

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITÀ</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>RAVENNA (RA)</b>	<b>DOC. REL-AT-E-91020</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA</b> <b>RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Pagina 1 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-9120

**EMERGENZA GAS**  
**INCREMENTO DI CAPACITÀ DI RIGASSIFICAZIONE**  
**(DL 17.05.2022, N. 50)**  
**FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI**

**STUDIO IDROLOGICO-IDRAULICO**

**Attraversamento:**

**FIUMI UNITI**

0	Emissione per permessi	V. Lucarini	A.Gigliotti	M.Begini	14/02/2023
<b>Rev.</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Elaborato</b>	<b>Verificato</b>	<b>Approvato Autorizzato</b>	<b>Data</b>

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITÀ</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>RAVENNA (RA)</b>	<b>DOC. REL-AT-E-91020</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA</b> <b>RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Pagina 2 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-9120

## INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE</b>	<b>3</b>
1.1	Riferimenti normativi	3
<b>2</b>	<b>DESCRIZIONE DELL'OPERA</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>ASPETTI GENERALI DELLA ZONA INTERFERITA DALL'OPERA IN PROGETTO</b>	<b>7</b>
3.1	Inquadramento geografico	7
3.2	Caratteri Geologici e Morfologici	7
3.2.1	<i>Lineamenti geologici dell'area in esame</i>	7
3.3	Idrografia e Idrogeologia	8
<b>4</b>	<b>AUTORITA' DI BACINO DISTRETTUALE DEL FIUME PO</b>	<b>10</b>
<b>5</b>	<b>INTERFERENZE CON AREE A PERICOLOSITA' IDRAULICA E DA ALLUVIONE</b>	<b>13</b>
<b>6</b>	<b>METODOLOGIA DELL'ATTRAVERSAMENTO E RIPRISTINI POST-OPERAM</b>	<b>14</b>
<b>7</b>	<b>STUDIO IDROLOGICO</b>	<b>18</b>
7.1	Premessa	18
7.2	Metodo di regionalizzazione	18
7.3	Metodo Razionale	20
<b>8</b>	<b>STUDIO IDRAULICO E ANALISI DEL TRASPORTO SOLIDO</b>	<b>23</b>
8.1	Descrizione del modello idraulico	23
8.2	Modellazione idraulica	27
8.3	Calcolo del trasporto solido	32
<b>9</b>	<b>VERIFICA AL SIFONAMENTO</b>	<b>34</b>
<b>10</b>	<b>CONCLUSIONI</b>	<b>35</b>
<b>11</b>	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>36</b>

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITÀ</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>RAVENNA (RA)</b>	<b>DOC. REL-AT-E-91020</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA</b> <b>RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Pagina 3 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-9120

## 1 INTRODUZIONE

Obiettivo del presente studio è stimare le caratteristiche idrologiche-idrauliche e geomorfologiche del corso d'acqua Fiumi Uniti, interessato dall'attraversamento del progetto "Emergenza Gas Incremento di Capacità di Rigassificazione (DL 17.05.2022 N.50) FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti", in provincia di Ravenna.

Per la redazione del presente studio è stato ricercato del materiale bibliografico inerente studi già effettuati nell'ambito dei Bacini Idrografici dei Fiumi Romagnoli, in particolare si è fatto riferimento alla direttiva del PAI redatto dall'Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli.

Lo studio idrologico-idraulico ha lo scopo di verificare se l'area interessata dall'attraversamento del metanodotto in progetto sia soggetta a modifiche tali per cui possano verificarsi cambiamenti circa il deflusso di piena. Lo studio quindi mira a ricostruire le grandezze idrologiche della zona per stimare l'entità della portata in transito in occasione di eventi di piena eccezionali e la successiva verifica idraulica della sezione interessata dal progetto. Quest'ultima ha lo scopo di evidenziare eventuali aree esondabili e verificare se in tali aree ricadono manufatti fuori terra in progetto che possano interferire con il deflusso superficiale.

Essendo l'opera in progetto un metanodotto, ovvero una condotta completamente interrata, un problema che potrebbe presentarsi è quello dell'erosione del fondo alveo e del conseguente eventuale raggiungimento della quota di posa della condotta. Se nel fiume fosse in atto un'elevata attività erosiva, la profondità minima di posa del metanodotto dovrebbe essere tale da assicurarne la stabilità. Scopo del presente documento è quindi anche verificare, sulla base del rilievo topografico, analisi empiriche, ma soprattutto con considerazioni di carattere morfologico, in particolare pendenza e conformazione della sezione trasversale del fiume rilevata, se l'alveo risulta in approfondimento. Nel caso in cui l'alveo fosse in erosione, viene stimata la profondità di posa che possa garantire la sicurezza dell'opera.

Il presente studio idrologico-idraulico è stato redatto secondo quanto richiesto dalla Direttiva inerente le verifiche idrauliche del PAI dell'Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli. Secondo la suddetta Direttiva, il parametro di riferimento per le verifiche idrauliche è la portata di piena con tempo di ritorno di 200 anni.

### 1.1 Riferimenti normativi

- *D.M. 17.04.2008* del Ministero dello Sviluppo Economico – Regola Tecnica per la progettazione, costruzione, collaudo, esercizio e sorveglianza delle opere e degli impianti di trasporto di gas naturale con densità non superiore a 0,8.
- *D.M. 17.01.2018*: Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni.
- CSLLP Circolare 21/01/2019, n. 7 "Circolare Applicativa - Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018."

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITÀ</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>RAVENNA (RA)</b>	<b>DOC. REL-AT-E-91020</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA</b> <b>RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Pagina 4 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-9120

- Decreto Legge 25 Giugno 2003, n. 233: “Attuazione della direttiva 1999/92/CE relativa alle prescrizioni minime per il miglioramento della tutela della sicurezza e della salute dei lavoratori esposti al rischio di atmosfere esplosive”
- D.L. 9 Aprile 2008, n. 81: “Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro”
- Decreto del Presidente della Repubblica 23 Marzo 1998, n. 126: “Norme per l'attuazione della direttiva 94/9/CE in materia di apparecchi e sistemi di protezione destinati ad essere utilizzati in atmosfera potenzialmente esplosiva”
- D.L. 25 Febbraio 2000: “Attuazione della direttiva 97/23/CE in materia di attrezzature a pressione”
- *Specifiche Snam Rete Gas e documentazione contrattuale.*
- Norme CEI / UNI / EN.
- Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico - Autorità dei Bacini Romagnoli, Variante di coordinamento PAI\_PGRA (DGR 2112/2016)
- Aggiornamento e Revisione del Piano di gestione del Rischio di Alluvione – Il ciclo di gestione – Distretto del Fiume Po

	PROGETTISTA 	COMMESSA <b>NQ/R22178</b>	UNITÀ <b>20</b>
	LOCALITÀ <b>RAVENNA (RA)</b>	<b>DOC. REL-AT-E-91020</b>	
	PROGETTO <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Pagina 5 di 36	Rev. <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-9120

## 2 DESCRIZIONE DELL'OPERA

Nell'ambito delle iniziative legate alla realizzazione di nuove capacità di rigassificazione regolate dall'art.5 del DL n.50 del 17/5/2022 e mirate a diversificare le fonti di approvvigionamento di gas ai fini della sicurezza energetica nazionale, la Società Snam FSRU Italia, controllata al 100% da Snam S.p.A ("Snam"), intende sottoporre l'istanza autorizzativa per l'ormeggio di un mezzo navale tipo FSRU (Floating Storage and Regasification Unit) in corrispondenza della piattaforma offshore esistente di Petra (Gruppo PIR) posta a circa 8,5 km a largo di Punta Marina (c.d. Progetto FSRU Ravenna) e delle connesse infrastrutture per l'allacciamento alla rete di trasporto esistente.

Il progetto di Snam FSRU Italia ricomprende le opere necessarie alla connessione con la Rete Nazionale Gasdotti e che saranno realizzate dalla Società Snam Rete Gas. Tali opere sono considerate, ai fini della presente istanza, opere connesse e funzionali all'esercizio della FSRU.

L'FSRU sarà in grado di stoccare fino a 170 mila metri cubi di Gas Naturale Liquefatto (GNL), rigassificarlo e trasferirlo in una nuova condotta che lo convoglierà nel punto di connessione alla Rete Gasdotti posto a circa 42 km dal punto di ormeggio presso la piattaforma esistente offshore Petra.

L'FSRU sarà rifornita ad intervalli regolari (5/7 giorni) da metaniere di taglia variabile e sarà anche in grado di rifornire a sua volta metaniere di piccola/media taglia (metaniere Small Scale LNG).

L'FSRU assicurerà un flusso annuo di almeno 5 miliardi di standard metri cubi di gas naturale, equivalente a circa un sesto della quantità di gas naturale oggi importata dalla Russia.

La qualità di gas liquido gestito dalla FSRU dipenderà dalle fonti di approvvigionamento internazionali, pertanto il gas vaporizzato andrà analizzato ed eventualmente corretto per portarlo alle condizioni di trasporto richieste dalla Rete Nazionale. Le apparecchiature ed i sistemi dedicati a tale gestione (correzione indice di Wobbe) sono stati previsti in un'area impiantistica dedicata in prossimità dell'impianto di filtraggio e misura fiscale (PDE FSRU di Ravenna e impianto di regolazione DP 100-75 bar) ubicato in località Punta Marina (Ravenna).

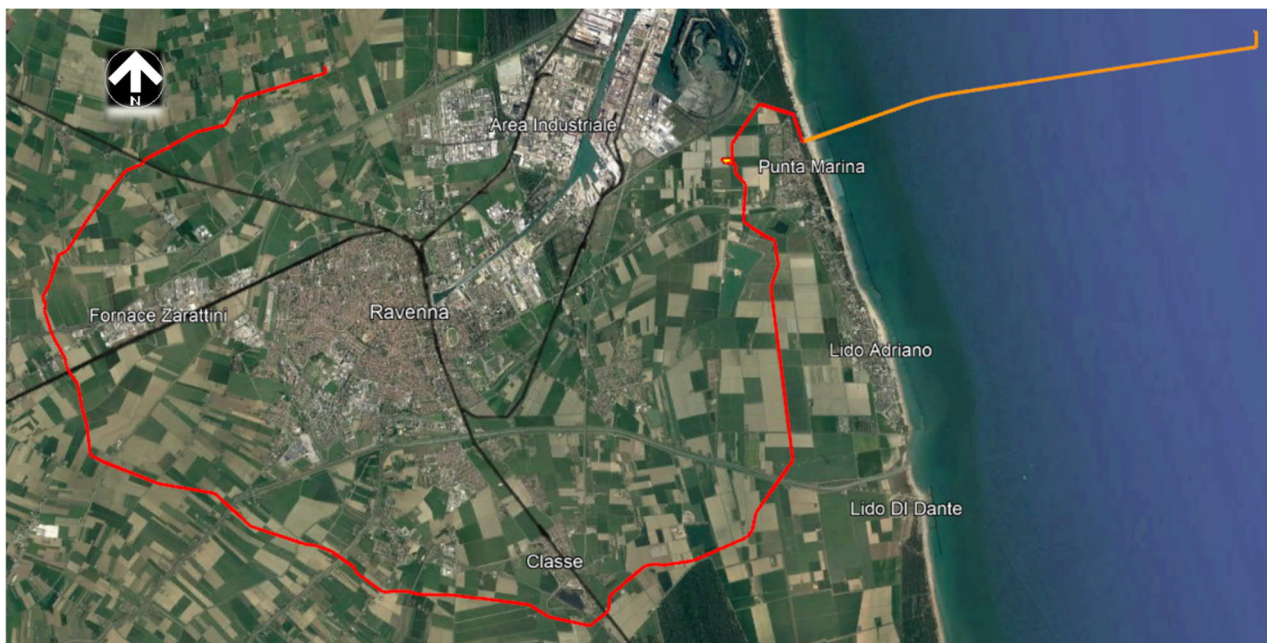
L'ormeggio della FSRU presso la piattaforma Petra prevede l'adeguamento della struttura esistente per tener conto che l'ormeggio della FSRU presso la piattaforma sarà permanente, che i mezzi navali coinvolti hanno degli ingombri maggiori e che quindi occorreranno maggiori spazi per accomodare le nuove parti impiantistiche.

