



Materiali per la costruzione di sistemi di scarico sottomarini

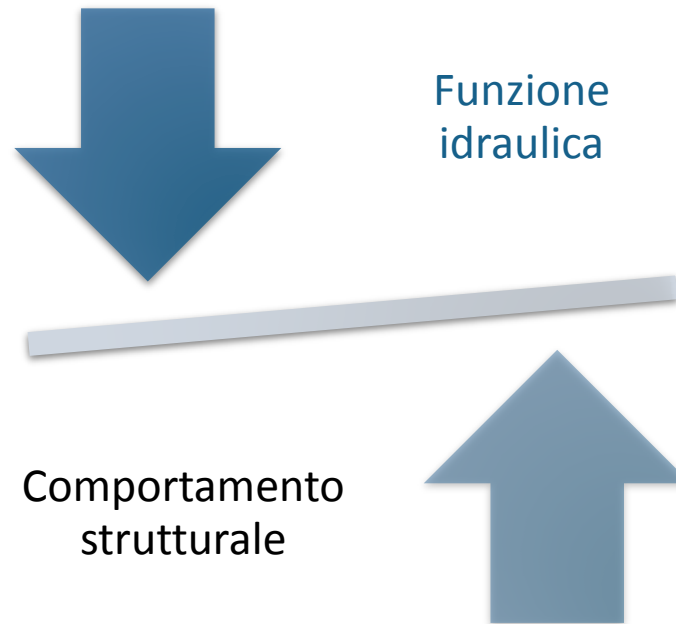
Politecnico di Bari, 8 Aprile 2016

Progettazione e direzione lavori dello scarico subacqueo del depuratore di Trapani

Relatore:
Ing. Damiano Galbo
Hydro Engineering s.s.

INTRODUZIONE

La condotta sottomarina a servizio della città di Trapani è stata ultimata in agosto del 2004 e, dunque, ha un esercizio di circa **12 anni**. Un periodo, questo, sufficientemente lungo per tracciare un primo bilancio sia sulla funzione idraulica che sul comportamento della "struttura" del sistema di scarico.



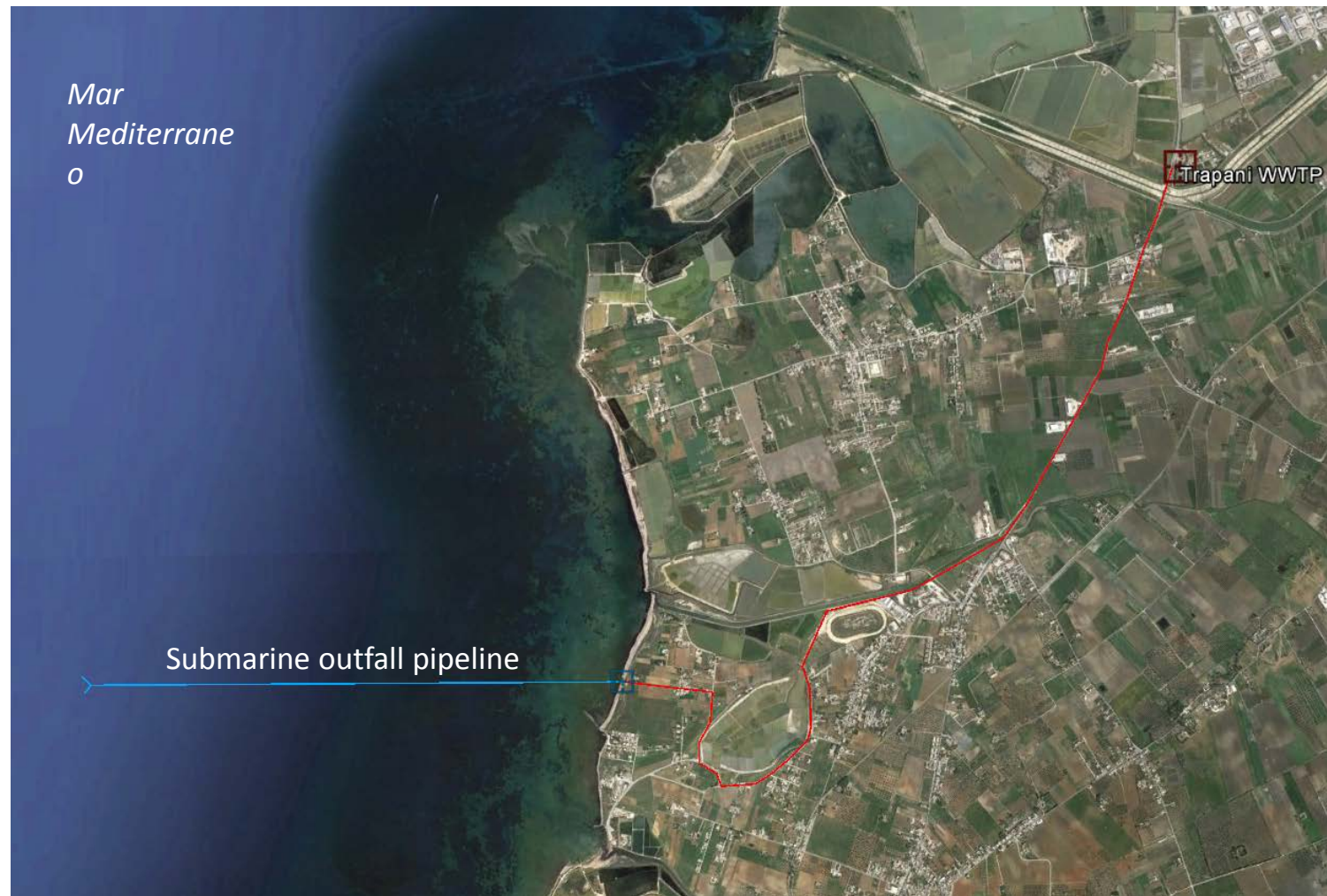


**Ubicazione delle opere e condizioni al contorno per la
progettazione della condotta sottomarina di Trapani**

UBICAZIONE DELLE OPERE



Sicilia Occidentale



Comune di Trapani

UBICAZIONE DELLE OPERE



IL CONTESTO AMBIENTALE DI RIFERIMENTO

Riserva naturale
orientata **Saline di
Trapani e Paceco**



IL CONTESTO AMBIENTALE DI RIFERIMENTO



Riserva naturale orientata
Saline di Trapani e Paceco

IL CONTESTO AMBIENTALE DI RIFERIMENTO



Riserva naturale orientata **“Saline di Trapani e Paceco”**

IL SISTEMA DEPURATIVO DELLA CITTÀ DI TRAPANI

L'impianto di depurazione della città di Trapani ha una potenzialità di 118.500 AE, mentre, allo stato attuale tratta 90.000 AE ed ha una portata media giornaliera di circa 17.000-20.000 m³.

Il ricettore finale delle acque depurate è il Mar Mediterraneo nella zona compresa tra le **Isole Egadi e la Riserva Naturale Orientata Saline di Trapani e Paceco**: contesto di elevata sensibilità e qualità ambientale.

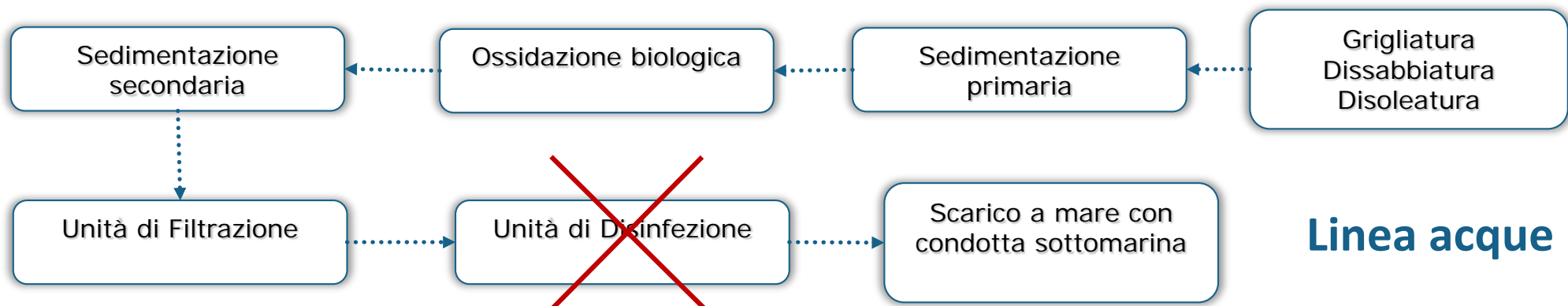
Oltre a tale contesto, il sistema depurazione/condotta sottomarina di allontanamento in mare deve garantire **sia la balneabilità di una ampia fascia costiera** che la **qualità delle acque** alla presa del dissalatore di Trapani, che tratta oltre 400 l/s di acqua potabile.

IL SISTEMA DEPURATIVO DELLA CITTÀ DI TRAPANI

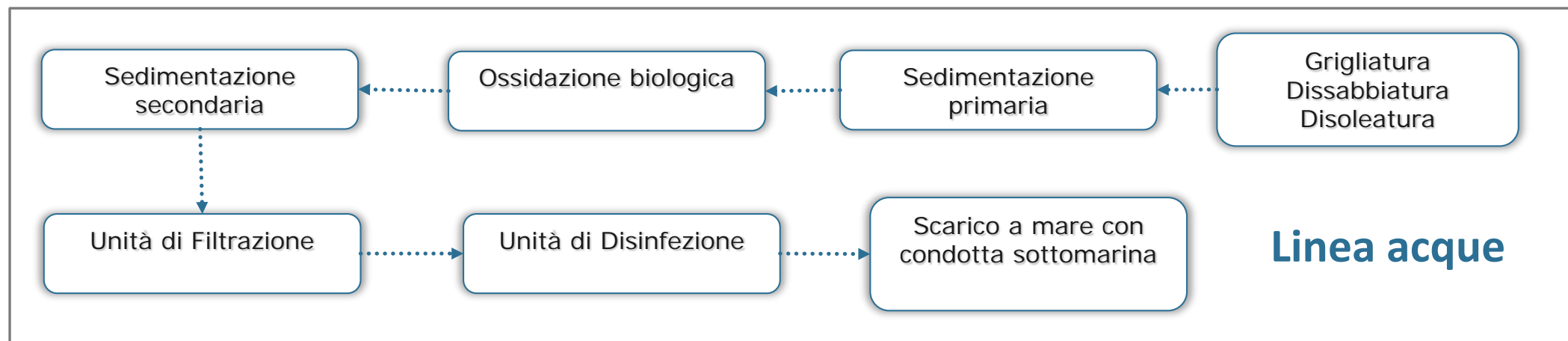


Ortofoto dell'impianto di depurazione consortile di Trapani

IL SISTEMA DI DEPURAZIONE DEI REFLUI URBANI



IL SISTEMA DI DEPURAZIONE DEI REFLUI URBANI





La condotta sottomarina della città di Trapani

IL SISTEMA DEPURATIVO DELLA CITTÀ DI TRAPANI

Il sistema depurativo e di scarico a mare è inserito in un contesto territoriale particolarmente sensibile da un punto di vista **ambientale** e di **fruizione del mare** perché, nel suo intorno, a breve distanza l'uno dall'altro, sono presenti le seguenti infrastrutture:

