

IL CONCEDENTE

IL CONCESSIONARIO



AUTOSTRADA REGIONALE CISPADANA DAL CASELLO DI REGGIOLO-ROLO SULLA A22 AL CASELLO DI FERRARA SUD SULLA A13

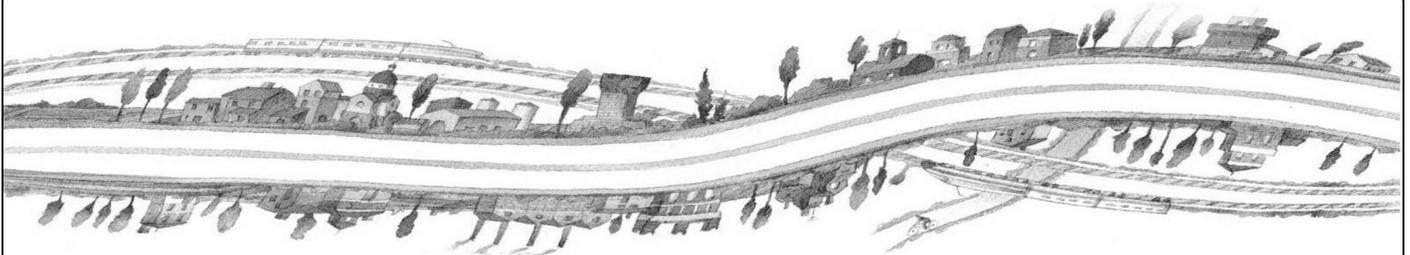
CODICE C.U.P. E81B08000060009

PROGETTO DEFINITIVO

**VIABILITA' DI ADDUZIONE AL SISTEMA AUTOSTRADALE
D01 (ex 1PR) Riqualificazione della SP n° 72 "Parma-Mezzani"
IDROLOGIA E IDRAULICA**

IDROLOGIA ED IDRAULICA GENERALE

RELAZIONE IDROLOGICA- IDRAULICA



Ing. Riccardo Telò
Albo Ing. Regg. n° 1099



RESPONSABILE INTEGRAZIONE
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

Ing. Emilio Salsi
Albo Ing. Reggio Emilia n° 945



IL CONCESSIONARIO

Autostrada Regionale
Cispadana S.p.A.
IL PRESIDENTE
Graziemo Pattuzzi

| | | | | | |
|------|------------|-------------|-----------|------------|----------------------|
| G | | | | | |
| F | | | | | |
| E | | | | | |
| D | | | | | |
| C | | | | | |
| B | | | | | |
| A | 17.04.2012 | EMISSIONE | | Ing. Mammi | Ing. Telò Ing. Salsi |
| REV. | DATA | DESCRIZIONE | REDAZIONE | CONTROLLO | APPROVAZIONE |

IDENTIFICAZIONE ELABORATO

| | | | | | | | | | |
|-------------|------|-------|--------|------------------|--------------|--------|----------------|-------------|------|
| NUM. PROGR. | FASE | LOTTO | GRUPPO | CODICE OPERA WBS | TRATTO OPERA | AMBITO | TIPO ELABORATO | PROGRESSIVO | REV. |
| 4737 | PD | 0 | D01 | DWS00 | 0 | WW | RI | 01 | A |

DATA: **MAGGIO 2012**

SCALA: **varie**

INDICE

| | | |
|--------|--|----|
| 1. | PREMESSA..... | 2 |
| 2. | INQUADRAMENTO NORMATIVO | 3 |
| 3. | CRITERI GENERALI | 4 |
| 3.1. | Articolazione dello studio | 4 |
| 4. | L'APPLICAZIONE DEI MODELLI UTILIZZATI..... | 6 |
| 4.1. | Il modello idrologico | 6 |
| 4.1.1. | Evaporazione | 7 |
| 4.1.2. | Infiltrazione | 7 |
| 4.1.3. | Propagazione del flusso superficiale | 8 |
| 4.1.4. | I flussi sotterranei | 10 |
| 4.2. | Il modello per la propagazione dell'onda di piena | 11 |
| 5. | AMBITO DI RIFERIMENTO..... | 15 |
| 5.1. | Il comprensorio di Bonifica | 15 |
| 5.2. | Tracciato stradale in progetto | 16 |
| 6. | CARATTERISTICHE IDROLOGICHE | 18 |
| 6.1. | Indagini pluviometriche ed idrometriche | 18 |
| 6.2. | Analisi idrologiche..... | 1 |
| 7. | INTERFERENZE IDRAULICHE CON IL TRACCIATO IN PROGETTO | 4 |
| 8. | CORSI D'ACQUA SECONDARI INTERFERITI | 6 |
| 8.1. | CAVO BURLA..... | 6 |
| 8.1.1. | Caratteristiche idrografiche, geometriche, morfologiche ed ambientali dell'alveo | 6 |
| 8.1.2. | Verifiche idrauliche | 8 |
| 8.2. | CANALE ARIANA MALCANTONE | 14 |
| 8.2.1. | Caratteristiche idrografiche, geometriche, morfologiche ed ambientali dell'alveo | 14 |
| 8.2.2. | Verifiche idrauliche | 15 |
| 9. | INTERVENTI DI SISTEMAZIONE IDRAULICA ED OPERE CONNESSE..... | 21 |

1. PREMESSA

La presente relazione è parte integrante del Progetto Definitivo dell'Autostrada Regionale Cispadana, ed in particolare della viabilità di adduzione al sistema autostradale denominata D01 (ex 1PR) costituita dalla **Riqualificazione della SP 72 "Parma-Mezzani"** e si propone di definire le grandezze idrauliche di riferimento e, di conseguenza, di stabilire gli interventi e gli accorgimenti da adottare, al fine di garantire la compatibilità tra le infrastrutture di attraversamento dei corsi d'acqua interferiti e gli ambienti di pertinenza degli stessi. Analogamente all'impostazione tenuta per il progetto dell'opera autostradale, questo percorso progettuale è stato coordinato e condiviso con gli Enti Gestori di ogni singolo corso d'acqua, in particolare con il Consorzio di Bonifica Parmense, e tiene conto delle prescrizioni impartite durante la Conferenza dei Servizi sul Preliminare che si è conclusa con l'approvazione del Progetto Preliminare nel Dicembre 2011.

Il risultato finale consiste nell'aver rispettato:

- ❑ ogni singola sezione di deflusso di attraversamento per il transito di piene relative alla portata massima sostenibile del corso d'acqua (QMS) nel rispetto della Direttiva dell'Autorità di Bacino del fiume Po e del Regolamento interno di polizia idraulica dell'Ente gestore;
- ❑ i franchi imposti tra i livelli idrometrici per piene prefissate e le dimensioni interne degli attraversamenti idraulici previsti,
- ❑ distanze minime dai cigli spondali per garantire le ordinarie operazioni di manutenzione da parte degli Enti preposti;
- ❑ le opere idrauliche di protezione all'imbocco e allo sbocco di ogni attraversamento stradale in progetto, inteso come difese spondali, coerenti con quanti indicato dal Consorzio di Bonifica Parmense;
- ❑ la continuità e la conservazione della viabilità gestionale sia in caso di piena che di magra

Il sistema di acque superficiali, interessato dal tracciato stradale, è composto, da una fitta rete di corsi d'acqua artificiali, di storica memoria, rappresentativi di un importante componente dell'ambiente circostante. Questo antico intreccio di canali rappresenta un elemento determinante per la caratterizzazione anche del paesaggio agrario coinvolto dall'infrastruttura stradale ed assolve una funzione strategica per l'economica del territorio, sia in termini di distribuzione delle acque irrigue che di scolo di quelle piovane.

L'ambito territoriale scelto per l'analisi del sistema idrografico è, quindi, quello definito dai bacini imbriferi le cui aste vengono interessate dall'opera in studio; essi appartengono interamente al bacino imbrifero del Fiume Po. Sono interferiti dal tracciato dell'opera di adduzione in progetto due canali importanti per le loro funzioni idrauliche come il Cavo Burla e il Canale Ariana Malcantone. Il Canale Naviglio Nuovo, a differenza del progetto preliminare, non è più interferito dalla viabilità in progetto, poiché questa ha subito, in questa fase progettuale, un leggero cambio di tracciato.

2. INQUADRAMENTO NORMATIVO

Le analisi idrauliche, di seguito riportate, sono state condotte rispettando gli indirizzi e le prescrizioni riportate nella normativa di riferimento nazionale, elencata nell'elaborato PD_0_000_00000_0_GE_KT_01_A Elenco delle Normative di Riferimento.

Lungo tutto lo sviluppo dell'analisi e della progettazione idraulica in oggetto ci si è, inoltre, attenuti e riferiti a tutto l'insieme di indicazioni e prescrizioni (Norme di polizia idraulica) impartite dal Consorzio di Bonifica competente, con il quale è stato attivato un positivo confronto.

3. CRITERI GENERALI

3.1. Articolazione dello studio

Lo studio idrologico-idraulico, nel suo complesso, si è articolato nelle seguenti fasi.

Fase 1^a: Definizione di un quadro conoscitivo di riferimento morfologico e idraulico

Scopo di questa fase è di predisporre uno strumento conoscitivo in grado di valutare le sollecitazioni idrauliche dei diversi corsi d'acqua nel tratto di interesse, intese quali idrogrammi di piena (livelli e portate), ricavate attraverso analisi idrologiche e processi di modellazione matematica, e le condizioni idrauliche al contorno, sia a monte che a valle, per quanto non espresso dagli eventuali dati idrometrici disponibili.

Il rilievo delle sezioni trasversali aggiornato al 2011 proprio nell'ambito della presente progettazione definitiva, completato dai rilievi effettuati nel 2008 per il progetto preliminare, ha permesso, inoltre, di definire la geometria dei corsi d'acqua nei tratti oggetto di studio.

Fase 2^a: Analisi idraulica dei corsi d'acqua artificiali

Il sistema dei corsi d'acqua artificiali comprende la rete idrografica canalizzata composta dai corsi d'acqua di scolo e di irrigazione afferenti al Consorzio di Bonifica o a proprietà private che insistono sull'area attraversata. Il tracciato interferisce con canali che sono stati classificati come secondari o minori sulla base della larghezza d'alveo a piano campagna: se $3m < B < 10m$ il canale è di rango secondario, mentre se $B \leq 3m$ il canale è di rango minore.

L'analisi idrologica ed idraulica, effettuata per i corsi d'acqua interferiti dalla viabilità in progetto, rispecchia le considerazioni fatte per i diversi ambiti territoriali esaminati, in quanto ciascuno di essi presenta peculiari caratteristiche morfologiche e climatologiche che modificano i parametri idrologici connessi alla formazione ed al deflusso delle piene. La particolare caratteristica dei corsi d'acqua di bonifica risiede proprio nella loro funzionalità e negli usi a cui sono preposti; l'ambivalenza delle funzioni di scolo ed irrigazione rende non poco difficile l'analisi idrologica in quanto a rigori essi andrebbero studiati sotto il profilo della funzione di drenaggio delle acque meteoriche, tuttavia essi sono utilizzati, soprattutto nelle stagioni primaverili ed estive, anche per irrigazione, mantenendo alti i livelli in alveo e riducendo la capacità di assorbimento di eventi pluviometrici importanti.

Il criterio adottato per individuare i livelli idrometrici da assumere a riferimento per la progettazione dei manufatti di attraversamento, è stato, quindi, quello di assumere come portata di riferimento quella massima sostenibile (Q_{ms}), determinata mediante modellazione matematica in moto permanente. È stata inoltre valutata una Q_{ms} incrementata impostando le verifiche anche nell'ipotesi di adeguamento spondale lungo parte dei tratti dei corsi d'acqua analizzati.

L'analisi idraulica, condotta mediante modellazione matematica in moto permanente, è stata condotta indagando e mettendo a confronto la condizione attuale, stato di fatto e quella futura, stato di progetto.

Le dimensioni dei manufatti di attraversamento sono state definite in accordo con quanto impartito dal Consorzio di Bonifica in sede di CDS e comunque garantendo un franco d'aria almeno pari al 30% dell'altezza interna del tombino rispetto alla portata di progetto.

Per i corsi d'acqua minori, oltre alle verifiche dei singoli attraversamenti, è stata altresì condotta una mirata analisi volta a comprendere le interferenze che il corpo stradale impatta sulla microcircolazione delle acque sia in termini distributivi (funzionali all'irrigazione) che scolanti. Al fine di garantire sempre la continuità idraulica delle rete idrografica esistente, sono stati previsti tutta una serie di manufatti idraulici rappresentati da paratoie di diverse dimensioni, tubi irrigui in pressione contro-tubati e tombini per passi carrai, che nelle planimetrie di dettaglio in scala 1:2.000 sono stati inseriti in forma computistica.

Fase 3^a: progettazione delle opere di presidio idraulico

Sulla base delle risultanze delle analisi idrauliche si è, quindi, proceduto alla definizione delle opere di presidio idraulico necessarie a garantire sia l'ufficiosità idraulica delle strutture in progetto, che la compatibilità delle stesse con le dinamiche dei corsi d'acqua. Sono stati, inoltre, definiti gli accorgimenti e gli interventi necessari alla risoluzione delle interferenze con gli ulteriori elementi idraulici presenti. Per il progetto delle difese attive sono state privilegiate soluzioni di ingegneria a basso impatto ambientale, condivise con gli Enti preposti al governo del territorio.

4. L'APPLICAZIONE DEI MODELLI UTILIZZATI

4.1. Il modello idrologico

Il modello dinamico **SWMM (Storm Water Management Model)**, sviluppato e aggiornato dall'agenzia federale statunitense per la protezione dell'ambiente U.S. E.P.A., descrive quantitativamente la trasformazione delle piogge in deflussi superficiali sulla superficie di un bacino imbrifero ed in correnti idriche che confluiscono e si propagano lungo i collettori.

Matematicamente il processo è rappresentato dalla soluzione di un sistema di equazioni differenziali che governano il bilancio della massa liquida (equazione di continuità) e della corrispondente energia meccanica (equazione del moto) tanto per il deflusso che si sviluppa come lama d'acqua fluente sulla superficie di una area elementare per effetto della saturazione del suolo e del superamento della sua capacità di infiltrazione, quanto del deflusso che si sviluppa come corrente essenzialmente monodimensionale in ciascuno dei tronchi elementari costituenti i collettori drenanti. Oltre tali equazioni differenziali, il modello impone contemporaneamente, attraverso ulteriori equazioni, le condizioni al contorno, ed in particolare l'identità del livello in tutti gli estremi di canali che connettono lo stesso nodo, il legame tra livello raggiunto nei nodi, dimensione fisica delle confluenze e livelli idrici nei canali riceventi.

Le condizioni iniziali nel reticolo vengono invece calcolate sulla base delle condizioni al contorno che riguardano i riceventi e della portata iniziale in ogni condotto.

Per quanto riguarda il deflusso di superficie, il programma considera ogni area elementare utilizzata per la schematizzazione dell'intero bacino come un serbatoio non lineare con un singolo ingresso che rappresenta le precipitazioni, e con più uscite che rappresentano rispettivamente l'infiltrazione, l'evaporazione ed il deflusso superficiale. È quest'ultima la componente maggiormente rappresentativa nel caso presente.

La capacità del serbatoio non lineare rappresenta la capacità massima d'accumulo sulle superfici del bacino, fornita principalmente dai micro e macro avvallamenti delle superfici e dal velo d'acqua presente sulle superfici bagnate, d'altezza variabile durante l'evento di pioggia.

Nella logica del modello il deflusso superficiale ha inizio solo quando il volume d'acqua nel serbatoio supera la capacità d'accumulo superficiale, mentre l'infiltrazione (solo nella porzione permeabile della superficie) e l'evaporazione riducono continuamente il volume d'acqua accumulato nel serbatoio. L'infiltrazione viene modellata secondo il metodo CN del Soil Conservation Service (USA). Nei casi in cui l'infiltrazione e l'evaporazione risultino potenzialmente superiori alla precipitazione, il deflusso risulta ovviamente nullo. E' presente anche la componente di deflusso ipodermico e di base, derivante dalla schematizzazione della regione sotterranea come due serbatoi non lineari interconnessi; tale elemento, introdotto quando si dispone di osservazioni in continuo delle piogge, può simulare anche gli scambi idrici fra falda freatica e corso

d'acqua, ma riveste una importanza trascurabile nella simulazione di singoli eventi di piena, come quelli analizzati in questo studio, perché i tempi di risposta dei due serbatoi sotterranei eccedono largamente quelli del ruscellamento superficiale, fornendo un contributo al deflusso totale che diviene significativo solo in regime fluviale di morbida e magra.

Il processo appena descritto, elaborato dal modulo RUNOFF del programma, viene ripetuto per ogni area elementare schematizzata, e per ogni passo temporale in cui è necessario discretizzare l'intervallo di tempo durante il quale interessa simulare la trasformazione afflussi-deflussi e la propagazione della conseguente piena lungo il sistema drenante, tenendo conto delle confluenze secondo la struttura topologica della rete di scolo.

Il modulo RUNOFF è stato sviluppato per simulare sia la quantità che la qualità dei flussi in un bacino di drenaggio ed il loro propagarsi nelle condotte della rete. Assegnatogli uno ietogramma, il programma schematizza il bacino con una combinazione di sottobacini e di condotte e/o canali ideali, e procede a svolgere un'esauriva analisi (neve disciolta, perdite da infiltrazione nelle aree pervie, ritenzione superficiale, flusso sul terreno e nelle condotte e/o canali), che permette di determinare gli idrogrammi ed i pollutogrammi nei vari nodi. Nello studio in questione si è analizzato il problema idrico solamente dal punto di vista quantitativo, non da quello qualitativo.

