

REGIONE AUTONOMA FRIULI VENEZIA GIULIA
COMUNE DI TRIESTE
Dipartimento Territorio Economia Ambiente e Mobilità



PORTO VECCHIO RIQUALIFICAZIONE VIABILITÀ DI COLLEGAMENTO E
OPERE DI INFRASTRUTTURAZIONE DELL'AREA DEL POLO MUSEALE
II LOTTO - Codice opera 18028

AREA CONGRESSUALE DEL PORTO VECCHIO OPERE DI
SCARICO A MARE DELLA FOGNATURA MISTA E METEORICA

NUMERO

014

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE SPECIALISTICA
IDRAULICA

SCALA:

-

DATA: gennaio 2020



PROGETTISTA INCARICATO: ing. Stefano COSTANTINI

REV	DATA	OGGETTO	REDATTO	VERIFICATO
4	03/08/2021	Revisione per note verificatori	A.M.	S. Costantini
3	gennaio 2021	Integrazione G.C.	A.M.	S. Costantini
2	12/08/2020	Revisione generale	A.M.	S. Costantini
0	gennaio 2020	Prima emissione	A.M.	S. Costantini

Archest

architecture | engineering | infrastructure

Azienda certificata
ISO 9001 - SGS

e: info@archest.it

w: www.archest.it

Sede Legale di **Palmanova** (ud) via giustinian 31 - 33057

t: (+39) 0432.93.50.07 f: (+39) 0432.93.36.08

Sede di **Pozzuolo del Friuli** (ud) via sclauinco 7 - 33050

t: (+39) 0432.66.53.35 f: (+39) 0432.66.52.99

1 | 5 | 6 | 4

P | E

D | O

C

0 | 1 | 4

FORMATO
A4

INDICE

1.	PREMESSA	2
2.	DESCRIZIONE DEI LUOGHI	2
3.	CARATTERISTICHE GEOLOGICHE, IDROGEOLOGICHE ED IDROGRAFICHE	3
4.	DIMENSIONAMENTO SCARICO 1	4
5.	DIMENSIONAMENTO SCARICO 2	5
5.1.	Verifica della condotta principale	5
5.2.	Verifica idraulica del by-pass provvisorio	6
5.3.	Verifica della capacità di scarico	6
5.4.	Dimensionamento delle opere di protezione	8
5.5.	Dispersione dello scarico	8
6.	CONCLUSIONI	9
6.1.	Integrazione sull'invarianza ambientale	9
7.	ALLEGATI	10

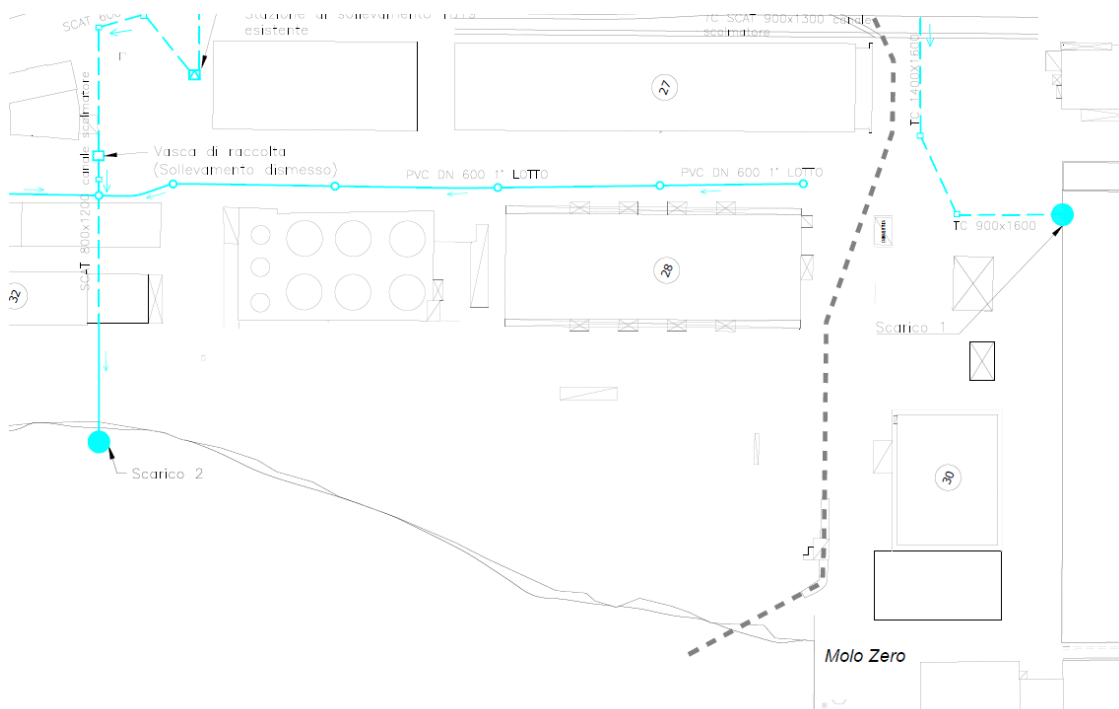
1. PREMESSA

Nell'ambito della riqualificazione dell'area del Porto Vecchio in Trieste, è stato realizzato un primo lotto per la sistemazione della rete fognaria nell'area compresa tra il magazzino 26 e il magazzino 27 e 28. Le opere hanno fatto parte dell'intervento di primo lotto. Nel secondo lotto di intervento si prevede la riqualificazione degli scarichi a mare esistenti.

2. DESCRIZIONE DEI LUOGHI

L'area di intervento è all'interno del comprensorio di Porto Vecchio.





I due scarichi oggetti di riqualificazione sono posizionati uno sulla banchina del molo zero e l'altro in corrispondenza del litorale. Entrambi sono scolmatori di una rete fognaria mista.

Scarico 1

Si tratta di una condotta in muratura di dimensioni 800x1400 che scarica in zona il molo Zero. Durante i lavori di realizzazione del nuovo molo (ante 2003) lo sbocco in mare è stato occluso dalla struttura del pontile, e per garantire lo scarico è stato praticato un foro sul muro di banchina. Il foro risulta di dimensioni molto ridotte rispetto la sezione del canale di conseguenza, durante gli eventi meteorici che attivano lo scolmatore, questa sezione non è in grado di smaltire la portata in arrivo stimata in $Q_{max} = 1 \text{ [m}^3\text{/sec]}$.

Scarico 2

Lo scarico 2 è costituito da una condotta scatolare 800x1200 realizzata in muratura. Lo scarico esistente è costituito dal proseguimento di questa condotta fino a circa 5/10 metri entro il mare. La condotta è superficiale e l'aggressione marina oltre che il moto ondoso hanno danneggiato ed interrato la condotta riducendone di fatto la funzionalità.

3. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE, IDROGEOLOGICHE ED IDROGRAFICHE

Si rimanda alla relazione di geologica.

4. DIMENSIONAMENTO SCARICO 1

Dal punto di vista idraulico il dimensionamento è piuttosto semplice. La riqualificazione dello scarico esistente risulta complicato per la presenza della banchina che rende difficoltose le operazioni. Si prevede quindi la realizzazione di un nuovo punto di scarico ad Est di quello esistente per scaricare in un punto libero della banchina. La nuova condotta (dimensioni interne 1600x1000) intercetterà lo scolare esistente a monte del chiusino e convoglierà le portate dello scolmatore direttamente a mare.

La nuova condotta è realizzata in sezione maggiorata rispetto alle necessità attuali dello scarico per garantire adeguato margine per i futuri aggiornamenti della rete e permettere una facile manutenzione.

Considerando che la manutenzione della condotta avviene con cadenza annuale si considera un coefficiente di Gauckler-Strickler per tubazioni in servizio con lievi incrostazioni

Tubi in Pe, Pvc, Prfv	k = 120
Tubi nuovi in gres o ghisa rivestita	k = 100
Tubi in cemento ordinario con lievi incrostazioni	k = 80
Tubi in servizio corrente con incrostazioni e depositi	k = 60
Canali con ciottoli e ghiaia sul fondo	k = 40
Canaletta con interno in cls liscio	k = 80
Canaletta in acciaio Inox o in cls rivestita internamente in Pvc o vernice epossidica	k = 90

Verifica della portata

- Sezione in cls $b=1600[\text{mm}]$ $h_{\text{max}}=1000[\text{mm}]$
- $K_s=80 [\text{m}^{1/3}/\text{sec}^{-1}]$ calcestruzzo con incrostazioni
- $i_f=0.5 [\text{m/m}]$ pendenza del fondo
- $Q_{\text{max}}=1.00[\text{m}^3/\text{sec}]$

La portata massima corrisponde ad una altezza di sezione pari a

$$Q_{\text{max}} = k_s \cdot A \cdot R_H^{2/3} \cdot i_f^{1/2} = k_s \cdot b \cdot h \cdot (b \cdot h)^{2/3} \cdot i_f^{1/2}$$

$$h = \sqrt[3]{\left(\frac{Q_{\text{max}}}{k_s \cdot b^{5/3} \cdot i_f^{1/2}} \right)^5} = 0.055[\text{m}]$$

Sulla base dei dati in ingresso risulta che la massima portata nella condotta comporta un incremento del pelo libero di circa 5,5[cm]. Questo valore è compatibile con tutti i livelli di marea che possono interessare lo scarico.

5. DIMENSIONAMENTO SCARICO 2

Dal punto di vista idraulico il dimensionamento è piuttosto semplice. La riqualificazione dello scarico esistente consiste nella sostituzione ed adeguamento della condotta. Si decide che la sostituzione avviene lungo lo stesso tragitto e si prevede la predisposizione di un by-pass temporaneo durante il cantiere.

La portata in transito attraverso la sezione è indicata dal gestore della rete ed è stimata in $Q=1.00[m^3/sec]$

Si prevede il posizionamento di due condotte parallele in cls $\varnothing 500$ mm che possano funzionare in maniera alternata le condotte sono presidiate da valvole a ghigliottina a comando manuale.

5.1. Verifica della condotta principale

Si considera una singola condotta in funzione per garantire il passaggio dell'intera portata dello scolmatore.

Considerando che la manutenzione della condotta avviene con cadenza annuale si considera un coefficiente di Gauckler-Strickler per tubazioni in servizio con lievi incrostazioni

Tubi in Pe, Pvc, Prfv	k = 120
Tubi nuovi in gres o ghisa rivestita	k = 100
Tubi in cemento ordinario con lievi incrostazioni	k = 80
Tubi in servizio corrente con incrostazioni e depositi	k = 60
Canali con ciottoli e ghiaia sul fondo	k = 40
Canaletta con interno in cls liscio	k = 80
Canaletta in acciaio Inox o in cls rivestita internamente in Pvc o vernice epossidica	k = 90

Verifica della portata

- Sezione in cls $\varnothing=500[mm]$
- $k_s=80 [m^{1/3}/sec^{-1}]$ calcestruzzo con incrostazioni
- $i_f=0.06 [m/m]$ pendenza del fondo
- $Q_{max}=1.00[m^3/sec]$

La portata massima della singola condotta risulta pari a

$$Q_{max} = k_s \cdot A \cdot R_H^{2/3} \cdot i_f^{1/2} = k_s \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot \left(\frac{d}{4}\right)^{2/3} \cdot i_f^{1/2} = 0.96[m^3/s]$$

Il sistema è in grado di smaltire l'intera portata.

5.2. Verifica idraulica del by-pass provvisorio

Il by-pass provvisorio verrà realizzato in polipropilene corrugato a doppia parete DN500. L'obiettivo è che durante le fasi di cantiere lo scolmatore sia completamente chiuso. Si prevede il posizionamento di una condotta temporanea per le emergenze.

Verifica della portata

- Sezione in cls $\varnothing=500[\text{mm}]$
- $k_s=120 [\text{m}^{1/3}/\text{sec}^{-1}]$
- $i_f=0.03 [\text{m/m}]$ pendenza del fondo (minima pendenza per il posizionamento della condotta)
- $Q_{\max}=1.00[\text{m}^3/\text{sec}]$

La portata massima corrisponde ad una altezza di sezione pari a

$$Q_{\max} = k_s \cdot A \cdot R_H^{2/3} \cdot i_f^{1/2} = k_s \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot \left(\frac{d}{4}\right)^{2/3} \cdot i_f^{1/2} = 1.02[\text{m}^3/\text{s}]$$

La condotta è in grado di smaltire l'intera portata.

5.3. Verifica della capacità di scarico

Lo scarico funziona per gravità, non ci sono pompe all'interno del sistema che scarica in mare. La portata dello scolmatore quindi per poter scaricare in mare deve superare tutte le resistenze della condotta e vincere la pressione marina all'interno della condotta.

Le perdite di carico sono definite come somme di diversi contributi e possono essere di tipo localizzato o distribuito.

Nel caso in oggetto le componenti delle perdite sono date da:

- Perdite distribuite lungo la condotta
- Perdite localizzate (sbocco sotto battente)
- Perdite per differenza di peso specifico

Perdite distribuite

$$\Delta H_I = 101.6 \frac{Q^2}{(\pi K)^2 D^{16/3}} L$$

Dove

- $k_s=85$ [m^{1/3}/sec⁻¹] calcestruzzo con incrostazioni
- $D=0.5$ [m] diametro della condotta
- $Q=1.00$ [m³/sec] portata della condotta
- $L= 22.40$ [m] lunghezza della condotta

Le perdite distribuite sommano a $\Delta H_I = 1.2$ [m]

Perdite localizzate

$$\Delta H_{II} = \frac{v^2}{2g}$$

Dove v è la velocità in uscita pari a 5.1 [m/sec]

Le perdite localizzate sommano a $\Delta H_{II} = 0.25$ [m]

Perdite per differenza di peso specifico

La perdita di carico per differenza di peso specifico rappresenta l'altezza a cui bisognerebbe sopraelevare il carico in partenza per bilanciare il minor peso specifico del refluo di fognatura rispetto all'acqua di mare.

$$\Delta H_{III} = \frac{p_m - p_f}{p_f} y$$

Dove

- $p_m=1030$ [kg/m³] peso specifico acqua marina
- $p_f=1000$ [kg/m³] peso specifico acqua dolce
- $y= 2.30$ [m] profondità media scarico

Le perdite per differenza di peso specifico sommano a $\Delta H_{III} = 0.07$ [m]

Le perdite totali da compensare sono $\Delta H = \Delta H_I + \Delta H_{II} + \Delta H_{III} = 1.52$ [m]

Per le caratteristiche geometriche dello scarico, emerge che tutta la condotta, anche a monte del pozzetto di disconnessione si trova sotto il livello medio mare. Dall'analisi delle perdite risulta che la sovrappressione a monte della condotta di scarico a mare è compatibile con le quote altimetriche dello scarico. Non si prevedono fenomeni di allagamento da rigurgito dal chiusino.

5.4. Dimensionamento delle opere di protezione

L'opera di scarico sbocca su un litorale soggetto al moto ondoso ordinario o dovuto ad eventi eccezionali. Infatti l'esistente scarico è risultato danneggiato proprio da questo genere di sollecitazioni. Per ovviare al problema si prevede la realizzazione di una protezione in scogliera per la parte terminale dello scarico, mentre la parte sotto la spiaggia sarà protetto da una calottatura che ne impedisca la rottura nel caso venga completamente scavato il litorale fino al muro demaniale.

La scogliera sarà realizzata in massi naturali intasati.

La dimensione dei massi viene definita con la formula di Hudson:

$$M_{50} = \gamma_m \frac{H^3}{k_D \left(\frac{\gamma_m}{\gamma_a} - 1 \right)^3 \cot g(\alpha)}$$

Dove:

- Peso dell'unità di volume $\gamma_m=2600$ [kg/m³]
- Peso dell'unità di volume $\gamma_a=1030$ [kg/m³]
- Altezza dell'onda significativa $H=3.70$ [m] (onda centennale)
- Angolo della scarpata con l'orizzontale $\alpha=3^\circ$
- Coefficiente adimensionale di stabilità $k_D=4.2$

Da cui risulta che la massa del singolo masso risulta $M_{50}=464$ [kg]

La dimensione significativa del singolo masso $D_{50} = \left(\frac{M_{50}}{\gamma_m} \right) = 0.56$ [m]

Per aumentare la stabilità della scogliera i massi verranno intasati in cls.

