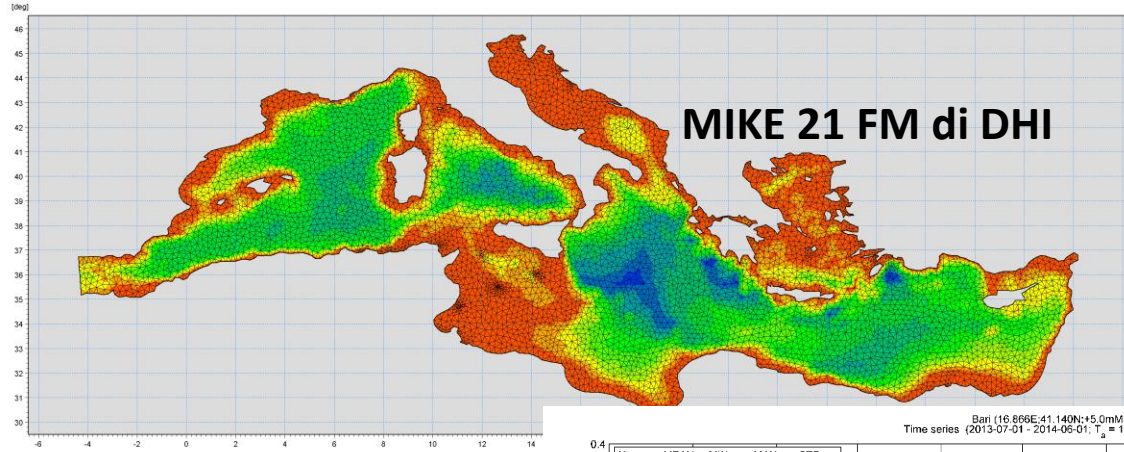
Adriatico – Onda:
(forzante ECMWF)

Adriatico – HD:
(forzanti ECMWF, LMDET, RUC) + data assimilation



Laguna – HD + ECO Lab:
(con apporti dei bacini e modellazione paratoie)

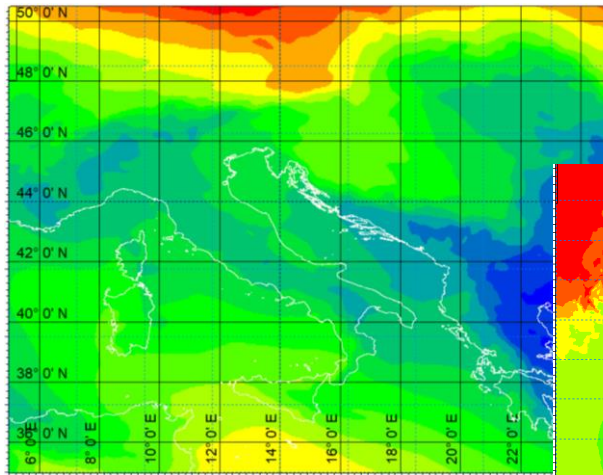
Previsione livelli nel Mar Mediterraneo (forzante ECMWF)



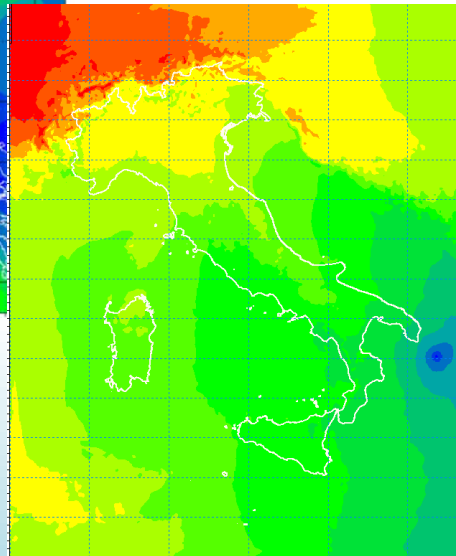
Focus sui modelli – deterministici, probabilistici, machine learning

Previsione livelli in Mare Adriatico (forzanti ECMWF / LMDET / I-RUC)

