



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Italiadomani

PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA

PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA M2C4 - I4.1

"INVESTIMENTI IN INFRASTRUTTURE IDRICHE PRIMARIE PER LA SICUREZZA DELL'APPROVVIGIONAMENTO IDRICO"



CONSORZIO DI BONIFICA
della romagna occidentale

PROGETTO DI MESSA IN SICUREZZA E INCREMENTO DELLA RESILIENZA IDRICO-IDRAULICA DEI TERRITORI SOTTESI DAL CANALE "FOSSO VECCHIO" MEDIANTE COSTRUZIONE DI UNA CASSA DI ESPANSIONE CON FUNZIONE DI LAMINAZIONE DELLE PIENE E DI INVASO PER L'EFFICIENTAMENTO DELLA PRATICA IRRIGUA DA CANALI A RETE TUBATA IN PRESSIONE, NEI COMUNI DI BAGNACAVALLO, COTIGNOLA E FAENZA IN PROVINCIA DI RAVENNA.

CUP I41B21003430008

CODICE INTERVENTO PNRR-M2C4-I4.1-A2-2

PROGETTO GENERALE ESECUTIVO

ALL. 1.5

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA CASSA DI LAMINAZIONE



IL PROGETTISTA
Dott. Ing. Elvio Cangini
Firmato digitalmente

LUGO, 17/02/2023



Studio di Ingegneria - Massimo Ing. Plazzi

Via Maceo Casadei, 19 - 47121 - Forlì

Cell.: 3472515629 - FAX: 0543708133 - e-mail: pride3@hotmail.it

C.F.: PLZMSM68B25E730G - P.IVA: 02541030405

PROVINCIA DI RAVENNA

*COMUNI DI: FAENZA, COTIGNOLA,
LUGO, BAGNACAVALLO, FUSIGNANO,
ALFONSINE E RAVENNA*

Studio idrologico ed idraulico dei sottobacini "Fosso Vecchio", "Fosso Munio" e "Fosso Vetro" tributari del collettore generale "Canale di Bonifica in Destra di Reno"

RELAZIONE TECNICA IDRAULICA

COMMITTENTE:



CONSORZIO DI BONIFICA DELLA
ROMAGNA OCCIDENTALE
Piazza Savonarola, n° 5
48022 - Lugo (RA)

PROGETTISTA:

Massimo Ing. Plazzi

CONSULENTE:

Annalisa Ing. Ciccarello

DATA:

MARZO 2013

INDICE

| | |
|--|------------|
| 1. PREMESSA | 2 |
| 2. SINTESI METODOLOGICA DELLO STUDIO IDROLOGICO E IDRAULICO | 4 |
| 3. QUADRO CONOSCITIVO E DESCRIZIONE DEL SISTEMA FISICO INDAGATO | 5 |
| 4. MODELLAZIONE DEL SISTEMA FISICO INDAGATO | 7 |
| 4.1. INDIVIDUAZIONE E CARATTERIZZAZIONE IDROLOGICA DEI SOTTOBACINI | 8 |
| 4.2. STIMA DEGLI EVENTI PLUVIOMETRICI DI RIFERIMENTO | 19 |
| 4.3. SCHEMATIZZAZIONE DELLA RETE SCOLANTE AD USO DELLA MODELLAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA | 26 |
| 4.4. CONDIZIONE DEL RICEVENTE CANALE DI BONIFICA IN DESTRA DI RENO | 30 |
| 5. FUNZIONALITÀ DEL SISTEMA ALLO STATO ATTUALE | 31 |
| 6. INDIVIDUAZIONE DEI POSSIBILI INTERVENTI RISOLUTIVI | 39 |
| 6.1 CONFIGURAZIONE DI PROGETTO 1 (P1) | 40 |
| 6.2 CONFIGURAZIONE DI PROGETTO 2 (P2) | 118 |
| 6.3 CONFIGURAZIONE DI PROGETTO 3 (P2*) | 226 |
| 7. CONCLUSIONI | 247 |
| APPENDICE A: IDROGRAMMI DI PIENA UTILIZZATI QUALI SOLLECITAZIONI DI INPUT IN INGRESSO ALLE ASTE DEL FOSSO VECCHIO, FOSSO VETRO E FOSSO MUNIO | 252 |
| Tr 30 ANNI | 252 |
| Tr 50 ANNI | 256 |
| Tr 100 ANNI | 260 |
| Tr 200 ANNI | 264 |
| APPENDICE B: CENNI SUI MODELLI DI CALCOLO UTILIZZATI | 268 |
| B.1 MAPINFO | 268 |
| B.2 IL MODULO DI CALCOLO S.W.M.M. PER LA SIMULAZIONE DEL COMPORTAMENTO IDRODINAMICO DELLE RETI DI BONIFICA | 270 |
| Il modulo di formazione del deflusso superficiale | 270 |
| B.3 CENNI SUL MODELLO MATEMATICO DI PROPAGAZIONE DELLE PIENE MIKE11 | 272 |
| Moto in alveo | 272 |
| Descrizione della geometria dell'alveo e delle "sezioni singolari" | 274 |
| APPENDICE C: TAVOLE ESTRATTE DAL SISTEMA INFORMATIVO TERRITORIALE DEL CONSORZIO DI BONIFICA DELLA ROMAGNA OCIDENTALE PER LOCALIZZAZIONE CASSE | 276 |

1. PREMESSA

Il presente studio nasce come naturale seguito delle precedenti analisi effettuate dal Consorzio di Bonifica della Romagna Occidentale sul Canale in Destra di Reno, nell'ambito del progetto per il "*Monitoraggio morfologico del Canale di Bonifica in destra di Reno*", rientrante nel programma di interventi in materia di difesa del suolo relativo al bacino interregionale del fiume Reno a valere sulla legge 183/89.

Al fine di verificare e controllare – in riferimento agli stati di crisi manifestatisi nel corso dei noti eventi alluvionali dell'ottobre-dicembre 1996 e del dicembre 1999 - l'ufficiosità del canale in Destra di Reno rispetto ad eventi pluviometrici rilevanti e di individuare gli interventi necessari per un adeguamento del sistema alle mutate condizioni ambientali, infatti, è stato redatto lo studio dal titolo "*Studio idrologico ed idraulico del Canale di Bonifica in destra di Reno in condizioni di piena eccezionale: verifica del sistema nello stato di fatto attuale e delle configurazioni progettuali prospettate per il miglioramento della capacità di trasferimento idrico nel cavo*" (Plazzi, 2000).

I risultati di tale complesso e completo lavoro di indagine, a cui si rimanda per ulteriori e più precisi riferimenti, mettono in luce una criticità diffusa dell'asta del Canale in destra di Reno già per eventi caratterizzati da tempo di ritorno trentennale e la necessità e urgenza di intervenire su più fronti: da un lato operando attività di manutenzione ordinaria e straordinaria delle numerose botti sifone presenti, dall'altro effettuando interventi strutturali strategici sulle aste dei principali affluenti (Zaniolo, Canal Vela e Fosso Vecchio) finalizzati alla laminazione delle piene prima del loro arrivo al canale, con il duplice beneficio di alleggerire dei copiosi deflussi le aste stesse oltre che il loro recettore finale.

In tale quadro lo studio citato analizzava più scenari derivanti dall'inserimento di casse di laminazione secondo diverse combinazioni delle stesse.

Visti, infatti, i tempi di progettazione e realizzazione e le energie, in termini sia di risorse umane che economiche, che simili manufatti presuppongono, non pareva realistico ipotizzare un loro funzionamento simultaneo, ma sembrava piuttosto utile arrivare alla definizione di un cronoprogramma concordato con tutti gli Enti coinvolti, tale da individuare le priorità e, quindi, le diverse fasi di studio e realizzazione delle casse.

In tale quadro si colloca il presente approfondimento che nasce dall'esigenza di conoscere in modo più dettagliato il comportamento idrologico e idraulico del sistema idrico del Fosso Vecchio, uno dei principali affluenti del canale a Destra di Reno insieme al Canal Vela e allo scolo Zaniolo.

Lo studio, di cui la presente relazione costituisce la sintesi, si concentra sulla individuazione delle criticità idrauliche del fosso Vecchio e dei suoi due principali contribuenti, il fosso Vetro, affluente in destra idraulica, e il fosso Munio, affluente in sinistra, mediante la descrizione e discretizzazione delle singole aste fluviali e dei relativi sottobacini idrologici.

Nel seguito verranno dunque richiamate le modalità operative e metodologiche seguite e le risultanze numeriche ottenute grazie all'utilizzo dei più moderni e collaudati programmi di calcolo, riportando, all'interno dei singoli paragrafi ed in appositi allegati, gli elaborati grafici ritenuti indispensabili per la comprensione sia dello status quo idraulico dei tre corsi d'acqua che del loro comportamento in presenza di interventi strutturali diretti e/o indiretti.

È bene sottolineare fin da ora che, al fine di realizzare uno studio allo stesso tempo attendibile e di dettaglio, si è posta particolare attenzione ai seguenti aspetti di impostazione metodologica:

- rilievo topografico di sezioni trasversali dell'alveo descritte da un numero elevato di punti battuti e caratterizzate da una cadenza longitudinale a buon grado di infittimento (ogni ~ 100 metri), in modo che esse siano molto rappresentative della geometria reale del sistema fisico indagato;
- utilizzo delle metodologie scientifiche più recenti per la definizione delle grandezze in gioco, quali la regionalizzazione delle piogge, l'applicazione dell'algoritmo dell'invaso lineare per la trasformazione afflussi/deflussi e del moto vario per le condizioni idrodinamiche di trasferimento in alveo;
- impiego di programmi di calcolo all'avanguardia, fra i più utilizzati – e quindi validati – dei simulatori numerici attualmente in commercio.

2. SINTESI METODOLOGICA DELLO STUDIO IDROLOGICO E IDRAULICO

Il complesso lavoro di acquisizione, definizione e stime di tutti i dati e/o le grandezze necessari all'implementazione/taratura dei programmi di calcolo utilizzati è così sintetizzabile:

- definizione di tutti i bacini idrografici degli scoli di bonifica direttamente tributari del Fosso Vecchio, Fosso Munio e Fosso Vetro, in termini di estensione, lunghezza dell'asta, tempi di corrivazione, pendenza media, uso del suolo, anche mediante l'ausilio di un programma informativo geografico (GIS);
- stima – mediante l'utilizzo del metodo statistico di regionalizzazione delle piogge, desunto dalla *“Analisi regionale degli eventi estremi delle precipitazioni e delle portate di piena”*, Prof. E. Todini, POSTER, 1994 – della *“carta delle isolinee di pioggia”* sull'intero bacino del fosso Vecchio, per tempi di pioggia (1, 3, 6, 12, 24, 48, 72, 96 ore) e tempi di ritorno T_r (30, 50, 100, 200 anni) prefissati;
- definizione della pioggia *“media”* per i tempi di pioggia ed i tempi di ritorno sopra menzionati sul bacino del fosso Vecchio;
- mediante la classica procedura di regressione lineare, definizione delle 4 linee pluviometriche di possibilità climatica ($h = at_p^n$), ognuna corrispondente ai T_r prescelti (30, 50, 100, 200 anni);
- mediante un programma di simulazione numerica della trasformazione afflussi/deflussi approssimato alla legge dell'invaso lineare (SWMM) e sulla scorta dei parametri caratteristici dei terreni, si sono definite le onde di piena generate dalle piogge a diverso tempo di ritorno in ogni sottobacino direttamente afferente ai tre corsi d'acqua oggetto di studio, le quali rappresentano le sollecitazioni idrologiche in ingresso al sistema indagato;
- implementazione di tutte le geometrie di rilievo topografico (circa 260 sezioni trasversali per il fosso Vecchio, 140 per il fosso Vetro e 145 per il fosso Munio; profili longitudinali, strutture e manufatti) in un programma di simulazione numerica in moto vario (MIKE 11) dei fenomeni idraulici di piena nei canali;
- definizione delle condizioni di deflusso del canale a Destra di Reno, in cui il sistema confluisce;
- effettuazione delle simulazioni numeriche, per i vari eventi pluviometrici e con la geometria attuale dei canali, al fine di definire i profili iniluppo di piena e di conseguenza le criticità idrauliche ed i tratti in sofferenza idraulica;
- prima individuazione degli interventi di sistemazione (strutturali e non, diretti ed indiretti) atti ad ottenere la messa in sicurezza dei tre canali, dei territori da essi attraversati e, quindi, del Canale in Destra di Reno;
- effettuazione delle simulazioni numeriche, per i vari eventi pluviometrici e con le diverse configurazioni geometriche di progetto dei canali, al fine di definire i profili iniluppo di piena e quindi di quantificare il beneficio reale in termini di riduzione del rischio idraulico in concomitanza di eventi meteorici *“eccezionali”* e *“catastrofici”*.

3. QUADRO CONOSCITIVO E DESCRIZIONE DEL SISTEMA FISICO INDAGATO

Il fosso Vecchio è un cavo per gran parte artificiale che si snoda per una lunghezza pari a circa 37 km, da Faenza, ove nasce, alla confluenza nel Destra Reno, nei pressi dell'abitato di Conventello, in provincia di Ravenna.

Il bacino idrografico, di circa 180 kmq complessivi (vedasi Figura 1), ha andamento sud-nord ed è di forma piuttosto allungata, stringendosi nella sua porzione medio-alta. Il canale, la cui pendenza media è pari a circa lo 0.18%, attraversa per gran parte aree agricole, ma incontra lungo il suo corso anche alcuni centri abitati, tra cui Faenza, Granarolo Faentino, Bagnacavallo, Alfonsine, ed interseca numerose arterie stradali e ferroviarie di importanza strategica (Autostrada A14 e A14bis, Strada Provinciale Naviglio-Zanelli, Ferrovia Faenza-Russi, Ferrovia Ravenna-Bologna, SS n. 253 S. Vitale, S.S. n. 16 Reale, etc).

I suoi principali affluenti sono, come già si è accennato, il fosso Munio e il fosso Vetro.

Il fosso Munio confluisce nel fosso Vecchio in sinistra idraulica, alla progressiva 30'792 m. Il suo bacino complessivamente ammonta a circa 34 kmq.

Il fosso Vetro, invece, entra nel Fosso Vecchio in destra idraulica poco più a valle dell'immissione del fosso Munio, dopo circa 34 km dall'origine. Il territorio drenato ha una superficie pari a circa 37 kmq.

L'asta del Fosso Vecchio è descritta mediante 260 sezioni trasversali, poste ad una distanza media l'una dall'altra pari a circa 100 m nel primo tratto - dall'origine alla progressiva 14'687 m (sezione n. 148), all'altezza della confluenza dello scolo Madrara Destra (S.P. n. 20, Rugata – Madrara) – e a circa 200 m da questo punto alla confluenza nel canale a Destra di Reno.

Ciascuna sezione riporta l'andamento del profilo del fosso per punti, e, in particolare, la quota del punto più basso, delle sommità spondali destra e sinistra e, per alcune di esse, della quota del piano campagna. Il dislivello totale tra prima e ultima sezione di rilievo (da origine a confluenza) è pari a circa 39 m, passando da quota 36.5 m s.m. a quota -2.0 m s.m. La sezione di deflusso aumenta man mano che i contributi si sommano lungo l'asta; la larghezza fra i due cicli sommitali, ad esempio, passa da 4 m circa all'origine a 30 m circa alla confluenza.

Il fosso Munio ha una lunghezza di circa 15 km, un dislivello totale pari a circa 12.2 m, passando da una quota di fondo di 12 m s.m. all'origine a -0.2 alla foce. La larghezza della sezione passa da circa 6 m a circa 15 m alla confluenza nel fosso Vecchio.

Il fosso Vetro, infine, ha una lunghezza complessiva di circa 17.6 km, un dislivello di circa 11 m, passando da quota 10.7 m s.m. all'origine a quota -0.3 m s.m. quando si immette nel cavo principale. La larghezza della sezione passa da circa 4 m a circa 12 m alla confluenza nel fosso Vecchio.

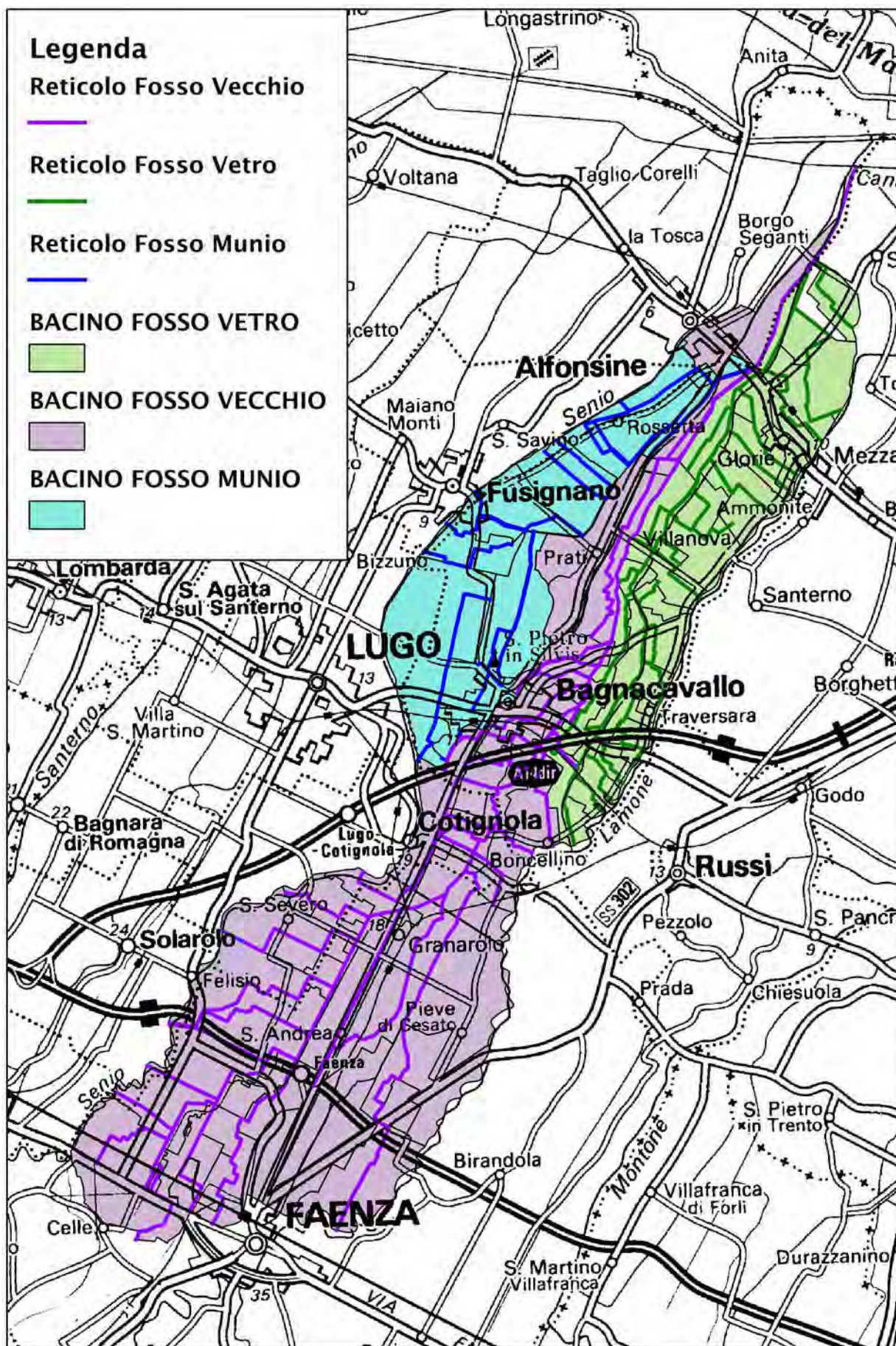


Figura 1 – Bacino e reticolo idrografico del Fosso Vecchio, Fosso Munio e Fosso Vetro, scala 1:150000

4. MODELLAZIONE DEL SISTEMA FISICO INDAGATO

L'approccio utilizzato nel presente studio per verificare la condizione del carico idraulico prodotto dai bacini urbani ed extra urbani sulla rete articolata del Fosso Vecchio segue una metodologia di lavoro di tipo scientifico e si basa sugli strumenti della modellistica idrologico – idraulica più recenti, essendo tale disciplina oggi arrivata ad un tal punto di progresso da aver comportato, soprattutto in casi così complessi, l'abbandono, in maniera quasi definitiva, dei tradizionali calcoli a mano.

La crescita esponenziale nella potenza elaborativa dei calcolatori ha reso, infatti, possibile lo sviluppo di nuove e più sofisticate tecniche di calcolo numerico.

Approfittando, quindi, dell'ampia disponibilità di nuovi prodotti informatici, il lavoro si avvale dello studio approfondito di due modelli matematici utilizzati in cascata (SWMM 5.0 e Mike 11, descritti in Appendice) rappresentativi del funzionamento idrologico ed idraulico del sistema di drenaggio nel suo assetto attuale e di progetto, con la finalità di stabilirne l'adeguatezza alle reali esigenze di pianificazione e le ricadute nell'ambito della più vasta gestione territoriale, compresa la prevenzione del rischio.

