

	PROGETTISTA  TechnipFMC	COMMESSA NR/17350	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONI EMILIA ROMAGNA – MARCHE	RE-AMB-401	
	PROGETTO / IMPIANTO RIFACIMENTO MET. RAVENNA – CHIETI, TRATTO RAVENNA – JESI DN 650 (26'') DP – 75 bar ED OPERE CONNESSE	Pag. 1 di 20	Rev. 0

Rif. TPIDL: 07367C-031-RT-3220-418

**RIFACIMENTO MET. RAVENNA – CHIETI,
TRATTO RAVENNA – JESI DN 650 (26'') DP – 75 bar
ED OPERE CONNESSE**

STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE

**APPROFONDIMENTI TEMATICI RELATIVI ALLA RICHIESTA MATTM
PROT. DVA N. 025243 DEL 09.11.2018**

**Approfondimenti tematici
Nota CTVA del 19/10/2018
Vol. 2 di 3**

**Annesso F
RILASCIO DEL FERRO NEL TERRENO E NELLA FALDA**



0	Emissione per Enti	G. FERRO	L. D'ANDREA W. BAMBARA	R. BOZZINI G. GIOVANNINI	22-05-2019
Rev.	Descrizione	Elaborato	Verificato	Approvato Autorizzato	Data

	PROGETTISTA  TechnipFMC	COMMESSA NR/17350	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONI EMILIA ROMAGNA – MARCHE	RE-AMB-401	
	PROGETTO / IMPIANTO RIFACIMENTO MET. RAVENNA – CHIETI, TRATTO RAVENNA – JESI DN 650 (26'') DP – 75 bar ED OPERE CONNESSE	Pag. 2 di 20	Rev. 0

Rif. TPIDL: 07367C-031-RT-3220-418

INDICE

1	PREMESSA	3
2	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	5
3	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	6
4	METODOLOGIA DI ANALISI	8
4.1	METODOLOGIA DI ANALISI - GENERALITÀ	8
4.2	METODOLOGIA DI ANALISI – FASE 1	11
4.3	METODOLOGIA DI ANALISI – FASE 2	14
5	CONCLUSIONI	19

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/17350	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONI EMILIA ROMAGNA – MARCHE	RE-AMB-401	
	PROGETTO / IMPIANTO RIFACIMENTO MET. RAVENNA – CHIETI, TRATTO RAVENNA – JESI DN 650 (26") DP – 75 bar ED OPERE CONNESSE	Pag. 3 di 20	Rev. 0

Rif. TPIDL: 07367C-031-RT-3220-418

1 PREMESSA

La presente relazione, redatta in ottemperanza alla richiesta di integrazioni del MATTM prot. I.0023519 del 19/10/2018 – *“Istruttoria VIA – Rifacimento metanodotto Ravenna-Chieti, tratto Ravenna-Jesi ed opere connesse”*, costituisce l’approfondimento tecnico circa la potenziale dispersione di ferro nei sistemi acquiferi dai tratti del metanodotto che non saranno rimossi nell’ambito della dismissione, e che saranno sottoposti a taglio e successiva inertizzazione.

In particolare, il documento MATTM, al punto 16, comma 7, prescrive di: *“Approfondire la valutazione degli impatti sulle falde idriche freatiche in corrispondenza dei tratti delle condotte esistenti da dismettere che saranno lasciati in posto e inertizzati, in particolare in presenza di terreni permeabili, dovuti agli effetti degli eventuali rilasci di ferro e dispersione nella falda a seguito dei processi di degradazione e corrosione delle tubazioni metalliche”*.

Tali tratti sono ubicati in corrispondenza di attraversamenti di infrastrutture stradali e/o canali/fossi ed in genere, costituiti da spezzoni di tubo di lunghezza trascurabile (dell’ordine della decina di metri) e, pertanto, costituiscono, nel contesto dell’area vasta, una sorgente di ferro del tutto trascurabile.

Tuttavia, diverso è il caso di un tratto di circa due chilometri situato sul confine che intercorre tra gli adiacenti SIC-ZPS IT4070009 “Ortazzo, Ortazzino, Foce del Torrente Bevano” e ZSC-ZPS IT4070010 “Pineta di Classe” (vedi Figura 1).

Nell’ambito delle ottimizzazioni del progetto, il tratto in dismissione, oggetto del presente studio, non sarà rimosso ma verrà inertizzato (con l’impiego di idonei conglomerati cementizi a bassa resistenza meccanica o con idonee miscele bentonitiche in entrambi i casi adeguatamente additivate) al fine di ridurre le interferenze che le normali attività di rimozione della linea, potrebbero provocare sugli habitat presenti all’interno dei due siti sopra citati.

La non trascurabile lunghezza dello spezzone di tubo e la presenza delle due zone di elevato valore naturalistico suggerisce di effettuare un’analisi approfondita delle implicazioni ambientali connesse al permanere del tubo, anche in presenza di terreni poco permeabili. Lo studio condotto prende quindi in considerazione questo tratto, della lunghezza di circa 2 km.

Alla luce di quanto sopra, il presente documento è articolato nei seguenti capitoli:

- Capitolo 2 Inquadramento geologico dell’area
- Capitolo 3 Inquadramento idrogeologico dell’area
- Capitolo 4 Metodologia di analisi e valutazioni
- Capitolo 5 Conclusioni

	PROGETTISTA  TechnipFMC	COMMESSA NR/17350	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONI EMILIA ROMAGNA – MARCHE	RE-AMB-401	
	PROGETTO / IMPIANTO RIFACIMENTO MET. RAVENNA – CHIETI, TRATTO RAVENNA – JESI DN 650 (26'') DP – 75 bar ED OPERE CONNESSE	Pag. 4 di 20	Rev. 0