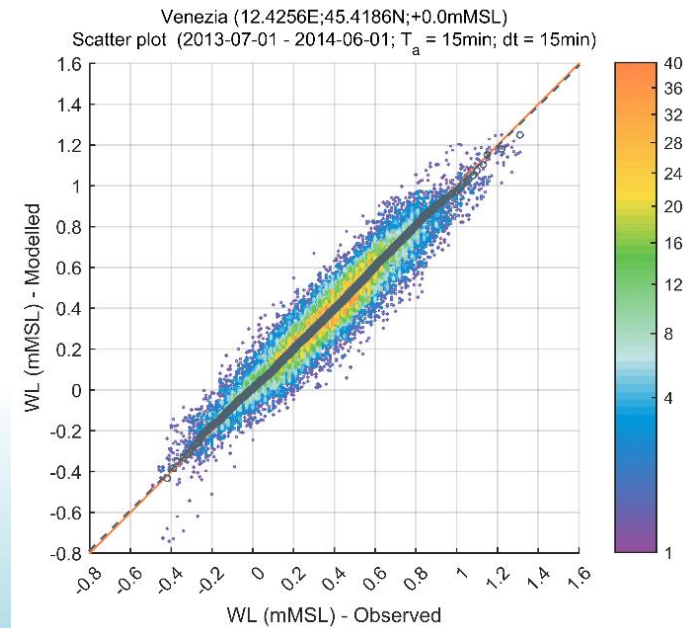
1. modello previsionale deterministico **long-term** (5 giorni) del Mar Adriatico con **data assimilation** e forzanti meteo ECMWF & LMDET (MIKE 21 HD FM)
2. modello previsionale deterministico **short-term** (18 ore) del Mar Adriatico con **data assimilation** e forzante meteo COSMO I-RUC (MIKE 21 HD FM)



LMDET (res 0.045°)



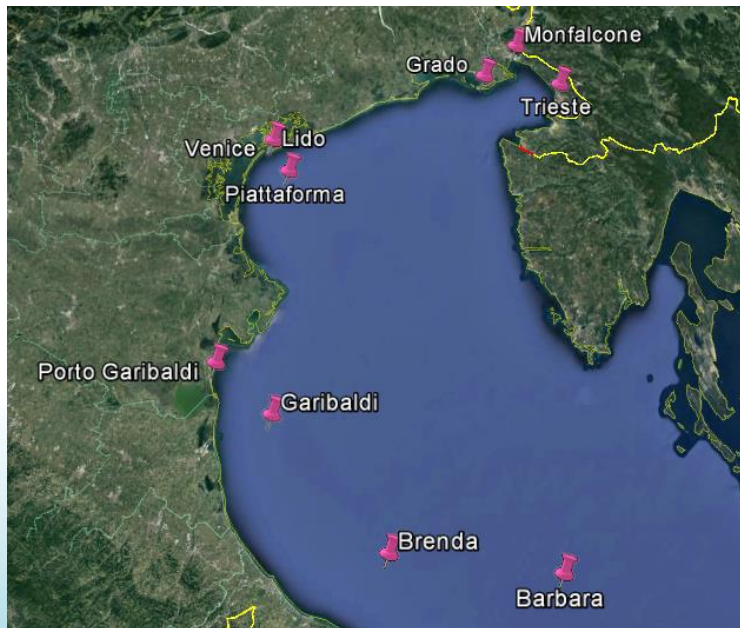
I-RUC (res 0.02°)



Previsione livelli in Mare Adriatico (forzanti ECMWF / LMDET / I-RUC)

