

**Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale**

**Università degli Studi di Firenze**

Via Santa Marta 3 – 50139 Firenze

**“STUDIO DI LINEE DI INDIRIZZO PER LA  
GESTIONE DELLE ACQUE REFLUE AFFERENTI  
ALLA LAGUNA DI ORBETELLO AL FINE DI  
RIDURNE GLI IMPATTI AMBIENTALI”**

**Responsabile Scientifico**

**Prof. Ing. Claudio Lubello**

## INDICE

<b>1. IL SISTEMA TERRAROSSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2. SCOPO DELLO STUDIO E LINEE DI INDAGINE .....</b>	<b>4</b>
<b>3. RICOSTRUZIONE DELLO SCHEMA FUNZIONALE DELLA RETE DI COLLETTAMENTO .....</b>	<b>6</b>
<b>4. CARATTERIZZAZIONE DEI VOLUMI DI ACQUA IN INGRESSO AL DEPURATORE DI TERRAROSSA .....</b>	<b>12</b>
4.1 INTRODUZIONE .....	12
4.2 PORTATE IN TEMPO SECCO E BASSA MAREA (QN) .....	13
4.3 INFILTRAZIONE DI FALDA IN FOGNATURA .....	17
4.4 INFILTRAZIONE DI MAREA E DI PIOGGIA IN FOGNATURA .....	18
4.5 VOLUMI TOTALI SOLLEVATI PER RETE FOGNARIA .....	22
<b>5. VOLUMI SFIORATI DAGLI SCARICATORI DI PIENA .....</b>	<b>26</b>
5.1 SCARICHI DI ACQUE REFLUE IN LAGUNA .....	26
5.2 SFIORI DI ACQUA REFLUA PER EVENTI METEORICI .....	28
5.3 DILUIZIONE DELLE ACQUE REFLUE DURANTE GLI SFIORI PER EVENTI METEORICI .....	32
5.4 SFIORI DI ACQUA REFLUA DEPURATA PER FERMO IMPIANTO .....	33
5.5 CARATTERIZZAZIONE QUALI-QUANTITATIVA DEGLI SCARICHI .....	34
<b>6. IMPATTO DEGLI SCARICHI DI ACQUA REFLUA SULL'EUTROFIZZAZIONE LAGUNARE .....</b>	<b>36</b>
6.1 MODELLO ECOLOGICO .....	36
6.2 SIMULAZIONE DEGLI SCARICHI FOGNARI DEPURATI E NON DEPURATI .....	38
<b>7. IL DEPURATORE DI TERRAROSSA .....</b>	<b>42</b>
7.1 DATI DI PORTATA IN TEMPO SECCO .....	42
7.2 DIMENSIONAMENTO DEI SEDIMENTATORI SECONDARI .....	43
7.3 ALTRE VALUTAZIONI SULLA FUNZIONALITÀ DELL'IMPIANTO .....	45
<b>8. CONCLUSIONI .....</b>	<b>47</b>
8.1 PRINCIPALI RISULTATI DELL'INDAGINE .....	47
8.2 LINEE DI INDIRIZZO .....	48

## 1. IL SISTEMA TERRAROSSA

L'impianto di depurazione di Terrarossa, ubicato in località Terrarossa nel Comune di Monte Argentario (GR), nel 2008 è oggetto di un importante intervento di riadeguamento per volere dell'allora Commissario straordinario alla Laguna con un accordo fra i due Comuni interessati, Orbetello e Monte Argentario, divenuti in seguito proprietari dell'impianto al 50%.

Inizialmente il depuratore di Terrarossa fu affidato in concessione alla società INTEGRA di Vicenza per una durata di 15 anni. L'impianto era stato autorizzato anche al trattamento di rifiuti liquidi speciali non pericolosi, quali bottini, percolati di discarica, ecc., conferiti mediante autobotti, per una quantità massima di 50.000 tonnellate all'anno. A partire dal 2021, a seguito delle attività svolte da ARPAT Grosseto nell'ambito del piano dei controlli programmati, sono emerse importanti irregolarità che hanno portato all'interruzione delle attività di trattamento dei rifiuti liquidi speciali. A partire da maggio 2023 l'impianto di Terrarossa è gestito da Acquedotto del Fiora (AdF), che ha commissionato questo studio.

Il depuratore, compresa la linea ex biorulli attualmente non attiva, era previsto della potenzialità di progetto di 60.000 abitanti equivalenti. Attualmente tratta le acque reflue collettate da un sistema di fognature che interessa i comuni di Orbetello e Monte Argentario. La *rete Nord* collette gli abitati di Talamone, Fonteblanda, la zona dei campeggi tra i corsi d'acqua Osa e Albegna, l'abitato di Albinia e le lottizzazioni e i campeggi lungo il Tombolo di Giannella.

La *rete Monte Argentario* collette invece i reflui degli abitati di Porto Santo Stefano a nord e Porto Ercole a sud nel cui tratto finale si innesta la *rete di Orbetello* che raccoglie anche la zona di Orbetello Scalo. La depurazione del Comune di Orbetello è completata da due piccoli impianti da 500 abitanti equivalenti che trattano i reflui di Ansedonia.

La *rete Sud* è alimentata dall'uscita dell'impianto di Terrarossa e trasporta l'acqua trattata fino allo scarico a mare situato in località Ansedonia, al largo della linea di costa. Nella rete Sud si inseriscono anche gli scarichi dei due depuratori a servizio del promontorio di Ansedonia.

Le reti fognarie che afferiscono al depuratore di Terrarossa sono prevalentemente di tipo misto e presentano scaricatori di piena che, in occasione di eventi meteorici intensi, scaricano sia in mare che in laguna. Inoltre, la complessità della rete fognaria e il suo collegamento idraulico con la laguna e il mare fa sì che in condizioni meteorologiche e di marea avverse si verifichino infiltrazioni di acqua salata in rete che determinano un innalzamento del contenuto salino nei reflui. L'elevata concentrazione di sali in ingresso al depuratore riduce l'attività della biomassa microbica del comparto biologico, causando criticità nella gestione dell'impianto. Inoltre, i maggiori volumi di acqua sollevati e trattati dal depuratore ne aumentano i costi operativi e le emissioni indirette di anidride carbonica in atmosfera. Altri aspetti connessi con il contenuto salino sono legati alla maggiore aggressività dell'acqua sui manufatti e la produzione di composti gassosi ridotti, causa di cattivi odori e di aggressività chimica.

## 2. SCOPO DELLO STUDIO E LINEE DI INDAGINE

*Come previsto dalla Convenzione, lo studio ha come scopo quello di fornire una valutazione di alcuni possibili assetti della gestione dei reflui con particolare riferimento alle condizioni di scarico delle acque reflue, trattate e non trattate nel corpo della Laguna di Orbetello. Lo studio non si prefigge di definire caratteristiche dimensionali delle opere valutate esistenti o di quelle alternative, ma linee di indirizzo complessive atte ad individuare possibili condizioni di sviluppo in funzione degli effetti ambientali prodotti in particolare nella Laguna .*

Uno degli elementi di maggiore criticità del sistema nel suo complesso ricade nel fatto che il depuratore centrale è stato realizzato all'interno del bacino imbrifero lagunare. Ogni disfunzione, che non può mai essere esclusa, comporta pertanto lo scarico in un corpo idrico in conclamata condizione eutrofica, che avrebbe la necessità di essere particolarmente protetto per quanto attiene gli apporti di nutrienti.

In una condizione di normalità le acque reflue sono interamente raccolte all'impianto di Terrarossa e, dopo il trattamento, scaricate in mare. Lo studio si è dunque concentrato sulla quantificazione delle condizioni straordinarie di recapito in laguna e sulla valutazione degli effetti che questi comportano in termini di aggravio delle condizioni eutrofiche.

È stato quindi caratterizzato il comportamento idraulico del sistema tenendo conto delle diverse acque convogliate: acque usate, acque meteoriche, acque di infiltrazione. Particolare attenzione è stata posta alla comprensione dei fenomeni di infiltrazione delle acque marine nella rete fognaria, fortemente influenzati dal ciclo delle maree e agli eventi di sfioro da parte degli scaricatori di piena in laguna in occasione di rilevanti eventi meteorici. In caso di forti eventi di precipitazione, alcuni scaricatori di piena della rete di Orbetello e Porto Ercole, nonché il sollevamento di Terrarossa, possono infatti sfiorare in laguna.

Di particolare importanza sono anche gli eventi accidentali non correlabili a specifiche condizioni atmosferiche, come la rilevata necessità di interventi di ripristino sulla lunga condotta di scarico a mare (rete Sud) che comporta l'attivazione di uno scarico di emergenza che ha, per l'appunto, come recapito finale il corpo lagunare. In tali circostanze l'impianto di Terrarossa è infatti autorizzato a scaricare nel canale denominato "conterminazione" collegato alla laguna di Ponente.

Facendo riferimento all'AIA (Autorizzazione Integrata Ambientale) per il depuratore di Terrarossa sono previste quattro tipologie di scarico di emergenza:

- fuori servizio della condotta di scarico a mare della rete Sud che trasporta l'acqua trattata dal depuratore (condizione A);
- fuori servizio del depuratore di Terrarossa (condizione B);
- fuori servizio di entrambi (condizione C);
- elevata portata in ingresso all'impianto di depurazione a causa di precipitazioni meteoriche (condizione D).

La presenza di questi eventi di sfioro in laguna rende necessaria una valutazione attenta e puntuale per determinarne la magnitudo dell'effetto prodotto.

A questo scopo è stato utilizzato il modello ecologico MIKE ECOLAB sviluppato dal Danish Hydraulic Institute per simulare gli effetti degli scarichi fognari in laguna. Il modello è stato recentemente messo a punto dagli scriventi in collaborazione con la Regione Toscana, proprio allo scopo di caratterizzare lo stato ecologico della laguna, gli effetti antropici che ne determinano le frequenti crisi e le linee di indirizzo di possibili scenari evolutivi.

Sono stati quindi modellati gli effetti prodotti dagli scarichi fognari in un anno di riferimento, tenendo conto delle concentrazioni inquinanti e delle portate immesse, sulla base del sistema di monitoraggio messo a disposizione da Acquedotto del Fiora. Tali effetti sono stati descritti attraverso i principali parametri di qualità collegati ai processi eutrofici quali l'andamento della concentrazione di ossigeno disciolto e la concentrazione dei nutrienti nelle acque e nei sedimenti lagunari.

Oltre agli scarichi fognari civili, è stata posta attenzione anche alla presenza degli scarichi di due itticolture intensive (Il Vigneto ed ex-Ittima) che apportano una quantità significativa di nutrienti. Il progetto originario della rete Sud prevedeva infatti la raccolta di questi scarichi e il loro convogliamento diretto in mare.

L'insieme dei dati raccolti e delle elaborazioni ha permesso di identificare alcune linee generali di gestione utili ad indirizzare gli interventi sul sistema. È evidente che alcuni degli elementi indicati necessitano di ulteriori approfondimenti puntuali e progettuali al fine di valutarne l'effettiva sostenibilità tecnica ed economica.

### 3. RICOSTRUZIONE DELLO SCHEMA FUNZIONALE DELLA RETE DI COLLETTAMENTO

Attività propedeutica allo studio è stata la ricostruzione dello schema funzionale del collettamento realizzata attraverso i colloqui con il personale tecnico di AdF. Sono stati identificati e verificati tutti gli elementi utili alla caratterizzazione del sistema (direzione del flusso, sollevamenti, scaricatori di piena e recapiti).

In figura 1 è illustrato lo schema generale del collettamento con riportate le reti censite:

- Rete Monte Argentario (Porto Santo Stefano, Porto Ercole e Terrarossa);
- Rete Nord (Talamone, Fonteblanda, zona campeggi, Albinia, Giannella);
- Rete Orbetello (Capoluogo, Orbetello scalo);
- Rete Sud (uscita depuratore);
- Rete Ansedonia.

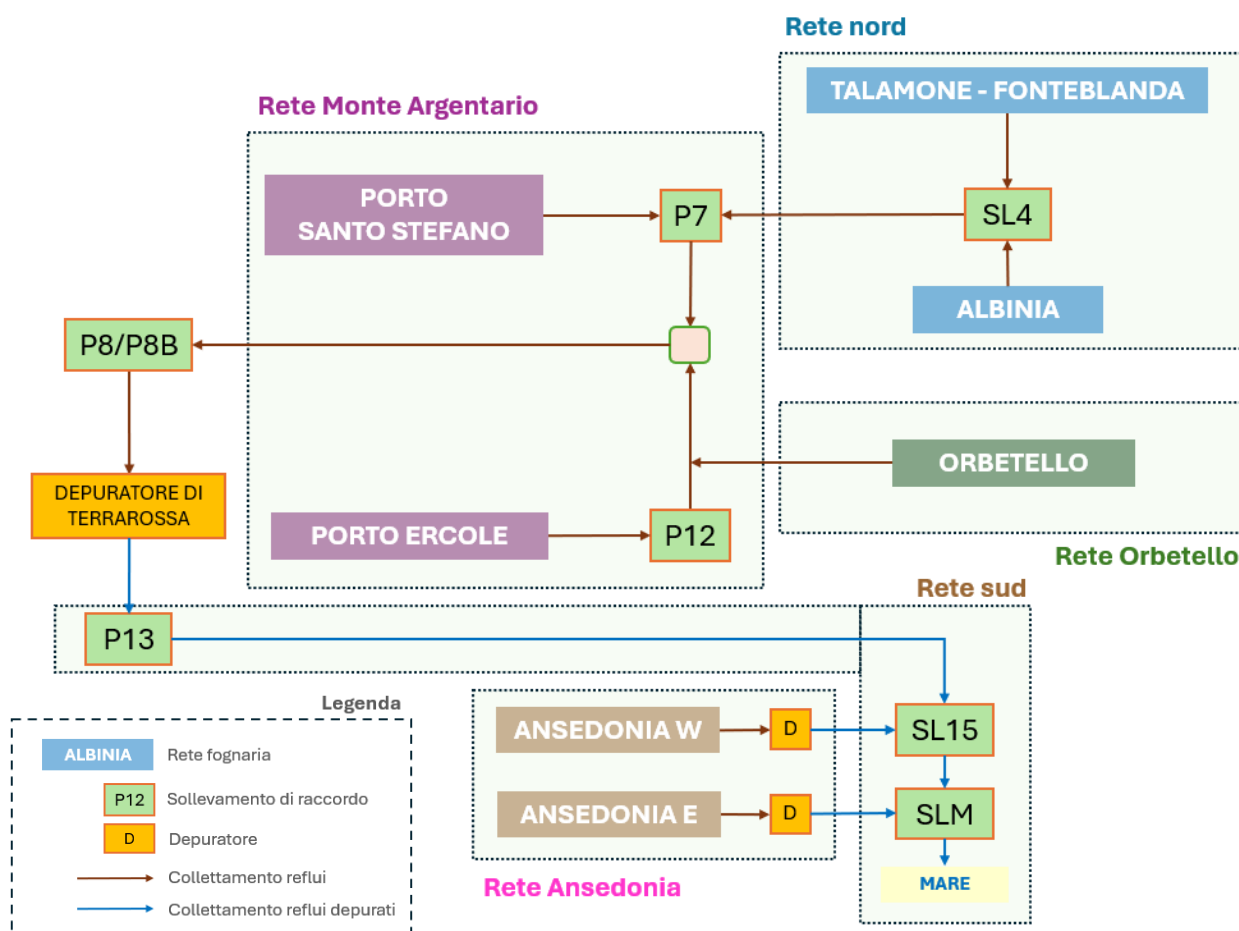
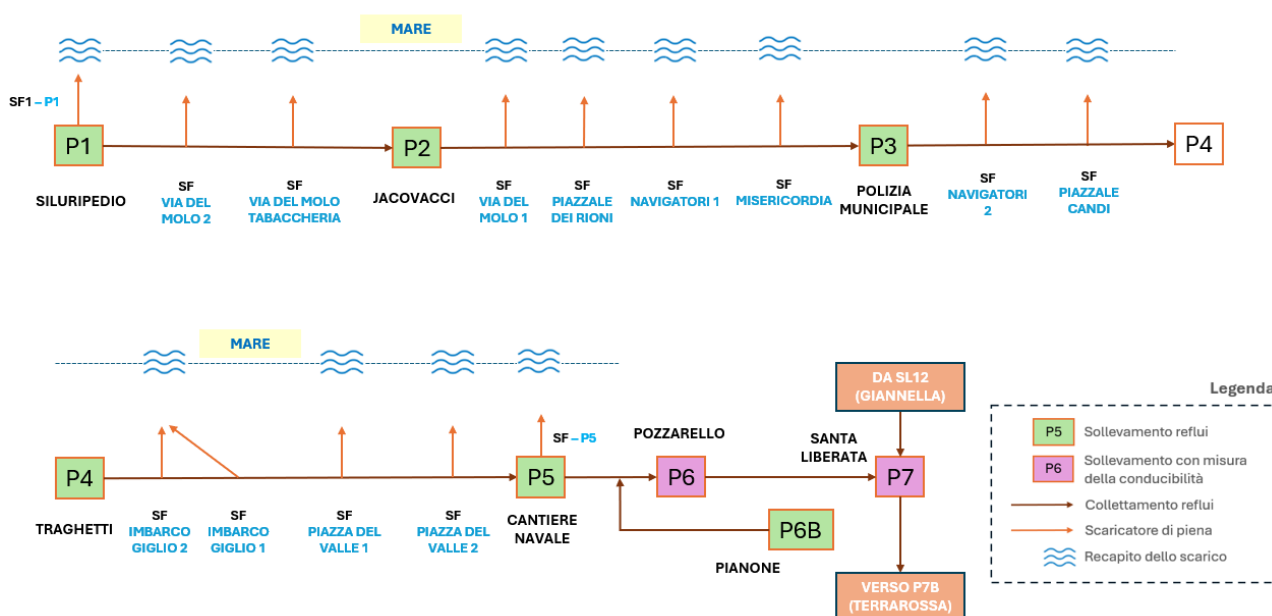


Figura 1 – Schema generale del collettamento

La rete Monte Argentario comprende sia le reti di raccolta di Porto Santo Stefano e che di Porto Ercole. Quella di Porto Santo Stefano, con una popolazione *residente* allacciata stimata in circa 8.600 abitanti, raccoglie i reflui del capoluogo ed è costituita da sette sollevamenti. Il collettamento principale si sviluppa lungo la linea di costa a partire dal sollevamento Siluripedio (P1) fino a quello del Cantiere Navale (P5), con numerosi scaricatori di piena in rete che recapitano lungo la linea di costa, porto incluso. Prima del sollevamento finale di Pozzarello (P6) si ha l'immissione della rete di Pianone. Pozzarello rilancia i reflui al sollevamento di Santa Liberata, dove confluiscono anche quelli della rete Nord. Lo schema funzionale della rete di Porto Santo Stefano è riportato nella figura 2.



La rete di Porto Ercole, con una popolazione *residente* allacciata stimata in circa 2.700 abitanti, presenta forti variazioni estive a causa delle presenze turistiche e raccoglie i reflui del capoluogo e di Cala Galera. Comprende sei sollevamenti. Parte del collettamento del capoluogo si sviluppa lungo la linea di costa e, come per Porto Santo Stefano, presenta alcuni scaricatori di piena sul lungomare. Il sollevamento Porto Ercole-Bar Pizzeria (P10) provvede al rilancio dei reflui verso il sollevamento Cala Galera (P11) che a sua volta li rilancia verso il sollevamento finale delle Miniere (P12). In ingresso a Cala Galera sono raccolti e sollevati i reflui sia della zona interna del capoluogo lungo via Caravaggio che del porto di Cala Galera. Lo schema funzionale della rete di Porto Ercole è riportato nella figura 3.