A tale scopo si è seguito l'iter operativo brevemente indicato, illustrato in modo completo nei paragrafi successivi:

1. caratterizzazione idrologica dei sottobacini afferenti al Fosso Vecchio direttamente o tramite i suoi affluenti principali Fosso Munio e Fosso Vetro ad uso del modello matematico SWMM 5 (paragrafo 4.1);
2. stima degli eventi pluviometrici di riferimento e determinazione della sollecitazione idrologica di progetto in input al sistema idraulico (paragrafo 4.2) mediante l'uso del modello afflussi-deflussi SWMM, per gli scenari di progetto considerati significativi, consistenti in valori del tempo di ritorno pari a 30, 50, 100 e 200 anni;
3. schematizzazione geometrica dei canali Fosso Vecchio, Fosso Munio e Fosso Vetro ad uso del codice di calcolo Mike 11 (paragrafo 4.3) mediante la creazione di un database contenente le sezioni trasversali di rilievo dei tre corsi d'acqua e le strutture di attraversamento presenti lungo le tre aste fluviali;
4. inserimento all'interno del modello idraulico delle condizioni al contorno di monte e di valle, consistenti nella sollecitazione idrologica ottenuta secondo la metodologia di cui al punto 2 e nel livello idrico del ricevente canale a Destra di Reno;
5. analisi della criticità idraulica della rete nel suo assetto attuale, mediante tracciamento dei profili idrici di moto vario dei tre cavi idrici: Fosso Vecchio, Fosso Vetro e Fosso Munio.

Viene fornito in formato digitale il database delle sezioni trasversali di rilievo dei tre fossi; in particolare: file txt di tutti i raw data (sezioni di rilievo) e dei processed data (parametri idraulici calcolati dal simulatore Mike 11, necessari alla risoluzione degli algoritmi del moto vario, quali ad esempio il contorno bagnato, l'area bagnata, la conduttanza idraulica, ecc. al variare del tirante idrico).

4.1. Individuazione e caratterizzazione idrologica dei sottobacini

Al fine di verificare la rete idrografica oggetto di interesse è stato innanzitutto individuato, anche sulla base delle analisi precedentemente condotte dal Consorzio di Bonifica, il bacino idrografico complessivo del Fosso Vecchio e dei due sottobacini principali ad esso afferenti (fosso Munio e fosso Vetro), le cui superfici sono indicate in Tabella 1.

Consistendo lo studio in oggetto nella individuazione delle peculiarità del comportamento idraulico delle tre aste, della loro officiosità e delle eventuali criticità presenti, la modellazione idrologica del sistema ha avuto l'obiettivo di pervenire ad una descrizione piuttosto dettagliata dei contributi delle aree man mano drenate dai tre corsi d'acqua.

A questo scopo, mediante un'attenta analisi della rete minore di canali presente e delle caratteristiche specifiche dei territori drenati, i tre bacini principali sono stati suddivisi in una serie di sottobacini, i cui nodi di chiusura coincidono con altrettante sezioni di interesse idrologico poste sulle aste dei tre corsi d'acqua indagati.

Tabella 1 – Superfici dei sottobacini principali del Fosso Vecchio

| Bacino | Sup. tot. [kmq] |
|---------------------------------------|------------------------|
| SOTTOB. COMPLESSIVO FOSSO MUNIO | 34 |
| SOTTOBAC. COMPLESSIVO FOSSO VETRO | 37 |
| SOTTOBAC. FOSSO VECCHIO | 110 |
| SUP. COMPLESSIVA BACINO FOSSO VECCHIO | 181 |

Tale complessa e dettagliata suddivisione del bacino complessivo è riportata nell'Allegato 1 ove nella planimetria dell'area di interesse, in scala 1:50.000, sono indicati i nodi di calcolo e i relativi sottobacini.

L'individuazione dei sottobacini è stata effettuata secondo il criterio di caratterizzare punti idraulicamente significativi, in modo tale da poter cogliere quale sia il contributo in termini di portata di una determinata area, a sua volta drenata da un canale o di interbacino.

Le sezioni di interesse (nodi) sono contraddistinte da un numero progressivo (crescente da monte verso valle) a tre cifre il cui codice inizia per 1 nel caso di area afferente al Fosso Vecchio, per 2 se appartenente al fosso Munio e per 3 se facente parte del Fosso Vetro. Come si può notare osservando l'elenco dei nodi riportato in Tabella 5 per il Fosso Vecchio, in Tabella 6 per il fosso Munio e in Tabella 7 per il fosso Vetro, si contano complessivamente 74 nodi, di cui 33 lungo l'asta del Fosso Vecchio, 15 lungo il fosso Munio e 26 lungo il fosso Vetro.

| Nodo di chiusura sottobacino | Denominazione sottobacino | Sup [ha] |
|-------------------------------------|---|-----------------|
| 100 | INT. 1 | 358.96 |
| 101 | INT. 2 | 28.71 |
| 102 | CANTRIGHETTO PRIMO | 346.58 |
| 103 | INT. 3 | 128.47 |
| 104 | INT. 4 | 245.07 |
| 104_bis | CANTRIGHETTO SECONDO | 244.32 |
| 105 | INT. 5 | 271.22 |
| 106 | COLOMBARONE | 649.45 |
| 106_bis | INT. 6 | 253.17 |
| 107 | CANALA DI CASSANIGO E INTERBACINO | 608.04 |
| 108 | SAN SEVERO E INTERBACINO | 504.80 |
| 109 | ROVERI | 197.68 |
| 110 | RIO FANTINO E INT. | 854.34 |
| 111 | CANTRIGHETTO QUINTO DI GRANAROLO E INT. | 705.55 |
| 112 | CANTRIGHELLA SECONDA O DI MERLASCHIO | 2633.83 |
| 113 | MADRARA SINISTRA E INT. | 173.67 |
| 113_bis | MADRARA DESTRA | 97.18 |
| 114 | GABINA A SINISTRA | 63.00 |
| 115 | GABINA DESTRA E INT. | 138.29 |
| 116 | COTIGNOLA | 387.18 |
| 116_bis | INT. 7 | 76.98 |
| 117 | REDA E INT. | 177.98 |
| 118 | BONCELLINO | 255.57 |
| 118_bis | CERCHIA | 132.04 |
| 119 | MONTANARI E INT. | 48.44 |
| 120 | REDINO | 225.50 |
| 120_bis | INT. 8 | 46.67 |
| 121 | TRAVERSARA | 64.61 |
| 122 | ZIA | 50.14 |
| 123 | CAPUCCINI E INT. | 135.04 |
| 124 | FOSETTE RIUNITE | 799.61 |
| 125 | INT. 9 | 129.49 |
| 126 | CONVENTELLO | 162.34 |

Tabella 2 – Nodi di chiusura e superficie dei sottobacini del Fosso Vecchio¹.

¹ Con INT si indicano gli interbacini, cioè le porzioni di territorio in cui il deflusso è distribuito e non viene canalizzato in una specifica asta o canale.

| Nodo di chiusura sottobacino | Denominazione sottobacino | Sup [ha] |
|-------------------------------------|----------------------------------|-----------------|
| 200 | INT. 1 | 94.37 |
| 201 | INT. 2 | 194.48 |
| 202 | PARADOSSO E INT. | 959.38 |
| 203 | MASIERA SUPERIORE E INT. | 214.34 |
| 204 | MASIERA INFERIORE | 113.48 |
| 205 | PIEVE | 248.60 |
| 205_bis | GUARNO | 268.72 |
| 206 | VIA CHIARA | 250.78 |
| 207 | S. ANTONIO | 253.54 |
| 208 | PUNTA DI FUSIGNANO | 125.73 |
| 209 | PRIMO DELLA ROSSETTA E INT. | 115.52 |
| 210 | INT. 5 | 269.48 |
| 211 | SECONDO DELLA ROSSETTA E INT. | 174.67 |
| 212 | FUMAROLO | 54.92 |
| 125 | FOSSO MUNIO | 35.00 |

Tabella 3 – Nodi di chiusura e superficie dei sottobacini del Fosso Munio¹.

| Nodo di chiusura sottobacino | Denominazione sottobacino | Sup [ha] |
|-------------------------------------|----------------------------------|-----------------|
| 300 | INT. 1 | 131.02 |
| 301 | MURAGLIONE | 59.43 |
| 302 | INT. 2 | 31.80 |
| 303 | SAN GERVASIO | 79.69 |
| 304 | ALBERGONE E INT. | 99.07 |
| 305 | INT. 3 | 97.72 |
| 306 | 2^ RAMO BARBAVERA | 138.30 |
| 307 | VALLETTA | 79.28 |
| 308 | INT. 4 | 219.31 |
| 309 | INT. 5 | 52.53 |
| 309_bis | AGUTA SUPERIORE | 72.05 |
| 310 | FOSSO NUOVO | 195.87 |
| 311 | INT. 6 | 67.58 |
| 312 | COCCHI SUPERIORE DESTRA | 120.52 |
| 312_bis | COCCHI SUPERIORE SINISTRA E INT. | 45.06 |
| 313 | ERCOLINE | 34.23 |
| 314 | BRUNELLO SUPERIORE | 223.92 |
| 315 | BRUNELLO INFERIORE | 132.37 |
| 316 | PARTITA GRANDE O VIAZZA NUOVA | 131.78 |
| 317 | VIAZZA INFERIORE | 32.76 |
| 317_bis | VIAZZA SUPERIORE | 246.29 |
| 318 | GALLANZA | 183.20 |
| 319 | CORSINI | 100.23 |
| 319_bis | INT. 7 | 362.50 |
| 320 | CORNARA E FOSSATONE | 265.18 |
| 321 | BASILICA | 342.58 |

Tabella 4 – Nodi di chiusura e superficie dei sottobacini del Fosso Vetro¹.

Una volta definiti i diversi sottobacini sottesi ad ogni nodo di calcolo, si è proceduto ad una analisi delle loro caratteristiche, al fine di determinare i principali indici morfometrici, quali: altezza minima, massima e media, pendenza media, lunghezza dell'asta principale, larghezza di versante e superficie complessiva. Tale analisi è stata condotta anche in funzione dei dati specifici richiesti per ciascuna unità fisiografica dal modello afflussi-deflussi utilizzato (SWMM), necessari per trasformare la precipitazione di input $P(t)$ nell'onda di piena $Q(t)$ alla sezione di chiusura del bacino stesso.

Tali elementi sono stati valutati sulla base della Cartografia Tecnica Regionale in scala 1:5.000, delle foto aeree e satellitari disponibili e sulla base delle conoscenze dirette e dell'esperienza dei tecnici del Consorzio, e costituiscono parte del complesso insieme di dati di input del modello idrologico.

In sintesi, per ciascuno dei sottobacini individuati, è necessario fornire al modello i seguenti dati:

- sezione di chiusura del bacino;
- superficie drenata (ha);
- larghezza caratteristica delle falde dei versanti, rappresentativa del possibile percorso medio compiuto dal deflusso superficiale per raggiungere l'impluvio (m);
- pendenza media del bacino;
- percentuale di area drenata impermeabilizzata;
- scabrezza caratteristica delle superfici agricole e non;
- volume di pioggia immagazzinabile nelle depressioni del terreno sia nelle porzioni di bacino pavimentate che naturali;
- parametro rappresentativo del processo di infiltrazione delle precipitazioni al suolo.

Gli elementi richiesti dal modello idrologico sopra elencati sono in parte facilmente determinabili in quanto costituenti dati fisici direttamente misurabili (ad esempio la superficie drenata, la pendenza media, la larghezza dei versanti, etc), altri, invece, in quanto legati a caratteristiche fisiche del territorio, sono di ben più difficile attribuzione (parametri di scabrezza, volume di pioggia trattenuto dalla porosità del terreno, leggi di infiltrazione, etc) e costituiscono di fatto veri e propri parametri di calibrazione del modello.

Nel caso specifico, non disponendo di misure dirette di portata (o livelli) e di precipitazione riferiti ad eventi storici, per il bacino in esame, non è praticabile determinare i valori da attribuire alle grandezze in gioco sulla base della ricostruzione più fedele degli idrogrammi di piena misurati, ma è necessario affidarsi a valori reperibili in letteratura per ambiti territoriali assimilabili a quelli in studio.

Durante la predisposizione del presente lavoro, diverse prove sono state effettuate modificando di volta in volta i valori attribuiti alle grandezze descritte (all'interno del range consigliato dalla letteratura scientifica), da un lato per studiare la sensibilità del modello al variare dei parametri in gioco, dall'altro per cercare di ottenere valori di portata congruenti con quelli determinati per il bacino complessivo del Fosso Vecchio nell'ambito dello studio generale del comportamento idrologico ed idraulico del canale a destra di Reno, partendo dal presupposto che in quel contesto, per quanto non fosse stato ugualmente possibile effettuare una vera e propria calibrazione, si fosse riusciti quanto meno ad ottenere una buona corrispondenza tra volumi effettivamente esondati durante l'evento di piena del novembre 1996 e quelli ricostruiti dal modello idrologico-idraulico.

Entrando più nel dettaglio della metodologia seguita per la descrizione dei sottobacini nel modello SWMM, nessun problema particolare ha destato la determinazione dei primi tre set di dati (superfici e larghezza di versante), calcolati a partire dalle informazioni di natura topografica di base messi a disposizione dal Consorzio, con l'ausilio del sistema informativo geografico appositamente messo a punto per la predisposizione dello studio.

Per quanto riguarda, invece, la pendenza trasversale del piano campagna, o del terreno in generale, verso il cavo di raccolta, che costituisce la linea del compluvio alla quale l'acqua di pioggia perviene tramite le canalizzazioni secondarie o anche direttamente, come in qualche situazione nel caso di terreni agricoli, in mancanza di dati precisi, derivanti da rilievi topografici di dettaglio, è stato assegnato un valore unico ai vari sottobacini del Fosso Vecchio e dei suoi affluenti, posto pari allo 0.8%. Al riguardo si ricorda che siamo in presenza sia di aree agricole cosiddette periurbane, interposte fra i principali centri urbani, sia, naturalmente, di aree prevalentemente o integralmente urbanizzate, con particolare riferimento a gran parte della zona Est, per cui il valore assunto appare sufficientemente rappresentativo della reale conformazione del territorio.

La porzione di area impermeabilizzata di ciascun sottobacino è stata determinata unendo alla conoscenza diretta del territorio l'esame della cartografia tecnica (in scala 1:5'000) e delle immagini satellitari, sia georiferite (relative agli anni 2000 - 2005) che liberamente consultabili sul web (mediante l'applicativo Google Earth).

Dalle analisi effettuate (vedasi Figura 2 e Figura 3) risulta che il territorio in esame è caratterizzato da un'urbanizzazione comunque ancora contenuta, vista la vocazione prevalentemente agricola che lo contraddistingue, con alcune punte concentrate nelle porzioni sulle quali insistono centri abitati di una certa importanza, quali:

- Faenza (all'estremità di monte dell'areale in studio), una cui parte ricade all'interno del bacino del Cantrighetto Secondo e del Colombarone, a cui sono attribuiti valori di impermeabilizzazione dei suoli variabili tra il 75% e il 40%;
- Granarolo (procedendo verso sud);
- Bagnacavallo, ricadente in parte nel bacino del Fosso Munio, in parte in quello del Fosso Vecchio (scolo Redino), con un valore del parametro variabile tra 65% e 45%.

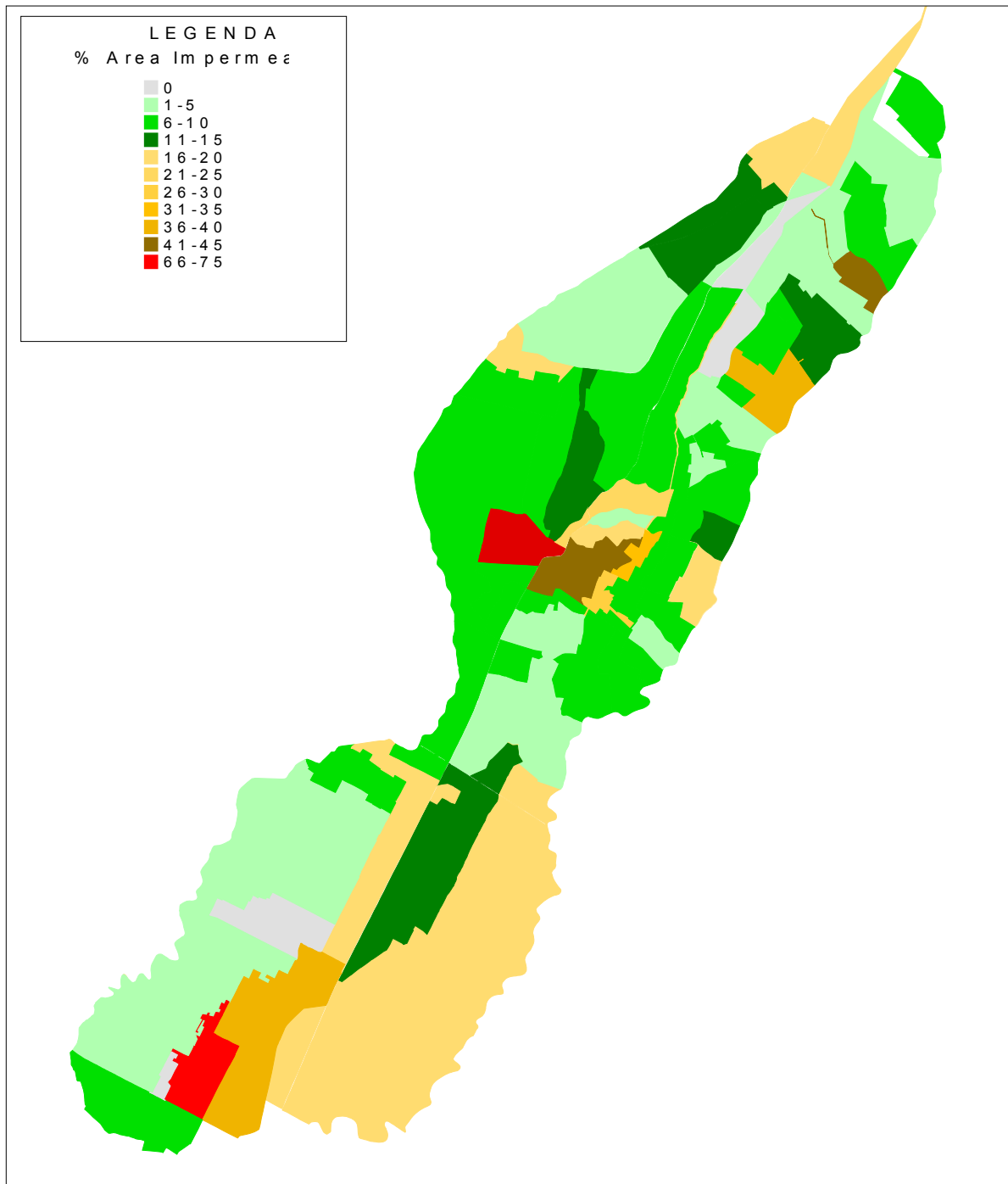


Figura 2 – Mappatura del grado di impermeabilizzazione del bacino del Fosso Vecchio

A parte tali casi, il bacino è caratterizzato per la maggior parte della sua estensione da valori del parametro rappresentativo del grado di impermeabilizzazione piuttosto bassi (non superiori al 15%) e da una tipologia di urbanizzazione di carattere diffuso, con valori in media attorno al 25%.

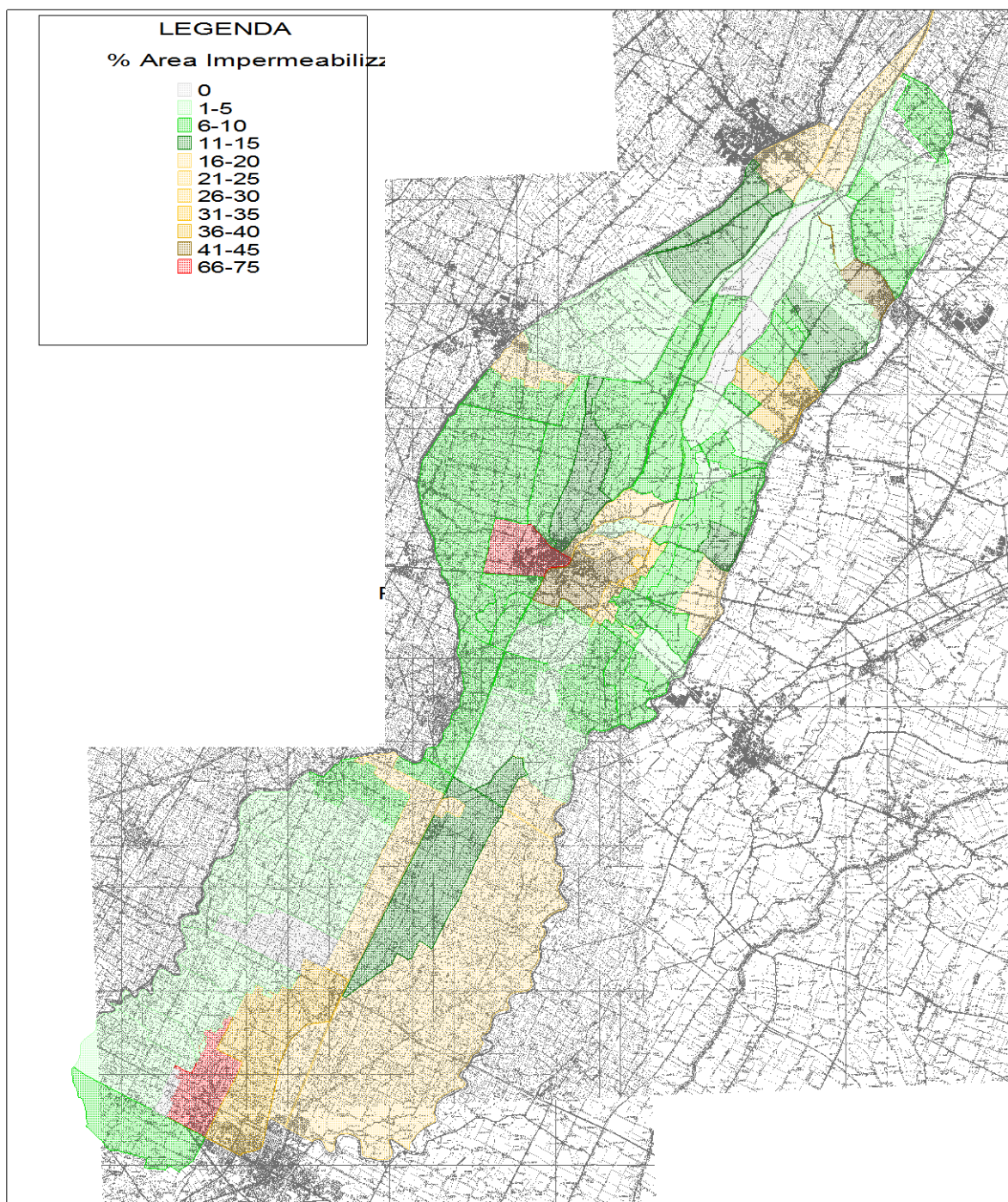


Figura 3 – Mappatura del grado di impermeabilizzazione del bacino del Fosso Vecchio su base C.T.R.