4.1.1. Evaporazione

L'evaporazione può essere inserita nel modulo RUNOFF sia direttamente, tramite una altezza cumulata per ciascun mese, sia a partire dalla serie temporale delle temperature.

L'evaporazione è sottratta all'altezza di pioggia caduta e/o acqua stagnante prima di calcolare l'infiltrazione e lo scorrimento superficiale. Il valore della precipitazione che il programma considera è quindi sempre quello netto a cui sono già state sottratte le perdite di evaporazione.

Sebbene nel modulo RUNOFF evaporazione e infiltrazione siano sommate per formare un unico valore di perdita per i calcoli nei sottobacini, totali separati sono mantenuti nel controllo generale della continuità.

4.1.2. Infiltrazione

Per l'infiltrazione nelle aree pervie SWMM consente di scegliere tra 3 modelli: Horton, Green-Ampt e Curve Number. Il modello empirico di Horton è frequentemente utilizzato. Molti idrologi hanno una "sensibilità" per i tre parametri richiesti, nonostante la documentazione al riguardo sia molto scarsa. Sebbene nella sua formulazione classica l'equazione possa essere utilizzata solo qualora l'intensità di precipitazione ecceda la capacità di infiltrazione, le modifiche apportate in SWMM al modello permettono di superare questa deficienza.

Alternativamente l'equazione di Green-Ampt è un modello fisico che può consentire una buona descrizione del processo di infiltrazione. Nella formulazione di Mein-Larson il modello può anche essere applicato in

caso di intensità di precipitazione inferiore alla capacità di infiltrazione all'inizio dell'intervallo temporale.

4.1.3. Propagazione del flusso superficiale

Il modulo RUNOFF rappresenta l'inizio della generazione del flusso in SWMM. Ciascun sottobacino viene suddiviso in tre sottoaree che simulano le aree impermeabili, con e senza depressioni superficiali, e l'area permeabile, con depressioni superficiali. La profondità delle depressioni superficiali è un dato di input (parametro denominato WSTORE) per le aree impermeabili e permeabili di ciascun sottobacino.

Il flusso superficiale è generato da ciascuna delle tre aree approssimandole a serbatoi non-lineari, ai quali non viene assegnata alcuna forma specifica. Tuttavia, se la larghezza del sottobacino, W , è considerata come vera larghezza del flusso superficiale, allora l'area si comporterà come un bacino rettangolare. Altrimenti, la larghezza (come anche la pendenza e la scabrezza) possono essere considerati come parametri di calibrazione. Il serbatoio non-lineare è definito combinando l'equazione di continuità con quella di Manning.

L'equazione di continuità, applicata a ciascuna sottoarea:

$$\frac{dV}{dt} = A \frac{dd}{dt} = Ai^* - Q$$

dove $V = A \cdot d =$ volume di acqua nella sottoarea, m^3

$d =$ altezza della lama d'acqua, m ,

$t =$ tempo, s ,

$A =$ area del sottobacino, m^2

$i^* =$ eccedenza di precipitazione = intensità di precipitazione /neve disciolta meno tasso di evaporazione e/o infiltrazione(m/s),

$Q =$ velocità del flusso, m^2/s ,

si coniuga con l'equazione di Manning per il flusso:

$$Q = W \frac{1.49}{n} (d - d_p)^{5/3} S^{1/2}$$

dove $W =$ larghezza del sottobacino, m ,

$n =$ coefficiente di scabrezza di Manning,

$d =$ altezza della lama d'acqua, m ,

$S =$ pendenza del sottobacino, m/m .

Queste due equazioni sono combinate in una equazione differenziale non lineare, che può essere risolta rispetto ad un'incognita, l'altezza, d .

$$\frac{dd}{dt} = i^* - \frac{1.49 \cdot W}{A \cdot n} \cdot (d - d_p)^{5/3} S^{1/2} = i^* + WCON \cdot (d - d_p)^{5/3}$$

dove:

$$WCON = \frac{1.49 \cdot W \cdot S^{1/2}}{A \cdot n}$$

Si noti il raggruppamento della larghezza, pendenza e scabrezza in un unico parametro.

L'equazione dd/dt è risolta per ciascun intervallo temporale con un semplice schema alle differenze finite. A questo scopo, nel lato destro dell'equazione si deve considerare il flusso medio netto in ingresso ed in uscita nell'intervallo di tempo. L'intensità di precipitazione, i^* , è considerata nel programma come media nell'intervallo di tempo. Il flusso medio è approssimato calcolandolo come media tra le vecchie e le nuove altezze. Quindi, denotando coi pedici 1 e 2 rispettivamente l'inizio e la fine dell'intervallo temporale, l'equazione si approssima:

$$\frac{d_2 - d_1}{\Delta t} = i^* + WCON \cdot \left[d_1 + \frac{1}{2}(d_2 - d_1) - d_p \right]^{5/3}$$

dove Δt = intervallo di tempo, (s).

Questa equazione è poi risolta in d_2 usando un'iterazione di Newton-Raphson.

Dato d_2 , il flusso istantaneo alla fine dell'intervallo temporale, $WFLOW$ è calcolato tramite l'equazione di Manning. Il flusso in uscita istantaneo è anche il valore del flusso che viene trasferito ai successivi moduli di SWMM.

Nonostante la soluzione dell'equazione alle differenze finite sia immediata e semplice, delle peculiarità esistono nel modo in cui alcuni parametri per le singole sottoaree (A1, A2 e A3) vengono specificate. In particolare, solo due valori di $WCON$ sono calcolati, uno per l'area permeabile ed uno per l'intera area impermeabile. Così, per il calcolo delle altezze nelle sottoaree impermeabili A1 e A3 si utilizza il medesimo $WCON$, ottenuto utilizzando l'area impermeabile totale. Tuttavia, il flusso istantaneo è calcolato usando l'area individuale di ciascuna sottoarea (ad esempio A1 o A3). L'influenza netta per le sottoaree A1 e A3 è ottenuta riducendo le larghezze in proporzione a $A1/(A1+A3)$ o $A3/(A1+A3)$. Test numerici di questo schema confrontati con uno che utilizza aree individuali (con larghezze proporzionali) nel parametro $WCON$, indicano che si ha un risultato che può essere ritenuto soddisfacente.

Prima di eseguire questi calcoli, il programma verifica se le perdite sono maggiori dell'altezza della precipitazione più le riserve di acqua. In tal caso, le perdite (evaporazione più infiltrazione) assorbono tutta l'acqua ed il flusso è nullo. Similmente, se le perdite da sole sono sufficienti ad abbassare il livello dell'acqua al di sotto delle depressioni superficiali, la nuova altezza è calcolata solo su questa base ed il deflusso è nullo.

Lo schema computazionale si è dimostrato abbastanza stabile. L'unico caso in cui si verificano problemi di

non-convergenza (oppure un tentativo di calcolare un'altezza negativa) è quando le sottoaree sono molto piccole (pochi metri quadrati) unite a intervalli temporali molto grandi (ad esempio dieci minuti). Qualora il programma segnali un messaggio di non convergenza, normalmente si può eliminare il problema aumentando l'area in questione o riducendo l'intervallo temporale.

La propagazione dei flussi generati è stabilita separatamente per ciascuna delle tre sottoaree del sottobacino.

Il flusso superficiale è calcolato come il prodotto della velocità per altezza e larghezza, (dall'equazione di Manning (3.2) basata sulla differenza tra l'altezza totale e le depressioni superficiali).

Si noti che larghezza, pendenza e coefficiente di scabrezza di Manning sono combinati in unico parametro. Così, cambiamenti equivalenti possono essere apportati alterando uno qualsiasi dei tre parametri. Si noti anche che la larghezza e la pendenza sono uguali per le aree permeabili ed impermeabili. Il coefficiente di scabrezza di Manning e l'area relativa sono gli unici parametri disponibili per il modellatore per caratterizzare il contributo delle aree permeabili ed impermeabili nell'idrogramma di uscita.

I flussi calcolati nel modulo RUNOFF e trasferiti ai moduli successivi sono valori istantanei al tempo finale dell'intervallo.

4.1.4. I flussi sotterranei

La componente sotterranea simula due zone – una superiore (insatura) ed una inferiore (satura). Il flusso dalla zona insatura a quella satura è regolata da un'equazione di percolazione nella quale i parametri possono essere sia stimati che calibrati, in base alla disponibilità dei dati. L'unico flusso in entrata è l'infiltrazione calcolata dal modulo RUNOFF. L'evapotraspirazione nella zona superiore risulta l'unica causa di perdite nella zona insatura. Perdite e deflusso dalla zona inferiore possono avvenire tramite percolazione profonda, evapotraspirazione, e scorrimento sotterraneo. Il flusso sotterraneo è una funzione della tavola d'acqua ed eventualmente dell'altezza dell'acqua nel corso d'acqua di drenaggio.

Lo scorrimento sotterraneo rappresenta il flusso laterale dalla zona satura al corso d'acqua ricevente. L'equazione del flusso assume la seguente formula generale:

$$GWFLW = A1 \cdot (D1-BC)B1 - TWBC + A3 \cdot D1 \cdot BC$$

e

$$TWFLW = A2 \cdot (TW-BC) B2$$

dove GWFLW = velocità del flusso sotterraneo all'inizio dell'intervallo temporale (per area del sottobacino)

TWFLW = influenza della velocità del flusso dell'acqua del corso d'acqua all'inizio dell'intervallo temporale (per area del sottobacino),

A1, A2, A3 = coefficienti di influenza del flusso sotterraneo e del corso d'acqua,

B1, B2 = esponenti di influenza del flusso sotterraneo e dell'acqua nel corso d'acqua,

D1 = altezza della zona inferiore all'inizio dell'intervallo temporale,

BC = altezza del fondo del corso d'acqua,

TW = altezza dell'acqua nel corso d'acqua.

Se D1 è minore di BC o TW, GWFLW è posto uguale a zero. Inoltre se TW = BC e B2 = 0, allora la forma indeterminata zero elevato a zero è posta uguale a uno dal programma.

Poiché il flusso sotterraneo può avere notevoli dimensioni, un flusso medio è calcolato iterativamente ad ogni intervallo temporale. I flussi sotterranei possono essere indirizzati a qualsiasi nodo del reticolo drenante o a qualsiasi tratto fluviale, permettendo di isolare i vari componenti dell'idrogramma totale. Quindi il flusso sotterraneo non deve necessariamente essere indirizzato alla stessa destinazione del flusso superficiale di ogni sottobacino. L'influsso dell'acqua nel corso d'acqua sul flusso sotterraneo può essere trattato in due modi distinti. La prima opzione prevede che l'altezza dell'acqua nel corso d'acqua, TW, risulti una costante maggiore od uguale al valore dell'altezza del fondo del corso d'acqua, BC, e che A2, B2 e/o A3 abbiano valori maggiori di zero. La scelta di questo metodo equivale a specificare una influenza media dell'acqua nel corso d'acqua per tutto lo scorrimento da usare per ciascun intervallo temporale. La seconda opzione fissa l'altezza dell'acqua nel canale o fiume, TW, uguale al reale valore del tirante nel tratto considerato. Per questa impostazione, il flusso sotterraneo deve essere indirizzato ad un corso d'acqua e non ad un nodo. L'altezza idrica nel corso d'acqua (TW-BC) è poi determinata per ogni intervallo temporale come l'altezza al precedente intervallo temporale. L'altezza all'inizio dell'intervallo temporale deve essere utilizzato per evitare iterazioni complesse e lunghe nella combinazione con l'equazione della portata del corso d'acqua. A causa di questo compromesso, l'acqua sotterranea può "pulsare" all'oscillare di D1 appena sopra e sotto di TW. Questa pulsazione può introdurre errori nella continuità ed, ovviamente, non è rappresentativa del sistema reale. Intervalli temporali più corti e canali più larghi o meno pendenti (riducendo così la risposta del corso d'acqua) possono essere utilizzati per ridurre le pulsazioni. Infine, la selezione di A1, B1, A2, B2, e A3 deve essere fatta con cautela affinché GWFLW non diventi negativo. Nonostante questo possa accadere nel sistema reale, indicando un ricaricamento dal corso d'acqua, non esiste attualmente modo per rappresentare questo flusso contrario e sottrarlo dal corso d'acqua. Un modo per eludere questo è rendere A1 più grande o uguale ad A2 e B1 più grande o uguale a B2, e B3 uguale a zero.

4.2. Il modello per la propagazione dell'onda di piena

L'analisi idraulica è stata condotta mediante modellazione numerica dei canali, dove la ricostruzione in formato digitale delle rispettive morfologie dell'alveo, delle eventuali arginature e delle aree limitrofe si è basata sia sul rilievo topografico realizzato appositamente nell'ambito del presente progetto definitivo, che sui

rilievi effettuati nel 2008 per il progetto preliminare.

Il confronto tra le dinamiche idrauliche nello stato di fatto ed in quello di progetto, che prevede la realizzazione del tracciato stradale e delle relative opere accessorie, ha consentito di evidenziare sia il funzionamento attuale dei corsi d'acqua, sia l'influenza sugli stessi apportata dall'infrastruttura in esame. Tali influenze si riconducono soprattutto in termini di alterazioni dei profili di rigurgito e di velocità della corrente, mentre dalla prima parte delle analisi modellistiche si desumono i vincoli geometrici che le opere di attraversamento devono rispettare in termine di sezione di deflusso del manufatto.

Il modello adottato per le simulazioni matematiche effettuate, integra numericamente le equazioni differenziali del moto vario per correnti monodimensionali gradualmente variate. L'ipotesi di monodimensionalità è ampiamente giustificata nella grande maggioranza dei tratti dei corsi analoghi a quelli in esame; essa risulta poco corretta solo in corrispondenza di brusche variazioni nella geometria della sezione liquida trasversale, ma in tali circostanze il raffittimento del rilievo geometrico limita le possibili fonti di imprecisione.

Il modello utilizzato, è *HEC-RAS River Analysis System*, elaborato dall'*Hydrologic Engineering Center dell'US Army Corps of Engineers degli U.S.A.* (versione 4.1.0).

Si tratta di uno strumento d'applicabilità molto ampia, largamente utilizzato presso Enti Pubblici e Privati negli Stati Uniti e in oltre 40 nazioni, ed ormai adottato anche da molti Enti Pubblici Italiani.

Il modello è stato progettato per contenere vari moduli di analisi idraulica monodimensionale: analisi di moto permanente, analisi del moto vario, analisi del trasporto solido in letto mobile. Tra le diverse componenti quella utilizzata nel presente studio consiste nell'algoritmo di calcolo idraulico per la determinazione delle variazioni della portata, della velocità, della larghezza del pelo libero della corrente e di altre caratteristiche idrauliche del moto durante la propagazione verso valle della corrente idrica di portata nota, per effetto della capacità di laminazione naturale dell'alveo, della sua resistenza d'attrito, della presenza di opere interagenti con la corrente (ponti e traverse).

Il modello, calcola i profili di moto vario per corsi d'acqua monodimensionali in regime di corrente lenta, veloce o mista. Il programma, è in grado di calcolare e gestire i profili per una rete di canali naturali o artificiali in un sistema ad albero od a singolo ramo. Le relazioni fondamentali della formulazione matematica sono le equazioni dei moti permanenti nell'espressione classica dell'equazione monodimensionale dell'energia secondo Manning. Le perdite valutate sono quelle d'attrito (secondo Manning), valutate per le diverse parti della sezione trasversale (canale centrale, sponde laterali, golene e parti di golene), e quelle causate dalla contrazione o espansione delle sezioni (tramite un coefficiente che moltiplica la variazione dell'altezza cinetica). L'equazione della quantità di moto è utilizzata nei punti dove il profilo del pelo libero subisce brusche variazioni ovvero in regime misto nel passaggio da corrente veloce a corrente lenta oppure, in corrispondenza di ponti, traverse e sottopassi o alla confluenza di più rami di una rete.

Il modello richiede, oltre alla geometria generale del corso d'acqua, profili e sezioni trasversali, i dati di portata in ingresso nella prima sezione di monte ed, eventualmente in tutte le sezioni dove sono disponibili dati di portata, ed infine le condizioni al contorno dipendenti dal regime di moto della corrente.

L'equazione generale dell'energia è la seguente:

$$Y_2 + Z_2 + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + h_e$$

dove:

- Y_1, Y_2 altezza idrometrica nella sezione 1 e 2,
- Z_1, Z_2 quota del fondo alveo nelle sezioni 1 e 2,
- V_1, V_2 velocità medie (portata totale/area bagnata) nelle sezioni 1 e 2,
- α_1, α_2 coefficienti di velocità,
- h_e perdita di carico nel tratto 1-2.

La perdita di carico tra due sezioni trasversali è calcolata come somma delle perdite distribuite per attrito e di quelle concentrate per effetto di contrazioni o allargamenti bruschi di sezione secondo l'equazione:

$$h_e = LS_f + C \left(\alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} - \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} \right)$$

dove:

- L distanza pesata, in funzione della portata, tra le due sezioni trasversali 1 e 2,
- S_f pendenza motrice tra le sezioni 1 e 2,
- C coefficiente di perdita di carico per contrazione o allargamento di sezione.

La pendenza d'attrito S_f è valutata secondo l'espressione di Manning:

$$S_f = n^2 Q|Q| / (A^2 R^{4/3})$$

dove n è il coefficiente di resistenza di Manning (che vale anche $n=1/c$ con c di Gauckler-Strickler) ed R è il raggio idraulico.