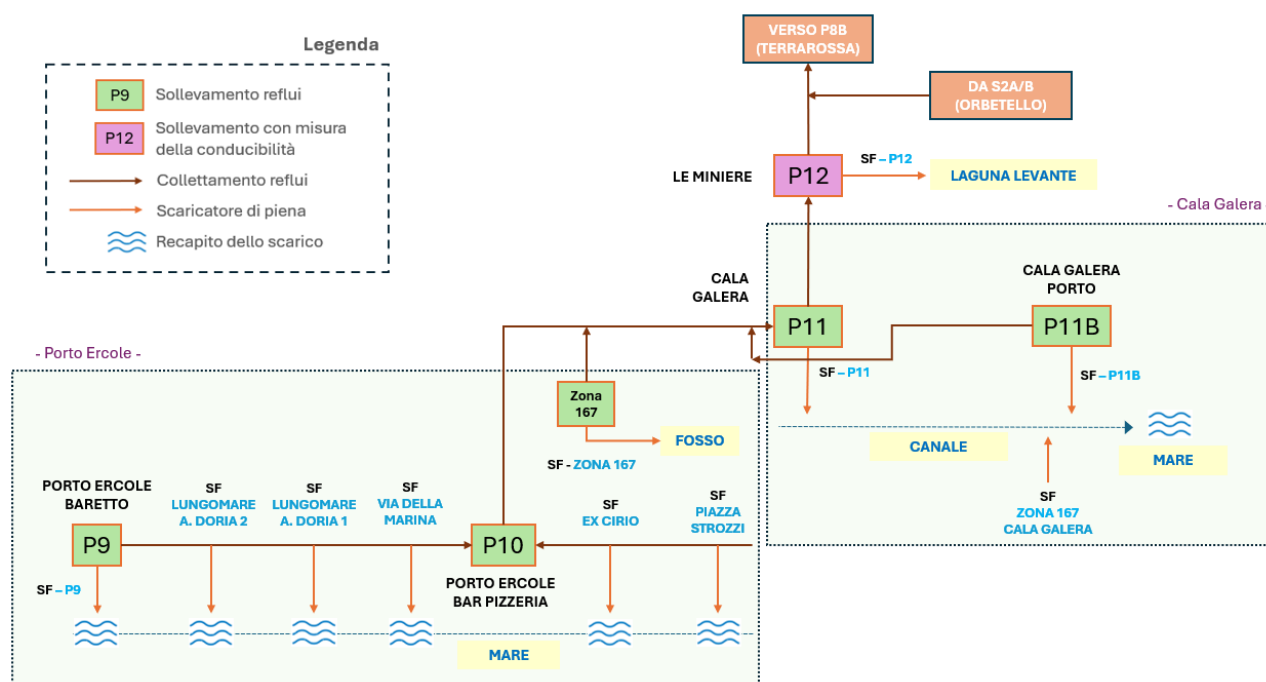


Figura 3 -- Schema generale della rete Monte Argentario – Porto Ercole

Il “nodo Terrarossa” rappresenta il collegamento tra la rete Monte Argentario (con i rami di Porto Santo Stefano e Porto Ercole) con il depuratore di Terrarossa. Tutti i reflui raccolti dalle reti fognarie (inclusi quelli della località Terrarossa) arrivano al sollevamento P8B che provvede al rilancio verso il depuratore. Il P8B è collegato idraulicamente ad un altro sollevamento (P8) attualmente non in uso (di cui è in corso un intervento di upgrade) e che è utilizzato solamente come vasca di accumulo. Il troppo pieno del P8B scarica nel P8 che a sua volta si riversa nel P13. Il P13 raccoglie anche lo scaricatore di piena che regola la portata in ingresso al depuratore. Il P13 solleva le acque in uscita dal depuratore verso lo scarico a mare attraverso la rete Sud e a sua volta è dotato di uno scaricatore di piena che sfiora i volumi in eccesso in un canale collegato alla laguna di Ponente. Lo schema funzionale del nodo Terrarossa è riportato nella figura 4.

La rete Nord ha una popolazione *residente* allacciata stimata in circa 3.900 abitanti, con grosse fluttuazioni estive per la presenza della componente turistica. Raccoglie i reflui della parte più settentrionale del comune di Orbetello attraverso due differenti rami: quello nord collettato Talamone, Fonteblanda e la zona dei campeggi compresi tra il torrente Osa e il fiume Albegna verso il sollevamento Torre Saline (SL4) ubicato in prossimità del Fiume Albegna. Qui convergono anche i reflui della zona a sud dell’Albegna lungo l’Aurelia (Albinia e le altre lottizzazioni ubicate all’altezza della Riserva Naturale di Orbetello). Sia le reti che i sollevamenti presentano degli scaricatori di piena con differenti recapiti. Il sollevamento SL4, tramite una condotta che percorre la Giannella, provvede al rilancio dei reflui verso quello di Strada Fibbia (SL12) che a sua volta rilancia verso Santa Liberata (P7) dove avviene il raccordo con la rete di



Porto Santo Stefano. Prima di questa intersezione, la condotta in pressione raccoglie le fognature delle lottizzazioni della zona più occidentale del tombolo. In totale la rete comprende 19 sollevamenti. Lo schema funzionale della rete Nord è riportato nella figura 5.

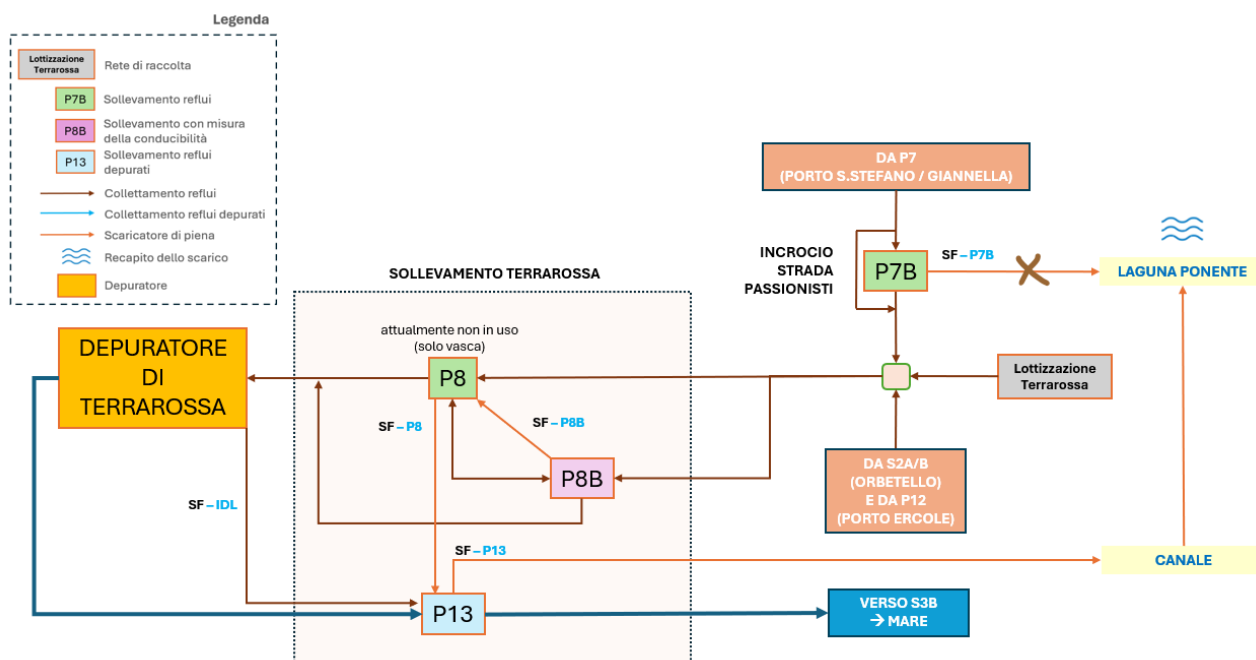


Figura 4 - - Raccordo tra la rete Monte Argentario e il depuratore di Terrarossa (Nodo Terrarossa)

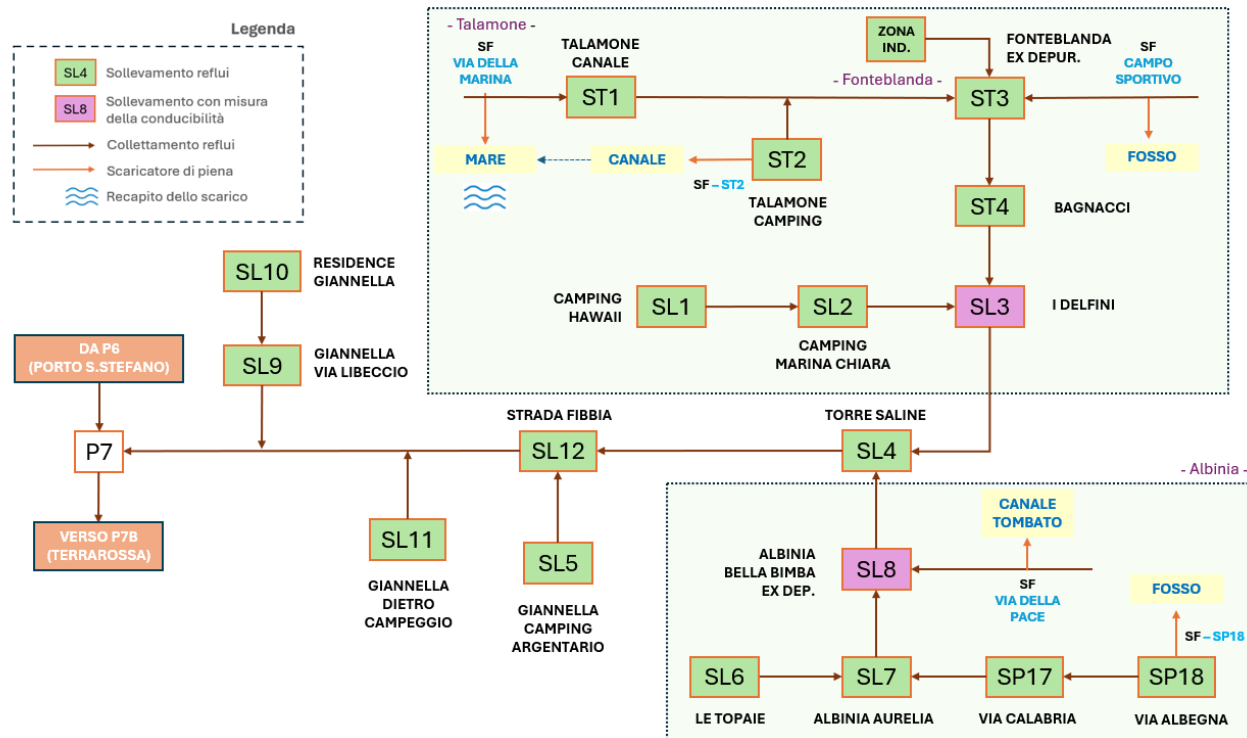


Figura 5 - - Schema generale della rete Nord

La rete di Orbetello, con una popolazione stimata di circa 9.900 abitanti *residenti*, raccoglie i reflui del capoluogo, di Orbetello scalo e delle lottizzazioni più a nord lungo l'Aurelia (Quattro Strade). La rete comprende 19 sollevamenti: i due nodi principali sono il sollevamento S3A in corrispondenza della Coop e quello S2A in corrispondenza dei Pescatori di Orbetello. Quest'ultimo rilancia i reflui verso il "nodo Terrarossa". La rete presenta tre scaricatori di piena che recapitano in laguna: S2A in quella di Ponente mentre SP4B e la rete di via Matteotti nella laguna di Levante. Lo schema funzionale della rete Nord è riportato nella figura 6.

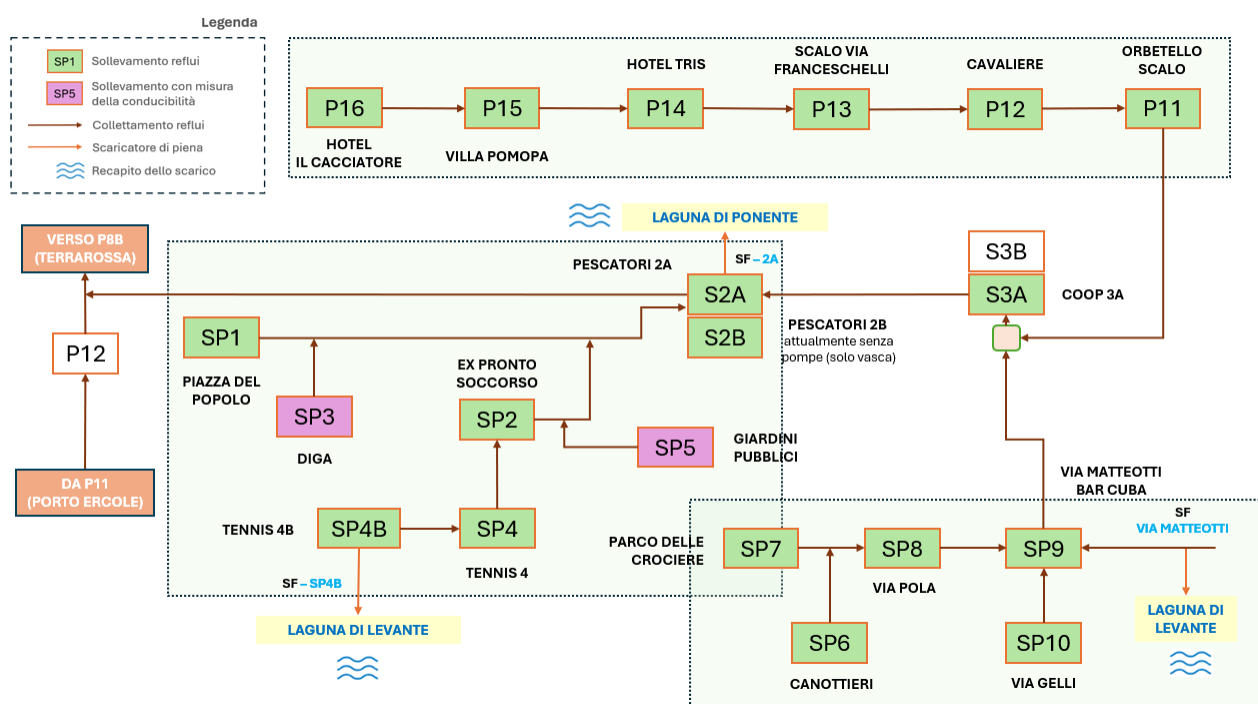


Figura 6 - – Schema generale della rete Orbetello

La rete Sud colletta le acque trattate dall'impianto di Terrarossa e costituisce prevalentemente un collettore circumlagunare destinato ad addurre in mare il complesso delle acque reflue. A partire dal sollevamento P13, infatti, il refluo depurato viene condotto verso la linea di costa da cui parte una condotta sottomarina di circa 3,8 km. Lungo la rete si trovano quattro impianti di sollevamento, di cui i primi due (S3B e SL14) possono essere bypassati. Il sollevamento S3B, situato in corrispondenza della Coop di Orbetello, presenta uno scaricatore di piena che recapita nel canale di conterminazione (laguna di Ponente) e che è autorizzato a scaricare in laguna a seguito di rotture della tubazione e/o fermo impianto. Il sollevamento più a valle (SLM) presenta uno scaricatore di piena che sfiora in un fosso con recapito la laguna di Burano. La rete risulta sovradimensionata se rapportata al solo scarico del depuratore di Terrarossa. Originariamente il collettamento fu progettato e realizzato per poter accogliere anche gli

scarichi delle itticolture che insistono sulla laguna (Il Vigneto ed ex-Iltima), ma l'allacciamento di questi scarichi non è stato mai realizzato.

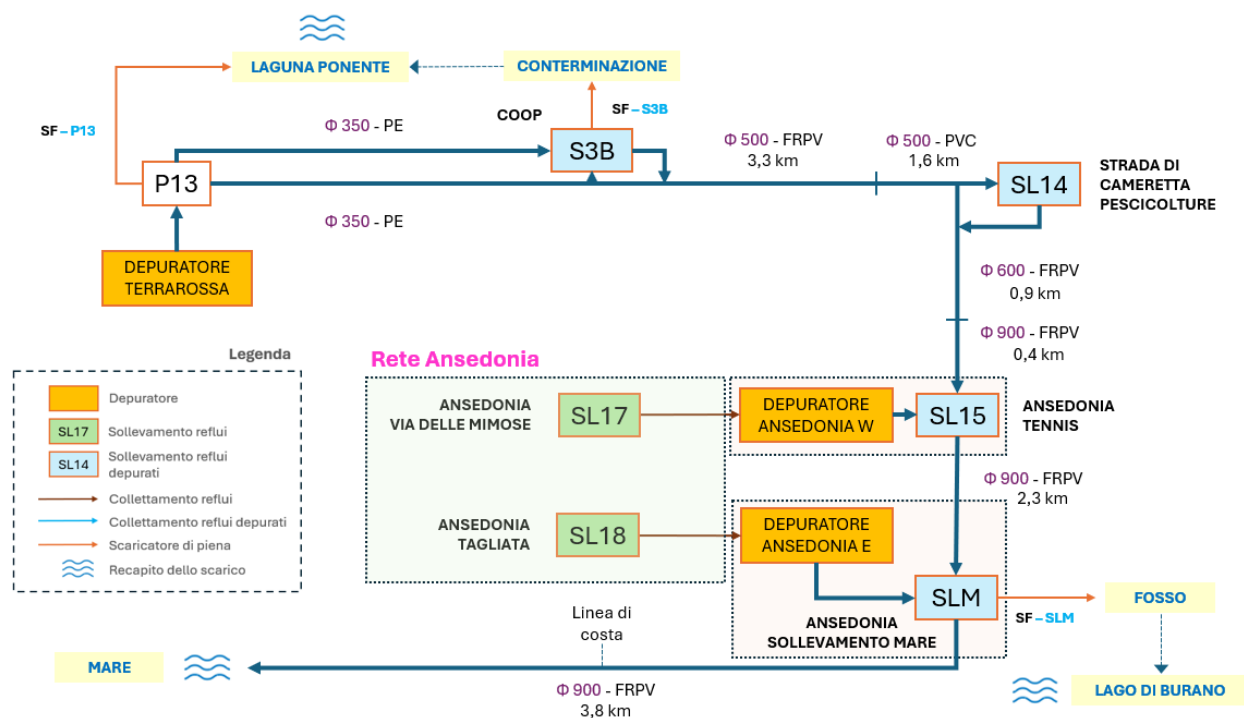


Figura 7 - - Schema generale delle reti Sud e di Ansedonia

Il promontorio di Ansedonia è caratterizzato dalla presenza di residenze stagionali i cui reflui sono raccolti in due distinte linee fognarie a seconda del versante (Rete di Ansedonia). I reflui sono sollevati verso due piccoli impianti di depurazione della potenzialità di circa 500 abitanti equivalenti (figura 7). Il depuratore ovest recapita l'acqua trattata nel sollevamento SL15, mentre il depuratore est nel sollevamento SLM, entrambi facenti parte della rete Sud. La popolazione allacciata varia in maniera sensibile a seconda della stagionalità, passando da meno di cento di residenti invernali a oltre 2.500 presenze durante i mesi estivi. È attualmente in studio, da parte di AdF, la possibilità di collettare le acque reflue, che oggi recapitano ai due impianti, al depuratore di Terrarossa utilizzando una tubazione esistente posta lungo il tombolo della Feniglia.