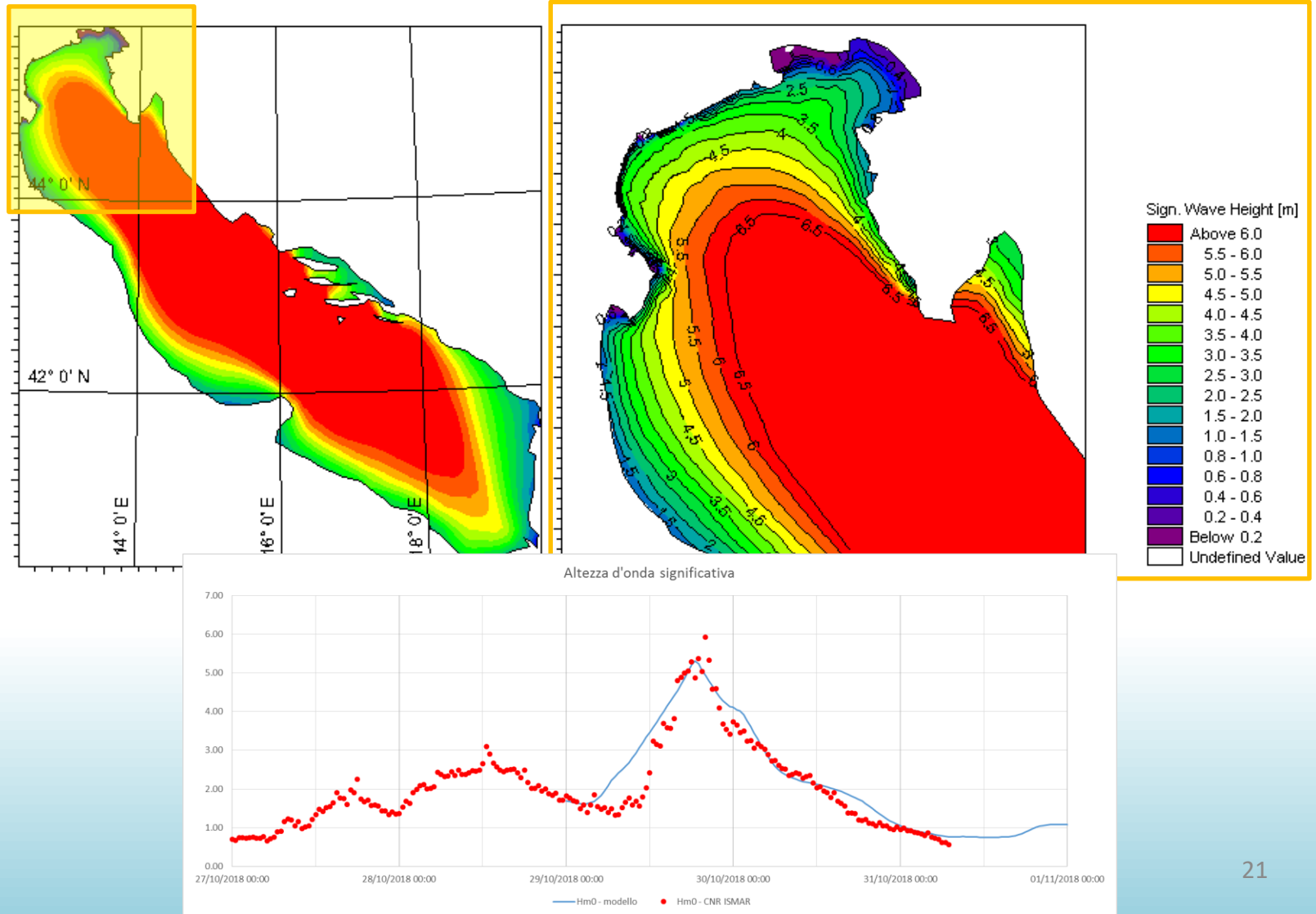
MIKE 21 FM di DHI con **assimilazione dei dati di livello** in specifiche stazioni di misura ad altissima frequenza di campionamento.

Calibrazione del modello → minimizzazione dell'errore sui livelli alle Bocche di Porto. Focus su anticipo di 12 ore sugli eventi di picco per la forzante LMDET e di 3-6 ore per la forzante COSMO I-RUC.