Il modello matematico utilizzato, SWMM, necessita del caricamento, e dunque della preventiva conoscenza, fra gli altri, dei valori relativi ai parametri di scabrezza del moto uniforme relativi alla resistenza offerta dal suolo al deflusso superficiale (*overland flow*), sia per le aree agricole che per quelle urbanizzate. Per tali valori si è consultata, in mancanza di misurazioni dirette, la letteratura scientifica specifica di settore.

Al parametro relativo al deflusso superficiale della parte agricola è stato prudenzialmente assegnato il valore $n = 0.100$ ($s \cdot m^{-1/3}$) che in letteratura trova puntuale riscontro nel caso di terreni prevalentemente coltivati.

Un problema invece si è posto per quanto attiene al valore del parametro, unico anche in questo caso, da assegnare per il deflusso superficiale del comparto urbano. E' stata infatti riscontrata una certa difficoltà nel reperire in letteratura valori sperimentali riferiti a diverse situazioni territoriali "complesse" (comprehensive cioè di strade, piazzali, edifici, giardini privati, verde pubblico ecc., in una parola di zone urbane destinate a restare con più o meno scarse aree scoperte) e non a diversi tipi di materiali su cui il deflusso superficiale possa avvenire.

La scabrezza delle superfici urbane è stata fatta variare tra 0.025 e 0.033 $s \cdot m^{-1/3}$, in funzione delle caratteristiche specifiche di ciascun sottobacino e dei risultati forniti dal modello caso per caso, anche nel tentativo di riprodurre in modo sufficientemente aderente alla realtà i tempi di afflusso in rete nella fase ascendente dell'onda di piena.

A parte casi specifici, il criterio utilizzato è stato quello di attribuire, all'interno del range indicato, minore scabrezza alle superfici impermeabili laddove queste sono predominanti all'interno del bacino (presenza di centri urbani o agglomerati), a testimonianza di un ambito urbanizzato in modo continuo e, invece, una scabrezza maggiore quando le aree non agricole sono distribuite su piccole superfici e in modo discontinuo.

Tali valori sono sembrati, inoltre, sufficientemente cautelativi, viste anche le caratteristiche delle aree urbane in esame, oggetto di insediamenti non propriamente recenti, con viabilità ristretta e lotti di modesta estensione, per lo più recintati.

Valori più bassi, infine, determinavano in fase di calcolo tempi di accesso in rete troppo brevi e velocità medie di scorrimento superficiale troppo elevate in rapporto a quanto registrato empiricamente in numerosi bacini urbani e riportato nella più recente bibliografia di settore.

Altrettanto difficile è risultato attribuire un valore al volume di pioggia immagazzinabile nelle depressioni del terreno sia nelle porzioni di bacino pavimentate che naturali. Anche in tale caso, in mancanza di dati misurati o di stime specifiche relative ai bacini in esame, si sono presi in considerazione i valori forniti in letteratura e si sono effettuate diverse prove con il modello, osservandone la sensibilità al variare del parametro e i risultati in termini di onde di piena in corrispondenza delle singole sezioni di chiusura.

I valori attribuiti ai volumi che avvallamenti, superfici perimetrate, tetti e conche possono trattenere sono, dunque, pari a 4 mm nelle porzioni del territorio urbanizzate e a 10 mm nelle aree agricole.

Analisi ulteriori sono state condotte per pervenire ad una stima, in ciascun sottobacino, del parametro idrologico CN (Curve Number), scelto per descrivere il fenomeno di infiltrazione della precipitazione al suolo.

Nel caso in esame, ogni sottobacino scolante è stato analizzato suddividendone la superficie in base al tipo e all'uso del suolo in zone omogenee, caratterizzate dal medesimo valore del parametro stesso: si sono così ottenute diverse sub-aree isoparametriche, la cui somma fornisce la superficie complessiva del sottobacino.

Le tipologie di classi di uso del suolo prese in considerazione, a ciascuna delle quali è stato attribuito un valore specifico del coefficiente responsabile del processo di infiltrazione, come da letteratura, sono:

- aree prevalentemente agricole,
- aree urbanizzate in modo estensivo;
- aree urbanizzate in modo intensivo.

L'analisi delle caratteristiche specifiche di ciascuna area è stata condotta analizzando il P.R.G. dei comuni del territorio, l'ortofoto delle aree di interesse e la foto da satellite aggiornate, nonché la Cartografia Tecnica Regionale.

Il coefficiente CN (Curve Number) introdotto per ciascun sottobacino nelle valutazioni idrologiche è stato calcolato, quindi, come media pesata dei coefficienti di deflusso attribuiti alle classi sopra indicate.

Risulta quindi che:

$$CN(\text{medio}) = [CN1 \cdot A1 + CN2 \cdot A2 + CN3 \cdot A3] / (A)$$

dove:

CN1: Curve Number per le aree agricole (assunto pari a 80)

CN2: Curve Number per le aree urbane estensive (assunto pari a 86)

CN3: Curve Number per le aree urbane intensive (assunto pari a 92)

| | Nodo di chiusura sottobac. | Denominazione sottobacino | % agricolo | % urbano estensivo | % urbano intensivo | CN medio |
|---------------|-----------------------------------|---|-------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------|
| FOSSO VECCHIO | 100 | INT. 1 | 90 | 10 | 0 | 80.6 |
| | 101 | INT. 2 | 100 | 0 | 0 | 80 |
| | 102 | CANTRIGHETTO PRIMO | 95 | 5 | 0 | 80.3 |
| | 103 | INT. 3 | 95 | 5 | 0 | 80.3 |
| | 104 | INT. 4 | 95 | 5 | 0 | 80.3 |
| | 104_bis | CANTRIGHETTO SECONDO | 25 | 35 | 40 | 86.9 |
| | 105 | INT. 5 | 95 | 5 | 0 | 80.3 |
| | 106 | COLOMBARONE | 60 | 15 | 25 | 83.9 |
| | 106_bis | INT. 6 | 100 | 0 | 0 | 80 |
| | 107 | CANALA DI CASSANIGO E INTERBACINO | 95 | 5 | 0 | 80.3 |
| | 108 | SAN SEVERO E INTERBACINO | 95 | 5 | 0 | 80.3 |
| | 109 | ROVERI | 90 | 10 | 0 | 80.6 |
| | 110 | RIO FANTINO E INT. | 80 | 15 | 5 | 81.5 |
| | 111 | CANTRIGHETTO QUINTO DI GRANAROLO E INT. | 85 | 10 | 5 | 81.2 |
| | 112 | CANTRIGHELLA SECONDA O DI MERLASCHIO | 80 | 10 | 10 | 81.8 |
| | 113 | MADRARA SINISTRA E INT. | 95 | 5 | 0 | 80.3 |
| | 113_bis | MADRARA DESTRA | 95 | 5 | 0 | 80.3 |
| | 114 | GABINA A SINISTRA | 95 | 5 | 0 | 80.3 |
| | 115 | GABINA DESTRA E INT. | 95 | 5 | 0 | 80.3 |
| | 116 | COTIGNOLA | 90 | 10 | 0 | 80.6 |
| | 116_bis | INT. 7 | 95 | 5 | 0 | 80.3 |
| | 117 | REDA E INT. | 95 | 5 | 0 | 80.3 |
| | 118 | BONCELLINO | 90 | 10 | 0 | 80.6 |
| | 118_bis | CERCHIA | 90 | 10 | 0 | 80.6 |
| | 119 | MONTANARI E INT. | 70 | 10 | 20 | 83 |
| | 120 | REDINO | 55 | 30 | 15 | 83.6 |
| 120_bis | INT. 8 | 65 | 5 | 30 | 83.9 | |
| 121 | TRAVERSARA | 80 | 15 | 5 | 81.5 | |
| 122 | ZIA | 95 | 5 | 0 | 80.3 | |
| 123 | CAPUCCINI E INT. | 75 | 15 | 10 | 82.1 | |
| 124 | FOSSETTE RIUNITE | 90 | 10 | 0 | 80.6 | |
| 125 | INT. 9 | 100 | 0 | 0 | 80 | |
| 126 | CONVENTELLO | 90 | 10 | 0 | 80.6 | |

Tabella 5 – Nodi di chiusura e valore attribuito al parametro CN dei sottobacini del Fosso Vecchio

| | Nodo di chiusura sottobac. | Denominazione sottobacino | % agricolo | % urbano estensivo | % urbano intensivo | CN medio |
|-------------|-----------------------------------|----------------------------------|-------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------|
| FOSSO MUNIO | 200 | INT. 1 | 90 | 2 | 8 | 81.1 |
| | 201 | INT. 2 | 35 | 5 | 60 | 87.5 |
| | 202 | PARADOSSO E INT. | 90 | 10 | 0 | 80.6 |
| | 203 | MASIERA SUPERIORE E INT. | 90 | 10 | 0 | 80.6 |
| | 204 | MASIERA INFERIORE | 80 | 10 | 10 | 81.8 |
| | 205 | PIEVE | 90 | 5 | 5 | 80.9 |
| | 205_bis | GUARNO | 85 | 5 | 10 | 81.5 |
| | 206 | VIA CHIARA | 95 | 5 | 0 | 80.3 |
| | 207 | S. ANTONIO | 95 | 5 | 0 | 80.3 |
| | 208 | PUNTA DI FUSIGNANO | 95 | 5 | 0 | 80.3 |
| | 209 | PRIMO DELLA ROSSETTA E INT. | 95 | 5 | 0 | 80.3 |
| | 210 | INT. 5 | 85 | 10 | 5 | 81.2 |
| | 211 | SECONDO DELLA ROSSETTA E INT. | 85 | 10 | 5 | 81.2 |
| | 212 | FUMAROLO | 95 | 5 | 0 | 80.3 |
| | 125 | FOSSO MUNIO | 95 | 5 | 0 | 80.3 |

Tabella 6 – Nodi di chiusura e valore attribuito al parametro CN dei sottobacini del Fosso Munio

| | Nodo di chiusura sottobac. | Denominazione sottobacino | % agricolo | % urbano estensivo | % urbano intensivo | CN medio |
|-------------|-----------------------------------|----------------------------------|-------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------|
| FOSSO VETRO | 300 | INT. 1 | 90 | 10 | 0 | 80.6 |
| | 301 | MURAGLIONE | 90 | 10 | 0 | 80.6 |
| | 302 | INT. 2 | 90 | 10 | 0 | 80.6 |
| | 303 | SAN GERVASIO | 95 | 5 | 0 | 80.3 |
| | 304 | ALBERGONE E INT. | 90 | 10 | 0 | 80.6 |
| | 305 | INT. 3 | 90 | 5 | 5 | 80.9 |
| | 306 | 2^ RAMO BARBAVERA | 80 | 10 | 10 | 81.8 |
| | 307 | VALLETTA | 85 | 10 | 5 | 81.2 |
| | 308 | INT. 4 | 90 | 5 | 5 | 80.9 |
| | 309 | INT. 5 | 95 | 0 | 5 | 80.6 |
| | 309_bis | AGUTA SUPERIORE | 90 | 5 | 5 | 80.9 |
| | 310 | FOSSO NUOVO | 90 | 0 | 10 | 81.2 |
| | 311 | INT. 6 | 95 | 5 | 0 | 80.3 |
| | 312 | COCCHI SUPERIORE DESTRA | 95 | 0 | 5 | 80.6 |
| | 312_bis | COCCHI SUPERIORE SINISTRA E INT. | 95 | 5 | 0 | 80.3 |
| | 313 | ERCOLINE | 90 | 10 | 0 | 80.6 |
| | 314 | BRUNELLO SUPERIORE | 60 | 5 | 35 | 84.5 |
| | 315 | BRUNELLO INFERIORE | 90 | 10 | 0 | 80.6 |
| | 316 | PARTITA GRANDE O VIAZZA NUOVA | 100 | 0 | 0 | 80 |
| | 317 | VIAZZA INFERIORE | 90 | 10 | 0 | 80.6 |
| | 317_bis | VIAZZA SUPERIORE | 85 | 5 | 10 | 81.5 |
| 318 | GALLANZA | 95 | 5 | 0 | 80.3 | |
| 319 | CORSINI | 55 | 5 | 40 | 85.1 | |
| 319_bis | INT. 7 | 95 | 5 | 0 | 80.3 | |
| 320 | CORNARA E FOSSATONE | 90 | 5 | 5 | 80.9 | |
| 321 | BASILICA | 95 | 5 | 0 | 80.3 | |

Tabella 7 – Nodi di chiusura e valore attribuito al parametro CN dei sottobacini del Fosso Vetro

Per ciascun sottobacino è stata considerata la risposta idrologica a scenari di pioggia avente tempo di ritorno 30-ennale, 50-ennale e 100-ennale e 200-ennale secondo la metodologia di seguito esposta.

4.2. Stima degli eventi pluviometrici di riferimento

Alla luce degli obiettivi della progettazione e degli strumenti di indagine a disposizione, appare chiaro che l'analisi del regime idrologico – specialmente per quanto attiene gli eventi pluviometrici eccezionali – diviene operazione propedeutica di fondamentale importanza per ottenere risposte attendibili dalle verifiche idrauliche che ci si accinge ad effettuare.

Potendosi simulare con il modulo di calcolo adottato (SWMM) il ciclo idrologico afflussi – deflussi dal livello del terreno fino a qualunque sezione trasversale dei cavi idrici esaminati, la “legge di pioggia”, utilizzata come unico dato di input (ingresso) sul sistema fisico opportunamente parametrizzato, determina con il suo grado di accuratezza il livello di precisione complessivo delle analisi condotte.

Nel caso specifico, essendo lo studio del comportamento idraulico del Fosso Vecchio e dei suoi affluenti, un approfondimento del più generale lavoro di indagine effettuato sull'intero bacino del Destra Reno, si è ritenuto opportuno derivare da esso la metodologia applicata per la determinazione delle precipitazioni estreme, sia per congruenza e confrontabilità dei risultati, sia per il buon grado di attendibilità che a detta metodologia si è attribuita, non solo in fase di redazione dello studio stesso ma anche di esame a posteriori da parte dei tecnici del Consorzio e di presentazione alla comunità scientifica dei risultati.

Rimandando alla relazione conclusiva del citato lavoro (*Studio idrologico ed idraulico del canale di bonifica in destra di Reno in condizioni di piena eccezionale: verifica del sistema nello stato di fatto attuale e delle configurazioni progettuali prospettate per il miglioramento della capacità di trasferimento idrico nel cavo, Plazzi, 2000*) per i dettagli e gli approfondimenti, sembra opportuno richiamare brevemente i concetti base dell'approccio seguito per la determinazione della precipitazione.

L'indagine idrologica deve condurre alla valutazione di una funzione $h = f(t)$, la quale indica l'altezza di pioggia h relativa alla durata t dell'evento e al tempo di ritorno dello stesso.

Tale funzione può essere rappresentata con buon grado di approssimazione dalla seguente espressione matematica:

$$h = a \cdot t^n$$

dove a e n sono due parametri che vanno determinati in relazione al campione di precipitazione esaminato.

Le curve che risultano da tale rappresentazione vengono comunemente denominate curve segnalatrici di possibilità climatica o pluviometrica oppure linee segnalatrici di pioggia.

Tra i diversi metodi di calcolo a disposizione, per lo studio del regime idrologico del bacino del Canale di Bonifica in Destra di Reno e, quindi, del Fosso Vecchio, è stato utilizzato il metodo della regionalizzazione delle precipitazioni estreme, in quanto rappresenta in questo caso la scelta ideale per la stima delle “sollecitazioni idrologiche” sul sistema fisico interessato.

Tale procedura consiste nel definire un sistema di relazioni, valide per la regione in esame, che permettono di esprimere il legame tra l’altezza di pioggia di assegnata durata, in un qualsiasi punto della regione stessa, ed il grado di rischio ad essa associato.

Brevemente, l’analisi regionale delle precipitazioni estreme per la zona supposta omogenea prevede due fasi:

- indicazione della variabilità spaziale della pioggia, espressa da una mappatura sulla regione dell’andamento dei valori medi delle precipitazioni estreme (grandezze indice) per i diversi tempi di pioggia;
- definizione, sulla base dei dati disponibili, di relazioni regionali, valide per i differenti intervalli del tempo di pioggia, che forniscano il legame tra pioggia adimensionalizzata e sua probabilità. Tali relazioni (curve di crescita), verificata sui dati l’effettiva omogeneità idrologica della regione, risultano così validate su ogni punto del territorio considerato.

Il metodo della regionalizzazione delle precipitazioni estreme², tramite la correlazione della grandezza indice ad alcuni parametri che caratterizzano il generico punto della regione indagata, è in grado, tra l’altro, di esprimere la dipendenza della grandezza in esame con la posizione generica all’interno del territorio. Ciò significa che solo le piccole “perturbazioni” locali della legge regionale stimata non possono essere tenute in conto, ma, nell’ottica di un progetto alla scala dell’intero bacino tale deficienza può essere considerata di secondaria importanza. La grandezza idrologica regionalizzata è rappresentata dalla precipitazione intensa per eventi distinti di 1, 3, 6, 12 e 24 ore di durata.

In sintesi, nello studio idrologico – idraulico del Canale in Destra di Reno, a partire dalle isoiete di precipitazione estrema che coprono l’intero territorio di interesse, disponibili per varie durate e riportate nei grafici da Figura 4 a Figura 8 per il bacino del Fosso Vecchio, è stato ricavato, mediante un’operazione di media pesata realizzata utilizzando un applicativo del codice GIS Mapinfo (vedasi Appendice 0) un valore unico, per ciascuna durata 1, 3, 6, 12 e 24 ore, della grandezza indice, cioè il valore medio dei massimi annuali di precipitazione, per ciascuno dei sottobacini tributari del Canale in Destra di Reno individuati e, quindi, nello specifico, anche per il bacino complessivo del Fosso Vecchio.

² La procedura utilizzata per la stima dei parametri di progetto è quella descritta nella pubblicazione del Prof. Ezio Todini dal titolo “Analisi regionale degli eventi estremi delle precipitazioni e della portata di piena” (1994).

Associando a tali valori della pioggia indice i fattori moltiplicativi calcolati a partire dalle curve di crescita per assegnato tempo di ritorno, si è ottenuta la curva di possibilità pluviometrica relativa (e , quindi, i parametri a e n), effettuando una semplice operazione di regressione lineare a partire dai 5 valori numerici a disposizione per l'altezza di pioggia.

In questo modo è stato, inoltre, possibile estendere la curva anche per durate superiori alle 24 ore (48, 72 e 96), essendo il tempo di corrivazione proprio del Canale in Destra di Reno variabile tra 72 e 96 ore.

Le curve di possibilità pluviometrica ottenute per diversi tempi di ritorno con la metodologia descritta nell'ambito dello studio del canale a destra di Reno per tutti i suoi bacini tributari e, quindi, fra gli altri, anche per il bacino complessivo del Fosso Vecchio, sono state, quindi, moltiplicate per il coefficiente di ragguaglio all'area e utilizzate quale input idrologico nel modello afflussi-deflussi scelto (SWMM).

Le linee segnalatrici così ottenute sono visibili nel grafico di Figura 9, per tempi di ritorno T_r pari a 30, 50, 100 e 200 anni.

Per quanto attiene la scelta del tempo di ritorno da utilizzare per le fasi di verifica e di progetto del sistema in esame, si è ritenuto di fare riferimento, anche in questo caso e per le motivazioni sopra esposte, alle stesse ricorrenze medie già utilizzate per l'esame delle criticità dell'asta del canale in destra di Reno: 30, 50, 100 e 200 anni.