L'equazione differenziale del moto viene integrata per via numerica, attraverso un insieme di fasi iterative che vengono ripetute più volte per affinarne la risoluzione; per la determinazione dei profili è quindi necessario fornire le condizioni iniziali di portata in ingresso e le condizioni al contorno in funzione del regime di moto.

La procedura di calcolo per la determinazione del profilo idraulico per portata assegnata, richiede i seguenti dati:

- descrizione completa del tronco fluviale, costituita dalla rappresentazione geometrica delle sezioni di

rilievo trasversali e relativo loro posizionamento plano-altimetrico;

- descrizione geometrica di opere trasversali (ponti e relativi rilevati di accesso, tombini scatolari, traverse fluviali, soglie di fondo, briglie etc.) e/o longitudinali in alveo;
- caratterizzazione della resistenza al moto in alveo e golene mediante la definizione del coefficiente di scabrezza di Manning;
- definizione dei coefficienti di contrazione/espansione, per effetto di perturbazioni offerte al moto da parte di opere trasversali presenti in alveo;
- definizione del tipo di moto (corrente lenta o veloce) nel tronco fluviale;
- condizione al contorno di partenza del calcolo del profilo secondo tre possibili metodologie:
- introduzione di una altezza d'acqua nota di valle o di monte, a seconda che il moto avvenga in corrente lenta o veloce,
- calcolo eseguito a partire dall'altezza critica,
- calcolo eseguito a partire dalla pendenza di fondo alveo.

Il calcolo del rigurgito prodotto dagli attraversamenti viene eseguito secondo diversi metodi :

- Equazione di Yarnell;
- Metodo di conservazione della quantità di moto.

5. AMBITO DI RIFERIMENTO

5.1. Il comprensorio di Bonifica

Il territorio del comprensorio consorziale ricade per la maggior parte della sua estensione in Emilia Romagna e per una modesta superficie in Liguria, interessando principalmente la Provincia di Parma e marginalmente quelle di Piacenza, Genova e Spezia e in totale 49 Comuni.

L'estensione complessiva è di 327.624 ha. Il territorio di montagna ha un'estensione di 213.178 ha, mentre quello di pianura è di 114.446 ha.

Il Consorzio gestisce, progetta ed esegue opere ed infrastrutture atte a garantire e sviluppare la bonifica idraulica, l'irrigazione e la bonifica montana, nonché ogni opera pubblica volta alla tutela ambientale ed all'uso plurimo delle acque. La bonifica idraulica coinvolge un complesso infrastrutturale composto da oltre 1.500 km di canali di cui circa 900 promiscui, 385 di scolo e la restante parte ad uso irriguo, 30 impianti idrovori di sollevamento e numerosi altri manufatti di regolazione che consentono lo scolo di tutte le acque superficiali verso i torrenti Parma, Baganza, Enza e il fiume Taro.

L'impianto idrovoro principale è quello del Naviglio-Travacone sito a Colorno. La struttura dell'impianto è composta dal fabbricato, ove sono ubicati i gruppi elettropompa, e da paratoie che impediscono, in caso di piena Parma/Po, il rigurgito all'interno del canale e quindi nelle rete di scolo e bonifica.

Il Consorzio esegue le opere necessarie ai fini generali della sistemazione, difesa e valorizzazione produttiva del territorio ed in particolare quelle rivolte alla sistemazione del reticolo idraulico minore (briglie, repellenti, difese spondali), alle sistemazioni idraulico-agrarie ed idraulico forestali e quindi a dare stabilità ai terreni, a prevenire le erosioni e consolidare i movimenti franosi, ad assicurare il buon regime idraulico, a realizzare le migliori condizioni per l'uso del suolo e dell'acqua nel rispetto delle vocazioni naturali delle singole aree, nonché tutte le opere infrastrutturali di supporto per la realizzazione, la manutenzione e la gestione delle opere. I compiti svolti dal consorzio sono a carattere di bonifica con l'allontanamento del pericolo di alluvioni da centri urbani e campagne in caso di pioggia e a carattere irriguo, con la garanzia della provvista di acqua ad agricoltura in tempo di magra ed industria.

Il Consorzio provvede anche alla manutenzione degli stessi canali, ripulendoli, rimuovendo i depositi fangosi, rinforzandone le sponde in modo tale da assicurare all'acqua lo scorrimento. Nelle zone montane il compito di tale consorzio è di consolidare le pendici, bloccare le frane e costruire sui torrenti briglie che impediscono l'erosione dei versanti. Ogni intervento è finalizzato alla difesa del suolo, ad un equilibrato sviluppo del territorio, alla tutela e alla valorizzazione degli ordinamenti produttivi e dei beni naturali.

Il tracciato in progetto interessa la porzione di pianura del comprensorio, caratterizzato da una morfologia

piatta sulla quale si ergono i modesti rilevati naturali dei dossi di pianura ed artificiali delle arginature o rilevati stradali. La campagna è prevalentemente destinata a seminativi con presenza di frutteti e vigneti ed altre colture arboree, inoltre nelle vicinanze dell'opera in progetto sorge il quartiere artigianale SPIIP.

Il territorio è soggetto ad un clima continentale temperato tipico della pianura padana tuttavia con influenze, soprattutto nella parte di alta pianura, del clima sublitoraneo appenninico.

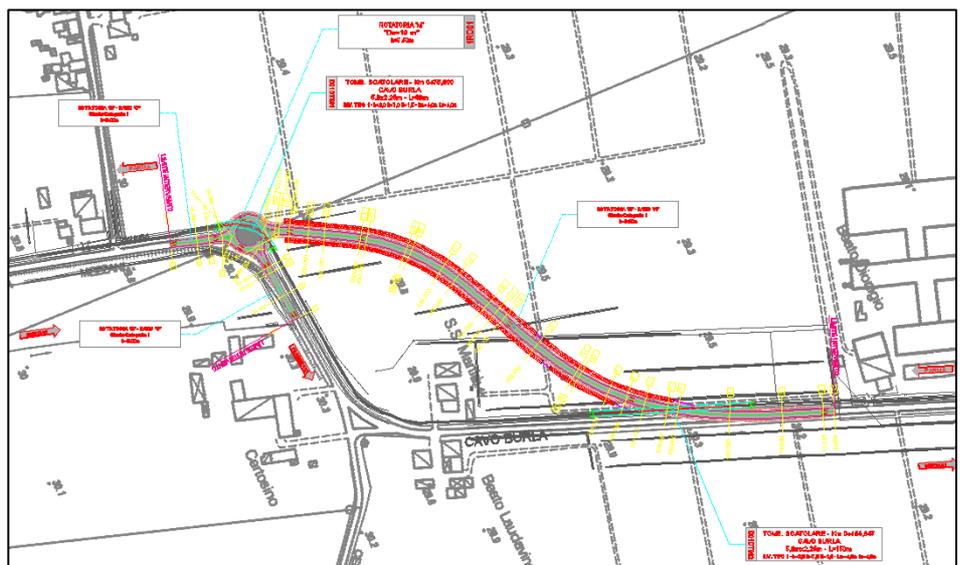
La maggior parte dei canali è di uso promiscuo, questo fa sì che sia quasi sempre presente acqua nel canale e quindi lo stesso è frequentemente popolato da specie ittiche ed anfibe.

5.2. Tracciato stradale in progetto

La riqualificazione del tracciato riguarda sostanzialmente l'addolcimento dei due flessi che costituiscono fonte di pericolo per l'utenza perché sono localizzati tra rettili senza elementi di transizione; con l'installazione di barriere di sicurezza nei tratti in cui la strada è affiancata da fossi o canali che diventano rischiosi in caso di svio di veicoli.

Il progetto interessa tre tratti denominati tratto "1", tratto "2" e tratto "3". Il tratto "1" si sviluppa nel comune di Parma per una lunghezza di circa 700 m e riguarda sostanzialmente la realizzazione di un nuovo svincolo tipo a rotatoria necessaria per rettificare il flessio che caratterizza la SP72 fonte di pericolo per l'utenza. Il tracciato prevede il risezionamento della S.P. n° 72 Parma – Mezzani per un breve rettilo di 60m il quale si

inserisce nella nuova rotatoria di raggio interno pari a 19m, il tracciato prosegue a ovest dell'abitato per un tratto di circa 600 m caratterizzato da un flessio con curve di raggio 200 e 260 m rispettivamente. Entrambe le curve sono dotate di opportuni raccordi di transizione, in entrata e uscita, adeguati per categoria e velocità di



progetto della strada stessa. Altimetricamente, nei tratti in risezionamento, il tracciato si sviluppa a quota strada esistente mentre in variante è situato a 2,00m sul piano campagna. Le livellette di progetto sono praticamente orizzontali e i raccordi concavi e convessi hanno un raggio minimo di 2500m. Il tratto in variante interseca in due punti il cavo Burla, che affianca l'attuale S.P. n°72.

6. CARATTERISTICHE IDROLOGICHE

6.1. Indagini pluviometriche ed idrometriche

L'area presa a riferimento, caratterizzata da omogeneità idrologica, è quella compresa tra la via Emilia ed il Fiume Po lungo l'orientamento nord-sud e tra Parma e Ferrara lungo l'orientamento ovest-est; si tratta di un'area estesa, ma che presenta omogeneità climatica essendo tutta appartenente alla Pianura Padana a sud del Po e tutta limitata a sud dalla catena appenninica che la separa dai regimi climatici tirrenici.

Nell'ambito dello studio sono state prese in esame le stazioni pluviometriche ufficiali, ricadenti all'interno dell'intera area afferente al progetto dell'Autostrada Regionale Cispadana e delle Viabilità di Adduzione. Per tali stazioni sono stati rilevati i valori di pioggia caratteristici; successivamente sono state scelte le stazioni maggiormente rappresentative e soprattutto dotate di un numero sufficiente di dati per determinare le curve di possibilità pluviometriche. Nonostante l'omogeneità idrologica, sono state determinate curve di possibilità pluviometriche nell'intorno del corridoio autostradale, con ragguaglio all'area attraverso il metodo dei topoi e quindi con discretizzazione su tratti di 4 km a variabilità ovest-est.

TABELLA 6-1: STAZIONI PLUVIOMETRICHE UFFICIALI RICADENTI ALL'INTERNO DELL'AREA DI STUDIO

| CODICE | STAZIONE | GESTIONE | LOCALITA | COMUNE | PROV | X_Gauss_Bo | Y_Gauss_Bo | STRUMENTO | BACINO |
|--------|-------------------|---------------------|------------------------------|-----------------|------|------------|------------|--|-----------------------------|
| SP_01 | FIDENZA | ARPA Emilia-Romagna | Coduro - via Vittorio Veneto | Fidenza | (PR) | 1584484.25 | 4967975.19 | RP: stazione dotata di radiotrasmettitor e | Taro |
| SP_02 | ZIBELLO | ARPA Emilia-Romagna | Ardola | Zibello | (PR) | 1588670.48 | 4985548.15 | RP: stazione dotata di radiotrasmettitor e | Taro |
| SP_03 | STAGNO | ARPA Emilia-Romagna | Stagno | Roccabianca | (PR) | 1596501.68 | 4983327.25 | RP: stazione dotata di radiotrasmettitor e | Taro |
| SP_04 | PARMA UNIVERSITA' | ARPA Emilia-Romagna | via Strela | Parma | (PR) | 1603936.61 | 4961898.84 | Pr: pluviometro registratore | Parma |
| SP_05 | GAINAGO | ARPA Emilia-Romagna | Gainago | S.Polo Torriile | (PR) | 1608983.67 | 4970975.01 | RP: stazione dotata di radiotrasmettitor e | Parma |
| SP_06 | CASALMAGGIO RE | ARPA Lombardia | via Volta | Casalmaggiore | (CR) | 1612566.00 | 4981813.00 | Pr: pluviometro registratore | Oglio-Adda |
| SP_07 | CASTELNOVO SOTTO | ARPA Emilia-Romagna | Castelnuovo Sotto | Castelnuovo S. | (RE) | 1624687.44 | 4965868.82 | RP: stazione dotata di radiotrasmettitor e | Pianura fra Enza e Crostolo |
| SP_08 | POVIGLIO | ARPA Emilia-Romagna | Poviglio | Poviglio | (RE) | 1621481.57 | 4966353.40 | RP: stazione dotata di radiotrasmettitor e | Pianura fra Enza e Crostolo |

| CODICE | STAZIONE | GESTIONE | LOCALITA | COMUNE | PROV_ | X_Gauss_Bo | Y_Gauss_Bo | STRUMENTO | BACINO |
|--------|-----------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|-------|------------|------------|--|--------------------------------|
| SP_09 | BORETTO | ARPA Emilia-Romagna | Boretto | Boretto | (RE) | 1623122.84 | 4973513.31 | RP: stazione dotata di radiotrasmettitor e | Pianura fra Enza e Crostolo |
| SP_10 | S.MATTEO CHIAVICHE | ARPA Lombardia | S.Matteo | S.Matteo | (MN) | 1627572.00 | 4986175.00 | Pr: pluviometro registratore | Oglio |
| SP_11 | NOVELLARA | ARPA Emilia-Romagna | Sirona | Novellara | (RE) | 1636617.00 | 4967230.00 | P: pluviometro comune | Pianura fra Crostolo Secchia e |
| SP_12 | SUZZARA | ARPA Emilia-Romagna | Suzzara | Suzzara | (MN) | 1637661.59 | 4983413.36 | P: pluviometro comune | Pianura fra Crostolo Secchia e |
| SP_13 | REGGIOLO | ARPA Emilia-Romagna | Reggiolo | Reggiolo | (RE) | 1642437.31 | 4975183.96 | P: pluviometro comune | Pianura fra Crostolo Secchia e |
| SP_14 | CORREGGIO | ARPA Emilia-Romagna | Correggio | Correggio | (RE) | 1640303.01 | 4955778.57 | RP: stazione dotata di radiotrasmettitor e | Pianura fra Crostolo Secchia e |
| SP_15 | CARPI | ARPA Emilia-Romagna | Carpi | Carpi | (MO) | 1647876.65 | 4958203.44 | RP: stazione dotata di radiotrasmettitor e | Pianura fra Crostolo Secchia e |
| SP_16 | SAINO DI PEGOGNAGA | ARPA Emilia-Romagna | Pegognaga | Pegognaga | (MN) | 1646582.80 | 4983981.05 | RP: stazione dotata di radiotrasmettitor e | Pianura fra Crostolo Secchia e |
| SP_17 | ALBARETO | ARPA Emilia-Romagna | Albareto | Modena | (MO) | 1654961.78 | 4951545.41 | RP: stazione dotata di radiotrasmettitor e | Pianura fra Secchia e Panaro e |
| SP_18 | PONTE BACCHELLO | ARPA Emilia-Romagna | Sorbara | Soliera | (MO) | 1657265.94 | 4956647.57 | RP: stazione dotata di radiotrasmettitor e | Pianura fra Secchia e Panaro e |
| SP_19 | CAVEZZO | ARPA Emilia-Romagna | Cavezzo | Cavezzo | (MO) | 1658264.15 | 4969509.25 | RP: stazione dotata di radiotrasmettitor e | Pianura fra Secchia e Panaro e |
| SP_20 | MIRANDOLA | ARPA Emilia-Romagna | Mirandola | Mirandola | (MO) | 1659177.35 | 4972096.84 | RP: stazione dotata di radiotrasmettitor e | Pianura fra Secchia e Panaro e |
| SP_21 | SAN FELICE SUL PANARO | ARPA Emilia-Romagna | San Felice sul Panaro | San Felice sul Panaro | (MO) | 1667997.20 | 4965645.81 | RP: stazione dotata di radiotrasmettitor e | Pianura fra Secchia e Panaro e |
| SP_22 | FINALE EMILIA | ARPA Emilia-Romagna | Finale Emilia | Finale Emilia | (MO) | 1677956.10 | 4964765.86 | RP: stazione dotata di radiotrasmettitor e | Pianura fra Secchia e Panaro e |
| SP_23 | POGGIO RUSCO | ARPA Emilia-Romagna | Poggio Rusco | Poggio Rusco | (MO) | 1666969.06 | 4982502.19 | RP: stazione dotata di radiotrasmettitor e | Pianura fra Secchia e Panaro e |
| SP_24 | MOGLIA DI SERMIDE | ARPA Emilia-Romagna | Moglia | Sermide | (MN) | 1678789.00 | 4987404.00 | RP: stazione dotata di radiotrasmettitor e | Pianura fra Secchia e Panaro e |
| SP_25 | VALLAZZA | ARPA Emilia-Romagna | Carbonara | Carbonara di Po | (MN) | 1673397.21 | 4989740.87 | RP: stazione dotata di radiotrasmettitor e | Pianura fra Secchia e Panaro e |



| CODICE | STAZIONE | GESTIONE | LOCALITA | COMUNE | PROV. | X_Gauss_Bo | Y_Gauss_Bo | STRUMENTO | BACINO |
|--------|-------------------|---------------------|----------------|----------------|-------|------------|------------|--|------------------------------|
| SP_26 | SOLARA | ARPA Emilia-Romagna | Solara | Bomporto | (MO) | 1678092.35 | 4959846.84 | Pr: pluviometro registratore | Pianura fra Secchia e Panaro |
| SP_27 | CHIAVICHETTA | ARPA Emilia-Romagna | Viarovere | Finale Emilia | (MO) | 1679132.95 | 4972314.56 | P: pluviometro comune | Pianura fra Secchia e Panaro |
| SP_28 | S.AGATA BOLOGNESE | ARPA Emilia-Romagna | Crevalcore | Sant'Agata B. | (BO) | 1669894.62 | 4951127.56 | RP: stazione dotata di radiotrasmettitor e | Panaro |
| SP_29 | RAVARINO | ARPA Emilia-Romagna | Ravarino | Ravarino | (MO) | 1667654.40 | 4958910.92 | P: pluviometro comune | Panaro |
| SP_30 | BAGNO IN PIANO | ARPA Emilia-Romagna | Bagno di Piano | Sala Bolognese | (BO) | 1680082.51 | 4948117.61 | Pr: pluviometro registratore | Reno (Samoggia) |
| SP_31 | MALALBERGO | ARPA Emilia-Romagna | Malalbergo | Malalbergo | (BO) | 1700250.67 | 4954606.55 | Pr: pluviometro registratore | Reno (Idice) |
| SP_32 | SALVATONICA | ARPA Emilia-Romagna | Salvatonica | Bondeno | (FE) | 1692548.45 | 4977646.93 | Pr: pluviometro registratore | Pianura fra Po e Reno |
| SP_33 | S.AGOSTINO | ARPA Emilia-Romagna | S.Agostino | S.Agostino | (FE) | 1688139.32 | 4962802.95 | Pr: pluviometro registratore | Pianura fra Po e Reno |
| SP_34 | FERRARA | ARPA Emilia-Romagna | Ferrara | Ferrara | (FE) | 1707124.12 | 4967495.55 | Pr: pluviometro registratore | Pianura fra Po e Reno |
| SP_35 | COPPARO | ARPA Emilia-Romagna | Copparo | Copparo | (FE) | 1722632.47 | 4977345.50 | RP: stazione dotata di radiotrasmettitor e | Pianura fra Po e Reno |
| SP_36 | BENVIGNANTE | ARPA Emilia-Romagna | Benvignante | Argenta | (FE) | 1718411.94 | 4949591.27 | Pr: pluviometro registratore | Pianura fra Po e Reno |