- a. **Dissalatore**
- b. **Coltivazione delle saline**
- c. **Balneazione**

Condotta di
presa
dissalatore

Saline di
Trapani e
Paceco

Aree di
balneazione



IL SISTEMA DI SCARICO A MARE DELLA CITTÀ DI TRAPANI

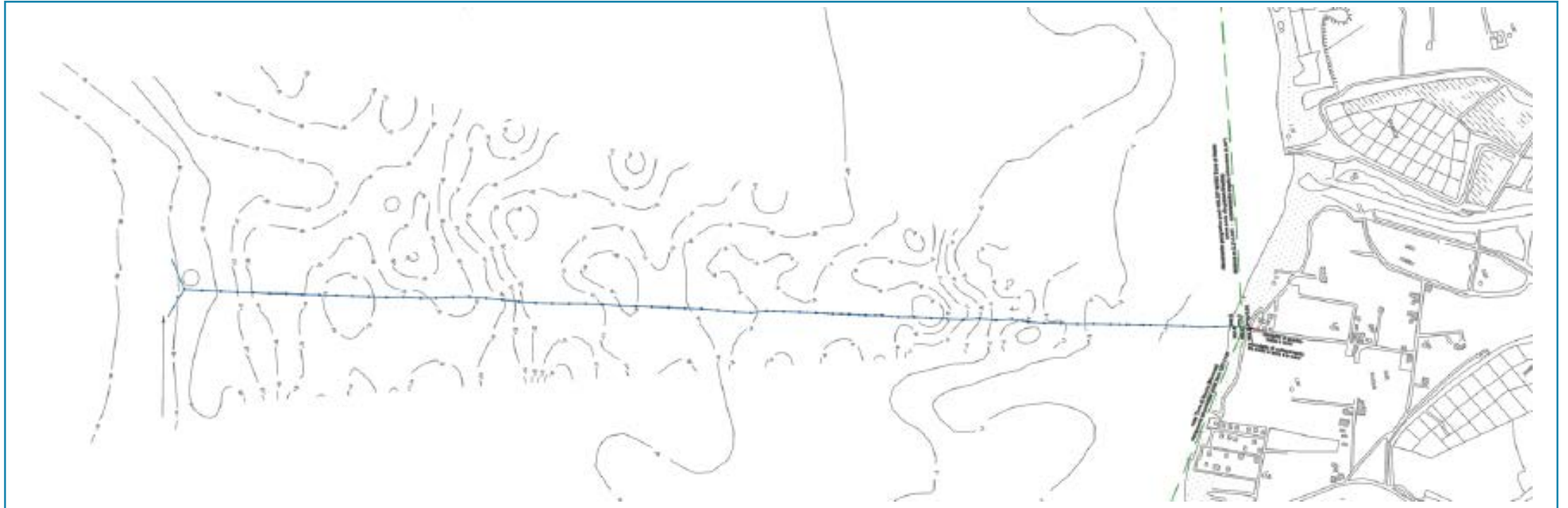
Il sistema è in esercizio dal 2004-2005 e sta garantendo il rispetto di tutte le esigenze ambientali e funzionali per cui è stato realizzato.

Il corretto esercizio avviene con un'attenta gestione delle infrastrutture depurative e di scarico in mare e con un'adeguata funzione di controllo esercitata dal Comune di Trapani, proprietaria delle infrastrutture.

Il punto di scarico della condotta sottomarina è monitorato in continuo da un sistema di campionamento automatico, montato sulla boa segnalatrice del diffusore, che controlla **pH, Temperatura, conducibilità, REDOX, Ossigeno disciolto**, a diversi livelli di profondità e diverse volte al giorno.

LA CONDOTTA SOTTOMARINA DELLA CITTÀ DI TRAPANI

Bathymetric layout of the submerged pipeline



La condotta ha il suo punto di inizio in *contrada Arcieri*, sul litorale di Marausa, ubicato topograficamente utilizzando dei punti noti di facile individuazione, Torre Nubia a Nord e Torre di Mezzo a Sud, riportati sulla Carta d'Italia edita dall'istituto Geografico Militare "Foglio Paceco 257 IV NO".

LA CONDOTTA SOTTOMARINA DELLA CITTÀ DI TRAPANI

Ortophoto layout of the submerged pipeline

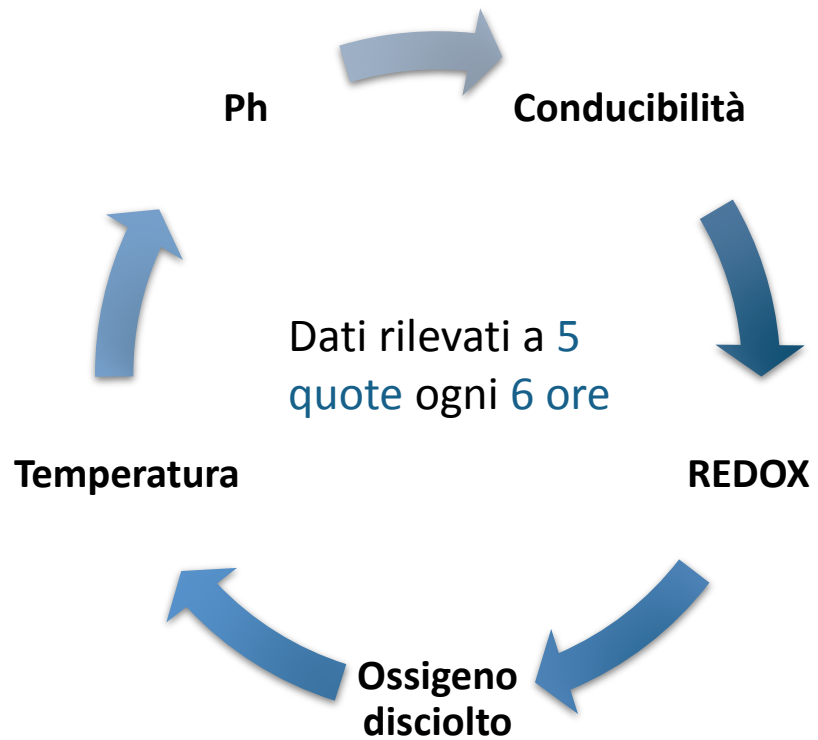


LA CONDOTTA SOTTOMARINA DELLA CITTÀ DI TRAPANI: I NUMERI

- ❖ Tubazione in **HDPE PE80 DE 800 mm, PN6**, ID 709.40 mm, “ $\sigma=50 \text{ Kg/cm}^2$ ”
- ❖ Lunghezza complessiva **3.100,00 m**
- ❖ Flange di accoppiamento in PRFV
- ❖ Diffusori a forma di Y in **HDPE, PN6, DE 500 mm** completati con 15 diffusori per tratto, **DE 180 mm, in HDPE PE 80 PN16**, posti ad un’interdistanza di 6 m
- ❖ Lunghezza di ciascun tratto di diffusori: **97,00 m**
- ❖ Numero di anelli di appesantimento in ghisa da 200 kg ciascuno: **875**
- ❖ Numero di anelli di appesantimento in ghisa da 100 kg ciascuno: **60**
- ❖ Numero di blocchi di ancoraggi in calcestruzzo: **244**
- ❖ Volume di scavo: **14.312,00 m³**
- ❖ Volume del letto di posa: **822,00 m³**
- ❖ Volume di rinfiando e rinterro: **4.468,00 m³**

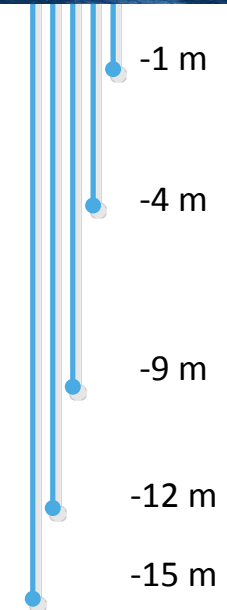
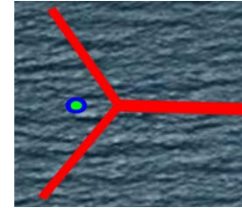
IL MONITORAGGIO DEL CORPO IDRICO RICETTORE

La stazione di monitoraggio **MEDUSA**

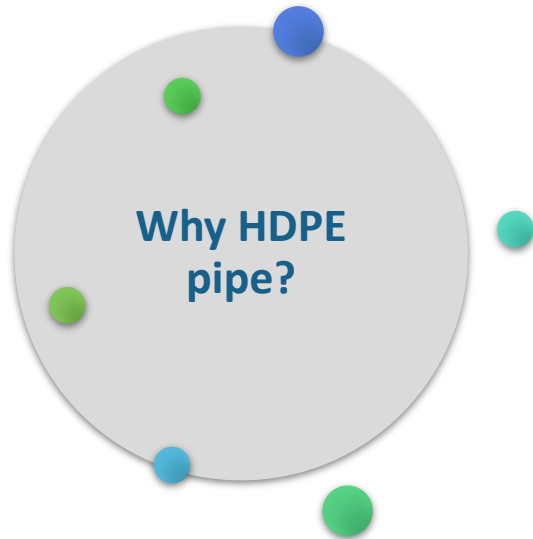


- Elaborazione dei dati
- Algoritmo UNESCO
- IESS-1980
- Salinità e densità

Profili verticali per il mare indisturbato e in presenza di scarico

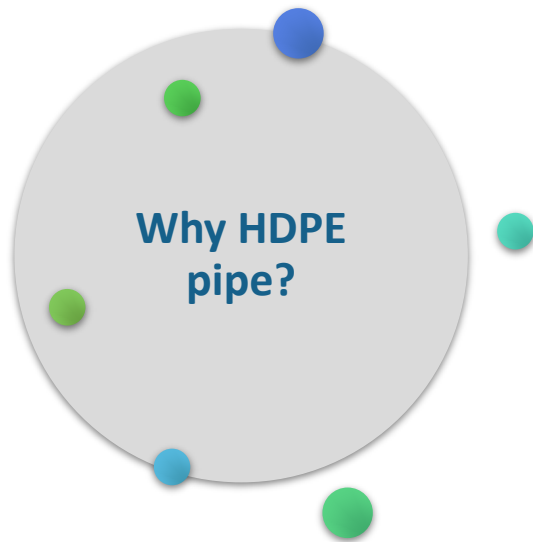


LA SCELTA DELLE TUBAZIONI PER LA CONDOTTA SOTTOMARINA



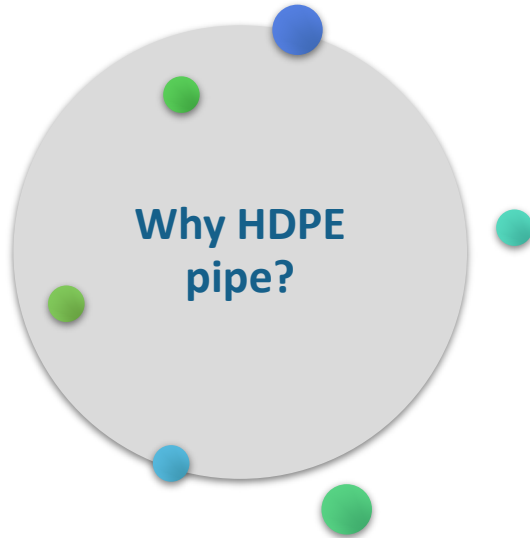
- Il Pead è **inerte rispetto all'ambiente marino** e questo garantisce **una durabilità importante della condotta sottomarina**, in accordo alla propria vita utile: a differenza delle tubazioni metalliche, infatti, l'omogeneità della parete strutturale della tubazione garantisce una vita utile importante nelle applicazioni marine, senza problemi di corrosione o di deperimento dei materiali.
- Le sollecitazioni esterne che agiscono sulla condotta sottomarina sono principalmente causate dall'azione delle onde, dall'azione delle correnti, e spesso da un fondale instabile. L'utilizzo di un *piping* sottomarino di tipo flessibile consente, **in caso di sollecitazioni straordinarie, la possibilità di movimento della condotta senza danni strutturali**.