Rif. TPIDL: 07367C-031-RT-3220-418

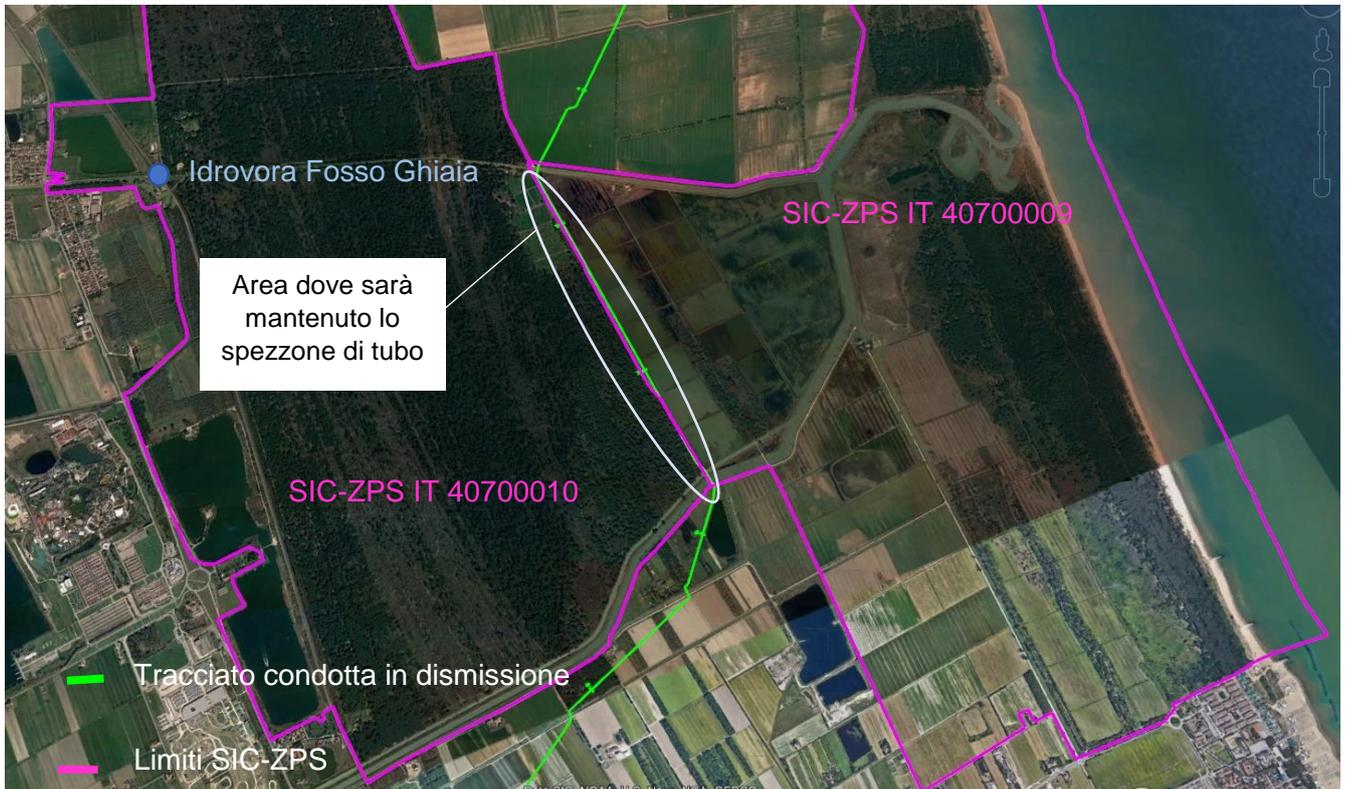


Figura 1: Area di interesse.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/17350	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONI EMILIA ROMAGNA – MARCHE	RE-AMB-401	
	PROGETTO / IMPIANTO RIFACIMENTO MET. RAVENNA – CHIETI, TRATTO RAVENNA – JESI DN 650 (26'') DP – 75 bar ED OPERE CONNESSE	Pag. 5 di 20	Rev. 0

Rif. TPIDL: 07367C-031-RT-3220-418

2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Il tratto di tubazione oggetto del presente studio si trova ricompreso tra il Fosso Ghiaia (a Nord) e il Torrente Bevano (a Sud) ed attraversa l'area paludosa di Ortazzo, che si estende verso Est per circa 1.200 metri. La linea di costa si trova a circa 2.500 metri, sempre a Est del tracciato. Ad Ovest si estende un vasto appezzamento occupato da una pineta.

Dal punto di vista geomorfologico, l'area rientra nell'ambito costiero del ravennate, che è pianeggiante e con quote comprese tra -2 e 5 metri s.l.m.. La zona è soggetta al fenomeno della subsidenza, spesso accentuata dall'emungimento di acqua dal sottosuolo.

I materiali presenti negli strati affioranti, il cui spessore non supera mai i 20-25 metri, sono ascrivibili al Subsistema di Ravenna (AES₈). In prossimità della costa, tale unità risente degli effetti erosivi operati dall'azione del mare (terrazze e scarpate di erosione) e viene inquadrata come AES_{8a}.

La fascia costiera ha origine prettamente deposizionale in ambiente di interfaccia marino-costiero, con alternanza di cordoni sabbiosi di litorale e dune (tipicamente paralleli alla linea di costa) e intervalli di materiale fine di origine fluviale ed alluvionale e depositi tipici di ambienti paludoso-salmastri.

La zona in oggetto ricade in prossimità di una zona di interfaccia tra materiali fini (limi e argille) che costituiscono il substrato presente nell'area paludosa di Ortazzo e materiali più sabbiosi, che, invece, costituiscono il substrato al di sotto della Pineta di Classe.

Più all'interno, ad Ovest della Pineta di Classe, poco a monte dell'idrovora di Fosso Ghiaia, i depositi sabbiosi lasciano nuovamente spazio a strati di materiali fini, costituiti da argille e limi.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/17350	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONI EMILIA ROMAGNA – MARCHE	RE-AMB-401	
	PROGETTO / IMPIANTO RIFACIMENTO MET. RAVENNA – CHIETI, TRATTO RAVENNA – JESI DN 650 (26") DP – 75 bar ED OPERE CONNESSE	Pag. 6 di 20	Rev. 0

Rif. TPIDL: 07367C-031-RT-3220-418

3 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

La zona di interesse ricade all'interno del sistema noto come "Complesso Idrogeologico della Pianura Deltizia Padana" che, a macroscale, è costituito da livelli di sabbie alternate a depositi fini caratterizzati da scarsa circolazione idrica, strettamente legata al rapporto idrico con il fiume Po. Il sistema acquifero risulta compartimentato e costituito da acquiferi perlopiù confinati.

La zona del ravennate è riferibile al contesto di pianura, dove gli acquiferi di maggior potenza sono continui e confinati. In Figura 2 si riporta un estratto della Tavola B.2.2.a "Carta delle Isofreatiche" del PSC del Comune di Ravenna, con indicazione del tracciato della tubazione, che riporta l'assetto della circolazione idrica sotterranea.

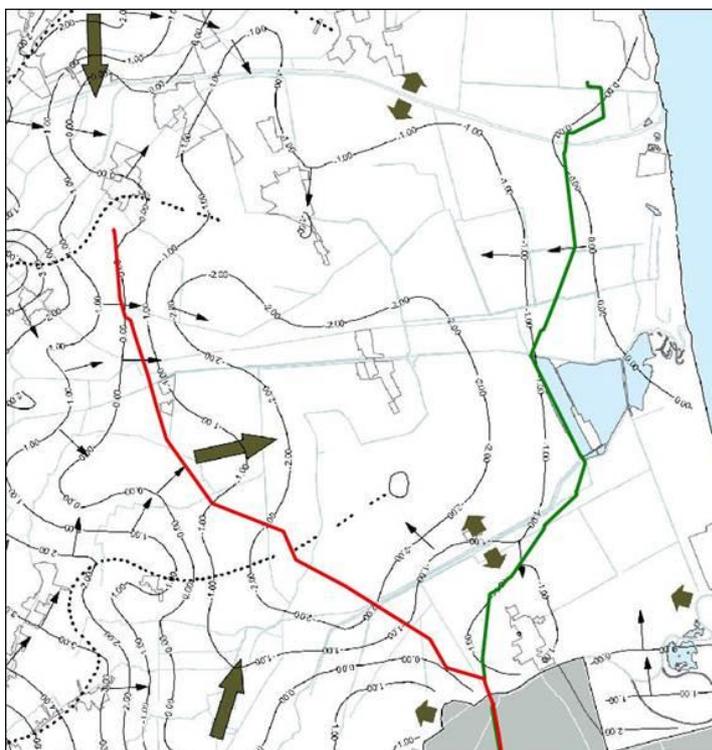


Figura 2: Regime piezometrico (Stralcio Tav. B.2.2.a "Carta delle Isofreatiche" PSC Comune Ravenna).