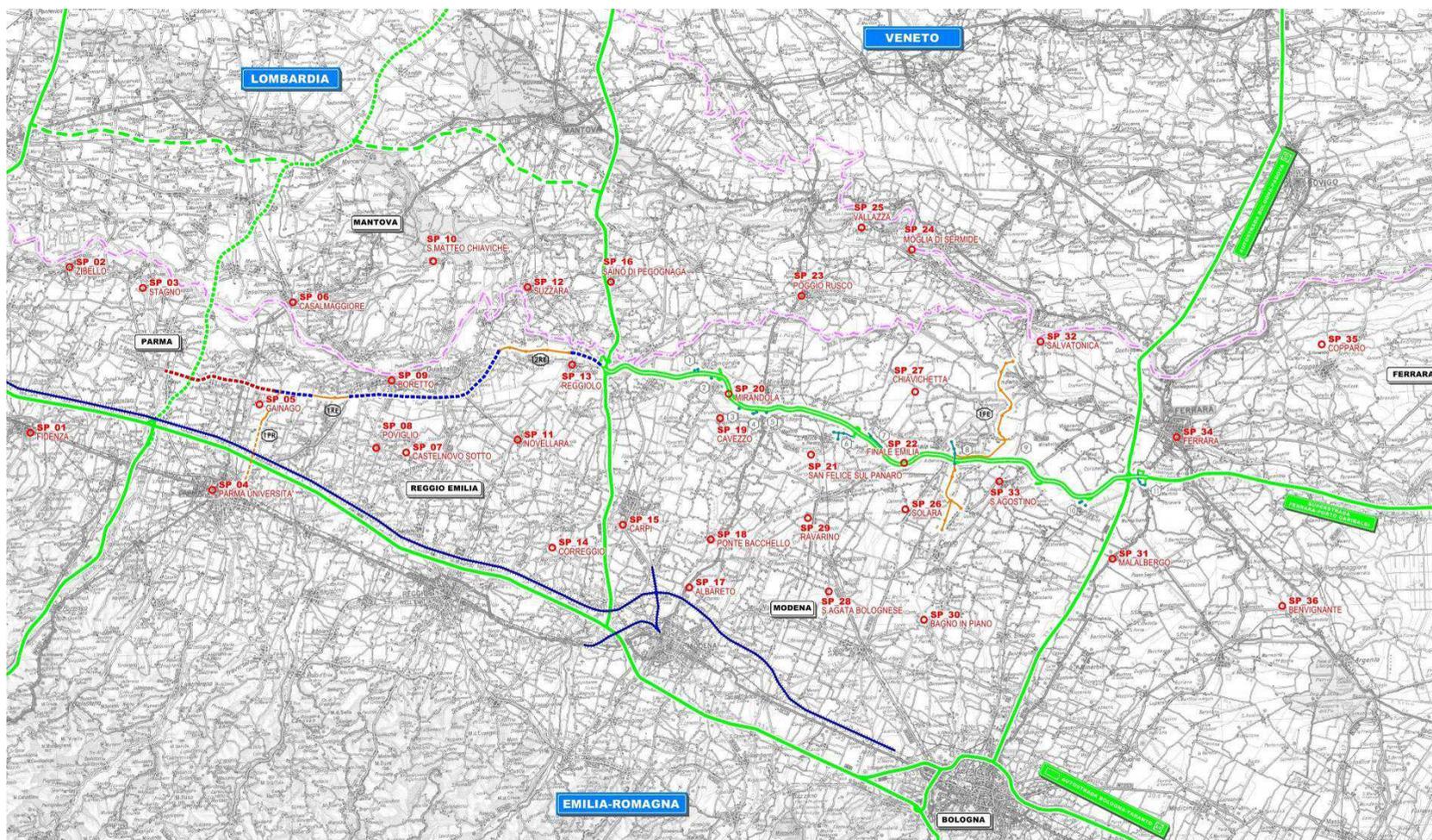


FIGURA 6-1: PLANIMETRIA DELLE STAZIONI PLUVIOMETRICHE UFFICIALI RICADENTI ALL'INTERNO DELL'AREA DI STUDIO

Per la caratterizzazione idrologica si è intesa la determinazione diretta o indiretta delle sollecitazioni di deflusso che interessano i corsi d'acqua di studio; tali sollecitazioni derivano, in condizioni naturali, dalla risultanza del processo di trasformazione afflussi in deflussi dove la portata idrica nel corso d'acqua è la risultante delle precipitazioni depurate delle perdite per evaporazione, traspirazione ed infiltrazione. Nell'ambito di studio tali valutazioni sono state possibili solo per i corsi d'acqua naturali, Enza, Secchia e Panaro, in quanto caratterizzati da un bacino di scolo a comportamento naturale. Viceversa i comprensori di bonifica sono caratterizzati da elementi idrografici canalizzati dove il regime di scolo si sovrappone a quello di irrigazione e dove il deflusso delle acque artificiali è spesso gestito attraverso paratoie, chiaviche e soprattutto attraverso sollevamenti meccanici; ciò vale a maggior ragione per il territorio indagato che rappresenta, in molti casi, l'ultimo lembo di terra prima della foce dei canali dei rispettivi recettori terminali.

L'analisi idrologica è stata quindi condotta con l'obiettivo di definire, dove possibile, le portate minime e massime dei corsi d'acqua studiati concentrando tale attività su quelli di rango principale e secondario per i quali è stato inoltre possibile un confronto con i Consorzi di bonifica che, in quanto gestori, hanno fornito prezioso aiuto nelle determinazioni.

Le portate minime sono rappresentate dai minimi deflussi sempre presenti all'interno dei corsi d'acqua e risultano di particolare importanza per comprendere il mantenimento, durante tutto l'arco dell'anno o viceversa la perdita parziale o totale, degli habitat caratteristici degli ambienti fluviali naturali e/o canalizzati. La portata minima è stata valutata attraverso indagini di campo ed attraverso le informazioni dei Consorzi; si è rilevato che la maggior parte dei sistemi canalizzati presenta periodi dell'anno completamente asciutti anche se riconducibili a poche giornate in quanto durante la stagione umida i canali svolgono principalmente la funzione di scolo e pertanto sono spesso interessati da deflussi; durante la stagione secca sono invasati per la funzione irrigua ed ancora pertanto pieni d'acqua. Si sono infatti osservati spesso abitanti del luogo pescare all'interno di canali anche di modeste dimensioni. Le portate minime sono nella maggior parte dei casi nulle, mentre sono sempre garantite nei corsi d'acqua naturali.

Le portate massime sono i massimi deflussi che si sviluppano all'interno di aste canalizzate. I deflussi massimi sono in genere correlati alla probabilità con cui si verificano e questa espressa attraverso il tempo di ritorno. La determinazione delle sollecitazioni idrologiche per assegnato tempo di ritorno avviene generalmente attraverso una indagine afflussi-deflussi sul bacino imbrifero sotteso; tuttavia tale analisi risulta eseguibile solo laddove le informazioni sul bacino sono note e dove il regime idrologico avviene interamente a gravità. Nel caso di studio solo il torrente Enza e i fiumi Secchia e Panaro sono caratterizzati da queste informazioni e le portate possono essere definite per via analitica; per essi ci si è appoggiati ai valori caratteristici determinati dall'Autorità di Bacino nell'ambito dei suoi più recenti studi condotti per la definizione degli ambiti di tutela fluviale.

Per i canali la definizione delle portate massime assume un significato leggermente diverso; essi infatti hanno bacini imbriferi di difficile determinazione univoca, in quanto spesso è diverso il bacino di scolo da

quello di irrigazione ed in caso di sollecitazioni pluviometriche durante la stagione irrigua la forte regolazione artificiale dei deflussi impedisce la determinazione di portate con riferimento probabilistico.

Il valore di portata assunto quindi a riferimento per la caratterizzazione dei massimi deflussi è quindi quello della massima portata sostenibile dalla geometria del canale nel tratto indagato; tale valore non vale in senso assoluto ma solo nelle sezioni d'indagine. La portata massima sostenibile viene quindi ricavata per via idraulica attraverso l'espressione di Chezy, limitatamente alla rete idrica con sezione trapezoidale modesta, mentre per i canali classificati secondari è ottenuta ipotizzando all'interno dei modelli idraulici diverse portate e verificando quali di queste mantengono il proprio idrodinamismo all'interno dell'alveo sia esso inciso o arginato.

TABELLA 6-2: STAZIONI IDROMETRICHE UFFICIALI RICADENTI ALL'INTERNO DELL'AREA DI STUDIO

| COD_CISPA | COMUNE | PROVINCIA | PROPRIETA' | ENTE_GES | CORSO D'ACQUA | QUOTA ZERO IDROMETRICO (m s.l.m.) | DISTANZA DALLA CONFLUENZA CON FIUME PO (km) |
|-----------|----------------|-----------|------------|----------|--------------------------------|-----------------------------------|---|
| 1REI001 | Sorbolo | PR | ARPA | ARPA | Enza | 24.09 | 19.6 |
| 2REI001 | Rubiera | RE | ARPA | ARPA | Secchia | 47.17 | 86.8 |
| A01I001 | Modena | MO | ARPA | ARPA | Secchia | 28.71 | 74.2 |
| A01I002 | San Possidonio | MO | ARPA | ARPA | Secchia | 17.97 | 41.7 |
| A01I003 | Modena | MO | ARPA | ARPA | Tiepido - affluente del Panaro | 42.93 | 68 |
| A01I004 | Soliera | MO | ARPA | ARPA | Secchia | 23.62 | 60.3 |
| A01I005 | Bomporto | MO | ARPA | ARPA | Panaro | 18.43 | 46.6 |
| A01I006 | Camposanto | MO | ARPA | ARPA | Panaro | - | - |
| A02I001 | Cento | FE | ARPA | ARPA | Reno | 15.2 | - |
| A02I002 | Bondeno | FE | ARPA | ARPA | Panaro | 10.99 | - |
| A02I003 | Malalbergo | BO | ARPA | ARPA | Reno | 4.68 | - |

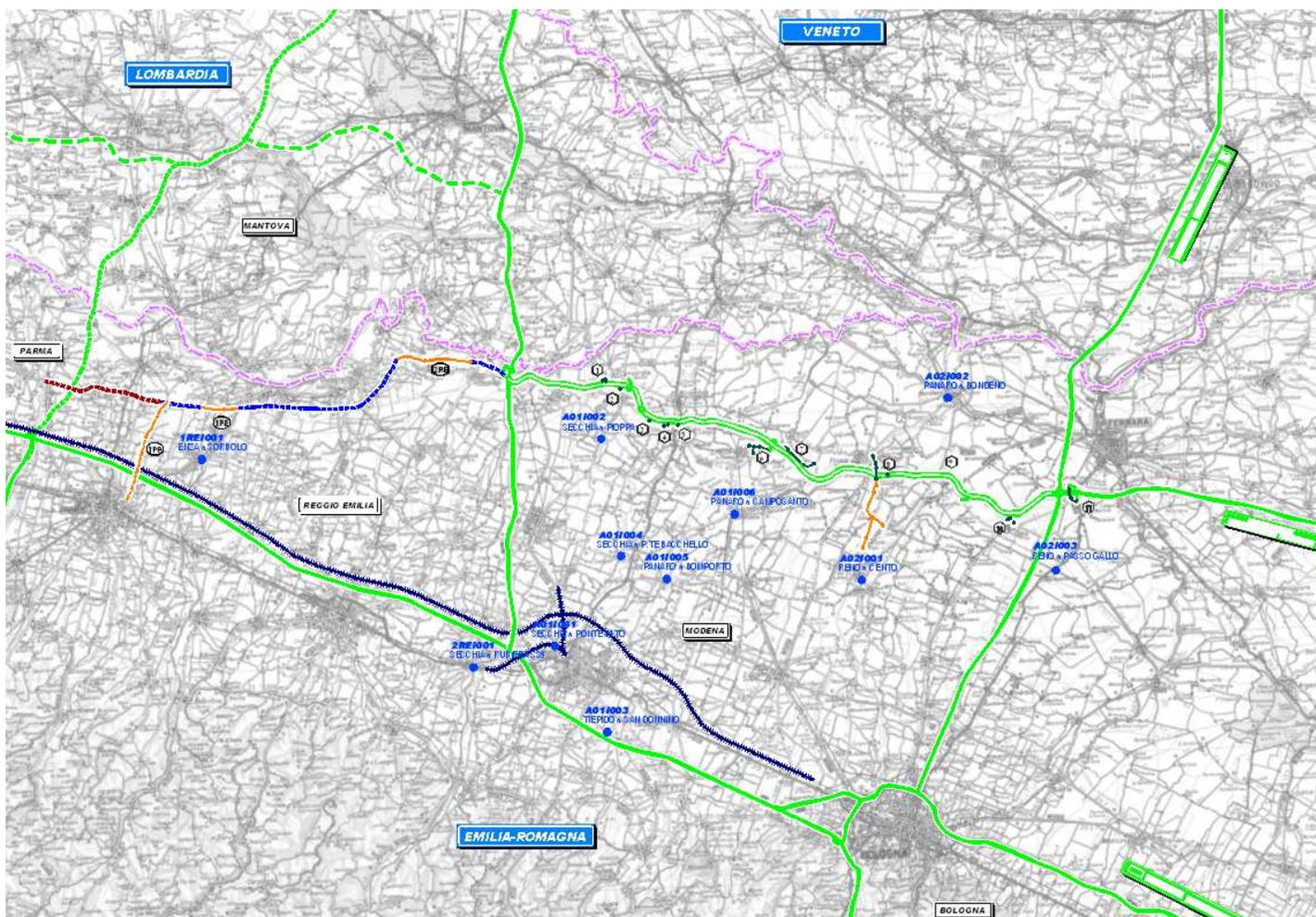


FIGURA 6-2: PLANIMETRIA DELLE STAZIONI IDROMETRICHE UFFICIALI RICADENTI ALL'INTERNO DELL'AREA DI STUDIO

6.2. Analisi idrologiche

Per la determinazione della relazione fra altezza (h) e durata (t) dell'evento di pioggia in funzione del tempo di ritorno (TR), si fa riferimento alla legge probabilistica che meglio si adatta al campione di dati utilizzato.

Nel caso delle stazioni pluviometriche in esame, la determinazione della relazione fra altezza (h) e durata (t) dell'evento di pioggia, in funzione del Tempo di Ritorno (TR), è stata ottenuta tramite la legge probabilistica di Gumbel, stimandone i parametri $a(T)$ ed $n(T)$, al fine di ottenere la curva di possibilità pluviometrica nella forma:

$$h = a(T)t^{n(T)} \quad 6.1$$

L'elaborazione statistica ha portato alla definizione delle curve di possibilità climatica, dove l'altezza di pioggia espressa in millimetri è rappresentata dall'espressione:

$$h = n - \frac{\ln \left(-\ln \left(1 - \frac{1}{T_R} \right) \right)}{a} \quad 6.2$$

dove:

TR = tempo di ritorno

$$n = Y - \bar{Y}_N \cdot S_Y / S_N$$

$$a = S_N / S_Y$$

YN = media della variabile ridotta

SN = deviazione standard della variabile ridotta

Y = media aritmetica delle massime altezze di pioggia osservate

Sy = scarto quadratico medio delle massime altezze di pioggia osservate.

Il valore assunto dai parametri S_x e S_n è funzione del numero di osservazioni a disposizione; tali valori sono riportati nella tabella sottostante.