LA SCELTA DELLE TUBAZIONI PER LA CONDOTTA SOTTOMARINA



- La **flessibilità** e la **continuità longitudinale**, il ridotto numero di giunti tra le diverse tratte di condotte, in uno con la **leggerezza** della tubazione, implicano l'utilizzo di **tecniche di posa semplici e poco costose**.
- La **posa** della condotta di scarico sottomarina può avvenire in **breve tempo**, anche in condizioni critiche di mare.
- Il numero ridotto di connessioni **riduce, in modo significativo, i rischi ambientali** (fuoriuscite e/o perdite di refluo).
- La condotta in HDPE è adatta per la posa su **terreni con scarsa capacità portante**.

LA SCELTA DELLE TUBAZIONI PER LA CONDOTTA SOTTOMARINA

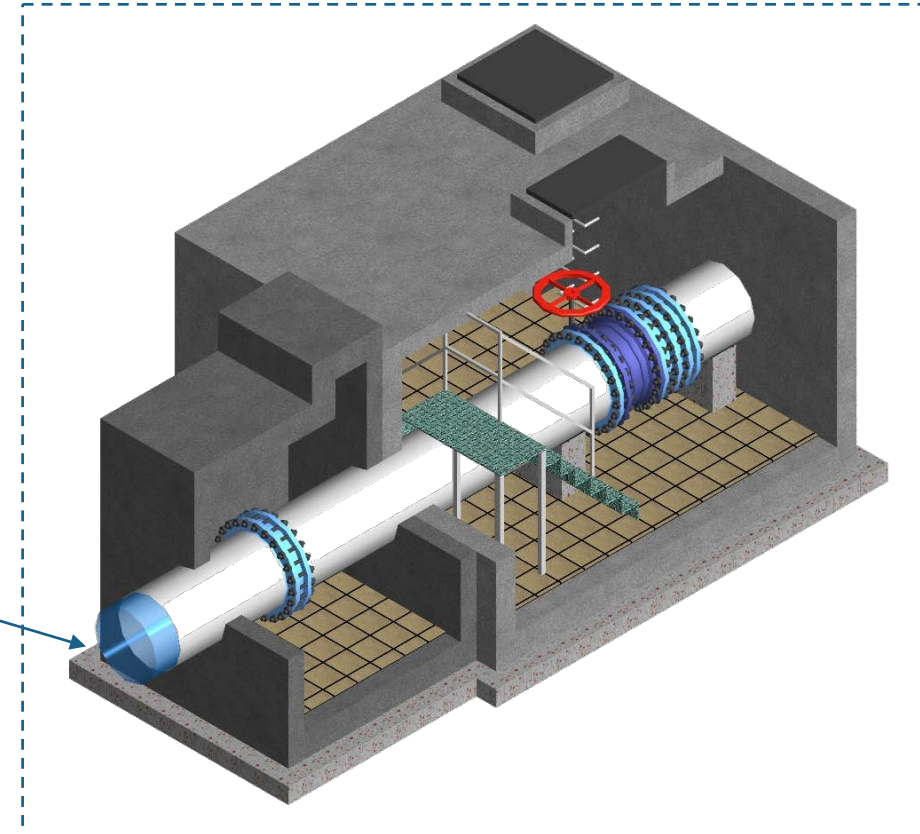
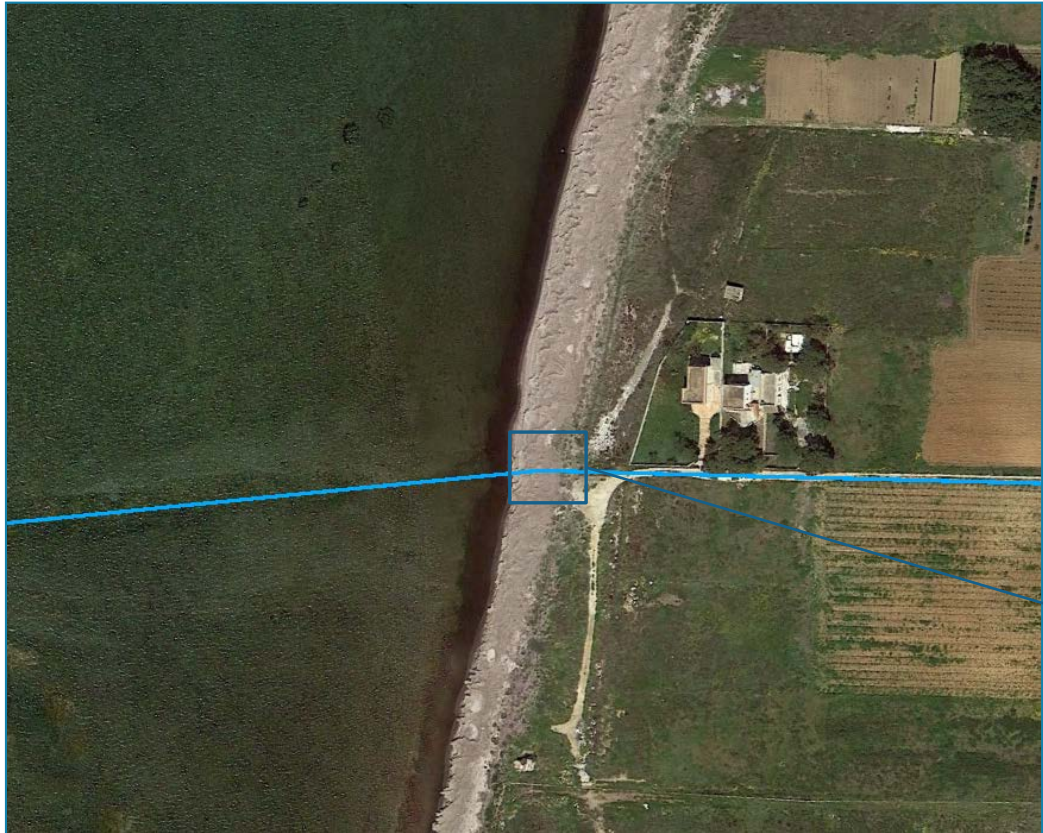


- **Facilità di manovra** delle condotte durante la fase di costruzione e **ridotte dimensioni del cantiere**.
- Ottima **resistenza alla abrasione**.
- Da un punto di vista idraulico, una condotta in HDPE rappresenta la **soluzione «migliore» in termini di scabrezza**.
- La **semplicità del dimensionamento** della trincea di posa e dell'*embedment*.
- Elevata **resistenza alle azioni sismiche**.



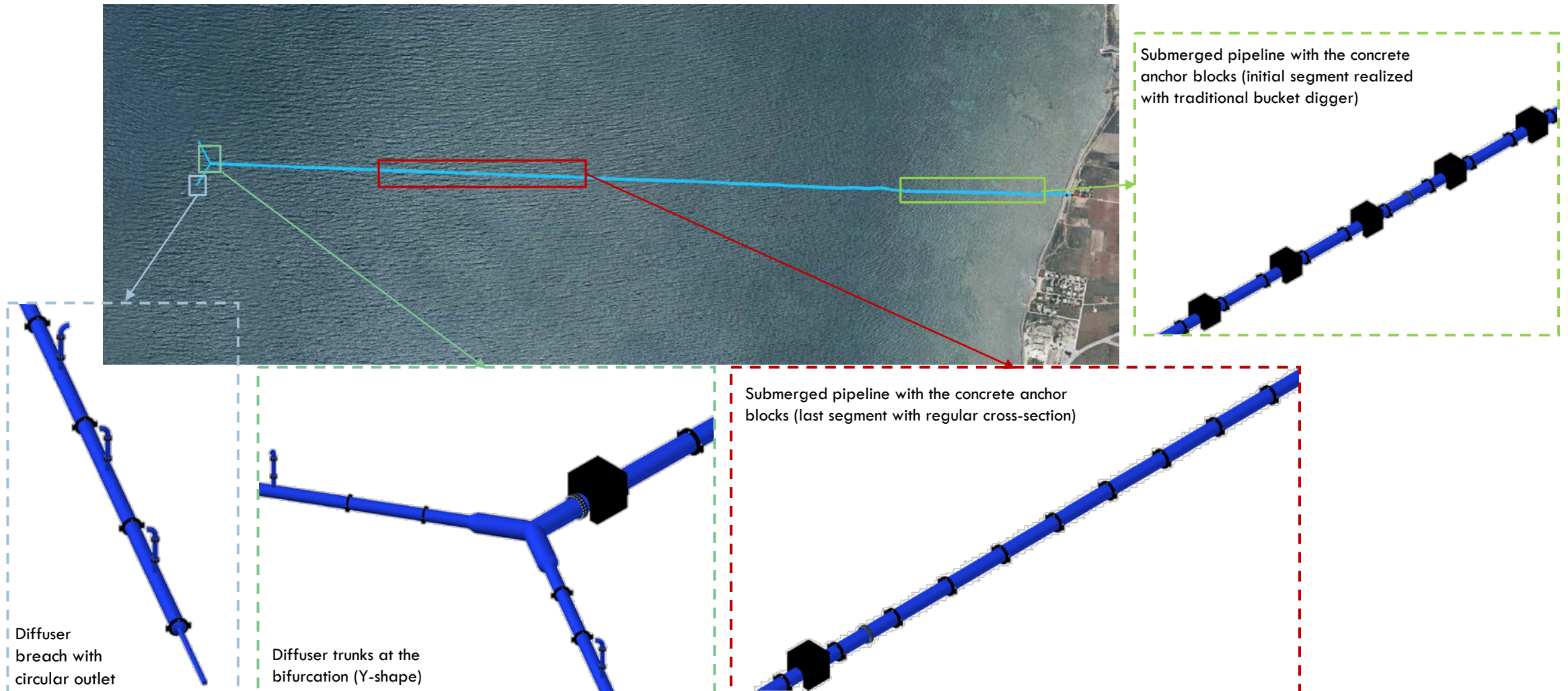
L'esperienza di circa quattordici anni di vita della condotta sottomarina di Trapani ha confermato che la **scelta delle tubazioni in HDPE è stata una scelta corretta**, perché non si sono mai riscontrati problema sia in termini di stabilità che di funzionalità della condotta stessa. Tutto ciò è confermato dalle periodiche visite ispettive subacquee e dai relativi video reportage dell'intera condotta.