Le condotte che attualmente collegano la piattaforma Petra con il deposito costiero (due condotte DN 550 (22") non sono interessate dall'intervento progettuale perché le verifiche condotte hanno mostrato l'incompatibilità con le condizioni di trasporto del gas naturale in uscita dalla FSRU.

L'entrata in esercizio del Progetto FSRU Ravenna è previsto non oltre **settembre 2024** con l'obiettivo di anticiparla a luglio 2024.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITÀ</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>RAVENNA (RA)</b>	<b>DOC. REL-AT-E-91020</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA</b> <b>RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Pagina 6 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-9120



*Fig. 2-1 – Inquadramento geografico delle opere in progetto (tratto rosso on shore, tratto arancione off shore, in giallo l'impianto).*



	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITÀ</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>RAVENNA (RA)</b>	<b>DOC. REL-AT-E-91020</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA</b> <b>RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Pagina 7 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-9120

### 3 ASPETTI GENERALI DELLA ZONA INTERFERITA DALL'OPERA IN PROGETTO

#### 3.1 Inquadramento geografico

L'area interessata dall'opera in progetto, dal punto di vista ambientale, è caratterizzata dalla presenza di aree di notevole valore paesaggistico-naturalistico (particolarmente nei comuni di Cervia e Ravenna), quali le pinete, le valli e le saline, spesso tuttavia in adiacenza o frammiste a fasce di urbanizzazione dai notevoli problemi urbanistici od ambientali. Nel periodo estivo si riscontra una elevatissima domanda di risorsa idrica, congiunta ad una conseguente concentrazione di scarichi civili che costituiscono un fattore di ulteriore inquinamento dei fiumi, in tale periodo particolarmente poveri di acqua. Il forte prelievo di acque sotterranee determina il progressivo abbassamento del livello di falda ed è una delle cause principali del fenomeno dell'intrusione del cuneo salino che costituisce, unitamente all'erosione della costa ed alla subsidenza, uno dei problemi più gravi che interessano il litorale alto adriatico. Inoltre la fascia costiera ravennate è caratterizzata da forte presenza insediativa industriale difficilmente compatibile (anche se spesso coabitante) con il turismo balneare e con la sempre più pressante richiesta di complessi residenziali e per il tempo libero.

#### 3.2 Caratteri Geologici e Morfologici

##### 3.2.1 Lineamenti geologici dell'area in esame

La zona è caratterizzata da depositi prevalentemente argillosi limosi dell'Unità di Modena.

Dal punto di vista morfologico, l'area è il risultato della complessa interazione di processi fluviali, marini costieri e tidali che hanno caratterizzato la dinamica deposizionale tardo-olocenica.

Una menzione particolare merita il fenomeno della subsidenza. La subsidenza è il fenomeno geodetico di abbassamento della superficie terrestre causato da cambiamenti che avvengono nel sottosuolo per cause sia naturali e sia artificiali; esso rappresenta un fattore di rischio nelle aree intensamente urbanizzate per la popolazione soggetta ad inondazione o per le strutture ad elevato carico statico, quando l'abbassamento del terreno è particolarmente consistente o quando la topografia è già depressa e vicina, o addirittura al di sotto del livello del mare.

Il territorio ravennate è da sempre interessato dal fenomeno della subsidenza tanto che i resti archeologici individuati nel sottosuolo della città mostrano che Ravenna fu più volte interessata da cosiddette "crisi subsidenziali", con periodica ricorrenza durante tutti i suoi tre millenni di vita.

Nell'area, infatti, la compattazione naturale dei depositi sedimentari e le cause tettoniche concorrono a produrre tassi di abbassamento valutabili nell'ordine dei 3-5 mm/anno circa. A partire dal secondo dopoguerra il territorio ravennate è stato interessato da marcati fenomeni di abbassamento a causa dell'incremento indotto dalla subsidenza antropica, che ha accelerato quella naturale, soprattutto per l'elevato emungimento di acqua dal sottosuolo per scopi industriali e, in misura minore per scopi irrigui.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITÀ</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>RAVENNA (RA)</b>	<b>DOC. REL-AT-E-91020</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA</b> <b>RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Pagina 8 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-9120

Per il dettaglio della geologia e dell'idrogeologia si rimanda alla relazione geologica REL-CGB-E-35070.

### 3.3 Idrografia e Idrogeologia

L'idrografia dell'area interessata dall'opera in progetto è fortemente antropizzata, con arginature, regolarizzazioni d'alveo e rettifiche, fino a raggiungere, negli areali di bonifica, caratteri di completa artificialità con molteplici situazioni di scolo meccanico delle acque meteoriche.

I corsi d'acqua principali sono rappresentati dal F. Ronco e dal F. Montone, entrambi corsi naturali che si originano sulla catena appenninica a monte di Forlì e che, raggiunto l'abitato di Ravenna, confluiscono formando i Fiumi Uniti, con sbocco al mare tra Lido di Dante e Lido Adriano.

In alcune porzioni del territorio regionale la conformazione altimetrica è in continua evoluzione a causa della subsidenza che ha modificato e aggravato le condizioni di transito delle piene.

In tale ambito i fenomeni meteorici possono determinare esondazioni che, pur caratterizzate da velocità e tiranti idrici modesti, interessano ampie porzioni di territorio, con impatti sul medesimo e sui beni esposti non indifferenti.

Il reticolo idrografico minore, in passato soggetto a diffusi interventi di tombinamento, deviazione, irrigidimento, a causa della crescente domanda di trasformazione urbanistica del territorio, oggi è ugualmente insufficiente a supportare i regimi di deflusso attuali, resi più gravosi dal cambiamento di uso del suolo e dall'impermeabilizzazione di vaste aree rurali.

Da un punto di vista idrogeologico, secondo lo studio condotto da Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP (1998), nell'ambito del territorio della pianura romagnola si possono riconoscere diversi corpi acquiferi, posti a varie profondità, separati da diversi livelli impermeabili più o meno potenti.

L'acquifero freatico è spesso legato ad una circolazione in terreni misti costituiti generalmente da alluvioni e depositi di palude salmastra, con potenze da pochi metri sino ad oltre 10 m, che sovrastano il banco sabbioso litorale. Nell'area di studio il livello isofreatico risulta molto superficiale.

Si segnala, inoltre, il problema della contaminazione salina dell'acquifero freatico costiero. La salinizzazione è aumentata notevolmente negli ultimi decenni e sta minacciando i terreni agricoli e gli ecosistemi naturali della zona costiera ravennate, come pinete, dune costiere e lagune.

Il processo di salinizzazione è causato principalmente da due fattori: l'intrusione dell'acqua di mare e la risalita di acque salmastre dalla base dell'acquifero. Il primo fenomeno è favorito dal gradiente idraulico che si genera da mare verso l'entroterra a causa della modesta elevazione dell'area (su cui incide anche la subsidenza) e dalla forte opera di drenaggio delle idrovore costrette ad abbassare la tavola d'acqua. Il secondo processo, ovvero la risalita di acque salmastre dalla base dell'acquifero, avviene sempre ad opera delle idrovore, in quanto, riducendo il carico idraulico favoriscono la risalita di



	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITÀ</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>RAVENNA (RA)</b>	<b>DOC. REL-AT-E-91020</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA</b> <b>RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Pagina 9 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-9120

acque profonde con salinità, molto spesso, superiori all'acqua di mare. Gli impianti di sollevamento idraulico, essendo localizzati lontano dalla costa, generano un cono di depressione avente la massima profondità ad ovest delle Pinete storiche. In questo modo si genera una cella di flusso molto ampia che richiama acqua direttamente dal mare.

Per il dettaglio della geologia e dell'idrogeologia si rimanda alla relazione geologica REL-CGB-E-35070.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITÀ</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>RAVENNA (RA)</b>	<b>DOC. REL-AT-E-91020</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Pagina 10 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-9120

#### 4 AUTORITA' DI BACINO DISTRETTUALE DEL FIUME PO

Il Governo Italiano, con l'Art. 64 del D.Lgs. n.152 del 2006, rielabora il concetto di bacino idrografico e suddivide l'intero territorio nazionale, ivi comprese le isole minori, nei seguenti distretti idrografici:

1. distretto idrografico delle Alpi orientali;
2. distretto idrografico Padano;
3. distretto idrografico dell'Appennino settentrionale;
4. distretto idrografico pilota del Serchio;
5. distretto idrografico dell'Appennino centrale;
6. distretto idrografico dell'Appennino meridionale;
7. distretto idrografico della Sardegna;
8. distretto idrografico della Sicilia.



Fig. 4-1 – Territorio Italiano diviso in Distretti Idrografici ante L.221/2015

Tale assetto amministrativo è stato valido per tutto il primo ciclo di gestione del rischio di alluvioni conclusosi con il *reporting* dei Piani a marzo del 2016. La Legge n. 221 del 28 dicembre 2015 "Disposizioni in materia ambientale per promuovere misure di green economy e per il contenimento dell'uso eccessivo di risorse naturali" con l'art. 51, è intervenuta nella modifica sia dell'art. 63 (Autorità di bacino distrettuale) che dell'art. 64 (Distretti idrografici) del D.Lgs. 152/2006. In particolare, con la modifica di quest'ultimo

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITÀ</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>RAVENNA (RA)</b>	<b>DOC. REL-AT-E-91020</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA</b> <b>RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Pagina 11 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-9120

articolo, viene definito un nuovo assetto territoriale per i Distretti Idrografici portandoli da 8 a 7 con la soppressione del Distretto Idrografico del Serchio e la sua assimilazione al Distretto Idrografico dell'Appennino Settentrionale e con una diversa attribuzione ai Distretti di alcuni bacini regionali e interregionali, così come definiti ai sensi della Legge n. 183 del 18 maggio 1989.

Di seguito, il nuovo assetto territoriale previsto dalla L. 221/2015 in vigore dal 2 febbraio 2016 con i 7 Distretti Idrografici:

- Alpi Orientali;
- Padano (del Fiume Po);
- Appennino Settentrionale;
- Appennino Centrale;
- Appennino Meridionale;
- Sardegna;
- Sicilia.