I criteri di valutazione utilizzati nel precedente studio, infatti, (presenza antropica sul territorio, entità delle portate udometriche trasferite dalla rete di drenaggio principale e secondaria, morfologia specifica del territorio) sono ugualmente validi nel bacino del Fosso Vecchio, caratterizzato, anch'esso, dalla presenza non solo di attività agricole, ma anche di centri urbani e insediamenti produttivi in costante crescita e da infrastrutture di comunicazione di una certa importanza, tali, per il loro valore intrinseco, da giustificare un'analisi delle criticità attuali delle rete e una ricerca di soluzioni di messa in sicurezza, anche per eventi meteorici "catastrofici". D'altronde, la crescente urbanizzazione e la conseguente impermeabilizzazione dei suoli, porta ad un diversa risposta idraulica dei canali anche per effetto di precipitazioni di modesta entità, in ragione del notevole aumento dei deflussi e della diminuzione dei tempi di corrivazione.

L'aumentata "impermeabilizzazione" del suolo rende, in definitiva, più celere il fenomeno idrologico di crescita e esaurimento dell'onda di piena transitante e provoca un sostanzioso innalzamento dei valori di portata al picco.

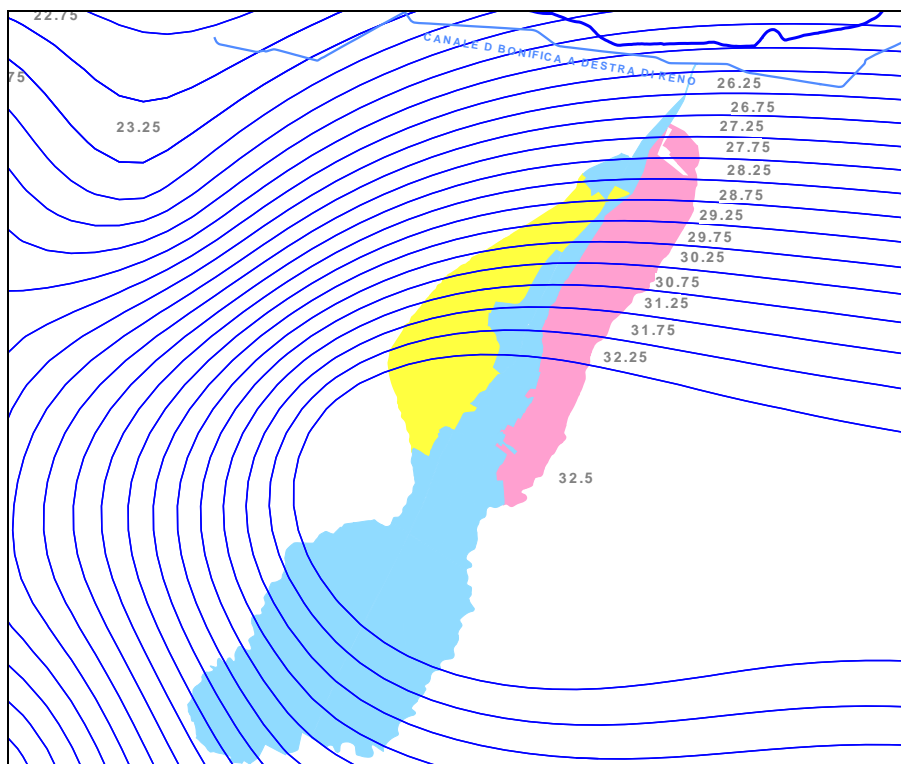


Figura 4 – Isoiete di precipitazione estrema relative al bacino del Fosso Vecchio di durata pari ad 1 ora (valore espresso in mm)

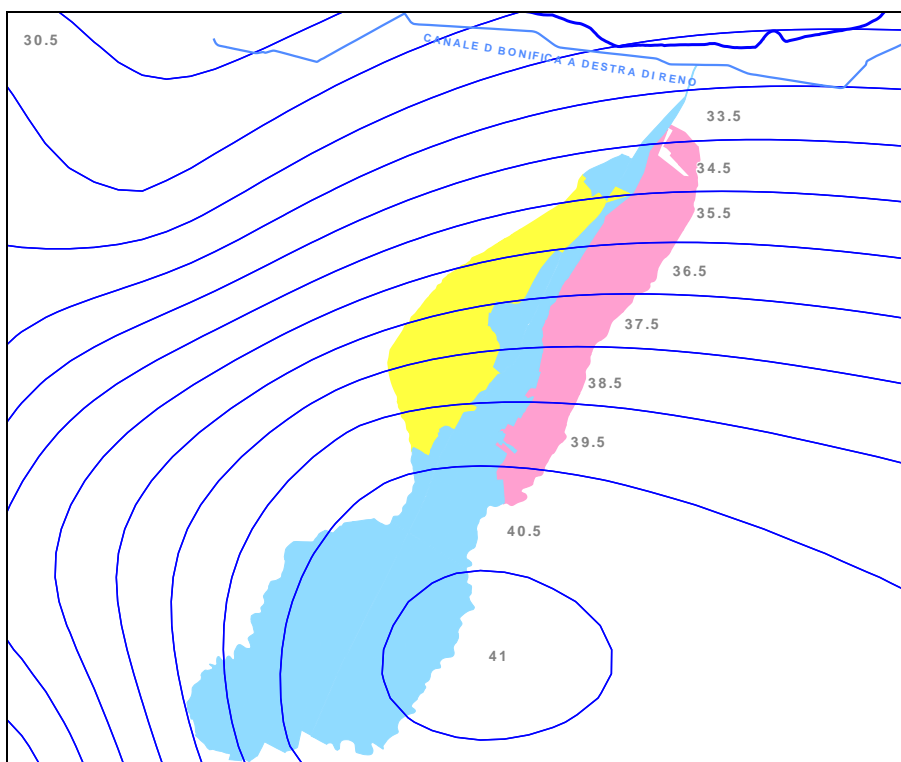


Figura 5 – Isoiete di precipitazione estrema relative al bacino del Fosso Vecchio di durata pari ad 3 ore (valore espresso in mm)

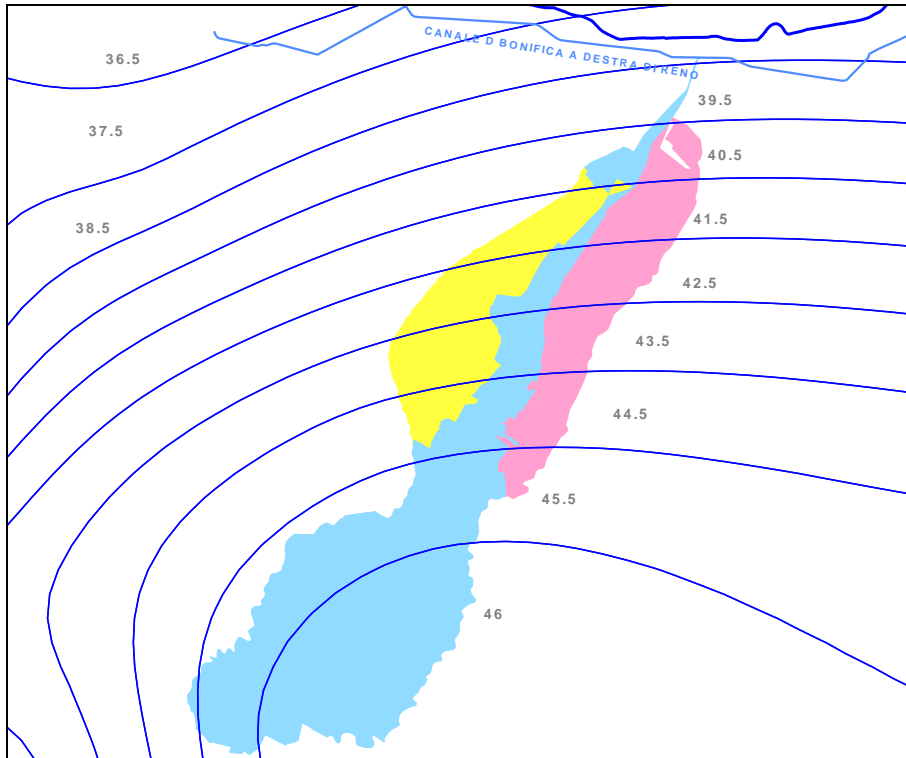


Figura 6 – Isoiete di precipitazione estrema relative al bacino del Fosso Vecchio di durata pari ad 6 ore (valore espresso in mm)

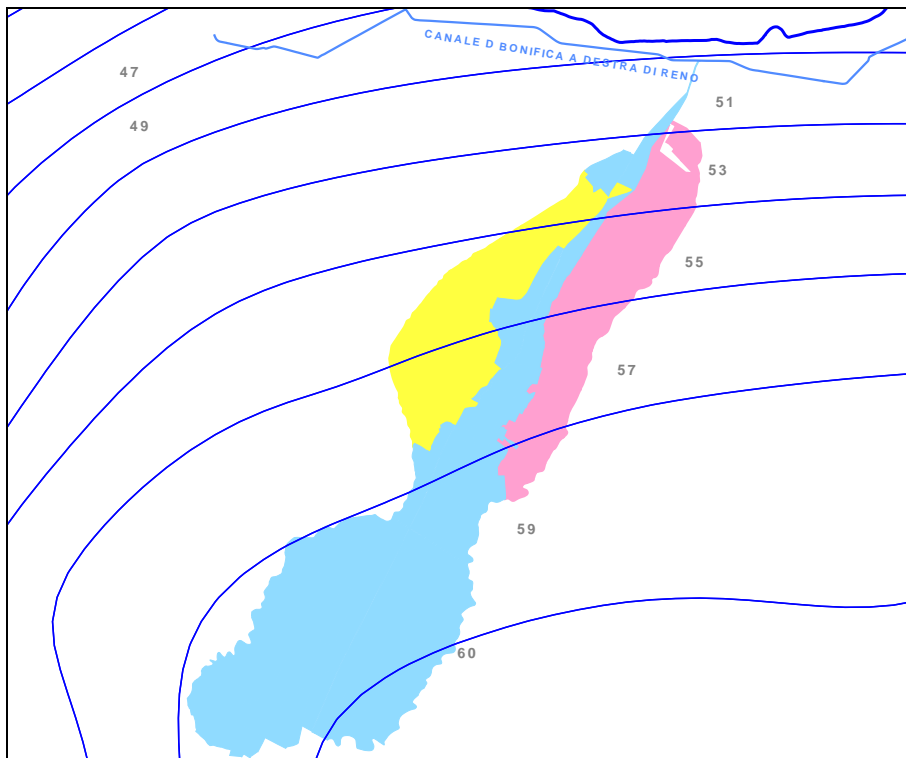


Figura 7 – Isoiete di precipitazione estrema relative al bacino del Fosso Vecchio di durata pari ad 12 ore (valore espresso in mm)

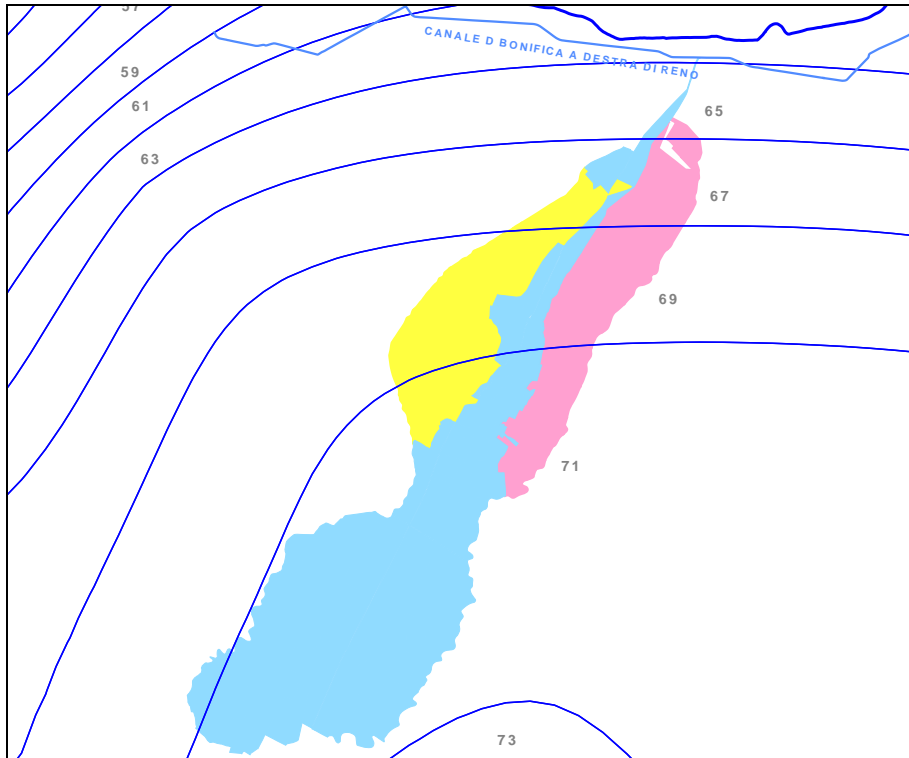


Figura 8 – Isoiete di precipitazione estrema relative al bacino del Fosso Vecchio di durata pari ad 24 ore (valore espresso in mm)

Curva di possibilità pluviometrica

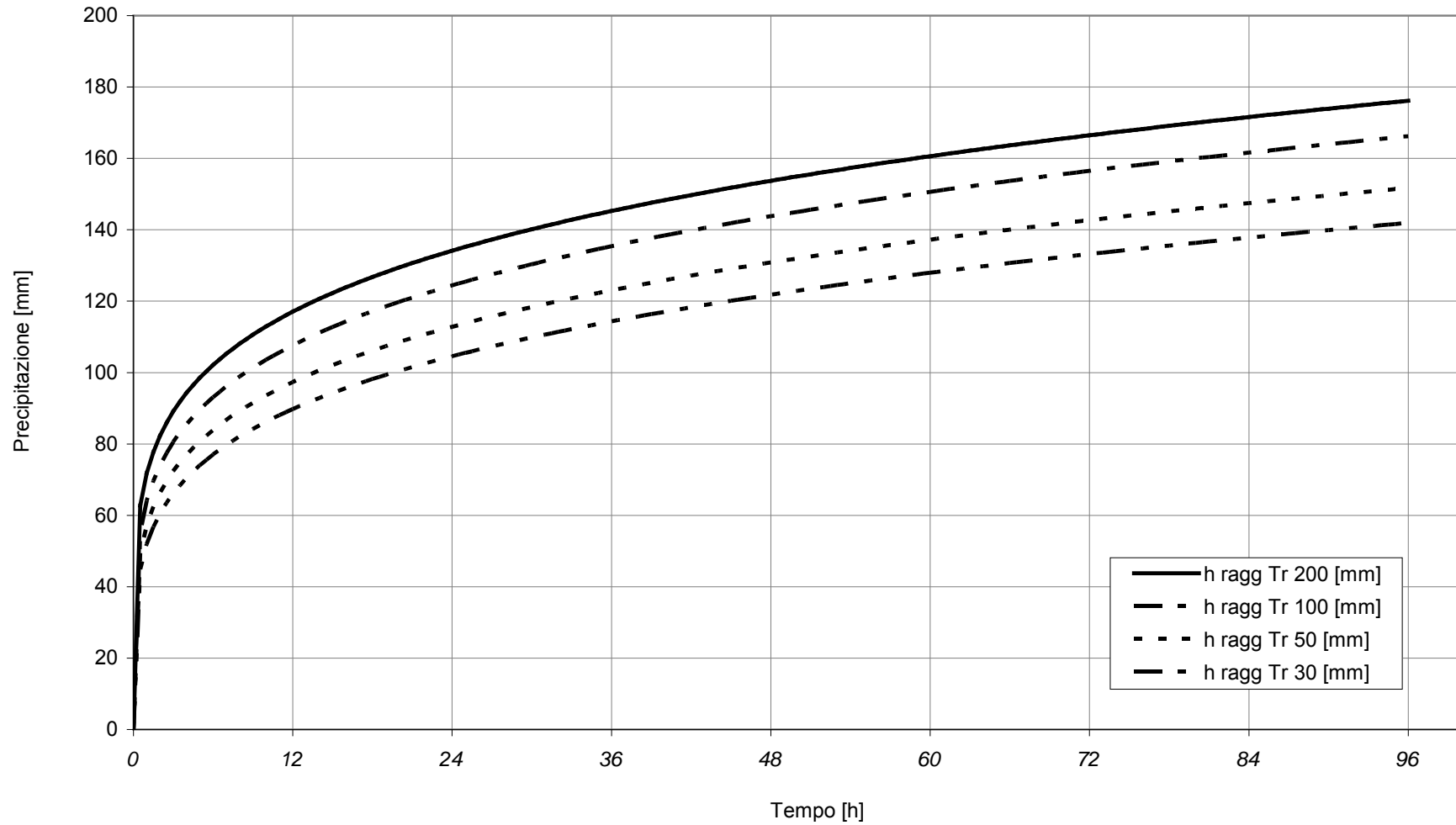


Figura 9 – Curve di possibilità climatica relative al bacino del Fosso Vecchio per diversi tempi di ritorno

4.3. Schematizzazione della rete scolante ad uso della modellazione idrologico-idraulica

Al fine di studiare il comportamento della rete idrografica afferente al Fosso Vecchio, sollecitata con gli eventi pluviometrici di riferimento, descritti al paragrafo precedente, i dati topografici relativi al sistema costituito dal Fosso Vecchio, dal Fosso Munio e dal Fosso Vetro, sono stati inseriti sia nel database geometrico del modello matematico Mike 11, sotto forma di sezioni trasversali caratterizzate da una determinata progressiva lineare, che del modello matematico SWMM, sotto forma di nodi e rami.

Per poter avere, infatti, un quadro preciso delle criticità del sistema e ipotizzare possibili interventi di riduzione del rischio idraulico, è stato necessario descrivere il sistema fisico in oggetto in entrambi i codici di calcolo utilizzati, privilegiando, però, in un caso (SWMM 5.0) la caratterizzazione dei bacini idrologici, nell'altro (Mike 11) la descrizione delle sezioni trasversali come insieme di punti topografici X,Y.

I due modelli numerici utilizzati hanno, infatti, finalità diverse.

Il codice SWMM è utilizzato per definire la risposta idrologica alla sollecitazione pluviometrica di progetto. I dati di interesse risultanti dalle simulazioni consistono nelle onde di piena ottenute alle sezioni di chiusura dei singoli sottobacini, mentre poca importanza riveste la propagazione nella rete costituita dai tre fossi Vecchio, Munio e Vetro.

Per tale motivo, la descrizione dei sottobacini attraverso i vari parametri idrologici descritti nel paragrafo 4.1 è fondamentale; non altrettanto lo è la rappresentazione dei canali attraverso rami e nodi, che è stata, in effetti, introdotta nel modello in modo schematico e sintetico, attraverso pochi dati significativi e, comunque, aderenti alla reale conformazione dei corsi d'acqua.

Il modello Mike 11, invece, restituisce compiutamente, in moto vario, la propagazione delle onde di piena (derivate da SWMM) lungo le aste, tenendo conto delle possibili laminazioni naturali, delle resistenze al moto, della presenza di strutture trasversali ed eventuali opere idrauliche: per tale motivo, la definizione geometrica dei cavi idrici indagati deve essere precisa e di grande dettaglio.

L'operazione di discretizzazione della rete ad uso del programma SWMM, comunque necessaria e complementare alla definizione idrologica dei sottobacini (di cui si è parlato nel paragrafo 4.1), è consistita nell'individuare, in primo luogo, i nodi del sistema, posti in corrispondenza della confluenza dei principali sottobacini di scolo e descritti mediante la quota del piano campagna e la quota di scorrimento della sezione fluviale corrispondente; i nodi sono stati, quindi, uniti mediante i rami, consistenti in tratti, a cielo aperto, a pendenza, sezione e materiale costanti. Complessivamente la rete descritta nel codice SWMM consta, in sintesi, di 63 nodi e 62 rami (vedasi Figura 10).

Per quanto riguarda la propagazione in rete e la caratterizzazione delle resistenze al moto, si è assunto un valore del coefficiente di Gauckler Strickler n pari a circa $0.04 \text{ [s}\cdot\text{m}^{-1/3]}$, corrispondente equivalentemente ad un "K_s" di 25. Tale valore è stato desunto da indicazioni di letteratura ed appare adeguato a canali in discreto stato manutentivo.