LA CONDOTTA SOTTOMARINA DELLA CITTÀ DI TRAPANI



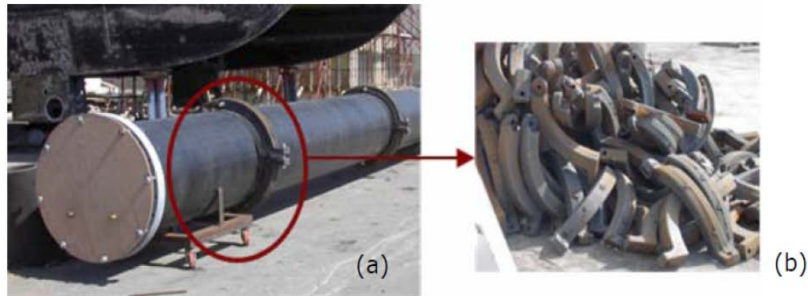
Connection manhole between the submarine pipeline outfall and the discharge pipeline of Trapani WWTP

LA CONDOTTA SOTTOMARINA DELLA CITTÀ DI TRAPANI



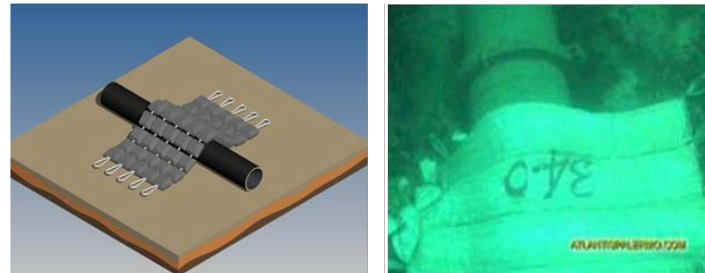
LA CONDOTTA SOTTOMARINA DI TRAPANI: L'ANCORAGGIO

La condotta è stabilizzata staticamente dai seguenti elementi



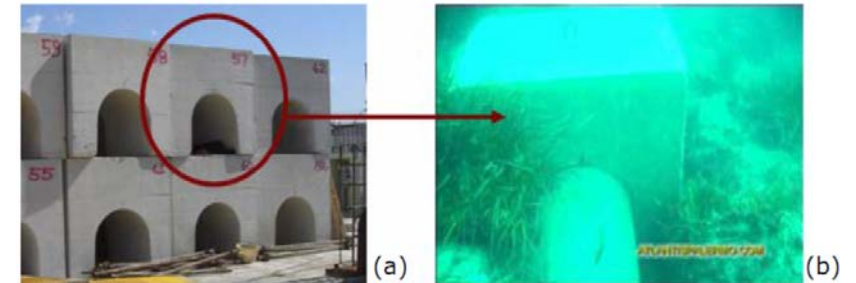
A part of HDPE pipeline ready for the launch
(a) with cast iron rings in close-up (b)

Anelli in ghisa



A mattress 3D view scheme (a) and a mattress
and a cast iron ring onto the pipeline (b)

Materassi



The anchor blocks stacked in the construction yard
(a) and laid on the seabed over the pipeline (b)

Blocchi di ancoraggio in cls

LA CONDOTTA SOTTOMARINA DI TRAPANI: ALCUNE IMMAGINI



LA CONDOTTA SOTTOMARINA DI TRAPANI: ALCUNE IMMAGINI



LA CONDOTTA SOTTOMARINA DI TRAPANI: ALCUNE IMMAGINI



LA CONDOTTA SOTTOMARINA DI TRAPANI: ALCUNE IMMAGINI



LA CONDOTTA SOTTOMARINA DI TRAPANI: ALCUNE IMMAGINI



LA CONDOTTA SOTTOMARINA DI TRAPANI: ALCUNE IMMAGINI



LA CONDOTTA SOTTOMARINA DI TRAPANI: ALCUNE IMMAGINI



LA CONDOTTA SOTTOMARINA DI TRAPANI: ALCUNE IMMAGINI



LA CONDOTTA SOTTOMARINA DI TRAPANI: ALCUNE IMMAGINI





La fase di costruzione: problemi e soluzioni

FORMAZIONE DELLA TRINCEA DI POSA

La formazione della trincea di posa delle condotte è stata eseguita utilizzando due differenti metodi di scavo.



1. Escavatore posizionato su un pontone



2. Macchina escavatrice che si muove sul fondale

FORMAZIONE DELLA TRINCEA DI POSA: TECNICHE UTILIZZATE

Tale tecnica, utilizzata per circa 1000 m di condotte, è stata realizzata mediante l'impiego di un tradizionale **escavatore posizionato su un pontone**, trainato sul posto ed ancorato al fondo.



The **bucked digger** positioned on the pontoon used for the realization of the first part of the dig



Svantaggi di tale tecnica di scavo:

- ❖ Formazione di sezioni trasversali irregolari, in gran parte a causa della deriva del pontone per le onde del mare e per il vento (quasi inevitabile).
- ❖ Volumi di scavo maggiori rispetto al necessario, con danni alla *Posidonia oceanica* (o altri tipi di alghe) che crescono sui fondali.
- ❖ Una più larga sezione trasversale della trincea rispetto a quella strettamente necessaria (in progetto): si ha pertanto una condotta meno stabile sul fondo, un maggior numero di blocchi in ghisa e di blocchi di ancoraggio in calcestruzzo, così come un aumento dei costi per materiali e manodopera.
- ❖ Forte sensibilità della condotta alle condizioni meteo-marine.

FORMAZIONE DELLA TRINCEA DI POSA: TECNICHE UTILIZZATE

La seconda parte dello scavo della trincea è stato eseguito utilizzando una **speciale macchina di scavo che si muove sul fondale**, permettendo di realizzare una sezione di scavo perfettamente uguale a quella contrattualmente prevista.



A picture of the **regular cross section** obtained in the farther half of the digging

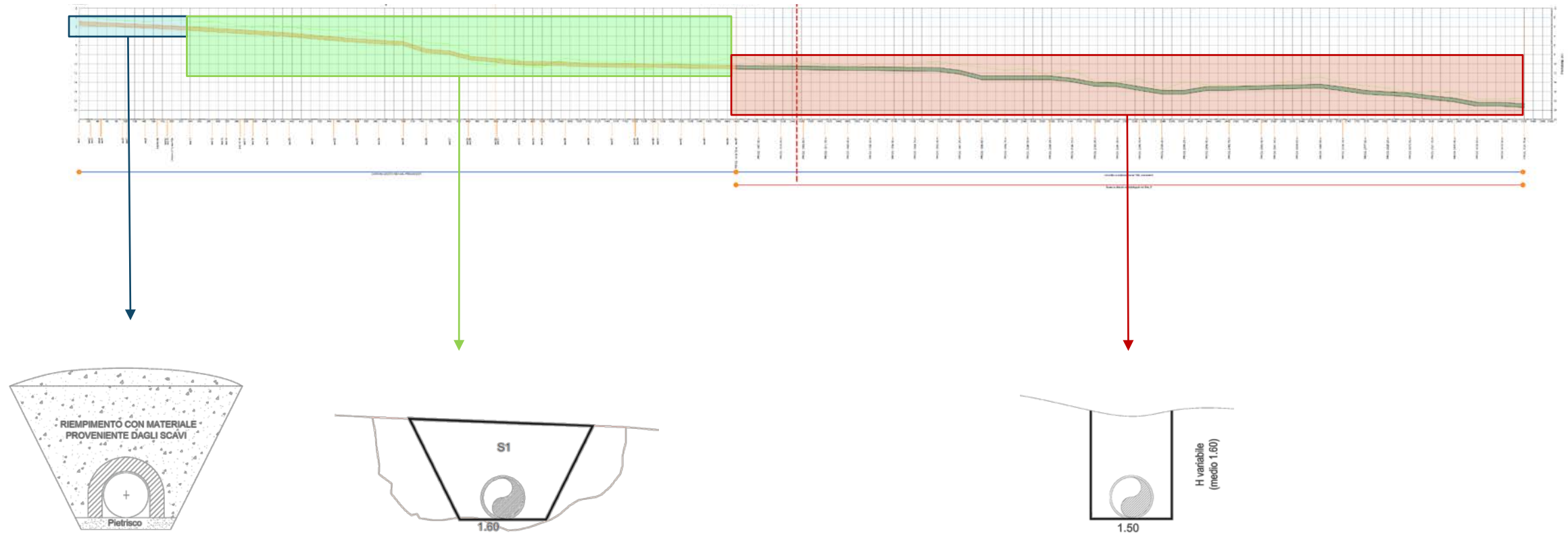


Vantaggi di tale tecnica di scavo:

- ❖ Tale unità opera tramite azionamento telecomandato dalla superficie di un battello appositamente attrezzato, che fornisce le necessarie alimentazioni idrauliche e di aria. L'unità operatrice esegue il taglio del fondale mentre le idrovore rimuovono i materiali scavati.
- ❖ Il sistema è assistito subacquei qualificati, al fine di garantire il corretto orientamento dello scavo.
- ❖ La applicazione di tale tecnica ha consentito di ottenere sezioni trasversali della trincea molto regolari.
- ❖ Rapidità di esecuzione: in meno di sei mesi è stato possibile costruire quanto costruito con il metodo tradizionale in oltre un anno di lavoro.