TABELLA 6-3: VALORI DEI PARAMETRI (Y_N) E (S_N) SECONDO GUMBELL

| Media ridotta \bar{Y}_N $\frac{Y}{\bar{Y}}$ | | | | | | | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| N | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 10 | 0,4952 | 0,4996 | 0,5035 | 0,5070 | 0,5100 | 0,5128 | 0,5154 | 0,5177 | 0,5198 | 0,5217 |
| 20 | 0,5236 | 0,5252 | 0,5268 | 0,5282 | 0,5296 | 0,5309 | 0,5321 | 0,5332 | 0,5343 | 0,5353 |
| 30 | 0,5362 | 0,5371 | 0,5380 | 0,5388 | 0,5396 | 0,5403 | 0,5411 | 0,5417 | 0,5424 | 0,5430 |
| 40 | 0,5436 | 0,5442 | 0,5448 | 0,5453 | 0,5458 | 0,5463 | 0,5468 | 0,5472 | 0,5477 | 0,5481 |
| 50 | 0,5485 | 0,5489 | 0,5493 | 0,5497 | 0,5501 | 0,5504 | 0,5508 | 0,5511 | 0,5515 | 0,5518 |
| 60 | 0,5521 | 0,5524 | 0,5527 | 0,5530 | 0,5532 | 0,5535 | 0,5538 | 0,5540 | 0,5543 | 0,5545 |
| 70 | 0,5548 | 0,5550 | 0,5552 | 0,5555 | 0,5557 | 0,5559 | 0,5561 | 0,5563 | 0,5565 | 0,5567 |
| 80 | 0,5569 | 0,5571 | 0,5573 | 0,5574 | 0,5576 | 0,5578 | 0,5580 | 0,5581 | 0,5583 | 0,5584 |
| 90 | 0,5586 | 0,5588 | 0,5589 | 0,5591 | 0,5592 | 0,5593 | 0,5595 | 0,5596 | 0,5598 | 0,5599 |
| 100 | 0,5600 | 0,5602 | 0,5603 | 0,5604 | 0,5605 | 0,5606 | 0,5608 | 0,5609 | 0,5610 | 0,5611 |
| Deviazione standard ridotta S_N $\frac{S}{\bar{Y}}$ | | | | | | | | | | |
| N | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 10 | 1,0010 | 1,0148 | 1,0270 | 1,0378 | 1,0476 | 1,0564 | 1,0644 | 1,0717 | 1,0785 | 1,0847 |
| 20 | 1,0904 | 1,0958 | 1,1008 | 1,1055 | 1,1098 | 1,1140 | 1,1178 | 1,1215 | 1,1250 | 1,1283 |
| 30 | 1,1314 | 1,1344 | 1,1372 | 1,1399 | 1,1425 | 1,1449 | 1,1473 | 1,1496 | 1,1518 | 1,1538 |
| 40 | 1,1559 | 1,1578 | 1,1597 | 1,1614 | 1,1632 | 1,1649 | 1,1665 | 1,1680 | 1,1696 | 1,1710 |
| 50 | 1,1724 | 1,1738 | 1,1752 | 1,1765 | 1,1777 | 1,1789 | 1,1801 | 1,1813 | 1,1824 | 1,1835 |
| 60 | 1,1846 | 1,1856 | 1,1866 | 1,1876 | 1,1886 | 1,1895 | 1,1904 | 1,1913 | 1,1922 | 1,1931 |
| 70 | 1,1939 | 1,1947 | 1,1955 | 1,1963 | 1,1971 | 1,1978 | 1,1986 | 1,1993 | 1,2000 | 1,2007 |
| 80 | 1,2014 | 1,2020 | 1,2027 | 1,2033 | 1,2039 | 1,2045 | 1,2052 | 1,2057 | 1,2063 | 1,2069 |
| 90 | 1,2075 | 1,2080 | 1,2086 | 1,2091 | 1,2096 | 1,2101 | 1,2106 | 1,2111 | 1,2116 | 1,2121 |
| 100 | 1,2126 | 1,2130 | 1,2135 | 1,2139 | 1,2144 | 1,2148 | 1,2153 | 1,2157 | 1,2161 | 1,2165 |

Per stimare la CPP rappresentativa di ogni singolo tratto stradale di sviluppo medio di 4 km si è proceduto nel seguente modo: per prima cosa si sono prese in esame le 3 stazioni pluviometriche prossime all'infrastruttura stradale, quindi associando ad ognuna di esse un peso, calcolato con il metodo dei poligoni di Thiessen o Topoiet, sono state ricavate le intensità di pioggia per assegnato TR all'interno di ogni singolo tratto.

Il metodo di Thiessen assume che in qualsiasi punto del bacino la pioggia caduta sia la stessa del pluviometro più vicino; in questo modo si suppone che la misura di ogni strumento possa essere rappresentativa di un'area che si estende radialmente dallo strumento fino alla semidistanza dallo strumento adiacente, in ogni direzione. Procedendo in questo modo si ricavano le curve di possibilità pluviometrica all'interno di ogni singolo tratto.

Si riportano di seguito, per i diversi tempi di ritorno analizzati, la tabella riassuntiva dei valori di h in millimetri per durate di 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 6, 12 e 24 ore e le CPP per il tratto sotteso compreso nell'areale di pertinenza del Consorzio di Bonifica Parmense.

TABELLA 6-4: ALTEZZE DI PIOGGIA – STAZIONI PLUVIO. POVIGLIO, BORETTO E PARMA UNIVERSITA'

| durata [ore] | ALTEZZA DI PIOGGIA [mm] | | | | | |
|-----------------|-------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | Tr=1000 | Tr=500 | Tr=200 | Tr=100 | Tr=50 | Tr=20 |
| 1 | 94.05 | 86.52 | 76.56 | 69.02 | 61.45 | 51.36 |
| 1.5 | 101.01 | 93.05 | 82.51 | 74.52 | 66.51 | 55.81 |
| 2 | 106.34 | 98.04 | 87.06 | 78.74 | 70.38 | 59.23 |
| 2.5 | 110.72 | 102.15 | 90.80 | 82.20 | 73.56 | 62.03 |
| 3 | 114.46 | 105.65 | 94.00 | 85.16 | 76.29 | 64.44 |
| 6 | 130.19 | 120.40 | 107.43 | 97.61 | 87.74 | 74.56 |
| 12 | 148.61 | 137.67 | 123.18 | 112.19 | 101.16 | 86.44 |
| 24 | 170.25 | 157.94 | 141.66 | 129.32 | 116.94 | 100.43 |

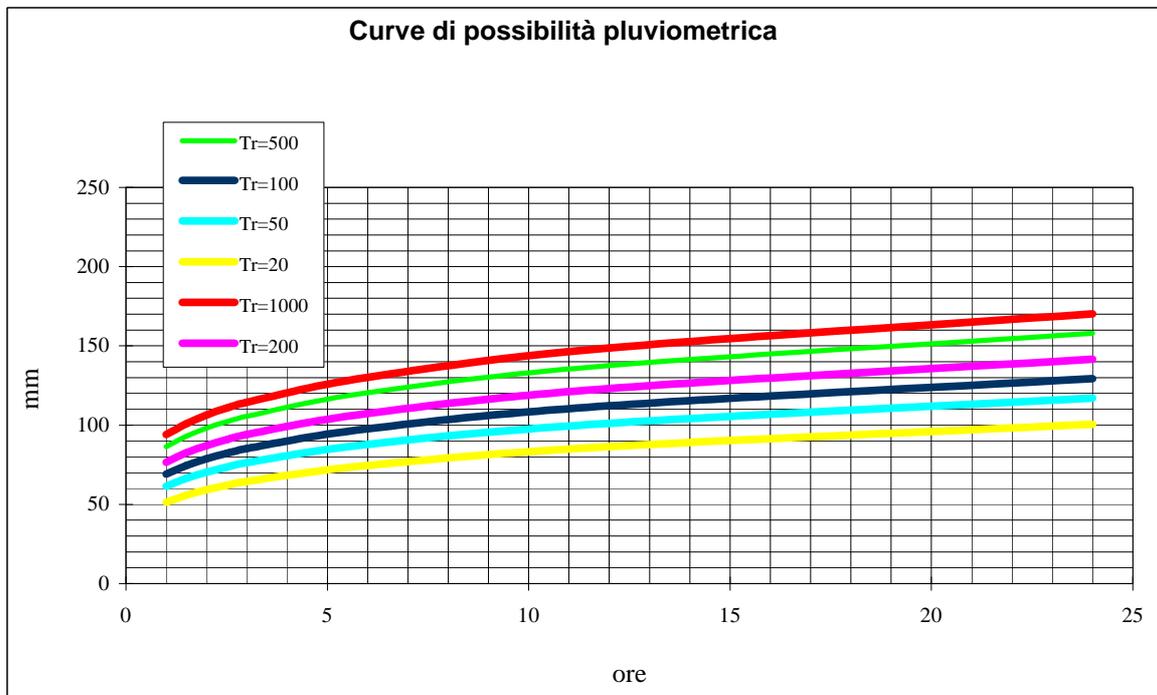


FIGURA 6-3: LINEE SEGNALETRICI DI POSSIBILITA' PLUVIOMETRICA

7. INTERFERENZE IDRAULICHE CON IL TRACCIATO IN PROGETTO

Il sistema dei corsi d'acqua analizzato comprende una rete idrografica artificiale composta dai canali di scolo e di irrigazione di competenza del Consorzio della Bonifica o proprietà private che insistono su tutto il corridoio interferito dall'opera in progetto. La particolare caratteristica di questi corsi d'acqua risiede nella loro funzionalità e negli usi a cui sono preposti: l'ambivalenza delle funzioni di scolo ed irrigazione rende piuttosto complessa l'analisi idrologica in quanto, a rigore, essi andrebbero studiati sia sotto il profilo della funzione di drenaggio delle acque meteoriche sia sotto il profilo della funzione di canali irrigui, quando, soprattutto nelle stagioni primaverili ed estive, vengono mantenuti alti i livelli in alveo che ne riducono la capacità di invaso per eventi pluviometrici importanti.

Lo studio del reticolo idrografico superficiale si articola distinguendo i corsi d'acqua tra quelli secondari e quelli minori, tale classificazione si basa sulle dimensioni della base maggiore B della sezione idraulica in corrispondenza dell'attraversamento in progetto, in particolare:

- **Corsi d'acqua secondari** classificati tali, perché aventi sezione trasversale con base maggiore $10m > B > 3m$, e la cui interferenza è stata risolta generalmente tramite tombino scatolare;
- **Corsi d'acqua minore** classificati tali, perché aventi sezione trasversale con base maggiore $B < 3m$, tra questi rientrano i corsi d'acqua della rete minuta di proprietà privata principalmente riconducibili alle tipologie di fossi di guardia di strade provinciali comunali o poderali e capifosso agricoli, collettori delle singole scoline, realizzati dai conduttori agricoli nell'ambito dell'organizzazione coltiva e fondiaria e la cui interferenza è stata generalmente risolta tramite tombino circolare di diametro fino al 1200mm

Di seguito sono trattati, in modo puntuale, tutti i corsi d'acqua secondari interferiti dalla viabilità in progetto al fine di definire:

- 1- Le caratteristiche idrografiche, geometriche, morfologiche ed ambientali;
- 2- La portata di riferimento e le condizioni al contorno per la modellazione matematica;
- 3- L'attraversamento idraulico previsto;
- 4- Le verifiche idrauliche svolte tramite modellazione matematica monodimensionale, in moto permanente. Questo permette di indagare e confrontare la condizione attuale, stato di fatto e quella futura, stato di progetto.

Per la rete minore caratterizzata da sezioni trasversali minori rispetto ai precedenti e poichè attraversano la sede autostradale mediante tombini circolari di diametro $\leq \Phi 1200$, le analisi sono condotte in forma più speditiva, determinando la Q_{ms} con analisi idraulica in moto uniforme, indagando e confrontando la condizione attuale, stato di fatto e quella futura, stato di progetto.

Le tabelle seguenti riportano le interferenze idrauliche tra la viabilità in progetto ed i canali precedenti, specificando, oltre ad alcune caratteristiche del corso d'acqua, anche il codice dell'interferenza, a cui corrisponde uno specifico attraversamento idraulico rappresentato da un ponte o un tombino circolare o scatolare a seconda dei casi:

TABELLA 7-1: CORSI D'ACQUA SECONDARI INTERFERENTI

| NOME CANALE | GESTORE | PROVINCI A | RANGO | WBS | OPERA | BASE (m) | ALTEZZA (m) |
|--------------------------|-----------------------------------|---------------|------------|----------|-------------------|-------------|----------------|
| Cavo Burla | Consorzio della Bonifica Parmense | Parma | secondario | D01DTS01 | Tombino scatolare | 5.0 | 2.25 |
| Cavo Burla | Consorzio della Bonifica Parmense | Parma | secondario | D01DTS02 | Tombino scatolare | 5.0 | 2.25 |
| Canale Ariana Malcantone | Consorzio della Bonifica Parmense | Parma | secondario | D01DTS03 | Tombino scatolare | 2.0 | 1.0 |

TABELLA 7-2: CORSI D'ACQUA MINORI INTERFERENTI

| NOME CANALE | GESTORE | PROVINCIA | RANGO | OPERA |
|-------------------------------|---------|-----------|--------|--|
| Fosso 1 | Privato | Parma | minore | Deviazione all'interno del fosso di guardia stradale |
| Fosso in sx di strada Gainago | Privato | Parma | minore | Deviazione all'interno del fosso di guardia stradale |
| Fosso di SP della Pace | Privato | Parma | minore | Deviazione all'interno del fosso di guardia stradale |

Per i minori vengono previste solo modeste deviazioni che non comportano alterazioni idrauliche.

8. CORSI D'ACQUA SECONDARI INTERFERITI

8.1. CAVO BURLA

8.1.1. Caratteristiche idrografiche, geometriche, morfologiche ed ambientali dell'alveo

Il Cavo Burla è un canale promiscuo secondario gestito dal Consorzio della Bonifica Parmense.

Il bacino del Canale Burla-Terrieri ha una superficie di circa 29.7 km² ed una lunghezza dell'asta principale di circa 10.8 km. Il canale Burla ha origine a valle della città di Parma ed a monte dell'Autostrada A1, che sottopassa per scorrere in direzione nord parallelamente al quartiere artigianale-industriale SPIP, seguendo poi le tracce dell'antica centuriazione romana. In località Ponte del Rospo prende il nome di Canalazzo Terrieri e continua a scorrere, arginato, in direzione Nord-Est, fino a Coenzo per poi confluire in Enza. Il Canalazzo Terrieri riceve i contributi di alcuni canali minori fra i quali il Cavo Canaletto e la Dugara Casalora.

I contributi idrici derivano prevalentemente da terreni agricoli, in quanto la maggior parte del bacino ricade all'interno della pianura parmense legata alle attività agricole di tipo prevalentemente foraggiero, ed in parte minore dal grande comparto urbanizzato del Quartiere industriale SPIP. Il canale, nel tratto d'interferenza, scorre in aperta campagna con sezione in scavo di forma trapezoidale con fondo in terra e sponde inerbite sfalciate regolarmente; non sono presenti alberature ed arbusti sui cigli spondali.

Il Cavo Burla, nel tratto di interesse, risulta in scavo e delimitato in sponda destra dalla S.P. Parma-Mezzani.

Il dislivello tra il fondo dell'alveo e la sommità spondale è di circa 2.5-3.0 m. Il tratto di canale oggetto di simulazione numerica si estende da 937 m a monte del primo attraversamento a sud, sino a 1504 m a valle dello stesso, per una lunghezza totale di circa 2410 m.

Si tratta di un corso d'acqua promiscuo di scolo ed irrigazione che presenta, nel tratto di attraversamento, una sezione trapezia di base maggiore 6,7m base minore 2,80m ed altezza 1,5m.

Le due interferenze sono risolte entrambe con uno scatolare 5.0X2.25m, le cui quote di fondo risultano sprofondate di 20 cm rispetto all'esistente e quindi poste a 27.55 m slm per il tombino a più sud e 26.92



m slm per l'altro.

Come concordato con il Consorzio in sede CDS Preliminare la tombinatura è stata prolungata monte/valle di almeno 4 m mentre gli imbocchi e gli sbocchi sono stati risolti con un manufatto di contenimento costituito da un muro in CA con le ali ben intestate nelle sponde e nel fondo. Analogamente sia a monte che a valle le sponde ed il fondo sono state rivestite con massi di pezzatura da 50 a 100kg/cad intasati di terreno di sterro per almeno 4m.

Si rimanda a un maggior dettagli nelle Tavole progettuali: Tav. PD_0_D01_DWS00_0_WW_TP_01_A

Si riporta una breve scheda sulle caratteristiche fisiche morfologiche del corso d'acqua

TABELLA 8-1: CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE ED AMBIENTALI DEL CAVO BURLA

| | | |
|-------------------------------|--|--|
| CODICE | 1PRA001 | |
| NOME | CAVO BURLA | |
| PROVINCIA | PR | |
| UBICAZIONE | GAUSS BOAGA X | 1609350.75 |
| | GAUSS BOAGA Y | 4969395.04 |
| CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE | BACINO (m ²) | 29.700.000 |
| | LUNGHEZZA (m) | 10.800 |
| | SORGENTE | campagna, a monte dell'autostrada A1 |
| | FOCE | Torrente Enza |
| CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE | TIPO TRACCIATO | modesta sinuosità |
| | TIPO SEZIONE | in scavo |
| | TIPO ALVEO | alveo artificiale in scavo a sezione trapezoidale |
| | EROSIONI | assenza di erosioni diffusa, ma localizzata per la presenza di nutrie e gamberi della luisiana |
| CARATTERISTICHE CORSO D'ACQUA | RANGO | secondario |
| | USO | promiscuo (scolo e irrigazione) |
| | GRANULOMETRIA | limo sabbioso e in parte argilloso |
| | AMBIENTE FLUVIALE | vegetazione spondale erbacea. Probabile presenza di anfibi e pesci |
| CARATTERISTICHE DEL PAESAGGIO | TERRITORIO CIRCOSTANTE | area di campagna con strada provinciale, case e capannoni |
| CARATTERISTICHE IDRAULICHE | CONDIZIONI CONTORNO | AL corrente lenta: pendenza di moto uniforme a valle |
| | SCABREZZA (m ^{1/3} /s) | 20-25 |
| NOTE | ponticelli in muratura ad arco e scatolari prefabbricati per passaggi carrai - assenza di difese idrauliche - paratoie manuali per la gestione delle portate e livelli irrigui | |

8.1.2. Verifiche idrauliche

8.1.2.1 Definizione delle portate di progetto

Le portate di riferimento adottate per la modellazione idraulica, secondo lo schema precedentemente definito, si riferiscono a quelle massime sostenibili all'interno, rispettivamente, della configurazione attuale del canale in prossimità dell'attraversamento in progetto e della configurazione che prevede l'adeguamento arginale e/o spondale dei tratti che ne limitano il deflusso. Tali portate di progetto valgono, rispettivamente:

1. massima portata sostenibile a franco nullo lungo l'intero tratto esaminato $Q_{ms1}=3,0 \text{ m}^3/\text{s}$
2. massima portata sostenibile incrementata a seguito di eventuali adeguamenti in quota dei tratti di maggior criticità $Q_{ms2}=3,9 \text{ m}^3/\text{s}$

La determinazione dei parametri idraulici sopraesposti è stata eseguita attraverso le procedure di calcolo che verranno esposte nel successivo Capitolo.