Come si evince dall'esame della Figura 2, le isopieze descrivono una situazione in cui la circolazione avviene, nella zona di interesse, da Est verso Ovest, dal mare verso l'entroterra. I livelli idrici si collocano tra circa il livello del mare e 1 metri s.l.m. Poco a monte dell'area, ad una distanza di circa 1.200 metri, la quota della falda è dell'ordine di -2 metri s.l.m. Appare evidente che la dinamica della falda descritta nella carta delle isofreatiche presuppone un effetto di richiamo verso un punto di "pozzo" localizzato in un areale posto circa due chilometri ad Ovest dell'area, come si deduce dalla simmetria semi-radiale delle isopieze. Tale situazione è credibilmente correlabile alla presenza

	PROGETTISTA  TechnipFMC	COMMESSA NR/17350	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONI EMILIA ROMAGNA – MARCHE	RE-AMB-401	
	PROGETTO / IMPIANTO RIFACIMENTO MET. RAVENNA – CHIETI, TRATTO RAVENNA – JESI DN 650 (26'') DP – 75 bar ED OPERE CONNESSE	Pag. 7 di 20	Rev. 0

Rif. TPIDL: 07367C-031-RT-3220-418

dell'articolato sistema di canali di drenaggio e di bonifica idraulica e, soprattutto, con l'azione dell'impianto idrovorora di Fosso Ghiaia, che è in grado di estrarre e convogliare a mare ingenti quantitativi d'acqua, in ragione della capacità estrattiva di picco pari a 13 metri cubi al secondo (dato fornito da Consorzio di Bonifica). Per quanto l'idrovora non sia propriamente un pozzo, è innegabile l'effetto di richiamo che esercita sull'acquifero circostante, a causa della continuità che sussiste tra sistema idrico di superficie e sistema idrico sotterraneo, in particolar modo in un contesto, come quello in esame, dove la quota del piano campagna approssima (o è pure inferiore) al livello medio del mare.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/17350	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONI EMILIA ROMAGNA – MARCHE	RE-AMB-401	
	PROGETTO / IMPIANTO RIFACIMENTO MET. RAVENNA – CHIETI, TRATTO RAVENNA – JESI DN 650 (26") DP – 75 bar ED OPERE CONNESSE	Pag. 8 di 20	Rev. 0

Rif. TPIDL: 07367C-031-RT-3220-418

4 METODOLOGIA DI ANALISI

4.1 Metodologia di analisi - Generalità

Il problema del rilascio di ferro in falda dalle pareti dello spezzone di tubo che resterà in pristino, previo taglio ed inertizzazione, deve necessariamente tenere conto dei seguenti aspetti:

- A) individuazione di un “punto di conformità” (che rappresenta la posizione di un elemento sensibile all’eventuale aumento della concentrazione del ferro in falda) e valutazione degli impatti causati in tale punto a seguito dei fattori descritti ai punti seguenti;
- B) degradazione del rivestimento della tubazione costituito da miscela bituminosa che, finchè integro, impedisce il contatto delle pareti metalliche del tubo con l’ambiente circostante;
- C) degradazione delle pareti metalliche del tubo con rilascio di particelle di ferro che diventano potenzialmente disponibili per i meccanismi di trasporto nel sottosuolo;
- D) partizione delle particelle di ferro tra fase solida e fase liquida;
- E) migrazione delle particelle di ferro nella fase liquida in ragione del deflusso idrico sotterraneo.

Con riferimento al punto A) si ritiene che il punto di conformità più rappresentativo sia costituito dall’idrovora di Fosso Ghiaia (posta circa a 2 chilometri di distanza dalla tubazione, verso Ovest) poiché non è nota la presenza di pozzi ad uso idropotabile più vicini a valle idraulica (cioè ad Ovest del tracciato del tubo) e la captazione delle acque fa sì che l’eventuale ferro presente sia poi potenzialmente immesso nel reticolo idrico superficiale, che può essere considerato un ecosistema sensibile, poiché l’idrovora scarica le acque nel canale di scolo che poi confluisce nel torrente Beveno, all’interno della zona di interesse naturalistico.

Con riferimento al punto B) occorre considerare che la degradazione della copertura è un fenomeno estremamente lento proprio per la composizione chimica dei materiali (miscela bituminosa) che la compongono. Infatti, tali materiali sono praticamente insolubili in acqua e non sono attaccati in maniera significativa dai microorganismi. Dati di letteratura (in particolare vedi “Durability of bituminous geomembrane water proofing works. 57th Canadian Geotechnical Conference”) indicano ratei di decadimento di tali coperture dell’ordine di 5 micron all’anno. Alla luce di quanto sopra, si ha che la copertura esterna del tubo può perdurare per tempi lunghissimi, anche dell’ordine del migliaio di anni.

Con riferimento al punto C), nell’ipotesi di assenza di copertura o dopo che questa sia stata degradata, le pareti metalliche esposte all’ambiente circostante subiscono una degradazione generalizzata per corrosione. La corrosione dipende da natura e composizione del terreno, presenza di acqua e presenza di specie batteriche (in particolare ceppi solfato-riduttori). In letteratura (US National Bureau of Standards,

	PROGETTISTA  TechnipFMC	COMMESSA NR/17350	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONI EMILIA ROMAGNA – MARCHE	RE-AMB-401	
	PROGETTO / IMPIANTO RIFACIMENTO MET. RAVENNA – CHIETI, TRATTO RAVENNA – JESI DN 650 (26'') DP – 75 bar ED OPERE CONNESSE	Pag. 9 di 20	Rev. 0

Rif. TPIDL: 07367C-031-RT-3220-418

BISRA [UK], National Physical Laboratory [UK]) sono riportati diversi valori del rateo di degradazione delle strutture metalliche nel terreno che, nel caso di erosione generalizzata, portano a ritenere una buona stima, in assenza di dati specifici, il valore di 0,05 millimetri per anno. Sotto tale ipotesi, la completa degradazione del tubo richiederebbe un lasso di tempo dell'ordine di circa 220 anni. Alla completa degradazione del tubo, tutto il ferro presente sarebbe potenzialmente disponibile ad essere mobilitato dal moto di filtrazione. Chiaramente, essendo la degradazione un processo progressivo, una quota di ferro, più o meno significativa in funzione del regime idrogeologico vigente, risulterebbe già mobilitata negli anni precedenti.

Con riferimento al punto C), si ritiene che il meccanismo di partizione tra fase solida e fase liquida possa essere rappresentato tramite il coefficiente di partizione K_d , che rappresenta il rapporto tra la concentrazione di ferro nella fase solida e nella fase liquida, in condizioni di equilibrio.

Il punto D) implica la modellazione dei meccanismi di trasporto in falda del ferro, che si trova nella fase liquida in prossimità della sorgente (il tubo), fino al punto di conformità.