## 4. CARATTERIZZAZIONE DEI VOLUMI DI ACQUA IN INGRESSO AL DEPURATORE DI TERRAROSSA

### 4.1 Introduzione

Come già accennato, un tema rilevante in relazione alla qualità dei reflui è connesso con il drenaggio delle acque marine, che portano ad un innalzamento della conducibilità. Per quantificare il fenomeno sono stati analizzati i dati, disponibili a partire da ottobre 2023, raccolti dai conducimetri recentemente installati da AdF in alcuni sollevamenti fognari (si vedano le figure 2-6) e all'impianto di depurazione. Gli strumenti evidenziano significative fluttuazioni nella conducibilità del refluo, suggerendo la presenza di importanti fenomeni di infiltrazione di acque marine o salmastre all'interno della rete fognaria, principalmente collegati agli eventi di alta marea.

Il comportamento idraulico delle fognature è monitorato attraverso un sistema di telecontrollo, che misura in continuo i livelli dei reflui nelle vasche di carico delle elettropompe. Oltre ai livelli, vengono monitorate anche le ore di funzionamento delle pompe, sebbene non venga misurata la portata sollevata.

I dati forniti da AdF riguardano il periodo di monitoraggio compreso tra giugno 2023 e marzo 2024, con un focus sulla conducibilità nel periodo ottobre 2023-marzo 2024:

- Ore di funzionamento delle pompe nei sollevamenti P2, P3, P4, P6, P7, P8B, P12, S2A, SL7, SL8, SL12, ST1, ST3;
- Conducibilità del refluo nei sollevamenti P6, P7, P8B, P12, SL3, SL8, SP3, SP5;
- Conducibilità del refluo in ingresso e uscita al depuratore di Terrarossa;
- Dati di marea;
- Curve caratteristiche delle pompe installate nei sollevamenti.

Per la ricostruzione di un bilancio annuale, il periodo monitorato della durata di 289 giorni è stato suddiviso in due sottoperiodi: il primo sostanzialmente estivo (6 giugno-30 settembre) in cui sono a disposizione i soli dati di funzionamento delle pompe dei sollevamenti e il secondo autunno-inverno (1° ottobre-20 marzo) in cui, oltre alle ore di funzionamento delle pompe, sono disponibili anche i dati di conducibilità. Sulla base dei due sottoperiodi si è quindi proceduto all'extrapolazione del bilancio su base annuale.

Per operare il bilancio idrico per ciascuna rete fognaria (Porto Ercole, Porto Santo Stefano, Orbetello e Nord) si è fatto riferimento ai sollevamenti posti immediatamente a valle delle singole reti:

- P12 per Porto Ercole;
- P6 per Porto Santo Stefano;
- S2A per Orbetello;

- SL12 per la rete Nord;
- P8B per le frazioni non ricomprese nelle altre quattro reti (Giannella ovest, Mascherino e Terrarossa).

#### 4.2 Portate in tempo secco e bassa marea ( $Q_n$ )

Per calcolare le portate sollevate, si è partiti dai dati di funzionamento delle pompe, moltiplicati per la portata di esercizio delle stesse, ricavata dalle curve caratteristiche in funzione di una stima della prevalenza. Questo metodo ha permesso di determinare l'andamento delle portate sollevate nel periodo studiato, evidenziando comportamenti differenti a seconda delle reti e della stagionalità (figura 8).

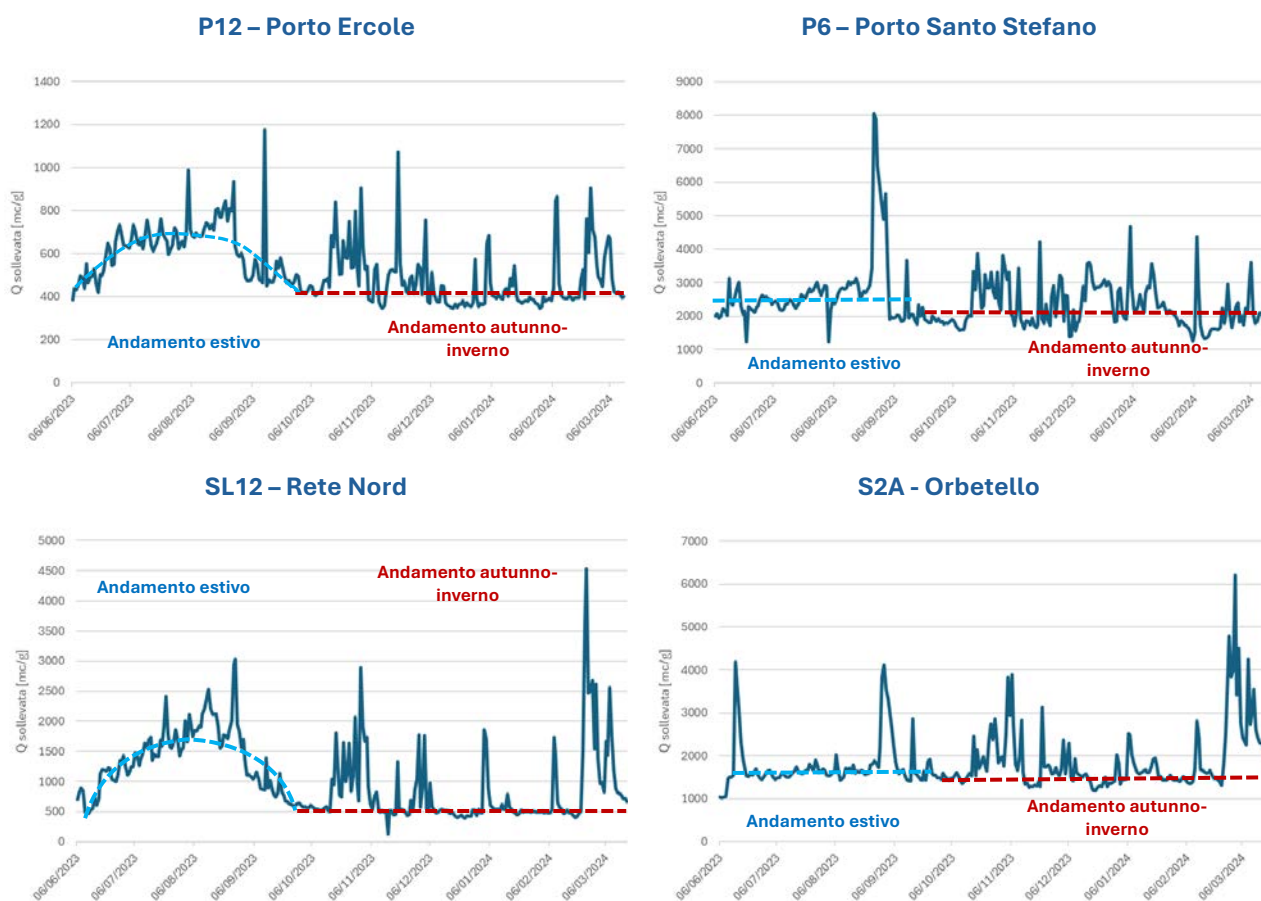


Figura 8 – Stima della portata sollevata per i sollevamenti P12, P6, SL12 e S2A

I grafici relativi a P12 (Porto Ercole) e SL12 (Rete Nord) mostrano un marcato incremento delle portate sollevate durante l'estate, con un andamento a campana che raggiunge i valori massimi nei mesi di luglio e agosto. Questo fenomeno è dovuto all'aumento dei consumi idrici causato



dalla presenza turistica, particolarmente consistente nella rete Nord. In autunno e inverno invece, le portate sollevate presentano un andamento sostanzialmente costante.

I grafici relativi a P6 (Porto S. Stefano) e S2A (Orbetello) mostrano un andamento pressoché costante sia in estate che in autunno-inverno per effetto della minore presenza turistica, soprattutto se rapportata alla popolazione residente. Tuttavia, come prevedibile, la media estiva risulta essere maggiore di quella autunno-inverno, perché sostenuta sia dal turismo che dall'aumento dei consumi degli utenti tipico del periodo estivo. L'andamento dei volumi acquadottistici fatturati dagli utenti afferenti a ciascuna rete fognaria conferma queste valutazioni.

Per poter quantificare le diverse tipologie di acque reflue in ingresso al depuratore, è stata stimata la portata nera raccolta dalla fognatura in tempo secco e in condizioni di bassa marea ( $Q_n$ ), cioè riferito ai periodi non piovosi, depurati delle acque parassite di infiltrazione marina o lagunare così come degli ingressi dovuti alle acque di falda. Preliminarmente, l'andamento della portata sollevata dalle pompe è stato incrociato sia con quello delle precipitazioni misurate ai pluviometri di Porto Ercole, Orbetello e San Donato (Albinia), che con quello relativo ai livelli delle maree.

A titolo di esempio, la figura 9 riporta questi confronti per il sollevamento P12 dove si evidenzia una marcata correlazione tra i picchi di portata sollevata e gli eventi di precipitazione. Sempre in figura 9 si può anche notare che, a parte il periodo estivo dove i consumi turistici falsano l'andamento, i valori di portata sollevata i più alti si ritrovano in concomitanza dei livelli di marea più elevati.

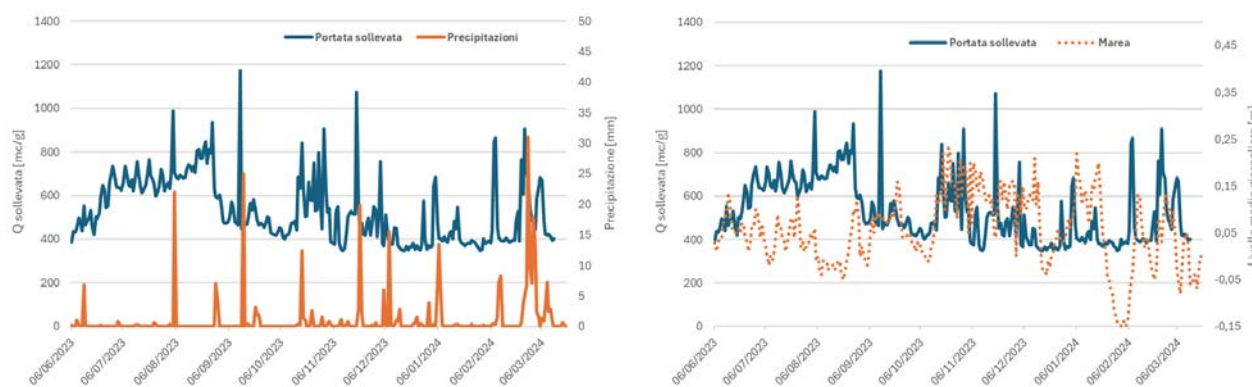


Figura 9 – Portata sollevata e precipitazioni (sx) e marea (dx) – Sollevamento P12, Miniere



La correlazione fra conducibilità e livelli di marea è molto elevata e ben deducibile dalla figura 10 relativa al sollevamento P6 (Pozzarello), situato a valle della rete di Porto Santo Stefano. Qui l'ingresso di acqua di mare in fognatura a causa della marea determina un incremento della conducibilità del refluo con picchi oltre i 30 mS/cm.

La correlazione tra conducibilità e precipitazione non risulta invece particolarmente evidente. Il ridottissimo contenuto salino delle acque meteoriche non determina incrementi sulla conducibilità del refluo, che invece risulta diluito dall'apporto meteorico. Una diminuzione dei valori di conducibilità sembra notarsi in corrispondenza degli eventi di precipitazione, anche se in maniera non sempre chiara.

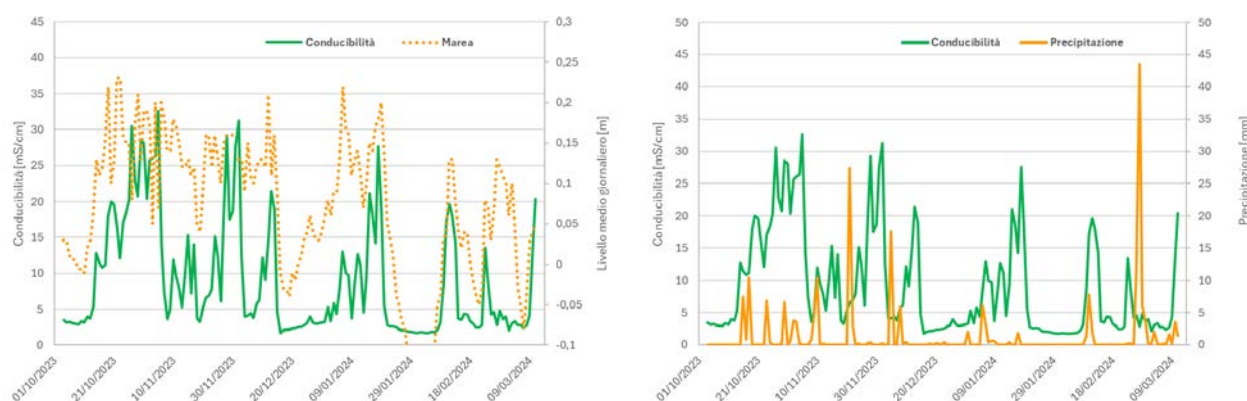


Figura 10 – Conducibilità e marea (sx) e precipitazioni (dx) – Sollevamento P6 (Pozzarello)

Dai grafici di figura 9 è possibile determinare, durante il periodo autunno-inverno e per ciascuna rete fognaria, il valore medio giornaliero della portata sollevata in tempo secco e in condizioni di bassa marea ( $Q_n$ ), in questo caso dovuto al contributo della sola popolazione residente (figura 11). Salvo una fisiologica oscillazione giornaliera, la  $Q_n$  autunno-inverno mostra un andamento sostanzialmente costante.

Analogamente al periodo autunno-inverno, l'andamento delle portate sollevate in estate ha permesso di ricavare un valore medio di  $Q_n$  estiva, più facilmente identificabile per quelle reti con andamento lineare, dove l'influenza delle presenze turistiche, come a Porto Santo Stefano e Orbetello, risulta ridotta rispetto a quella della popolazione residente (figura 12).

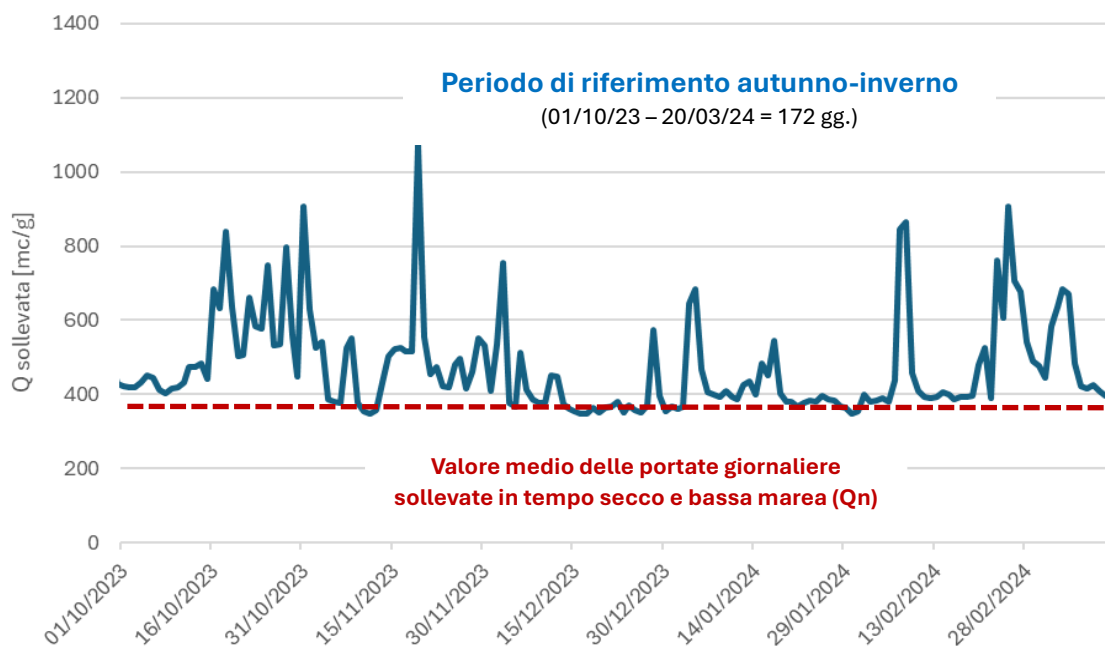


Figura 11 – Stima delle portate sollevate in tempo secco e bassa marea ( $Q_n$ ) al sollevamento P12 (Porto Ercole) durante il periodo autunno-inverno

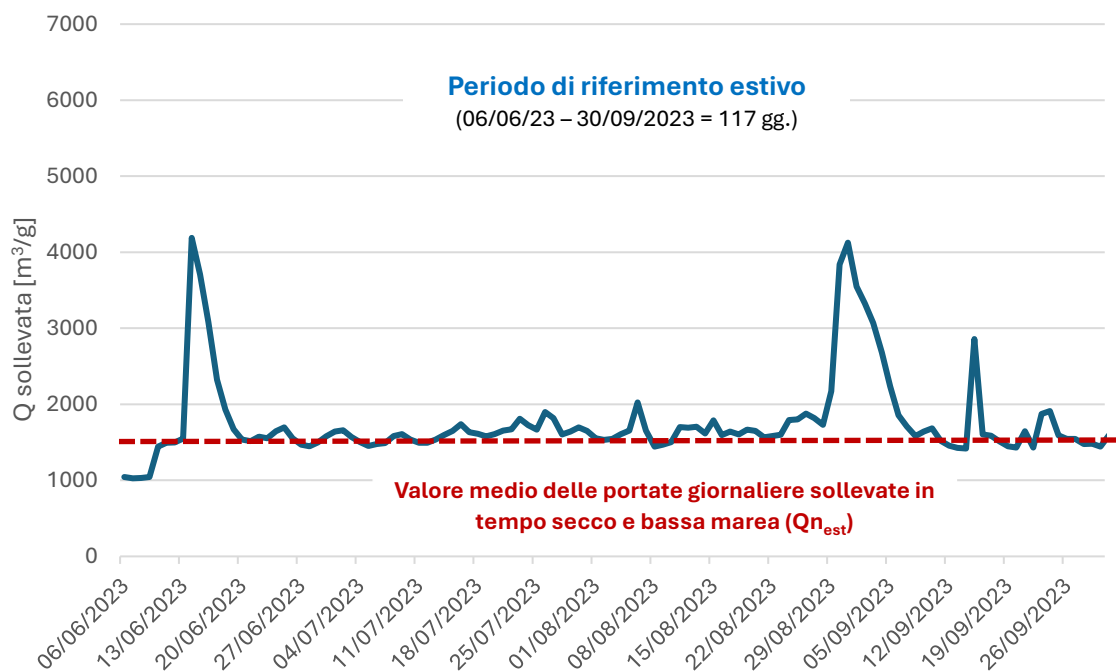


Figura 12 – Stima delle portate sollevate in tempo secco e bassa marea ( $Q_{n_{est}}$ ) al sollevamento S2A (Orbetello) durante il periodo estivo

I valori di  $Q_n$  ottenuti sono stati confrontati e validati con le dotazioni idriche stagionali dei consumi fatturati agli utenti del servizio di acquedotto, riaccorpate secondo gli areali delle quattro reti fognarie considerate. Ciò ha permesso di determinare per ciascuna rete la  $Q_n$  annua calcolata sulla media pesata dei valori stagionali riportata in tabella 1.