5.5. Dispersione dello scarico

Si è provveduto allo studio della diffusione dell'inquinante dalla bocca di scarico sul litorale. Sulla base dei dati di concentrazione forniti si è provveduto alle valutazioni della dispersione e diluizione degli inquinanti nell'area litoranea afferente allo scarico. Si rimanda agli allegati per informazioni più specifiche.

6. CONCLUSIONI

Il progetto riguarda l'adeguamento degli attuali condotti scolmatori esistenti. Per lo scarico 1 è emersa la necessità di realizzare un nuovo percorso che interessa la banchina esistente. La condotta risulta abbondantemente verificata per le basse portate previste, il dimensionamento è stato fatto in maniera tale da garantire l'ispezionabilità e la manutenzione della condotta.

Diverso discorso per lo scarico 2. Si è optato per la sostituzione dell'esistente condotta mantenendo lo stesso tracciato, le portate in gioco sono risultate basse e non dimensionanti. Lo studio di propagazione dell'inquinante ha dimostrato che l'uscita sul litorale comporta un eccesso di livello di EC-100ml in corrispondenza dell'evento che rientra nei limiti dopo 2gg per effetto del tempo t_{90} proprio dei batteri.

6.1. Integrazione sull'invarianza ambientale

A titolo integrativo delle affermazioni soprariportate, si specifica che la normativa in tema di balneazione è piuttosto articolata e consiste sostanzialmente in un coordinato di testi europei, nazionali e regionali. Il contesto normativo va interpretato inoltre nell'ambito dell'*inquinamento di breve durata* quale quello interessato dalle aree prospicienti gli scarichi a mare: questi ultimi, infatti, entrano in gioco solo e soltanto se la portata di pioggia supera di 6 volte la portata media giornaliera in tempo secco, così come previsto dal Piano Regionale di Tutela delle Acque della Regione FVG (Decr. Pres. Reg. FVG n. 074/Pres dd. 20 marzo 2018 – Norme di Attuazione Art. 22 c. 5), pertanto per entrambi gli scarichi a mare previsti nel progetto si tratta di uno sfioro di acque di pioggia diluite come da norma. Analizzando la sequenza di dati in cui si raccolgono i parametri di balneabilità a carico di ARPA FVG (<http://www.arpa.fvg.it/cms/tema/acqua/balneazione/monitoraggio/mappa.html>) appare evidente come le i controlli qualitativi a scarichi funzionanti lungo tutto il litorale Barcolano siano stati praticamente sempre conformi durante la stagione balneare aprile-settembre dal 2010 ad oggi. La manutenzione straordinaria degli scarichi pertanto rappresenta un'invarianza di carattere quali-quantitativo e non impatta sulla realtà fisica del sistema in quanto trattasi di ripristino funzionale di scarichi esistenti da decine di anni. La Direttiva Europea 2006/7/CE definisce «*inquinamento di breve durata*» come *la contaminazione microbiologica di cui all'allegato I, colonna A, le cui cause sono chiaramente identificabili, che si presume normalmente non influisca sulla qualità delle acque di balneazione per più di 72 ore circa dal momento della prima incidenza sulla qualità delle acque di balneazione e per cui l'autorità competente ha stabilito procedure per prevedere e affrontare tali episodi come indicato nell'allegato II.* Tale definizione è condivisa e ripresa dal D.Lgs. 116/2008, dal Decr. Min. della Salute dd. 30 marzo 2010 e integrata dalle s.m.i. allo stesso relativamente alle tipologie di monitoraggio. Lo studio idrodinamico condotto a sostegno della presente relazione individua come congruo il tempo di 48 ore per il ripristino della balneabilità, termine rispettato secondo le prescrizioni normative vigenti. In conclusione, l'invarianza ambientale della manutenzione straordinaria conferma la compatibilità del sistema idraulico fognario di sfioro delle acque meteoriche e miste esistente.

7. ALLEGATI

Relazione Finale “Studio di Modellazione della Dispersione dello Scarico 2 del Porto Vecchio di Trieste”



RELAZIONE FINALE

“Studio di Modellazione della Dispersione dello Scarico 2 del Porto Vecchio di Trieste”

INTERVENTI DI POTENZIAMENTO, RISANAMENTO E PROTEZIONE DEGLI SCARICHI A MARE DELLA RETE FOGNARIA MISTA – POLO CONGRESSUALE DEL PORTO VECCHIO (TRIESTE) – II LOTTO

REVISIONE	001 – 16.02.2020
RESPONSABILE	ING. PAOLO GYSSELS (Ordine degli ingegneri di Treviso: A4096)

INDICE

1. INTRODUZIONE	2
2. OBIETTIVI.....	5
3. DATI AMBIENTALI.....	6
3.1. BATIMETRIA E TIPO DI FONDO	6
3.2. DATI METEO-MARINI.....	7
3.2.1. Venti.....	7
3.2.2. Maree.....	8
3.2.3. Onde	8
3.2.4. Correnti	9
3.2.5. Densità del mare.....	10
4. METODOLOGIA.....	11
4.1. PROCESSI FISICI	11
4.1.1. Campo Vicino.....	11
4.1.2. Campo Intermedio	12
4.1.3. Campo Lontano	12
4.1.4. Decadimento batterico	12
4.2. MODELLO CORMIX	14
4.3. EFFLUENTE.....	15
4.4. SCENARI DI SIMULAZIONE	16
5. RISULTATI	19
5.1. FASE 01.....	19
5.1.1. Alternativa 1: un solo riser (Caso 08)	20
5.1.2. Alternativa 2: diffusore di 500m (Caso 07).....	23
5.2. FASE 02.....	26
5.3. FASE 03.....	27
5.3.1. Scarico a 50 m dalla costa con una bocca	27
5.3.2. Scarico a 50 m dalla costa con diffusore	30
5.3.3. Scarico a costa con una bocca	32
6. CONCLUSIONI	34
BIBLIOGRAFIA	36
ANNESSO I: RISULTATI DELLA FASE 01.....	37
ANNESSO II: RISULTATI DELLA FASE 02.....	38

ANNESSO I: risultati Fase 01

ANNESSO II: risultati Fase 02

1. INTRODUZIONE

In questa relazione si presentano i risultati dello studio di dispersione per determinare il miglior punto di scarico del nuovo “Scarico 2” nella prossimità del Porto Vecchio di Trieste (Figura 1). Le portate attuali procedono da uno scolmatore che entra in funzione durante eventi episodici dovuti a portate eccedenti il carico idraulico medio dal sistema di drenaggio delle acque miste.

Lo scarico esistente è diretto sul litorale e la sua funzionalità è ridotta per effetto dell'interrimento e della rottura della condotta stessa.

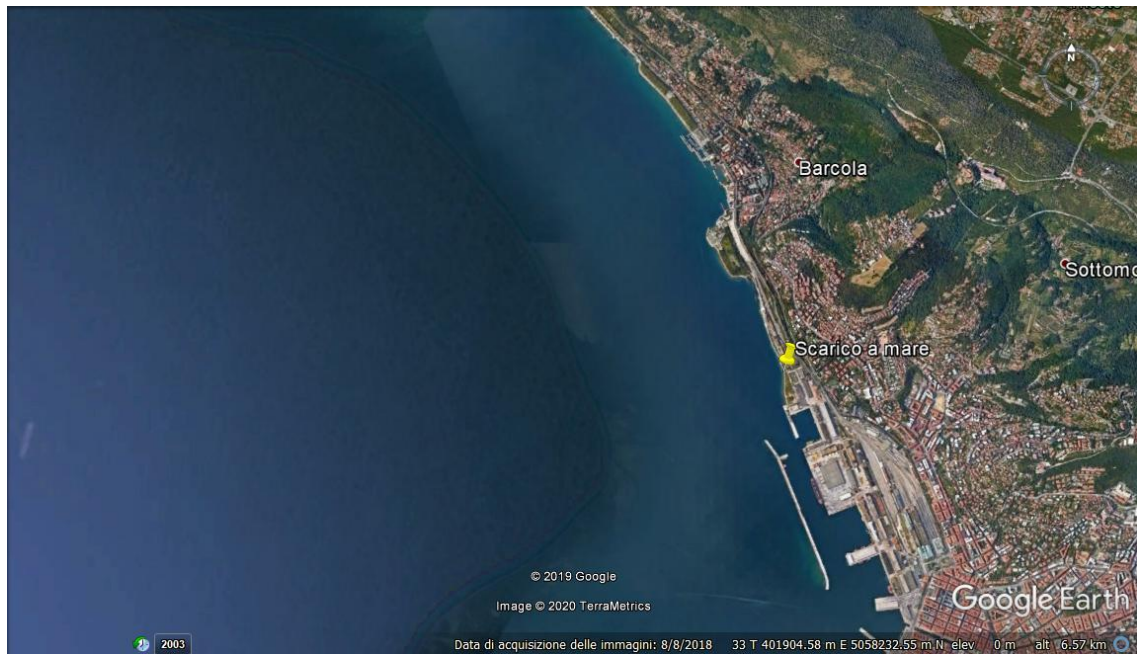


Figura 1. Ubicazione dello Scarico 2 nelle preossimità del Porto Vecchio..

Questo studio è orientato a determinare i parametri di progetto di un nuovo scarico attraverso un emissario sottomarino per ottenere il ripristino della funzionalità dello scarico a mare “2” suddetto. In particolare, si determinano le migliori condizioni di scarico, in relazione alla distanza e alla profondità, con un nuovo emissario perpendicolare alla linea di costa che parte dal punto di coordinate UTM WGS84 Huso 33T: 403302.14 m E, 5057937.51 m N (Figura 3).



Figura 2. Immagini dello Scriccio 2 attuale.

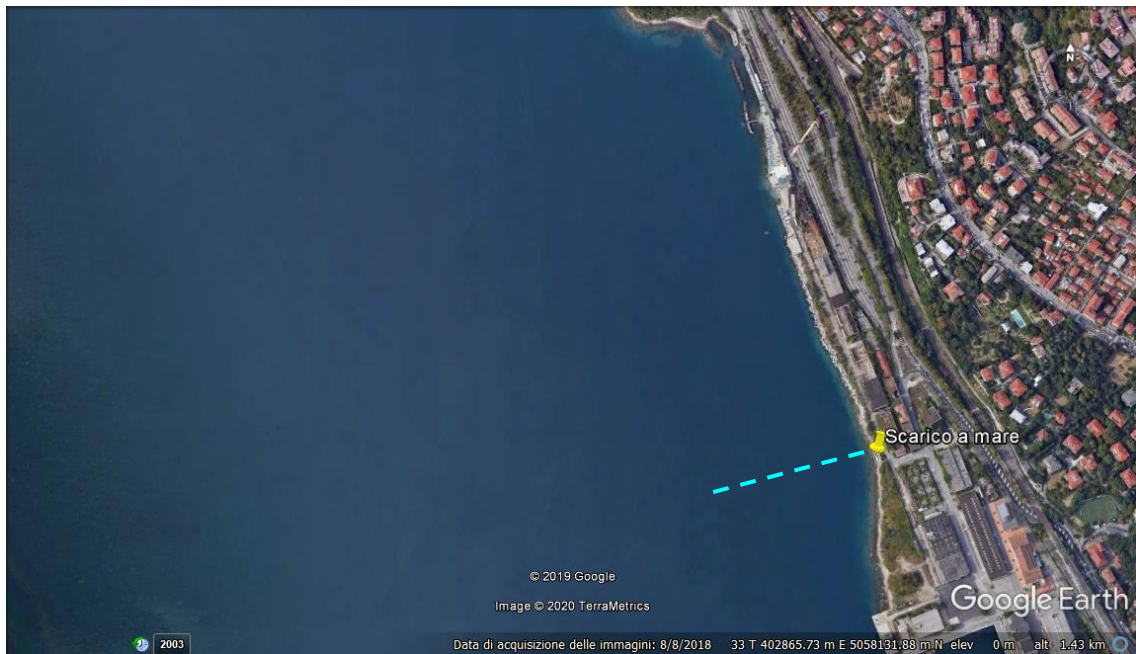


Figura 3. Schema di un tracciato del nuovo scarico a mare 2 attraverso emissario sottomarino.

Questo scarico deve permettere:

- a) migliorare la qualità del tratto di costa in corrispondenza dello stesso scarico, si richiede la riqualificazione a balneabilità della spiaggia da dove parte lo scarico;
- b) non alterare la balneabilità delle spiagge lungo il litorale.

In generale, un emissario sommerso con tratto di diffusore che scarica a mare risulta composto per un tratto di trasporto che porta l'effluente ad una certa profondità, a una determinata distanza dalla costa e un tratto che corrisponde allo scarico (diffusore) che comprende i "risers" e le bocche di uscita (una singola o varie) sul riser che scaricano il liquido nel mare ottimizzando la diluizione e la dispersione (Figura 4). I processi di diluizione e di dispersione per la miscelazione con

l'ambiente (il mare) dipendono dalla combinazione della geometria utilizzata, le caratteristiche ambientali di scarico (profondità, densità dell'acqua, presenza di correnti).

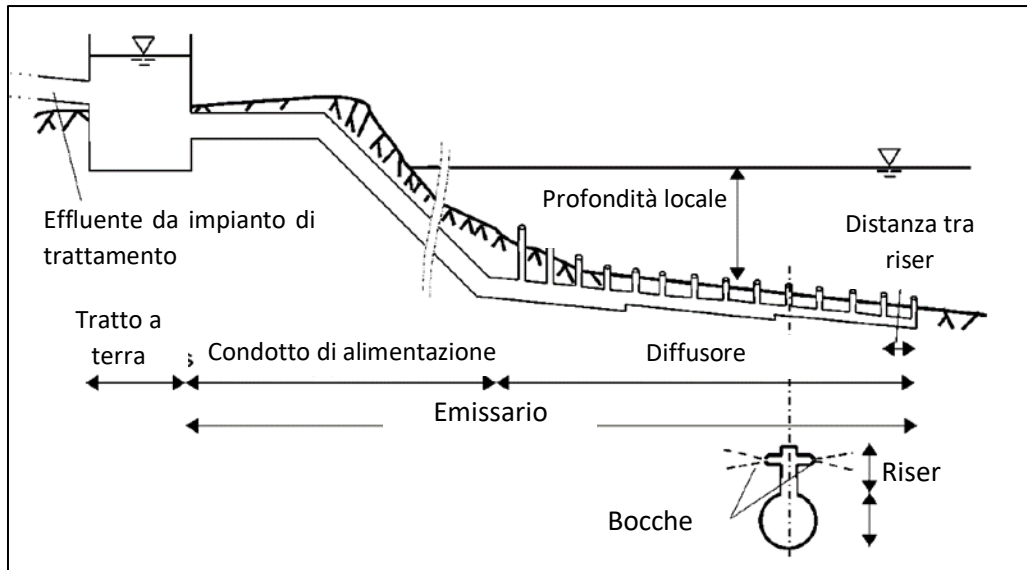


Figura 4. Schema generale di un emissario sottomarino con tratto di diffusore a bocche multiple (Bleninger, 2007).

I parametri di efficienza dello scarico (diffusore multibocche o scarico singolo) che si valutano nella presentazione dei risultati sono la diluizione alla fine del Campo Vicino ("Near Field Zone" o NF) e la variazione della concentrazione dei batteri fecali *Escherichia Coli* (EC-100ml) nel Campo Lontano ("Far Field Zone" o FF). I valori utilizzati per la verifica dell'efficienza vengono presentati nelle seguenti sezioni.

2. OBIETTIVI

L'obiettivo principale di questo studio è:

Ricerca della miglior configurazione di uscita dell'emissario sommerso per le acque di scarico dello scolmatore del Porto Vecchio di Trieste (scarico 2) nel rispetto dei parametri ambientali di tutela della costa e delle spiagge.

Per ottenere questi obiettivi sono stati definiti i seguenti obiettivi secondari

- 1) Valutare il miglior punto di emissione (combinazione di profondità e distanza dalla costa) in funzione delle condizioni ambientali di corrente caratteristiche della zona, per la massima portata assegnata dal cliente e per la massima concentrazione di scarico di E-Coli misurata al pozzetto della rete mista a monte dello scolmatore, diluita in una relazione 6:1;
- 2) Ottimizzare la geometria di scarico (dimensioni e orientamento del getto);
- 3) Valutare le massime concentrazioni di contaminante ammissibili nello scarico per assegnate distanze dalla costa;
- 4) Verificare lo scarico per una serie di condizioni definite dal cliente.