Fig. 4-2 – Territorio Italiano diviso in Distretti Idrografici previsto dalla L. 221/2015

Soppresse le Autorità di Bacino definite dalla Legge 183/89, vengono quindi introdotte le Autorità di bacino distrettuale che provvedono all'elaborazione dei piani di bacino: questi possono essere redatti ed approvati anche per sottobacini o per stralci relativi a settori funzionali. L'articolo 67 prevede che le Autorità adottino, ai sensi dell'articolo 65, comma 8, i piani stralcio di distretto per l'assetto idrogeologico (PAI), contenenti in particolare

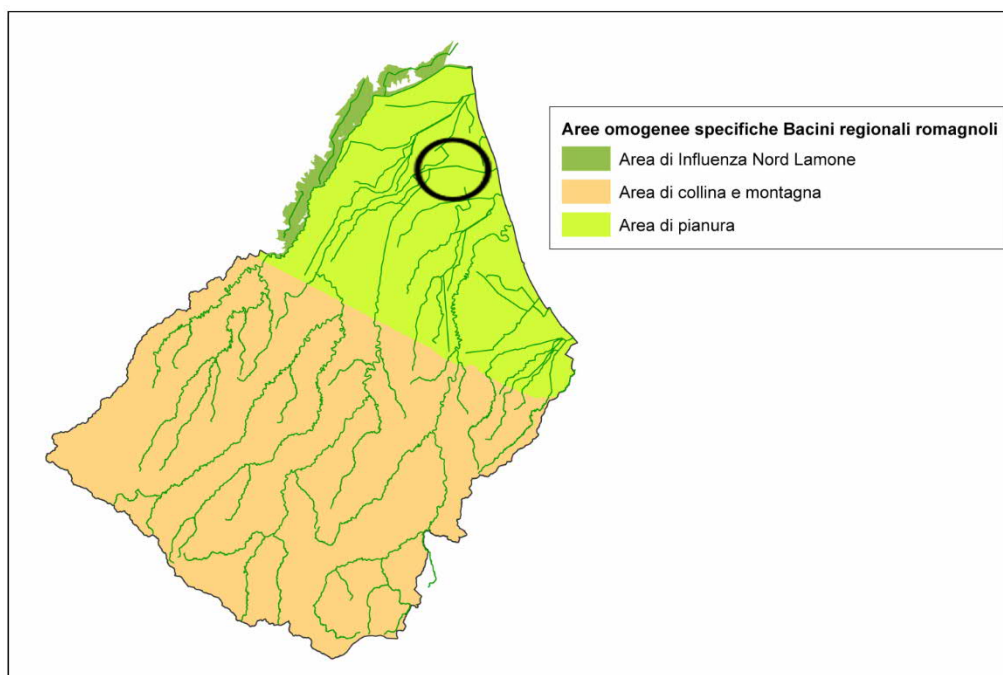
	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITÀ</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>RAVENNA (RA)</b>	<b>DOC. REL-AT-E-91020</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA</b> <b>RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Pagina 12 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-9120

l'individuazione delle aree a rischio idrogeologico, la perimetrazione delle aree da sottoporre a misure di salvaguardia e la determinazione delle misure medesime. Nonostante l'entrata in vigore del Testo Unico e l'abrogazione della L. 183/89, tutte le attività relative ai Piani di bacino vengono tuttora svolte, in regime di proroga, dalle Autorità di bacino.

L'opera in progetto ricade nel territorio di competenza dell'Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po che, in seguito alla seduta della Conferenza Istituzionale Permanente del 23 maggio 2017, è subentrata alla già Autorità di Bacino del fiume Po e alla quale sono stati annessi i Bacini interregionali del Reno, del Fissero-Tartaro-Canal Bianco, del Conca-Marecchia e i bacini regionali Romagnoli.

L'area di studio è compresa nell'unità di gestione ITR081 "**Bacini Romagnoli**" (Fig. 4.3).



*Fig. 4-3 – Perimetrazione Bacini regionali Romagnoli. Cerchiata in nero l'area di studio.*

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITÀ</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>RAVENNA (RA)</b>	<b>DOC. REL-AT-E-91020</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA</b> <b>RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Pagina 13 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-9120

## 5 INTERFERENZE CON AREE A PERICOLOSITA' IDRAULICA E DA ALLUVIONE

L'individuazione delle interferenze con le aree a pericolosità da alluvioni è stata eseguita prendendo in considerazione le mappe della pericolosità del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni del Distretto Idrografico dell'Appennino Settentrionale.

Il tracciato dei metanodotti in progetto interferisce solo in corrispondenza dell'area costiera e degli attraversamenti dei Fiumi Uniti, Fiume Ronco e Fiume Montone con aree di Pericolosità P3, la restante parte dell'opera è quasi interamente compresa in area di Pericolosità P2 e P1. L'interferenza è visibile nella carta P.A.I.

<b>Metanodotto</b>	<b>Classe di Pericolosità PAI - P.G.R.A.</b>
Allacciamento FSRU di Ravenna (tratto a terra) DN 650 (26"), DP 100 bar	<b>P1 – Probabilità Bassa</b> (ad esclusione del primo tratto approdo costiero in MT – Zona P3)
PDE FSRU di Ravenna e Impianto di Regolazione DP 100/75 bar	<b>P1 – Probabilità Bassa</b>
Collegamento PDE FSRU di Ravenna al Nodo di Ravenna DN 900 (36"), DP 75 bar	<b>P2 – Probabilità Media</b> (degli attraversamenti dei Fiumi Uniti, Fiume Ronco e Fiume Montone – <b>Zona P3</b> )

**Tabella 4.2** – Interferenza con Aree PAI-PGRA

Per i tratti di condotta interferenti con le aree a pericolosità da alluvione elevata (P3) e media (P2) è necessario predisporre uno studio di compatibilità idraulica da sottoporre a parere dell'Autorità di Bacino sugli interventi di realizzazione di opere pubbliche o di interesse pubblico (vedere relazione di compatibilità Idraulica N. REL-AT-E-35025). Relativamente alle aree a pericolosità da alluvione bassa (P1), gli interventi sono consentiti secondo le modalità e prescrizioni degli strumenti urbanistici vigenti garantendo, comunque, il rispetto delle condizioni di mitigazione e gestione del rischio idraulico.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITÀ</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>RAVENNA (RA)</b>	<b>DOC. REL-AT-E-91020</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA</b> <b>RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Pagina 14 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-9120

## 6 METODOLOGIA DELL'ATTRAVERSAMENTO E RIPRISTINI POST-OPERAM

Gli attraversamenti di corsi d'acqua e delle infrastrutture vengono realizzati con piccoli cantieri, che operano contestualmente all'avanzamento della linea.

Le metodologie realizzative previste sono diverse ed in sintesi possono essere così suddivise:

- attraversamenti privi di tubo di protezione;
- attraversamenti con messa in opera di tubo di protezione;
- attraversamenti in trenchless (microtunnel, trivellazioni orizzontali controllate e direct pipe).

Per i Fiumi Uniti l'attraversamento è previsto in Trivellazione Orizzontale Controllata (T.O.C).

Il procedimento della Trivellazione Orizzontale Controllata è un miglioramento della tecnologia e dei metodi sviluppati per la perforazione direzionale di pozzi petroliferi.

Il procedimento impiegato nella maggioranza degli attraversamenti mediante Trivellazione Orizzontale Controllata è a due fasi. La prima consiste nella trivellazione di un foro pilota di piccolo diametro lungo un profilo direzionale prestabilito.

La seconda implica l'allargamento di questo foro pilota fino ad un diametro tale da permettere l'alloggiamento, tramite il tiro-posa, del servizio da porre in opera.

### 1. Esecuzione del foro pilota e controllo direzionale

Il foro pilota viene realizzato facendo avanzare la batteria di aste pilota con in testa una lancia a getti di fango bentonitico che consente il taglio del terreno (jetting).

Nelle fasi di esecuzione del foro pilota, così come nelle successive fasi di alesaggio e varo della condotta, sarà previsto il monitoraggio in continuo della pressione del fango di perforazione al fine di eliminare ogni possibile interferenza tra le operazioni di trivellazione ed il sistema fisico circostante.

Al fine di minimizzare le interferenze con l'ambiente esterno e con le falde acquifere (a carattere esclusivamente fisico e comunque di entità molto limitata) si prevederà l'utilizzo di miscele bentonitiche (fango di perforazione) additivate con polimeri biodegradabili con alto potere coesivo ed alta fluidità con caratteristiche di riduttori di filtrato.

Questi accorgimenti consentiranno la saturazione di eventuali microfessurazioni che dovessero formarsi nell'intorno dell'asse di trivellazione, garantendo che durante l'esecuzione dell'attraversamento non si verifichi la formazione di vie preferenziali di filtrazione lungo l'asse di trivellazione.

La lancia a getti di fango bentonitico, consiste in una asta che presenta una deviazione di circa 1° e dispone di due ugelli, uno centrale rispetto alla testa e l'altro, eccentrico, in asse con la deviazione.

I cambi di direzione necessari sono ottenuti ruotando le aste di perforazione in modo tale che la direzione della deviazione coincida con quella desiderata (asse trivellazione).

Il tracciato del foro pilota sarà controllato durante la trivellazione da frequenti letture dell'inclinazione e dell'azimut all'estremità della testa di perforazione. Queste letture, unite ai dati relativi alla lunghezza delle aste di trivellazione già installate, saranno utilizzate per



	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITÀ</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>RAVENNA (RA)</b>	<b>DOC. REL-AT-E-91020</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA</b> <b>RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Pagina 15 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-9120

calcolare le coordinate orizzontali e verticali dell'estremità di testa rapportate al punto di inizio della trivellazione.

Di norma le misurazioni della posizione saranno eseguite ad ogni giunto del tubo pilota (circa 9-10 metri) e riportate sul disegno di progetto del profilo, in modo da avere un riscontro immediato delle eventuali deviazioni. Qualora si evidenziassero delle discordanze, l'asta pilota verrà ritirata per una lunghezza tale da permettere la correzione necessaria. Periodicamente durante la trivellazione del foro pilota, un tubo guida verrà fatto ruotare ed avanzare in modo concentrico sopra l'asta di perforazione pilota. Il tubo guida eviterà il bloccaggio dell'asta pilota, ridurrà gli attriti permettendo di orientare senza difficoltà l'asta di perforazione, e faciliterà il trasposto verso la superficie dei materiali di scavo. Esso, inoltre, manterrà aperto il foro, nel caso di necessità di ritiro dell'asta pilota.

Il foro pilota sarà completato quando sia l'asta pilota che il tubo guida fuoriusciranno alla superficie sul lato opposto al rig. L'asta pilota è quindi ritirata, lasciando il tubo guida lungo il profilo di progetto.

## 2. Alesaggio del foro e tiro-posa della condotta

In base ai riscontri ottenuti durante la perforazione del foro pilota ed in base alle caratteristiche dei terreni attraversati, verrà deciso se effettuare contemporaneamente l'alesaggio ed il tiro della condotta oppure eseguire ulteriore alesaggio.

Questa fase consisterà nell'allargamento del foro pilota per mezzo di un alesatore. Tale operazione potrà essere eseguita prima del tiro-posa della condotta o contemporaneamente ad esso. Nel caso di prealesatura, la fresa ed i relativi accessori verranno fissati al tubo guida nel punto di uscita. Quindi la fresa verrà fatta ruotare e contemporaneamente tirata dal rig di perforazione, allargando in questo modo il foro pilota. Contestualmente all'avanzamento della testa fresante, dietro di essa verranno assemblate nuove aste di tubo guida per garantire la continuità di collegamento all'interno del foro.

Durante le fasi di trivellazione, di prealesatura e di tiro-posa, verrà impiegato del fango bentonitico. Questo fango, opportunamente dosato in base al tipo di terreno, avrà molteplici funzioni quali ridurre gli attriti nelle fasi di scavo, trasportare alla superficie i materiali di scavo, mantenere aperto il foro, lubrificare la condotta nella fase di tiro-posa e garantirne il galleggiamento.

## 3. Attrezzatura di perforazione e di tiro-posa

L'insieme del cantiere di perforazione è costituito dal rig vero e proprio, dall'unità di produzione dell'energia, dalla cabina di comando, dall'unità fanghi, dall'unità approvvigionamento idrico, dall'unità officina e ricambi, dalla trivella, dalle aste pilota, dalle aste di tubo guida, dalle attrezzature di alesaggio e tiro-posa e da una gru di servizio

Tutte queste attrezzature saranno assemblate ed immagazzinate in container in modo da essere facilmente trasportabili su strada "in sagoma".