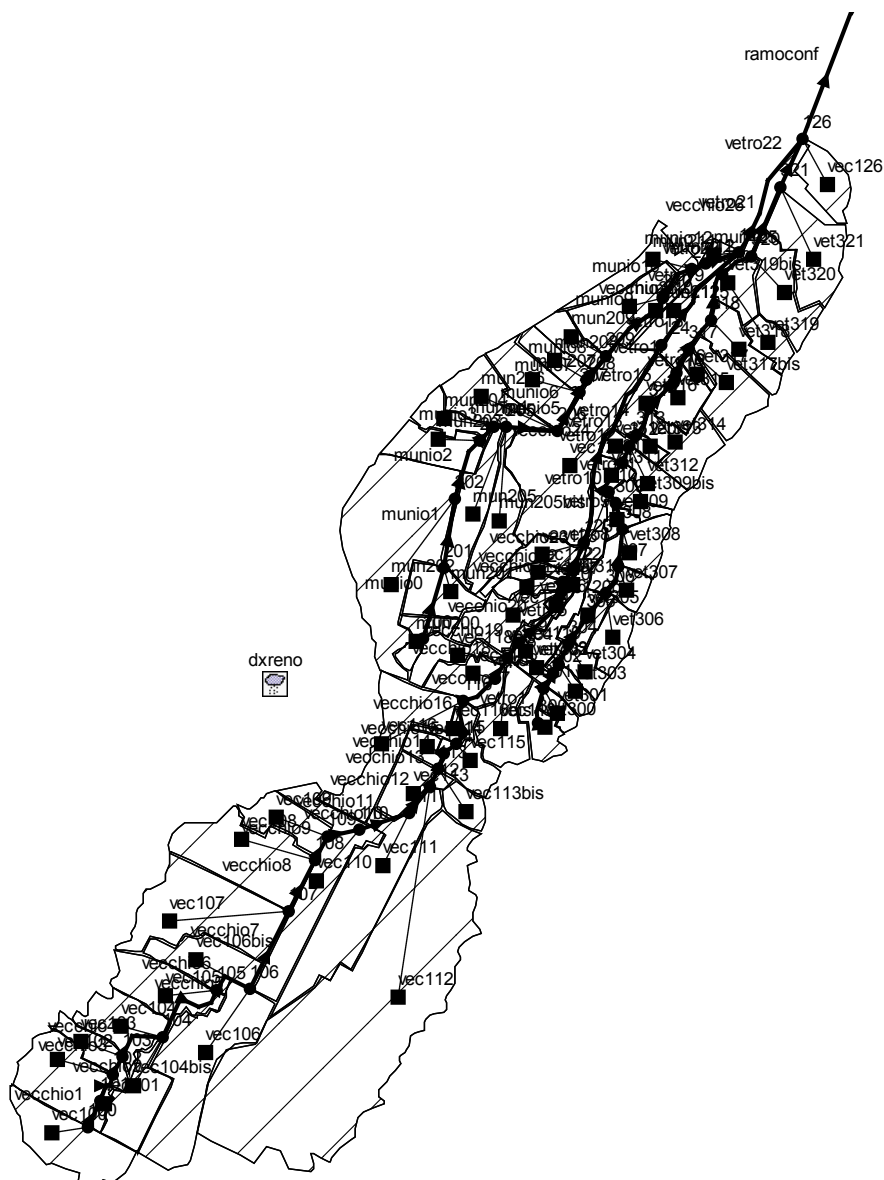


Figura 10 – Schema della rete del Fosso Vecchio e dei bacini contribuenti utilizzata nel modello SWMM.

Le aste dei 3 corsi d'acqua sono state, quindi, descritte nel modello matematico di propagazione delle piene in moto vario Mike 11, mediante l'inserimento di tutte le sezioni trasversali di rilievo (in numero totale di 260 per il Fosso Vecchio, 140 per il Fosso Vetro e 145 per il Munio) e dei manufatti presenti (rispettivamente in numero di 51 per il fosso Vecchio, 35 per il fosso Munio e 34 per il fosso Vetro), consistenti, come indicato nel Capitolo 3, sia in sottopassi di piccola dimensione, pertinenti a viabilità locale, sia, invece, in attraversamenti di importanza maggiore, riferibili a strade statali, provinciali, autostrade e linee ferroviarie.

L'inserimento delle strutture trasversali, per la cui procedura specifica si rimanda all'Appendice *B.3 CENNI SUL MODELLO MATEMATICO DI PROPAGAZIONE DELLE PIENE MIKE11*, ha comportato qualche difficoltà, stante la natura dei dati a disposizione, consistenti in un rilievo di campagna speditivo delle caratteristiche geometriche delle stesse (forma e dimensioni della sezione di attraversamento all'imbocco e allo sbocco), sprovvisto di una idonea conoscenza della geometria delle sezioni trasversali del fosso immediatamente a monte e a valle.

L'esame dei risultati del modello fatto girare, in una prima versione, in assenza di strutture e tombinamenti ha, tuttavia, convinto dell'importanza delle stesse ai fini di una corretta e realistica ricostruzione delle modalità di deflusso delle piene nei tre corsi d'acqua e del censimento delle loro criticità idrauliche. I manufatti, infatti, hanno spesso sezione insufficiente al contenimento delle portate e sono tali da provocare rigurgiti consistenti a monte, che si propagano per diverse centinaia di metri, causando, come dimostra l'esperienza, frequenti esondazioni e contestuali allagamenti, soprattutto all'interno dei centri abitati.

Alla luce di tali considerazioni, si è quindi deciso, in accordo con i tecnici del Consorzio, di procedere all'inserimento nel modello dei vari tombinamenti e attraversamenti presenti utilizzando i dati a disposizione e mettendo a punto una schematizzazione semplificata per ovviare alla mancanza di informazioni topografiche relative, in particolare, alle sezioni dei fossi a monte e a valle delle strutture.

Il metodo utilizzato è, quindi, consistito nel creare, per ciascun tombinamento, due sezioni fittizie a monte e a valle del manufatto, poste, a seconda dei casi e della larghezza del piano di calpestio stradale nel senso del flusso, ad una distanza variabile tra 2 e 5 metri dallo stesso, aventi sezione trapezia con larghezza di base pari almeno alla larghezza della bocca del manufatto aumentata di circa 0.5 m per tenere conto dell'invito creato per l'imbocco al tombinamento, altezza minima pari alla somma dell'altezza della struttura e dell'impalcato misurato in sede di rilievo e quota del fondo coincidente con la quota inferiore dello speco, come risultante dal profilo longitudinale di rilievo.

Tale schema, replicato per ogni manufatto, rende approssimativa la descrizione del canale nel suo intorno, non potendo tenere conto della reale quota delle sponde, nonché di eventuali allargamenti, risezionamenti, modellamenti esistenti.

È, tuttavia, ritenuta sufficientemente cautelativa e tale da fornire una realistica stima del rigurgito prodotto, precisando che, per valutare la possibilità di superamento spondale nei tratti immediatamente a monte e a valle delle strutture (per una lunghezza di circa 10 m rispettivamente) è più corretto fare riferimento agli andamenti delle sponde destre e sinistre riportate nei profili longitudinali di rilievo che nei profili desunti dal modello matematico.

Ulteriori approssimazioni sono state, inoltre, effettuate per ovviare ad alcuni limiti del modello. Il codice di calcolo Mike 11, versione 2001, infatti, non consente di inserire manufatti aventi caratteristiche geometriche variabili da monte verso valle.

Lungo le aste dei tre fossi studiati, invece, si incontrano spesso tombini, anche di lunghezza notevole, le cui dimensioni all'imbocco sono differenti da quelle allo sbocco, per larghezza, altezza, o forma (circolare a monte, rettangolare a valle, o viceversa). In tali casi, si è, in generale, inserita la geometria più sfavorevole, cioè quella caratterizzata da sezione di deflusso minore; laddove, tuttavia, la differenza della sezione monte - valle del manufatto è notevole, si sono inserite caratteristiche geometriche mediate tra le due. I manufatti ad arco, infine, non contemplati nel modello, sono stati inseriti come rettangolari, con altezza pari a quella della freccia misurata diminuita di almeno 10 cm, per tenere conto della reale sezione.

Fosso Munio

Per quanto riguarda, nello specifico, il fosso Munio, i tombinamenti presenti, in numero di 35 come già anticipato, sono piuttosto frequenti lungo l'asta. La maggior parte di essi ha lunghezza nel senso del moto compresa tra 5 e 10 m, costituendo la copertura del fosso in corrispondenza di attraversamenti viari di tipo comunale/locale. Altri, invece, sono caratterizzati da estensioni molto superiori e come tali influiscono sensibilmente sulle condizioni di deflusso: è il caso, ad esempio, del lungo tombinamento sottostante la S.P. San Vitale e l'abitato di Bagnacavallo (circa 632 m), del condotto posto in corrispondenza della rotatoria "Pieve" della S.P. n. 119 Bagnoli Inferiore (circa 155 m), del tombinamento della S.P. Bagnoli Inf. e del sottopasso di via Bruciamolina (circa 53 m), del ponte della S.P. n. 8 Canale Naviglio (circa 54 m), dei ponti della FS Ravenna-Bologna, di via del Prato e di via Granaroli (tutti di lunghezza pari a circa 25 m). Rispetto ai dati forniti, si segnala che non è stata inserita solo una struttura (posta tra la sezione battuta 16 e il ponte della linea ferroviaria Ravenna - Bologna) in quanto non presente nel profilo longitudinale di rilievo e, quindi, non compiutamente descrivibile nel modello. Come sarà indicato nel paragrafo dedicato all'analisi dei risultati delle propagazioni, le simulazioni effettuate con l'ausilio del modello hanno consentito, inoltre, di individuare una anomalia lungo l'asta del Munio, all'altezza della progressiva 4234 m circa, in corrispondenza dell'attraversamento del metanodotto, la cui presenza provocava, in base ai dati geometrici di rilievo inseriti, un forte rigurgito a monte, a causa dell'insufficienza della sezione di deflusso (circolare DN 1000). Ad un esame della documentazione in loro possesso, i tecnici del Consorzio hanno, quindi, riscontrato una irregolarità, essendo la sezione effettivamente concessionata di diametro DN 2000 e provveduto tempestivamente a sanare la situazione.

Fosso Vetro

Anche per quanto riguarda il Fosso Vetro i tombinamenti sono piuttosto frequenti, pari a 34 lungo i 17.65 km circa di sviluppo.

La maggior parte di essi ha lunghezza nel senso del moto compresa tra 5 e 10 m, in quanto costituiscono la copertura del fosso in corrispondenza di attraversamenti viari di tipo comunale/locale; altri, invece, caratterizzati da estensioni molto superiori, influiscono sensibilmente sulle condizioni di deflusso: è il caso, ad esempio, del tombinamento sottostante la S.C. Via San Gervasio, nell'abitato di Bagnacavallo (circa 44 m) e del sottopasso della A14 dir (circa 46 m). Si rileva, infine, che nel quaderno delle strutture già citato, riportante i dati dei manufatti rilevati speditivamente lungo le aste dei tre corsi d'acqua, alla progressiva 15'289 m circa del Fosso Vetro viene censito un ponte di tipo Bailey (di dimensioni 8.1 m in larghezza e 3.6 m in altezza), le cui quote di intradosso ed estradosso, invece, non risultano riportate nel relativo profilo longitudinale. La struttura è stata, comunque, inserita nel database del modello numerico sulla base delle informazioni disponibili.

Fosso Vecchio

Anche in tal caso gli attraversamenti presenti sono per lo più di lunghezza, nel senso del moto, variabile tra 5 e 10 m, tranne alcuni casi, quali il ponte di via Zanelli,

Unica struttura inserita come tabella larghezza – altezza è l'attraversamento della SP n. 8, Naviglio – Zanelli, per la quale, tra l'altro, i dati a disposizione sono di difficile interpretazione. Non è stato possibile inserire nel modello, per mancanza di dati, i seguenti attraversamenti:

- ponte dell'Autostrada A14, immediatamente a valle della sezione 59;
- ponte della Statale Reale, tra la sezione 228 e 229.

4.4. Condizione del ricevente Canale di Bonifica in Destra di Reno

Ai fini della determinazione dei livelli idrici di piena del sistema costituito dai corsi d'acqua Vecchio, Vetro e Munio, sono stati esaminati due possibili scenari relativamente alle condizioni del ricevente Canale in Destra di Reno, il quale, date le ridotte pendenze in gioco, influenza, con i suoi livelli, anche il profilo di moto della corrente del fosso Vecchio e, quindi, dei suoi due affluenti:

a) un primo caso, nel quale si suppone che la precipitazione sia concentrata prevalentemente sul bacino del fosso Vecchio e che il Canale in Destra di Reno sia influenzato "solamente" dalle condizioni del mare, non essendo significativi i contributi da monte del Canal Vela e dello Zaniolo. In tal caso il livello imposto all'estremità di valle della rete è costante e pari a 0.5 m s.m.;

b) un secondo caso, molto cautelativo, nel quale, invece, si suppone il Canale in Destra di Reno interessato da una sua contestuale piena trentennale: in tal caso, la condizione al contorno di valle consiste nell'onda di livello ottenuta dalla propagazione di piena lungo il cavo (*desunta dal già citato studio Plazzi del 2000*), il cui colmo è pari a circa 3.4 m s.m.

5. FUNZIONALITÀ DEL SISTEMA ALLO STATO ATTUALE

La costruzione di un modello matematico di simulazione del comportamento idraulico della rete scolante oggetto del presente studio ha consentito di ottenere le risposte in relazione ad eventi di assegnato tempo di ritorno. Questa operazione, se da un lato consente l'individuazione dei bacini e dei tratti fluviali in crisi, da considerare con attenzione in fase di pianificazione, dall'altro permette di verificare le ipotesi strutturali utili ad un riequilibrio idraulico allo stato di fatto in accordo con valutazioni costi-benefici e rischio idraulico residuo.

La rete idrica afferente al fosso Vecchio ed il fosso stesso, schematizzati secondo la metodologia precedentemente descritta, sono stati studiati, in primo luogo, nella configurazione attuale, allo scopo di verificare le prestazioni del sistema se sottoposto alla sollecitazione meteorica di riferimento corrispondente a tempi di ritorno crescenti e pari a 30, 50, 100 e 200 anni, in condizioni di ricevente, Canale in Destra di Reno, sia in magra (livello idrico costante e pari a 0.5 m s.m., scenario A) che interessato da una piena elevata (scenario B).

I risultati ottenuti applicando i due modelli in cascata, SWMM 5 e Mike 11, sono piuttosto interessanti in quanto descrivono, con una certa aderenza alla realtà, non solo le criticità del sistema, ma anche il funzionamento della rete, in termini di tempi di percorrenza, di sovrapposizione dei diversi contributi provenienti dai rami secondari e, quindi, dei picchi di portata. La mole cospicua di dati che i modelli matematici sono in grado di restituire all'utente è organizzata in una serie di grafici in cui sono riportati i profili longitudinali delle tre aste fluviali con indicazione dei livelli idrici e delle portate massime relativamente agli eventi di piena considerati, con l'aggiunta di alcuni riferimenti in grado territoriali (maggiori attraversamenti e infrastrutture presenti, principali affluenti, centri urbani). Per lo scenario A, i grafici relativi ad un tempo di ritorno della precipitazione pari a 30 anni sono riportati da Figura 35 a Figura 37, rispettivamente per fosso Vecchio, Munio e Vetro; da Figura 38 a Figura 40 per evento cinquantennale; da Figura 41 a Figura 43 per evento centennale e da Figura 44 a Figura 46 per piena duecentennale. Le relative portate massime sono indicate da Figura 47 a Figura 58. Analoghi risultati sono indicati per lo scenario maggiormente gravoso, B, da Figura 62 a Figura 70 per l'involuppo dei massimi di livello lungo le aste e da Figura 74 a Figura 82 per i colmi di portata. In termini di livelli massimi, gli stessi dati di cui ai grafici precedenti sono anche leggibili negli allegati 1 (livelli massimi) e 2 (portate massime), riportanti i risultati delle simulazioni nelle due condizioni A e B. A scopo riassuntivo e di sintesi delle criticità rilevate grazie alle simulazioni di calcolo nelle condizioni della rete in esame pre-interventi, in Tabella 8 (Fosso Vecchio), Tabella 9 (Fosso Vetro) e Tabella 10 (Fosso Munio) sono riportati i dati relativi agli attraversamenti presenti, da monte verso valle, e le rispettive condizioni di deflusso in caso di piena trentennale, indicando il verificarsi di sormonti degli impalcati (S), di funzionamento in pressione (P), di franchi inferiori a 0.5 m rispetto alla quota di intradosso ($F < 0.5$) e di presenza di franchi superiori ai 0.5 m ($F \geq 0.5$).

| Descrizione struttura | Progressiva [m] | T _R 30 |
|---|-----------------|-------------------|
| Ponte mobilificio Ditta Berdondini | 33.47 | F≥0.5 |
| Ponte pista ciclabile | 40.74 | F≥0.5 |
| Ponte S.C. via Gazzolo | 491.31 | F<0.5 |
| Ponte a campagna | 615.629 | F≥0.5 |
| Ponte FF.SS. Rimini - Bologna | 781.23 | F≥0.5 |
| Ponte a campagna | 801.30 | F≥0.5 |
| Ponte a campagna | 1163.39 | S |
| Ponte S.C. via Cantrigo | 1496.55 | F≥0.5 |
| Ponte a campagna | 1640.36 | F<0.5 |
| Ponte S.C. via Convertite | 2026.72 | F≥0.5 |
| Ponte civico n. 2 | 2164.50 | P |
| Ponte civico n. 4 | 2323.90 | F<0.5 |
| Ponte civico n. 6 | 2315.80 | F<0.5 |
| Ponte a campagna | 2922.08 | F<0.5 |
| Ponte civico n. 7 | 3106.49 | F<0.5 |
| Ponte civico n. 5 | 3310.20 | F<0.5 |
| Ponte S.C. via S.Pier Laguna | 3455.02 | P |
| Ponte S.C. via Delle Larghe di S. Silvestro | 3907.02 | P |
| Ponte S.C. via Buona Morte | 4434.23 | P |
| Ponte S.P. n. 7 via S.Silvestro - Felisio (1° tratto) | 5474.64 | F<0.5 |
| Ponte Ditta La Faenza | 5533.94 | F<0.5 |
| Ponte Autostrada A14 | | P |
| Ponte civico n. 10 | 6302.88 | F<0.5 |
| Ponte civico n. 8 | 6457.43 | F≥0.5 |
| Ponte civico n. 6 | 6823.54 | F<0.5 |
| Ponte S.P. n. 55 via Sant' Andrea | 7583.32 | F<0.5 |
| Ponte S.C. via La Fonda | 7812.59 | F<0.5 |
| Ponte S.C. via Zotto | 8302.06 | F≥0.5 |
| Ponte S.C. via Monte S. Andrea | 9008.66 | F≥0.5 |
| Ponte S.C. via Marcella | 9719.53 | F≥0.5 |
| Ponte S.C. via Cabrona | 10422.25 | F≥0.5 |
| Ponte S.P. via Pontevale | 11127.38 | F<0.5 |
| Ponte S.P. n. 8 Naviglio Zanelli | 11792.89 | F≥0.5 |
| Sottopasso Canale Naviglio Zanelli | 12039.19 | P |
| Ponte FF.SS. Faenza - Bologna | 12199.02 | F≥0.5 |
| Ponte pista pedonale | 12230.52 | F≥0.5 |
| Sottopasso C.E.R. (Canale Emiliano Romagnolo) | 12841.47 | F≥0.5 |
| Ponte S.C. via Villa Fenata | 13299.02 | F<0.5 |
| Ponte S.P. n. 20 Rugata - Madrara | 14669.97 | F<0.5 |
| Ponte S.P. n. 75 Boncellino - Gabina | 15528.66 | F≥0.5 |
| Ponte S.C. via Ponte Nuovo | 16892.40 | F≥0.5 |
| Ponte S.C. via Boncellino | 18510.70 | F≥0.5 |
| Ponte FF.SS. Bologna - Ravenna | 18879.78 | F≥0.5 |
| Ponte raccordo autostradale A14 bis | 18939.98 | F≥0.5 |
| Ponte S.P. S. Vitale | 19542.46 | F≥0.5 |
| Ponte S.C. via Vecchia Traversara | 20978.92 | F≥0.5 |
| Ponte S.P. n. 88 Cogollo | 22097.11 | F<0.5 |
| Ponte S.C. via Cocchi | 25063.11 | F≥0.5 |
| Ponte S.C. via Viazza Nuova | 27494.00 | P |
| Ponte FF.SS. Ravenna - Ferrara | 30859.98 | F≥0.5 |
| Ponte S.P. n. 105 Destra Senio - Molinazza | 34168.44 | F≥0.5 |
| Ponte chiavica foce FOSSO VECCHIO | 36864.00 | F≥0.5 |

Tabella 8 – Elenco degli attraversamenti lungo l'asta del fosso Vecchio e delle relative condizioni di deflusso per Tr 30 anni e condizioni del ricevente caso A (0.5 m s.m.)