La valutazione dell'efficienza dello scarico si realizza considerando le seguenti linee guida ambientali:

- La concentrazione di Escherichia Coli in zona balneabile deve essere inferiore a 500 EC-100ml.

Con questo parametro si ricerca la riqualificazione (balneabilità) della costa in corrispondenza del punto di scarico e nelle zone balneabili adiacenti.

Tabella 1. Valori limite di concentrazioni di EC-100ml per le acque di balneazione (DM.30/03/10 n.116 relativa alla qualità delle acque di balneazione).

VALORI LIMITE PER UN SINGOLO CAMPIONE		
PARAMETRI	CORPO IDRICO	VALORI
<i>Enterococchi intestinali</i>	Acque marine	200 n*/100ml
	Acque interne	500 n*/100ml
<i>Escherichia coli</i>	Acque marine	500 n*/ 100 ml
	Acque interne	1000 n*/100 ml

3. DATI AMBIENTALI

3.1. BATIMETRIA E TIPO DI FONDO

Nel giorno 21 di gennaio 2020 (TSD Survey Services) è stata eseguita una campagna di misurazione batimetrica di dettaglio con ecosonda. La batimetria interpolata sui rilevamenti si mostra nella Figura 5. Nella Figura 6 si mostra il profilo trasversale ottenuto lungo la Sezione 1.

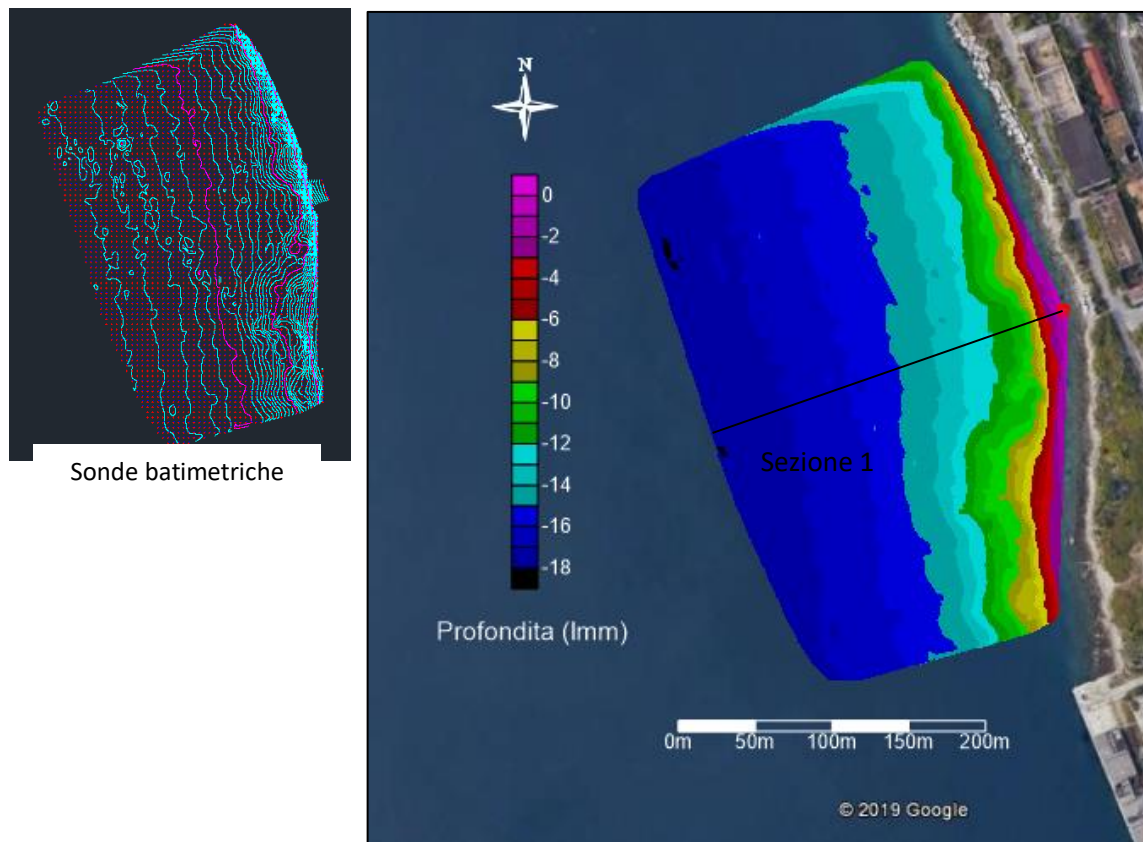


Figura 5. Batimetria di dettaglio interpolata sulle sonde ottenute a gennaio del 2020, con rispetto al livello medio del mare.

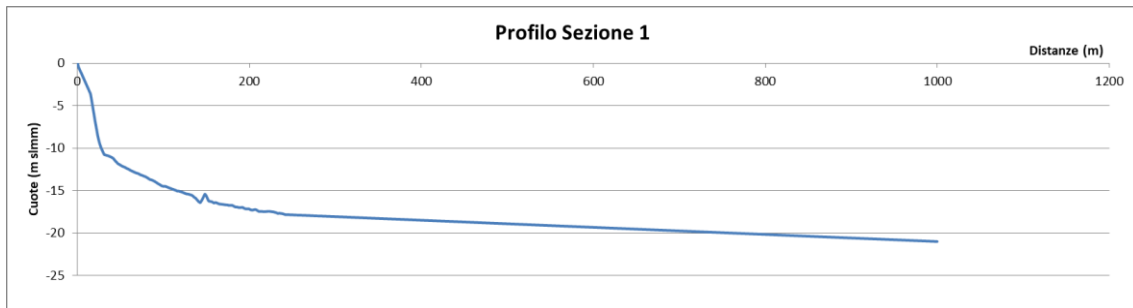


Figura 6. Profilo batimetrico della Sezione 1 esteso per interpolazione fino a 1000m di profondità.

Il fondo marino è di tipo ciottoloso/roccioso. E' stato adottato un valore del coefficiente di Manning di 0,04.

3.2. DATI METEO-MARINI

3.2.1. Venti

Le Figura 7 rappresenta la rosa dei venti, direzione di provenienza e velocità del vento, rilevati nella stazione APAT di Trieste negli anni 2000, 2001 e 2004. In questo studio si introduce solamente il modulo di una velocità media di 4 m/s sulla superficie del mare per considerare l'effetto del vento sulla dispersione del contaminante. Nel modello di dispersione utilizzato, il vento non interviene nella determinazione dell'idrodinamica.

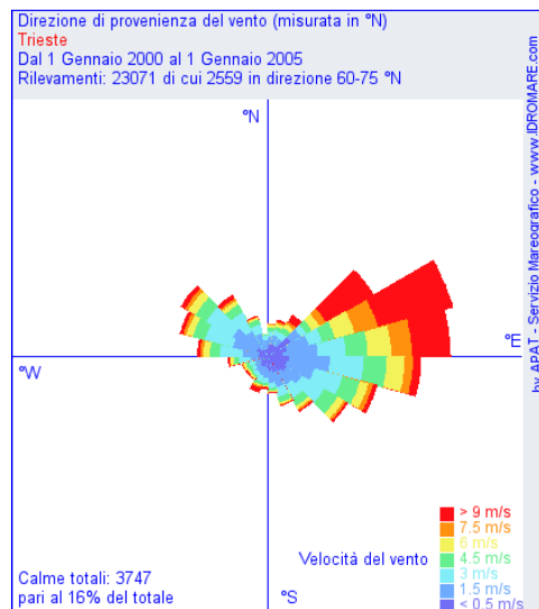


Figura 7. Distribuzione del vento per direzione e velocità.

3.2.2. Maree

Le variazioni del livello del mare sono molto evidenti nell'alto Adriatico, potendo raggiungere, in condizioni eccezionali, escursioni pari anche a $2 \div 2,5$ metri. Tali variazioni dipendono da effetti astronomici e da particolari condizioni meteorologiche.

L'escursione di marea relativa agli effetti astronomici è limitata a circa 1 metro, mentre la parte rimanente, dipendente dagli effetti locali del vento e dai fenomeni di oscillazione dell'intero mare Adriatico, indotti dal passaggio di particolari perturbazioni, è estremamente variabile e può essere di entità superiore a quella astronomica. In particolare i livelli di marea meteorologici più elevati si hanno in concomitanza di basse pressioni sull'Adriatico Settentrionale e vento di Scirocco.

L'analisi statistica delle variazioni del livello del mare è stata eseguita utilizzando i dati rilevati dal mareografo locale, ubicato nel porto di Trieste in corrispondenza del molo Sartorio, e gestito dall'Istituto Talassografico del CNR, livelli minimi e massimi annui registrati al mareografo nel periodo compreso dal 1875 al 1996 (Technital, 2011).

In Figura 8 viene riportata la distribuzione delle maree estreme in funzione del tempo di ritorno.

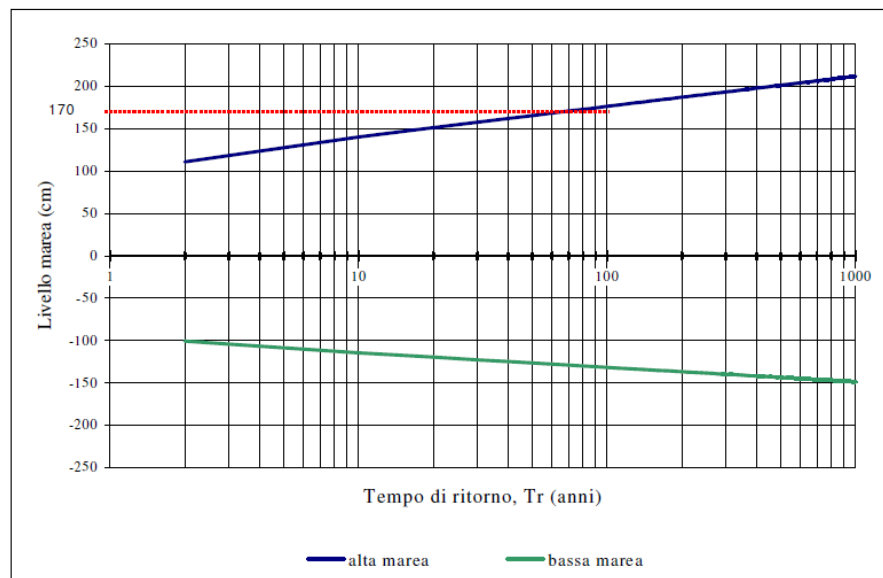


Figura 8. Distribuzione delle maree estreme in funzione del tempo di ritorno (Fonte: Istituto Talassografico del C.N.R., molo Sartorio).

In questo studio, per il grado di analisi richiesto, si utilizza il livello medio delle maree.

3.2.3. Onde

La zona del porto di Trieste è poco esposta all'azione del moto ondoso. La particolare configurazione della costa limita infatti l'esposizione diretta al moto ondoso ad un settore non più ampio di 90° , compreso tra il 3° ed il 4° quadrante, dove il fetch geografico ha un'estensione che

non supera le 70 miglia e generalmente è ancora più ridotto (il valore medio è dell'ordine delle 30 miglia) (Technital, 2011).

Le onde di scirocco, che sono le onde più critiche, vengono attenuate per diffrazione e rifrazione. Le altezze d'onde più frequenti sono Altezze Significanti dell'ordine di $H_s=0,25-0,5$ m mentre vengono stimate altezze d'onda relative a un periodo di ritorno di 100 anni di $H_s=2,5$ m. Questi dati sono sufficienti per assicurare che lo scarico dell'emissario sia sempre fuori dalla zona dei rompenti per profondità maggiori a 5 m. Questo fatto garantisce che non si generino correnti dovute alla rottura delle onde in prossimità dello scarico che potrebbero spostare velocemente verso riva il contaminante.

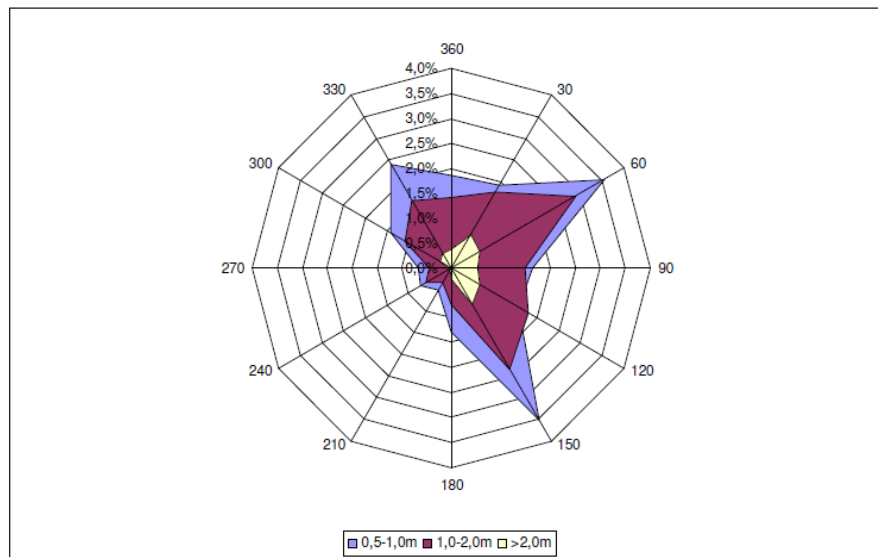


Figura 9. Distribuzione direzionale delle altezze d'onda rilevate (da elaborazione dei dati del K.N.M.I., casi di altezza d'onda maggiore di 0,5 m)

3.2.4. Correnti

Non esistono nella zona misuratori dei valori di corrente e pertanto non si dispone di informazioni dirette per la valutazione di tale parametro. Dagli studi eseguiti si evince che la corrente:

- nel Golfo di Trieste e nell'area portuale è legata al ritmo semidiurno della marea;
- è diretta principalmente da NE a SW e da SW a NE in modo alternato; le caratteristiche del movimento si complicano tuttavia sia nel bacino meridionale (Vallone di Muggia) che in quello settentrionale (Panzano) per la particolare conformazione della costa;
- è caratterizzata da intensità variabili in relazione ai livelli di marea: essa si riduce fino ad arrestarsi nei momenti di alta e bassa marea per diventare massima, diretta in un senso e nell'altro, quando l'onda di marea presenta ampiezza nulla.

Le informazioni disponibili indicano che le correnti associate alle variazioni del livello del mare hanno generalmente velocità molto modeste, con valori massimi non superiori a 0,3 m/s. Questi valori di corrente interessano il Golfo di Trieste e possono comunque essere ritenuti validi in particolare anche per lo specchio d'acqua portuale. In effetti il porto non presenta una sola

imboccatura attraverso la quale deve transitare la massa d'acqua messa in movimento dalla marea e dalle condizioni meteorologiche, pertanto i flussi sono molto distribuiti e non si verificano zone di concentrazione delle correnti.

3.2.5. Densità del mare

Il monitoraggio dei corpi idrici marino costieri eseguito a gennaio 2019 ha evidenziato una elevata densità delle masse d'acqua costituenti il golfo di Trieste (ARPAV-FVG). In particolare il valore medio dell'anomalia di densità ha presentato una variabilità compresa tra 28.44 kg/m³ dello strato superficiale a 29.55 kg/m³ dello strato di fondo.

Queste elevatissime salinità sono da associare alle scarse precipitazioni, ai scarsi apporti fluviali e all'evaporazione causata dai forti venti di Bora.

In questo studio si assume una densità media rappresentativa del mare di 1030 kg/m³.

4. METODOLOGIA

4.1. PROCESSI FISICI

Il comportamento di miscelazione di qualsiasi scarico di acque reflue è regolato dall'interazione delle condizioni ambientali nel corpo idrico ricevente e dalle caratteristiche dello scarico. Le condizioni ambientali sono descritte dalle caratteristiche fisiche e dinamiche di quel corpo, come la forma della linea di riva, le sezioni trasversali verticali e la posizione rispetto allo scarico, così come la velocità del flusso e il profilo di densità. D'altra parte, le condizioni di scarico sono legate alla geometria e alle caratteristiche del flusso nell'impianto di scarico sommerso. Per le uscite a porta singola, la geometria è definita dal diametro della porta, dalla sua elevazione e dal suo orientamento. Per le installazioni di diffusori a più porte, la disposizione dei dettagli costruttivi rappresenta un'ulteriore caratteristica geometrica unica nel suo genere. A sua volta, le caratteristiche del flusso saranno date dalla portata dell'effluente, dalla quantità di movimento e dalla flottazione.