Avendo constatato che il tratto oggetto di analisi è caratterizzato da moderata lunghezza ed estensione, e specialmente considerando il fatto che le opere idrauliche in progetto non determinano significativa riduzione del volume d'alveo disponibile per la laminazione delle piene, sono state effettuate simulazioni idrauliche in moto permanente (stazionario).

I valori di scabrezza assunti tengono conto della combinazione di diversi fattori che intervengono nella caratterizzazione delle perdite distribuite durante un evento di piena:

- caratteristiche granulometriche del materiale d'alveo,
- caratteristiche morfologiche e geometriche del tratto d'alveo e brusche variazioni di geometria della sezione;
- caratterizzazione della copertura vegetale presente nelle zone spondali.

Sulla base dei sopralluoghi effettuati, dei riferimenti bibliografici che si riconducono ai principali studi in materia si sono quindi assunti valori opportuni della scabrezza in funzione non solo della copertura vegetale ma anche del tipo e granulometria del materiale presente in alveo.

8.1.2.2 Scenari simulati

Ai fini modellistici, le condizioni di riferimento per la verifica dei tombini in progetto sono le seguenti:

- stato di fatto, che considera la morfologia attuale del corso d'acqua, senza l'introduzione di alcuna opera in progetto;
- stato di progetto 1, che prevede l'introduzione di due manufatti e come portata la QMS dello stato di fatto;
- stato di progetto 2, che, oltre a prevedere l'introduzione dei manufatti di attraversamento in progetto,

tiene conto dell'incremento della QMS assimilabile alla possibilità che vengano realizzate opere di adeguamento spondale nel tratto modellato a monte e a valle dell'attraversamento in progetto.

Per l'implementazione degli scenari sopra esposti, i parametri idraulici di calcolo sono:

- rappresentazione geometrica del corso d'acqua: ricavata dal rilievo topografico eseguito ad hoc per la progettazione definitiva (2011) , nonché, per lo stato di progetto, dalla geometria di progetto;
- portate di riferimento, assunte come portate massime ammissibili nelle diverse configurazioni sopra esposte,
- condizione di valle: moto uniforme
- scabrezza secondo G.-Strickler pari a $25 \text{ m}^{1/3}/\text{sec}$.

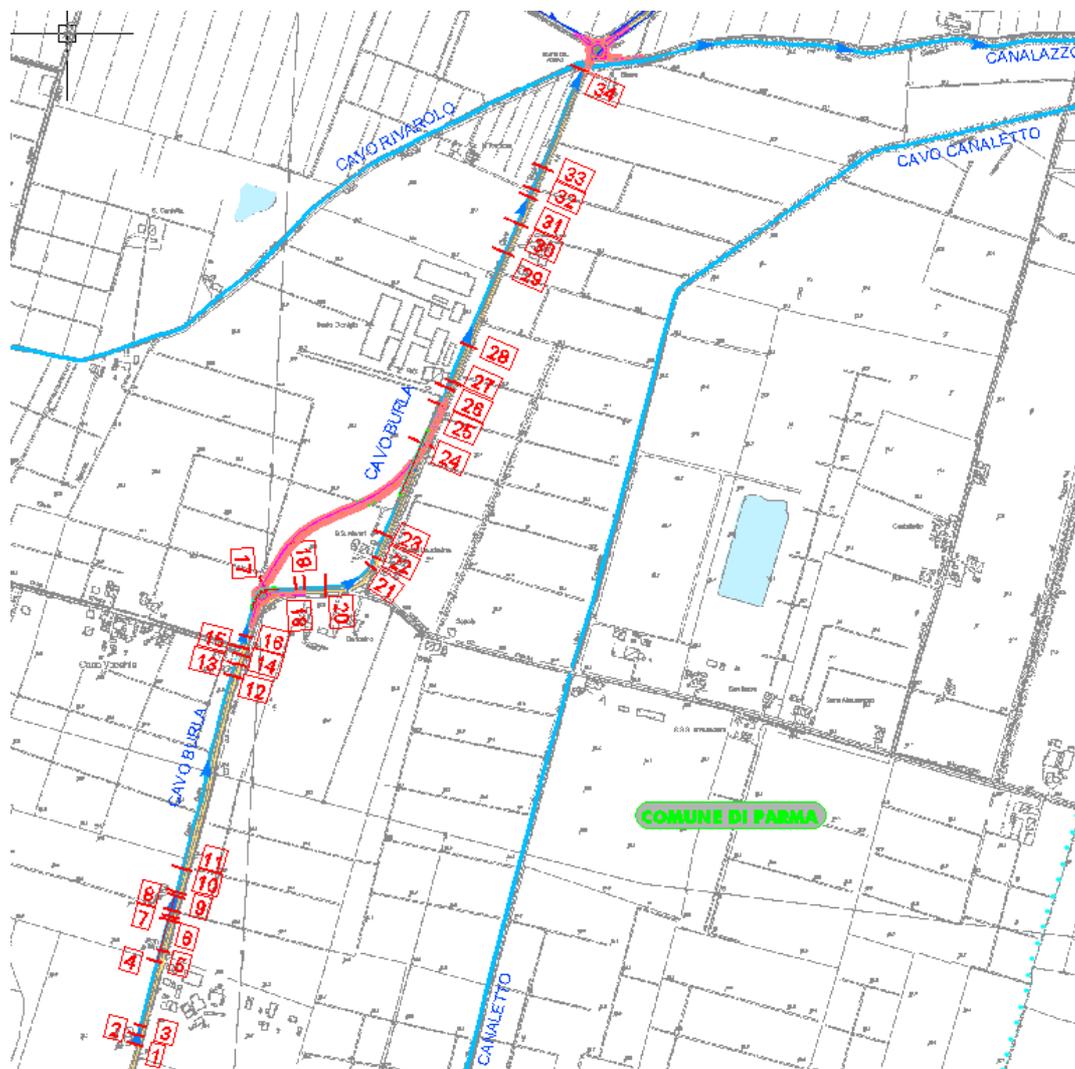


FIGURA 8-1: PLANIMETRIA DELLE SEZIONI IDRAULICHE RILEVATE NEL 2011 PER IL CAVO BURLA

La tabella ed i grafici seguenti illustrano i risultati ottenuti andando ad individuare sia la portata massima ammissibile lungo tutto il tratto simulato nella configurazione morfologica attuale, sia nelle configurazioni di progetto.

Le risultanze delle propagazioni nelle configurazioni simulate consistono nell'espore le principali grandezze idrauliche, soprattutto in termini di livelli idrometrici raggiunti durante gli eventi considerati in corrispondenza delle varie sezioni trasversali del corso d'acqua. Inoltre, risultano rilevate le velocità medie della corrente nei singoli tratti dell'alveo sia in condizioni di alveo attuale che di progetto.

8.1.2.3 Risultati delle analisi nello Stato di Fatto

In questa configurazione è stato simulato il tratto di corso d'acqua in oggetto in occasione del raggiungimento del massimo livello di piena sostenibile nella configurazione morfologica attuale.

Con le condizioni al contorno sopra indicate la Q_{MS1} del Cavo Burla risulta pari a 3.0 m³/s e il livello raggiunto dalla piena di progetto nella sezione immediatamente a monte dell'attraversamento1 è pari a 28.89 m s.l.m, mentre per l'attraversamento 2 è pari a 28.33 m slm.

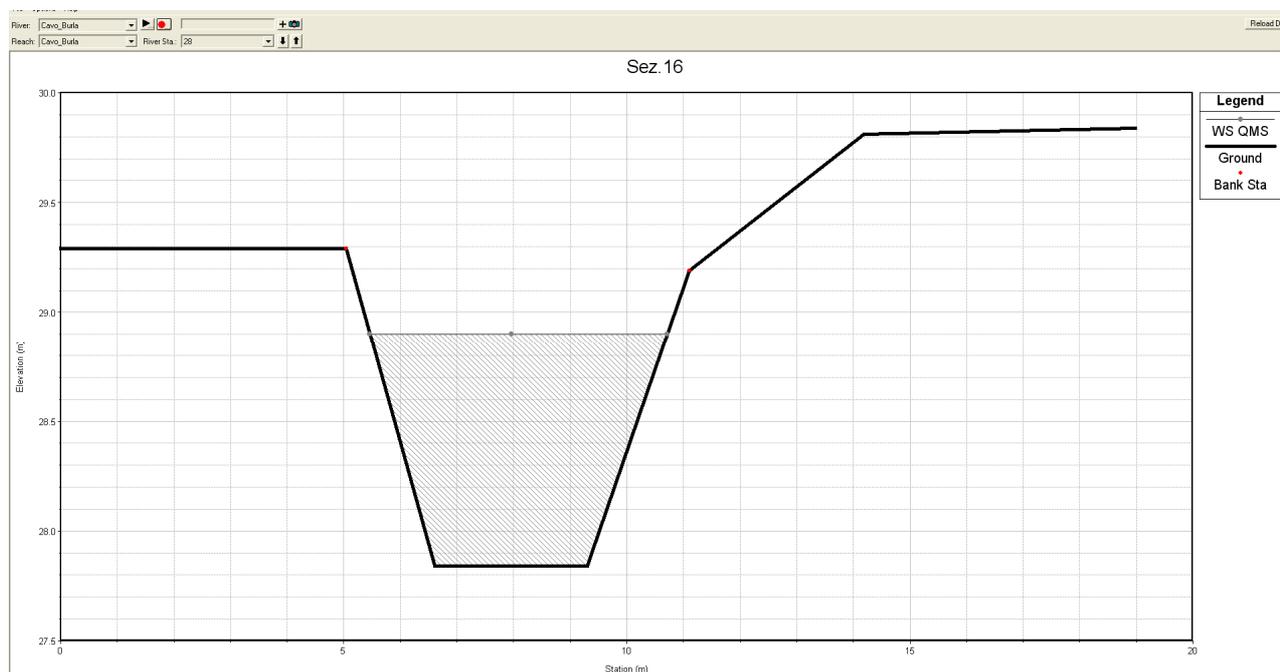


FIGURA 8-2: LIVELLO RAGGIUNTO NELLA SEZIONE IMMEDIATAMENTE A MONTE DELLO SCATOLARE 1 NELLO SF CON Q_{MS}

8.1.2.4 Risultati delle analisi negli State di Progetto

Stato di progetto 1

Nella configurazione di progetto 1, con l'inserimento degli scatolari in progetto, in corrispondenza dell'attraversamento e con la condizione di portata massima sostenibile nella configurazione attuale

$Q_{MS1}=3.0$ m³/s, il livello idrometrico immediatamente a monte del primo attraversamento (codificato con WBS D01DTS01) rimane pressoché invariato rispetto allo stato di fatto, attestandosi a quota 28.83 m s.l.m., analogamente si verifica immediatamente a monte del secondo attraversamento (D01DTS02), attestandosi a quota 28.28 m s.l.m.

Con questi livelli idrometrici lo scatolare di attraversamento D01DTS01 risulta verificato in quanto il riempimento si attesta al 44% e viene garantito il franco d'aria minimo, analogamente avviene per lo scatolare D01DTS02, per il quale il riempimento si attesta al 40%

TABELLA 8-2; CONFRONTO TRA DI STATO DI FATTO E STATO DI PROGETTO 1

| Sezione Topografica | Progressiva | Quota del fondo | Q di progetto | Livelli idrometrici i S.F. | Livelli idrometrici i S.P. | ΔH | Velocità S.F. | Velocità S.P. | Pendenza | Carico totale S.F. | Carico totale S.P. |
|---------------------|-------------|-----------------|---------------------|----------------------------|----------------------------|------------|---------------|---------------|----------|--------------------|--------------------|
| | [m] | [m s.l.m.] | [m ³ /s] | [m s.l.m.] | [m s.l.m.] | [m] | [m/s] | [m/s] | - | [m] | [m] |
| Sez 01 | 0.00 | 28.76 | 3 | 30.01 | 30.01 | 0.00 | 0.63 | 0.63 | 0.0000 | 30.03 | 30.03 |
| Sez 02 | 20.50 | 28.76 | 3 | 29.99 | 29.99 | 0.00 | 0.65 | 0.65 | 0.0014 | 30.01 | 30.02 |
| Sez 03 | 42.30 | 28.73 | 3 | 29.98 | 29.98 | 0.00 | 0.57 | 0.57 | 0.0009 | 29.99 | 30.00 |
| Sez 04 | 186.30 | 28.60 | 3 | 29.85 | 29.85 | 0.00 | 0.65 | 0.65 | 0.0000 | 29.87 | 29.88 |
| Sez 05 | 211.30 | 28.60 | 3 | 29.83 | 29.83 | 0.00 | 0.67 | 0.67 | 0.0032 | 29.85 | 29.85 |
| Sez 06 | 279.30 | 28.38 | 3 | 29.77 | 29.77 | 0.00 | 0.58 | 0.58 | 0.0000 | 29.79 | 29.79 |
| Sez 07 | 287.70 | 28.38 | 3 | 29.76 | 29.77 | 0.01 | 0.59 | 0.59 | 0.0029 | 29.78 | 29.78 |
| Sez 08 | 301.70 | 28.34 | 3 | 29.76 | 29.76 | 0.00 | 0.50 | 0.50 | -0.0028 | 29.77 | 29.77 |
| Sez 09 | 333.70 | 28.43 | 3 | 29.74 | 29.74 | 0.00 | 0.59 | 0.59 | 0.0005 | 29.75 | 29.76 |
| Sez 11 | 394.70 | 28.40 | 3 | 29.68 | 29.68 | 0.00 | 0.59 | 0.59 | 0.0006 | 29.70 | 29.70 |
| Sez 12 | 826.70 | 28.14 | 3 | 29.11 | 29.09 | -0.02 | 0.72 | 0.74 | 0.0006 | 29.14 | 29.12 |
| Sez 14 | 875.70 | 28.11 | 3 | 29.01 | 28.97 | -0.04 | 0.85 | 0.91 | 0.0064 | 29.04 | 29.01 |
| Sez 16 | 917.70 | 27.84 | 3 | 28.95 | 28.90 | -0.05 | 0.67 | 0.71 | 0.0034 | 28.97 | 28.93 |
| Sez 17 | 996.70 | 27.57 | 3 | 28.89 | 28.83 | -0.06 | 0.56 | 0.60 | 0.0000 | 28.90 | 28.84 |
| Scatolare D01DTS01 | 1067.70 | 27.57 | 3 | 28.85 | 28.83 | -0.02 | 0.70 | 0.60 | 0.0000 | 28.86 | 28.83 |
| Sez 17 BIS | 1067.70 | 27.57 | 3 | 28.85 | 28.81 | -0.04 | 0.70 | 0.60 | -0.0039 | 28.86 | 28.83 |
| Sez 18 | 1100.70 | 27.70 | 3 | 28.80 | 28.76 | -0.04 | 0.76 | 0.78 | 0.0016 | 28.83 | 28.79 |
| Sez 20 | 1164.70 | 27.60 | 3 | 28.72 | 28.66 | -0.06 | 0.70 | 0.75 | 0.0019 | 28.74 | 28.69 |
| Sez 21 | 1271.70 | 27.40 | 3 | 28.57 | 28.49 | -0.08 | 0.79 | 0.82 | 0.0022 | 28.60 | 28.53 |
| Sez 23 | 1344.70 | 27.24 | 3 | 28.46 | 28.36 | -0.10 | 0.75 | 0.85 | 0.0036 | 28.49 | 28.40 |
| Sez 23BIS | 1432.70 | 26.92 | 3 | 28.33 | 28.28 | -0.05 | 0.57 | 0.60 | 0.0004 | 28.34 | 28.30 |
| Scatolare D01DTS02 | 1582.70 | 26.86 | 3 | 28.27 | 28.28 | 0.01 | 0.59 | 0.60 | 0.0000 | 28.29 | 28.28 |
| Sez 24 | 1582.70 | 26.86 | 3 | 28.27 | 28.26 | -0.01 | 0.59 | 0.60 | 0.0004 | 28.29 | 28.28 |
| Sez 25 | 1674.70 | 26.82 | 3 | 28.20 | 28.20 | 0.00 | 0.59 | 0.59 | -0.0005 | 28.22 | 28.21 |
| Sez 27 | 1729.70 | 26.85 | 3 | 28.15 | 28.15 | 0.00 | 0.64 | 0.64 | 0.0024 | 28.17 | 28.17 |
| Sez 28 | 1815.70 | 26.64 | 3 | 28.09 | 28.09 | 0.00 | 0.56 | 0.56 | 0.0004 | 28.11 | 28.11 |
| Sez 29 | 2033.20 | 26.55 | 3 | 27.88 | 27.88 | 0.00 | 0.73 | 0.73 | -0.0026 | 27.90 | 27.90 |
| Sez 30 | 2101.20 | 26.73 | 3 | 27.78 | 27.78 | 0.00 | 0.74 | 0.74 | 0.0025 | 27.81 | 27.81 |
| Sez 31 | 2164.70 | 26.57 | 3 | 27.65 | 27.65 | 0.00 | 0.87 | 0.87 | 0.0050 | 27.69 | 27.69 |
| Sez 33 | 2182.70 | 26.48 | 3 | 27.61 | 27.61 | 0.00 | 0.87 | 0.87 | 0.0017 | 27.65 | 27.65 |
| Sez 34 | 2410.20 | 26.09 | 3 | 27.14 | 27.14 | 0.00 | 0.87 | 0.87 | 0.0000 | 27.17 | 27.17 |

Dal confronto tra SF e SP si evince che l'inserimento dei due tombini non altera i profili di rigurgito poiché ΔH è sempre prossimo al valore zero.