Nel seguito si riporta una descrizione sommaria delle attrezzature comunemente utilizzate:

- Rig: è costituito da una torre di perforazione posta su di un piano inclinato (slittone). Su di esso, trasla il carrello di perforazione completo con il motore idraulico che

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITÀ</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>RAVENNA (RA)</b>	<b>DOC. REL-AT-E-91020</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA</b> <b>RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Pagina 16 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-9120

permette la rotazione del mandrino. Le aste di perforazione vengono installate sul mandrino e il loro montaggio e smontaggio viene eseguito con morse idrauliche.

- **Cabina di comando:** all'interno si trovano tutti i dispositivi per manovrare il rig e le altre attrezzature.
- **Unità generatore di energia:** è necessaria al funzionamento dell'impianto è generalmente costituita da una serie di motori elettrici o a scoppio che producono energia idraulica. Questa energia viene trasmessa al rig tramite la cabina di comando e serve per la traslazione del carrello e la perforazione del carrello.
- **Unità fanghi:** questa unità è costituita da una vasca, in cui vengono preparati i fanghi bentonitici per mezzo di una tramoggia venturi e di miscelatori; tramite pompe sommerse comandate dall'operatore i fanghi vengono immessi nel circuito. Gli stessi fanghi possono essere riciclati per una successiva utilizzazione grazie ad appositi filtri. La raccolta della bentonite sarà realizzata mediante scavo nel terreno di vasche opportunamente impermeabilizzate.
- **Unità approvvigionamento idrico:** È costituita generalmente da una pompa sommersa ubicata nel corso d'acqua da attraversare. Tramite dei tubi flessibili (manichette) invia l'acqua necessaria alla preparazione dei fanghi alla vasca di miscelazione.
- **Trivella:** Per la trivellazione del foro pilota vengono utilizzate due tipi di trivelle, una a getti ed una a motore a fanghi. La trivella a getti è sostanzialmente un'asta di trivellazione con due fori sulla testa, uno centrale e l'altro eccentrico. La bentonite in pressione, fuoriuscendo dai fori esercita un'azione di scavo nel terreno. La trivella con motore a fanghi è costituita da una turbina, azionata dai fanghi in pressione, che imprime una rotazione ad uno scalpello posto sulla testa; i fanghi fuoriescono poi da un foro posto sullo scalpello. Gli scalpelli possono essere di diversi tipi a seconda delle condizioni di terreno incontrate. Questa trivella si completa con la scarpa direzionale, che è un ringrosso eccentrico dell'asta di perforazione posizionato a circa 1 metro dalla testa.
- **Aste pilota:** quelle comunemente usate sono normali aste di trivellazione da 2" 7/8. A seconda del sistema direzionale impiegato le aste possono essere dotate di giunti conici o cilindrici. Le aste di trivellazione ubicate proprio dietro la trivella sono in materiale amagnetico per non influenzare il sistema di controllo direzionale; queste aste sono fragili e si richiede molta cautela nel maneggiarle. In alcuni tipi di terreno è necessario l'utilizzo di un'asta pilota più resistente e sul mercato sono disponibili aste per tubo pilota da circa 5" 13/7 e oltre. Questi ultimi possono essere impiegati per la trivellazione di terreni molto compatti e di roccia tenera.
- **Tubo guida:** è costituito da aste di perforazione standard da 5" che soddisfano la maggioranza delle esigenze di tiro. In caso necessiti uno sforzo di tiro superiore alla norma, vengono utilizzate, nelle fasi più critiche aste rinforzate. Nel caso le aste sopra descritte non sopportino lo sforzo di tiro oppure servano grosse quantità di bentonite, si possono utilizzare aste da 7" o più.
- **Attrezzature alesaggio e tiro-posa:** queste attrezzature cambiano da ditta a ditta in base alle esperienze degli operatori, ai brevetti che le tutelano e ai terreni da attraversare.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITÀ</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>RAVENNA (RA)</b>	<b>DOC. REL-AT-E-91020</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA</b> <b>RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Pagina 17 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-9120

- **Alesatore:** l'alesatore classico è formato da una corona dentata su cui sono posti da sei a nove ugelli per l'uscita dei fanghi e una quantità variabile di taglienti. Detti taglienti generalmente sono posizionati a gruppi di 3 o 5 e possono avere diverse caratteristiche meccaniche.
- **Fresa a barilotto:** La fresa a barilotto o barrel reamer è costituita da un cilindro bombato e dentato alle estremità completo con i soliti ugelli. Questo alesatore è molto utile se usato in coppia con il precedente, perché permette di mantenere sempre centrata la fresa rispetto al foro.
- **Snodo:** lo snodo/swivel è indispensabile per evitare che la condotta ruoti durante l'operazione di tiro-posa. Viene interposto tra la fresa e la condotta. Generalmente è costituito da un reggispira autolubrificante con un cuscinetto in teflon o rulli. È indispensabile mantenere integro questo snodo per evitare il bloccaggio della condotta durante il tiro-posa.

#### 4. Montaggio Della Condotta

Sulla sponda opposta a quella dove sarà posizionato il Rig verrà eseguito la prefabbricazione della colonna di varo.

Ove le dimensioni del cantiere e le attrezzature a disposizione lo consentano, la colonna di varo verrà preferibilmente assemblata in un'unica soluzione per evitare tempi di arresto, per saldature ed operazioni di controllo e rivestimento dei giunti, durante la fase di tiro-posa.

A saldatura completata verranno eseguiti i controlli non distruttivi delle saldature (radiografie) e successivamente si provvederà al rivestimento dei giunti di saldatura.

La colonna, prima del tiro-posa, verrà precollaudata idraulicamente.

Per l'esecuzione del tiro-posa verrà predisposta una linea di scorrimento della colonna (rulli, carrelli o sostentamento con mezzi d'opera).

Durante il varo, l'ingresso della condotta nel foro verrà facilitato, facendole assumere una catenaria predeterminata in base all'angolo d'ingresso nel terreno, al diametro ed al materiale della condotta; ciò permetterà di evitare sollecitazioni potenzialmente dannose sulla condotta da varare.

Al fine di ridurre al massimo le sollecitazioni indotte alla tubazione, durante la fase di tiro-posa, dovranno essere rigorosamente rispettati i valori di raggio minimo di curvatura elastica della tubazione.

Al termine dei lavori verrà redatto un elaborato riportante l'esatto posizionamento della condotta così come realmente posta in opera.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITÀ</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>RAVENNA (RA)</b>	<b>DOC. REL-AT-E-91020</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Pagina 18 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-9120

## 7 STUDIO IDROLOGICO

### 7.1 Premessa

Lo scopo dell'analisi idrologica è la determinazione delle portate di piena che si verificano in corrispondenza di eventi pluviometrici con determinati tempi di ritorno.

Il tempo di ritorno scelto è quello indicato nella Direttiva del PAI, la quale afferma che il parametro di riferimento per le verifiche idrauliche è la portata con tempo di ritorno di 200 anni.

Non avendo, nel corso d'acqua oggetto di studio, delle sezioni strumentate in grado di fornire dei dati diretti di portata, secondo la Direttiva del PAI le procedure utilizzabili sono sostanzialmente due:

- impiego di modelli di regionalizzazione del dato idrometrico, costruiti a partire dall'analisi statistica dell'informazione idrologica disponibile relativamente ad una porzione di territorio, "regione idrologica", omogenea rispetto ai fenomeni di piena;
- analisi statistica delle osservazioni pluviometriche relative al bacino idrografico sotteso dalla sezione di interesse, anche questa preferibilmente condotta mediante una metodologia di tipo regionale, e successivo impiego di semplici modelli afflussi-deflussi.

I modelli di regionalizzazione (metodo regionale) possono essere applicati ai bacini con superficie e con caratteristiche comprese fra quelle dei bacini utilizzati per la definizione del modello regionale stesso. Nel caso specifico dell'Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli, il modello regionale già proposto per la stima della portata al colmo di assegnato tempo di ritorno  $T$  deriva dall'analisi di serie idrometriche relative a bacini con superficie compresa approssimativamente tra 20 e 1000 km<sup>2</sup>, [Franchini, 2001].

Di seguito, si procederà dunque alla determinazione delle portate al colmo di piena con tempo di ritorno 200 anni sia attraverso il metodo regionale, che mediante modello di trasformazione afflussi-deflussi del Metodo Razionale (suggerito anche dalla Direttiva del PAI), per poi estrapolare il valore più cautelativo ai fini della verifica idraulica.

### 7.2 Metodo di regionalizzazione

Il metodo regionale messo a punto nell'area di competenza dell'Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli è finalizzato alla stima della precipitazione di durata  $d$  (ore) e tempo di ritorno  $T$ , grandezza che costituisce uno dei dati di ingresso per l'applicazione dei modelli di trasformazione, ed alla valutazione delle portate al colmo di assegnato rischio.

Rimandando a Franchini, 2001, per una disanima completa delle motivazioni teoriche che sono alla base delle metodologie regionali messe a punto per la stima della precipitazione  $h_{d,T}$  di durata  $d$  ( $d=1-24$  ore) e/o della portata al colmo  $Q_T$  di assegnato tempo di ritorno  $T$ , attese in una località o sezione idrografica di interesse nell'ambito del territorio di competenza dell'Autorità, è opportuno ricordare che i modelli fanno riferimento al metodo della grandezza indice.

L'idea di base del metodo della grandezza indice consiste nell'individuare una regione idrologicamente omogenea nei riguardi della variabile idrologica di interesse, cioè una

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITÀ</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>RAVENNA (RA)</b>	<b>DOC. REL-AT-E-91020</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Pagina 19 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-9120

regione costituita da un insieme di siti caratterizzati da una distribuzione di probabilità degli eventi idrologici intensi che si può ritenere unica a meno di un fattore di scala, ed elaborare quindi unitamente l'insieme dei dati sperimentali rilevati.

Dal punto di vista operativo nell'analisi regionale basata sul metodo della grandezza indice si possono in sintesi distinguere due fasi fondamentali:

- l'individuazione, all'interno della regione di studio, di zone idrologicamente omogenee nei confronti della variabile di interesse, ognuna delle quali è caratterizzata da una propria curva di crescita i cui parametri sono opportunamente stimati;
- la definizione di relazioni che permettono di valutare la grandezza indice, solitamente espressa come funzione delle grandezze geomorfoclimatiche.

Per quanto attiene il primo punto nell'area di competenza dell'Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli, si sono in particolare individuate due zone, idrologicamente omogenee nei riguardi sia delle precipitazioni intense sia delle portate al colmo di piena, indicate rispettivamente come Zona Ovest e Zona Est. In ciascuna Zona per la definizione della curva di crescita di entrambe le variabili idrologiche di interesse si è fatto ricorso alla legge di distribuzione di probabilità a due componenti TCEV.

Per la Zona Est (dove ricade l'opera in progetto) è risultato necessario individuare solo due distinte curve di crescita per rappresentare statisticamente le piogge intense, la prima valida per  $d = 1 - 6$  ore, la seconda per  $d \geq 12$  ore.