L'idrodinamica di un effluente che scarica continuamente nel corpo ricevente può essere concettualizzata come un processo di miscelazione che avviene in due regioni separate.

- Nella prima regione, dalla bocca del diffusore, la quantità di movimento e la capacità di galleggiamento influenzano la traiettoria e la miscelazione del getto, formando una zona chiamata Campo Vicino o "Near Field" (NF). È in questa regione che le caratteristiche iniziali di miscelazione dello scarico possono essere modificate lavorando con le variabili di progetto dell'emissario stesso.
- Con lo spostamento (evoluzione) della piuma, le caratteristiche dell'emissario cominciano a perdere valore in termini di processo di miscelazione, con le condizioni prevalenti nell'ambiente ricevente, che controllerà la traiettoria e la diluizione della piuma turbolenta attraverso il movimento combinato di flottazione-dispersione e diffusione passiva, a causa della turbolenza dell'ambiente. Questa regione è conosciuta come il Campo Lontano o "Far Field" (FF).

Esistono diversi meccanismi che controllano le caratteristiche di diluizione di un emissario sottomarino. I processi coinvolti in ogni fase dell'evoluzione dello scarico sono descritti di seguito.

4.1.1. Campo Vicino

La diluizione iniziale avviene nella regione chiamata Campo Vicino (NF). In questa zona l'effluente viene condotto nella cosiddetta Regione di Miscelazione o "Mixing Region", dove viene prodotta una miscela attraverso il diffusore di scarico, che è progettato per ottenere un'elevata diluizione nel mezzo ricevente, abbassando la concentrazione dell'effluente ad almeno 100 volte (diluizione 100:1) e in molti casi si possono ottenere diluizioni superiori a 2.000 volte (diluizione 2.000:1). Le caratteristiche del getto iniziale, le caratteristiche di galleggiamento, la configurazione del diffusore, influenzano la traiettoria dell'effluente e il grado di miscelazione. La fonte di turbolenza indotta dall'uscita del flusso diluisce l'effluente contaminato. In questa fase di miscelazione, le condizioni di flusso del corpo ricevente sono meno importanti nel processo di diluizione, fino a

quando il pennacchio non interagisce con i contorni (superficie e fondo) che identificano la zona intermedia (Campo Intermedio).

Questa diluizione iniziale attraverso il diffusore dà origine al cosiddetto "pennacchio di diluizione". La diluizione S è definita come il volume totale di un campione in relazione al volume dell'effluente-contaminante, nel nostro caso- contenuto in quel campione.

$$S = (\text{Volume totale del campione}) / (\text{Volume totale dell'effluente nel campione})$$

Per un volume d'acqua con un contaminante, S tenderà all'unità nel caso in cui non sia diluito (volume d'acqua molto piccolo rispetto al contaminante) e tenderà all'infinito per l'acqua pura. Pertanto, la diluizione non tiene conto della mortalità dei batteri.

4.1.2. Campo Intermedio

Dopo la diluizione iniziale, la piuma turbolenta interagirà con i contorni del mezzo ricevente; la superficie e il fondo o eventualmente uno strato intermedio per la formazione di una termoclina. In questa fase avviene una trasformazione del flusso turbolento verticale in flusso orizzontale; le caratteristiche turbolente dovute alle caratteristiche del diffusore diminuiscono di importanza, si forma una zona di scarico diluito dovuto all'interazione con i contorni e le condizioni ambientali iniziano a predominare.

4.1.3. Campo Lontano

L'ultimo stadio del processo evolutivo della piuma contaminante è dominato da condizioni di Campo Lontano (FF) chiamate anche zona di dispersione passiva, dovute ai processi di diffusione passiva da parte della turbolenza del flusso ambientale e di avvezione passiva da parte del campo di velocità ambientale. In breve, questo pennacchio sarà trasportato dall'azione delle correnti marine che produrranno una dispersione dell'effluente (o diluizione in campo lontano) in un volume sempre più grande di acqua, ottenendo una completa integrazione del carico alimentare nell'ambiente acquatico.

4.1.4. Decadimento batterico

Il decadimento batterico si riferisce alla morte di batteri patogeni tipici degli effluenti fognari (che causano malattie gastrointestinali nei bagnanti che utilizzano spiagge o centri termali). Questo decadimento batterico o morte si verifica dal trasporto dell'effluente attraverso l'emissario e raggiunge la sua massima efficienza nell'ambiente acquatico grazie all'azione di diversi fattori: raggi ultravioletti, salinità, "shock" termico e l'azione degli organismi predatori esistenti in questo ambiente.

Il tasso di inattivazione è proporzionale alla concentrazione di C dei batteri indicatori:

$$dC/dt = -kC$$

Dove k è la costante di inattivazione e t è il tempo. La concentrazione C al momento t è allora:

$$C = C_0 e^{-kt}$$

Dove C_0 è la concentrazione iniziale del sistema.

Relativo al decadimento batterico, il T_{90} è il tempo in cui muore il 90% dei batteri. Questo è uno dei parametri più importanti quando si tratta di rifiuti liquidi urbani. Senza dubbio, questi ultimi due parametri rendono i rifiuti domestici liquidi in particolare un effluente di tipo non conservatore, cioè uno il cui contaminante - in questo caso i batteri - subisce una diminuzione di valore indipendentemente dai processi di trasporto idrologico sopra menzionati.

Per quanto riguarda lo scarico delle acque di scarico, il meccanismo più importante per la progettazione è la scomparsa di organismi indicatori come i coliformi fecali (CF), i coliformi totali (CT) o l'*Escherichia Coli* (EC) in quanto sono i principali agenti nocivi per la salute umana.

Il principale parametro di controllo per valutare l'efficienza del diffusore e la capacità ambientale di disperdere il contaminante è la concentrazione del contaminante. La concentrazione è definita come la quantità di massa di un elemento - nel nostro caso, un contaminante - per unità di volume - nel nostro caso, il volume dell'acqua.

$$C = \Delta \text{massa} / \Delta \text{Volume}$$

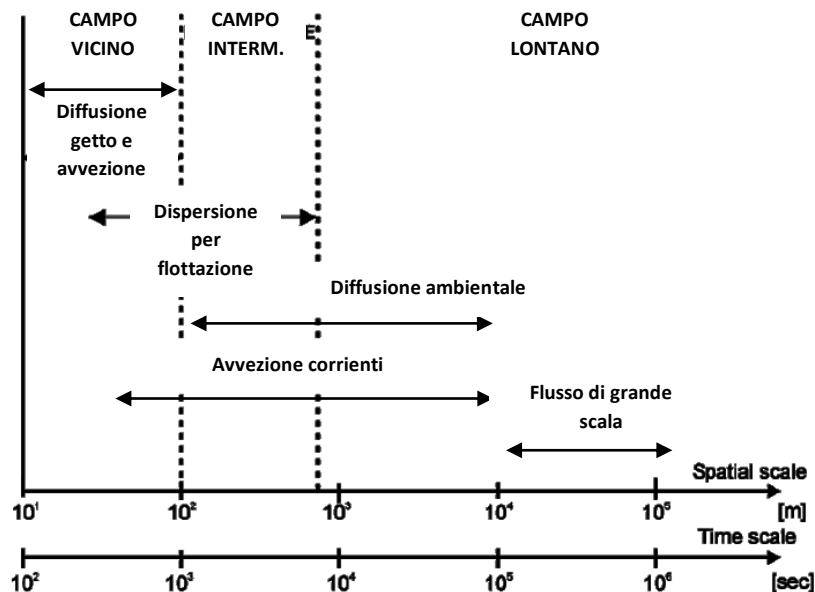


Figura 10. Scale spaziali e temporali dei principali processi che intervengono nella dispersione (Bleninger, 2007).

4.2. MODELLO CORMIX

Il modello numerico che si utilizza in questo lavoro è noto come Cornell Mixing Zone Expert System ("CORMIX"), sviluppato presso la Cornell University, USA, e descritto in dettaglio da Jirka, Doneker & Hinton (1996).

CORMIX è uno dei modelli di zone di miscelazione più utilizzati oggi, caratterizzato da un'ampia gamma di applicazioni per diversi tipi di corpi riceventi (fiumi, laghi, estuari, acque costiere). È stato utilizzato con successo nella gestione della qualità delle acque nell'ambito di vari quadri normativi e si distingue come uno degli strumenti più adatti per la valutazione delle zone di miscelazione in conformità al documento della Commissione Europea "Technical Guidelines for the Identification of Mixing Zones" (Linee guida tecniche per l'identificazione delle zone di miscelazione).

La Figura 12 mostra le definizioni geometriche di spessore trasversale, spessore verticale e semi-larghezza nel piano orizzontale utilizzate dal programma Cormix per descrivere la dispersione dello scarico.

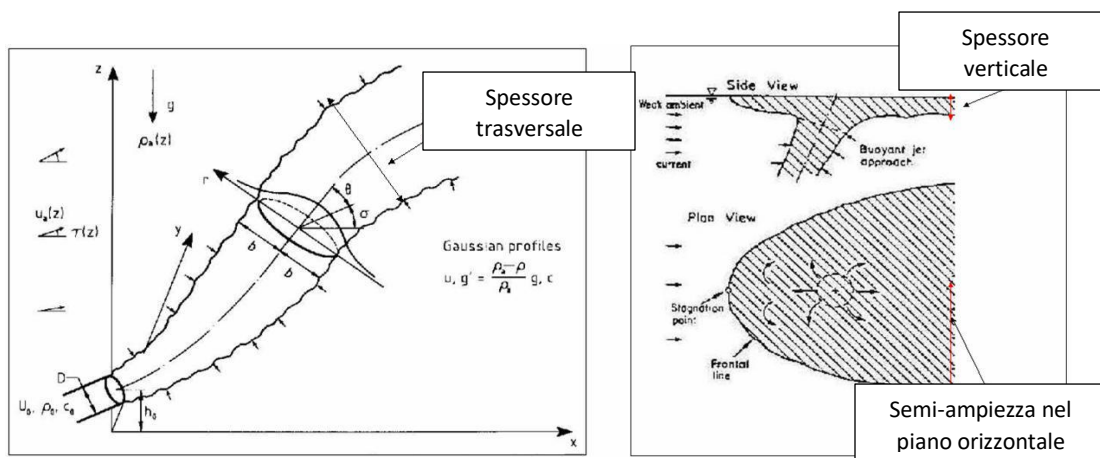


Figura 11. Definizione dello spessore della barra secondo la sezione trasversale (a sinistra). Definizioni di spessore verticale e di metà larghezza del braccio di distribuzione (a destra).

CORMIX comprende diversi strumenti per simulare il comportamento di una fuoriuscita nel campo vicino e lontano e con tutti i tipi di galleggiamento della fuoriuscita (positivo, neutro e negativo). In questo modo, le condizioni di scarico sono legate alle caratteristiche geometriche e di flusso dello scarico stesso. Per uno scarico a singola porta (CORMIX1) la geometria è data dal diametro della porta, dalla sua elevazione e dall'orientamento. Per i diffusori di tipo multiporta (CORMIX2) si deve tener conto, tra l'altro, della disposizione delle singole porte lungo la linea del diffusore, dell'orientamento e della lunghezza del diffusore.

Allo stesso modo, la descrizione del tipo di effluente si basa sulla sua portata, densità, concentrazione e tipo di contaminante (Conservativo, Non Conservativo, Carica Termica o Sedimento). Infine, è possibile definire una zona, chiamata Zona di miscelazione, dove si possono stabilire alcuni parametri in termini di concentrazione massima consentita. In questo modo,

L'Output del programma conterrà degli avvisi per evidenziare la coordinata in cui questi valori sono stati raggiunti.

Il valore della concentrazione all'estremità della piuma, data la concentrazione nell'asse viene calcolata con la seguente espressione:

$$C(n) = C_{centro} e^{-\left(\frac{n}{b}\right)^2}$$

Dove b è la semi-ampiezza della piuma ed n rappresenta la distanza dal centro della piuma dove si vuole calcolare la concentrazione risultante.

4.3. EFFLUENTE

L'effluente è composto da una miscela di acque cloacali con acque bianche in un rapporto di diluizione di 1:6.

La massima portata effluente è di 1 m³/s.

Le concentrazioni di carico contaminante si determinano come concentrazione del battero Escherichia Coli in 100 ml di acqua: EC-100 ml. Per un effluente, queste concentrazioni dipendono dal tipo di trattamento di depurazione effettuato. Nel caso in esame il cliente ha provveduto diversi valori di concentrazione che sono stati adottati in diverse fasi di studio

1. Massima concentrazione di EC-100 ml misurata nello scarico Servola: 2,0E+07 EC-100ml
2. Concentrazione da misure dirette effettuate nello Scarico 2: 2,1E+06 EC-100ml

I processi che riducono la presenza dei batteri (Coliformi Totali, Coliformi Fecali del tipo Escherichia Coli), sono la diluizione iniziale, la diffusione orizzontale e il decadimento per mortalità. È molto importante determinare il tasso di decadimento, poiché questo processo ha un effetto maggiore sui calcoli dei lunghi deflussi sottomarini.

Il tasso è espresso come valore T₉₀, definito come il tempo necessario per un decadimento del 90% dei batteri rimanenti, oltre la dovuta diluizione e/o diffusione. Il T₉₀ è influenzato dall'esposizione alla luce, dalla salinità dell'acqua, dalla temperatura dell'acqua, in acque relativamente calde è stata costantemente inferiore a quella delle acque più fredde (AYSA, 2008).

A titolo di esempio, la Tabella 3 mostra i valori misurati in loco del T₉₀ per diversi effluenti di acque reflue. Va notato che, tra tutti gli organismi coliformi, solo l'E.Coli ha un'origine specificamente fecale, in quanto è sempre presente in grande quantità nelle feci degli esseri viventi a sangue caldo e raramente si trova in acqua o nel suolo che non ha subito qualche tipo di contaminazione fecale. Pertanto, si ritiene che il loro rilevamento come organismi fecali o la presunzione di E.Coli costituisca un'informazione sufficiente per stimare la natura fecale di tale contaminazione e quindi caratterizzare il grado di contaminazione dell'ambiente ricevente.

Il tasso di decadimento è stato impostato sulla base delle linee guida di ISPRA che suggeriscono l'uso del valore del T₉₀. In mancanza di misure dirette, il valore di T₉₀ adottato in questo studio è di 24 ore-

Tabella 2. Valori di T_{90} nelle linee guida di ISPRA

	T_{90} (h) con cielo sereno	T_{90} (h) con cielo nuvoloso
Escherichia-coli	5 (50)	35

Tabella 3. Valori T_{90} in acque marine in diverse parti del mondo.

Ubicazione	Valores de T_{90} (ore)
Honolulu, Hawai	0,75 o meno
Bahía de Mayaguez, Puerto Rico	0,7
Río de Janeiro, Brasil	1
Niza, Francia	1,1
Accra, Ghana	1,3
Montevideo, Uruguay	1,5
Santo, Brasil	0,8-1,7
Fortaleza, Brasil	1,3 +- 0,2
Maceió, Brasil	1,35 +- 0,15

4.4. SCENARI DI SIMULAZIONE

Per raggiungere gli obiettivi dello studio sono state definite tre fasi di lavoro.

➤ FASE 01: assegnata concentrazione iniziale massima

La concentrazione adottata è di $3,3E+06$ EC-100ml. Sono state valutate diverse combinazioni di velocità della corrente ambientale, profondità di scarico (e quindi distanze) e geometrie di scarico, con l'obiettivo di determinare almeno due alternative di scarico ottime:

- a) per una sola bocca di scarico;
- b) per un sistema di diffusori.

Questa fase permette definire due tipologie di scarico che possono essere considerate come alternative limite per orientare il progetto finale.

Viene proposta l'incorporazione di un sistema di diffusori per ottimizzare la profondità di scarico. Un tratto di emissario con diffusori migliora la distribuzione dello scarico ed aumenta la diluizione, permette di rilasciare l'effluente a minori profondità con rispetto allo scarico unico, per avere gli stessi risultati di dispersione. Nell'Annesso I si presentano i risultati tabellari di tutti i casi simulati.

➤ FASE 02: massima concentrazione ammissibile allo scarico per distanze assegnate

Questa fase permette determinare, attraverso calcoli iterativi, le massime concentrazioni ammissibili di EC allo scarico per una assegnata distanza dalla costa.