Stato di progetto 2

Nella configurazione di progetto 2 è stato ipotizzato un incremento della QMS, pari a 3.9m³/s, assimilabile all'adeguamento spondale/arginale nelle sezioni più critiche a monte degli attraversamenti e **si verifica che nei manufatti di attraversamento tale valore di portata stia all'interno del 70% della sezione di deflusso.**

Di seguito si riporta il profilo che mette a confronto lo stato di progetto 1, relativo alla QMS e lo stato di progetto 2 con la QMS incrementata, in seguito all'innalzamento spondale in un tratto critico tra la sezione 8 e la sezione 12. Nel profilo sono riportati, oltre ai profili di rigurgito a confronto, anche i cigli spondali di destra (ROB) e sinistra (LOB), il fondo dell'alveo "Ground" che coincide nei due stati di progetto e i due tombini scatoari in progetto.

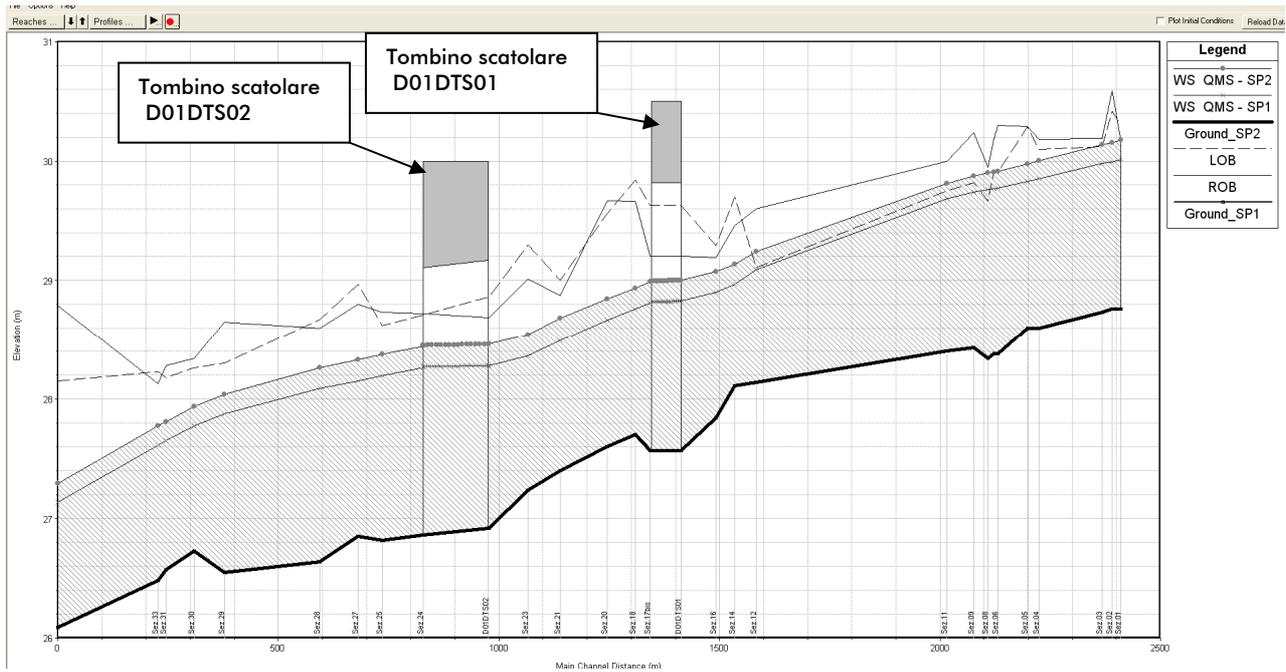


FIGURA 8-3: CONFRONTO TRA IL PROFILO DELLO SP1 E LO SP2

Di seguito si riportano le sezioni di deflusso di entrambi i tombini con i livelli derivanti dallo SP1 e SP2.

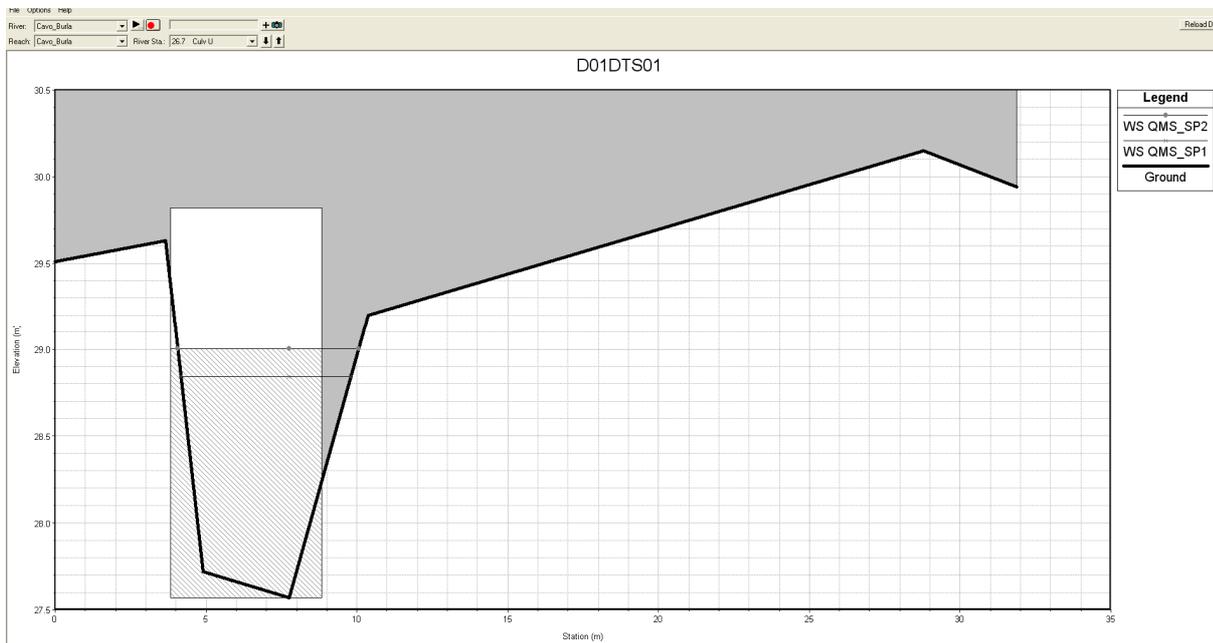


FIGURA 8-4: CONFRONTO DEI LIVELLI TRA SP1 E SP2 IN CORRISPONDENZA DEL TOMBINO D01DTS1

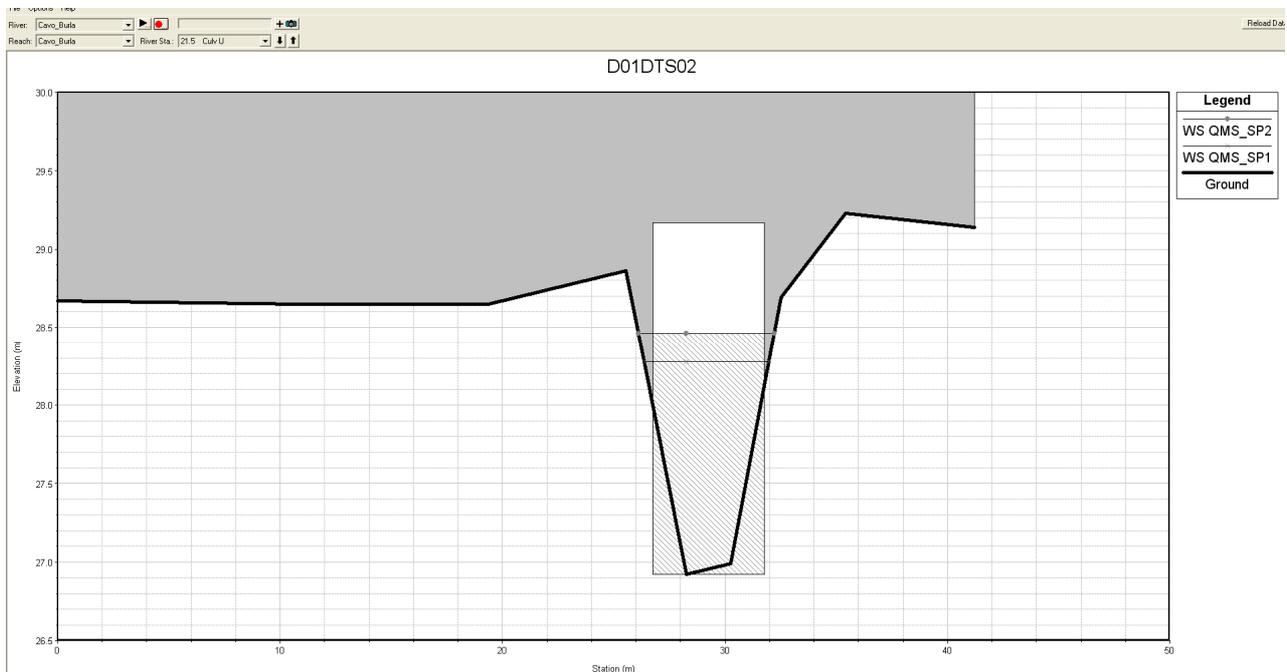


FIGURA 8-5: CONFRONTO DEI LIVELLI TRA SP1 E SP2 IN CORRISPONDENZA DEL TOMBINO D01DTS2

8.2. CANALE ARIANA MALCANTONE

8.2.1. Caratteristiche idrografiche, geometriche, morfologiche ed ambientali dell'alveo

Si tratta di un corso d'acqua di scolo gestito dal Consorzio che presenta, nel tratto di attraversamento, una sezione trapezia di base maggiore 3,30m base minore 1,30m ed altezza 1.0m. La quota di fondo in corrispondenza dell'attraversamento è posta a 25.41 msm. Il Canale Ariana Malcantone ha una lunghezza di circa 3.6Km, ha origine nel Canale Naviglio e scarica le sue acqua nel Canale Naviglio Nuovo, scorrendo da ovest verso est.

L'interferenza è risolta con la demolizione dell'attraversamento esistente e l'inserimento di uno scatolare 2.0X1.0 la cui quota di fondo risulta sprofondata di 20cm e quindi posta a 25.21 msm.

Come concordato con il Consorzio in sede di CDS la tombinatura è stata prolungata monte/valle di almeno 4 m mentre gli imbocchi e gli sbocchi sono stati risolti con un manufatto di contenimento costituito da un muro in CA con le ali ben intestate nelle sponde e nel fondo. Analogamente sia a monte che a valle le



sponde ed il fondo sono state rivestite con massi di pezzatura da 50 a 150kg/cad intasati di terreno di sterro per almeno 4m. Si rimanda a un maggior dettagli nella Tavola progettuale: Tav. PD_0_D01_DWS00_0_WW_TP_01_A

Si riporta una breve scheda sulle caratteristiche fisiche morfologiche del corso d'acqua.

| | | |
|-------------------------------|--|---|
| CODICE | 1PRA005 | |
| NOME | CANALE MALCANTONE | |
| DATA RILIEVO | 09/08/2011 | |
| PROPRIETA' | demaniale | |
| PROVINCIA | PR | |
| PROGRESSIVA | 03+650 | |
| UBICAZIONE | GAUSS BOAGA X | 1611140.97 |
| | GAUSS BOAGA Y | 4972215.88 |
| CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE | BACINO (m ²) | - |
| | LUNGHEZZA (m) | 3.600 |
| | SORGENTE | campagna |
| | FOCE | Canale Naviglio Nuovo |
| CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE | TIPO TRACCIATO | rettilineo |
| | TIPO SEZIONE | in scavo |
| | TIPO ALVEO | alveo artificiale in scavo a sezione trapezoidale |
| | EROSIONI | assenza di erosioni diffusa, ma localizzata per la presenza di nutrie |
| CARATTERISTICHE CORSO D'ACQUA | RANGO | secondario |
| | USO | Promiscuo (scolo e irrigazione) |
| | GRANULOMETRIA | limo argilloso |
| | AMBIENTE FLUVIALE | Vegetazione spondale erbacea rada. Probabile presenza di anfibi e pesci |
| CARATTERISTICHE DEL PAESAGGIO | TERRITORIO CIRCOSTANTE | area di campagna con strada provinciale, case e capannoni sparsi |
| CARATTERISTICHE IDRAULICHE | CONDIZIONI AL CONTORNO | corrente lenta: pendenza di moto uniforme a valle |
| | SCABREZZA (m ^{1/3} /s) | 19-21 |
| NOTE | tombino circolare per passaggio carraio - assenza di difese idrauliche | |

8.2.2. Verifiche idrauliche

8.2.2.1 Definizione delle portate di progetto

Le portate di riferimento adottate per la modellazione idraulica, secondo lo schema precedentemente definito, si riferiscono a quelle massime sostenibili all'interno, rispettivamente, della configurazione attuale del canale in prossimità dell'attraversamento in progetto e della configurazione che prevede l'adeguamento

arginale e/o spondale dei tratti che ne limitano il deflusso. Tali portate di progetto valgono, rispettivamente:

3. massima portata sostenibile a franco nullo lungo l'intero tratto esaminato $Q_{ms1}=0.4 \text{ m}^3/\text{s}$
4. massima portata sostenibile incrementata a seguito di eventuali adeguamenti in quota dei tratti di maggior criticità $Q_{ms2}=0.5 \text{ m}^3/\text{s}$

La determinazione dei parametri idraulici sopraesposti è stata eseguita attraverso le procedure di calcolo che verranno espone nel successivo Capitolo.

Avendo constatato che il tratto oggetto di analisi è caratterizzato da moderata lunghezza ed estensione, e specialmente considerando il fatto che le opere idrauliche in progetto non determinano significativa riduzione del volume d'alveo disponibile per la laminazione delle piene, sono state effettuate simulazioni idrauliche in moto permanente (stazionario).

I valori di scabrezza assunti tengono conto della combinazione di diversi fattori che intervengono nella caratterizzazione delle perdite distribuite durante un evento di piena:

- caratteristiche granulometriche del materiale d'alveo,
- caratteristiche morfologiche e geometriche del tratto d'alveo e brusche variazioni di geometria della sezione;
- caratterizzazione della copertura vegetale presente nelle zone spondali.

Sulla base dei sopralluoghi effettuati, dei riferimenti bibliografici che si riconducono ai principali studi in materia si sono quindi assunti valori opportuni della scabrezza in funzione non solo della copertura vegetale ma anche del tipo e granulometria del materiale presente in alveo.

8.2.2.2 Scenari simulati

Ai fini modellistici, le condizioni di riferimento per la verifica dei tombini in progetto sono le seguenti:

- stato di fatto, che considera la morfologia attuale del corso d'acqua, senza l'introduzione di alcuna opera in progetto;
- stato di progetto 1, che prevede l'introduzione di un manufatto di attraversamento e come portata la QMS dello stato di fatto;
- stato di progetto 2, che, oltre a prevedere l'introduzione del manufatto di attraversamento in progetto, tiene conto dell'incremento della QMS assimilabile alla possibilità che vengano realizzate opere di adeguamento spondale nel tratto modellato a monte e a valle dell'attraversamento in progetto.

Per l'implementazione degli scenari sopra esposti, i parametri idraulici di calcolo sono:

- rappresentazione geometrica del corso d'acqua: ricavata dal rilievo topografico eseguito ad hoc per la progettazione definitiva (2011) , nonché, per lo stato di progetto, dalla geometria di progetto;

- portate di riferimento, assunte come portate massime ammissibili nelle diverse configurazioni sopra esposte,
- condizione di valle: moto uniforme
- scabrezza secondo G.-Strickler pari a $21 \text{ m}^{1/3}/\text{sec}$.