Tabella 1 – Portata media sollevata in tempo secco e bassa marea ( $Q_n$ )

	Porto Ercole	Porto S.Stefano	Rete Nord	Orbetello	Totale (*)
Sollevamento di riferimento	P12	P6	SL12	S2A	P8B
$Q_n$ autunno-inverno [ $m^3/d$ ]	366	1.407	560	1.455	3.788
$Q_n$ estate [ $m^3/d$ ]	567	2.092	1.157	1.538	5.399
<b><math>Q_n</math> annua (media pesata) [<math>m^3/d</math>]</b>	<b>448</b>	<b>1.684</b>	<b>802</b>	<b>1.507</b>	<b>4.441</b>

(\*) rete che afferisce all'ingresso del depuratore.

#### 4.3 Infiltrazione di falda in fognatura

Per calcolare l'infiltrazione da falda è stata verificata la conducibilità media in condizioni di tempo secco, misurata ai sollevamenti e confrontata con quella del refluo civile. Quando questa era minore o uguale a quella del refluo civile, l'infiltrazione di falda è stata considerata nulla. In caso contrario, la portata di infiltrazione è stata calcolata determinando il volume di falda necessario per portare la conducibilità del refluo in tempo secco al valore medio misurato.

Studi bibliografici hanno permesso di determinare la conducibilità media delle acque di falda in prossimità della laguna, assimilabili per composizione a quelle lagunari. Questo valore è stato validato con i dati provenienti dalle centraline di monitoraggio ARPAT. Anche per la conducibilità dei reflui civili si è fatto riferimento a lavori bibliografici.

La tabella 2 riepiloga i dati e mostra come i fenomeni di infiltrazione/drenaggio siano presenti prevalentemente nelle reti fognarie Nord e Orbetello. Per consentire la chiusura del bilancio del refluo al depuratore, è stata indicata con Terrarossa la rete fognaria a valle dei quattro sollevamenti di riferimento (P12, P6, SL12 e S2A) fino all'ingresso del depuratore.

La presenza di infiltrazioni di falda nelle vasche di alcuni sollevamenti è stata confermata dalle indicazioni dei tecnici di AdF, in particolare per i sollevamenti SP3 e SP5 a Orbetello e SP8 ad Albinia.

Tabella 2 – Calcolo dell'infiltrazione di falda

	Porto Ercole	Porto S.Stefano	Rete Nord	Orbetello	Totale (*)
Sollevamento di riferimento	P12	P6	SL12	S2A	P8B
Misura conducibilità al sollevamento	si	si	no	no	si (**)
Cond. media misurata in tempo secco [mS/cm]	2	2	n.d.	2,9 (°)	2,6
Conducibilità refluo civile [mS/cm]			2		
Qn autunno-inverno [m³/d]	366	1.407	560	1.455	3.788
Conducibilità della falda lagunare o in prossimità del mare [mS/cm]			50		
<b>Infiltrazione di falda [m³/d]</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>17 (***)</b>	<b>28</b>	<b>45</b>
<b>Infiltrazione di falda [m³/anno]</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>6.205</b>	<b>10.220</b>	<b>16.425</b>

(\*) rete che afferisce all'ingresso del depuratore.

(°) valore stimato sulla base delle misure esistenti nella rete di Orbetello.

(\*\*) misura in entrata all'impianto di Terrarossa situato immediatamente a valle di P8B.

(\*\*\*) calcolato come differenza tra Terrarossa e Orbetello (visto che il contributo di Porto Ercole e Porto S.Stefano è pari a zero).

#### 4.4 Infiltrazione di marea e di pioggia in fognatura

Per il calcolo dell'infiltrazione di marea e pioggia, si è fatto riferimento alle portate invernali, poiché i dati di conducibilità misurati ai sollevamenti erano disponibili solo per quel periodo:

$$Q_{\text{marea + pioggia}} = Q_{\text{tot sollevata}} - Q_n - Q_{\text{infiltrazione di falda}}$$

La  $Q_{\text{tot sollevata}}$  è stata ricavata, come precedentemente descritto, dalle ore di funzionamento delle pompe in funzione della  $Q$  media di esercizio delle pompe; la  $Q_n$  e la  $Q_{\text{infiltrazione di falda}}$  sono quelle calcolate nel paragrafo precedente.

Analogamente alle portate, sono state determinate le relative conducibilità. I valori di conducibilità della pioggia, del solo refluo e della falda provengono da studi bibliografici, mentre la conducibilità media è stata ottenuta dalle misurazioni effettuate ai sollevamenti.

Considerando la somma delle portate di marea e di pioggia, per determinare i singoli contributi si è fatto riferimento ai rispettivi valori di conducibilità dell'acqua di mare e delle precipitazioni. È stato calcolato quanto volume di ciascuno (con le relative conducibilità) fosse necessario per portare la conducibilità del refluo al valore medio misurato.

La tabella 3 riepiloga i dati ottenuti per il periodo invernale. Non disponendo delle misure estive di conducibilità, i contributi estivi di marea e pioggia sono stati stimati partendo dai dati invernali rapportati ai valori estivi di pioggia e marea. I risultati sono riassunti in tabella 4.

Tabella 3 – Portata media giornaliera di infiltrazione di marea e pioggia (periodo autunno-inverno di 172 giorni)

	Porto Ercole	Porto S.Stefano	Rete Nord	Orbetello	Totale
Sollevamento di riferimento	P12	P6	SL12	S2A	P8B
Misura conducibilità al sollevamento	si	si	no	no	si (*)
Cond. media misurata [mS/cm]	5	9	4,3 (**)	5,4 (°)	10,1
Cond. acqua di mare [mS/cm]	50	50	50	50	50
Cond. acqua di precipitazione [mS/cm]	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
<b>Infiltrazione di marea [media giornaliera in m³/d]</b>	<b>32</b>	<b>385</b>	<b>0</b>	<b>120</b>	<b>537</b>
<b>Infiltrazione di pioggia [media giornaliera in m³/d]</b>	<b>74</b>	<b>660</b>	<b>229</b>	<b>329</b>	<b>1.292</b>
Infiltrazione totale di marea e pioggia [media giornaliera in m³/d]	106	1.045	229	449	1.829

(\*) misura in entrata all'impianto di Terrarossa, immediatamente a valle del sollevamento P8B.

(\*\*) valore stimato in SL12 (rete Nord) sulla base delle misure esistenti nei sollevamenti P06 (rete di S.Stefano) e P07 (congiunzione S. Stefano-rete Nord).

(°) valore stimato sulla base delle misure esistenti nella rete di Orbetello.

Tabella 4 – Portata media giornaliera di infiltrazione di marea e pioggia (periodo estivo di 117 giorni)

	Porto Ercole	Porto S.Stefano	Rete Nord	Orbetello	Totale
Sollevamento di riferimento	P12	P6	SL12	S2A	P8B
<b>Infiltrazione di marea [media giornaliera in m³/d]</b>	<b>15</b>	<b>175</b>	<b>0</b>	<b>41</b>	<b>231</b>
<b>Infiltrazione di pioggia [media giornaliera in m³/d]</b>	<b>35</b>	<b>373</b>	<b>190</b>	<b>114</b>	<b>712</b>
Infiltrazione totale di marea e pioggia [media giornaliera in m³/d]	50	548	190	155	943

Partendo dai dati di portata media giornaliera indicata nelle tabelle precedenti e rapportandoli all'anno, è stato possibile ricostruire i volumi medi annui indicati in tabella 5.

Tabella 5 – Volume medio annuo di infiltrazione di marea e pioggia

	Porto Ercole	Porto S.Stefano	Rete Nord	Orbetello	Totale
Sollevamento di riferimento	P12	P6	SL12	S2A	P8B
<b>Infiltrazione di marea [m³]</b>	<b>9.606</b>	<b>114.905</b>	<b>0</b>	<b>34.162</b>	<b>158.673</b>
<b>Infiltrazione di pioggia [m³]</b>	<b>22.252</b>	<b>205.886</b>	<b>78.827</b>	<b>93.855</b>	<b>400.820</b>
Infiltrazione di marea e pioggia [m³]	31.858	320.791	78.827	128.017	559.493
Infiltrazione di marea e pioggia [%]	5,7	57,3	14,1	22,9	100,0

Le tabelle 3, 4 e 5 permettono una serie di riflessioni sui volumi infiltrati nella rete fognaria. La rete di Porto Santo Stefano emerge come la più critica, con valori che superano la somma delle altre tre reti (57,3% del totale) e con un'infiltrazione invernale doppia rispetto a quella estiva. Al contrario, i valori provenienti da Porto Ercole sono trascurabili nel bilancio complessivo (5,7% del totale). In media, il 24,5% dei volumi infiltrati totali è dovuto alla marea, mentre il restante 75,5% proviene dalle acque piovane (figura 13).

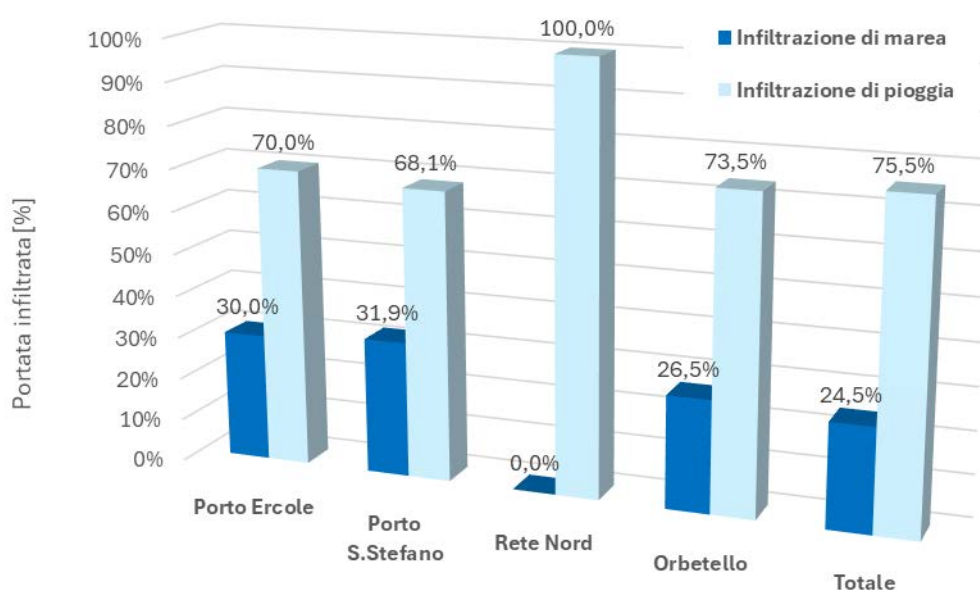


Figura 13 – Portate infiltrate di marea e pioggia per rete fognaria



I valori di marea più elevati riguardano la rete di Porto Santo Stefano (31,9%) e di Porto Ercole (30%) mentre la rete Nord sembra non avere fenomeni significativi di infiltrazione di acqua di mare. Gli alti valori di conducibilità riscontrati in questa rete provengono dal sollevamento SL8 di Albinia che presenta documentati e rilevanti fenomeni di infiltrazione di falda. L'altro sollevamento monitorato (SL3) che raccoglie i reflui del ramo fognario più settentrionale (Talamone, Fonteblanda e campeggi Albinia), presenta valori del tutto compatibili con quelli del refluo.

Condizioni meteorologiche critiche, caratterizzate da alta marea e da forti venti, possono invertire il rapporto tra marea e pioggia. Durante il periodo di studio, si sono verificati picchi mareali molto superiori alla media, in particolare tra la fine di ottobre e l'inizio di novembre 2023 (figura 14). La figura mostra, come già precedentemente evidenziato, un forte allineamento tra i picchi mareali e i massimi di conducibilità misurati ai sollevamenti. Durante i giorni di picco mareale, le misure di conducibilità hanno registrato massimi sia a Porto Ercole (P12) che a Porto Santo Stefano (P6), con valori rispettivamente di 11 e 30 mS/cm.

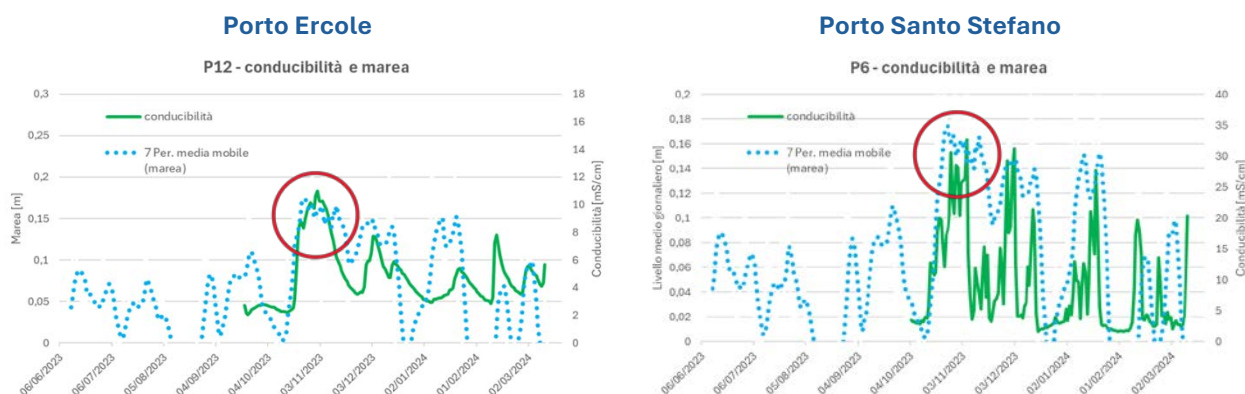


Figura 14 – Conducibilità misurata nei sollevamenti a confronto con i livelli mareali

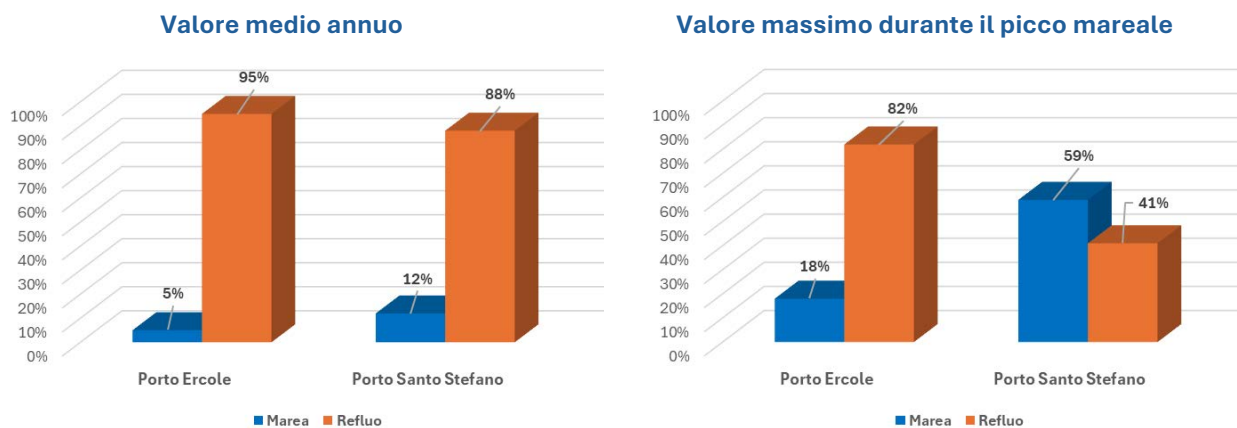


Figura 15 – Infiltrazione da marea rispetto al refluo totale sollevato – media del periodo e picco mareale

La figura 15 mostra come l'aumento della conducibilità sia direttamente proporzionale al maggior ingresso dell'acqua di mare nelle reti fognarie. In particolare, i dati relativi a Porto Ercole evidenziano l'incremento qualitativo dell'infiltrazione da marea che passa dal valore medio annuale del 5% rispetto al totale sollevato fino al 18% in occasione del picco mareale. Lo stesso avviene anche a Porto Santo Stefano, ma con incremento decisamente superiore: dal valore medio annuale del 12% si arriva addirittura al 59% del totale sollevato, evidenziando la grande criticità di questa rete in occasione degli eventi climatici più estremi.

#### 4.5 Volumi totali sollevati per rete fognaria

Dopo aver calcolato i diversi valori di infiltrazione (falda, marea e pioggia), è stato possibile elaborare una stima delle portate medie giornaliere in ingresso al depuratore, suddivisa per rete fognaria. I risultati di questa analisi sono illustrati nella figura 16 e nella tabella 6.

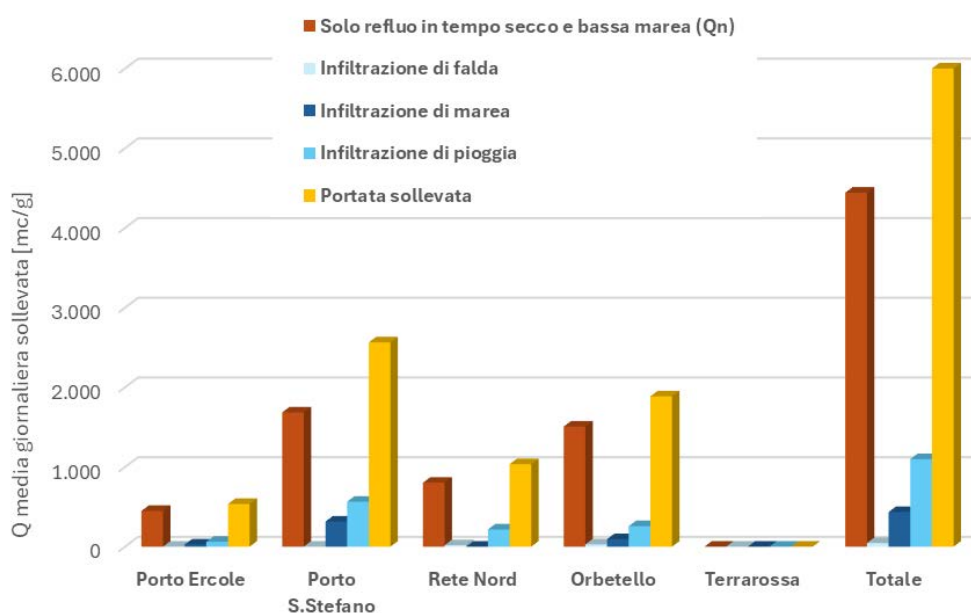


Figura 16 – Portata media giornaliera sollevata per rete fognaria

La maggior parte del volume sollevato proviene dalla rete di Porto Santo Stefano (43%) seguita da quella di Orbetello (31%). La rete Nord incide per il 17% delle portate sollevate mentre quella di Porto Ercole solo per un 7% del totale. Il valore totale della portata media annua sollevata in ingresso al depuratore di Terrarossa riportato in tabella 6 (circa 6.000 m<sup>3</sup>/d) è coerente con i dati misurati da AdF all'impianto. Di questa circa 4.400 m<sup>3</sup>/d sono costituiti dal collettamento dei reflui civili (corrispondenti a 22.000 AE nell'ipotesi di una dotazione idrica pro-capite di 200 l/ab per giorno). Le acque complessive di infiltrazione corrispondono a 1.578 m<sup>3</sup>/d.