Nei profili longitudinali tratti direttamente dal codice di calcolo, qui riportati in relazione (Scenario A e B per la configurazione attuale), gli attraversamenti sono individuati solo dalla progressiva metrica lungo l'asta e dalla relativa denominazione.

| Descrizione struttura | Progressiva [m] | T _R 30 |
|--|-----------------|-------------------|
| Ponte a campagna DITTA BALLARDINI | 388.27 | S |
| Ponte a campagna | 632.54 | S |
| Ponte a campagna | 765.29 | P |
| Ponte a campagna | 1055.54 | P |
| Ponte s.c. via MURAGLIONE | 1643.30 | P |
| Ponte a campagna | 1769.23 | P |
| Ponte FF.SS. BOLOGNA - RAVENNA | 1889.68 | P |
| Ponte a campagna | 1907.70 | P |
| Ponte a campagna | 2135.63 | P |
| Ponte s.c. via S. GERVASIO | 2342.62 | P |
| Ponte a campagna | 2842.15 | P |
| Ponte via VECCHIO ALBERGONE | 2977.09 | F<0.5 |
| Ponte S.P. S. VITALE | 3050.12 | F≥0.5 |
| Ponte AUTOSTRADA "A 14 dir" | 3255.56 | F≥0.5 |
| Ponte Ditta Bagnaresi | 3705.36 | S |
| Ponte via Ca' del Vento | 3769.37 | S |
| Ponte Carraia Barbavera | 4276.86 | P |
| Ponte civ. n. 28 di via Vecchia Traversara | 4573.97 | P |
| Ponte s.c. via Vecchia Traversara | 4597.67 | P |
| Ponte s.c. via Longanesi | 5284.43 | P |
| Ponte carraia Zorli | 6136.79 | S |
| Ponte via Cogollo | 6348.64 | S |
| Ponte via Aguta | 6673.54 | P |
| Ponte a campagna | 6885.52 | S |
| Ponte civ. n. 1 di via Aguta | 6913.66 | P |
| Ponte civ. n. 3 di via Aguta | 6989.36 | P |
| Ponte S.P. Cocchi | 8775.49 | P |
| Ponte via Viazza Nuova | 10959.96 | P |
| Ponte via Viazza Vecchia | 11715.97 | S |
| Ponte S.S. n. 16 "ADRIATICA" | 14493.37 | F<0.5 |
| Ponte FF.SS. RAVENNA - FERRARA | 14555.37 | F≥0.5 |
| Ponte Baily | 15289.30 | F<0.5 |
| Ponte via Fosso Vetro | 16521.88 | F<0.5 |
| Manufatto di sbocco nel collettore FOSSO VECCHIO | 17618.88 | F≥0.5 |

Tabella 9 – Elenco degli attraversamenti lungo l'asta del fosso Vetro e delle relative condizioni di deflusso per Tr 30 anni e condizioni del ricevente caso A (0.5 m s.m.)

| Descrizione struttura | Progressiva [m] | T _R 30 |
|---|-----------------|-------------------|
| Ponte civ. n. 8 di via Nalde | 152.48 | P |
| Ponte civ. n. 6 di via Nalde | 577.86 | P |
| Tombinamento s.c. via Bagnoli Superiore | 996.52 | F<0.5 |
| Ponte a campagna | 1138.48 | P |
| Ponte a campagna | 1284.025 | F<0.5 |
| Ponte FF.SS. Ravenna - Bologna | 1509.40 | F<0.5 |
| Tombinamento S.P. S. Vitale e abitato di Bagnacavallo | 1736.49 | F<0.5 |
| Tombinamento civ. n. 7 della S.P. Bagnoli Inf. e sottopasso s.c. via Bruciamolina | 2419.28 | S |
| Tombinamento rotatoria S.P. n. 119 Bagnoli Inf. ("rotonda Pieve") | 2800.15 | S |
| Ponte civ. n. 45A e 45B della S.P. n. 9 Masiera | 3050.17 | S |
| Ponte via s.c. Del Prato | 3204.04 | S |
| Ponte civ. n. 47 della S.P. n. 9 Masiera | 3511.53 | S |
| Ponte civ. n. 47A della S.P. n. 9 Masiera | 3719.02 | S |
| Ponte s.c. via Granaroli | 3920.60 | S |
| Ponte a campagna dalla S.P. n. 9 Masiera | 4065.52 | S |
| Ponte accesso metanodotto - "Grove Energy" postazione Abbadesse 1 | | S |
| Ponte civ. n. 49 della S.P. n. 9 Masiera | 4433.74 | S |
| Ponte a campagna dalla S.P. n. 9 Masiera | 4492.90 | S |
| Ponte s.c. Trasale di Sotto | 4640.00 | S |
| Ponte civ. n. 51 della S.P. n. 9 Masiera | 4847.22 | S |
| Ponte civ. n. 53 della S.P. n. 9 Masiera | 4896.44 | S |
| Ponte S.P. n. 9 Masiera | 5321.13 | P |
| Ponte s.c. Stradello di sotto | 5350.82 | P |
| Ponte a campagna dalla s.c. via Sbiaggia | 5728.54 | P |
| Ponte s.n.c. della s.c. via Sbiaggia | 5864.88 | P |
| Ponte civ. n. 4 della s.c. via Sbiaggia | 5975.06 | P |
| Ponte civ. n. 6 della s.c. via Sbiaggia | 6093.66 | P |
| Ponte civ. n. 8 della s.c. via Sbiaggia | 6125.83 | P |
| Ponte s.c. via Stradello | 6999.40 | F<0.5 |
| Ponte s.c. via Abbadesse | 7374.16 | P |
| Ponte S.P. n. 76 via Chiara | 8323.92 | P |
| Ponte s.c. via Bellaria | 10138.28 | P |
| Ponte s.c. via sinistra canale infiore | 11572.09 | P |
| Ponte S.P. n. 8 Canale Naviglio (1° tratto) | 13905.64 | P |
| Manufatto di sbocco nel collettore FOSSO VECCHIO | 14920.79 | F≥0.5 |

Tabella 10 – Elenco degli attraversamenti lungo l'asta del fosso Munio e delle relative condizioni di deflusso per Tr 30 anni e condizioni del ricevente caso A (0.5 m s.m.)

L'esame dei dati riportati nelle tre tabelle di cui sopra mostra la presenza di numerose criticità localizzate, rappresentate da attraversamenti trasversali spesso sottodimensionati rispetto alle portate transistanti.

L'inofficiosità dei ponti che si incontrano sui tre corsi d'acqua comporta non solo un alto rischio nelle immediate vicinanze delle strutture stesse e problemi relativi alla possibilità di interruzione della viabilità, con tutti gli inconvenienti legati a tale eventualità, ma anche il verificarsi di elevati livelli idrici a tergo degli impalcati per diversi metri verso monte, a causa del rigurgito provocato dai restringimenti e dalle strozzature per effetto dell'elevato carico idraulico che deve instaurarsi per consentire il passaggio delle portate liquide. Ciò implica la possibilità di esondazioni ed allagamenti nei tratti a monte delle strutture.

In particolare, dei tre corsi d'acqua esaminati il Fosso Vecchio presenta, in tal senso, minori problemi, mentre la maggior parte delle strutture del Fosso Vetro e del Fosso Munio risultano non adeguate.

Su 52 attraversamenti presenti, infatti, il Fosso Vecchio conta 27 casi (la metà circa) di deflusso della piena trentennale in condizioni di sicurezza, avendosi un franco superiore o uguale ai 0.5 m, 17 situazioni di franco inferiore al mezzo metro, appena 7 casi di funzionamento in pressione e un solo caso di sormonto, relativo, peraltro, ad un ponte a servizio di una viabilità secondaria.

Al contrario, il Fosso Vetro presenta solo 4 attraversamenti in grado di far defluire la piena trentennale con un buon margine di sicurezza ($F \geq 0.5$ m) e 4 con un franco inferiore a 0.5 m. Predomina il funzionamento in pressione dei ponti (18 elementi) e le possibilità di sormonto sono piuttosto elevate (7 attraversamenti su 34).

Lungo l'asta del Fosso Munio la situazione è ancora più critica: su 35 ponti solo il manufatto di sbocco sul fosso Vecchio presenta un buon franco ($F \geq 0.5$ m), appena 5 strutture hanno un franco compreso tra 0.5 e 0 m, mentre la maggioranza manifesta un funzionamento in pressione già per la piena trentennale (14 su 34) e la stessa quantità (14 attraversamenti) può presentare sormonto.

Naturalmente tali dati peggiorano all'aumentare dei tempi di ritorno degli eventi di piena di progetto esaminati.

A conclusione del presente paragrafo si riportano da Figura 11 a Figura 14 gli andamenti delle portate al variare del tempo nella sezione di confluenza del Fosso Vecchio nel canale a destra di Reno, ottenuti dalla propagazione idraulica con il modello MIKE 11 degli idrogrammi di piena di output del codice afflussi-deflussi SWMM confrontati con le portate di input relative al bacino complessivo del Fosso Vecchio utilizzate nello "*Studio idrologico ed idraulico del Canale di Bonifica in destra di Reno in condizioni di piena eccezionale: verifica del sistema nello stato di fatto attuale e delle configurazioni progettuali prospettate per il miglioramento della capacità di trasferimento idrico nel cavo*" (Plazzi, 2000) di cui il presente lavoro costituisce seguito e completamento.

Si ricorda che nello studio del canale di bonifica in destra di Reno (Plazzi, 2000) il contributo unitario del bacino del fosso Vecchio è valutato mediante l'ausilio del modello afflussi-deflussi S.O.C.S.; nel caso in esame, invece, l'idrogramma di piena alla confluenza è il risultato della composizione mediante la propagazione in moto vario nelle reti dei corsi d'acqua Munio, Vetro e Vecchio delle onde di piena di ciascun sottobacino in cui il territorio complessivo è suddiviso, risultanti dall'applicazione del modello idrologico SWMM.

Alla formazione dell'idrogramma finale, quindi, contribuisce non solo il fenomeno di trasformazione delle precipitazioni in portate liquide al suolo, ma anche il trasferimento e la possibile laminazione delle stesse lungo le aste fluviali, funzione della conformazione dei corsi d'acqua stessi (presenza di zone di spagliamento, sponde ribassate, etc) e della loro scabrezza.

Come si può notare dall'osservazione dei grafici riportati da Figura 11 a Figura 14, pur partendo da modelli piuttosto diversi (per quanto la precipitazione di input sia analoga), i risultati ottenuti nel nodo di confluenza del Fosso Vecchio nel canale a destra di Reno non sono molto dissimili e confortano sulla comparabilità (ed autovalidazione) dei risultati dei due studi e delle scelte che sulla base di questi verranno adottate per la messa in sicurezza dei territori drenati dal sistema idraulico afferente al canale a destra di Reno.

La differenza in termini di portata al picco, infatti, è piuttosto ridotta, essendo il colmo dell'idrogramma ottenuto in questo caso inferiore rispetto a quello precedentemente utilizzato di circa $7 \text{ m}^3/\text{sec}$ per l'evento trentennale e di appena $1 \text{ m}^3/\text{sec}$ per la piena centennale, caso per il quale le due onde sono maggiormente simili. Per tempo di ritorno pari a 200 anni, invece, il picco ottenuto mediante l'utilizzo di SWMM e Mike 11 è leggermente più alto. Si nota, inoltre, uno sfasamento temporale dei due massimi di circa 8 ore.

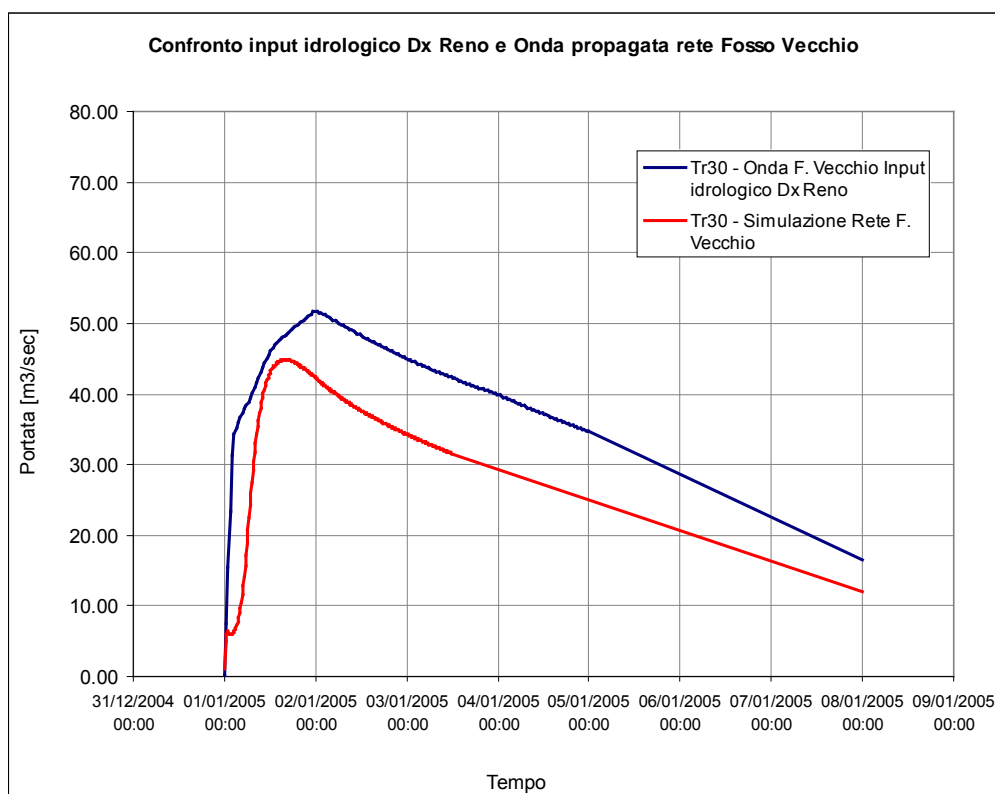


Figura 11 – Confronto degli idrogrammi di piena (Tr 30) relativi al bacino complessivo del Fosso Vecchio utilizzati quale input idrologico dello studio del Destra Reno e ottenuti per il presente studio dall'abbinamento dei modelli SWMM e MIKE 11

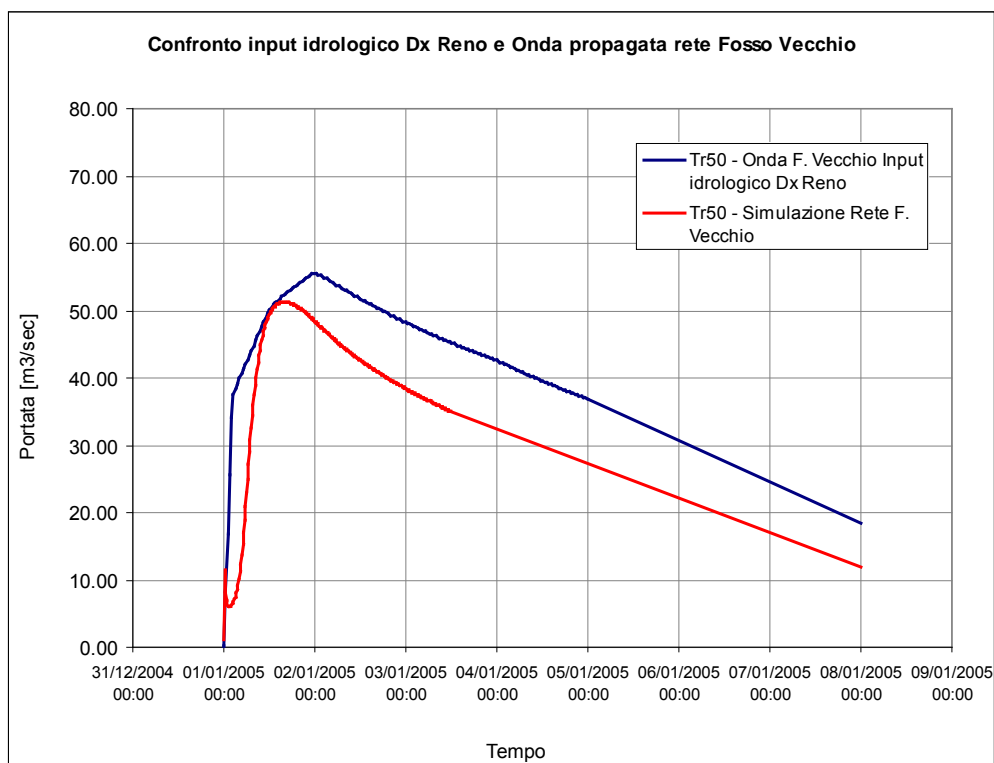


Figura 12 – Confronto degli idrogrammi di piena (Tr 50) relativi al bacino complessivo del Fosso Vecchio utilizzati quale input idrologico dello studio del Destra Reno e ottenuti per il presente studio dall’abbinamento dei modelli SWMM e MIKE 11

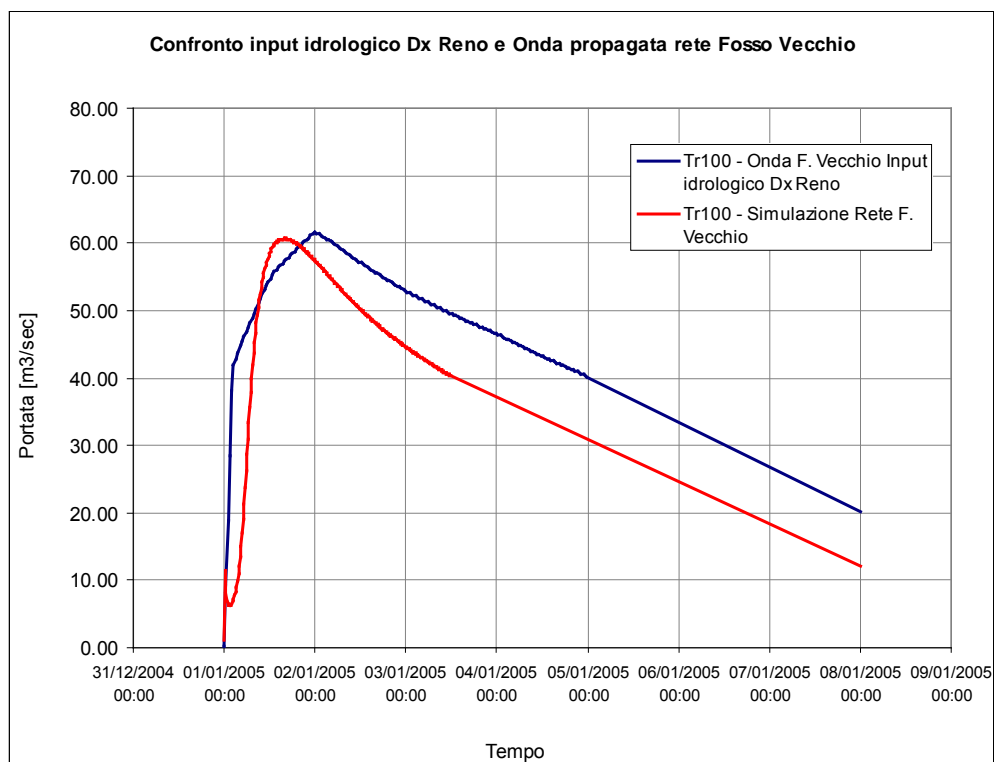


Figura 13 – Confronto degli idrogrammi di piena (Tr 100) relativi al bacino complessivo del Fosso Vecchio utilizzati quale input idrologico dello studio del Destra Reno e ottenuti per il presente studio dall’abbinamento dei modelli SWMM e MIKE 11

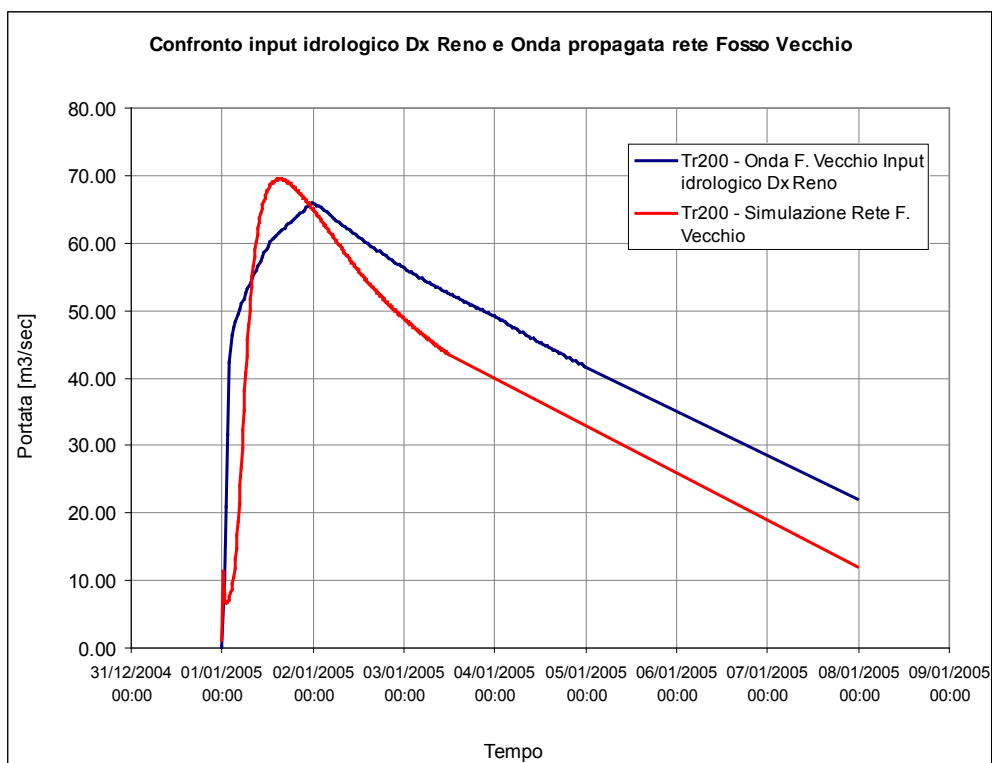


Figura 14 – Confronto degli idrogrammi di piena (Tr 200) relativi al bacino complessivo del Fosso Vecchio utilizzati quale input idrologico dello studio del Destra Reno e ottenuti per il presente studio dall’abbinamento dei modelli SWMM e MIKE 11

6. INDIVIDUAZIONE DEI POSSIBILI INTERVENTI RISOLUTIVI

Si precisa innanzitutto che rispetto alla configurazione qui indicata come attuale, tutte le soluzioni progettuali proposte contengono alcune modifiche di base alla geometria utilizzata per le simulazioni relative allo stato attuale, rappresentative di alcuni interventi recentemente già effettuati dal Consorzio di Bonifica:

- la eliminazione della condotta DN 1000 in corrispondenza dell'attraversamento del metanodotto denominato "Grove Energy" alla progressiva 4233 del fosso Munio e il ripristino del tratto a cielo aperto;

- la risagomatura e il rialzo spondale del Fosso Vecchio nel tratto tra la sezione 41 e la sezione 121.