Alla luce di quanto sopra e di quanto riportato nei precedenti capitoli, l'analisi è stata strutturata in due fasi successive:

- Fase 1: modellazione della corrosione del tubo in ambiente completamente saturo (nell'ipotesi di assenza o avvenuta totale degradazione della copertura esterna del tubo), finalizzata al calcolo della concentrazione in falda nell'intorno del tubo (volume di controllo), che costituisce l'input della fase successiva della modellazione;
- Fase 2: modellazione del trasporto in falda del ferro disciolto nel volume di controllo, situato in terreno completamente saturo, al fine di calcolare, in condizioni adeguatamente cautelative, la concentrazione di ferro attesa nel punto di conformità e di valutare l'evoluzione nel tempo del profilo della concentrazione lungo l'asse del moto.

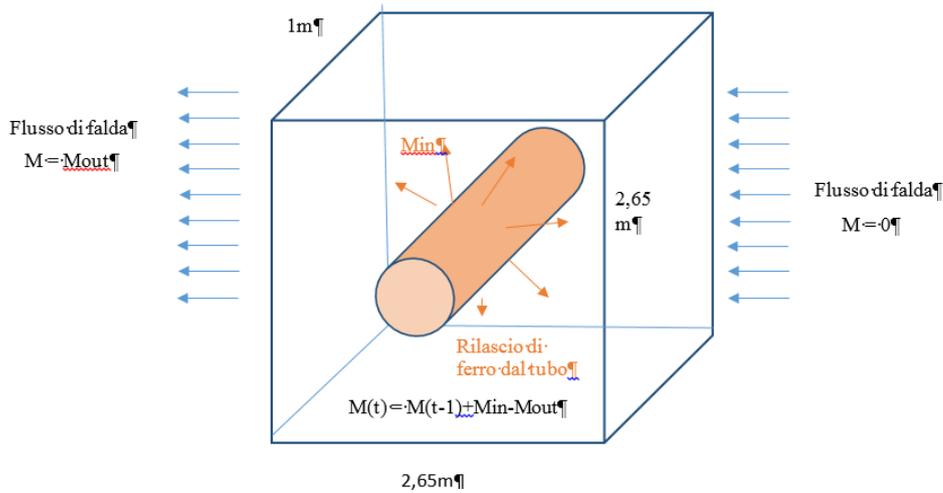
In Figura 3 è riportato il modello concettuale utilizzato per i calcoli sia di Fase 1 che di Fase 2.

Si precisa, che, in via cautelativa, sono stati trascurati i meccanismi di attenuazione per biodegradazione.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/17350	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONI EMILIA ROMAGNA – MARCHE	RE-AMB-401	
	PROGETTO / IMPIANTO RIFACIMENTO MET. RAVENNA – CHIETI, TRATTO RAVENNA – JESI DN 650 (26") DP – 75 bar ED OPERE CONNESSE	Pag. 10 di 20	Rev. 0

Rif. TPIDL: 07367C-031-RT-3220-418

MODELLO CONCETTUALE PER IL BILANCIO DEL FERRO NE VOLUME DI CONTROLLO – FASE 1



MODELLO CONCETTUALE PER IL TRASPORTO IN FALDA DEL FERRO DISCIOLTO ALLA SORGENTE – FASE 2

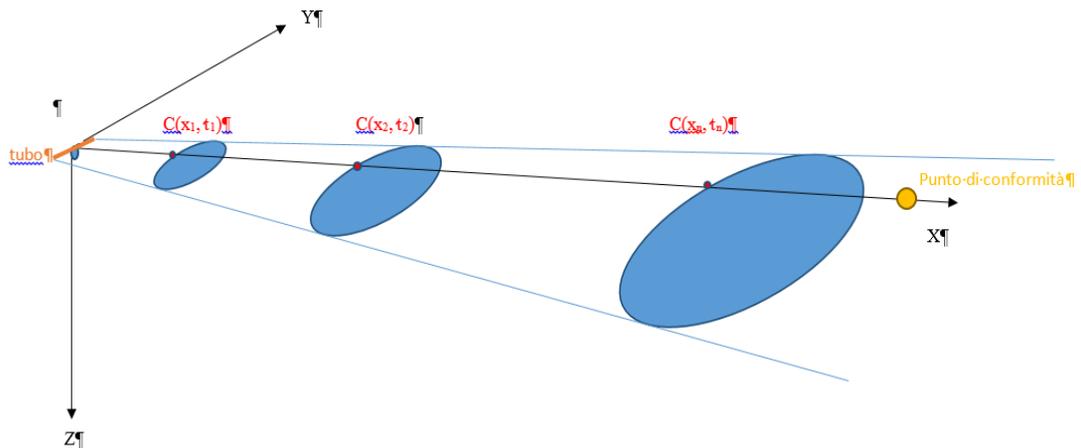


Figura 3: Modello concettuale.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/17350	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONI EMILIA ROMAGNA – MARCHE	RE-AMB-401	
	PROGETTO / IMPIANTO RIFACIMENTO MET. RAVENNA – CHIETI, TRATTO RAVENNA – JESI DN 650 (26") DP – 75 bar ED OPERE CONNESSE	Pag. 11 di 20	Rev. 0

Rif. TPIDL: 07367C-031-RT-3220-418

4.2 Metodologia di analisi – Fase 1

La modellazione della corrosione del tubo è stata effettuata definendo un volume di controllo centrato sull'asse del tubo e di dimensioni 2,65x2,65 metri¹ nel piano secante il tubo e di lunghezza unitaria lungo l'asse (quindi 2,65x2,65x1 metri), escluso il volume occupato dal tubo stesso, che non può essere considerato terreno dal momento che l'interno del tubo sarà inertizzato. Come ipotesi semplificativa si assume che all'interno del volume di controllo sia sempre e costantemente verificata la condizione di perfetta miscelazione.

Per quanto detto nei capitoli precedenti, il tubo si trova all'interno di depositi alluvionali fini (limi ed argille) e la direzione di deflusso della falda è ortogonale all'asse dello spezzone di tubo, che ha lunghezza pari a 1.995 metri. I dati significativi per l'analisi sono i seguenti:

- rateo di corrosione del tubo $r_c = 0,005 \frac{mm}{anno}$ (vedi Paragrafo 4.1);
- spessore della parete del tubo $\delta = 11,1 \text{ mm}$ (valore reale);
- diametro tubo $D = 650 \text{ mm}$ (valore reale);
- peso specifico ferro $\gamma_{Fe} = 7.880 \text{ kg/mc}$;
- peso specifico terreno $\gamma_s = 1.700 \text{ kg/mc}$;
- coefficiente di partizione del ferro solido/liquido $K_d = 25 \frac{l}{kg}$ (valore riportato nel Database ISS-INAIL per le proprietà chimico-fisiche e tossicologiche delle sostanze);
- permeabilità dell'acquifero $k = 10^{-6} \text{ m/s}$ (valore tipico per limi e altri materiali fini);
- gradiente idraulico $i = 10^{-3}$ (come desumibile dalla piezometria in Figura 2);
- velocità della falda $q = k \cdot i = 0,0315 \text{ m/anno}$;