SEZIONI TRASVERSALI DELLA TRINCEA

Bathymetric profile of Trapani submarine pipeline outfall

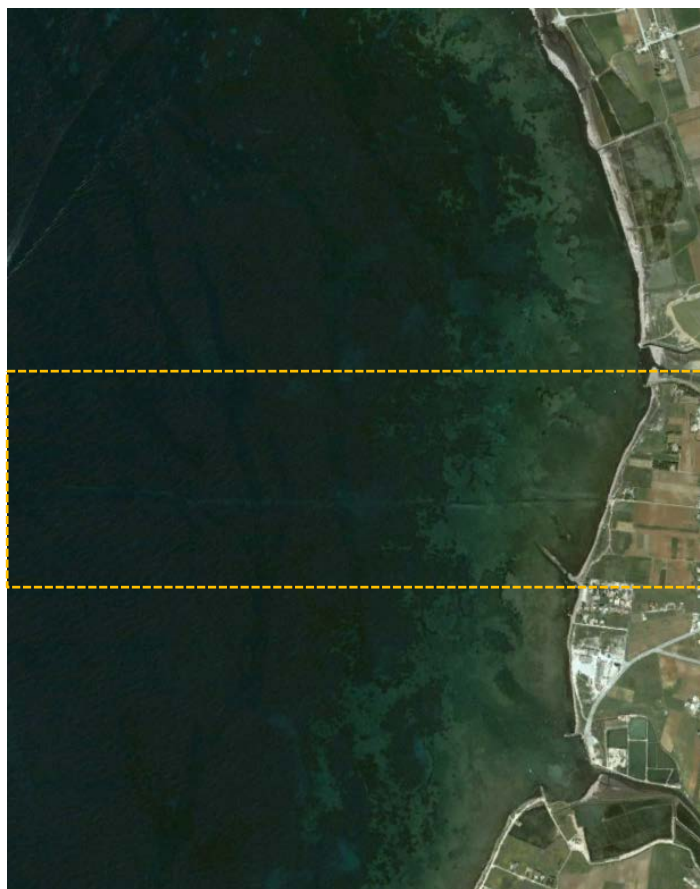


Initial cross-section, where the water height is small and the pipeline is anchored to seabed with mattress

Irregular cross-section, larger than necessary because of the inappropriate features of the dig-machine