Per quanto riguarda il primo punto, la dismissione della condotta DN 1000 lungo il Fosso Munio e il ripristino del tratto a cielo aperto derivano dall'osservazione delle simulazioni numeriche presentate al Consorzio durante lo svolgimento dello studio e dalla rilevazione di un'anomalia rispetto ai dati concessionari, prontamente regolarizzata dai tecnici dell'Ente.

Il secondo intervento compete, invece, due tratti del Fosso Vecchio compresi tra la sezione 41 (in prossimità del ponte S.C. via delle Larghe di S. Silvestro, progressiva 3883 m) e la sezione 70 (ponte civico n. 6, via Bisaura, progressiva 6823 m), per complessivi 2940 metri circa, e tra la sezione 85 (poco a monte del ponte S.C. via Zotto, progressiva 8293 m) e la sezione 122 (a monte della foce dello scolo rio Fantino, progressiva 11983 m), per un totale di circa 3690 metri.

Il primo tratto oggetto di risagomatura si può dividere in due sottosegmenti: una porzione dalla sezione 41 alla sezione 59 (ponte autostrada A14), eseguita nel 2005, caratterizzata da sezioni regolarizzate di forma trapezia, con larghezza di fondo pari a circa 1.5 m, pendenza delle sponde pari a 3/2, livelletta pari a circa 1.73 ‰, pendenza nel senso del moto dei cigli destro e sinistro pari a circa 1.69 ‰. Il secondo segmento, dalla sezione immediatamente a valle del ponte dell'autostrada alla sezione 70, è stato eseguito nel 2006 ed è caratterizzato da sezione trapezia, di uguale larghezza di base (1.5 m circa), pendenza delle sponde pari a 1/1.5, livelletta pari a circa 1.75 ‰, pendenza nel senso del moto dei cigli destro e sinistro pari a circa 1.55 ‰.

Il tratto tra la sezione 85 e la sezione 122 si può dividere in tre parti:

- un primo segmento, dalla sezione 85 alla sezione 106 (ponte S.C. via Cabrona), eseguito nel 2005-2006, caratterizzato da sezione trapezia, con larghezza di fondo pari a circa 2 m, pendenza delle sponde pari a 3/2, livelletta pari a 1.2 ‰;
- un tratto mediano, tra la sezione 106 e la sezione 113, eseguito nello stesso periodo, con sezione trapezia di larghezza, al fondo, pari a 2.2 m, pendenza delle sponde pari a 3/2, livelletta pari a 0.9 ‰;

- la porzione terminale, tra la foce dello scolo consortile Roveri e il sottopasso del canale Naviglio-Zanelli, che si differenzia rispetto alla precedente, solo per la maggiore larghezza di base della sezione tipo (pari a 2.4 m).

Nei paragrafi che seguono si riportano le conclusioni dell'esame dettagliato delle diverse configurazioni progettuali proposte, confrontandone i benefici in termini di riduzione del grado di rischio lungo le aste dei tre corsi d'acqua oggetto di studio.

In tabella 11 vengono riassunte le principali caratteristiche di tali interventi, contraddistinti da un codice identificativo.

| Codice intervento | Descrizione intervento |
|-------------------|---|
| ATT | Assenza di interventi (compresi risagomatura Fosso Vecchio 2005-2006 e eliminazione condotta DN 1000 metanodotto del Fosso Munio) |
| P1 | Risagomatura Fosso Vecchio 2005-2006, eliminazione condotta Fosso Munio DN 1000 metanodotto, disgiunzione del Fosso Munio e del Fosso Vetro dal Fosso Vecchio |
| P2 | Risagomatura Fosso Vecchio 2005-2006, eliminazione condotta Fosso Vecchio DN 1000 metanodotto, esecuzione di 3 casse di espansione sul Fosso Vecchio |
| P2* | Risagomatura Fosso Vecchio 2005-2006, eliminazione condotta Fosso Vecchio DN 1000 metanodotto, esecuzione di 3 casse di espansione sul Fosso Vecchio, con la cassa più a valle approfondita rispetto alla configurazione P2 |

Tabella 11 – Elenco degli interventi per la riduzione del rischio idraulico ipotizzati lungo le aste dei corsi d'acqua Fosso Vecchio, Fosso Munio e Fosso Vetro

6.1 Configurazione di progetto 1 (P1)

La prima ipotesi progettuale esaminata ha uno scopo prevalentemente didattico, consistendo nel deviare il fosso Munio e il fosso Vetro in un nuovo collettore parallelo al tracciato del Fosso Vecchio, posto in destra idraulica e confluyente direttamente e indipendentemente nel Canale a Destra di Reno. Il Fosso Vecchio viene ad essere sgravato dall'apporto consistente dei due affluenti e questi ultimi, a loro volta, non risentono del rigurgito dovuto alle condizioni del loro ricevente, ma, essendo da questo totalmente disgiunti, e confluendo in un canale di nuova costruzione opportunamente dimensionato, trovano beneficio e riescono a veicolare verso valle le loro rispettive portate di piena.

Tale ipotesi progettuale, già prospettata in passato dal Consorzio di Bonifica, per quanto possa presentare indubbi vantaggi, porta con sé elevati oneri, soprattutto riconducibili alla costruzione del nuovo collettore e ai relativi espropri da effettuare, nonché alla difficoltà di deviare il fosso Munio nel fosso Vetro. Non elimina, inoltre, i molteplici problemi localizzati che si rilevano ad un esame delle criticità delle tre aste.

La configurazione è, tuttavia, esaminata, soprattutto allo scopo di valutare l'officiosità del fosso Vecchio annullando i suoi principali apporti e ipotizzando esclusivamente l'eventuale aggravio dovuto alle condizioni di valle del Canale a Destra di Reno.

Come già anticipato nella premessa a questo capitolo, l'ipotesi progettuale in esame tiene conto anche della eliminazione della condotta DN 1000 dell'attraversamento del metanodotto alla progressiva 4233 del fosso Munio, ripristinando il tratto a cielo aperto, e del risezionamento di due segmenti del Fosso Vecchio, tra la progressiva 3840 m e la progressiva 6823 m e tra la 8293 m e la 11'983 m.

Concentrandosi per il momento sugli interventi già eseguiti lungo il Munio e il Vecchio (rimozione della condotta del metanodotto sul primo e risezionamento lungo due tratti del secondo), gli esiti delle simulazioni idrauliche relative a tale prima configurazione di progetto (P1), al di là dell'obiettivo principale di esaminare le condizioni di officiosità del Fosso Vecchio se sgravato dei contributi dei sue due principali affluenti, consentono anche di valutare il beneficio in termini di abbattimento dei livelli idrici delle azioni già in essere rispetto alla situazione precedente.

In particolare, il consistente rigurgito prodotto dalla presenza della condotta DN 1000 alla progressiva 4233 circa del Munio, a seguito della rimozione della stessa si riduce sensibilmente. Si sottolinea come tale tratto intubato oggi rimosso si inserisca in una porzione dell'asta lungo la quale si hanno tombinamenti ogni circa 200-300 m, per cui l'effetto della eliminazione della strozzatura (piuttosto importante in relazione alle portate transistanti) valutabile in circa 70 cm per l'evento trentennale, non risolve tutti i problemi di insufficienza del tratto - pur alleggerendo notevolmente il carico idraulico -, per cui ulteriori interventi localizzati dovranno essere previsti per affrancare dal rischio di allagamento (almeno per gli eventi più frequenti) i territori prospicienti.

Entrando più nel dettaglio, la riapertura del tratto una volta coperto produce una riduzione dei livelli idrici fino almeno all'imboccatura del tombinamento della S.P. S. Vitale e dell'attraversamento del centro di Bagnacavallo (progressiva 1734 m), a partire dalla quale i due profili idrici si ricongiungono e coincidono verso monte.

Verso valle, viceversa, l'assenza della strettoia e, quindi, le mancate cospicue perdite di carico, portano ad un lieve innalzamento dei livelli, valutabili al massimo in circa 20 cm che si riducono progressivamente fino alla progressiva 7000 m circa.

Confronto nel tratto riportato a cielo aperto: Scenario attuale - P1 (Tr 30) - Scenario A

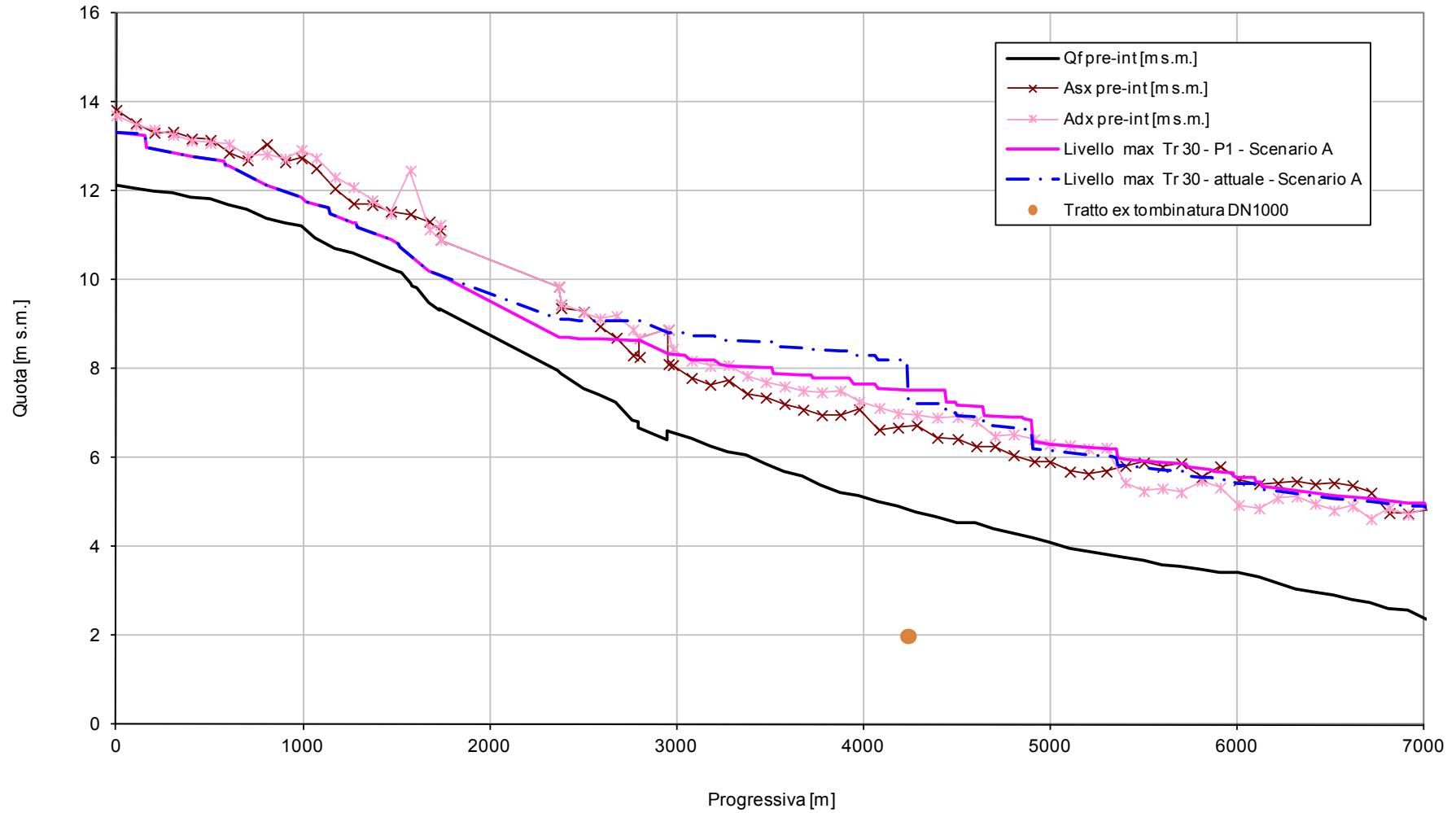


Figura 15 – Involuppo dei massimi livelli del Fosso Munio per Tr 30 anni, nello scenario di progetto P1 e nello scenario attuale, relativamente al tratto riportato a cielo aperto in seguito alla rimozione della tombinatura in cls, DN 1000, scenario A

Di seguito si riportano gli inviluppi dei livelli massimi per il Fosso Vecchio per i tempi di ritorno “estremi” (30 e 200 anni) nelle due configurazioni – attuale e P1 (ossia con risagomatura di due tratti del Fosso Vecchio, eliminazione della condotta DN 1000 sul Fosso Munio e disgiunzione del Fosso Munio e del Fosso Vetro dal Fosso Vecchio) – per i due scenari A e B.

Al fine di verificare quelli che sono i miglioramenti (in termini di riduzione dei massimi tiranti) indotti dalla risagomatura dei tratti del Fosso Vecchio, dalla progressiva 3840 m alla 6823 m e dalla 8293 m alla 11983 m, sono osservabili nei grafici in figura 16 per Tr 30 anni, scenario A e in figura 18 per Tr 200 anni, scenario A (non sono stati riportati gli stessi grafici delle simulazioni condotte per lo scenario B in quanto il rigurgito a valle causato dal livello di piena trentennale nel Destra Reno non influenza tali sezioni più a monte). Si può osservare come la risagomatura dei due tratti induca un discreto abbassamento dei tiranti massimi, nell'ordine al massimo di 40 cm per entrambi i tempi di ritorno.

La disgiunzione dei due affluenti, Fosso Munio e Fosso Vetro, dal Fosso Vecchio, induce ineluttabilmente un miglioramento del funzionamento di quest'ultimo, in quanto vengono meno le portate in arrivo dal Munio e dal Vetro. Le figure 17 (Tr 30 anni, scenario A), 19 (Tr 200 anni, scenario B), 20 (Tr 30 anni, scenario B) e 21 (Tr 200 anni, scenario B) mostrano l'abbattimento notevole dei livelli in corrispondenza delle sezioni ove attualmente entrano il Fosso Munio e il Fosso Vetro: in particolare per lo scenario A si osserva un abbassamento massimo dell'involuppo di piena di 75 cm circa per Tr 30 anni e di quasi 1 m per Tr 200 anni; per lo scenario B, a causa del rigurgito indotto dal transito della piena trentennale nel Destra Reno, tale riduzione non supera mai i 50 cm, in quanto il livello massimo è fissato non tanto dalla portata in transito nel Fosso Vecchio, quanto dalla condizione di valle. Si osserva, inoltre, come il beneficio indotto dalla disgiunzione del Fosso Munio e del Fosso Vetro dal Fosso Vecchio si estende sino a circa 6 km a monte dell'immissione attuale del Munio. L'abbassamento dei massimi tiranti indotto da tale intervento, quindi, si ha anche in sezioni più a monte, a causa del fenomeno di rigurgito indotto dall'ingresso delle portate defluenti nel Munio e nel Vecchio.

I profili delle sponde in destra e in sinistra idraulica riportati nelle figure sopracitate permettono di osservare come tale eventuale intervento metterebbe in sicurezza alcune sezioni (non andando comunque a risolvere tutte le criticità).

In termini di abbattimento delle portate in corrispondenza della sezione terminale si ha:

➤ per Tr = 30 anni:

$$Q (\text{attuale}) = 42.22 \text{ m}^3/\text{s} \quad - \quad Q (\text{P1}) = 25.89 \text{ m}^3/\text{s};$$

➤ per Tr = 200 anni:

$$Q (\text{attuale}) = 61.81 \text{ m}^3/\text{s} \quad - \quad Q (\text{P1}) = 42.41 \text{ m}^3/\text{s};$$

ossia una riduzione rispettivamente del 40 e del 30%.

Il beneficio, in termini di abbattimento di portate nel Fosso Vecchio, si osserva nelle figure 22 (Tr 30 anni) e 23 (Tr 200 anni).

Per i 4 eventi idrologici simulati per lo stato di progetto P1 (Tr 30, 50, 100 e 200 anni nello Scenario A, cioè con Destra Reno non rigurgitante) si riportano, dalla figura 24 alla figura 31, gli inviluppi di piena nel Fosso Vecchio in termini di livello idrico massimo e di portata al colmo.

Non si riportano le omologhe figure per lo stato di progetto P1 e Scenario B, in quanto l'unico tratto nel quale si hanno differenze rispetto allo Scenario A è quello terminale del Fosso Vecchio (dalla progressiva 23'000 m circa allo sbocco nel Destra Reno), già adeguatamente rappresentato - in termini comparativi rispetto allo stato attuale dei luoghi [ATT] - nelle precedentemente citate figure 20 (Tr 30 anni) e 21 (Tr 200 anni).

Indubbiamente, come mostrano i risultati comparati delle simulazioni svolte, l'operazione di disgiunzione del fosso Munio e del Fosso Vetro dal Fosso Vecchio potrebbe indurre notevoli benefici idraulici, ma comporta anche alcune difficoltà:

- necessità di realizzare sul Fosso Munio una botte sifone per sottopassare il Fosso Vecchio e per collegare il Munio al Vetro a monte della sede ferroviaria e della SS16, se l'officiosità del Fosso Vetro è tale da permettere l'ingresso del Munio in sicurezza;
- nel caso in cui le portate transitanti nel Vetro e la sua geometria non consentano l'allacciamento del Munio a monte di ferrovia e SS16, si aggiunge la necessità di realizzare due tombature in corrispondenza di tali attraversamenti;
- risagomatura del tratto del Fosso Vetro dalla nuova confluenza del Fosso Munio sino all'ex confluenza del Fosso Vecchio e realizzazione, in prosecuzione verso valle di questo, di un nuovo tratto a cielo aperto fino a scarico nel Destra Reno, per una lunghezza di circa 3 km;
- problemi, oltre che tecnici e di copertura economica, di tempo e spese per le acquisizioni catastali dei futuri sedimi dei due fossi.

Confronto nel tratto risezionato: Scenario attuale - P1 (Tr 30) - Scenario A

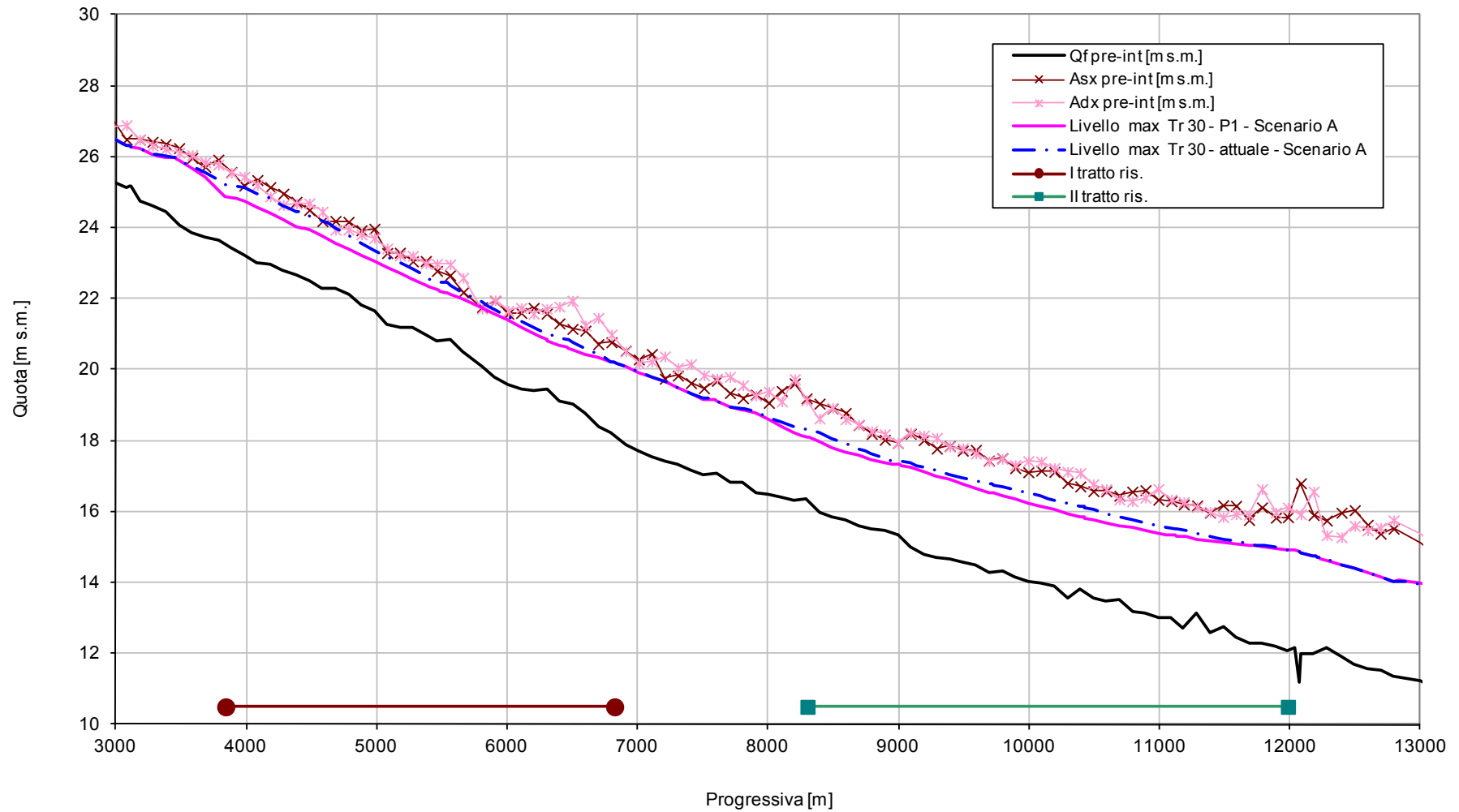


Figura 16 – Involuppo dei massimi livelli del Fosso Vecchio per Tr 30 anni, nello scenario di progetto P1 e nello scenario attuale, relativamente ai tratti risagomati, per lo scenario A.