Sulla base dei dati di cui sopra è immediato calcolare le seguenti grandezze:

- volume di ferro rilasciato dal tubo ogni anno $V_{Fe} = \pi \cdot D \cdot r_c = 0,000102 \text{ mc}$;
- massa di ferro rilasciata nel suolo ogni anno $M_{Fe} = \gamma_{Fe} \cdot V_{Fe} = 0,805 \text{ kg}$;

¹ Ossia, pari al diametro del tubo esteso di un ulteriore metro su entrambi i lati.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/17350	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONI EMILIA ROMAGNA – MARCHE	RE-AMB-401	
	PROGETTO / IMPIANTO RIFACIMENTO MET. RAVENNA – CHIETI, TRATTO RAVENNA – JESI DN 650 (26") DP – 75 bar ED OPERE CONNESSE	Pag. 12 di 20	Rev. 0

Rif. TPIDL: 07367C-031-RT-3220-418

Una volta determinate le grandezze di cui sopra si può valutare l'evoluzione nel tempo della massa del ferro nel volume di controllo mediante la seguente equazione di bilancio:

$$M_{Fe}(t) = M_{Fe}(t - 1) + M_{Fe}^{in} - M_{Fe}^{out}$$

dove:

$M_{Fe}(t)$ è la massa di ferro presente nel volume di controllo al tempo t (come ipotesi semplificativa si assume che il rilascio del ferro avvenga solo per corrosione del tubo e che il ferro libero si trovi, all'inizio, interamente adeso alla fase solida del suolo)

$M_{Fe}(t - 1)$ è la massa di ferro presente nel volume di controllo al tempo $t - 1$

t (con $t \geq 0$ e intero positivo) è il tempo misurato in maniera discreta (anni)

M_{Fe}^{in} è la massa di ferro "entrata" nel volume di controllo tra $t - 1$ e t , che coincide con M_{Fe} in quanto rappresenta la massa di ferro rilasciata in un anno nel volume di controllo dal tubo

M_{Fe}^{out} è la massa di ferro "uscita" dal volume di controllo tra $t - 1$ e t , che rappresenta la massa di ferro passata in fase liquida ed allontanata dal volume di controllo a causa del deflusso della falda (come ipotesi semplificativa si assume che la falda a monte idraulico abbia concentrazione di ferro nulla).

Il calcolo di M_{Fe}^{out} è possibile, per ogni istante t , solo dopo aver effettuato il calcolo della concentrazione in falda $C_{Fe}^f(t)$ a partire dalla concentrazione nel suolo $C_{Fe}^s(t)$. La concentrazione nel suolo è semplicemente il rapporto tra la massa di ferro e la massa di suolo nel volume di controllo, quindi:

$$C_{Fe}^s(t) = \frac{M_{Fe}(t)}{\gamma_s \cdot V_c}$$

La concentrazione di ferro in falda, sotto l'ipotesi di partizione all'equilibrio e trascurando, cautelativamente, eventuali effetti di saturazione delle acque di falda², è data da:

$$C_{Fe}^f(t) = \frac{C_{Fe}^s(t)}{K_d}$$

Determinata la concentrazione in falda, la massa di ferro allontanata nell'intervallo di tempo tra $t - 1$ e t è data da:

² Quindi, assumendo che la falda possa ricevere in soluzione un quantitativo illimitato di ferro.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/17350	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONI EMILIA ROMAGNA – MARCHE	RE-AMB-401	
	PROGETTO / IMPIANTO RIFACIMENTO MET. RAVENNA – CHIETI, TRATTO RAVENNA – JESI DN 650 (26'') DP – 75 bar ED OPERE CONNESSE	Pag. 13 di 20	Rev. 0

Rif. TPIDL: 07367C-031-RT-3220-418

$$M_{Fe}^{out} = A \cdot q \cdot C_{Fe}^f(t)$$

dove A è l'area del volume di controllo trasversale al flusso di falda (2,65 metri quadrati).

In Figura 4 è riportato l'andamento della concentrazione nei suoli ed in falda per l'intervallo di tempo, pari a 220 anni, necessario alla completa corrosione del tubo, calcolato con la metodologia di cui sopra. Come si può notare, nel volume di controllo il valore massimo della concentrazione (sia nei suoli che nella falda) si ha nel momento in cui tutto il ferro risulta libero ($t=220$ anni), con valori pari a circa 15.075 mg/kg nei suoli e 603 mg/l nella falda. Tale fatto è, del resto, coerente con l'effetto combinato della bassa permeabilità dei terreni considerati e del debole gradiente idraulico, che fa sì che il meccanismo di eluizione dovuto al flusso di falda sia poco significativo. Di conseguenza, il ferro, nel volume di controllo, si accumula nella fase solida e nella fase liquida (a causa del continuo apporto di nuovo ferro libero e della successiva migrazione nella fase liquida di una parte di questo) molto più velocemente di quanto venga allontanato, in fase liquida, dal volume di controllo³. Inoltre, l'andamento pseudo-lineare crescente delle concentrazioni di ferro in falda e nel suolo è un altro chiaro indicatore della situazione sopra descritta: infatti, se il meccanismo di rimozione idraulica dovuto alla falda fosse più efficiente, le concentrazioni del ferro nel suolo e nella falda tenderebbero a raggiungere valori asintotici, che sarebbero indicatori di un equilibrio tra ferro immesso e ferro rimosso dal volume di controllo.

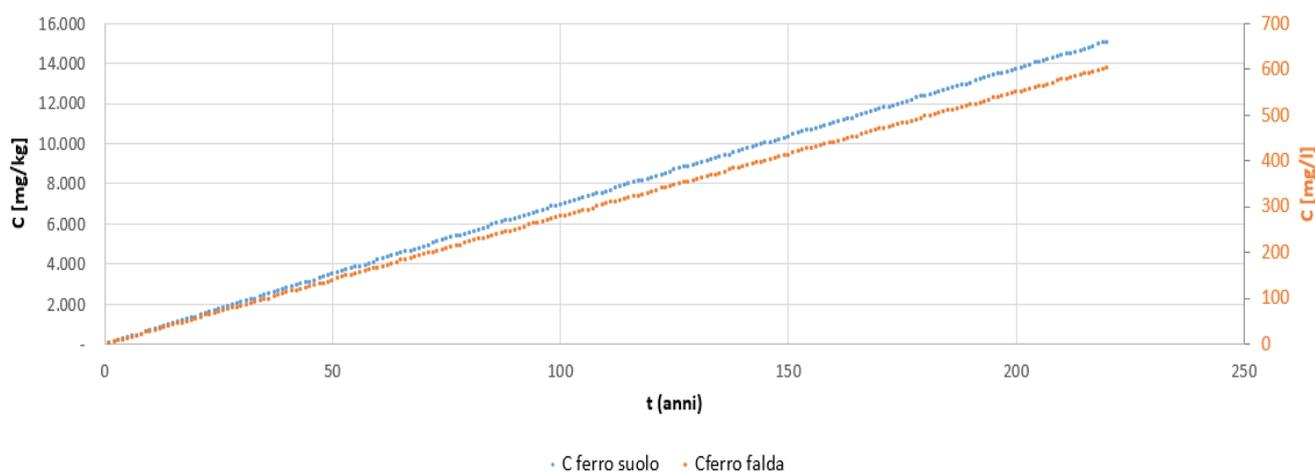


Figura 4: concentrazione ferro in falda e nel suolo nel volume di controllo – Fase 1.