Regular cross-section obtained with the special dig-machine

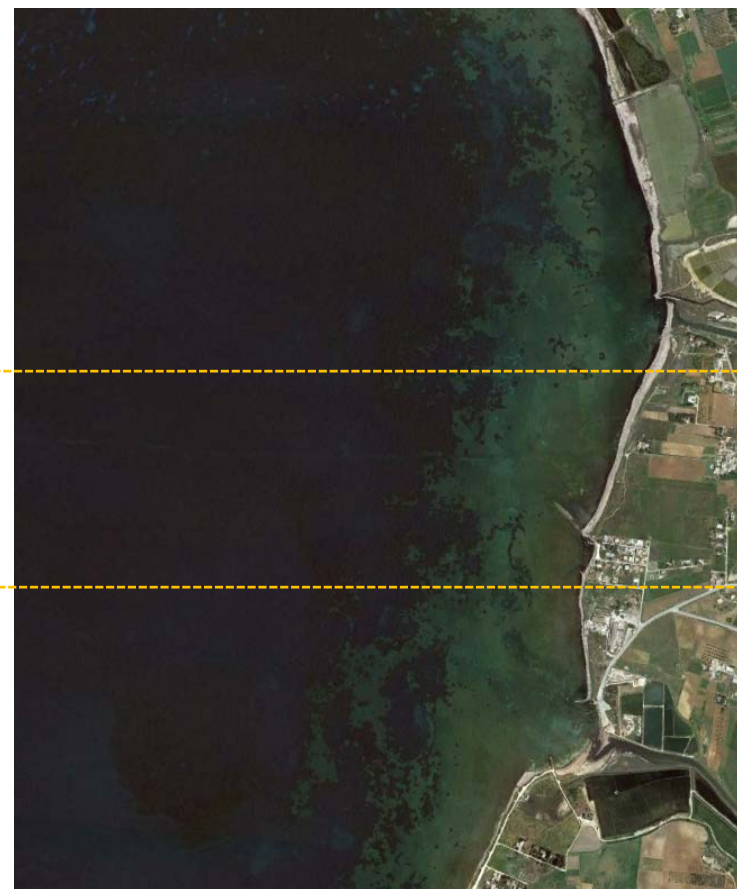
RINATURALIZZAZIONE DELLO SCAVO



2006



2013

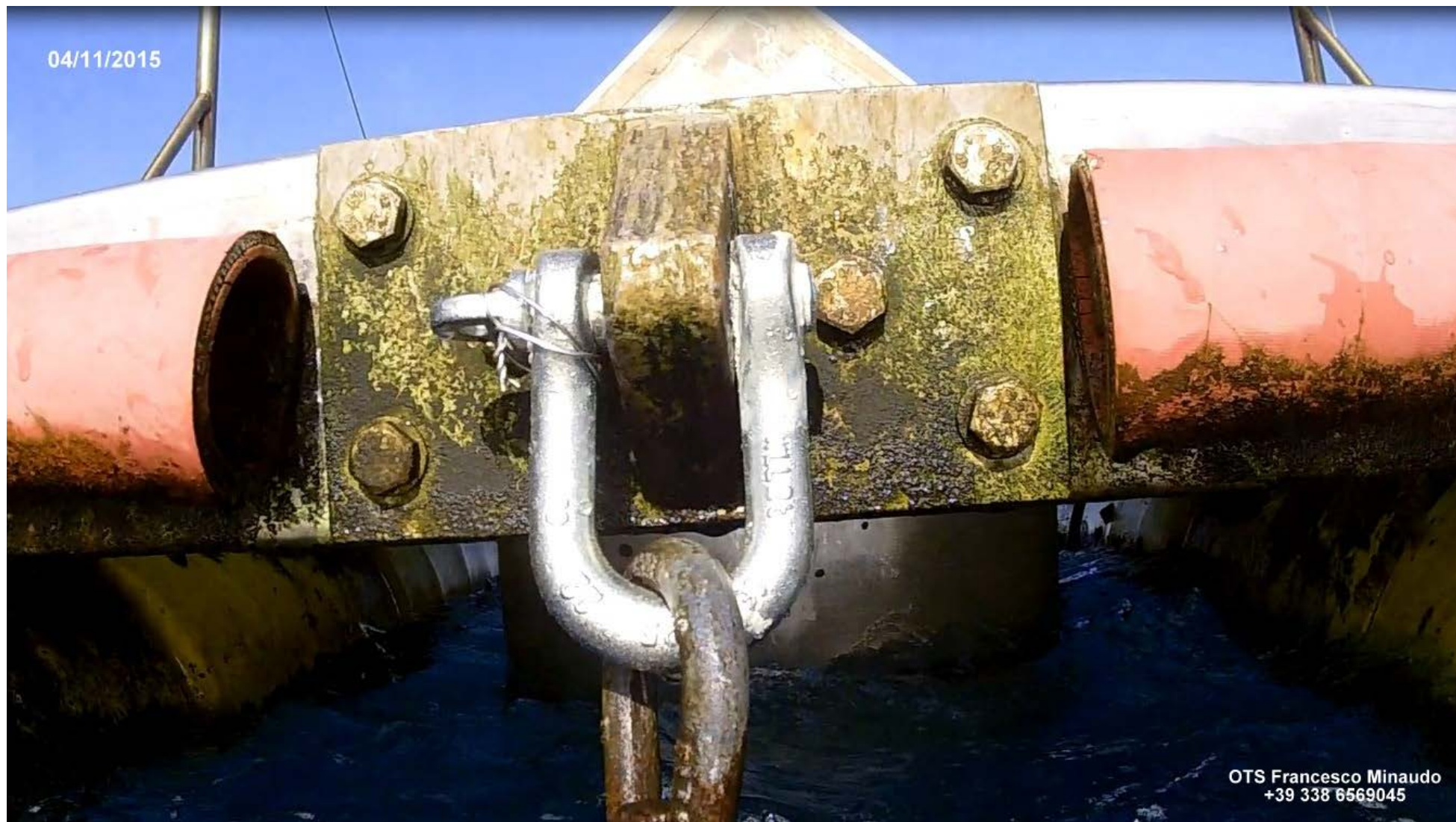


2016



La verifica di funzionalità strutturale e idraulica

I CONTROLLI IN ESERCIZIO

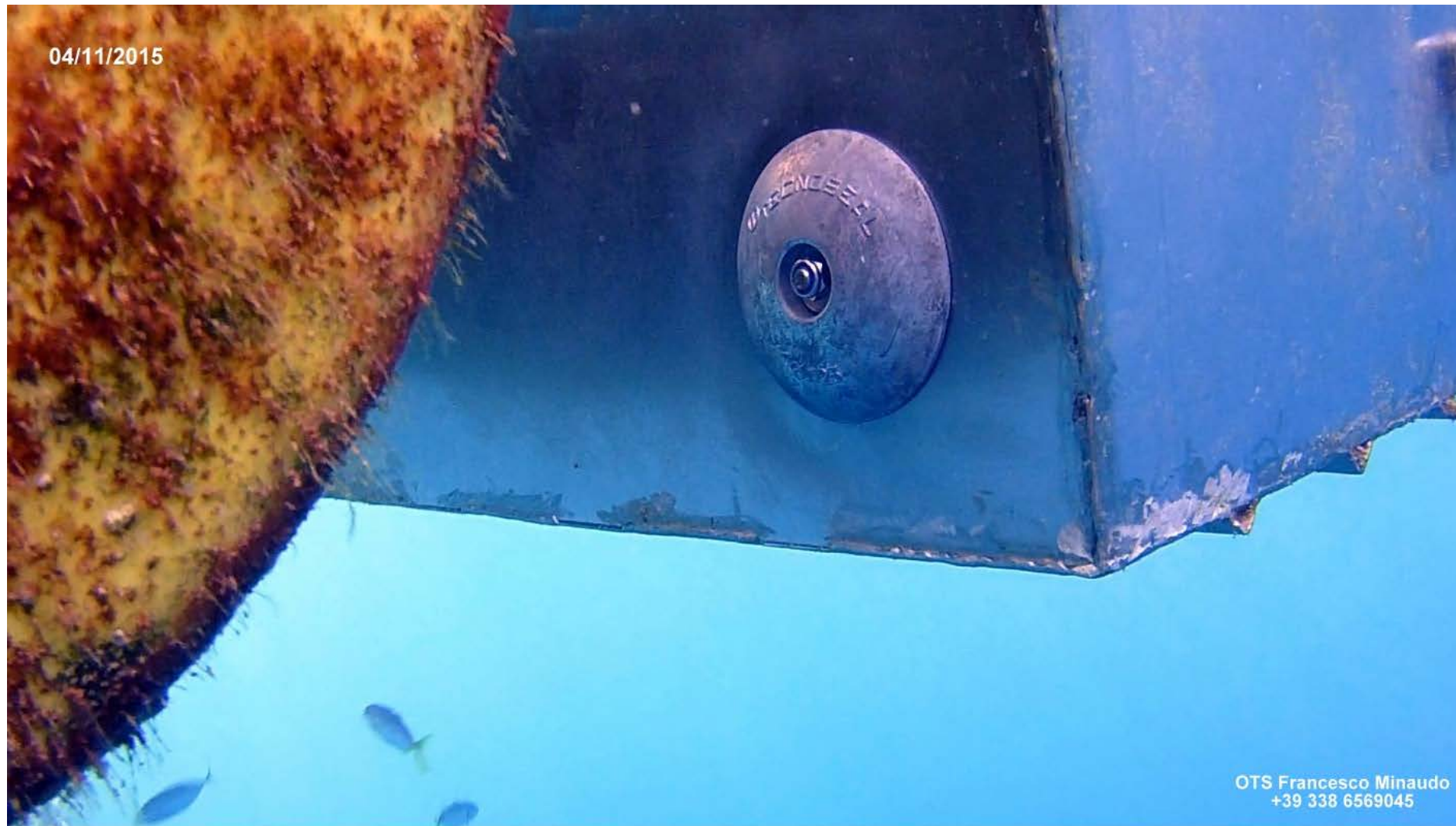


OTS Francesco Minaudo
+39 338 6569045

I CONTROLLI IN ESERCIZIO



I CONTROLLI IN ESERCIZIO



I CONTROLLI IN ESERCIZIO



I CONTROLLI IN ESERCIZIO



I CONTROLLI IN ESERCIZIO



I CONTROLLI IN ESERCIZIO



I CONTROLLI IN ESERCIZIO

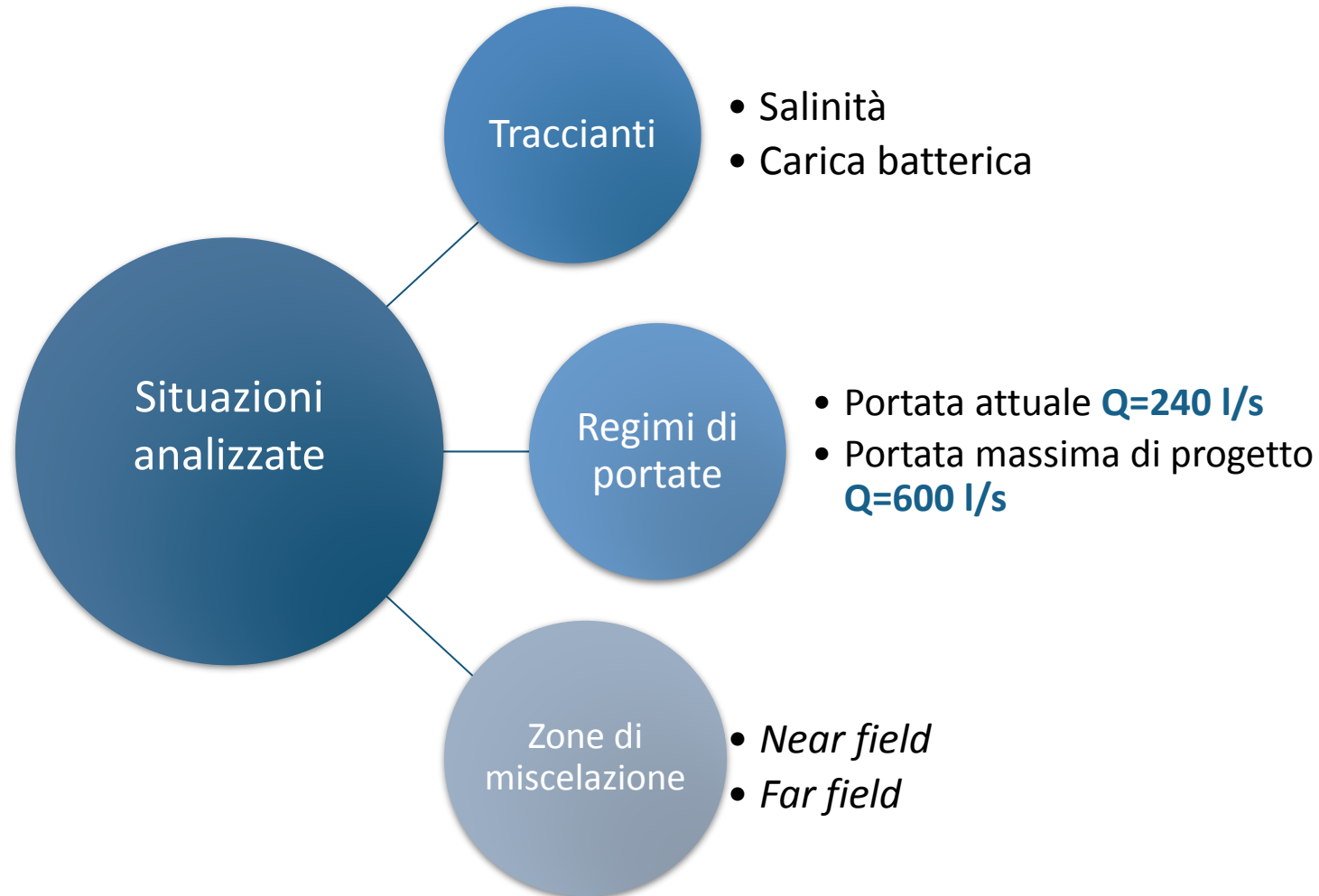


I CONTROLLI IN ESERCIZIO



Perdita 1 (11/2015)

LE SIMULAZIONI IDRAULICHE



Obiettivo:

Verificare la funzionalità del sistema condotta-mare

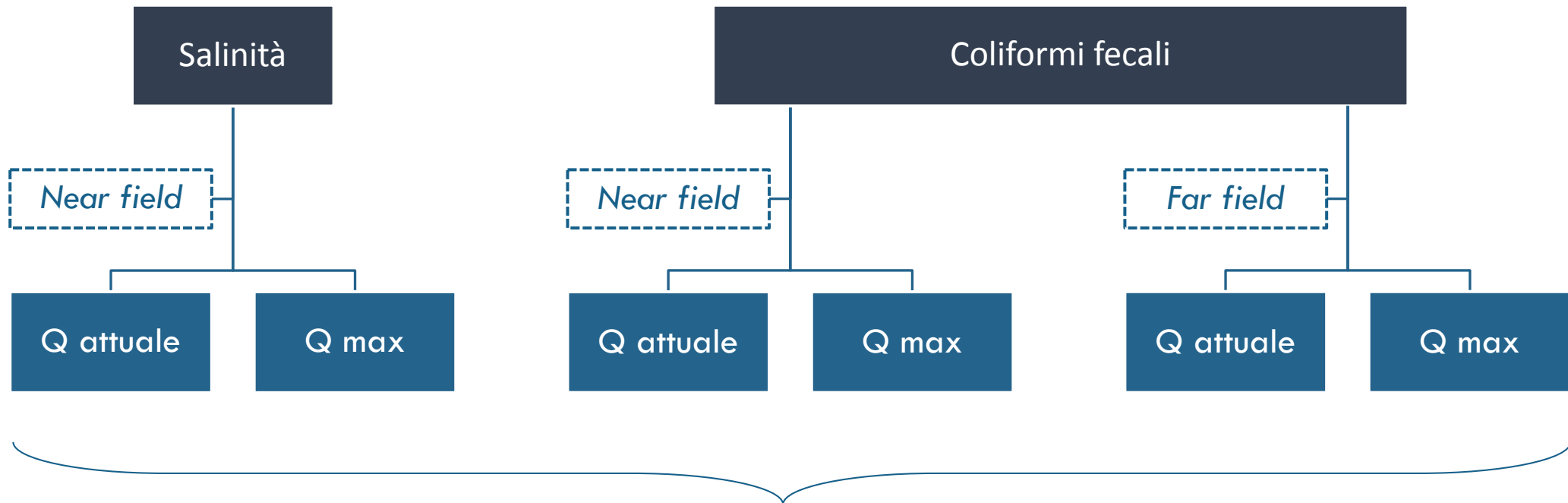
Software adottati:

Cormix/Tecplot

Output:

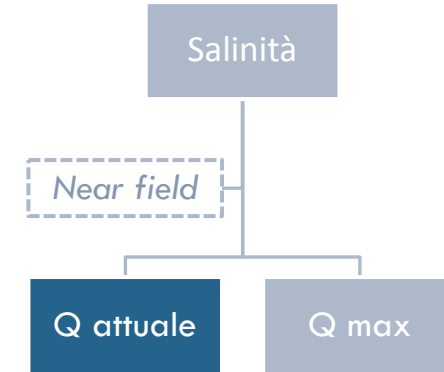
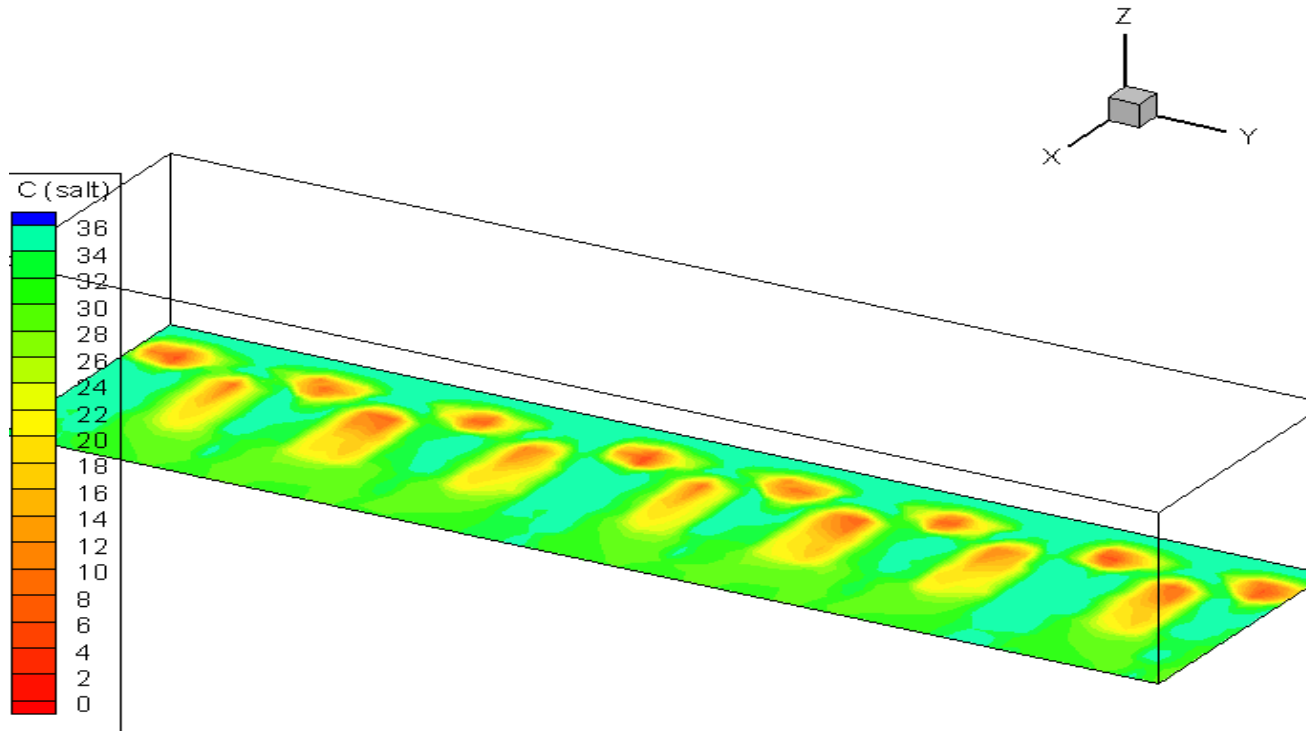
Mappe di distribuzione della concentrazione e isosuperfici 3D