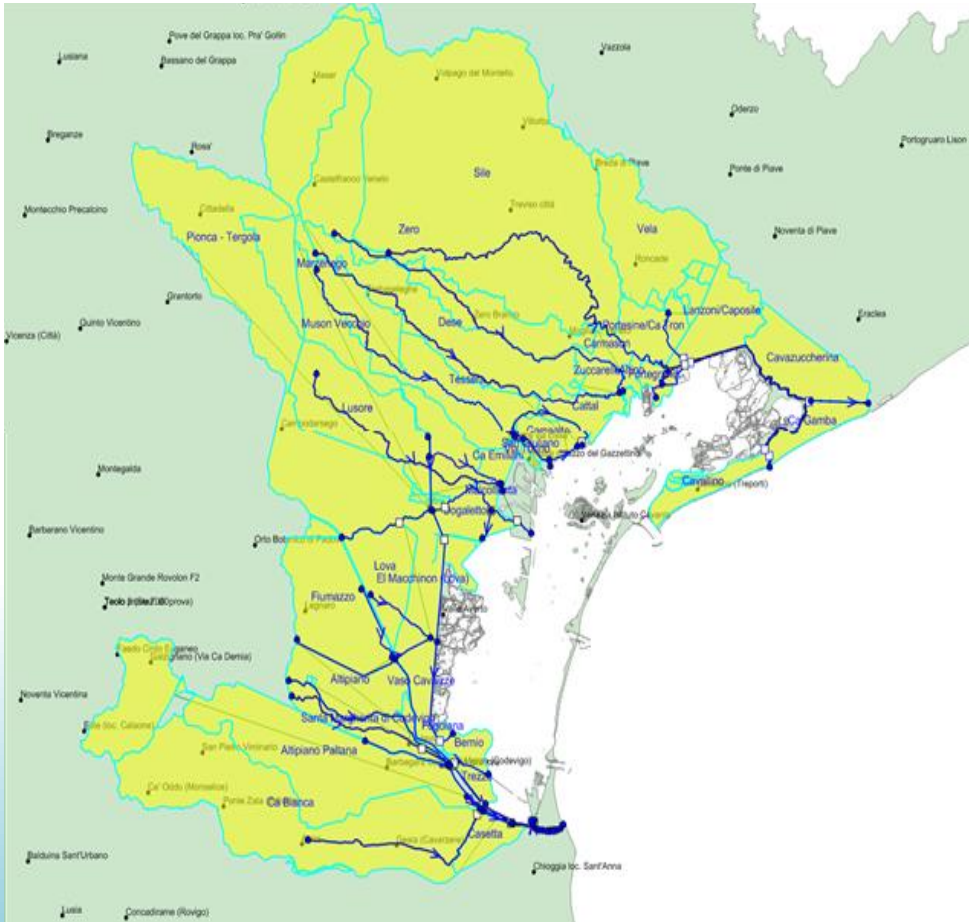
Focus sui modelli – deterministici, probabilistici, machine learning

Previsione del moto ondoso in Mare Adriatico (forzante ECMWF)



Modello idrologico del bacino Scolante e del Sile

Implementazione di un nuovo modello idrologico – idraulico basato su tecnologia MIKE per la stima dei contributi in Laguna di Venezia dei bacini scolanti e del Sile.



29 tratti d'asta

28 strutture
(weirs, culverts, pumps)