³ A riprova della scarsa capacità di eluizione della falda, è facile calcolare che in 220 anni la falda percorre una distanza di poco inferiore a sette metri.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/17350	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONI EMILIA ROMAGNA – MARCHE	RE-AMB-401	
	PROGETTO / IMPIANTO RIFACIMENTO MET. RAVENNA – CHIETI, TRATTO RAVENNA – JESI DN 650 (26") DP – 75 bar ED OPERE CONNESSE	Pag. 14 di 20	Rev. 0

Rif. TPIDL: 07367C-031-RT-3220-418

4.3 Metodologia di analisi – Fase 2

La Fase 2 dell'analisi riguarda essenzialmente la modellazione del trasporto in falda del ferro disciolto, tra il punto di origine e il punto di conformità, in terreni a natura prevalentemente sabbiosa. Alla luce di quanto riportato nel Paragrafo 4.2, appare evidente che l'istante più significativo per definire la concentrazione nella sorgente è, nel caso specifico, quello per $t=220$ anni. Infatti, tale istante individua le condizioni per cui sono massime le concentrazioni nella falda all'interno del volume di controllo. Inoltre, va rilevato che per tempi superiori a 220 anni, non esistendo più alcun apporto di nuovo ferro (per la completa corrosione del tubo) si avrebbe una graduale diminuzione della concentrazione nel suolo (e, di conseguenza, anche nella falda) a causa della progressiva eluizione del suolo da parte del flusso di falda. Ne consegue che la concentrazione di ferro in falda nel volume di controllo per $t=220$ anni costituisce il valore di massimo assoluto.

Alla luce di quanto sopra, si è modellata la migrazione del ferro dalla sorgente al punto di conformità (l'idrovora di Fosso Ghiaia), considerando i filetti fluidi paralleli fra loro ed allineati lungo la congiungente i due punti (vedi Figura 3). Con tali ipotesi è possibile calcolare il valore della concentrazione al punto di conformità sia in condizioni stazionarie che in regime transitorio, tenendo conto degli effetti dispersivi laterali, che producono un'attenuazione naturale delle concentrazioni lungo la direzione del moto.

I calcoli sono stati effettuati con il software Risknet 3.0, che permette di simulare l'evoluzione della piuma di contaminazione lungo l'asse del moto sia al variare del tempo che in condizioni stazionarie.

I dati di input significativi per la modellazione sono i seguenti:

- lunghezza della sorgente in direzione parallela alla direzione della falda: 10 metri (tale valore, cautelativo, tiene conto dell'ampiezza del volume di controllo nella direzione del flusso [circa 3 metri] e della distanza percorsa dalla falda in 220 anni [circa 7 metri]);
- lunghezza della sorgente in direzione ortogonale alla direzione della falda: 2.000 metri (lunghezza approssimata dello spezzone di tubo);
- rateo di pioggia annuale: 800 millimetri (valore tipico per l'area del ravennate);
- gradiente idraulico: 0,001;
- porosità efficace nel saturo: 0,385 (valore di default per terreni sabbiosi);
- conducibilità idraulica: 0,0001 m/s (valore tipico per le sabbie);
- spessore dell'acquifero: 15 metri (valore coerente con l'assetto geologico della zona e, comunque, sufficientemente cautelativo, in quanto valori elevati porterebbero, nei calcoli, ad una maggiore diluizione delle concentrazioni);

	PROGETTISTA  TechnipFMC	COMMESSA NR/17350	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONI EMILIA ROMAGNA – MARCHE	RE-AMB-401	
	PROGETTO / IMPIANTO RIFACIMENTO MET. RAVENNA – CHIETI, TRATTO RAVENNA – JESI DN 650 (26") DP – 75 bar ED OPERE CONNESSE	Pag. 15 di 20	Rev. 0

Rif. TPIDL: 07367C-031-RT-3220-418

- distanza del punto di conformità dalla sorgente: 2.000 metri (distanza dell'idrovora Fosso Ghiaia dal tubo);
- concentrazione di ferro alla sorgente: 603 mg/l (con l'ipotesi di omogenea miscelazione nella sorgente).

In Figura 5 sono riportati i profili di concentrazione⁴ lungo la linea congiungente la sorgente e il punto di conformità per t=1.000, 2.000, 10.000, 14.000, 30.000 e 70.000 anni, dove l'istante iniziale della simulazione è fissato nel momento in cui si ha la completa corrosione del tubo che, per quanto detto, corrisponde a circa 1.220 anni a partire dal momento in cui il tubo sarà lasciato in pristino. Come si può notare dall'esame di tale figura, la dinamica della diffusione è estremamente lenta, infatti:

- dopo 1.000 anni il "plume" di contaminazione non ha ancora raggiunto il punto di conformità e si trova circa a metà del percorso;
- dopo 2.000 anni il "plume" di contaminazione raggiunge per la prima volta, con concentrazioni irrilevanti (dell'ordine 10^{-14} mg/l), il punto di conformità;
- dopo 10.000 anni la concentrazione al punto di conformità è dell'ordine di 10^{-2} mg/l;
- dopo 14.000 anni la concentrazione al punto di conformità approssima il valore della CSC, pari a 0,2 mg/l;
- dopo 30.000 anni la concentrazione al punto di conformità è dell'ordine di 2 mg/l e il profilo di concentrazione incomincia ad approssimare la curva stazionaria;

a partire da 70.000 anni il profilo della concentrazione risulta sovrapponibile con la curva stazionaria, che prevede una concentrazione pari a 3,23 mg/l nel punto di conformità ed è invariante nel tempo.

⁴ L'asse della concentrazione è in scala logaritmica.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/17350	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONI EMILIA ROMAGNA – MARCHE	RE-AMB-401	
	PROGETTO / IMPIANTO RIFACIMENTO MET. RAVENNA – CHIETI, TRATTO RAVENNA – JESI DN 650 (26'') DP – 75 bar ED OPERE CONNESSE	Pag. 16 di 20	Rev. 0