Lo scopo di questa parte di studio è verificare le condizioni di balneabilità a 200m dalla costa e riqualificare la spiaggia in corrispondenza della sezione di scarico. In questo modo si permette orientare la presa di decisione sulla caratteristica di scarico nel momento che venga definita con più precisione la concentrazione allo scarico. Nell'Annesso II si presentano i risultati tabellari di tutti i casi simulati.

➤ FASE 03: proposta di progetto ottimo

In questa fase si realizzano le simulazioni per verificare alcune geometrie richieste dal cliente e per una assegnata concentrazione iniziale di EC ottenuta da misure dirette eseguite all'entrata dello scarico². Tali misure hanno dato i valori di 210.000 EC-100ml. I casi esaminati sono stati:

- a) Scarico a 50 m dalla costa, con una sola bocca
 - i. Per una concentrazione iniziale di EC=210.000 diluita 6 volte (corrispondente alle misure effettuate all'entrata dello scolmatore dello scarico²)
 - ii. Per una concentrazione iniziale di EC=2.000.000 diluita 6 volte (corrispondente ai valori ottenuti all'uscita dell'impianto di Servola)
- b) Scarico equivalente al (a) ma con un tratto di diffusore di 20 m e 5 "risers"
- c) Scarico direttamente a costa

Nelle seguenti tabelle vengono elencati gli scenari analizzati.

Tabella 4. Descrizione scenari della Fase 01.

Tabella 5. Descrizione scenari della Fase 02.

Tabella 6. Descrizione scenari della Fase 03.

Tabella 4. Descrizione scenari della Fase 01.

Descrizione	Caso	U_{amb} (m/s)	h_d (m)	Y_d (m)	L_D	σ (°)	θ (°)
1 port	Caso_01	0,1	18	250	-	-	90
1 port	Caso_02	0,1	20	500	-	-	90
1 port	Caso_03	0,1	20	1.000	-	-	90
1 port	Caso_04	0,1	20	2.000	-	-	90
3risers x 2ports	Caso_05	0,1	20	1.000	100	0	opposti
6risers x 2ports	Caso_06	0,1	20	1.000	200	0	opposti
15risers x 2ports	Caso_07	0,1	20	1.000	500	0	opposti
1 port	Caso_08	0,1	20	2.000	-	90	0
1 port	Caso_09	0,01	20	2.000	-	90	0
1 port	Caso_10	0,3	20	2.000	-	90	0
1 port	Caso_11	0,1	20	1.000	-	90	0
1 port	Caso_12	0,01	20	1.000	-	90	0

Dove:

U_{amb} (m/s)	velocità ambientale (media vertical)
h_d (m)	profondità media di scarico
Y_d (m)	distanza del punto di scarico dalla costa
L_D (m)	Lunghezza del tratto diffusore
σ (°)	angolo della bocca di scarico rispetto alla costa
θ (°)	angolo della bocca di scarico rispetto al fondo

Tabella 5. Descrizione scenari della Fase 02.

Caso	Distanza (m)	Profondità (m)
R2000	2.000	20
R1000	1.000	20
R500	500	20
R250	500	20
R50	50	18

Tabella 6. Descrizione scenari della Fase 03.

Caso	Distanza (m)	Ci (EC-100ml)	Descrizione
1 scarico	50	35.000	Valore misurato diluito
1 scarico	50	3.300.000	Valore Servola diluito
Diffusore multiplo	50	35.000	Valore misurato diluito
1 scarico a costa	0	35.000	Valore misurato diluito

5. RISULTATI

Si mostrano i risultati di tutte le fasi di studio.

In particolare, per la Fase 01 si mostrano i risultati delle due alternative migliori selezionate:

- 1) la prima considerando uno scarico unico
- 2) la seconda utilizzando un sistema di diffusori

Per la Fase 02 si presentano i risultati in tabella dei valori di concentrazione calcolati all'estremità della piuma di dispersione in corrispondenza del punto di emissione e quando la piuma raggiunge i 200 m dalla costa, per assegnate distanze e ricercando il massimo valore possibile di concentrazione allo scarico.

Per la Fase 03 si presentano i risultati di ottimizzazione dello scarico per condizioni assegnate dal cliente.

5.1. FASE 01

In questa sezione si presentano in dettaglio i risultati delle due migliori alternative ottenute. Nell'Annesso I si possono vedere i risultati tabellari di tutti i casi simulati.

Nella seguente tabella si mostrano i parametri principali mantenuti costanti in questa fase.

Tabella 7. Principali valori adottati nella Fase 01.

PARAMETRO	Valore	Descrizione
Parametri dell'effluente		
Q_o (m ³ /s)	1	Portata assegnata massima
ρ_{eff} (Kg/m ³)	1.000	Densidad del efluente
Escher. Coli (EC-100ml)	3,3E+6	Concentrazione di Escherichia Coli massima stimata
Parametri ambientali		
U_{amb} (m/s)	0,01 - 0,1	Velocità ambientale verticale media parallela alla costa
U_w (m/s)	4	Velocità caratteristica del vento in superficie
n	0,04	Coefficiente di rugosità di Manning
ρ_{amb} (Kg/m ³)	1.030	Densità del mare
Caracttristiche batteri		
T_{90} (ore)	24	Coefficiente di decadimento batterico

Si presentano gli scenari più rappresentativi ottenuti nel processo della ricerca della miglior configurazione di emissario con i dati assegnati.

5.1.1. Alternativa 1: un solo riser (Caso 08)

Si mostrano i risultati per un emissario con una sola bocca di uscita a 2.000 m dalla costa, con un riser verticale e bocca orizzontale ($\theta=0^\circ$) orientata verso mare aperto, perpendicolare alla costa ($\sigma=90^\circ$). Le caratteristiche generali di questo caso si mostrano nella Tabella 8.

Tabella 8. Parametri principali dello scarico nel Caso 08.

Concentrazione iniziale EC-100ml	3,33E+06
Distanza da costa	2.000 m
Profondità media allo scarico	20 m
Numero risers	1
Numero bocche per riser	1
Diametro bocca	0,3 m
Orientazione bocca rispetto al fondo (θ)	0°
Orientazione bocca rispetto alla costa (σ)	90°

Nella Figura 12 si mostra la variazione della concentrazione con la distanza ottenuta nel centro della piuma e nella Figura 13 la variazione della diluizione. In figura vengono evidenziati i valori di concentrazione in due punti localizzati all'estremità della piuma quando questa si trova a 200 m dalla costa e quando arriva a costa. I valori ottenuti si sintetizzano nella seguente Tabella 9.

Tabella 9. Valori di concentrazione al centro della piuma (C_{centro}) e al bordo estremo (C_{bound}) quando l'estremità della piuma si trova a 200 m dalla costa e quando arriva a toccare la costa. Caso 08.

Situazione	Distanza dal punto di scarico (m)	Diluizione S	EC-100ml
Quando la piuma arriva a 200 m dalla costa	6.972	1.941	$C_{centro} = 766$
			$C_{bound} = 282$
Quando la piuma raggiunge la costa	8.286	2.866	$C_{centro} = 446$
			$C_{bound} = 164$

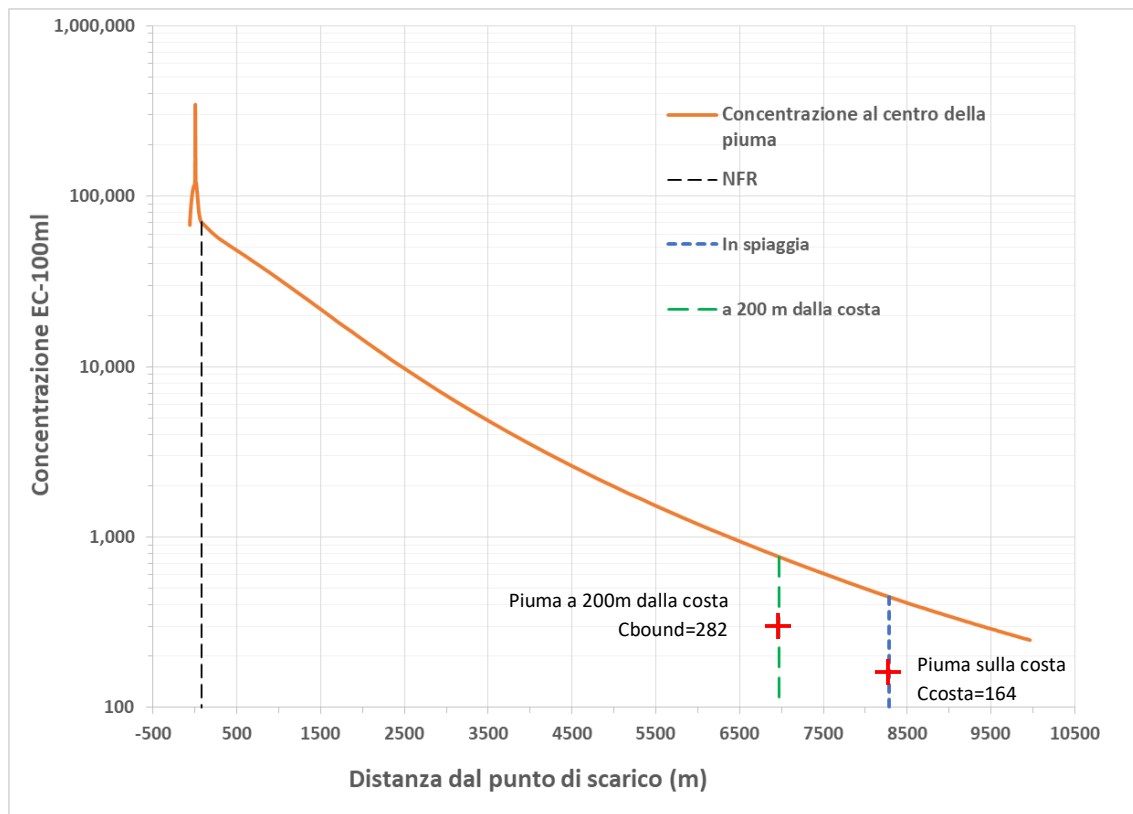


Figura 12. Variazione della concentrazione con la distanza dal punto di scarico nel centro della piuma di dispersione. Caso 08. Le croci rappresentano i valori all'estremità della piuma.

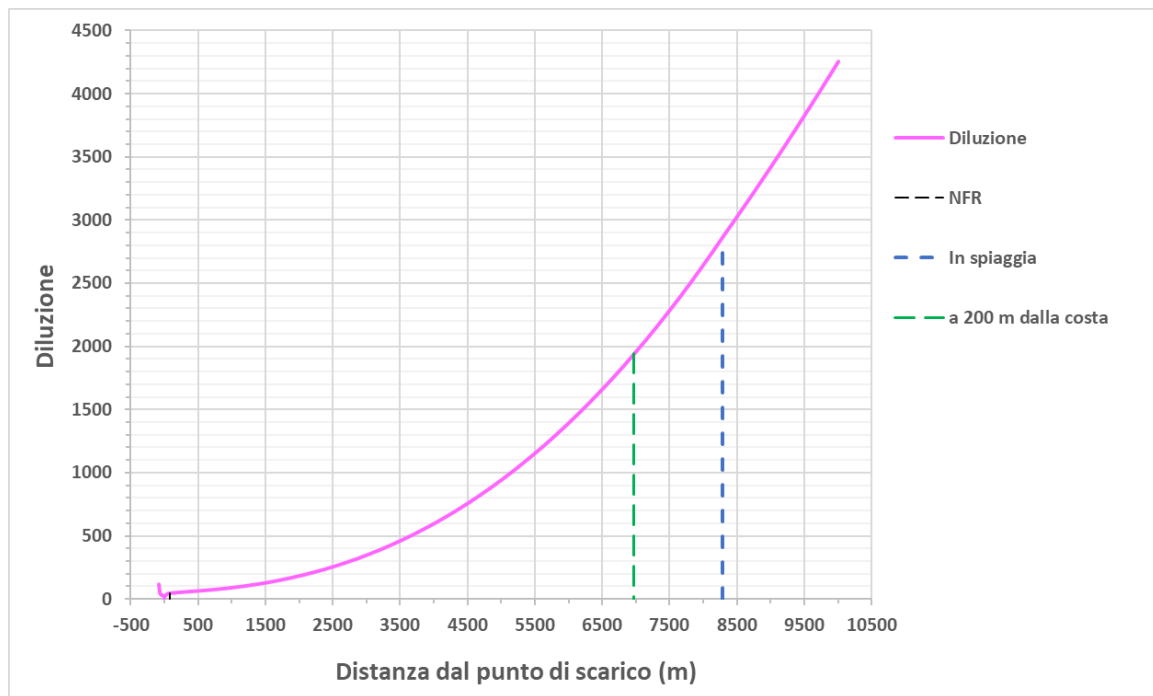


Figura 13. Variazione della diluzione con la distanza dal punto di scarico nel centro della piuma di dispersione. Caso 08.

Nelle seguenti Figura 14 e Figura 15 si mostrano i pennacchi di dispersione per il Caso 08.

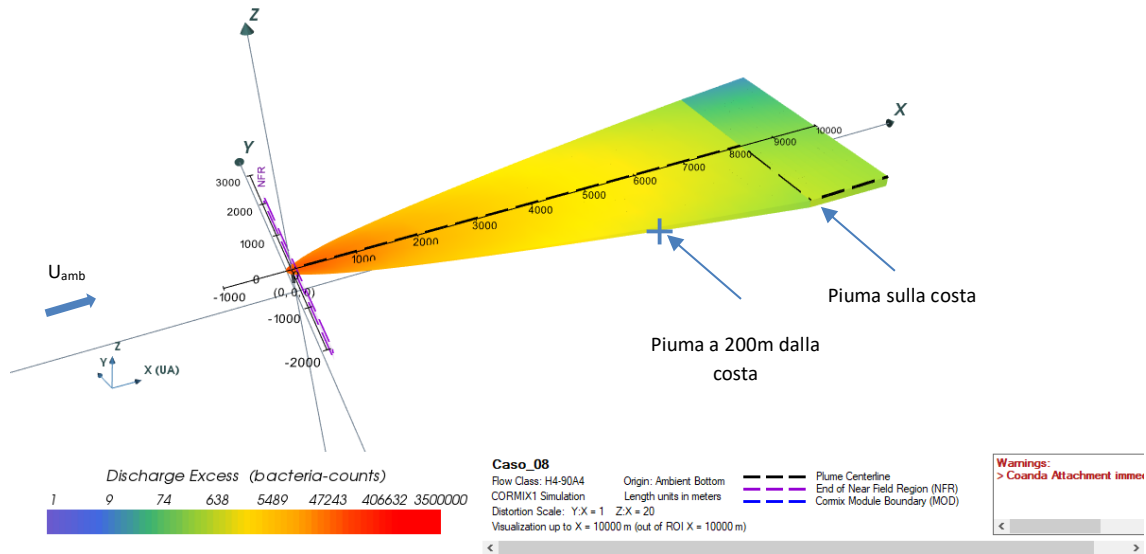


Figura 14. Vista 3D della piuma di dispersione per il Caso 08.

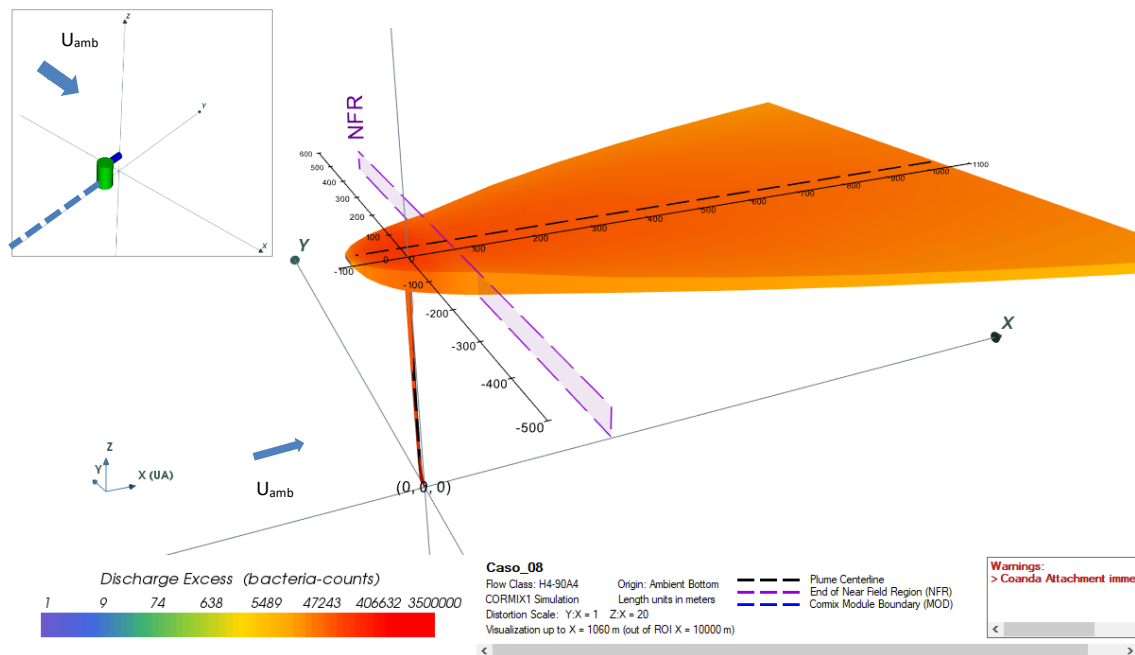


Figura 15. Dettaglio della piuma di dispersione nei primi 1000m dal punto di scarico. Caso 08.