A partire dalle portate medie giornaliere, è stato possibile ricostruire anche i volumi medi annui sollevati per ciascuna rete fognaria suddivisi nelle varie componenti analizzate (tabella 7).

Tabella 6 – Portate medie giornaliere sollevate per rete fognaria

	Porto Ercole	Porto S.Stefano	Rete Nord	Orbetello	Terrarossa (*)	Totale (°)
Sollevamento di riferimento	P12	P6	SL12	S2A	P8B	P8B
Solo refluo in tempo secco e bassa marea (Qn) [media giornaliera in m³/d]	448	1.684	802	1.507	0,3	4.441,3
Infiltrazione di falda [media giornaliera in m³/d]	0	0	17	28	-	45
Infiltrazione di marea [media giornaliera in m³/d]	26	315	0	94	-	435
Infiltrazione di pioggia [media giornaliera in m³/d]	61	564	216	257	-	1.098
<b>Portata sollevata [media giornaliera in m³/d]</b>	<b>535</b>	<b>2.563</b>	<b>1.035</b>	<b>1.886</b>	<b>0,3</b>	<b>6.019,3</b>

(\*) rappresenta la rete compresa tra i sollevamenti di riferimento (P12, P6, SL12 e S2A) e il depuratore di Terrarossa. Comprende i reflui raccolti dalle reti di Giannella ovest, Mascherino e Terrarossa.

(°) Inteso come portata in ingresso all'impianto di depurazione.

Tabella 7 – Volumi annui sollevati per rete fognaria

	Porto Ercole	Porto S.Stefano	Rete Nord	Orbetello	Terrarossa (*)	Totale (°)
Sollevamento di riferimento	P12	P6	SL12	S2A	P8B	P8B
Solo refluo in tempo secco e bassa marea (Qn) [m³]	163.520	614.660	292.730	550.055	110	1.621.075
Infiltrazione di falda [m³]	0	0	6.205	10.220	-	16.425
Infiltrazione di marea [m³]	9.606	114.905	0	34.162	-	158.673
Infiltrazione di pioggia [m³]	22.252	205.886	78.827	93.855	-	400.820
<b>Portata sollevata [m³]</b>	<b>195.378</b>	<b>935.451</b>	<b>377.762</b>	<b>688.292</b>	<b>110</b>	<b>2.196.993</b>

(\*) rappresenta la rete compresa tra i sollevamenti di riferimento (P12, P6, SL12 e S2A) e il depuratore di Terrarossa. Comprende i reflui raccolti dalle reti di Giannella ovest, Mascherino e Terrarossa.

(°) Inteso come portata in ingresso all'impianto di depurazione.

Mediamente si hanno poco più di 2 milioni di m<sup>3</sup> in ingresso al depuratore, di cui circa 1,6 milioni di m<sup>3</sup> dovuti ai reflui civili. I restanti 576 mila m<sup>3</sup> costituiscono la componente legata all'infiltrazione nelle sue differenti forme.

I dati della Qn riportati in tabella 7 sono stati validati con i consumi idrici (tabella 8). Il volume fatturato per l'anno 2023 è stato moltiplicato per un coefficiente di restituzione in fogna pari a 0,9 e confrontato con il volume in ingresso al depuratore dovuto al solo refluio. Questi dati sono molto allineati e confortano le stime operate.

Tabella 8 – Verifica dei volumi in ingresso al depuratore con i dati dei consumi idrici

Anno 2023	[m <sup>3</sup> /anno]
Volume fatturato alle utenze (*)	1.803.062
Coefficiente di restituzione in fogna = 0,9	-
<b>Volume consumato dalle utenze e restituito in fogna = solo refluio</b>	<b>1.622.756</b>
<b>Volume di solo refluio in tempo secco e bassa marea in ingresso al depuratore (Qn)</b>	<b>1.621.075</b>

(\*) Dati AdF.

La figura 17 mostra le differenti componenti che costituiscono il refluio in ingresso al depuratore di Terrarossa. Il refluio civile rappresenta circa il 74% del totale, mentre l'infiltrazione da falda costituisce una componente minoritaria, pari a poco meno dell'1% del volume sollevato e riguarda esclusivamente le reti Nord e Orbetello.

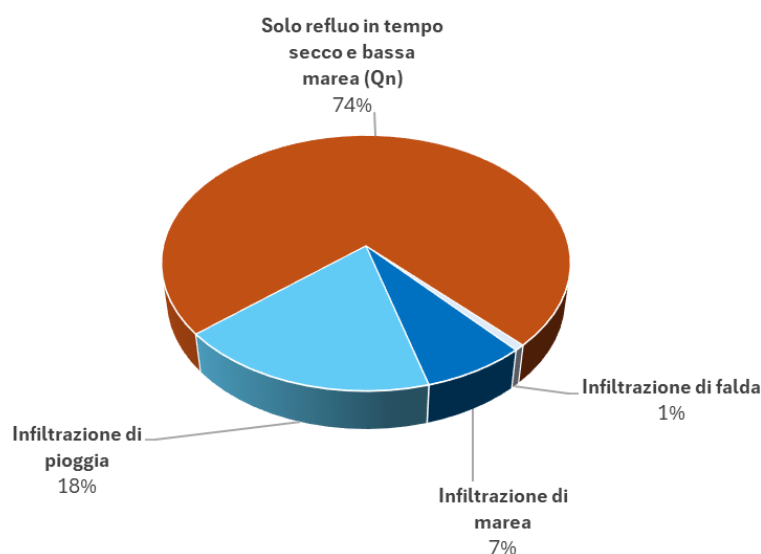


Figura 17 – Differenti componenti che costituiscono il refluio in ingresso al depuratore

Il contributo di marea e pioggia rappresenta invece circa il 25% dei volumi totali, di cui il 18% di acque meteoriche e il 7% di quelle marine. Il 58% dei volumi infiltrati che giungono al depuratore proviene dalla rete di Porto Santo Stefano che si conferma essere la più critica. Infatti, l'infiltrazione di acqua di mare che proviene da questa rete e che rappresenta il 72% del totale, influenza in maniera determinante la conducibilità in ingresso al depuratore di Terrarossa (figura 18), riducendo l'attività della biomassa del comparto biologico.

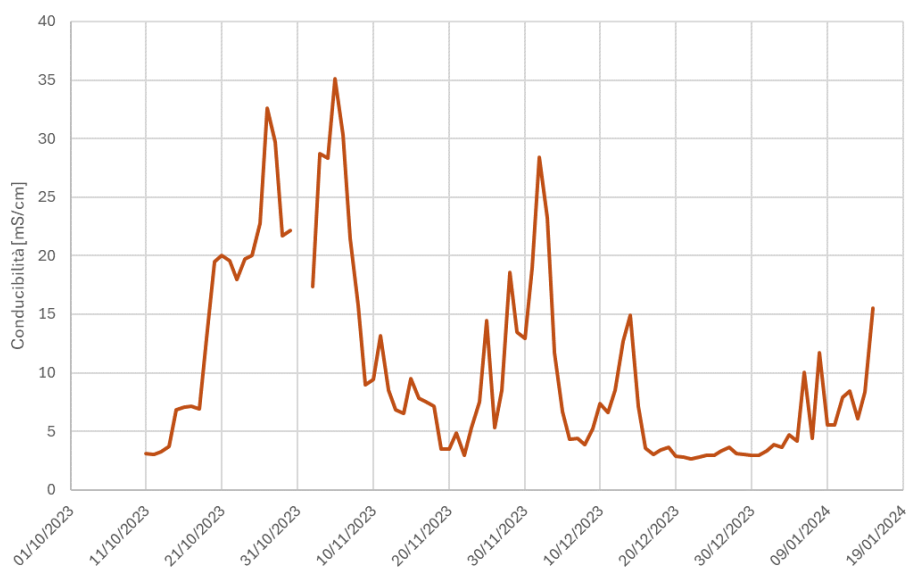


Figura 18 – Conducibilità in ingresso al depuratore di Terrarossa

## 5. VOLUMI SFIORATI DAGLI SCARICATORI DI PIENA

I volumi sfiorati dalle reti fognarie miste dipendono da vari fattori, tra cui il dimensionamento degli scaricatori di piena, il settaggio delle pompe dei sollevamenti e l'intensità degli eventi meteorici. Il tema riveste un ruolo cruciale nel bilancio delle reti fognarie poiché è in grado di influenzare sia la quantità che la qualità degli scarichi, oltre ai volumi in ingresso all'impianto di depurazione. Una loro stima dettagliata richiederebbe il rilievo delle singole infrastrutture e il monitoraggio in continuo, che esula gli obiettivi di questo studio, pur rivestendo un evidente elemento di interesse in particolare per la valutazione dell'impatto sullo scarico in mare di reflui non trattati.

Di seguito sono brevemente descritti gli scaricatori di piena delle singole reti fognarie identificati attraverso i colloqui con il personale AdF:

- Rete di Porto Santo Stefano: la rete dispone di 6 sollevamenti interni che pompano i reflui verso il sollevamento P6, il quale, essendo a valle dell'intera rete, li rilancia verso il depuratore di Terrarossa. Solo due sollevamenti a monte (P1 e P5) hanno scaricatori di piena; altri 14 scaricatori si trovano invece lungo la rete di raccolta, uno dei quali nei pressi del sollevamento P4.
- Rete Nord: dei 19 sollevamenti della rete Nord, solo 2 (ST2 e SP18) sono dotati di scaricatori di piena. Altri 3 scaricatori sono presenti lungo la rete.
- Rete di Orbetello: questa rete conta 19 sollevamenti, di cui solo due (S2A e SP4B) hanno scaricatori di piena. Un altro scaricatore si trova sulla rete in via Matteotti.
- Rete Porto Ercole: la rete è caratterizzata da 6 sollevamenti, di cui 5 con scaricatori di piena (incluso P12, il sollevamento a valle della rete che rilancia i reflui verso l'impianto di Terrarossa). Altri 6 scaricatori sono dislocati lungo la rete.
- Rete Terrarossa: il sollevamento che pompa i reflui all'impianto di depurazione (P8B) è dotato di uno scaricatore di piena che sfiora nel sollevamento P13 che pompa i reflui in uscita dal depuratore verso lo scarico a mare. Anche il depuratore di Terrarossa presenta uno scaricatore di piena in testa all'impianto che sfiora la portata in eccesso sempre nel sollevamento P13. Il sollevamento P7 invece, che trasporta i reflui delle reti di Porto Santo Stefano e Nord verso Terrarossa, non ha uno scaricatore di piena. Il sollevamento P7B, che raccoglie i reflui della località Mascherino, ha uno scaricatore di piena ormai chiuso, quindi non più utilizzato.

### 5.1 Scarichi di acque reflue in laguna

Per poter valutare l'impatto ambientale degli scarichi nella laguna di Orbetello, sono state individuate due differenti tipologie di scarico:



1. **Scaricatori di piena dei sollevamenti e della rete fognaria:** si attivano in caso di forti precipitazioni e scaricano in laguna un refluo miscelato con le acque di precipitazione raccolte dalle fognature miste;
2. **Scarico di emergenza della rete Sud:** scarico di acqua depurata in uscita dal depuratore di Terrarossa. Si attiva in caso di rotture delle tubazioni o per fermo impianto dei sollevamenti.

Il censimento ha permesso di individuare i seguenti scarichi in laguna (figure 19 e 20).



Figura 19 – Ubicazione degli scarichi fognari in laguna

#### Laguna di Ponente:

- Il sollevamento **P13**, che rilancia il refluo in uscita dal depuratore verso la rete Sud, presenta uno scaricatore di piena che recapita in un canale della laguna di Ponente in prossimità del ponte Diga. Oltre al refluo depurato, P13 raccoglie sia il troppo pieno del sollevamento P8B (che rilancia il refluo al depuratore di Terrarossa) che lo scaricatore in entrata all'impianto. A seconda delle condizioni di sfioro, lo scarico di P13 ha una qualità con un variabile grado di miscelazione.
- Il sollevamento **S2A**, posto in prossimità della sede dei Pescatori di Orbetello e che rilancia i reflui di Orbetello verso il depuratore di Terrarossa, presenta uno scaricatore di piena in laguna.

- Il sollevamento **S3B**, posto in corrispondenza della Coop di Orbetello, presenta uno scarico di emergenza nel così detto “canale di conterminazione”, un’area separata dalle acque lagunari da un terrapieno – oggi parzialmente franato in un punto – e comunque connesso alla laguna in località Ex-Sitoco.
- Esisterebbe anche un quarto scaricatore in laguna dal sollevamento **P7B** che è stato però recentemente chiuso dai tecnici di AdF.

#### Laguna di Levante:

- Il sollevamento **P12**, che rilancia il refluo della rete di Porto Ercole verso Terrarossa, presenta lo scarico dello scaricatore di piena in un canale della laguna di Levante in località le Miniere.
- La rete di Orbetello presenta due scarichi a breve distanza l’uno dell’altro: il primo riguarda la rete di **via Matteotti** mentre il secondo rappresenta il recapito dello scaricatore di piena del sollevamento **SP4B**.

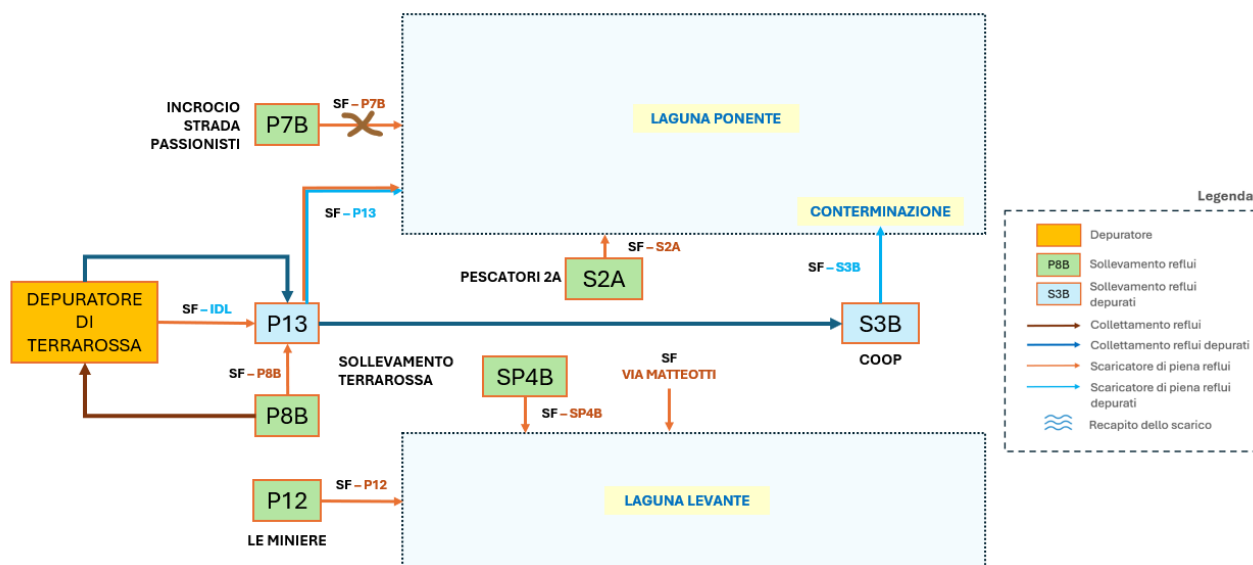


Figura 20 – Censimento degli scarichi fognari in laguna

### 5.2 Sfiori di acqua reflua per eventi meteorici

Per determinare la quantità e la qualità degli scarichi in laguna si è cercato di ricostruire i volumi sfiorati operando un bilancio della rete fognaria.

Poiché le reti Porto Santo Stefano e Nord non presentano scarichi in laguna, lo studio si è concentrato sulle fognature di Orbetello e Porto Ercole. Mentre quest'ultima è certamente una rete di tipo misto, dal colloquio con i tecnici di AdF è emerso che la rete di Orbetello sembra essere di tipo separato (nera e bianca), ma con importanti connessioni con le acque bianche che determinano comunque una miscelazione dei reflui. Ciò è testimoniato anche dagli eventi di sfioro quantitativamente rilevanti registrati al sollevamento S2A (figura 22). Ai fini di questo studio, la rete fognaria di Orbetello è stata quindi trattata come una rete di tipo misto.

La metodologia utilizzata ha previsto il calcolo dei seguenti termini (figura 21):



Figura 21 – Termini del bilancio idrico della fognatura

In tabella 9 è riportato il bilancio medio annuo delle entrate e delle uscite per le reti fognarie studiate, calcolato secondo il seguente schema:

$$\underbrace{V_{\text{sfiorato da soll. riferim.}} + V_{\text{sfiorato nella rete a monte}}}_{\text{VOLUME SFIORATO}} = \underbrace{V_{\text{di pioggia in fogna}} + V_{\text{refluo}}}_{\text{VOLUME IN INGRESSO}} - \underbrace{V_{\text{sollevato da soll. riferim.}}}_{\text{VOLUME IN USCITA}}$$

dove:

- **Volume sfiorato in laguna dal sollevamento di riferimento (P12, S2A):** rappresenta lo sfioro dal sollevamento finale della rete prima del pompaggio verso il depuratore. Il

volume sfiorato è calcolato a partire dalle caratteristiche geometriche delle vasche e degli scaricatori di piena; i livelli in vasca misurati dal telecontrollo (figura 22) hanno permesso di individuare gli eventi di sfioro.

- **Volume sfiorato nella rete a monte:** rappresenta il volume sfiorato sia dalla rete che dai sollevamenti interni alla rete. Nel caso di Porto Ercole, i 10 scaricatori di piena censiti hanno come recapito finale il mare; in quella di Orbetello i due scaricatori censiti (SP4B e via Matteotti) recapitano in laguna. Questo valore è determinato come differenza degli altri termini noti.
- **Volume di pioggia raccolto in fogna:** definisce l'ingresso delle acque meteoriche nella rete fognaria. I dati pluviometrici misurati alle stazioni di Porto Ercole e Orbetello hanno permesso di quantificare la pioggia caduta al suolo sulle aree urbanizzate servite da fognatura (figura 23). Un coefficiente di infiltrazione dipendente dalla superficie delle aree di infiltrazione diretta in falda (aree verdi) ha permesso di definire la quota parte di precipitazione raccolta dalla rete fognaria.
- **Volume del refluo raccolto dalla fognatura:** rappresenta l'ingresso del refluo nella rete fognaria. Per la quantificazione si vedano le tabelle 6 e 7.
- **Volume sollevato dal sollevamento di riferimento (P12, S2A):** rappresenta il volume in uscita dalla rete verso il depuratore. Per la quantificazione si vedano le tabelle 6 e 7.

I valori di precipitazione per il periodo considerato mostrano una moderata flessione (circa il 10%) rispetto alla media della serie storica degli ultimi trenta anni. Oscillazioni di questa entità non determinano variazioni di rilievo nelle stime operate. L'area di studio si conferma la zona a più bassa piovosità di tutta la Regione Toscana (dati Consorzio LAMMA).