Rif. TPIDL: 07367C-031-RT-3220-418

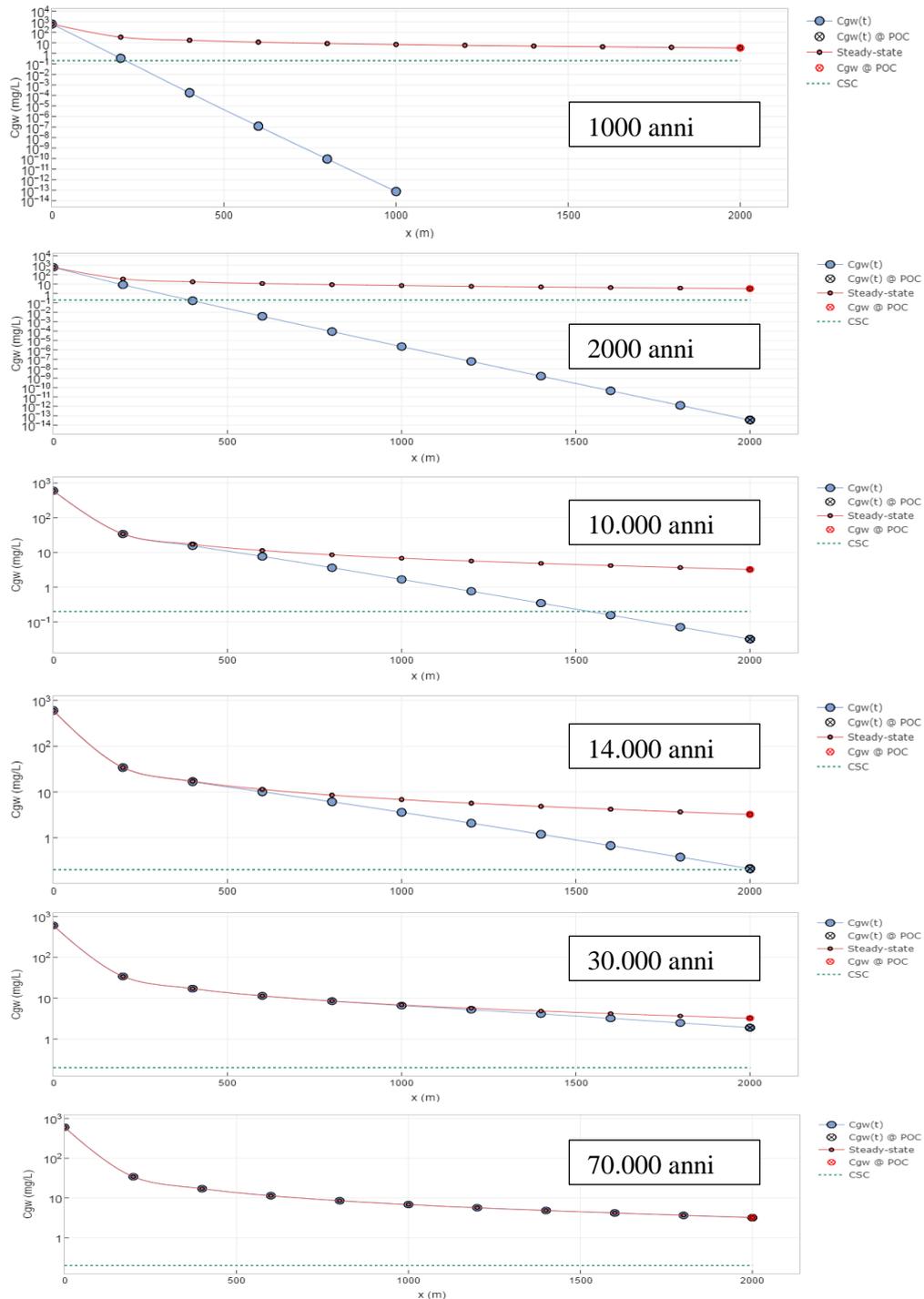


Figura 5: Profili di concentrazione del ferro lungo l'asse di filtrazione (n.b.: la simulazione ha inizio nell'istante in cui si raggiunge la completa corrosione del tubo, quindi non è conteggiato in Figura il tempo necessario alla degradazione della copertura ed alla corrosione del tubo, che ammonta, in totale, a circa 1.220 anni).

	PROGETTISTA  TechnipFMC	COMMESSA NR/17350	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONI EMILIA ROMAGNA – MARCHE	RE-AMB-401	
	PROGETTO / IMPIANTO RIFACIMENTO MET. RAVENNA – CHIETI, TRATTO RAVENNA – JESI DN 650 (26'') DP – 75 bar ED OPERE CONNESSE	Pag. 17 di 20	Rev. 0

Rif. TPIDL: 07367C-031-RT-3220-418

In considerazione dei lunghissimi tempi richiesti per poter apprezzare un effetto tangibile al punto di conformità, si è effettuata un'analisi mirata a definire l'estensione dell'area interessata da potenziali non conformità della falda su un orizzonte temporale più ridotto, coinvolgendo quindi, un'areale di estensione inferiore, che non interessa in alcun modo il suddetto punto di conformità. Tale analisi descrive l'espansione nel tempo dell'areale potenzialmente non conforme alla CSC per il ferro, tra l'istante di completa degradazione del tubo (1.220 anni) e i successivi 250 anni. I risultati di tale analisi sono riepilogati in Figura 6, dove appare evidente che l'area potenzialmente non conforme alla CSC a valle idraulica del tubo raggiunge le seguenti distanze:

- circa 3 metri dopo 10 anni;
- circa 7,5 metri dopo 25 anni;
- circa 15 metri dopo 50 anni;
- circa 27 metri dopo 100 anni;
- circa 40 metri dopo 150 anni;
- circa 51 metri dopo 200 anni;
- circa 63 metri dopo 250 anni.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/17350	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONI EMILIA ROMAGNA – MARCHE	RE-AMB-401	
	PROGETTO / IMPIANTO RIFACIMENTO MET. RAVENNA – CHIETI, TRATTO RAVENNA – JESI DN 650 (26'') DP – 75 bar ED OPERE CONNESSE	Pag. 18 di 20	Rev. 0