	<i><b>T=30 anni</b></i>	<i><b>T=50 anni</b></i>	<i><b>T=100 anni</b></i>	<i><b>T=200 anni</b></i>	<i><b>T=500 anni</b></i>
<i><b>d = 1-6 ore</b></i>	2.00	2.25	2.62	2.99	3.50
<i><b>d ≥ 12 ore e 1 g</b></i>	1.94	2.17	2.51	2.86	3.34

**Tabella 7.1** – Zona Est – Precipitazioni intense di durata d. Fattori di crescita per i diversi tempi di ritorno.

La mancanza di un campione di dati sperimentali sufficiente ad un'elaborazione statistica ha reso invece impossibile la determinazione diretta di una curva di crescita idonea a descrivere il comportamento statistico delle portate di piena generate nei bacini imbriferi ubicati nella Zona Est. Poiché la curva di crescita valida per la Zona Ovest non è utilizzabile per la caratterizzazione delle portate di piena in quanto tendenzialmente sotto-stimante, la distribuzione di probabilità delle portate al colmo nella Zona Est è stata ricavata a partire da quella delle precipitazioni intense seguendo la procedura suggerita nell'ambito di un'indagine finalizzata alla stima delle portate di piena nel territorio della Regione Piemonte.

La Tabella 7.2 presenta i valori dei fattori di crescita per i tempi di ritorno di interesse esaminati nel seguito.

<i><b>T=30 anni</b></i>	<i><b>T=50 anni</b></i>	<i><b>T=100 anni</b></i>	<i><b>T=200 anni</b></i>	<i><b>T=500 anni</b></i>
2.82	3.44	4.29	5.15	6.27

**Tabella 7.2** – Zona Est – Portate al colmo. Fattori di crescita per i diversi tempi di ritorno.



	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITÀ</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>RAVENNA (RA)</b>	<b>DOC. REL-AT-E-91020</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA</b> <b>RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Pagina 20 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-9120

Per poter estendere il campo di applicazione dei risultati dell'analisi regionale anche a siti non strumentati, la grandezza indice è quindi legata ai parametri geomorfoclimatici rappresentativi del bacino idrografico mediante relazioni valide sull'intera regione in esame. In particolare, per il territorio di competenza dell'Autorità di Bacino, si suggerisce di calcolare la portata indice nella generica sezione di interesse, attraverso la seguente espressione:

$$\hat{m}_Q = 0.000036 \cdot A_{imp}^{1.4002} \cdot m_1^{3.2794} \cdot T_c^{-1.3793}$$

dove  $A_{imp}$  è l'area sottesa classificata come impermeabile (km<sup>2</sup>),  $m_1$  è la pioggia indice di durata 1 ora valutata nel baricentro del bacino (mm) e  $T_c$  è il tempo di corrivazione calcolato mediante la formula di Giandotti (ore).

Il valore di  $m_1$  è stato estrapolato dalle isocurve riportate graficamente nelle mappe tematiche riportate in allegato 3 della Direttiva.

Per quanto riguarda invece il valore da assumere come area impermeabile, in mancanza dell'informazione disponibile relativamente alle sezioni idrometrografiche S.I.M.N., secondo la Direttiva PAI, va utilizzata una superficie impermeabile  $A_{imp}$  non inferiore al 98% dell'area totale  $A$ .

In conclusione, i dati utilizzati per il Metodo Regionale per il caso del bacino idrografico dei Fiumi Uniti chiuso in prossimità della sezione di attraversamento del metanodotto in progetto, sono i seguenti:

$$A = 1238.63 \text{ km}^2$$

$$A_{imp} = 1214 \text{ km}^2$$

$$m_1 = 24.1$$

$$T_c \text{ dalla formula di Giandotti } T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_m - H_0}}$$

Dove:

A: superficie del bacino relativo alla sezione di chiusura di interesse  $A = 1238.63 \text{ km}^2$

L: lunghezza del percorso idraulico principale  $L = 92.5 \text{ km}$

$H_m$ : altitudine media del bacino  $H_m = 140.16 \text{ m s.l.m.}$  (estrapolata dal DEM regionale)

$H_0$ : altitudine della sezione considerata  $H_0 = -3.5 \text{ m s.l.m.}$

Sostituendo i valori si ottiene:

$$T_c = 29.15 \text{ ore}$$

$$m_q = 243.7 \text{ m}^3/\text{s}$$

Moltiplicando la portata indice per il valore del fattore di crescita corrispondente al tempo di ritorno di 200 anni, si ottiene una portata pari a:

$$Q_{200} = 1255 \text{ m}^3/\text{s}$$

### 7.3 Metodo Razionale

Il modello razionale ipotizza una pioggia costante nel tempo ed uniforme nello spazio, avente un'altezza  $h'_{Tc}$  (mm) ed una durata pari al tempo di corrivazione  $T_c$  (ore) del bacino. Si suppone inoltre che a tale precipitazione consegue un idrogramma triangolare



	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITÀ</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>RAVENNA (RA)</b>	<b>DOC. REL-AT-E-91020</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Pagina 21 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-9120

con base dell'idrogramma pari a 2Tc. La portata al colmo Q del suddetto idrogramma vale di conseguenza:

$$Q = \frac{\phi h'_{Tc} A}{3.6 Tc} \text{ (m}^3\text{/s)}$$

in cui A è l'area del bacino in km<sup>2</sup> e  $\phi$  il coefficiente di deflusso, che stabilisce la quota di afflusso meteorico efficace ai fini del deflusso superficiale.

Per l'applicazione del metodo cinematico è necessario specificare l'intensità di pioggia di assegnato tempo di ritorno con durata pari al tempo di corrivazione del bacino.

Tale intensità può essere valutata a partire dalla curva di possibilità pluviometrica da stimare in relazione al sito cui la verifica si riferisce ( $h'_{200}(Tc) = a_{200} Tc^n$ ).

I parametri delle curve di possibilità climatica sono desumibili dallo studio di regionalizzazione (Franchini et al. 2001) riportati nell'Allegato 3 della Direttiva inerente le verifiche idrauliche del PAI:

TR (anni)	a				n			
	Rimini	Cesena	Forlì	Ravenna	Rimini	Cesena	Forlì	Ravenna
10	40.86	35	35	35	0.28	0.33	0.33	0.33
30	51.09	51	48	51	0.27	0.29	0.30	0.28
50	55.76	58	54	58	0.27	0.29	0.28	0.30
200	76.63	74	72	74	0.26	0.29	0.28	0.30

**Tab 7.3** – Valori dei parametri della curva di possibilità climatica con diversi tempi di ritorno, nei riquadri i valori assunti per lo studio

Per quanto concerne invece il coefficiente di deflusso, la Direttiva del PAI suggerisce, nel caso di bacini collinari e montani, di fare riferimento alla procedura di calcolo del coefficiente di deflusso come prodotto di un termine “di base” e di un fattore di crescita dipendente dal tempo di ritorno dell'evento.

Il termine di base è da assumersi pari a 0,54 per bacini medi, e può essere ridotto fino a 0,50 per bacini a capacità di trattenimento delle piogge particolarmente alta, e viceversa aumentato fino a 0,58 per bacini a capacità di trattenere le piogge particolarmente bassa. Il fattore di crescita è pari a 1.5 per tempo di ritorno di 200 anni. Nel caso di bacini di pianura, è da sottolineare che i territori di pianura posti a ovest e a nord del fiume Savio hanno un comportamento tendenzialmente diverso da quelli posti a sud e ad est, a causa di una diversa conformazione idrografica che porta a pendenze minori e a percorsi idraulici più lunghi e con maggiore capacità di invaso.

Questo evidenzia la non omogeneità delle risposte alle piogge che si traduce in diversi valori del coefficiente idrometrico (portata prodotta per unità di area del bacino) nei due casi.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITÀ</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>RAVENNA (RA)</b>	<b>DOC. REL-AT-E-91020</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA</b> <b>RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Pagina 22 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-9120

Per tenere conto della diversificazione del territorio, è opportuno adottare coefficienti di deflusso più alti nella parte a est e sud del fiume Savio. I coefficienti di deflusso orientativi per la parte ovest e nord sono indicati in valori di 0,4-0,5, e per la parte sud ed est in valori di 0,5-0,6.

Considerando che il bacino dei Fiumi Uniti, sotteso alla sezione di chiusura relativa all'attraversamento del metanodotto, è posto a nord del Fiume Savio e comprende sia la parte montana e collinare che la parte di pianura più prossima alla costa, si è assunto un valore del coefficiente di deflusso  $\phi = 0.6$ .

Sostituendo tutti i valori stimati, si ottiene una portata di piena con  $Tr = 200$  anni pari a:

$$Q_{200} = 1441 \text{ m}^3/\text{s}.$$

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITÀ</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>RAVENNA (RA)</b>	<b>DOC. REL-AT-E-91020</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA</b> <b>RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Pagina 23 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-9120

## 8 STUDIO IDRAULICO E ANALISI DEL TRASPORTO SOLIDO

### 8.1 Descrizione del modello idraulico

Per la determinazione del profilo della superficie libera del corso d'acqua si sono utilizzate le equazioni del moto permanente monodimensionale di una corrente a pelo libero in alveo quasi cilindrico con portata costante. Le equazioni che governano il moto sono state risolte applicando il codice di calcolo HEC-RAS, sviluppato da Hydrologic Engineering Center dell'US Army Corps of Engineers (release 6.3.1).

Il codice per il calcolo dei profili idraulici in moto permanente gradualmente variato in alvei naturali (o artificiali) consente anche la valutazione degli effetti dovuti all'interazione con ponti, briglie, stramazzi, aree golenali.

Il primo step della modellazione consiste nel fornire le informazioni relative alla geometria del corso d'acqua in un'apposita sezione (geometric data), all'interno della quale si devono definire il corso del fiume (reach), la geometria delle sezioni (cross section geometry), la distanza fra le sezioni (reach length) e il coefficiente di scabrezza, rappresentativo delle perdite di carico, secondo la formulazione di Manning.

In questa sezione sono disponibili altre opzioni, fra le quali la procedura di interpolazione fra una sezione e l'altra (XS Interpolation), molto utile quando occorre infittire il numero di sezioni, qualora i rilievi originali siano troppo distanti fra loro; inoltre, è possibile definire la quota delle sponde (left and right elevations) e degli argini (levees) e inserire nella sezione delle aree dove l'acqua arriva ma non contribuisce al deflusso (ineffective flow areas) e delle coperture (lids).

Il codice di calcolo permette anche di fornire la geometria dei ponti in una sezione (bridge and culvert data) nella quale è possibile definire per ogni ponte l'impalcato (deck/roadway), le pile (piers), le spalle (sloping abutments) e le condizioni di calcolo (bridge modelling approach).

Il secondo passaggio consiste nell'impostare la sezione relativa alle condizioni di moto (steady flow data), definendo la portata di riferimento per le diverse sezioni fluviali e le condizioni al contorno (boundary conditions). A questo punto il codice di calcolo è pronto per eseguire i calcoli idraulici nella sezione denominata steady flow analysis.

I risultati delle computazioni idrauliche sono proposti attraverso tabelle riepilogative (cross-section table e profile table) e grafici delle sezioni geometriche (plot cross-section) e del profilo longitudinale (plot profile) e, infine, tramite una visione prospettica tridimensionale del sistema fluviale (x, y, z perspective plot).

#### Equazioni per il calcolo del profilo idraulico

Per il calcolo delle perdite di carico distribuite si utilizza l'equazione di Manning che risulta:

$$1) \quad S_f = \frac{v^2 \cdot n^2}{R^{4/3}}$$

in cui:

Sf = perdita di carico distribuita;

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITÀ</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>RAVENNA (RA)</b>	<b>DOC. REL-AT-E-91020</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA</b> <b>RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Pagina 24 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-9120

$v$  = velocità media della corrente;

$n$  = coefficiente di scabrezza;

$R$  = raggio idraulico della sezione (rapporto tra l'area liquida ed il contorno bagnato);

Considerando che in letteratura tecnica la portata della corrente liquida può essere rappresentata dalla seguente espressione:

$$2) \quad Q = K \cdot Sf^{1/2}$$

dove il termine  $K$ , definito conveyance, il quale misura l'attitudine di una data sezione a far defluire le portate, diviene, tenendo conto della formula di Manning e introducendo l'area  $A$  della sezione liquida:

$$3) \quad K = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{2/3}$$

Per il calcolo del coefficiente di Manning si è fatto riferimento ai valori tabellati in letteratura.