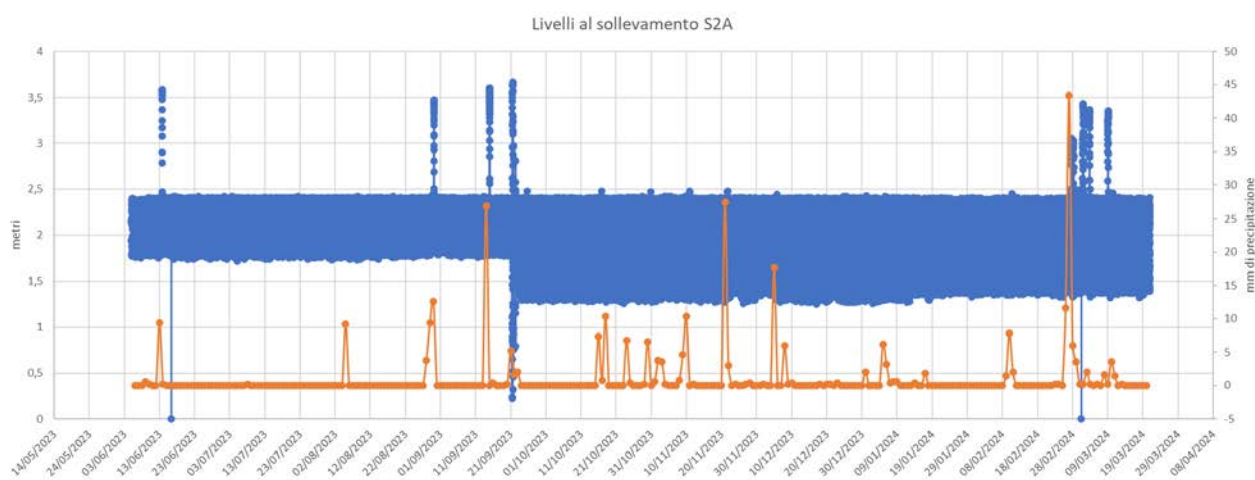


Figura 22 – Correlazione dei livelli fognari al sollevamento S2A di Orbetello (in blu) con le relative precipitazioni (in arancio)



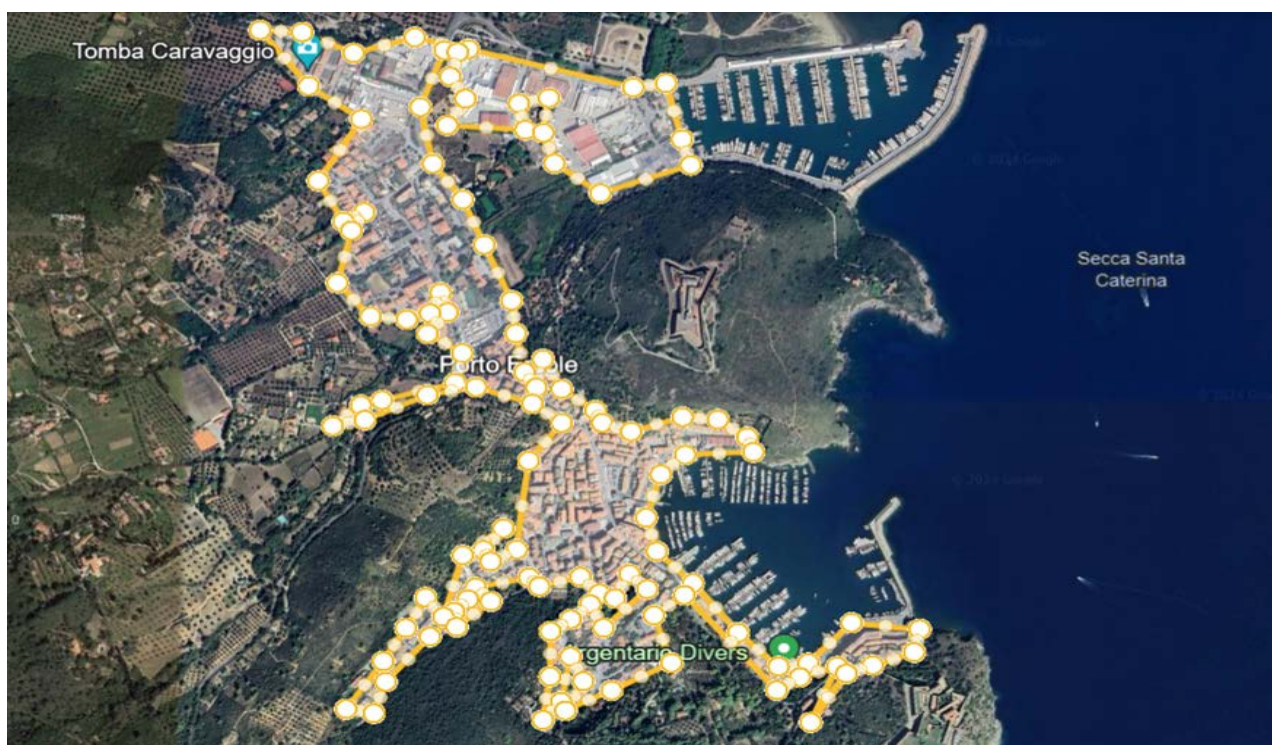


Figura 23 – Delimitazione della superficie urbanizzata servita da fognatura mista – rete Porto Ercole

La tabella 9 quantifica i contributi sfiorati in laguna a partire dal bilancio idrico. Nel caso di Porto Ercole, lo sfioro del sollevamento P12 rappresenta l'unico scarico in laguna e risulta di modesta entità ( $143 \text{ m}^3/\text{anno}$ ), poiché la quasi totalità delle precipitazioni in eccesso raccolte dalla rete viene sfiorata dagli scaricatori a monte.

Dei tre punti di sfioro della rete di Orbetello quello del sollevamento S2A è quantitativamente il più rilevante (80% del volume totale scaricato in laguna); gli altri due (SP4B e via Matteotti) contribuiscono per il restante 20%.

Tabella 9 – Quantificazione degli scarichi sfiorati in laguna per eventi meteorici

	Porto Ercole	Orbetello	Terrarossa
Sollevamento di riferimento	P12	S2A	P13
Volume di pioggia raccolto dalla fognatura [ $\text{m}^3/\text{anno}$ ]	140.584	195.783	-
Volume dei reflui raccolti dalla fognatura [ $\text{m}^3/\text{anno}$ ]	163.344	550.101	-
Volume sollevato dal sollevamento di riferimento [ $\text{m}^3/\text{anno}$ ]	193.720	674.624	-
Numero di sfiori in laguna	1	3 (di cui S2A e i 2 a monte)	1
<b>Volume sfiorato dal sollevamento di riferimento [<math>\text{m}^3/\text{anno}</math>]</b>	<b>143</b>	<b>57.225</b>	<b>13.080</b>

	Porto Ercole	Orbetello	Terrarossa
Numero di scaricatori di piena a monte	10	2	-
Volume sfiorato a monte del sollevamento di riferimento [m <sup>3</sup> /anno]	110.064	14.035 (*)	-

(\*) Volume sfiorato in laguna dagli scaricatori di piena del sollevamento SP4B e della rete di via Matteotti

Come precedentemente descritto, la rete di Terrarossa rappresenta la fognatura compresa tra i sollevamenti di riferimento (P12, P6, SL12 e S2A) e il depuratore di Terrarossa. Raccoglie i reflui delle quattro reti poste a monte e di Giannella ovest, Mascherino e Terrarossa fino al sollevamento PB8, che li rilancia al depuratore. Lo scaricatore di questo sollevamento recapita nel sollevamento P13. Quest'ultimo pompa le acque trattate nella rete Sud e a sua volta è dotato di uno scaricatore che sfiora in laguna. Il volume sfiorato dal P13 (circa 13.000 m<sup>3</sup>/anno) è stato calcolato a partire dalle caratteristiche geometriche delle vasche e dello scaricatore di piena, in funzione dei livelli misurati dal telecontrollo. Poiché non ci sono altri sfiori attivi nella rete di Terrarossa a monte di P13 (P7B è stato murato), non è stato necessario calcolarne il bilancio idrico.

### 5.3 Diluizione delle acque reflue durante gli sfiori per eventi meteorici

Per i nodi monitorati posti a valle delle reti fognarie descritte e scaricanti in laguna è possibile stimare il grado di diluizione delle acque reflue quando si attivano gli sfiori.

Queste informazioni sono state utilizzate per la valutazione delle concentrazioni di nutrienti immessi in laguna nelle simulazioni modellistiche descritte nel capitolo 6. In particolare, è stato possibile calcolare la portata di innesco degli sfioratori per i seguenti nodi:

- P12 (Porto Ercole);
- S2A (Orbetello);
- P8B (Terrarossa).

Per il calcolo del rapporto di diluizione, attraverso le curve caratteristiche delle pompe in esercizio in ciascun sollevamento, è stata calcolata la portata massima sollevata durante l'evento di sfioro rapportata alla portata del refluo in ingresso al sollevamento in tempo secco su base annua ( $Q_{n_{tot}}$ ) (tabella 10).

Le reti fognarie studiate iniziano a sfiorare, attraverso i nodi finali, quando la portata raggiunge valori pari a circa 7-8 volte la portata media di tempo secco su base annua ( $Q_{n_{tot}}$ ) e comunque largamente superiore a 3 volte la portata media di tempo secco estivo ( $Q_{n_{est}}$ ) (tabella 15). Nel caso dello scaricatore di piena in corrispondenza del sollevamento P8B (in testa all'impianto) lo sfioro avviene già con portate pari a 2.6  $Q_{n_{est}}$  (che corrisponde a 3  $Q_{n_{tot}}$ ).



In realtà il dimensionamento idraulico dei sedimentatori secondari del depuratore garantirebbe il trattamento anche di portate pari a  $3Q_{n_{est}}$  (si veda il capitolo 7). È quindi necessario che il gestore intervenga sull'impianto in modo che questa portata sia effettivamente garantita. Va comunque sottolineato che il refluo sfiorato si riversa all'interno del sollevamento P13 dove subisce un'ulteriore diluizione con l'acqua trattata in uscita dal depuratore prima del suo scarico in laguna.

Tabella 10 – Portate sfiorate in caso di evento meteorico

	Porto Ercole	Orbetello	Totale (°)
Sollevamento di riferimento	P12	S2A	P8B
Portata refluo in ingresso in tempo secco ( $Q_{n_{tot}}$ ) [ $m^3/h$ ]	15	61	185
$3 Q_{n_{tot}}$ [ $m^3/h$ ]	45	183	555
Portata sollevata durante l'evento di sfioro [ $m^3/h$ ]	103	480	572
<b>Rapporto di diluizione (*)</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>3</b>

(°) Inteso come portata in ingresso all'impianto di depurazione.

(\*) Calcolato come rapporto tra la portata sollevata durante l'evento di sfioro e quella del refluo in ingresso in tempo secco ( $Q_{n_{tot}}$ ).

Il rapporto di diluizione tra refluo sfiorato e refluo in tempo secco assicura che i volumi scaricati nell'ambiente siano sufficientemente diluiti, in conformità a quanto previsto dalla normativa di settore. Analisi di dettaglio sui singoli scaricatori di piena all'interno delle reti potranno dare indicazioni sul loro corretto dimensionamento secondo le normative vigenti (L.R. 20/2006 e DGRT 46/R/2008).

Le concentrazioni medie dei nutrienti presenti nel refluo sono note e derivano dalle analisi in ingresso al depuratore effettuate dal gestore. Nelle simulazioni modellistiche descritte nel capitolo 6, durante gli eventi di sfioro è stato considerato un rapporto medio di diluizione di 1:5, valore volutamente cautelativo rispetto alle concentrazioni stimate in tabella 6. Attraverso questo rapporto è stato possibile determinare le nuove concentrazioni di azoto (N) e fosforo (P) scaricate in laguna e riportate in tabella 12.

#### 5.4 Sfiori di acqua reflua depurata per fermo impianto

Per quantificare gli scarichi di acqua depurata che hanno interessato la rete Sud e che hanno determinato sfiori al sollevamento S3B, si è fatto riferimento alle comunicazioni che AdF fornisce ad ARPAT riguardo la gestione degli scarichi di emergenza, come richiesto dall'AIA (Autorizzazione Integrata Ambientale). La normativa prevede infatti che, per una prevenzione efficace dell'inquinamento ambientale, il gestore debba essere dotato di questa autorizzazione, rilasciata per valutare e gestire in modo integrato tutte le fonti di pressione ambientale sulla laguna.

Nel periodo studiato si sono avuti tre eventi di sfioro (tabella 11).

Tabella 11 – Quantificazione degli sfiori in laguna dalla rete Sud

	Periodo interessato	Portata sfiorata [m³]
Evento 1 – Collasso della tubazione di mandata del sollevamento P13	20/08/2023 - 23/08/2023 25/08/2023 - 01/09/2023	98.856
<b>Evento 2 – Rottura tubazione in PRVF</b>	<b>26/09/2023 - 30/09/2023</b>	<b>24.538</b>
<b>Evento 3 – Rottura tubazione in PRVF</b>	<b>10/01/2024 - 13/01/2024</b>	<b>14.821</b>

Il primo evento, di maggiore rilevanza quantitativa, ha riguardato il collasso della tubazione di mandata del sollevamento P13. Per risolvere il problema, AdF ha effettuato interventi di riqualificazione degli impianti eliminando le problematiche esistenti. Pertanto, lo scarico non è stato incluso nel computo.

Sono stati invece inclusi nel conteggio gli eventi 2 e 3, relativi alle rotture della tubazione della rete Sud. Lo stato di conservazione della tubazione a valle del sollevamento SL15 non garantisce infatti l'assenza di altri episodi di rottura in futuro.

Per valutare la qualità degli scarichi in termini di nutrienti, si è fatto riferimento alle analisi sulle acque in uscita dal depuratore effettuate dal gestore.

### 5.5 Caratterizzazione quali-quantitativa degli scarichi

La tabella 12 presenta una dettagliata caratterizzazione degli scarichi nella laguna durante un anno medio, sia dal punto di vista quantitativo che qualitativo. Il volume totale degli scarichi è di circa 124.000 metri cubi all'anno. Gli scarichi non depurati e diluiti dalle acque meteoriche presentano una concentrazione di azoto totale di circa 10 mg/l, che si riduce della metà nelle acque trattate. La concentrazione di fosforo totale nelle acque trattate (2,1 mg/l) è invece doppia rispetto a quella degli scarichi diluiti dalle acque meteoriche.

Tabella 12 – Caratterizzazione quali-quantitativa degli scarichi in laguna in un anno solare medio

Sollevamento sfiorante	Laguna	Q media [m³/h]	Durata media [h]	n. eventi / anno	V annuo scaricato [m³]	Tipologia refluo	N tot medio [mg/l]	P tot medio [mg/l]
P8B → P13	ponente	218	3	20	13.080	non dep.	10,2	1
S2A	ponente	1.635	3,5	10	57.225	non dep.	10,2	1
Orbetello città (*)	levante	401	3,5	10	14.035	non dep.	10,2	1
P12	levante	22	0,5	13	143	non dep.	10,2	1
S3B	ponente	182	108	2	39.359	depurato	5,1	2,1
<b>Totale</b>					<b>123.842</b>			

(\*) include gli scaricatori di piena del sollevamento SP4B e della rete fognaria di Via Matteotti che, data la vicinanza sono stati accorpati.

La rete di Orbetello e in particolare il sollevamento S2A, ha prodotto i maggiori volumi sfiorati. La durata media degli sfiori dovuti agli eventi di precipitazione è di norma inferiore alle 4 ore; lo scarico di acqua trattata dal sollevamento S3B rimane invece attivo per un tempo compreso tra i quattro e i cinque giorni, che rappresenta il tempo necessario all'individuazione della perdita e alla riparazione del danno.

I dati riportati in tabella 12 sono stati utilizzati come input del modello ecologico descritto nel capitolo seguente. Ciò ha permesso di valutare l'incidenza degli scarichi fognari rispetto ai processi eutrofici lagunari.

## 6. IMPATTO DEGLI SCARICHI DI ACQUA REFLUA SULL'EUTROFIZZAZIONE LAGUNARE

L'applicazione di modelli numerici multidimensionali idrodinamici e di qualità dell'acqua per studiare l'eutrofizzazione dei corpi idrici, inclusi gli ambienti lacustri e lagunari, costituisce un approccio sempre più diffuso, grazie sia alla maggiore comprensione dei processi eutrofici negli ultimi anni che allo sviluppo della tecnologia informatica.

I modelli ecologici sono uno strumento di supporto alla comprensione e risoluzione delle problematiche esistenti e sono in grado di fornire una rappresentazione del sistema studiato integrando le informazioni dei monitoraggi, adattandosi a richieste *site-specific* e consentendo di verificare i risultati di differenti ipotesi gestionali. Questo approccio è quindi in grado di rappresentare le più rilevanti dinamiche ecosistemiche, includendo risposte non lineari e variabilità spazio-temporali, determinando un significativo incremento del loro utilizzo negli ultimi venti anni, in particolare per l'analisi di scenari di simulazione.

Il modello utilizzato per valutare l'incidenza degli scarichi fognari nella laguna di Orbetello è stato messo a punto dal DICEA nel 2023 e utilizzato per conto della Regione Toscana nello studio "Attività di ricerca per la definizione di strumenti per la mitigazione dei processi eutrofici nella laguna di Orbetello".

### 6.1 Modello ecologico

Per poter interpretare l'evoluzione dei principali parametri ambientali che determinano la qualità della laguna di Orbetello, non è sufficiente la sola modellizzazione dell'idrodinamica del corpo idrico. La materia presente subisce trasformazioni biologiche all'interno di complesse catene trofiche, fra loro fortemente interrelate, di degradazione e di sintesi, così come di processi chimici e fisici non mediati da organismi viventi. La regolazione di questi trasferimenti di materia fra le varie fasi gassose, liquide o solide, dipende da una serie di fattori ambientali quali la temperatura, la salinità, il pH, la luce e da fenomeni di trasporto, diffusione e dispersione.

Per questo motivo sono stati utilizzati i modelli della suite MIKE sviluppati dal Danish Hydraulic Institute (DHI). Questo software è ad oggi quello maggiormente utilizzato in lavori di ricerca per la valutazione dei processi eutrofici e la previsione dinamica degli ecosistemi acquatici.

Il modello ecologico MIKE ECOLab (modulo Eutrophication Model 1 including Sediment and Benthic Vegetation) utilizza processi di trasporto basati sulle equazioni di avvezione-convezione ed è accoppiato al modello idrodinamico MIKE21 (modulo Hydrodynamic Flexible Mesh) della laguna di Orbetello.

Per approfondimenti sul modello e sul suo funzionamento si può fare riferimento al manuale d'uso di MIKE ECOLab disponibile sul sito del produttore:

(<https://www.mikepoweredbydhi.com/download/product-documentation>).

Il modello consente di simulare, attraverso un approccio di tipo deterministico, i processi di trasformazione di molte delle sostanze che contribuiscono al processo di eutrofizzazione della laguna in funzione delle condizioni idrodinamiche, attraverso l'integrazione di complesse equazioni differenziali.

Il suo schema di funzionamento è riportato in figura 24.