Rif. TPIDL: 07367C-031-RT-3220-418

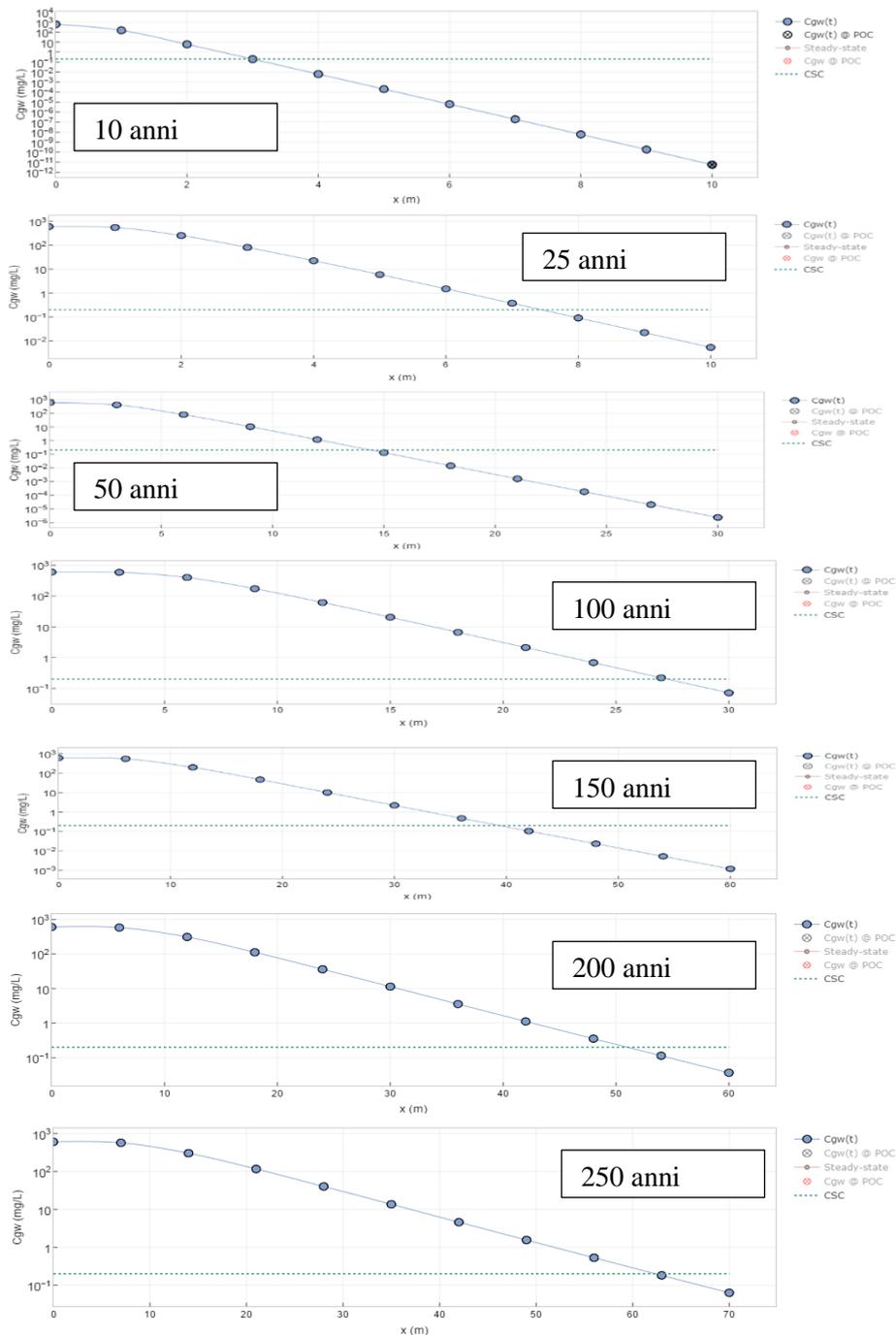


Figura 6: Profili di concentrazione del ferro lungo l'asse di filtrazione fino a $t=250$ anni (n.b. la simulazione ha inizio nell'istante in cui si raggiunge la completa corrosione del tubo, quindi non è conteggiato in Figura il tempo necessario alla degradazione della copertura ed alla corrosione del tubo, che ammonta, in totale, a circa 1.220 anni).

	PROGETTISTA  TechnipFMC	COMMESSA NR/17350	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONI EMILIA ROMAGNA – MARCHE	RE-AMB-401	
	PROGETTO / IMPIANTO RIFACIMENTO MET. RAVENNA – CHIETI, TRATTO RAVENNA – JESI DN 650 (26'') DP – 75 bar ED OPERE CONNESSE	Pag. 19 di 20	Rev. 0

Rif. TPIDL: 07367C-031-RT-3220-418

5 CONCLUSIONI

Quanto riportato nei precedenti paragrafi permette di valutare in maniera compiuta gli effetti, in termini di rilascio e potenziale contaminazione di ferro, che la permanenza dello spezzone di tubo ha sull'ambiente circostante, con particolare riferimento alle aree naturalistiche di pregio che si trovano immediatamente ad Est dell'asse della condotta e il punto di conformità individuato dall'idrovora Fosso Ghiaia, circa 2 chilometri ad Ovest del tubo.

La scarsissima mobilità della falda nei terreni limosi (circa 3 centimetri all'anno) nel substrato limoso che ospita il tubo ed il gradiente, che determina un flusso verso Ovest (quindi verso l'entroterra), pongono sicuramente al riparo dalla potenziale migrazione del ferro le aree di interesse naturalistico del SIC-ZPS IT4070009 "Ortazzo, Ortazzino, Foce del Torrente Bevano" che si trovano ad Est del tracciato della condotta, tantopiù che il substrato, verso Est, è ancora costituito da limi e argille, come evidenziato, del resto, dal fatto che tale area è una palude.

La modellazione effettuata, invece, ha simulato la dinamica di corrosione generalizzata del tubo (che impiega circa 220 anni e che, si ricorda, può iniziare solo dopo il tempo necessario alla completa degradazione della copertura protettiva del tubo, dell'ordine del migliaio di anni) e la migrazione della potenziale contaminazione nella direzione di deflusso della falda nel corpo sabbioso (che ha una velocità stimata di circa 3 metri all'anno) verso Ovest, fino al punto bersaglio. Nello specifico si sono individuate, come le condizioni maggiormente cautelative per l'analisi della diffusione (ovvero, dell'istante di inizio simulazione), quelle che corrispondono all'istante in cui si ha la completa corrosione del tubo, che avviene, sotto le ipotesi adottate, dopo circa 1.220 anni di permanenza del tubo nel terreno.

I risultati della modellazione della diffusione evidenziano, da un lato, che in condizioni stazionarie si possono attendere concentrazioni al punto di interesse dell'ordine di 3 mg/l, a fronte di una CSC di 0,2 mg/l e, dall'altro, che il transitorio per raggiungere tali condizioni è straordinariamente lungo, poiché sono necessari circa 15.000 anni per riscontrare una concentrazione appena superiore alla CSC e circa 70.000 anni per raggiungere il valore di 3 mg/l nel punto di interesse. A tali tempi andrebbero aggiunti ulteriori 1.220 anni che rappresentano il tempo necessario per avere la completa corrosione del tubo (condizione necessaria iniziale per iniziare la diffusione del ferro, con le ipotesi cautelative adottate), ma, come evidente, di fatto irrilevanti su orizzonti temporali della diffusione già di per sé dell'ordine delle decine di migliaia di anni.

Inoltre, l'analisi effettuata su un orizzonte temporale più ristretto (250 anni a partire dalla completa corrosione del tubo – anche in questo caso, a tali tempi andrebbero aggiunti ulteriori 1.220 anni, se l'istante iniziale è riferito al giorno d'oggi) dimostra che l'area per cui la concentrazione del ferro in falda risulterebbe potenzialmente non conforme alla CSC si estenderebbe a valle idraulica del tubo per non più di 70 metri.

Alla luce di quanto sopra, appare del tutto inesistente, su un orizzonte temporale ragionevole (dell'ordine del centinaio di anni), qualsivoglia effetto negativo sulle zone

	PROGETTISTA  TechnipFMC	COMMESSA NR/17350	CODICE TECNICO
	LOCALITA' REGIONI EMILIA ROMAGNA – MARCHE	RE-AMB-401	
	PROGETTO / IMPIANTO RIFACIMENTO MET. RAVENNA – CHIETI, TRATTO RAVENNA – JESI DN 650 (26'') DP – 75 bar ED OPERE CONNESSE	Pag. 20 di 20	Rev. 0

Rif. TPIDL: 07367C-031-RT-3220-418

sensibili (aree di pregio naturalistico e idrovora Fosso Ghiaia) dovuto al rilascio del ferro dallo spezzone della tubazione.