ORGANIZZAZIONE DEI RISULTATI



- Mappe di distribuzione
- Isosuperfici 3D

ANDAMENTO DELLA SALINITÀ – NEAR FIELD



Portata attuale

- Piano XY in corrispondenza dello sbocco ($Z=-18$ m)
- $Z=-15$ m
- Isosuperfici di salinità

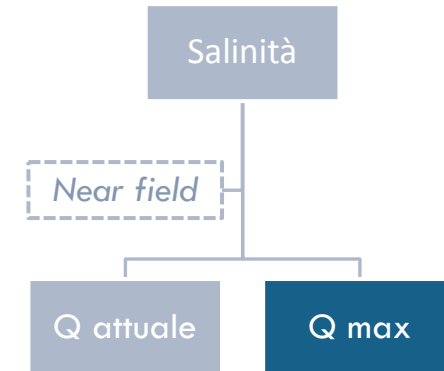
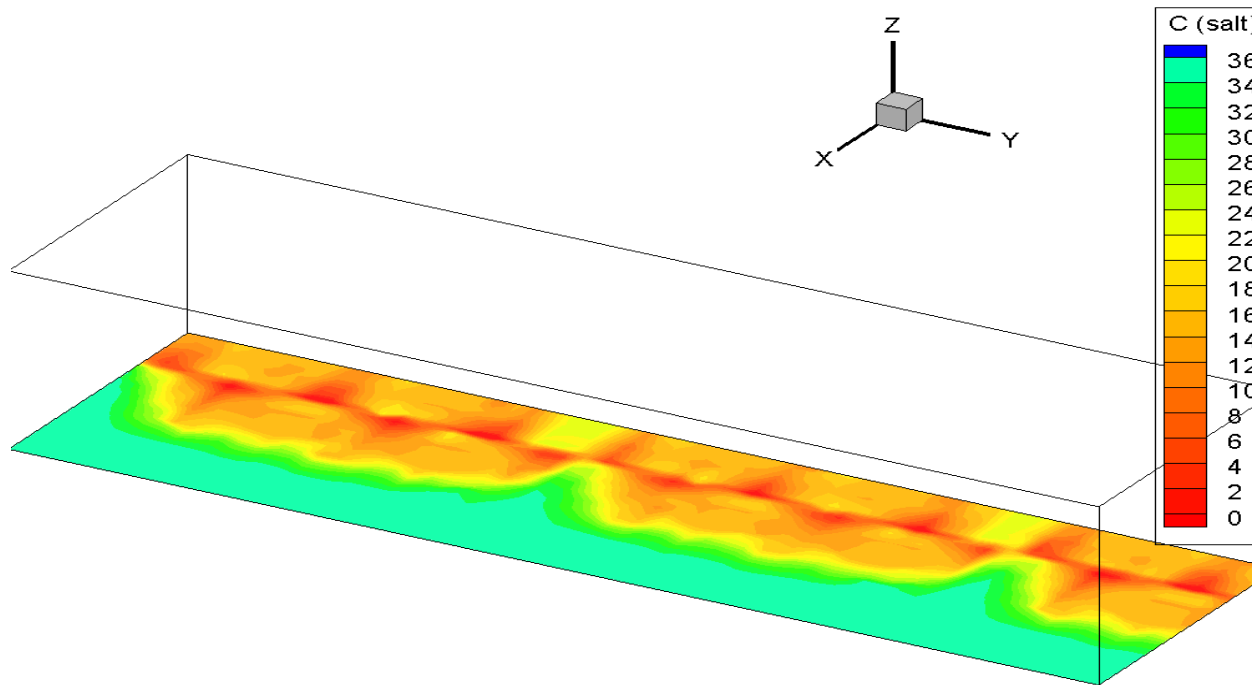
$\Delta X = 23$ metri

$\Delta Y = 101$ metri

$\Delta Z = 18$ metri

Le variazioni di salinità si risentono solo fino a 3 metri dallo scarico.

ANDAMENTO DELLA SALINITÀ – NEAR FIELD



Portata massima di progetto

- Piano XY in corrispondenza dello sbocco (Z=-18 m)
- Z=-9 m
- Isosuperfici di salinità

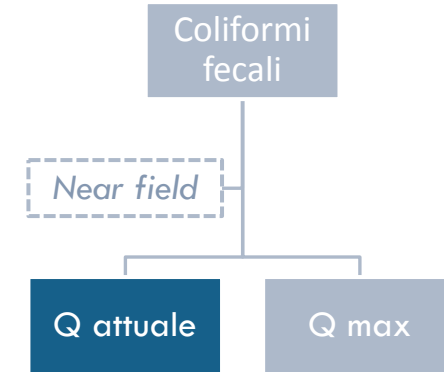
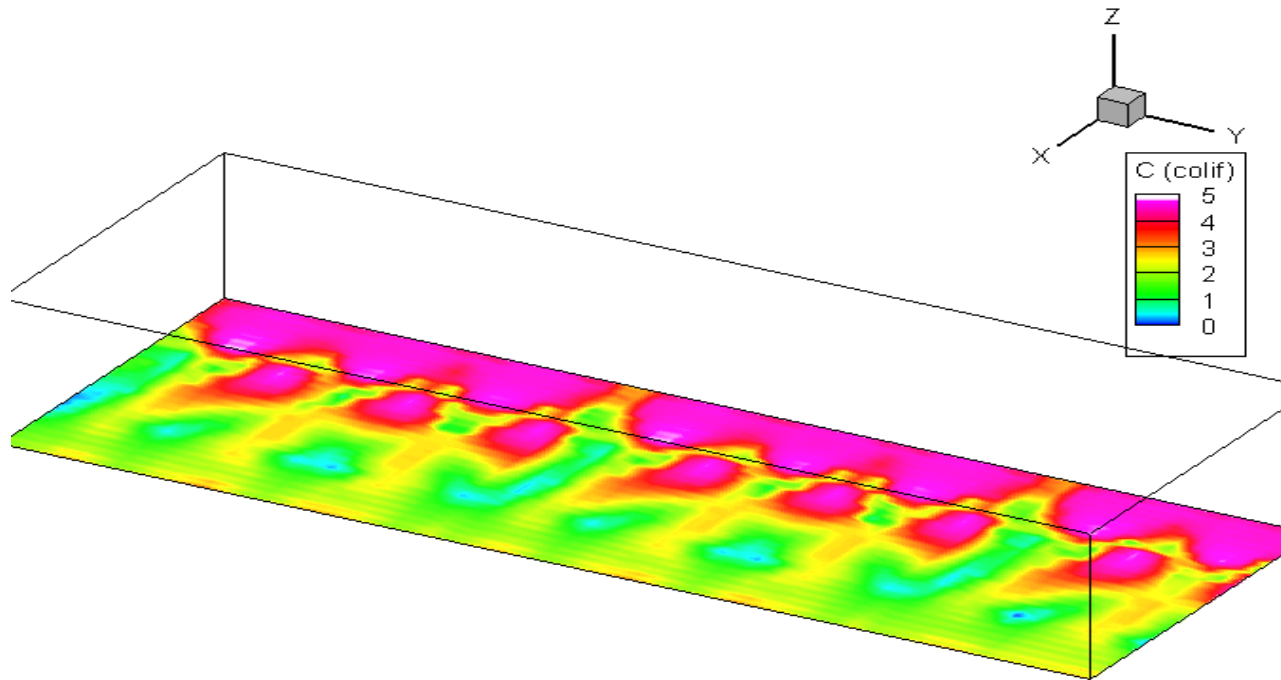
$\Delta X = 23$ metri

$\Delta Y = 101$ metri

$\Delta Z = 18$ metri

Fenomeno confinato nella sola zona del campo vicino.

ANDAMENTO DELLA CARICA BATTERICA – NEAR FIELD



Portata attuale

- Piano XY in corrispondenza dello sbocco ($Z=-18$ m)
- $Z=0$ m
- Diluizione iniziale 185
- **Scomparsa batterica $T_{90}=4$ h**

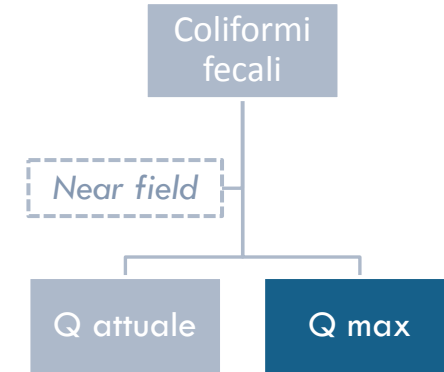
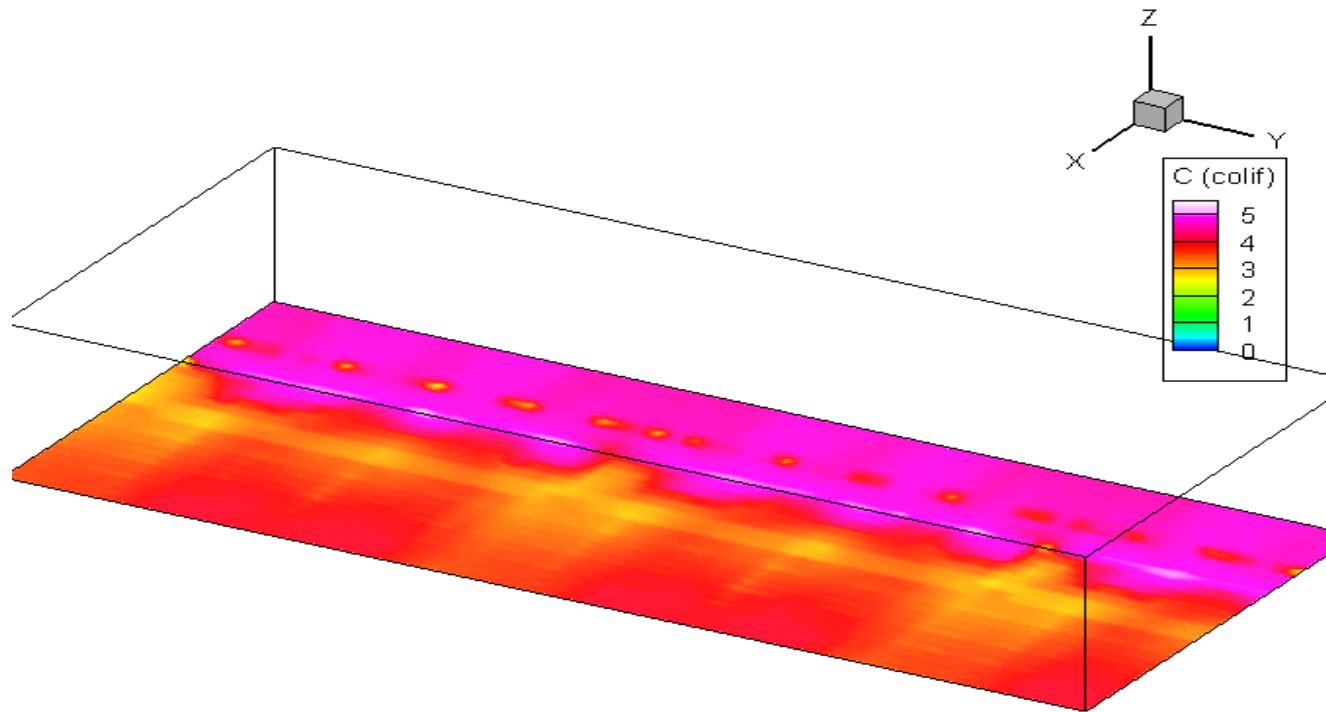
$\Delta X = 23$ metri

$\Delta Y = 101$ metri

$\Delta Z = 18$ metri

Al punto d'affioramento concentrazioni di 300-400 MPN/100ml.