5.1.2. Alternativa 2: diffusore di 500m (Caso 07)

Si mostrano i risultati per un emissario con un diffusore di 500m con 15 risers a due bocche di uscita, a 1.000m dalla costa. Le caratteristiche generali di questo caso si mostrano nella Tabella 10.

Tabella 10. Parametri principali dello scarico nel Caso 07.

Concentrazione iniziale EC-100ml	3,33E+06
Distanza da costa	1.000 m
Profondità media allo scarico	20 m
Lunghezza diffusore	500 m
Numero risers	15
Numero bocche per riser	2
Diametro bocca	0,15 m
Orientazione bocca rispetto al fondo (θ)	0°
Orientazione bocche rispetto alla costa (σ)	Direzioni opposte parallele alla costa (0°)

Nella Figura 16 si mostra la variazione della concentrazione con la distanza ottenuta nel centro della piuma e nella Figura 17 la variazione della diluizione. In figura vengono evidenziati i valori di concentrazione in due punti localizzati all'estremità della piuma quando questa si trova a 200 m dalla costa e quando arriva a costa. I valori ottenuti si sintetizzano nella seguente Tabella 11.

Tabella 11. Valori di concentrazione al centro della piuma (C_{centro}) e al bordo estremo (C_{bound}) quando l'estremità della piuma si trova a 200 m dalla costa e quando arriva a toccare la costa. Caso 07.

Situazione	Distanza dal punto di scarico (m)	Diluizione S	EC-100ml
Quando la piuma arriva a 200 m dalla costa	1.571	1.516	$C_{centro} = 1.830$
			$C_{bound} = 673$
Quando la piuma raggiunge la costa	2.303	1.711	$C_{centro} = 1.490$
			$C_{bound} = 548$

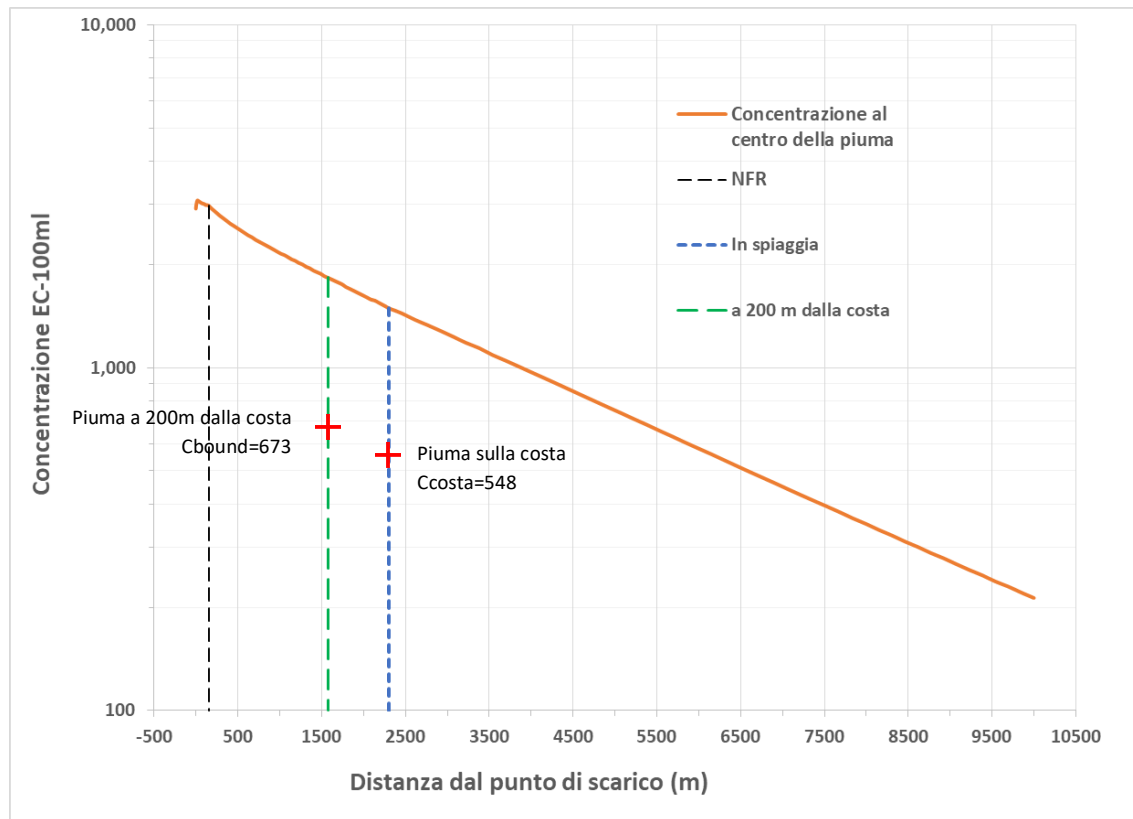


Figura 16. Variazione della concentrazione con la distanza dal punto di scarico nel centro della piuma di dispersione. Caso 07. Le croci indicano i valori all'estremità della piuma.

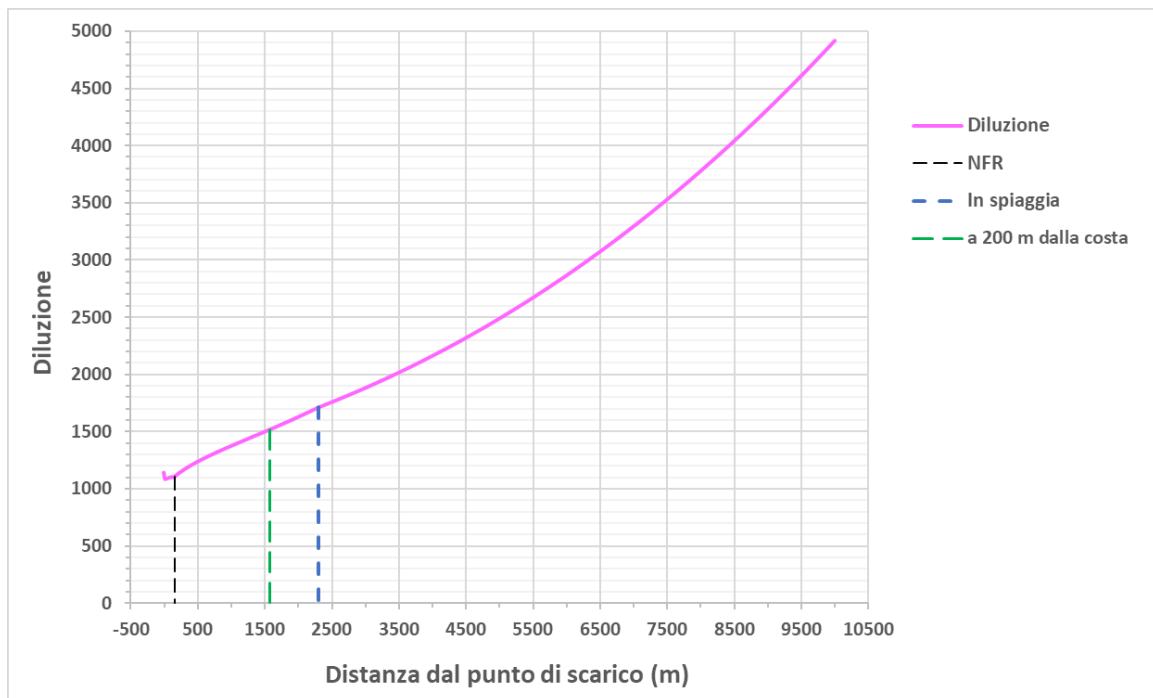


Figura 17. Variazione della diluzione con la distanza dal punto di scarico nel centro della piuma di dispersione. Caso 07.

Nelle seguenti Figura 18 e Figura 19 si mostrano i pennacchi di dispersione per il Caso 07.

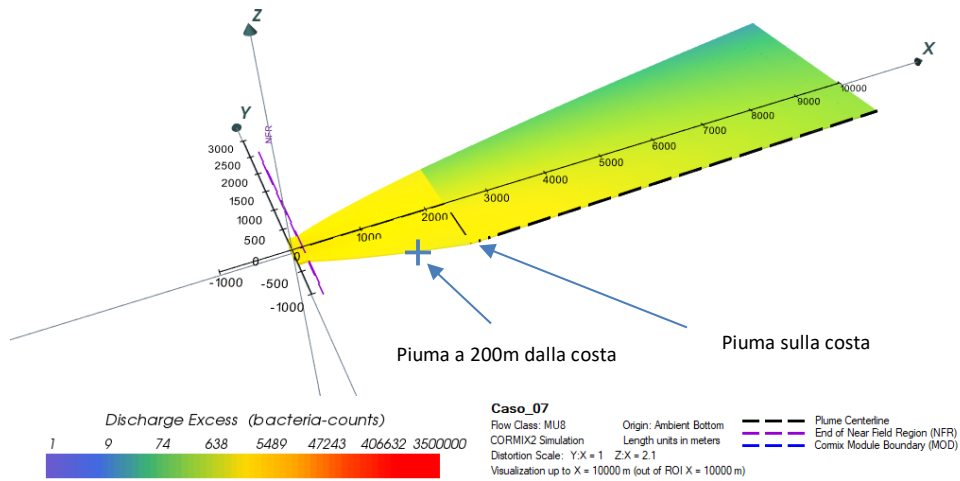


Figura 18. Vista 3D della piuma di dispersione per il Caso 07.

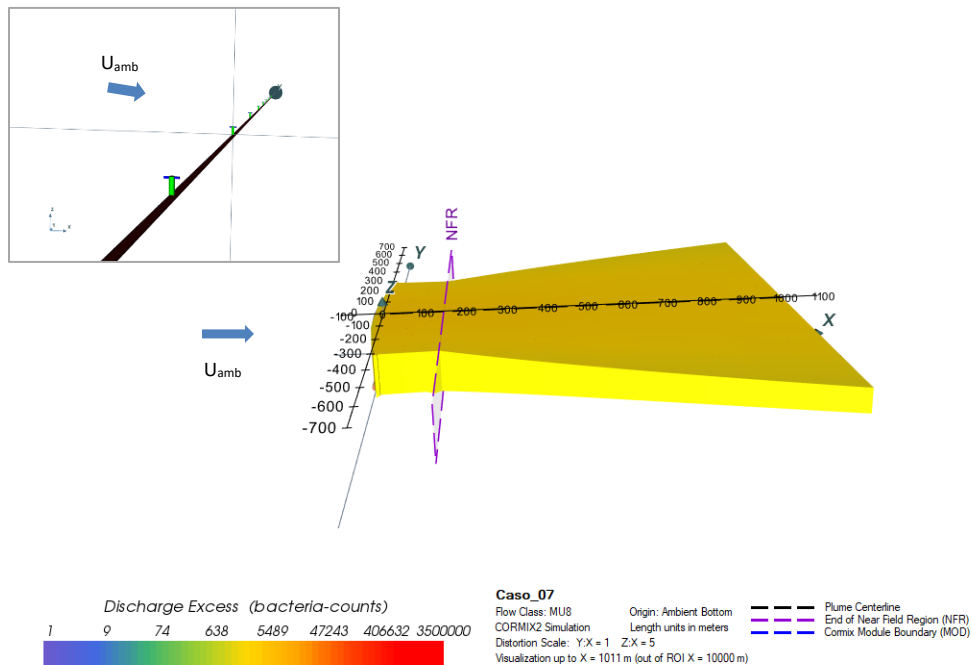


Figura 19. Dettaglio della piuma di dispersione nei primi 1000m dal punto di scarico. Caso 07.

5.2. FASE 02

Si mostrano i valori comparativi dei risultati finali, nell'Annesso II vengono riportate tutte le iterazioni. I calcoli effettuati sono stati effettuati con un riser solo, con una bocca di scarico di 0,3 m di diametro orientata verticalmente ($\theta=90^\circ$). In tutti casi si assume $T_{90}=24$ ore.

Distanza	distanza del punto di scarico dalla costa
$C_{i,max}$	massima concentrazione di scarico stimata per avere la riduzione de $C_{bound}<500$ EC-100ml a 200m dalla costa
Y_{bound}	distanza dalla costa del bordo della piuma nel punto di scarico
$C_{bound}(0)$	Concentrazione al bordo della piuma nella perpendicolare a costa all'altezza del punto di scarico.
$X_p(Y_{200})$	Distanza dal punto di scarico, misurato parallelamente alla costa quando la piuma raggiunge nel suo bordo estremo i 200m dalla costa
$C_{bound}(X_p)$	concentrazione al bordo della piuma quando il bordo della piuma raggiunge i 200m dalla costa (alla distanza X_p)

Tabella 12. valori approssimativi di concentrazioni massime ammissibili allo scarico per avere una concentrazione al bordo della piuma (pennacchio) quando arriva a 200m dalla costa. La condizione è che sia approssimativamente $C_{bound}<500$ EC-100ml

Distanza	$C_i \max$	$Y_{bound}(0)$	$C_b(0)$	$X_p(Y_{200})$	$C_{bound}(X_p)$
m	EC-100ml	m		m	EC-100ml
2.000	5,0 E+06	1.900 m	155.000	7.050	412
1.000	2,5 E+05	900 m	7.700	2.200	486
500	5,0 E+04	400 m	1.545	400	614
250	1,0 E+04	50m *	471*	0	266*
50	8,0 E+03	0m **	633**	60	-

* nel punto di scarico la piuma arriva a 50 m dalla costa

** nel punto di scarico la piuma arriva a costa

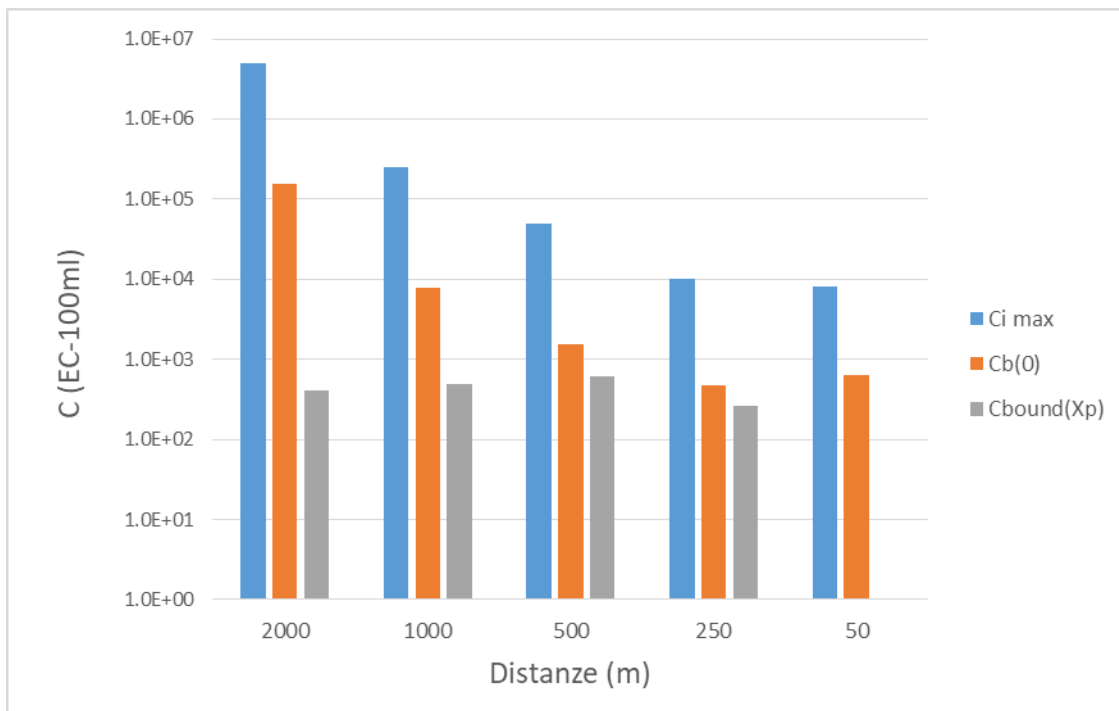


Figura 20. Istogramma delle concentrazioni risultanti ($C_i \text{ max}$ allo scarico; $C_b(0)$ all'estremità della piuma nella sezione corrispondente al punto di emissione; $C_{\text{bound}}(X_p)$ all'estremità della piuma nella sezione in cui tale estremità raggiunge i 200 m dalla costa), per assegnate distanze di scarico dalla costa (asse x) e per un solo scarico verticale.