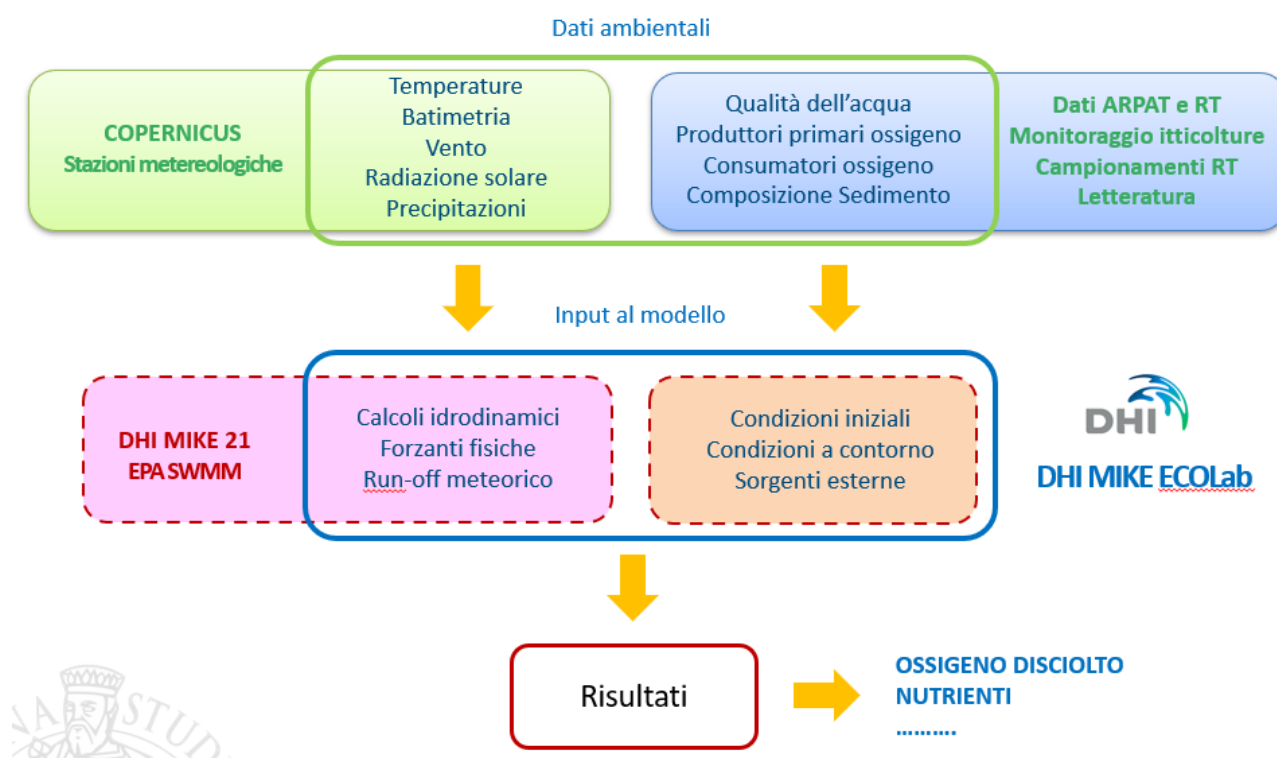


Figura 24 – Schema di funzionamento del modello ecologico

In tutti i modelli numerici risulta indispensabile, per ciascuna variabile simulata, fornire le opportune condizioni iniziali e al contorno. Qualora, come nel caso in esame, vi siano ulteriori immissioni di flussi esterni in laguna, anche tali flussi dovranno essere caratterizzati in termini idrodinamici e di qualità. Per poter funzionare, il software ha bisogno quindi dei seguenti dati di input:

- Output del modello idrodinamico (caratteristiche idrodinamiche della laguna);
- Condizioni al contorno (caratteristiche delle acque in ingresso ai canali);
- Condizioni iniziali (caratteristiche delle acque lagunari e del sedimento all'inizio della simulazione);
- Sorgenti esterne (caratteristiche delle acque di eventuali immissioni inquinanti in laguna);

- Forzanti esterne.

Le sorgenti esterne costituiscono i punti di immissione in laguna che possono alterare la qualità delle acque. Oltre alla simulazione degli scarichi fognari, sia depurati che non depurati, è stata posta particolare attenzione agli scarichi delle itticolture, data la loro rilevanza ambientale. Le due itticolture intensive presenti in laguna, Il Vigneto ed ex-Iltima, rilasciano acque ricche di azoto, fosforo e materia organica, apportando una quantità significativa di nutrienti dipendente dagli elevati valori di portata scaricata.

## 6.2 Simulazione degli scarichi fognari depurati e non depurati

La simulazione degli scarichi riportati nella tabella 12 ha consentito di valutare l'impatto degli sfiori sull'ambiente lagunare. Sono state osservate le variazioni nelle concentrazioni di ossigeno disciolto e azoto, con particolare attenzione ai livelli di quest'ultimo sia nella colonna d'acqua che nei sedimenti.

A titolo di esempio la figura 25 mostra un'istantanea delle concentrazioni di azoto inorganico (IN) nella colonna d'acqua a seguito degli sfiori generati dall'evento di precipitazione del 14 settembre 2023.

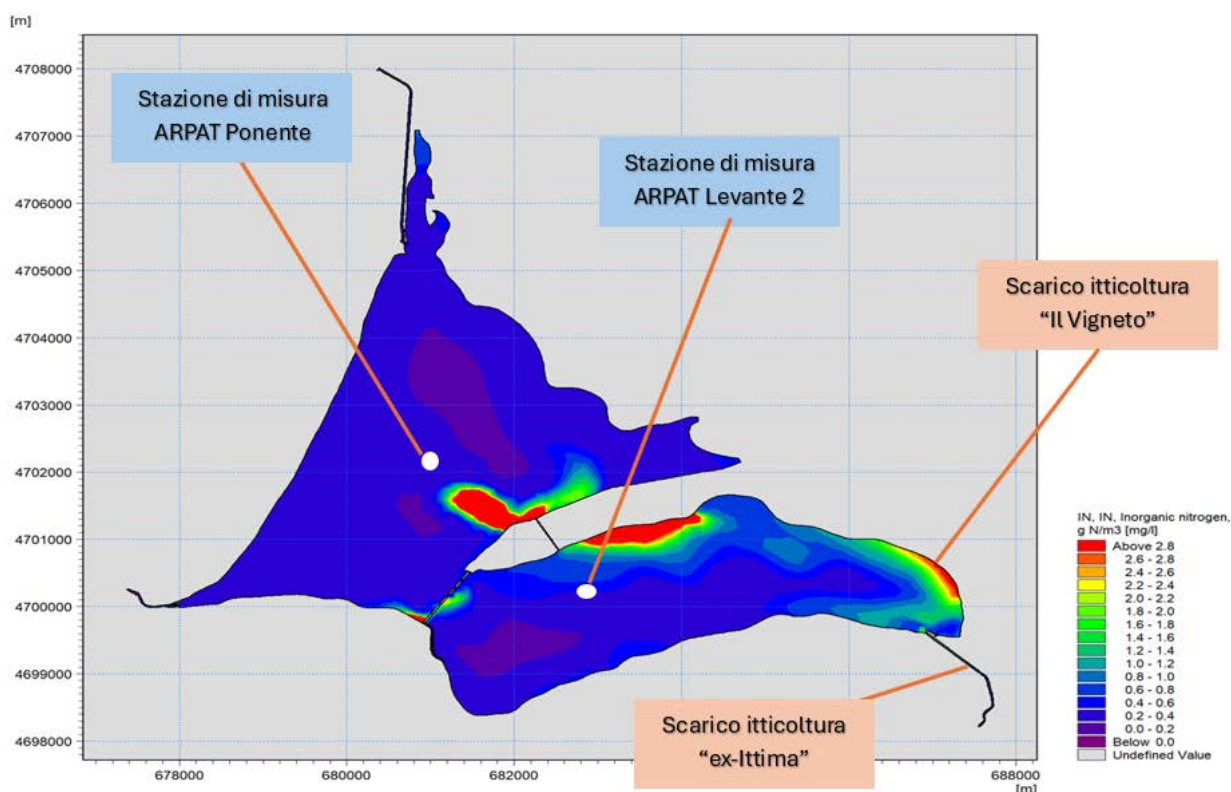


Figura 25 – Concentrazioni di N inorganico nella colonna d'acqua durante gli sfiori del 14/09/23



La figura mostra come gli sfiori generino un aumento dei valori di azoto inorganico intorno allo scarico (pennacchio), con concentrazioni tuttavia inferiori ai limiti di emissione per gli impianti di acque reflue urbane recapitanti in aree sensibili. La breve durata degli eventi di sfioro determina comunque la rapida dispersione del pennacchio nel giro di qualche giorno. Le maggiori concentrazioni di azoto osservate in prossimità del canale di Ansedonia (figura 28) sono determinate dall'itticoltura "Il Vigneto" che, a differenza di quelli fognari, presenta uno scarico continuo attivo tutto l'anno.

Per valutare gli effetti degli scarichi fognari al centro delle due lagune durante un anno solare, si è fatto riferimento alle stazioni di misura ARPAT Ponente e Levante 2. La figura 26 mostra il confronto dei valori di ossigeno disciolto (DO) in assenza di scarichi fognari (colore verde) e in loro presenza (colore rosso). Le figure mostrano l'assenza di variazioni significative nei valori di ossigeno disciolto.

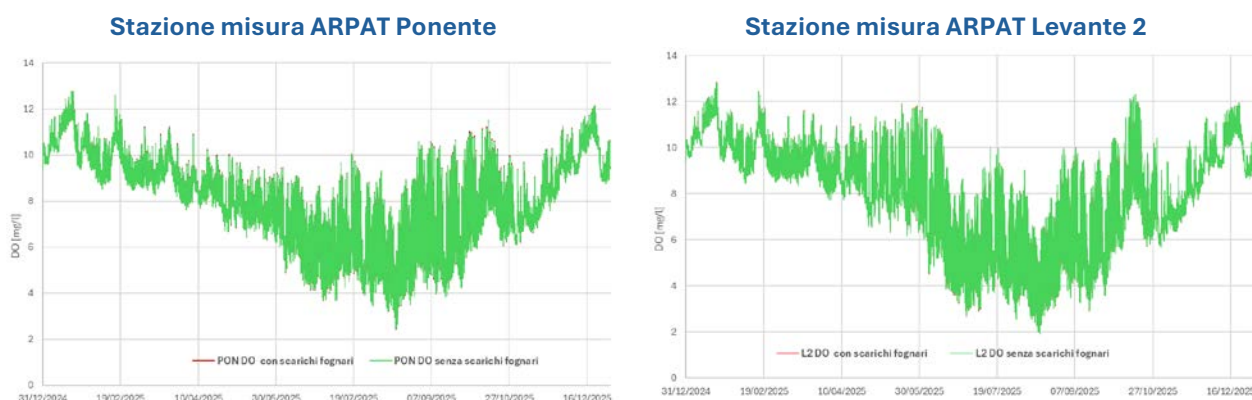


Figura 26 – Andamento dell'ossigeno disciolto (DO) con e senza scarichi fognari – anno tipo



Figura 27 – Andamento dell'azoto inorganico nella colonna d'acqua (IN) con e senza scarichi fognari – anno tipo

Lo stesso vale per l'andamento dell'azoto inorganico nella colonna d'acqua (IN) e organico contenuto nei sedimenti (SON) (figure 27 e 28).

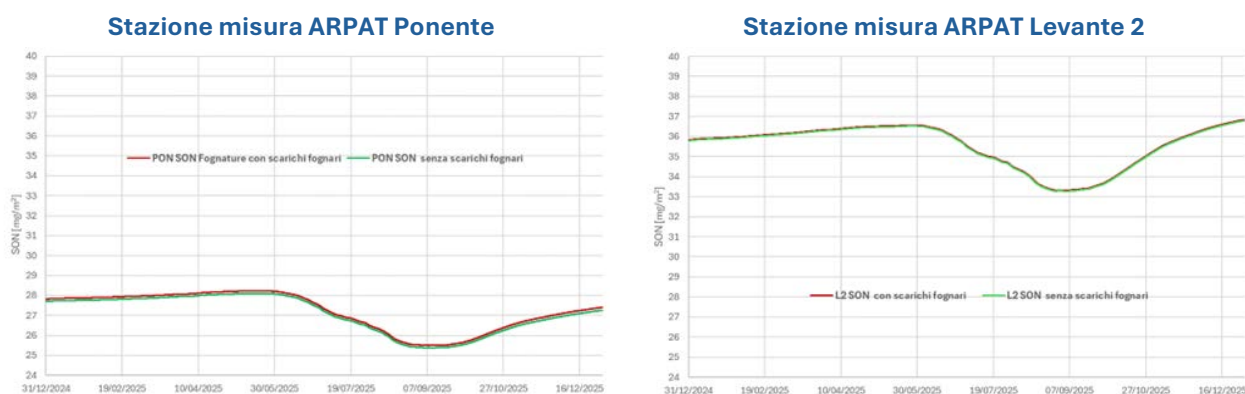


Figura 28 – Andamento dell’azoto organico nei sedimenti (SON) con e senza scarichi fognari – anno tipo

Secondo il modello ecologico, gli scarichi fognari non sembrano quindi avere un’influenza rilevabile sui processi eutrofici della laguna. Tuttavia, il rilascio di nutrienti rimane una delle cause principali dello sviluppo algale che è responsabile dell’eutrofizzazione lagunare e che dovrebbe essere limitato il più possibile, soprattutto in un ambiente fortemente eutrofico come quello della laguna di Orbetello.

Riguardo al tema degli scarichi, la tabella 13 mette a confronto la caratterizzazione quali-quantitativa di quelli fognari con quelli delle itticultore.

Tabella 13 – Caratterizzazione quali-quantitativa degli scarichi in laguna

	Scarichi fognari	Scarichi itticultore
Numero degli scarichi	6 di cui 3 a Ponente e 3 a Levante	2 a Levante
Frequenza dello scarico	occasionale	continuo
<b>Volume medio annuo scaricato [m<sup>3</sup>/anno]</b>	<b>124.000</b>	<b>22.000.000 (*)</b>
<b>Concentrazione media di N totale scaricato [mg/l]</b>	<b>10,2 (refluo non depurato)</b> <b>5,1 (refluo depurato)</b>	<b>6 (**)</b>
<b>Concentrazione media di P totale scaricato [mg/l]</b>	<b>1 (refluo non depurato)</b> <b>2,1 (refluo depurato)</b>	<b>0,2 (**)</b>

(\*) la stima include lo scarico de “Il Vigneto” e la quota parte di “ex-Ittima” che, scaricando nel canale di Ansedonia, entra in laguna per effetto dell’alta marea. Tale fenomeno è possibile quando le idrovore di Nassa e Fibbia sono spente, poiché in caso contrario si crea un flusso forzato in uscita da Ansedonia.

(\*\*) dato ricavato dallo Studio di Valutazione di Impatto Ambientale (VIA) relativo agli impianti di itticultura Ittima e Il Vigneto – Via postuma ai sensi dell’art. 43 comma 6 della LR 10/2010 presentato al Comune di Orbetello nel 2018 dalle società proprietarie degli impianti.

La differenza più evidente tra le diverse tipologie di scarico è nei volumi rilasciati in laguna, che hanno significative ripercussioni sul bilancio generale dei nutrienti: circa 124 mila m<sup>3</sup> dalle fognature contro i 22 milioni di m<sup>3</sup> dalle itticultore. Sebbene gli scarichi fognari abbiano

concentrazioni di azoto e fosforo mediamente più elevate, i minori volumi comportano apporti complessivi oltre 100 volte inferiori rispetto a quelli delle itticolture (tabella 14).

Tabella 14 – Quantitativi annui di nutrienti riversati in laguna

	Scarichi fognari	Scarichi itticolture
Azoto totale [t/anno]	1,04	132,0
Fosforo totale [t/anno]	0,16	4,4

## 7. IL DEPURATORE DI TERRAROSSA

Gli impianti di depurazione sono progettati tenendo conto sia delle condizioni medie di carico che di quelle di punta, per assicurare una flessibilità operativa adeguata. Le opere di sfioro in testa intervengono solo quando è garantita una diluizione sufficiente delle acque reflue, riducendo così l'impatto sul corpo idrico ricevente.

Dal punto di vista del processo biologico, l'impianto di Terrarossa è ampiamente capace di gestire carichi superiori a quelli medi, garantendo margini residui significativi. Tuttavia, è necessario prestare maggiore attenzione agli aspetti idraulici, in particolare alla sedimentazione secondaria, che rappresenta il principale collo di bottiglia strutturale negli impianti a fanghi attivi.

Seguendo questa logica, è stato verificato il funzionamento dei sedimentatori secondari sotto condizioni di carico idraulico pari a tre volte la portata media in ingresso durante il tempo secco. È stato considerato come valore medio sia quello annuale ( $Q_{n_{tot}}$ ), sia quello estivo ( $Q_{n_{est}}$ ), che risulta superiore a causa dell'afflusso turistico.

### 7.1 Dati di portata in tempo secco

A causa della mancanza di misure dirette, per calcolare la portata media nera in tempo secco, generalmente si fa riferimento ai consumi idrici, applicando un coefficiente di restituzione in fogna che tenga conto di quei consumi che, per vari motivi (come l'irrigazione dei giardini con acqua potabile), non confluiscono nelle fognature, ma si disperdono nell'ambiente. Avendo già stimato la portata nera media annua in tempo secco, per il calcolo è stato fatto riferimento ai dati riportati in tabella 4, che sono stati comunque validati con i consumi idrici (tabella 5).

Oltre alla portata media annuale ( $Q_{n_{tot}}$ ), è stata calcolata la portata media estiva ( $Q_{n_{est}}$ ) considerando i quattro mesi del periodo giugno-settembre, per verificare l'impianto nel periodo di massimo carico. Questa portata è stata determinata applicando al valore annuale l'incremento mensile relativo ai consumi del settore idrico, come riportato in figura 29.

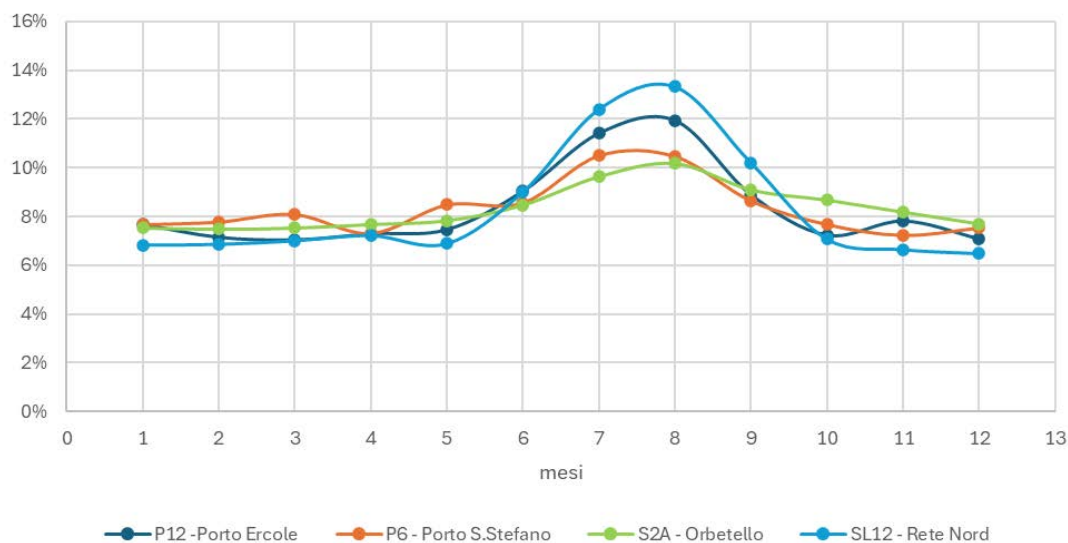


Figura 29 – Percentuale mensile dei volumi fatturati rispetto al totale annuo (dati 2023)

## 7.2 Dimensionamento dei sedimentatori secondari

Per operare la verifica del dimensionamento dei sedimentatori secondari, si è fatto riferimento alle caratteristiche dimensionali e di funzionamento dei sedimentatori del depuratore di Terrarossa riportate in tabella 15.