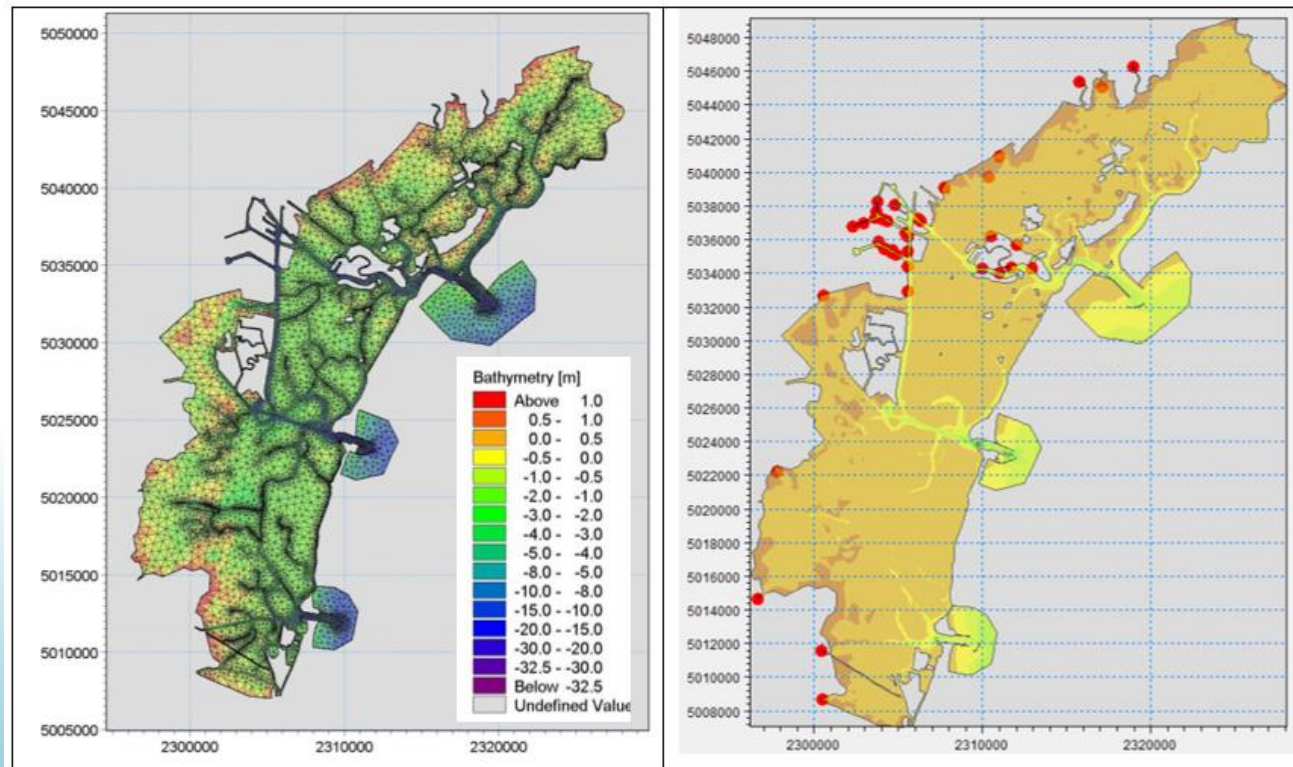
37 bacini idrografici

Focus sui modelli – deterministici, probabilistici, machine learning

Modello di qualità dell'acqua

Obiettivo: previsione e la gestione delle crisi anossiche nelle acque lagunari nella stagione estiva

Approccio: simulare il ciclo vitale dei produttori primari (macroalghe, fanerogame, fitoplancton) quali fattori determinanti ai fini della descrizione della dinamica dell'ossigeno nella colonna d'acqua (**MIKE ECO Lab**)



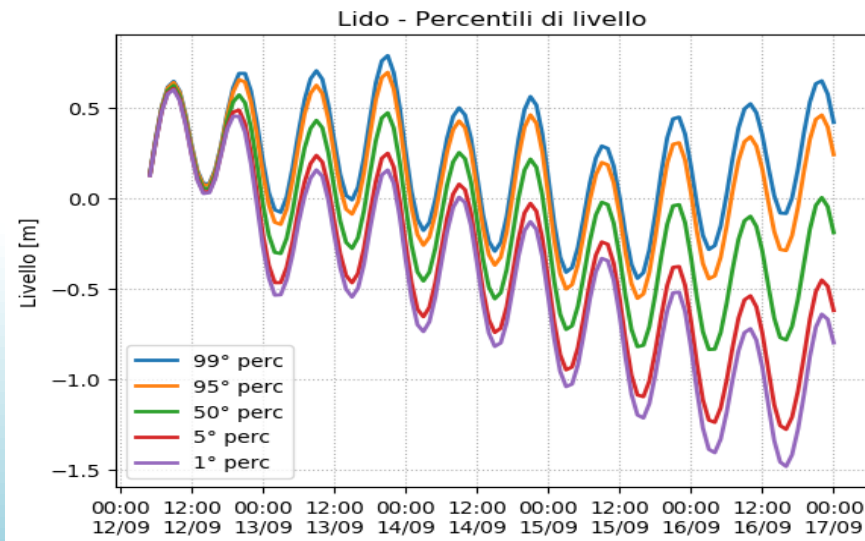
Oltre alle corse deterministiche, la piattaforma gestisce due ulteriori modelli:

- modello **statistico EXCO2** forzato delle previsioni meteorologiche **ensemble** COSMO-Leps
- modello di previsione del livello di marea con tecnologie di **machine learning**

Modello meteorologico *ensemble* COSMO LEPS all'interno del modello statistico EXCO2

Date le previsioni *ensemble* del modello COSMO-Leps, EXCO2 effettua 20 corse previsionali, una per ciascuno dei 20 membri di COSMO-Leps. Il processamento dei risultati (con fit su curva gaussiana) permette di stimare:

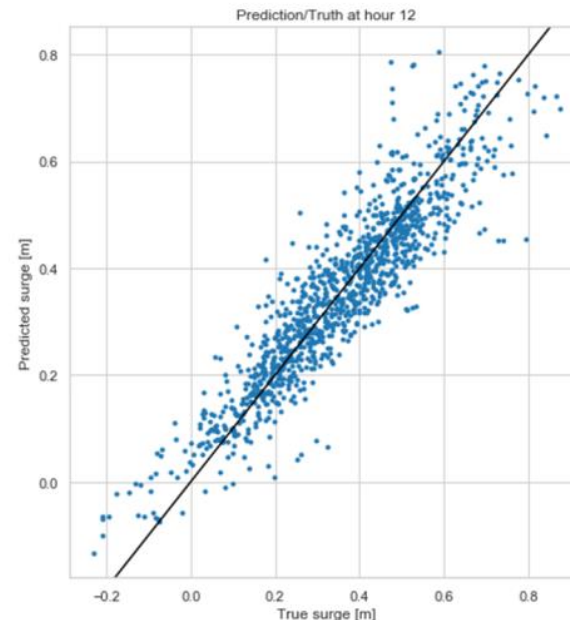
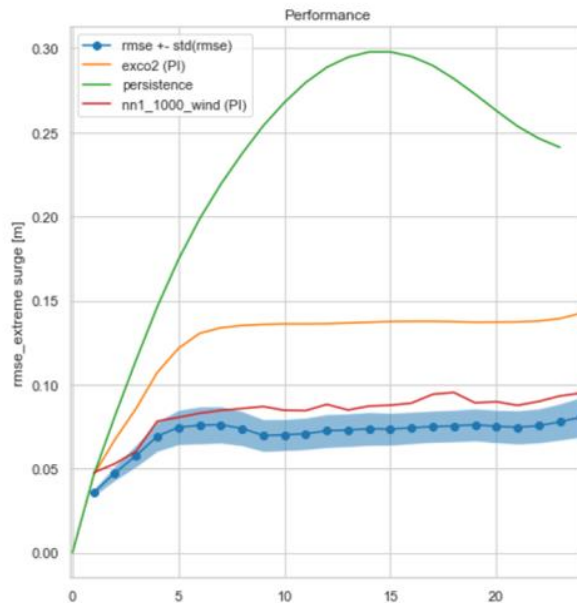
- probabilità di superamento di un valore prefissato (quota di salvaguardia);
- distribuzione, istante per istante, definendo, del valore medio atteso, del massimo e di quello relativo a determinati percentili (50%, 75%, 95% ecc.).



Modello *machine learning* per la previsione del livello di marea:

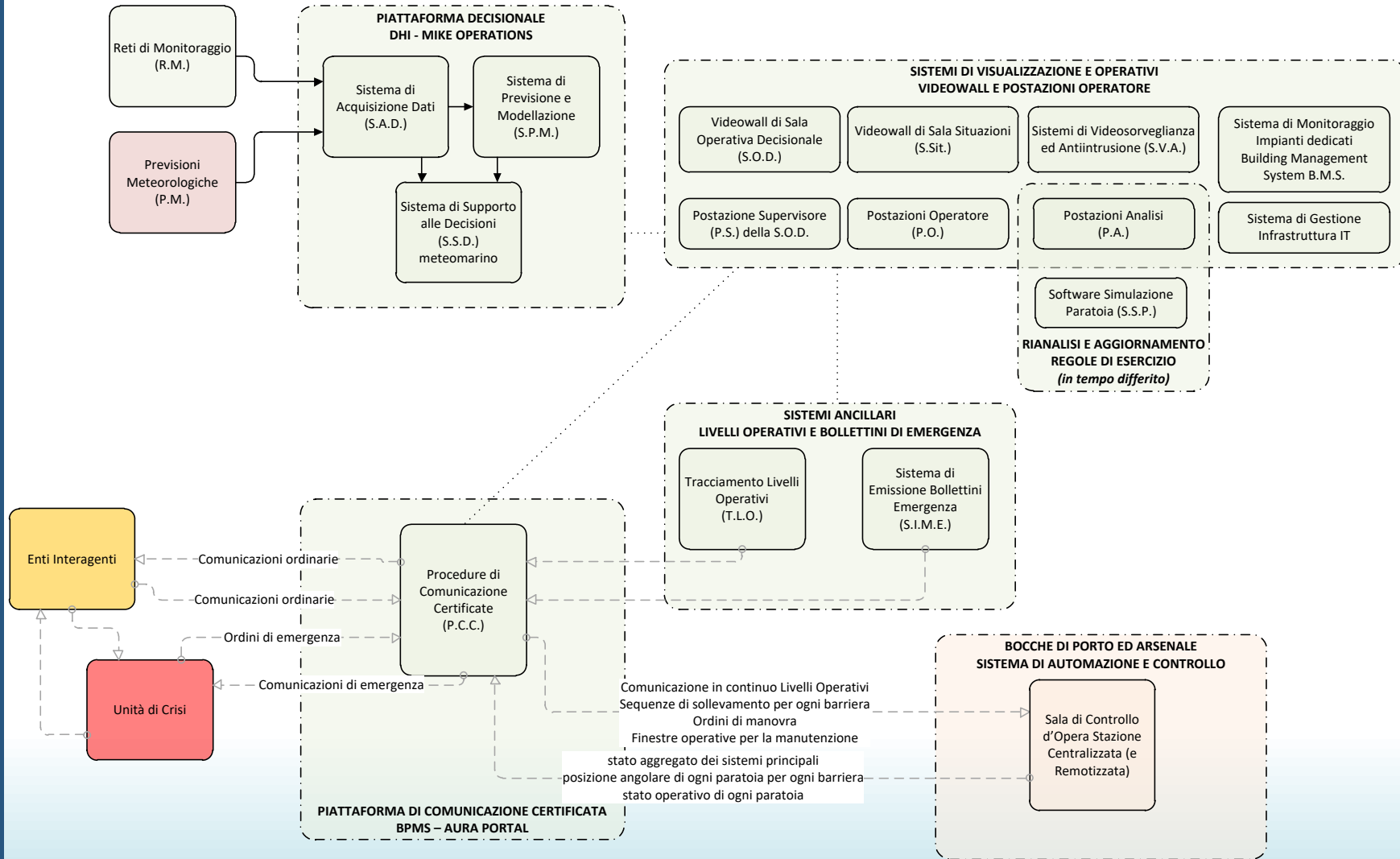
Dati: misure di livello di marea e previsione meteorologica ECMWF per un periodo di 35 anni. Variabili di input:

- livello di marea (picco) nelle 50 ore precedenti all'evento di acqua alta
- MSLP in 14 stazioni (le stesse utilizzate da EXCO2) nelle precedenti 24 ore fino alla fine della previsione (48 ore in totale con intervalli di 3 ore)
- vento misurato nelle 10 ore precedenti (velocità e direzione)



Lato sinistro: scarto quadratico medio dell'errore sul livello di marea calcolato alla Piattaforma CNR superiore a 50 cm in funzione dell'anticipo di previsione.

Lato destro: scatter plot del contributo meteo misurato e previsto alla Piattaforma CNR per un anticipo di previsione di 12 ore.



- Utilizzo delle potenzialità della nuova versione (attiva da marzo 2016) del modello di previsione meteorologica ECMWF: adeguamento dei modelli di previsione meteomarinari all'utilizzo di forzanti con maggiore risoluzione spaziale ($0,1^\circ$) e temporale (1 ora)
- Predisposizione di un sistema previsione della probabilità di superamento della quota di salvaguardia, in base all'output dei diversi modelli disponibili presso la Sala Operativa
- Applicazione in tempo reale di una correzione all'output dei modelli deterministici di previsione di marea basata sull'errore pregresso in base all'esperienza olandese (Schelda), appresa nell'ambito del network dei gestori delle grandi barriere
- Definizione di un piano di medio – lungo periodo che analizzi tutti gli aspetti necessari al miglioramento della previsione di livello in contesto operativo

GRAZIE PER L'ATTENZIONE

Stefano Libardo

Consorzio Venezia Nuova

+39 349 8064821

Stefano.Libardo@consorziovenezianuova.com

Andrea Pedroncini

DHI S.r.l.

+39 328 6341889

anp@dhigroup.com