5.3. FASE 03

5.3.1. Scarico a 50 m dalla costa con una bocca

Si presentano due casi:

1. Concentrazioni di EC iniziale misurate prima dello scolmatore
2. Concentrazioni di EC iniziale misurate prima dello scolmatore di Servola

In tutti casi si assume $T_{90}=24$ ore.

Concentrazioni di EC iniziale misurate prima dello scolmatore

Si esamina in primo luogo uno scarico con una concentrazione iniziale ottenuta da una misura diretta prima dell'entrata allo scolmatore, corrispondente a:

$$EC-100ml=210.000$$

Questa concentrazione viene diluita 6 volte prima dell'entrata all'emissario, ottenendo così una concentrazione iniziale di $EC-100ml=35.000$.

Nella Figura 21 si osserva la piuma 3D e nella Figura 22 la piuma 2D con un grafico della variazione con la distanza della concentrazione di $EC-100ml$ sull'asse della piuma.

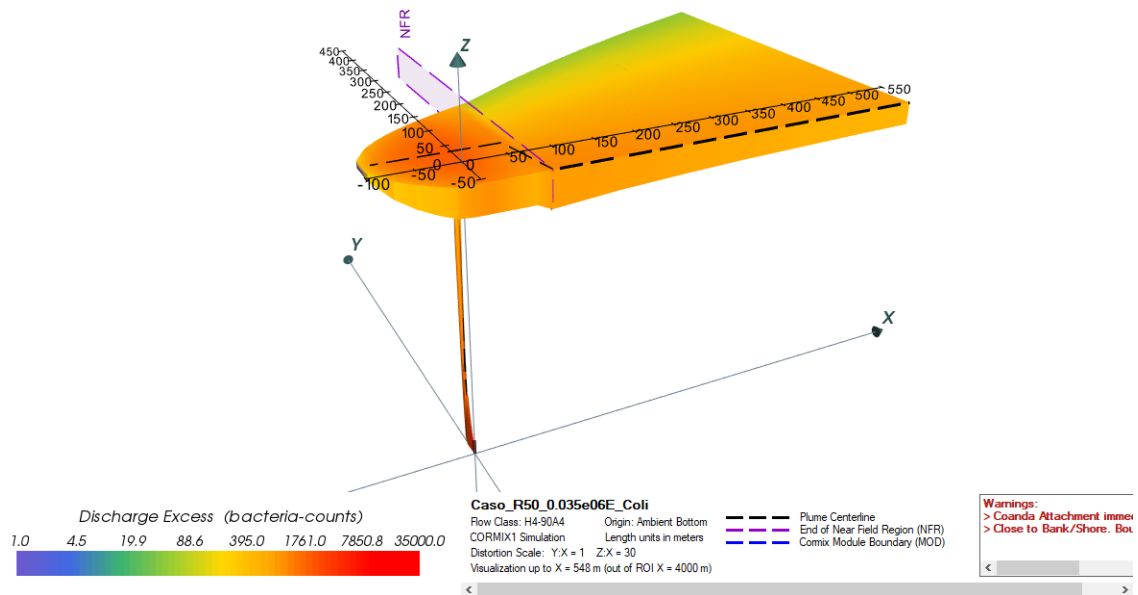


Figura 21. Vista 3D della piuma dello scarico a 50 m dalla costa con una sola bocca e con $C_i=35.000$ EC-100ml.

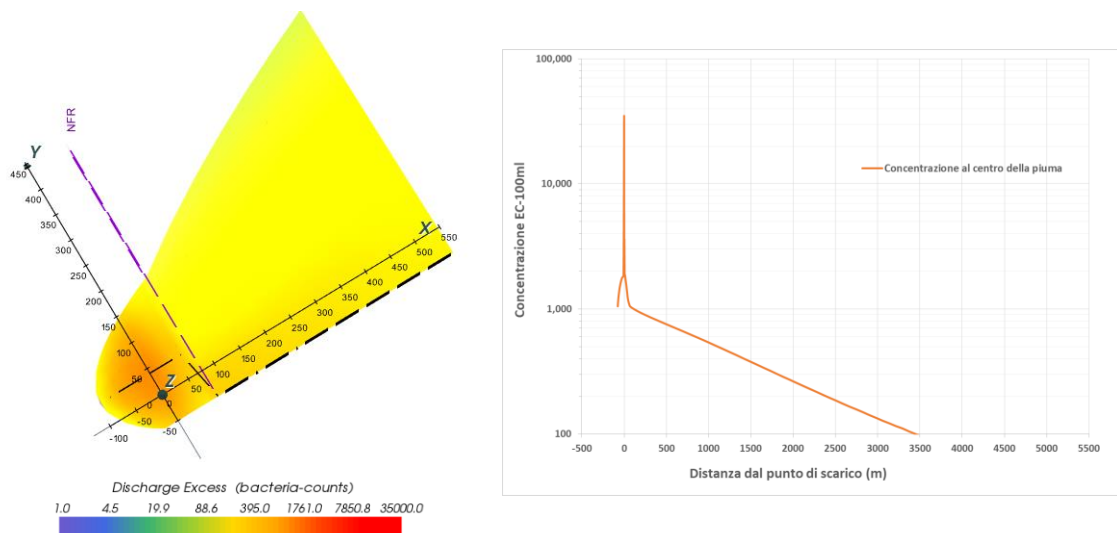


Figura 22. Vista in pianta e sezione dell'asse della piume con i valori delle concentrazioni di EC-100ml nel caso di scarico a 50m dalla costa con $C_i=35.000$ EC-100ml.

La piuma, nel suo bordo estremo, già in corrispondenza del punto di scarico raggiunge la costa.

- A pochi metri dal punto di emissione (10m), in superficie, per l'effetto del getto la concentrazione si riduce a 1.860 EC-100ml.
- A costa, in corrispondenza del punto anteriore i valori di EC-100ml è di 1.040.

Concentrazioni di EC iniziale misurate prima dello scolmatore di Servola

Si esamina in primo luogo uno scarico con una concentrazione iniziale ottenuta da una misura diretta all'uscita dall'impianto di trattamento di Servola, corrispondente a:

$$EC-100ml=20.000.000$$

Questa concentrazione viene diluita 6 volte prima dell'entrata all'emissario, ottenendo cosèi una concentrazione iniziale di $EC-100ml=3.330.000$.

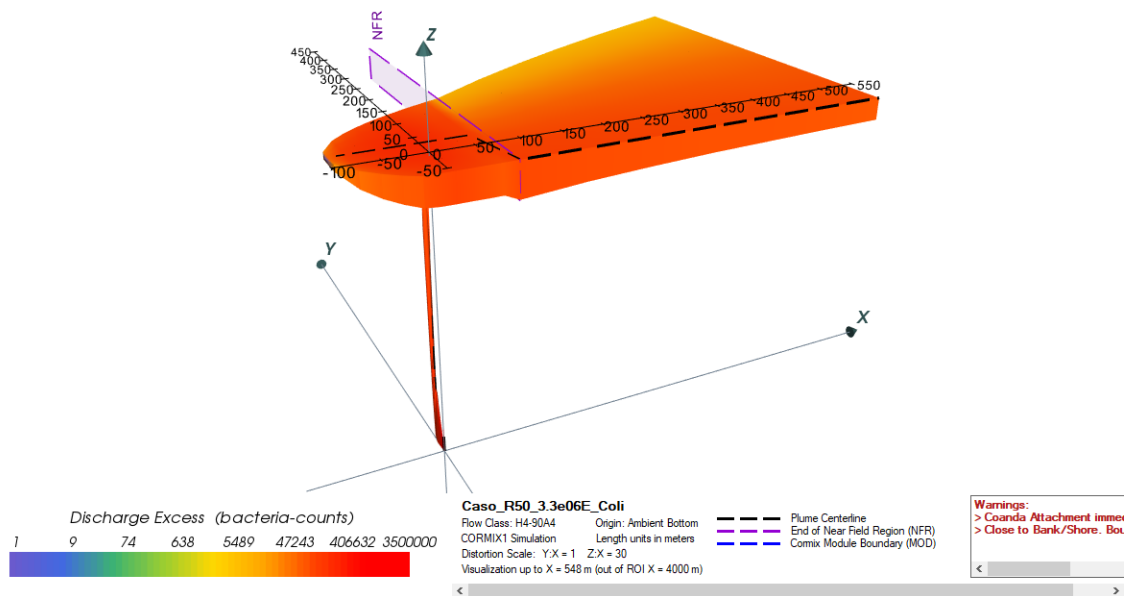


Figura 23. Vista 3D della piuma dello scarico a 50 m dalla costa con una sola bocca e con $C_i=3.330.000$ EC-100ml.

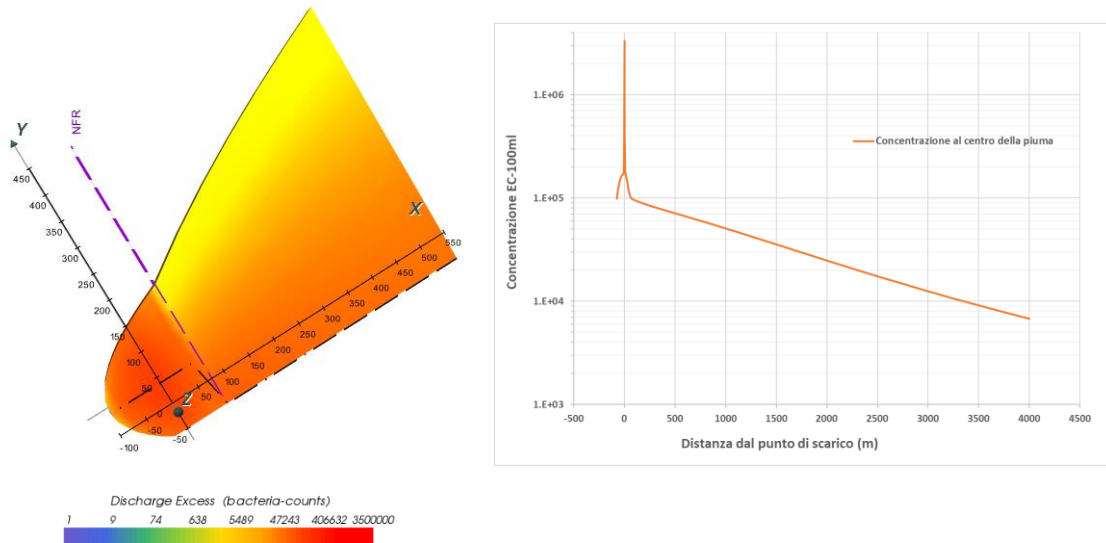


Figura 24. Vista in pianta e sezione dell'asse della piume con i valori delle concentrazioni di EC-100ml nel caso di scarico a 50m dalla costa con $C_i=3.330.000$ EC-100ml.

La piuma, nel suo bordo estremo, già in corrispondenza del punto di scarico raggiunge la costa.

- A pochi metri dal punto di emissione (10m), in superficie, per l'effetto del getto la concentrazione si riduce a 174.550 EC-100ml.
- A costa, in corrispondenza del punto anteriore i valori di EC-100ml è di 64.214.

5.3.2. Scarico a 50 m dalla costa con diffusore

In questo caso si realizza una simulazione adottando un sistema di diffusori di 20 m di lunghezza con 5 "risers" a due bocche ciascuno, disposti a 5 m di distanza tra di loro. Le Concentrazioni di EC iniziale sono quello misurate prima dello scolmatore. Si assume $T_{90}=24$ ore.

Si esamina quindi uno scarico con una concentrazione iniziale ottenuta da una misura diretta prima dell'entrata allo scolmatore, corrispondente a:

$$EC-100ml=210.000$$

Questa concentrazione viene diluita 6 volte prima dell'entrata all'emissario, ottenendo così una concentrazione iniziale di $EC-100ml=35.000$.

Nella Figura 25 si osserva la piuma 3D e nella Figura 26 la piuma 2D con un grafico della variazione con la distanza della concentrazione di EC-100ml sull'asse della piuma.

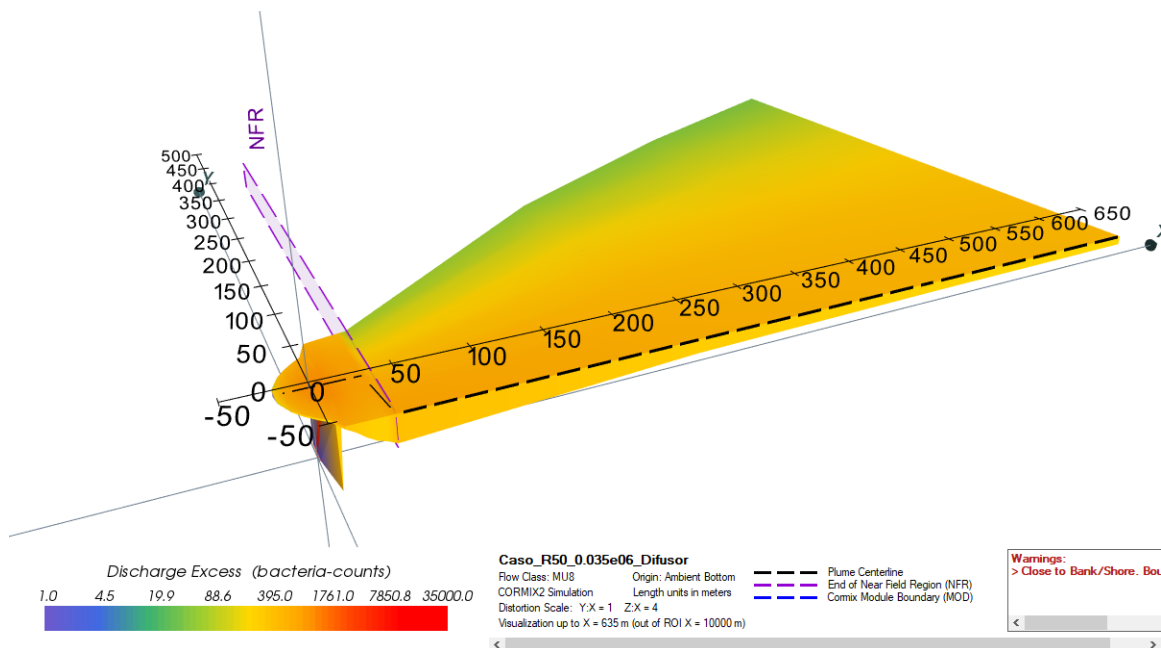


Figura 25. Vista 3D della piuma dello scarico a 50 m dalla costa con un diffusore di 20 m e con $C_i=35.000$ EC-100ml.