ANDAMENTO DELLA CARICA BATTERICA – NEAR FIELD



Portata massima di progetto

- Piano XY in corrispondenza dello sbocco ($Z=-18$ m)
- $Z=0$ m
- Diluizione iniziale 85
- **Scomparsa batterica $T_{90}=4$ h**

**Al punto d'affioramento concentrazioni di 500-600 MPN/100ml.
Si può escludere l'interferenza tra i due rami del diffusore.**

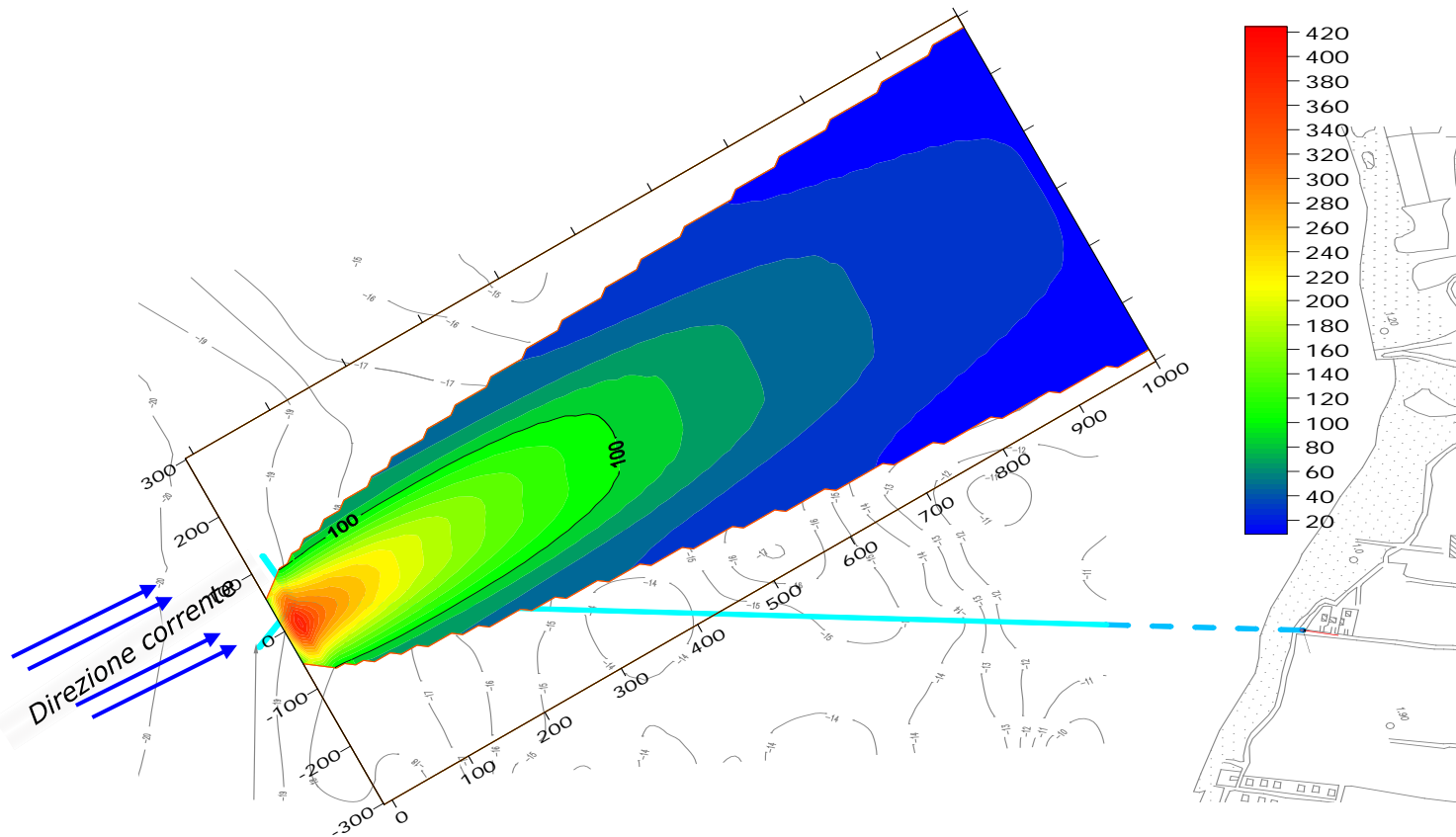
$\Delta X = 23$ metri

$\Delta Y = 101$ metri

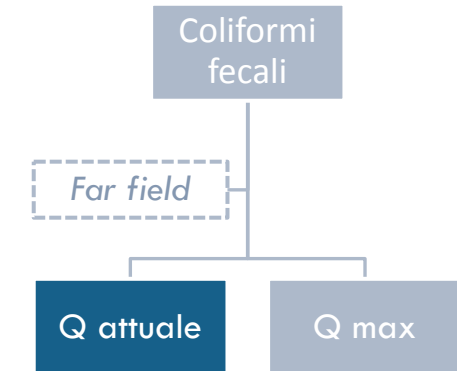
$\Delta Z = 18$ metri

ANDAMENTO DELLA CARICA BATTERICA – FAR FIELD

In questo caso non è lecito trascurare l'effetto di interferenza tra i due diffusori.



Raggiungimento standard: circa 450 m dall'affioramento

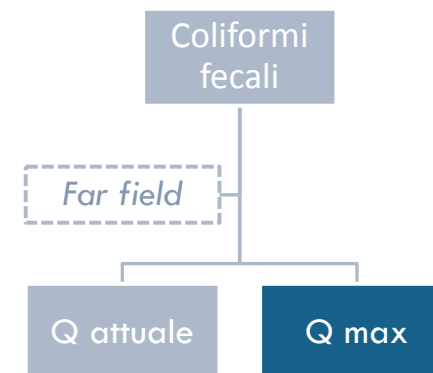
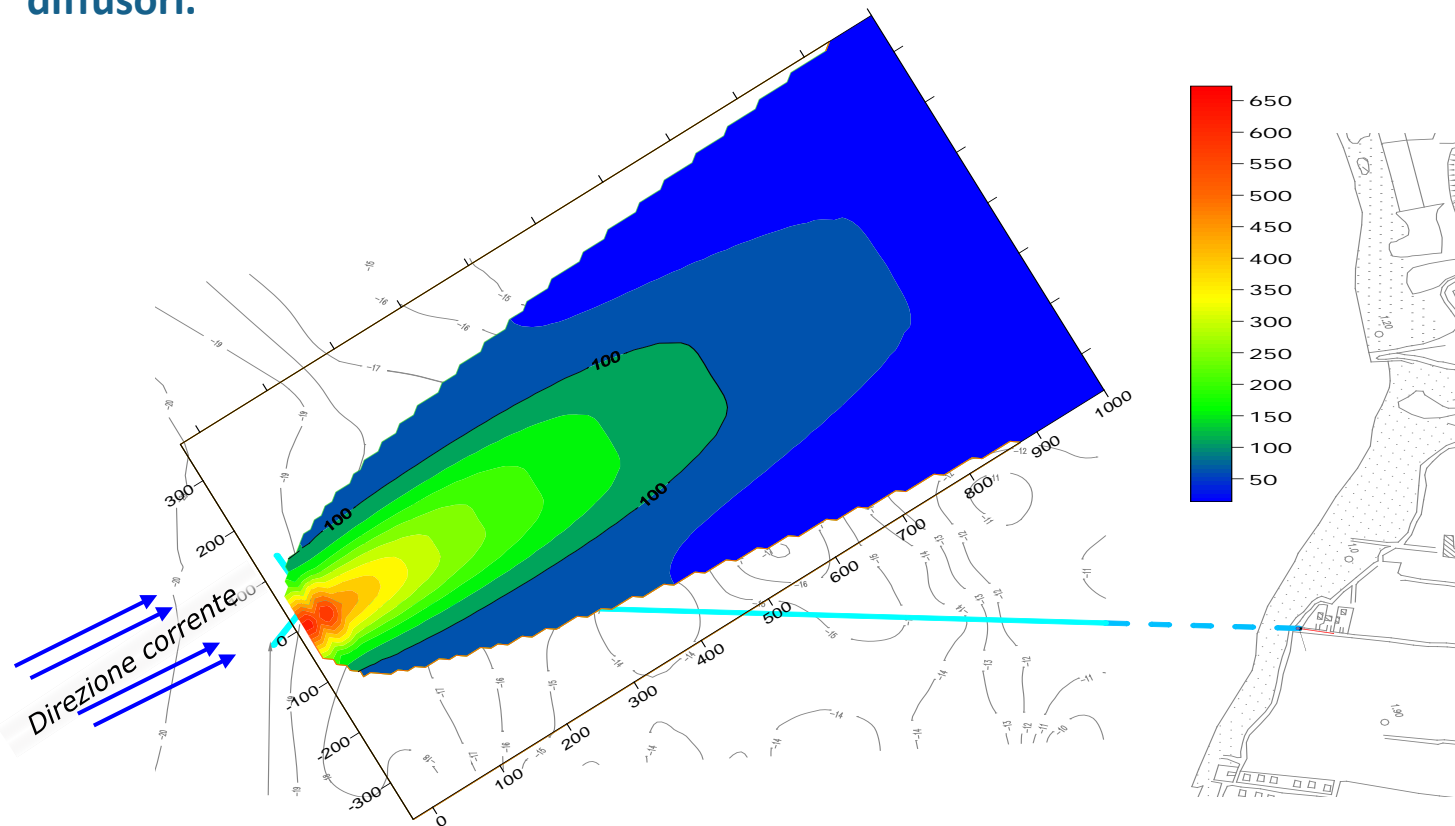


Portata attuale

- Diluizione susseguente 6,5
- $Z=0$ m
- Limite di legge per balneazione: 100 MPN/100ml

ANDAMENTO DELLA CARICA BATTERICA – FAR FIELD

Anche in questo caso non è lecito trascurare l'effetto di interferenza tra i due diffusori.



Portata massima di progetto

- Diluizione susseguente 6,5
- $Z=0$ m
- Limite di legge per balneazione: 100 MPN/100ml

Raggiungimento standard: circa 600 m dall'affioramento



Grazie per l'attenzione



Hydro
Engineering

Via Rossotti, 39 – 91011 Alcamo (TP)
info@hydroeng.it
www.hydroeng.it