Tabella 15 – Caratteristiche dimensionali e di funzionamento dei sedimentatori secondari dell'impianto di depurazione di Terrarossa

Parametro	Valore	u.d.m.	Tipo di dato
Numero sedimentatori	2	-	Noto
Forma sedimentatore	Circolare	-	Noto
Diametro	24	m	Noto
Altezza utile bordo vasca	2,25	m	Noto
Altezza utile centro vasca	3,1	m	Noto
Superficie utile unitaria	452,4	m <sup>2</sup>	Calcolato
Superficie utile totale	904,8	m <sup>2</sup>	Calcolato
Volume utile unitario	1.145	m <sup>3</sup>	Calcolato
Volume utile totale	2.289	m <sup>3</sup>	Calcolato
Lunghezza stramazzo unitario	75,4	m	Calcolato
Lunghezza stramazzo totale	150,8	m	Calcolato
Q <sub>n<sub>tot</sub></sub> (Portata media nera in tempo secco su base annuale)	185	m <sup>3</sup> /h	Misurato
Q <sub>max, anno</sub> (3Q <sub>n<sub>tot</sub></sub> )	555	m <sup>3</sup> /h	Calcolato
Q <sub>n<sub>est</sub></sub> (Portata media nera in tempo secco nel periodo estivo)	223	m <sup>3</sup> /h	Misurato
Q <sub>max, estiva</sub> (3Q <sub>n<sub>est</sub></sub> )	668	m <sup>3</sup> /h	Calcolato
SST media vasca ossidazione	4,5	kg/m <sup>3</sup>	Misurato
SST media ricircolo	5,7	kg/m <sup>3</sup>	Misurato

Sono stati considerati i seguenti parametri riportati in tabella 16:

- Carico Idraulico Superficiale (CIS): è la portata dell'acqua trattata per unità di superficie del sedimentatore;
- Carico dei solidi: rappresenta la quantità di solidi sospesi che viene trattata per unità di tempo e di area;
- Tempo di detenzione: è il periodo medio di detenzione dell'acqua nel sedimentatore. Questo tempo è fondamentale per consentire ai solidi sospesi di depositarsi sul fondo della vasca, garantendo così un'efficace separazione dai liquidi;
- Carico allo stramazzo: rappresenta la quantità di acqua trattata che trabocca oltre la cresta dello stramazzo stesso per unità di lunghezza dello sfioro.

Tabella 16 – Parametri di funzionamento dei sedimentatori secondari dell'impianto di depurazione di Terrarossa

Parametro	Valore	u.d.m.	Valore di riferimento (*)
CIS a $Q_{n_{tot}}$	0,20	m/h	< 1,6 m/h
CIS a $3Q_{n_{tot}}$	0,61	m/h	< 2,5 m/h
CIS a $Q_{n_{est}}$	0,25	m/h	< 1,6 m/h
CIS a $3Q_{n_{est}}$	0,74	m/h	< 2,5 m/h
Rapporto di ricircolo (**)	3,7		-
Q ricircolo media, anno	676	m <sup>3</sup> /h	-
Q ricircolo media, estate	813	m <sup>3</sup> /h	-
Carico solidi a $Q_{n_{tot}}$	4,3	Kg SST/(m <sup>2</sup> *h)	< 7 kg SST/(m <sup>2</sup> *h)
Carico solidi a $3Q_{n_{tot}}$	6,1	Kg SST/(m <sup>2</sup> *h)	< 9 kg SST/(m <sup>2</sup> *h)
Carico solidi a $Q_{n_{est}}$	5,2	Kg SST/(m <sup>2</sup> *h)	< 7 kg SST/(m <sup>2</sup> *h)
Carico solidi a $3Q_{n_{est}}$	7,4	Kg SST/(m <sup>2</sup> *h)	< 9 kg SST/(m <sup>2</sup> *h)
Tempo di detenzione a $Q_{n_{tot}}$	12,4	h	>3 h
Tempo di detenzione a $3Q_{n_{tot}}$	4,1	h	> 50 min
Tempo di detenzione a $Q_{n_{est}}$	10,3	h	>3 h
Tempo di detenzione a $3Q_{n_{est}}$	3,4	h	> 50 min
Carico allo stramazzo a $Q_{n_{tot}}$	1,2	m <sup>3</sup> /(m*h)	< 5 m <sup>3</sup> /(m*h)
Carico allo stramazzo a $3Q_{n_{tot}}$	3,7	m <sup>3</sup> /(m*h)	< 10 m <sup>3</sup> /(m*h)
Carico allo stramazzo a $Q_{n_{est}}$	1,5	m <sup>3</sup> /(m*h)	< 5 m <sup>3</sup> /(m*h)
Carico allo stramazzo a $3Q_{n_{est}}$	4,4	m <sup>3</sup> /(m*h)	< 10 m <sup>3</sup> /(m*h)

(\*) valore per il corretto funzionamento (da bibliografia)

(\*\*) calcolato in funzione delle concentrazioni medie su base annua di SST in ossidazione e nella linea di ricircolo fanghi

Guardando la tabella 16 e assumendo una ripartizione uniforme della portata trattata fra i sedimentatori, gli stessi sembrano ben dimensionati e privi di criticità. Tutti i parametri analizzati rispettano, infatti, i limiti di riferimento individuati dalla letteratura tecnico-scientifica. Dai valori ricavati la sedimentazione secondaria sarebbe in grado di operare



correttamente fino ad una portata di picco massima pari  $24.000 \text{ m}^3/\text{d}$ , corrispondente alla  $3Q_n$  di  $40.000 \text{ AE}$  (nell'ipotesi di un carico idraulico pro-capite di  $200 \text{ l/ab d}$ ).

Tuttavia, una distribuzione sbilanciata delle portate in ingresso o una parziale ostruzione delle condotte di estrazione dei fanghi sedimentati possono compromettere il loro funzionamento, a prescindere dalle dimensioni.

Anche l'estrazione periodica del fango sedimentato se non svolta con regolarità può comportare un innalzamento del letto di fango e un aumento del tempo di residenza nel sedimentatore. Questo può innescare processi di denitrificazione, con produzione di azoto gassoso e risalita di fango in superficie.

### 7.3 Altre valutazioni sulla funzionalità dell'impianto

L'impianto di depurazione ha dimostrato di avere una capacità idraulica adeguata, in particolare per quanto riguarda la sedimentazione secondaria. È in grado, infatti, di trattare una portata di liquami estivi fino a tre volte la portata nera media estiva ( $3Q_{n_{est}}$ ), calcolata sulla base dei consumi idrici dell'area servita e delle portate effettivamente misurate in ingresso.

Riguardo al comparto biologico, come accennato in premessa, i dati forniti dal gestore rivelano che l'impianto è capace di affrontare anche le condizioni di carico massimo, tipicamente riscontrabili nei mesi estivi. I risultati riguardanti la qualità dell'acqua in uscita evidenziano che i livelli di sostanze inquinanti, quali la sostanza organica, l'azoto e il fosforo, sono ben al di sotto dei limiti normativi, dimostrando l'efficacia del trattamento biologico in atto.

Sulla base di una simulazione modellistica del processo biologico, utilizzando l'approccio dell'International Water Association (IWA) Sludge Model, risulta che il processo biologico è in grado di trattare un carico organico superiore a  $40.000 \text{ AE}$ , confermando quindi largamente il dato di progetto originario.

Per quanto riguarda la quantificazione del carico attualmente in ingresso, analizzando i dati relativi alla concentrazione di COD e alla portata trattata nel periodo compreso tra agosto 2023 e settembre 2024, emergono le seguenti osservazioni:

- COD medio annuo:  $394 \text{ mg/L}$
- COD medio estivo (luglio-agosto):  $369 \text{ mg/L}$
- Portata media annua:  $6.144 \text{ m}^3/\text{d}$
- Portata media estiva:  $7.464 \text{ m}^3/\text{d}$
- Carico organico medio annuo:  $19.000 \text{ AE}$  (considerando  $\text{AE} = 130 \text{ gCOD}/(\text{ab} \cdot \text{d})$ )
- Carico organico estivo:  $22.000 \text{ AE}$  (considerando  $\text{AE} = 130 \text{ gCOD}/(\text{ab} \cdot \text{d})$ )

Pertanto, l'impianto, nella configurazione attuale con le sole linee attive (escludendo quindi la linea "ex biorulli"), dispone di una significativa capacità residua, anche durante i periodi di massimo carico, come la stagione estiva.

Ciò suggerisce la possibilità di gestire eventuali futuri incrementi di carico senza necessità di modifiche strutturali alla configurazione attuale, come la riattivazione della ulteriore linea "ex biorulli", la cui capacità progettuale di trattamento è pari a 20.000 AE, secondo quanto riferito dal Gestore.

Un ulteriore aspetto interessante emerso dall'analisi è l'elevata età del fango, che si attesta su un valore minimo di 45 giorni. Tale durata contribuisce a una stabilizzazione ottimale del fango, garantendo un notevole margine di sicurezza per gestire eventuali sovraccarichi. Inoltre, le basse concentrazioni di inquinanti riscontrate nell'uscita dell'impianto nell'ultimo anno indicano che il processo biologico sta operando in modo efficace. Tuttavia, da un'analisi critica è emerso che il consumo energetico per il trasferimento dell'ossigeno potrebbe risultare eccessivo, suggerendo che una riorganizzazione delle linee di ossidazione in base alla stagionalità dei carichi in ingresso potrebbe portare a un incremento dell'efficienza energetica complessiva dell'impianto.

Va comunque sottolineata la necessità di verificare sul campo la ripartizione dei carichi sulle tre linee biologiche, la gestione dell'estrazione dei fanghi dal fondo dei sedimentatori secondari e le problematiche legate al trattamento finale, come l'utilizzo di ultrascreen che potrebbero risultare sottodimensionati.

La riduzione della salinità delle acque in ingresso, attraverso il controllo delle intrusioni di acque marine nella rete fognaria, insieme all'ottimizzazione del processo biologico, potrebbe diminuire la necessità di interventi specifici per la precipitazione del fosforo, migliorando ulteriormente la qualità dell'effluente. AdF ha infatti osservato che, con l'aumento della conducibilità in ingresso all'impianto, si sono verificati incrementi della concentrazione di fosforo nell'effluente rispetto alla media, pur rimanendo ben entro i limiti normativi di scarico in mare.

Inoltre, nel breve termine, potrebbe essere utile valutare un aumento del volume di compenso delle acque in ingresso all'impianto durante gli eventi meteorici. Come suggerito da AdF, si potrebbe ad esempio riconvertire alcune vasche esistenti non in uso, come i sedimentatori primari, trasformandole in vasche di equalizzazione. Tuttavia, questa decisione deve essere supportata da un'analisi di dettaglio sulla durata degli eventi piovosi di progetto e sulla definizione dei limiti idraulici per le diverse fasi operative.

## 8. CONCLUSIONI

### 8.1 Principali risultati dell'indagine

La gestione delle acque reflue afferenti alla Laguna di Orbetello è molto complessa a causa di una serie di elementi da ricercare nella conformazione delle reti fognarie, fortemente influenzate dai livelli di marea e dalla presenza di un numero elevato di impianti di sollevamento e scaricatori di piena. L'impatto ambientale è sicuramente aumentato dalla scelta della localizzazione del depuratore di Terrarossa all'interno del bacino imbrifero della laguna. Ogni disservizio si ripercuote, quindi, sulla laguna stessa. Tutti questi elementi, imm modificabili da semplici operazioni gestionali, determinano la vulnerabilità del sistema.

Nello studio è stato calcolato, per la prima volta, il bilancio delle diverse tipologie di acque raccolte dalla rete fognaria. Da questo bilancio emerge in modo chiaro la presenza significativa di acque marine, che determinano un innalzamento della conducibilità. Nella relazione è descritto in modo analitico il contributo delle diverse reti, su cui spicca quella di Porto Santo Stefano.

L'analisi dei dati di monitoraggio del funzionamento delle pompe rivela chiaramente che gli ingressi di acque esterne nella rete seguono l'andamento delle maree. Le quote delle soglie di sfioro degli scaricatori di piena, lo stato di conservazione e la conformazione specifica rappresentano elementi cruciali che richiedono approfondimenti mirati. Questi approfondimenti possono essere realizzati anche attraverso simulazioni idrauliche delle reti fognarie, considerando le diverse condizioni al contorno, in particolare le portate dei reflui e i livelli di marea.

Per quanto riguarda il funzionamento degli scaricatori è stato necessario valutare la portata di reflu in cui si ha l'attivazione degli stessi, che dovrebbe avvenire solo per il superamento di un certo multiplo della portata nera di tempo secco ( $Q_n$ ) per garantire un'adeguata diluizione del reflu non trattato. In termini generali questa portata è calcolata come la media, su base annua, delle portate di tempo secco (o tempo asciutto). Nel caso di un'area turistica come quella in esame, il metodo di calcolo della portata nera in tempo secco ( $Q_n$ ) deve essere definito in modo chiaro. In questo studio si è considerata sia una portata nera totale riferita alla media annuale ( $Q_{n_{tot}}$ ), che una portata nera estiva riferita alla media dei mesi di giugno, luglio, agosto e settembre ( $Q_{n_{est}}$ ) in cui si ha la maggiore presenza turistica. La  $Q_{n_{est}}$  è ovviamente maggiore della  $Q_{n_{tot}}$ .

La verifica della portata di innesco degli sfioratori è stata sviluppata nei nodi finali delle reti: alla chiusura della rete di Orbetello (S2A), della rete di Porto Ercole (P12) e in testa all'impianto di depurazione di Terrarossa, dove confluiscono tutte le reti. Nei primi due casi esaminati, la portata di sfioro è largamente superiore a tre volte la  $Q_{n_{est}}$ .

Per quanto riguarda l'impianto di Terrarossa, il comparto di sedimentazione dell'impianto di depurazione è idraulicamente in grado di trattare la  $3Q_{n_{est}}$ . Le condizioni del processo biologico sono in grado di trattare ampiamente i carichi inquinanti in ingresso. Deve però essere valutata la capacità di funzionamento di tutte le sezioni dell'impianto come descritto nel capitolo 7 di questa relazione.

Gli altri sfiori in laguna, presenti nella rete di Orbetello, sono stati caratterizzati quantitativamente come volume complessivo.

Un ulteriore sfioro in laguna può infine essere causato dalle rotture della rete Sud (che adduce i reflui depurati allo scarico finale) e/o il fermo-impianto del depuratore.

È stato quindi esaminato il sistema complessivo, valutando nell'ultimo anno della nuova gestione il numero di eventi che hanno causato lo scarico in laguna. L'impatto sull'ecosistema lagunare è stato analizzato in termini di peggioramento delle condizioni eutrofiche, utilizzando il modello ecologico messo a punto dagli scriventi in collaborazione con la Regione Toscana. Gli effetti rilevati, in termini di ossigeno disciolto e concentrazione di azoto nei sedimenti e nella colonna d'acqua, risultano molto limitati, soprattutto se confrontati con i quantitativi scaricati in laguna da altre fonti. Tuttavia, non si può escludere che, a livello locale, possano verificarsi impatti e disagi nelle vicinanze delle opere di sfioro.

## 8.2 Linee di indirizzo

Sulla base di quanto riportato nel precedente paragrafo si ritiene che possano essere tracciate le seguenti linee di indirizzo generale nella gestione dei reflui, tenendo conto dei vincoli in essere. Va comunque sottolineato come queste indicazioni debbano trovare validazione attraverso specifiche indagini di dettaglio, che esulano dagli scopi di questo studio.

Per ridurre ulteriormente gli scarichi in laguna provenienti dallo sfioro in testa al depuratore, si potrebbe considerare la costruzione di una nuova linea di scarico in mare verso Porto Ercole. Questa soluzione renderebbe l'intero sistema più flessibile, soprattutto in caso di malfunzionamento del depuratore e della rete Sud. Tuttavia, è necessario studiare attentamente i possibili impatti dello scarico in mare e condurre un'analisi costi/benefici. Un vantaggio di questa soluzione è che, durante la fase di costruzione, non influirebbe sul funzionamento attuale.

Gli scaricatori di piena devono essere monitorati, battuti topograficamente e simulati idraulicamente per valutare gli interventi atti a ridurre gli apporti di acque reflue in mare e gli ingressi in rete. All'interno di queste attività potrebbero essere calcolate nel dettaglio le portate di attivazione degli sfiori e i livelli di marea che determinano l'infiltrazione dell'acqua di mare.

Deve essere anche verificato e controllato, come da attività già in corso, il sistema di sfioro in laguna che coinvolge i sollevamenti P8B e P13. In particolare, il sollevamento P13 deve essere in grado di sollevare la  $3Q_{n_{est}}$ .

L'inversione di flusso, soluzione da applicare quando si presentano in disservizio sia il depuratore che la tubazione di scarico (condizione C, secondo AIA) appare una soluzione molto macchinosa e, probabilmente, non collaudata. Andrebbe valutato il costo degli impianti da ripristinare o da completare, le modalità operative di applicazione e l'impatto ambientale del nuovo punto di scarico nell'Albegna anche per evitare possibili reingressi del refluo in laguna tramite il canale di Fibbia. Allo stato attuale delle nostre conoscenze, non ci sono elementi per affermarne la sua applicabilità.

Per quanto riguarda l'impianto di Terrarossa, attestata il corretto dimensionamento dell'impianto rispetto ai carichi attuali (ed a quelli di progetto corrispondenti a 40.000 AE), si ritiene opportuno approfondire, da parte di AdF, il funzionamento idraulico al fine di garantire la trattabilità della  $3Q_{n_{est}}$  anche per tutte le sezioni di trattamento e fra tutti i collegamenti esistenti, non verificate in questo contesto. Deve essere inoltre valutata l'effettiva utilità dell'equalizzazione nella volumetria attuale. Inoltre, la riduzione della salinità in ingresso, insieme ad una migliore messa a punto del processo biologico, potrebbe ridurre la necessità di intervento per la precipitazione del fosforo.

Infine, l'ipotesi di collettare i reflui dei due impianti di depurazione di Ansedonia all'impianto di Terrarossa utilizzando la tubazione esistente è interessante e fattibile dal punto di vista dei carichi inquinanti, visto il margine esistente nel depuratore di Terrarossa. Come già evidenziato, infatti, l'impianto nella sua configurazione attuale dispone di una capacità superiore a 40.000 AE (valore di progetto) e opera al di sotto di tale limite, anche nei periodi di massimo carico come la stagione estiva. Rimangono invece da valutare i carichi idraulici, in relazione a quanto sopra già evidenziato. Nella predisposizione del progetto dovranno comunque essere considerate le problematiche connesse con il funzionamento dei sollevamenti e quello dei possibili scaricatori di piena che una rete aggiuntiva potrebbe determinare.