#### Moto Permanente

La procedura di calcolo si basa sulla soluzione dell'equazione del moto permanente gradualmente variato con un metodo alle differenze finite.

L'equazione differenziale del profilo liquido di una corrente in moto permanente gradualmente variato risulta la seguente:

$$4) \quad \frac{dH}{ds} = -Sf$$

con:

$$5) \quad H = z + \frac{v^2}{2g}$$

in cui:

$H$  = carico totale della corrente nella sezione generica di ascissa  $s$  misurato rispetto ad un riferimento orizzontale;

$Sf$  = perdita di carico unitaria dovuta alle resistenze continue;

$z$  = quota del pelo liquido misurato rispetto ad un riferimento orizzontale;

$v$  = velocità media della corrente nella sezione generica di ascissa  $s$ ;

$g$  = accelerazione di gravità.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITÀ</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>RAVENNA (RA)</b>	<b>DOC. REL-AT-E-91020</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA</b> <b>RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Pagina 25 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-9120

Passando alle differenze finite la 4), applicata tra due sezioni distanti  $\Delta s$ , può essere scritta come:

$$6) H2 - H1 = -S_{fm} \cdot \Delta s$$

in cui:

H1 = carico totale della corrente nella sezione iniziale;

H2 = carico totale della corrente nella sezione finale;

S<sub>fm</sub> = perdita di carico unitaria dovuta alle resistenze continue media tra le due sezioni.

Tenendo conto della (5) ed indicando con i pedici 1 e 2 rispettivamente le grandezze relative alla sezione iniziale e quelle relative alla sezione finale la (6) diviene:

$$7) \quad z_1 + \frac{Q^2}{2g \cdot A_1^2} - z_2 - \frac{Q^2}{2g \cdot A_2^2} + \frac{1}{2} \cdot \left[ \frac{Q^2 \cdot n^2}{A_1^2 \cdot R_1^{4/3}} + \frac{Q^2 \cdot n^2}{A_2^2 \cdot R_2^{4/3}} \right] \cdot \Delta s = 0$$

in cui:

Q = portata;

A1 = area liquida della corrente nella sezione iniziale;

A2 = area liquida della corrente nella sezione finale.

Essendo le caratteristiche geometriche di una data sezione funzione della sola altezza liquida, la (7) permette di determinare la quota liquida nella sezione terminale di un tratto di corrente di lunghezza  $\Delta s$  una volta che sia nota la quota liquida in corrispondenza della sezione iniziale (condizione al contorno).

L'equazione (7) rappresenta quindi un'equazione non lineare in cui l'incognita è rappresentata dal valore  $z_2$  della quota liquida finale.

Per la determinazione del profilo liquido relativo ad un dato tronco di un corso d'acqua, occorre suddividere tale tronco in una successione di tratti delimitati da sezioni di cui sia nota la geometria.

Il modello permette la determinazione del profilo liquido secondo tre schemi di calcolo e precisamente:

1. Corrente lenta (subcritical flow)
2. Corrente veloce (supercritical flow)
3. Corrente mista (mixed flow)

Il primo schema, che è applicabile quando la corrente è ovunque lenta e presenta quindi in tutte le sezioni di calcolo un'altezza liquida maggiore dell'altezza critica, richiede che la condizione al contorno sia posta in corrispondenza della sezione estrema di valle del tratto considerato.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITÀ</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>RAVENNA (RA)</b>	<b>DOC. REL-AT-E-91020</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA</b> <b>RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Pagina 26 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-9120

Il secondo schema, che è applicabile quando la corrente è ovunque veloce e presenta quindi in tutte le sezioni di calcolo un'altezza liquida minore dell'altezza critica, richiede che la condizione al contorno sia posta in corrispondenza della sezione estrema di monte del tratto considerato.

Il terzo schema (adottato nella nostra simulazione) deve essere utilizzato quando nel tratto in esame si possono verificare transizioni da un tipo di corrente all'altro, dando luogo ad una successione di tronchi con differenti caratteristiche di moto, che nel caso di transizione da corrente veloce a lenta porteranno alla formazione di risalti idraulici. Tale schema richiede che siano definite due diverse condizioni al contorno in corrispondenza delle due sezioni estreme (di monte e di valle) del tratto considerato.

Nel caso di simulazioni in moto permanente sarà dunque sufficiente fornire il valore della portata in ingresso nella stazione di monte, eventuali cambiamenti della stessa dovuti a immissioni localizzate o distribuite, e le condizioni al contorno per le sezioni di chiusura del tronco in esame.

Per la soluzione dell'equazione monodimensionale dell'energia le perdite di carico sono determinate, come detto in precedenza, tramite l'equazione di Manning e, in corrispondenza di brusche variazioni di velocità dovute ad irregolarità d'alveo, tramite appositi coefficienti di espansione/contrazione. Irregolarità idrauliche (salti di fondo, confluenze, sbarramenti, etc...) nelle quali si viene a determinare un brusca variazione nel profilo del pelo libero della corrente, sono modellate attraverso la conservazione della spinta totale.

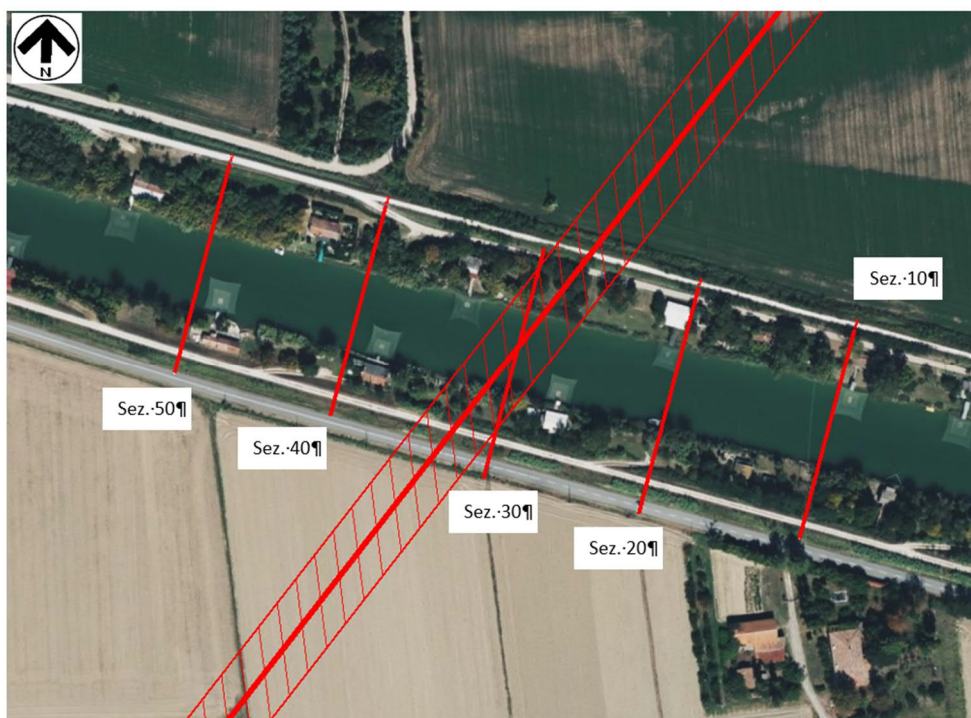


	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITÀ</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>RAVENNA (RA)</b>	<b>DOC. REL-AT-E-91020</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA</b> <b>RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Pagina 27 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-9120

## 8.2 Modellazione idraulica

La verifica sarà effettuata in corrispondenza di 5 sezioni (10, 20, 30, 40, 50 da valle verso monte) in prossimità del tracciato in progetto (vedere Fig. 8-1). La simulazione sarà relativa alla fase ante operam, che coincide con quella post operam, in quanto, essendo l'opera in progetto completamente interrata, non interferisce in alcun modo con la sezione del fiume.



**Figura 8-1:** Sezioni individuate per la verifica idraulica (in rosso il tracciato di progetto)

La simulazione è stata eseguita con la portata di piena duecentennale stimata con il metodo razionale:

Tr (anni)	Q (m <sup>3</sup> /s)
200	1441

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITÀ</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>RAVENNA (RA)</b>	<b>DOC. REL-AT-E-91020</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Pagina 28 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-9120

### Coefficiente di scabrezza

Il parametro di scabrezza riveste particolare importanza nell'esecuzione dei calcoli idraulici. Ai fini del calcolo, si possono assumere valori del coefficiente  $n$  di Manning riportati nella Tabella seguente a seconda della tipologia d'alveo e di golenale.

<b>COEFFICIENTE DI MANNING <math>n</math> [<math>s/m^{1/3}</math>]</b>			
<b>Tipo di superficie</b>	<b>Minimo</b>	<b>Normale</b>	<b>Massimo</b>
<b>ALVEI DI PIANURA</b>			
non vegetati, rettilinei, corrente regolare	0.025	0.030	0.033
come sopra ma con pietre e alghe	0.030	0.035	0.040
non vegetati, tortuosi con molienti e rapide	0.033	0.040	0.045
come sopra ma con pietre e alghe	0.035	0.045	0.050
come sopra, in magra	0.040	0.048	0.055
non vegetati, tortuosi, pietre, molienti e rapide	0.045	0.050	0.060
molto irregolari e alghe molto fitte	0.075	0.100	0.150
<b>ALVEI DI MONTAGNA (SPONDE CON ALBERI E CESPUGLI)</b>			
sul fondo: ghiaia, ciottoli e massi radi	0.030	0.040	0.050
sul fondo: ciottoli e grandi massi	0.040	0.050	0.070
<b>GOLENE E PIANE INONDABILI</b>			
prato senza cespugli, erba bassa	0.025	0.030	0.035
prato senza cespugli, erba alta	0.030	0.035	0.050
campi incolti	0.020	0.030	0.040
coltivazioni a filari	0.025	0.035	0.045
colture di cereali in pieno sviluppo	0.030	0.040	0.050
aree con cespugli sparsi e erba alta	0.035	0.050	0.070
aree con cespugli bassi e alberi, in inverno	0.035	0.050	0.060
aree con cespugli bassi e alberi, in estate	0.040	0.060	0.080
cespugli fitti, in inverno	0.045	0.070	0.110
cespugli fitti, in estate	0.070	0.100	0.160

**Tab.8-1:** Valori del parametro di scabrezza per diverse tipologie di alveo e area golenale

Nel nostro caso è stato assunto:

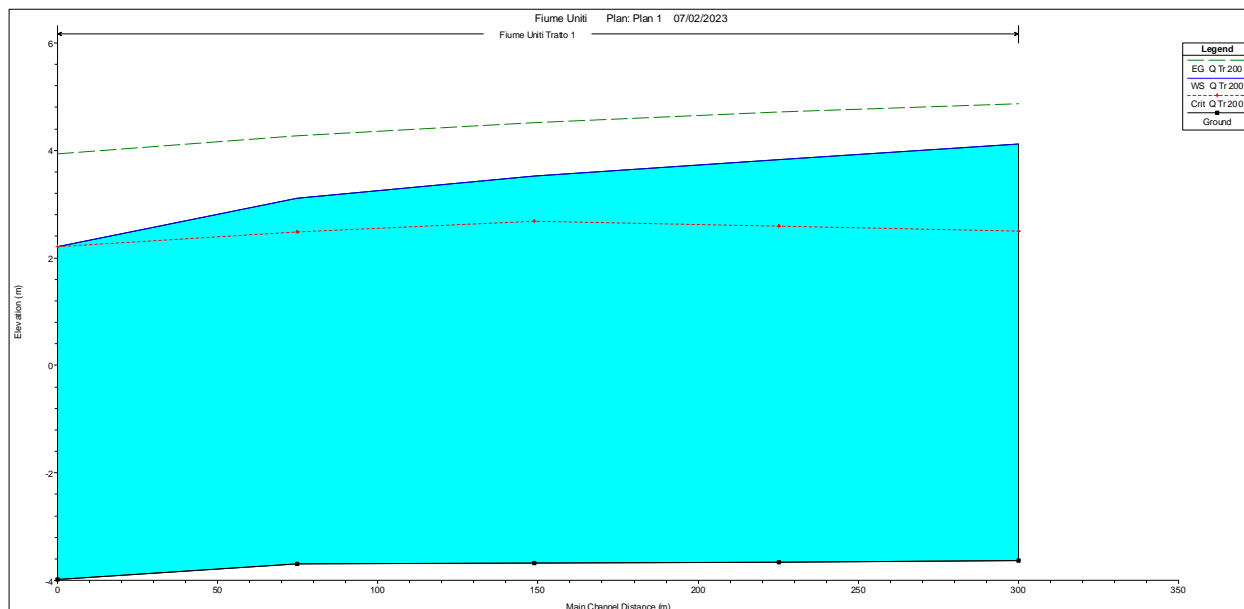
$$N \text{ Manning} = 0.035 \left[ m^{-1/3} \cdot s \right]$$

### Risultati del calcolo:

Di seguito si riportano i risultati della simulazione:

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITÀ</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>RAVENNA (RA)</b>	<b>DOC. REL-AT-E-91020</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA</b> <b>RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Pagina 29 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-9120



**Figura 8-2:** Profilo della portata al colmo di piena per tempo di ritorno pari a 200 anni

I parametri riportati nelle tabelle successive sono:

- Q Total: Portata totale
- Min Ch Elev: Quota minima della sezione s.l.m.
- WS Elev: Altezza idrica calcolata dall'equazione dell'energia s.l.m.
- Crit WS Elev: Altezza dello stato critico s.l.m.
- EG Elev: Energia calcolata per un determinata altezza idrica
- EG Slope: Pendenza della linea dell'energia
- Vel Ch: velocità media del flusso nel canale principale
- Flow Area: Area totale del flusso nella sezione di attraversamento
- Top Widht: Altezza max
- Ineff: Aree inattive, aree che non partecipano al deflusso
- Froude: numero di Froude
  - $F_r > 1$  corrente veloce
  - $F_r = 1$  corrente critica;
  - $F_r < 1$  corrente lenta.

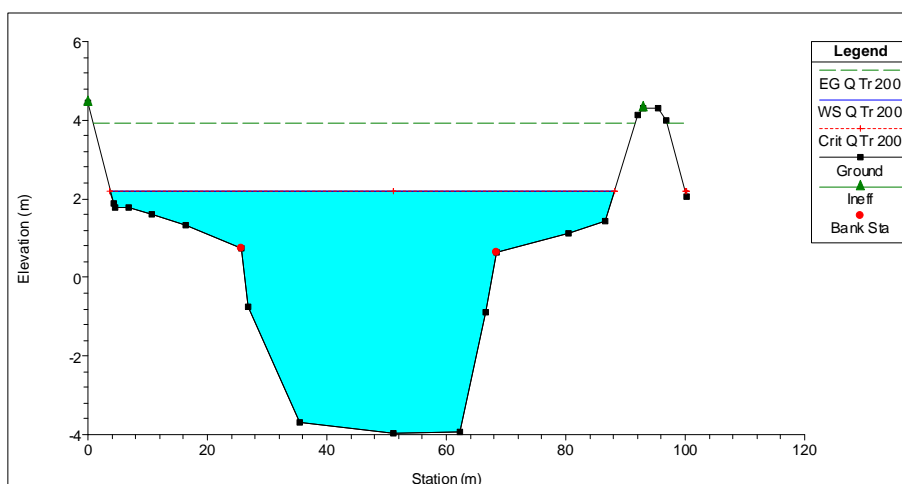
	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITÀ</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>RAVENNA (RA)</b>	<b>DOC. REL-AT-E-91020</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Pagina 30 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-9120

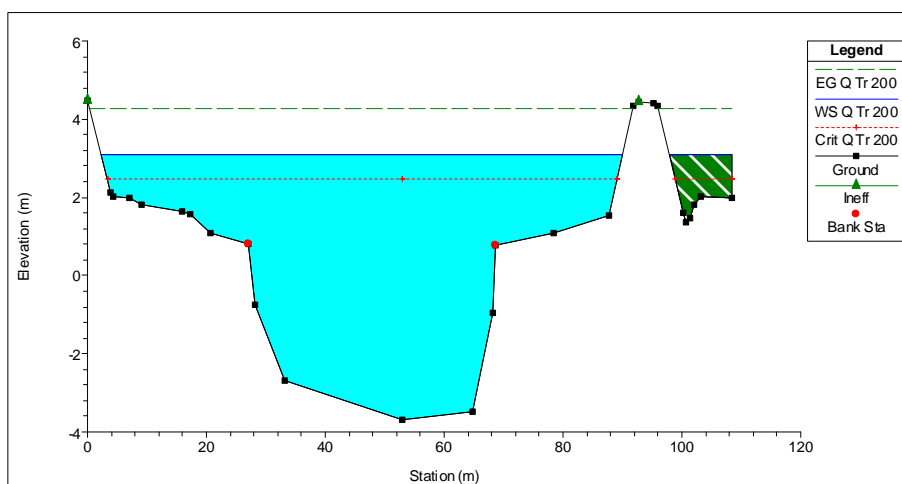
RISULTATI OTTENUTI CON HEC-RAS PER $T_R=200$ anni										
RS	Q Total (Tr 200 anni)	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
50	1441.00	-3.64	4.12	2.50	4.87	0.001664	4.08	407.98	94.92	0.49
40	1441.00	-3.67	3.83	2.59	4.71	0.002143	4.45	377.64	93.84	0.55
30	1441.00	-3.68	3.53	2.68	4.52	0.002782	4.70	353.79	101.52	0.61
20	1441.00	-3.69	3.11	2.48	4.28	0.003154	5.04	328.69	98.45	0.66
10	1441.00	-3.98	2.21	2.21	3.93	0.005058	5.96	268.88	84.77	0.82

**Tab.8-2:** Risultati della computazione per  $TR=200$  anni

Di seguito vengono rappresentate la sezione interferite dal metanodotto in progetto:



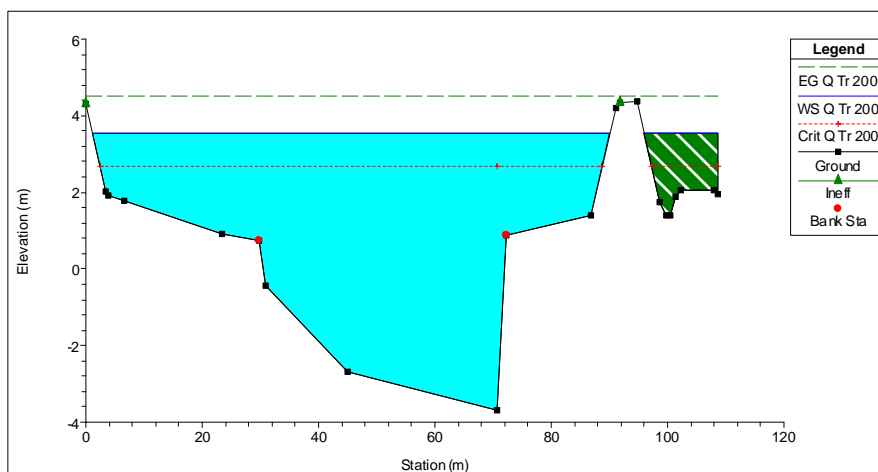
**Figura 8-3:** Profilo sez. 10 con  $Tr = 200$



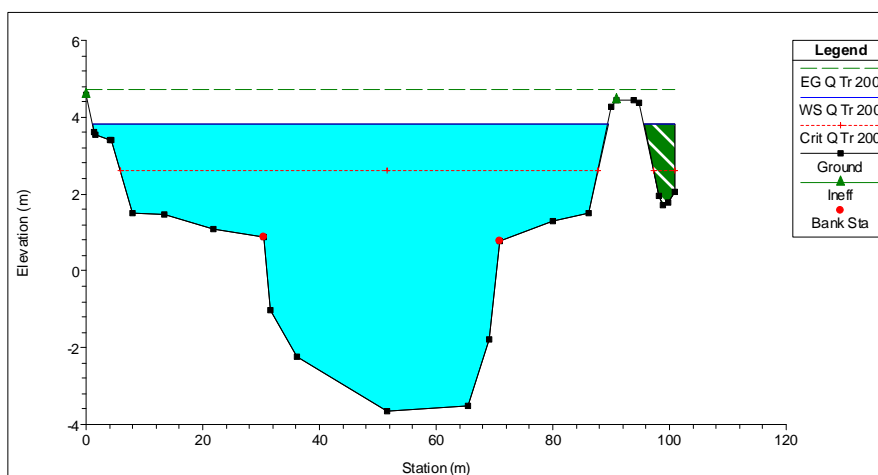
**Figura 8-4:** Profilo sez. 20 con  $Tr = 200$

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITÀ</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>RAVENNA (RA)</b>	<b>DOC. REL-AT-E-91020</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA</b> <b>RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Pagina 31 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

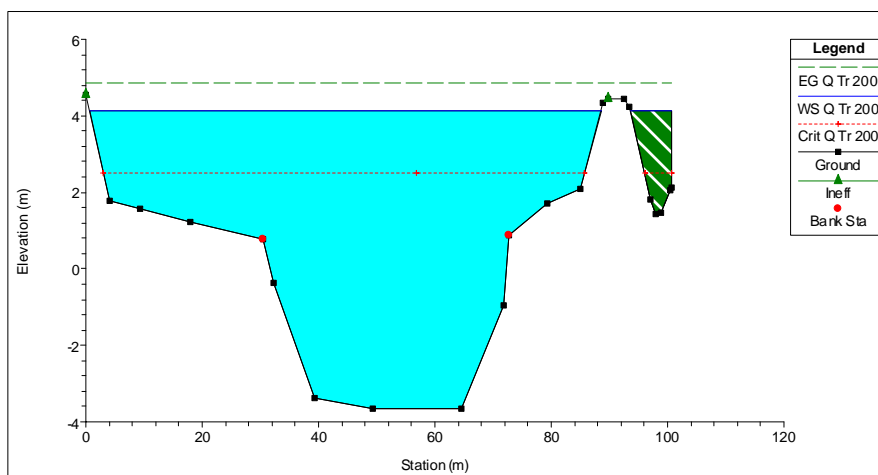
Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-9120