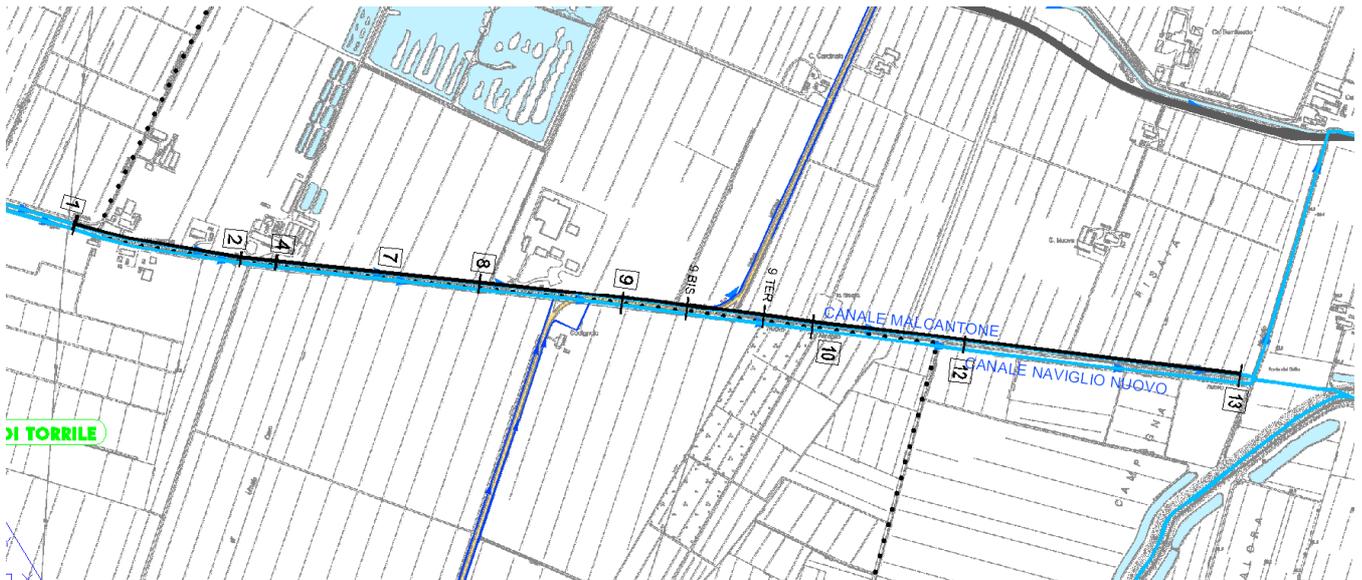


FIGURA 8-6: PLANIMETRIA DELLE SEZIONI IDRAULICHE RILEVATE NEL 2011 PER IL CANALE ARIANA MALCANTONE

La tabella ed i grafici seguenti illustrano i risultati ottenuti andando ad individuare sia la portata massima ammissibile lungo tutto il tratto simulato nella configurazione morfologica attuale, sia nelle configurazioni di progetto.

Le risultanze delle propagazioni nelle configurazioni simulate consistono nell'espore le principali grandezze idrauliche, soprattutto in termini di livelli idrometrici raggiunti durante gli eventi considerati in corrispondenza delle varie sezioni trasversali del corso d'acqua. Inoltre, risultano rilevate le velocità medie della corrente nei singoli tratti dell'alveo sia in condizioni di alveo attuale che di progetto.

8.2.2.3 Risultati delle analisi nello Stato di Fatto

In questa configurazione è stato simulato il tratto di corso d'acqua in oggetto in occasione del raggiungimento del massimo livello di piena sostenibile nella configurazione morfologica attuale.

Con le condizioni al contorno sopra indicate la Q_{MS1} del Canale Ariana Malcantone risulta pari a $0.4 \text{ m}^3/\text{s}$ e il livello raggiunto dalla piena di progetto nella sezione immediatamente a monte dell'attraversamento è pari a 26.02 m s.l.m.

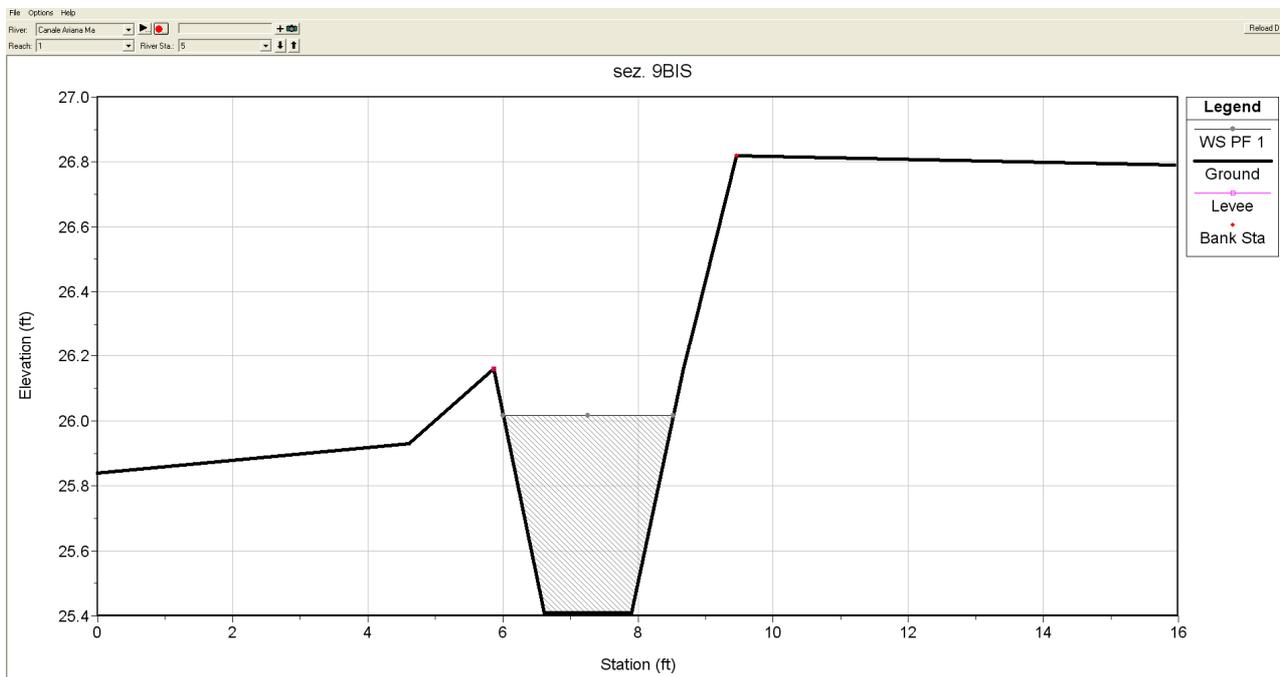


FIGURA 8-7: LIVELLO RAGGIUNTO NELLA SEZIONE IMMEDIATAMENTE A MONTE DELLO SCATOLARE NELLO SF CON Q_{MS}

8.2.2.4 Risultati delle analisi negli State di Progetto

Stato di progetto 1

Nella configurazione di progetto 1, con l'inserimento dello scatolari in progetto (codificato con WBS D01DTS03) e con la condizione di portata massima sostenibile nella configurazione attuale $Q_{MS1}=0.4 \text{ m}^3/\text{s}$, il livello idrometrico immediatamente a monte dell'attraversamento stesso rimane pressoché invariato rispetto allo stato di fatto, attestandosi a quota 25.96 m s.l.m, leggermente inferiore a quella dello stato di fatto per l'effetto della minore scabrezza dello scatolare rispetto a quella dell'alveo.

Con questi livelli idrometrici lo scatolare di attraversamento D01DTS01 risulta verificato in quanto il riempimento si attesta a circa il 70% e viene perciò garantito il franco d'aria minimo.

TABELLA 8-3; CONFRONTO TRA DI STATO DI FATTO E STATO DI PROGETTO 1

| Sezione Topografica | Progressiva | Quota del fondo | Q di progetto | Livelli idrometrici S.F. | Livelli idrometrici S.P. | ΔH | Velocità S.F. | Velocità S.P. | Pendenza | Carico totale S.F. | Carico totale S.P. |
|---------------------|-------------|-----------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|------------|---------------|---------------|----------|--------------------|--------------------|
| | [m] | [m s.l.m.] | [m ³ /s] | [m s.l.m.] | [m s.l.m.] | [m] | [m/s] | [m/s] | - | [m] | [m] |
| Sez 01 | 0.00 | 26.05 | 0.4 | 26.60 | 26.60 | 0.00 | 0.46 | 0.45 | 0.0007 | 26.60 | 26.61 |
| Sez 02 | 374.00 | 25.78 | 0.4 | 26.34 | 26.33 | -0.01 | 0.41 | 0.41 | 0.0025 | 26.34 | 26.33 |
| Sez 04 | 454.00 | 25.58 | 0.4 | 26.30 | 26.30 | 0.00 | 0.30 | 0.30 | -0.0004 | 26.31 | 26.30 |
| Sez 07 | 664.00 | 25.67 | 0.4 | 26.22 | 26.21 | -0.01 | 0.39 | 0.40 | 0.0010 | 26.22 | 26.21 |
| Sez 08 | 908.00 | 25.42 | 0.4 | 26.16 | 26.14 | -0.02 | 0.25 | 0.26 | -0.0003 | 26.16 | 26.14 |
| Sez 09 | 1227.00 | 25.51 | 0.4 | 26.08 | 26.04 | -0.04 | 0.38 | 0.41 | 0.0007 | 26.08 | 26.04 |
| Sez 09BIS | 1369.00 | 25.41 | 0.4 | 26.02 | 25.96 | -0.06 | 0.35 | 0.39 | 0.0005 | 26.02 | 25.96 |
| Scotolare D01DTS03 | 1539.00 | 25.21 | 0.4 | 26.00 | 25.96 | -0.04 | 0.34 | 0.40 | 0.0020 | 26.01 | 26.04 |
| Sez 09TER | 1539.00 | 25.33 | 0.4 | 25.95 | 25.95 | 0.00 | 0.33 | 0.33 | 0.0005 | 25.95 | 25.95 |
| Sez 10 | 1649.00 | 25.28 | 0.4 | 25.92 | 25.92 | 0.00 | 0.32 | 0.32 | 0.0001 | 25.92 | 25.92 |
| Sez 12 | 1989.00 | 25.26 | 0.4 | 25.75 | 25.75 | 0.00 | 0.43 | 0.43 | 0.0010 | 25.76 | 25.76 |
| Sez 13 | 2603.00 | 24.65 | 0.4 | 25.43 | 25.43 | 0.00 | 0.35 | 0.35 | 0.0010 | 25.43 | 25.43 |

Dal confronto tra SF e SP si evince che l'inserimento dei tombini non altera i profili di rigurgito poiché la differenza tra i livelli idrometrici tra SF e SP (ΔH) è sempre molto bassa, prossimo al valore zero.

Stato di progetto 2

Nella configurazione di progetto 2 è stato ipotizzato un incremento della QMS, pari a 0.5m³/s, assimilabile all'adeguamento spondale/arginale nelle sezioni più critiche a monte dell'attraversamento e **si verifica che nel manufatto di attraversamento tale valore di portata stia all'interno della sezione di deflusso con un riempimento circa dell'80%, comunque accettabile.**

Di seguito si riporta il profilo che mette a confronto lo stato di progetto 1, relativo alla QMS e lo stato di progetto 2 con la QMS incrementata, in seguito all'innalzamento spondale in un tratto critico in corrispondenza della sezione 8. Nel profilo sono riportati, oltre ai profili di rigurgito a confronto, anche i cigli spondali di destra (ROB) e sinistra (LOB), il fondo dell'alveo "Ground" che coincide nei due stati di progetto e il tombino scatolare in progetto.

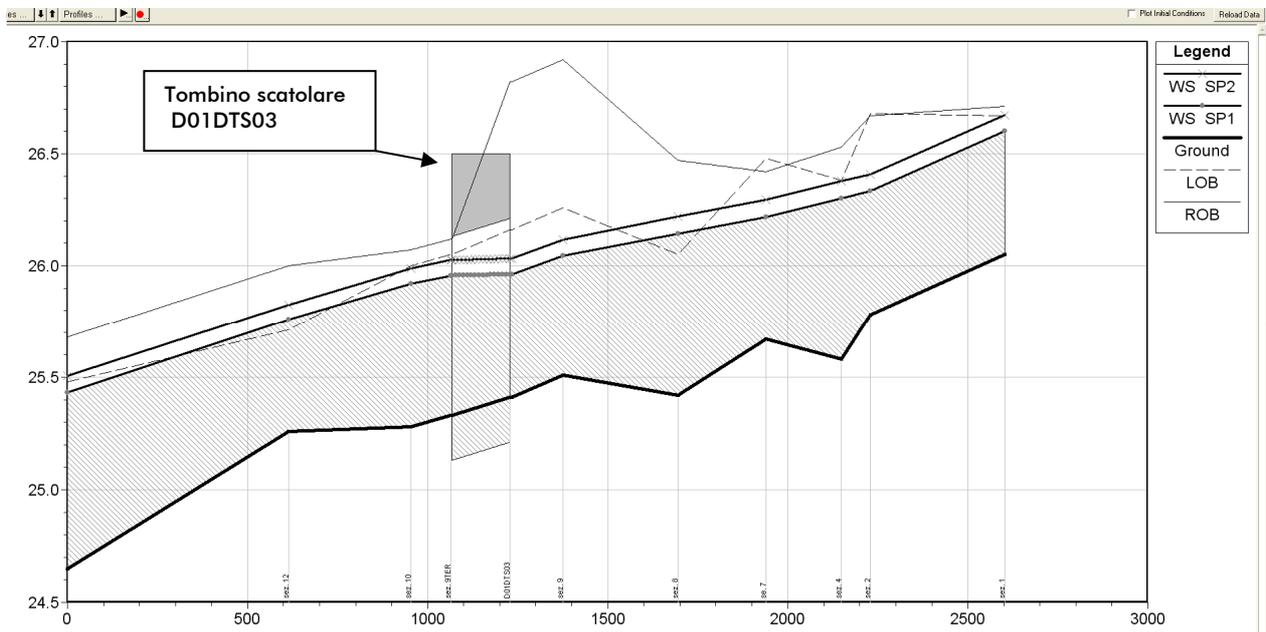


FIGURA 8-8: CONFRONTO TRA IL PROFILO DELLO SP1 E LO SP2

Di seguito si riportano le sezioni di deflusso di entrambi i tombini con i livelli derivanti dallo SP1 e SP2.

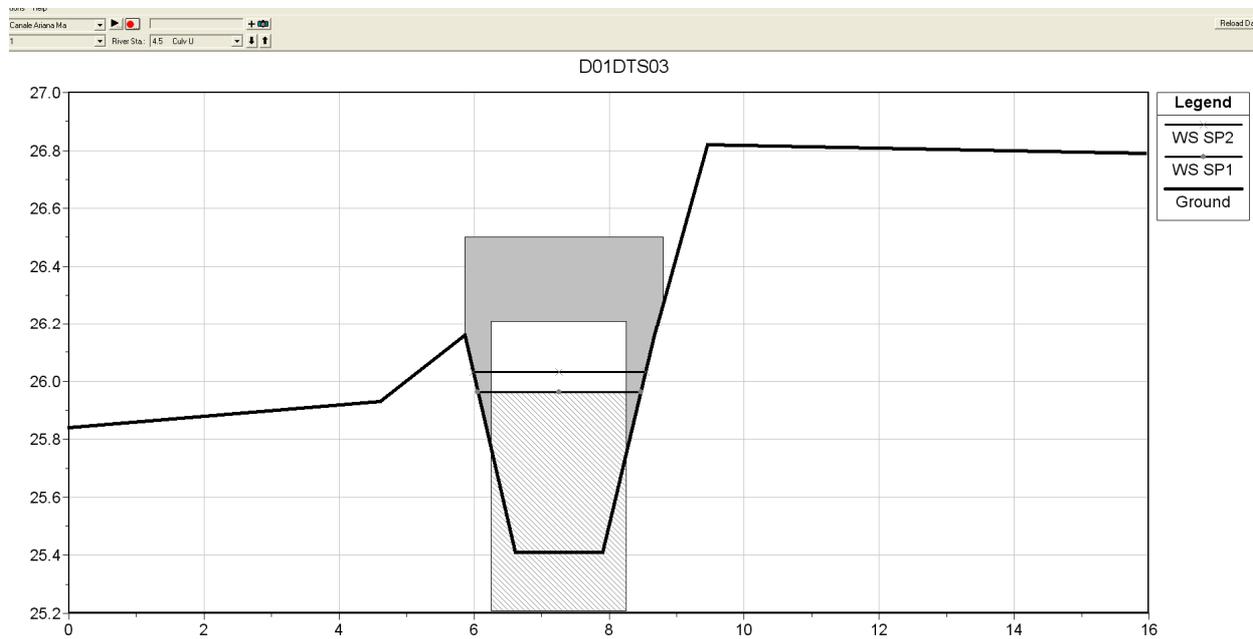


FIGURA 8-9: CONFRONTO DEI LIVELLI TRA SP1 E SP2 IN CORRISPONDENZA DEL TOMBINO

9. INTERVENTI DI SISTEMAZIONE IDRAULICA ED OPERE CONNESSE

Gli interventi di sistemazione idraulica sono stati progettati nel rispetto delle prescrizioni impartite dallo stesso Consorzio di Bonifica in sede di CDS.

Si rimanda alle seguenti tavole le diverse opere idrauliche progettate:

- Tav:4741_PD_0_D01_DWS00_0_WW_TP_01_A visualizza la sistemazione e la tipologia adottata per gli imbocchi di monte e di valle e di conseguenza la relativa protezione idraulica
- Tav 4879_PD_0_D02_DWS00_0_WW_TP_04_A: definisce le diverse tipologie di paratoie distinte come mono e bisettore in funzione della sezione
- Tav 4880_PD_0_D02_DWS00_0_WW_TP_05_A. definisce le tipologie di paratoie, gli attraversamenti poderali, le controtubazioni per garantire il passaggio delle tubazioni irrigue in pressione e il tipologico del modulatore per lo scarico delle acque di piattaforma stradale all'interno dei corpi recettori.