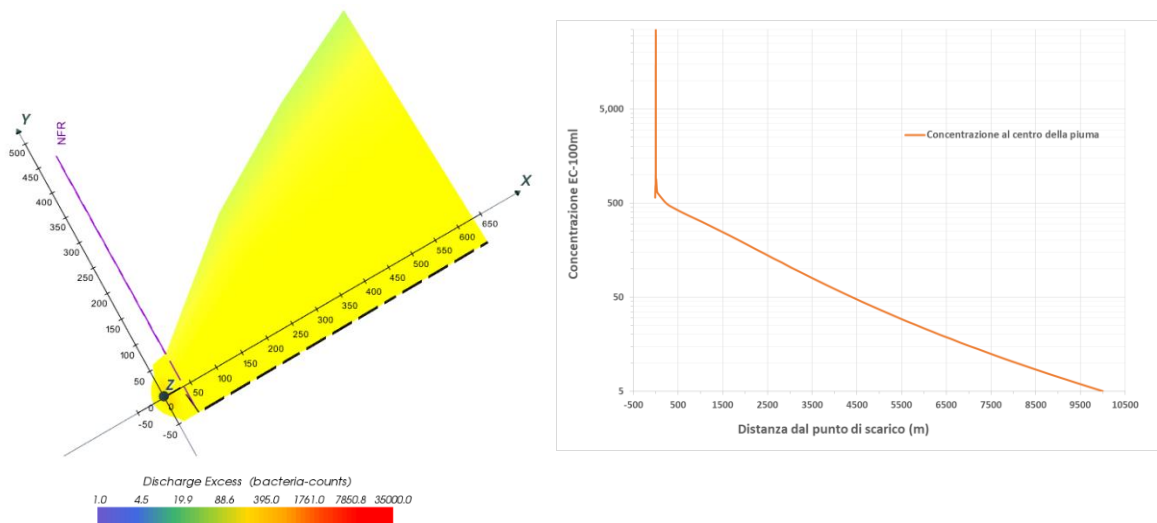


Figura 26. Vista in pianta e sezione dell'asse della piuma con i valori delle concentrazioni di EC-100ml nel caso di scarico a 50m dalla costa con un diffusore di 20 m e con $C_i=35.000$ EC-100ml

La piuma, nel suo bordo estremo, già in corrispondenza del punto di scarico raggiunge la costa.

- A pochi metri dal punto di emissione (5m), in superficie, lungo l'asse della piuma, per l'effetto del getto la concentrazione si riduce a 901 EC-100ml.
- A costa, in corrispondenza del punto anteriore i valori di EC-100ml è di 330.

5.3.3. Scarico a costa con una bocca

In questa sezione si presentano i risultati di uno scarico effettuato direttamente a costa con un tubo di 0,5 m di diametro. Si assume $T_{90}=24$ ore.

Si esamina uno scarico con una concentrazione iniziale ottenuta da una misura diretta prima dell'entrata allo scolmatore, corrispondente a:

$$EC-100ml=210.000$$

Questa concentrazione viene diluita 6 volte prima dell'entrata all'emissario, ottenendo cosèi una concentrazione iniziale di $EC-100ml=35.000$. Nella Figura 27 si mostra la variazione della concentrazione lungo la traiettoria dell'asse della piuma. Nella Tabella 13 si mostrano i risultati numerici.

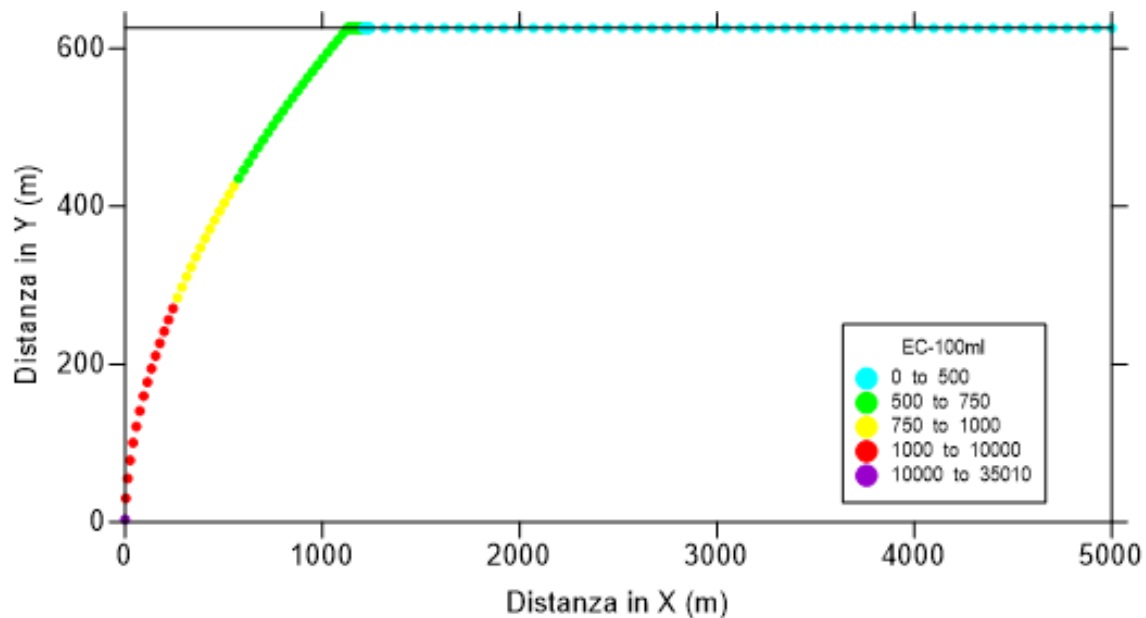


Figura 27. Variazione della concentrazione con la traiettoria in X-Y per uno scarico a costa.

Tabella 13. Valori di Concentrazione C e Diluzione S al variare della distanza in X e Y considerati nel centro della piuma. Si presentano i valori dello spessore della piuma (BV) e della semi ampiezza della piuma (BH).

X	Y	S	C	BV	BH
(m)	(m)	-	(EC-100ml)	(m)	(m)
0	3	1	35.000	0,6	0,5
13	55	13	2.690	1,38	20
40	101	19,2	1.820	1,22	44,5
155	211	29,7	1.160	0,97	106,0
502	404	42,9	780	0,78	211,5
1.001	588	53,8	594	0,69	308,0
2.069	626	80,3	353	0,37	2.177,0
5.000	626	150,2	134	0,38	3.982,0

6. CONCLUSIONI

CONCLUSIONI FASE 01

1) Utilizzando una concentrazione di EC-100ml di 20.000.000 diluita in un rapporto 6:1 (ottenendo 3.330.000 EC-100ml), le due migliori configurazioni per ottenere balneabilità anche a 200 m dalla costa vengono date da queste due geometrie da considerarsi come equivalenti:

- ✓ 1 solo diser a 2.000 m di distanza dalla costa, a più di 20 m di profondità
 - A 200 m dalla costa EC-100ml = 282
- ✓ 1 tratto diffusore di al meno 500 m di lunghezza, con 15 risers a due bocche, a 1.000m di distanza dalla costa, a circa 20 m di profondità
 - A 200 m dalla costa EC-100ml = 673 (leggermente superiore alle linee guida)

Le condizioni di balneabilità vengono date per concentrazioni inferiori a 500 EC-100ml secondo le linee guida.

Nel caso con una sola bocca (port) il valore è notevolmente inferiore al valore guida. Nel caso con un tratto diffusore i valori ottenuti sono leggermente superiori a queste linee guida, ma lo schema proposto è molto prossimo al valore, per cui questo schema viene comunque considerato come schema guida in questa fase di studio.

CONCLUSIONI FASE 02

2) L'uso di un solo diffusore permette come massimo scaricare i seguenti valori di EC-100ml, per ottenere una balneabilità a 200m dalla costa:

Distanza	Ci max
m	EC-100ml
2.000	5,0 E+06
1.000	2,5 E+05
500	5,0 E+04
250*	1,0 E+04
50**	8,0 E+03

* nel punto di scarico la piuma arriva a 50 m dalla costa

** nel punto di scarico la piuma arriva a costa

CONCLUSIONI FASE 03

- 3) Uno scarico a 50 m dalla costa delle concentrazioni misurate allo scolmatore (35.000 EC-100ml dopo la diluzione all'ingresso) da i seguenti valori in prossimità della costa all'altezza dello scarico:

- ✓ 1 scarico unico: 1.040
- ✓ 1 diffusore di 20 m a 5 risers 330

- 4) Uno scarico a 50 m dalla costa delle concentrazioni massime stimate (3.300.000 EC-100ml dopo la diluzione all'ingresso) da i valori in prossimità della costa all'altezza dello scarico:

- ✓ 1 scarico unico: 64.212

- 5) Uno scarico a costa con un tubo di 0,50 m e con le concentrazioni misurate allo scolmatore di 35.000 EC-100ml (dopo la diluzione all'ingresso), da i seguenti valori:

- 35.000 in corrispondenza dello scarico
- 2.690 a circa 50 m dalla costa
- 1.862 a circa 100 m dalla costa
- 594 a circa 600 m dalla costa

BIBLIOGRAFIA

AYSA, 2008. Estudios y Modelización para el diseño de los emisarios Dock Sud y Berazategui (Argentina). Relazione tecnica.

Bleninger, T (2007). Coupled 3D hydrodynamic models for submarine outfalls: Environmental hydraulic design and control of multiport diffusers. Universitätsverlag Karlsruhe. ISSN 1439-4111.

Jirka G., R. Doneker and S. Hinton. 1996. User's Manual for Cormix: A Mixing Zone Expert System for Pollutant Discharges into Surface Waters. U.S. EPA Office of Science and Technology, Washington, DC.

Technital, 2011. Piano regolatore portuale del porto di Trieste Studi Specialistici. Volume A - Il Porto Fisico

ANNESSO I: RISULTATI DELLA FASE 01

Parametri Generali							Allo scarico				A 200 m dalla costa				Attached		
Descripción	Caso	U_{amb}	h_d	Y_d	L_D	σ	X_o	BH	$C_{(X_o)}$	$C_{bound(X_o)}$	X_{200}	BH	C_{200}	$C_{bound200}$	X_{att}	C_{att}	$C_{boundatt}$
1 port	Caso_01	0,1	18	250	-	0	0,79	1,68	3,23E+05	1,19E+05	5,76	50	3,18E+05	116986	285,82	1,41E+05	51871
1 port	Caso_02	0,1	20	500	-	0	1	1,88	2,83E+05	1,04E+05	397,94	300	1,11E+05	40835	986,29	5,85E+04	21521
1 port	Caso_03	0,1	20	1000	-	0	1	1,88	2,83E+05	1,04E+05	2188,79	800	1,66E+04	6107	3013,94	8,22E+03	3024
1 port	Caso_04	0,1	20	2000	-	0	1	1,88	2,83E+05	1,04E+05	7070,89	1800	7,90E+02	291	8211,06	4,88E+02	180
3r x 2b	Caso_05	0,1	20	1000	100	0	0,71	91,51	1,30E+04	4,78E+03	1833,72	800	4,68E+03	1722	2595,99	3,42E+03	1258
6r x 2b	Caso_06	0,1	20	1000	200	0	8,57	146,13	7,19E+03	2,65E+03	1787,99	800	3,18E+03	1170	2521,19	2,47E+03	909
15r x 2b	Caso_07	0,1	20	1000	500	0	14,05	295,28	3,07E+03	1,13E+03	1571,34	800	1,83E+03	673	2303,47	1,49E+03	548
1 port	Caso_08	0,1	20	2000	-	90	1,22	2,44	3,45E+05	1,27E+05	6972,4	1800	7,66E+02	282	8286,28	4,46E+02	164
1 port	Caso_09	0,01	20	2000	-	90	0,11	2,40	3,52E+05	1,29E+05	Large Buoyant region	1800	Large Buoyant region	Large Buoyant region	Large Buoyant region	Large Buoyant region	Large Buoyant region
1 port	Caso_10	0,3	20	2000	-	90	4,48	2,78	2,80E+05	1,03E+05	21117,63	1800	6,76E+01	25	23393,42	5,52E+01	20
1 port	Caso_11	0,1	20	1000	-	90	1,22	2,44	3,45E+05	1,27E+05	2042,26	800	1,39E+04	5114	3055,95	6,51E+03	2395
1 port	Caso_12	0,01	20	1000	-	90	0,11	2,40	3,52E+05	1,29E+05	Large Buoyant region	800	Large Buoyant region	Large Buoyant region	Large Buoyant region	Large Buoyant region	Large Buoyant region

U_{amb} velocità della corrente marina in m/s ; σ angolo orizzontale fra il flusso di scarico e la corrente; h_d profondità di scarico in m; Y_d distanza di scarico dalla linea di costa in m; L_D lunghezza del diffusore in m ; X distanza dallo scarico in m ; BH semiampiezza della piuma in m ; C concentrazione di EC-100ml.

ANNESSO II: RISULTATI DELLA FASE 02

Parametri Generali								Allo scarico				A 200 m dalla costa			
Descrizione	Caso	C _i	U _{amb}	h _d	Y _d	L _D	σ	X _o	BH	C _(Xo)	C _{bound(Xo)}	X ₂₀₀	BH	C ₂₀₀	C _{bound200}
RISER a 2000 m	Caso_R2000_5e06E_Coli	5,00E+06	0,1	20	2000	-	0	5,02	106,24	4,20E+05	154509	7206,91	1800	1,12E+03	412
	Caso_R2000_1e06E_Coli	1,00E+06	0,1	20	2000	-	0	5,02	106,24	8,41E+04	30939	7206,91	1800	223	82
RISER a 1000 m	Caso_R1000_3,3e06E_Coli	3,30E+07	0,1	20	1000	-	0	5,37	104,2	2,77E+05	101903	2129,09	800	1,74E+04	6401
	Caso_R1000_1e06E_Coli	1,00E+06	0,1	20	1000	-	0	5,02	106,24	8,41E+04	30939	2127,72	800	5,27E+03	1939
	Caso_R1000_0,50e06E_Coli	5,00E+05	0,1	20	1000	-	0	5,02	106,24	4,20E+04	15451	2127,72	800	2,63E+03	968
	Caso_R1000_0,25e06E_Coli	2,50E+05	0,1	20	1000	-	0	5,02	106,24	2,10E+04	7725	2127,72	800	1,32E+03	486
RISER a 500 m	Caso_R500_3,3e06E_Coli	3,30E+06	0,1	20	500	-	0	5,37	104,2	2,77E+05	101903	397,95	300	1,10E+05	40467
	Caso_R500_1e06E_Coli	1,00E+06	0,1	20	500	-	0	5,02	106,24	8,41E+04	30939	397,84	300	3,33E+04	12250
	Caso_R500_0,50e06E_Coli	5,00E+05	0,1	20	500	-	0	5,02	106,24	4,20E+04	15451	397,84	300	1,67E+04	6144
	Caso_R500_0,25e06E_Coli	2,50E+05	0,1	20	500	-	0	5,02	106,24	2,10E+04	7725	397,84	300	8,33E+03	3064
	Caso_R500_0,1e06E_Coli	1,00E+05	0,1	20	500	-	0	5,02	106,24	8,41E+03	3094	397,84	300	3,33E+03	1225
	Caso_R500_0,05e06E_Coli	5,00E+04	0,1	20	500	-	0	5,02	106,24	4,20E+03	1545	397,84	300	1,67E+03	614
RISER a 250 m	Caso_R250_0,1e06E_Coli	1,00E+05	0,1	20	250	-	0	5,02	106,24	8,41E+03	3094	5,02	106,24	8,41E+03	3094
	Caso_R250_0,05e06E_Coli	5,00E+04	0,1	20	250	-	0	5,02	106,24	4,20E+03	1545	5,02	106,24	4,20E+03	1545
	Caso_R250_0,025e06E_Coli	2,50E+04	0,1	20	250	-	0	5,02	106,24	2,10E+03	773	5,02	106,24	2,10E+03	773
	Caso_R250_0,01e06E_Coli	1,00E+04	0,1	20	250	-	0	5,02	106,24	8,41E+02	309	5,02	106,24	8,41E+02	309
RISER a 50 m	Caso_R50_0,01e06E_Coli	1,00E+04	0,1	12	50	-	0	4,06	102,52	1,58E+03	581	4,06	102,52	1,58E+03	581
	Caso_R50_0,0075e06E_Coli	7,50E+03	0,1	12	50	-	0	4,06	102,52	1,18E+03	434	4,06	102,52	1,18E+03	434

U_{amb} velocità della corrente marina in m/s ; σ angolo orizzontale fra il flusso di scarico e la corrente; h_d profondità di scarico in m; Y_d distanza di scarico dalla linea di costa in m; L_D lunghezza del diffusore in m ; X distanza dallo scarico in m ; BH semiampiezza della piuma in m ; C concentrazione di EC-100ml.

Studio eseguito da:

Ing. Paolo Gyssels

Ordine degli ingegneri di Treviso: A4096

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Paolo Gyssels', with a stylized flourish at the end.