**Figura 8-5: Profilo sez. 30 con Tr = 200**



**Figura 8-6: Profilo sez. 40 con Tr = 200**

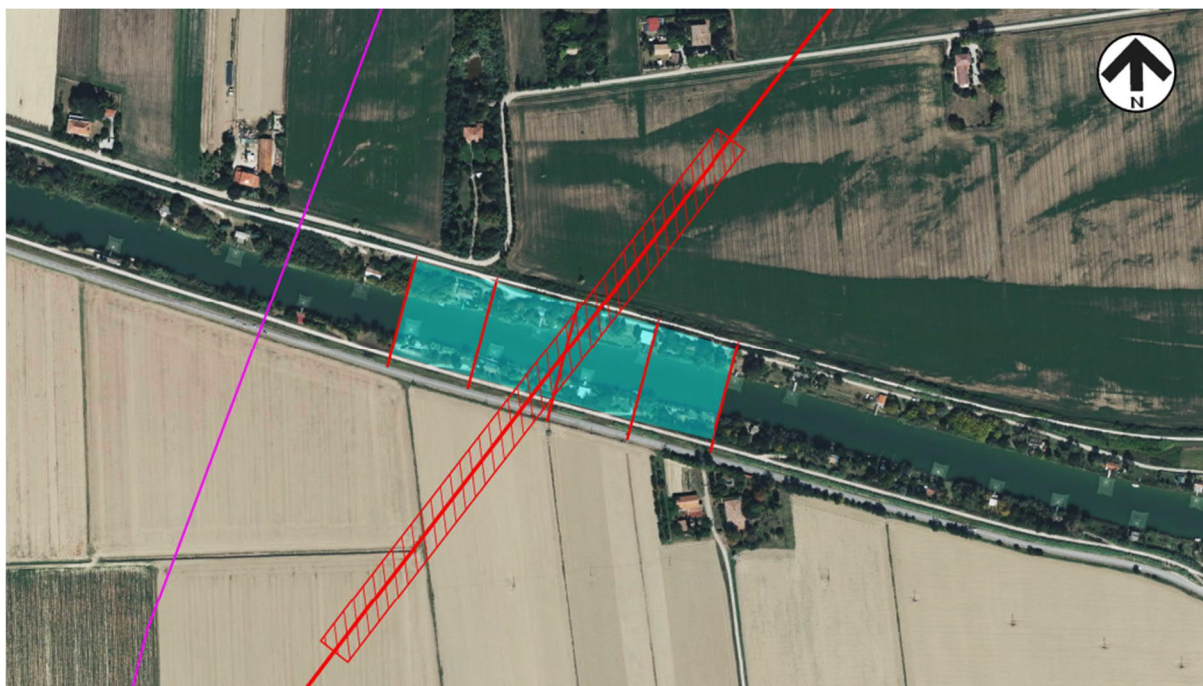


**Figura 8-7: Profilo sez. 50 con Tr = 200**



	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITÀ</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>RAVENNA (RA)</b>	<b>DOC. REL-AT-E-91020</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA</b> <b>RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Pagina 32 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-9120



**Figura 8-8:** Ortofoto aree allagabili con  $Tr = 200$

Dai risultati della simulazione, l'alveo dei Fiumi Uniti, per il tempo di ritorno di 200 anni (indicato da Direttiva), smaltisce la portata di piena nel tratto interessato dal progetto.

### 8.3

#### Calcolo del trasporto solido

Essendo l'opera in oggetto una condotta interrata posta al di sotto di un alveo fluviale, l'erosione risulta essere un dato fondamentale dello studio idraulico, in quanto, se si fosse in presenza di un'intensa attività erosiva, il fondo potrebbe essere scavato fino a raggiungere la condotta minandone la stabilità.

Quello del trasporto solido è una stima complessa in quanto deve tenere in considerazione diversi fattori in contemporanea e dovrebbe essere suffragato da osservazioni di una certa durata che permettano di operare un confronto e valutare l'evoluzione dell'alveo.

Si procede di seguito alla verifica del trasporto solido attraverso il metodo empirico di Schoklitsch.

#### Metodo di Schoklitsch

Questo metodo è applicabile nel caso di moto permanente sia per la portata liquida che per quella solida. Si definisce una portata critica  $q_c$  in funzione del diametro  $D_{40}$  del materiale al di sopra del quale inizia il trasporto solido.

Questo metodo stima la portata critica per l'inizio del movimento, rendendo immediatamente visibile il risultato.



	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITÀ</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>RAVENNA (RA)</b>	<b>DOC. REL-AT-E-91020</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA</b> <b>RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Pagina 33 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-9120

$$Q_s = q_s \cdot B = 2500 \cdot \frac{\gamma}{\gamma_s} \cdot i^{1.5} (q - q_c) \cdot B$$

dove:

- $Q_s$  = portata solida volumetrica totale [kg/s];
- $q_s$  = portata solida per unità di larghezza [kg/s.m];
- $q_c$  = portata liquida critica per unità di lunghezza, corrispondente all'inizio del moto dei sedimenti [m<sup>3</sup>/s.m], calcolata secondo la formula:

$$q_c = 0.26 \cdot \left( \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \right)^{\frac{5}{3}} \cdot \frac{D^{\frac{3}{2}}}{j^{\frac{7}{6}}}$$

- $\gamma_s$  = peso specifico dei sedimenti [N/m<sup>3</sup>];
- $\gamma$  = peso specifico dell'acqua [N/m<sup>3</sup>];
- $B$  = larghezza della sezione bagnata in esame [m];
- $j$  = pendenza della linea dell'energia;
- $D$  = diametro caratteristico del sedimento corrispondente a  $D_{40}$  [mm];
- $q$  = portata liquida volumetrica per unità di larghezza [m<sup>3</sup>/s.m].

Per applicare il metodo si considera la portata con  $T_r=30$  anni per avere un valore del trasporto solido a favore della sicurezza e si sono utilizzati i seguenti parametri (ved. Relazione Geologica-Tecnica):

PARAMETRI UTILIZZATI						
materiale	D [mm]	$\gamma$ [Kg/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_s$ [Kg/m <sup>3</sup> ]	i [m/m]	B [m]	$Q_{30}$ [m <sup>3</sup> /s]
argilla	0.003	1000	2000	0.013	41	921
sabbia	0.62	1000	2100	0.013	41	921
ghiaia	2	1000	2300	0.013	41	921

**Tab. 6.4/A.** Parametri utilizzati per il calcolo con il metodo di Schoklitsch

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITÀ</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>RAVENNA (RA)</b>	<b>DOC. REL-AT-E-91020</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA</b> <b>RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Pagina 34 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-9120

TRASPORTO SOLIDO				
materiale	q [m <sup>3</sup> /s·m]	q <sub>c</sub> [m <sup>3</sup> /s·m]	q <sub>s</sub> [kg/s·m]	Q <sub>s</sub> [kg/s]
argilla	22.5	0.0068	83.2	3412
sabbia	22.5	23.6	-	-
ghiaia	22.5	180.6	-	-

**Tab. 22.** Trasporto solido calcolato con il metodo di Schoklitsch

Si è scelta la portata con  $T_R=30$  anni per utilizzare un valore che plausibilmente può verificarsi più spesso. Portate con tempo di ritorno più elevato, invece, avrebbero dato valori eccessivi di trasporto solido mostrando un fenomeno che non rispecchia la realtà. Il valore di portata “quanto più consueto possibile” dà una misura più attendibile, sebbene cautelativa, del fenomeno che può verificarsi.

Bisogna considerare che tali metodi empirici hanno un grado di incertezza molto elevato. Attenendoci comunque ai suddetti valori, la loro analisi ci evidenzia valori di portata critica che, nel caso del materiale limoso, viene superato e quindi innesca trasporto solido, il quale, però, interessa solo la granulometria fine, infatti, nel caso di materiale più grossolano, la portata critica non viene superata, di conseguenza il fenomeno del trasporto solido è, come già detto, limitato al materiale più fine.

Questo risultato è coerente con le osservazioni in sito, dalle quali si rileva un alveo rettilineo, con bassa pendenza, sponde ricoperte da fitta vegetazione e fondo costituito da un consistente strato limoso.

## 9 VERIFICA AL SIFONAMENTO

Per la verifica al sifonamento si faccia riferimento alla relazione descrittiva N. REL-AT-E-35025.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITÀ</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>RAVENNA (RA)</b>	<b>DOC. REL-AT-E-91020</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA</b> <b>RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Pagina 35 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-9120

## 10 CONCLUSIONI

Per l'attraversamento da parte dell'opera in progetto dei Fiumi Uniti, è stato condotto uno studio idrologico-idraulico secondo la Direttiva del PAI dei Bacini Regionali Romagnoli "Direttiva inerente le verifiche idrauliche".

L'opera in progetto ricade nel territorio di competenza dell'Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po che, in seguito alla seduta della Conferenza Istituzionale Permanente del 23 maggio 2017, è subentrata alla già Autorità di Bacino del fiume Po e alla quale sono stati annessi i Bacini interregionali del Reno, del Fissero-Tartaro-Canal Bianco, del Conca-Marecchia e i bacini regionali Romagnoli. L'area di studio è compresa nell'unità di gestione ITR081 "Bacini Romagnoli".

Le aree a rischio idraulico sono individuate dal Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico dei Bacini Romagnoli in conformità con il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni di cui alla Direttiva 2007/60/CE e sono indicate nelle tavole della Perimetrazione aree a rischio idrogeologico. Dall'analisi delle suddette, la zona relativa all'attraversamento dei Fiumi Uniti ricade nell'area di classe P3/pericolosità con probabilità elevata.

L'analisi idrologica è stata effettuata sia attraverso il Metodo di Regionalizzazione, che mediante il Metodo Razionale estrapolando i valori dei parametri delle curve di possibilità climatica dallo studio di regionalizzazione (Franchini et al. 2001) riportati nell'Allegato 3 della Direttiva inerente le verifiche idrauliche del PAI. Tra le due portate, per il calcolo idraulico, è stata scelta quella desunta dal Metodo Razionale in quanto più cautelativa.

Per la verifica idraulica è stata svolta una simulazione in moto permanente utilizzando il software HEC-RAS, sviluppato da Hydrologic Engineering Center dell'US Army Corps of Engineers (release 6.3.1)

Dalla simulazione eseguita, l'alveo è risultato in grado di smaltire la portata di piena per il tempo di ritorno duecentennale indicato dalla Direttiva PAI.

Essendo la condotta in progetto un'opera completamente interrata, le condizioni post operam coincidono con quelle ante operam, inoltre, essendo l'attraversamento svolto in T.O.C., anche durante la fase di cantierizzazione non viene modificata la morfologia dell'alveo e il conseguente deflusso naturale. Le postazioni di spinta e recupero, al di fuori dell'alveo, verranno ripristinate all'originaria situazione, sia stratigrafica, che morfologica

Per quanto riguarda il trasporto solido della corrente, le verifiche empiriche eseguite per la stima di uno scenario futuro hanno evidenziato un eventuale movimento di materiale solo per quel che riguarda i materiali a grana fine, risultato coerente con le osservazioni in sito.

In conclusione si può affermare che l'opera è compatibile idraulicamente con il corso d'acqua in quanto non modifica la funzione del fiume, lasciando inalterato il deflusso naturale dell'acqua all'interno dell'alveo.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22178</b>	<b>UNITÀ</b> <b>20</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>RAVENNA (RA)</b>	<b>DOC. REL-AT-E-91020</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA</b> <b>RETE NAZIONALE GASDOTTI</b>	Pagina 36 di 36	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM22-001-20-RT-E-9120

## 11

### BIBLIOGRAFIA

- AUTORITA' DI BACINO DISTRETTUALE DEL FIUME PO  
<https://www.adbpo.it/>
- Piano di Gestione del Rischio Alluvioni 2021-2027  
<https://pianoalluvioni.adbpo.it/piano-di-gestione-del-rischio-alluvioni-2021-2027/>
- <https://servizimoka.regione.emilia-romagna.it/mokaApp/apps/DA/index.html>
- Piano Assetto Idrogeologico – Autorità Bacini Regionali Romagnoli
- <https://pai.adbpo.it/index.php/piano-stralcio-rischio-idrogeologico-bacini-romagnoli/>
- Direttiva per la sicurezza idraulica  
<https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/suolo-bacino/sezioni/pianificazione/autorita-bacini-romagnoli/direttive>