Confronto nel tratto di valle: Scenario attuale - P1 (Tr 30) - Scenario A

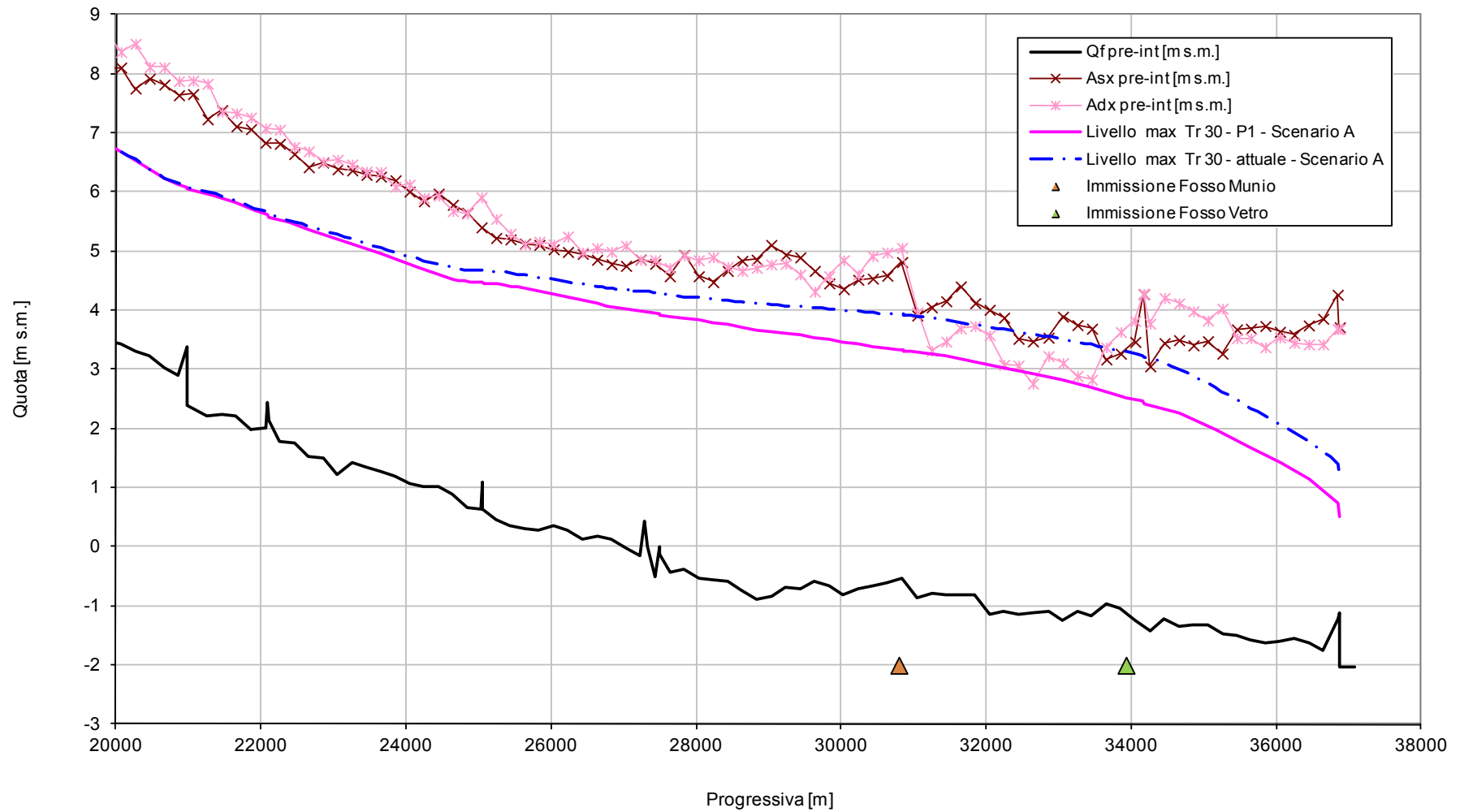


Figura 17 – Involuppo dei massimi livelli del Fosso Vecchio per Tr 30 anni, nello scenario di progetto P1 e nello scenario attuale, relativamente ai tratti a monte e a valle delle immissioni del Fosso Munio e del Fosso Vetro, per lo scenario A.

Confronto nel tratto risezionato: Scenario attuale - P1 (Tr 200) - Scenario A

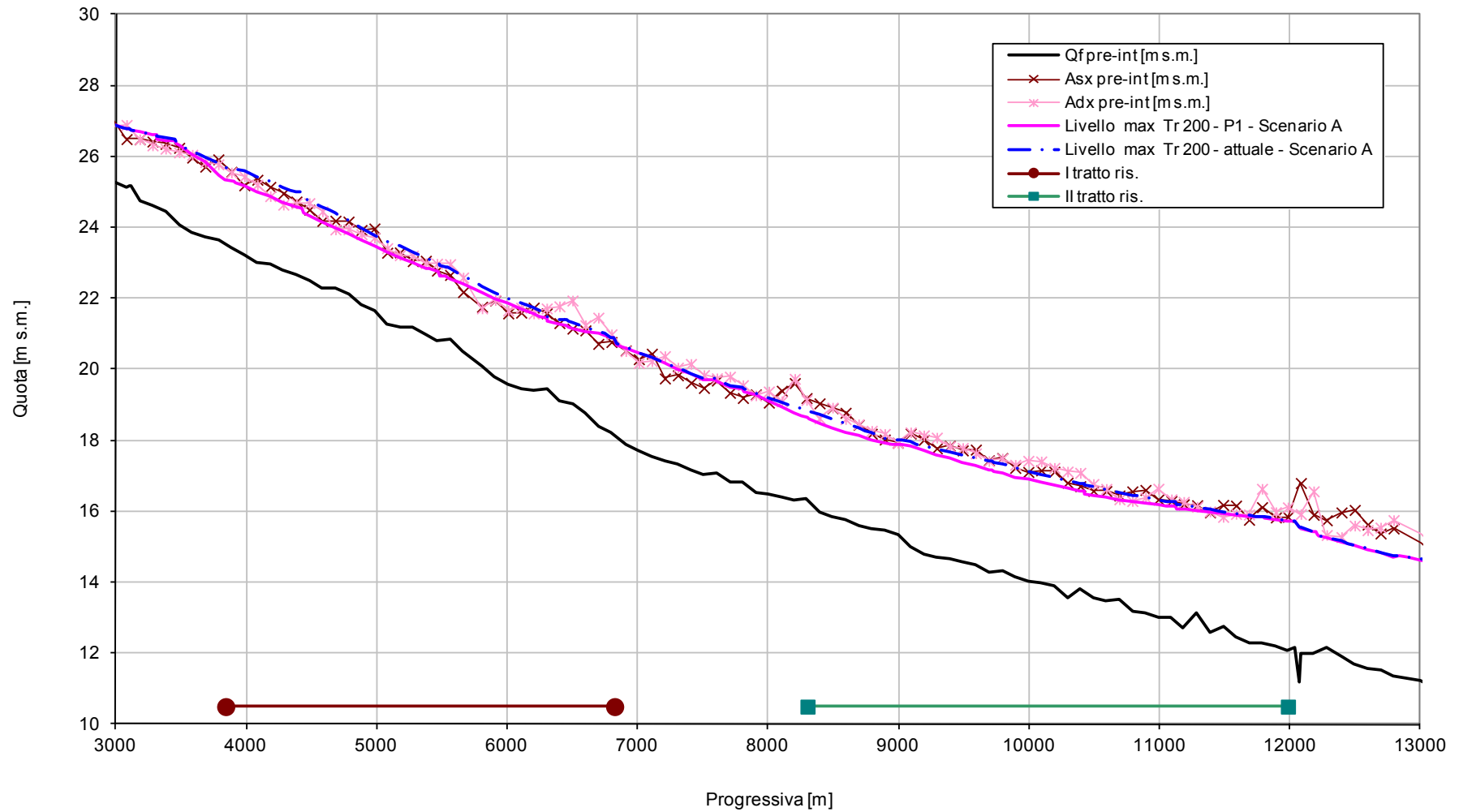


Figura 18 – Involuppo dei massimi livelli del Fosso Vecchio per Tr 200 anni, nello scenario di progetto P1 e nello scenario attuale, relativamente ai tratti risagomati, per lo scenario A.

Confronto nel tratto di valle: Scenario attuale - P1 (Tr 200) - Scenario A

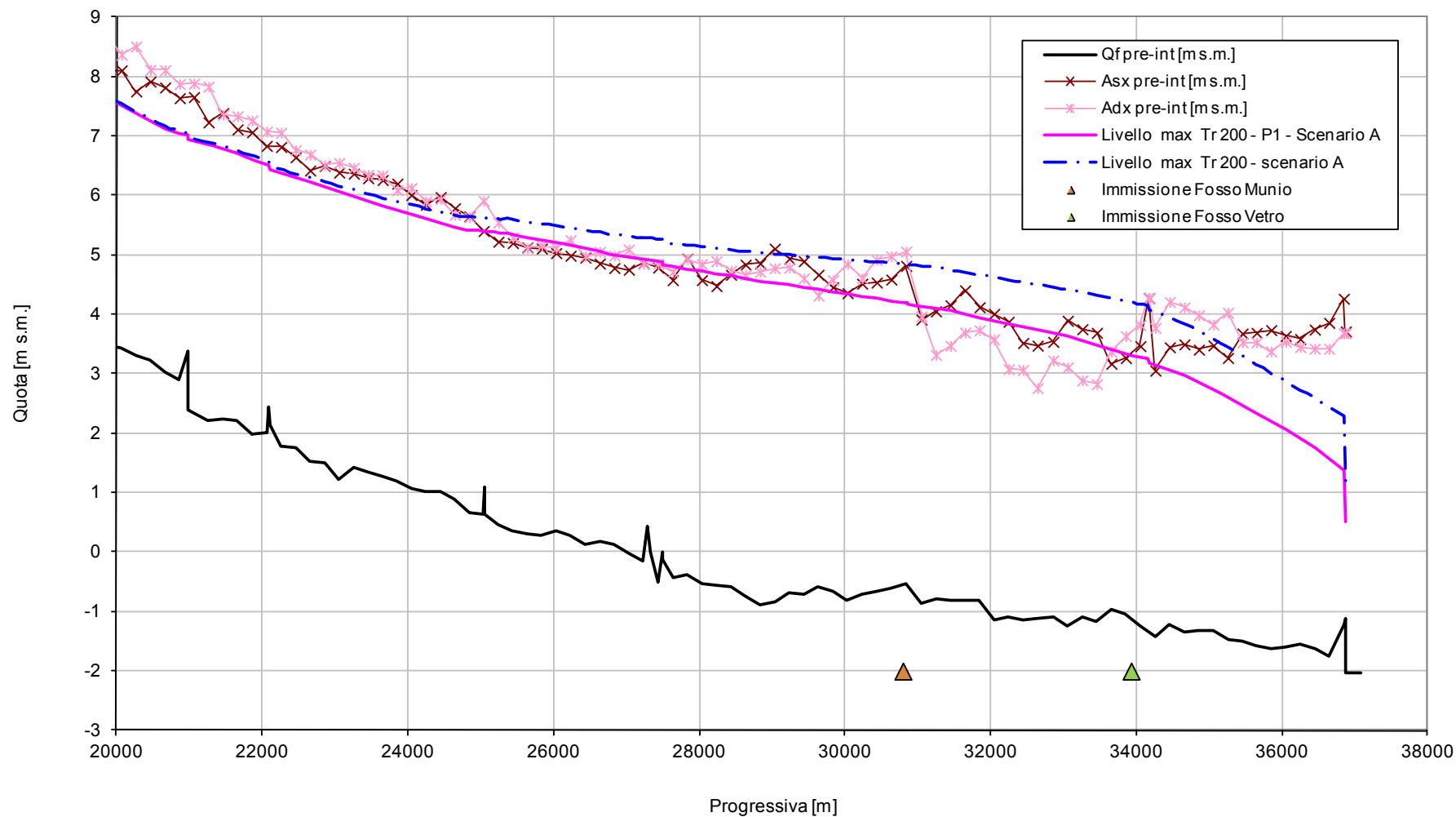


Figura 19 – Involuppo dei massimi livelli del Fosso Vecchio per Tr 200 anni, nello scenario di progetto P1 e nello scenario attuale, relativamente ai tratti a monte e a valle delle immissioni del Fosso Munio e del Fosso Vetro, per lo scenario A.

Confronto nel tratto di valle: Scenario attuale - P1 (Tr 30) - Scenario B

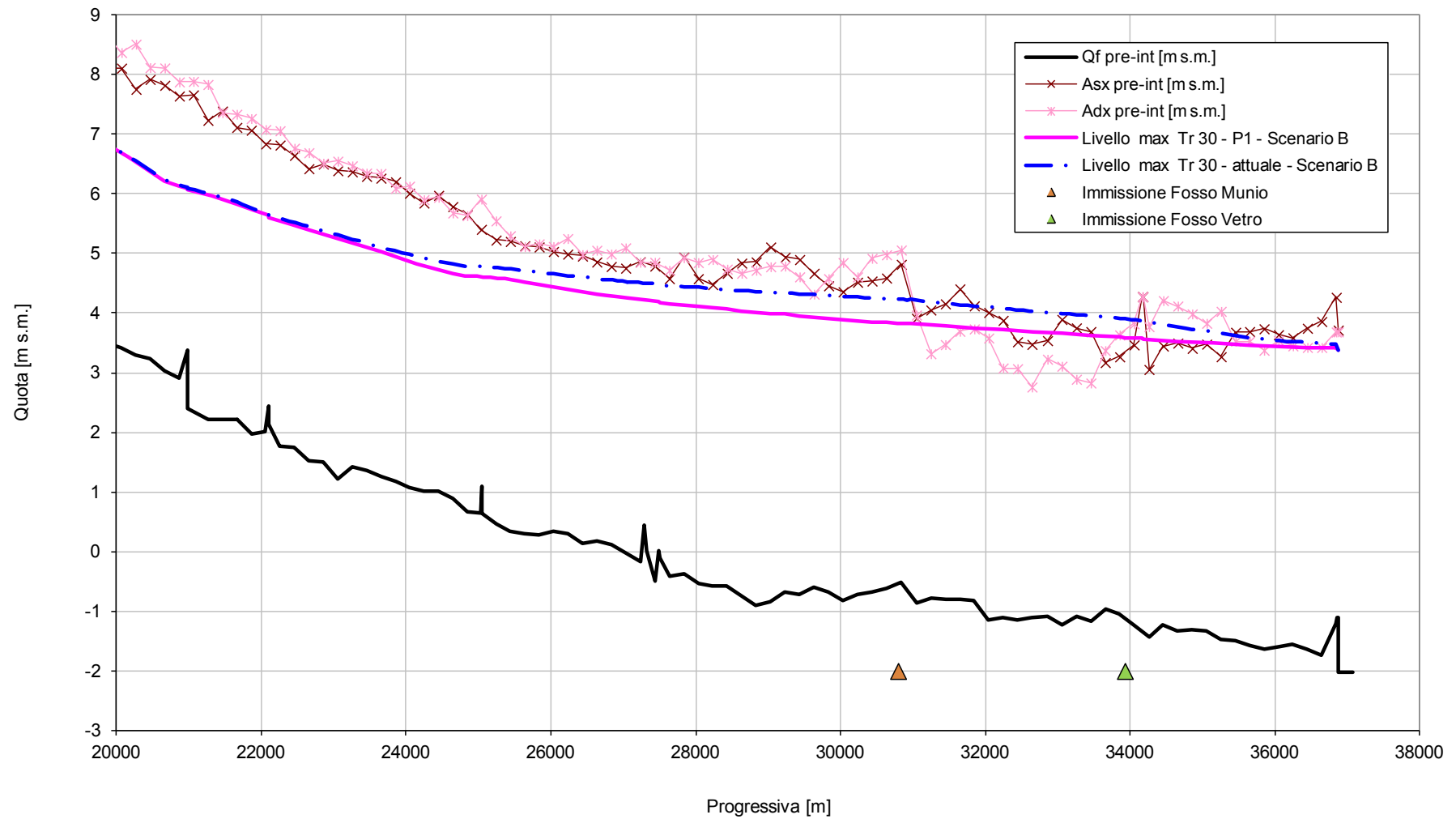


Figura 20 – Inviluppo dei massimi livelli del Fosso Vecchio per Tr 30 anni, nello scenario di progetto P1 e nello scenario attuale, relativamente ai tratti a monte e a valle delle immissioni del Fosso Munio e del Fosso Vetro, per lo scenario B.

Confronto nel tratto di valle: Scenario attuale - P1 (Tr 200) - Scenario B

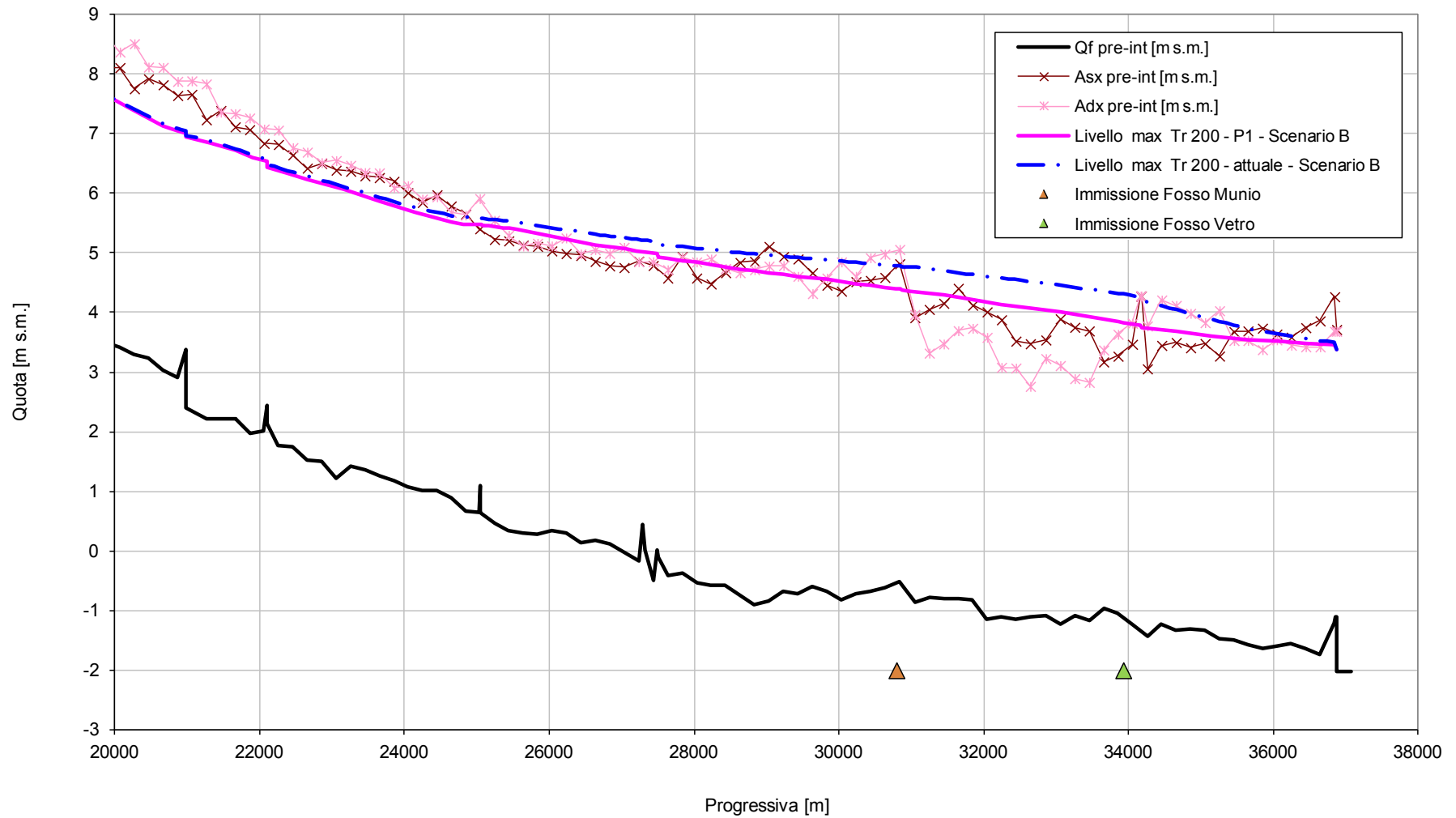


Figura 21 – Involuppo dei massimi livelli del Fosso Vecchio per Tr 200 anni, nello scenario di progetto P1 e nello scenario attuale, relativamente ai tratti a monte e a valle delle immissioni del Fosso Munio e del Fosso Vetro, per lo scenario B.

Colmi di portata - Fosso Vecchio - stato di progetto P1 e stato attuale
Scenario A

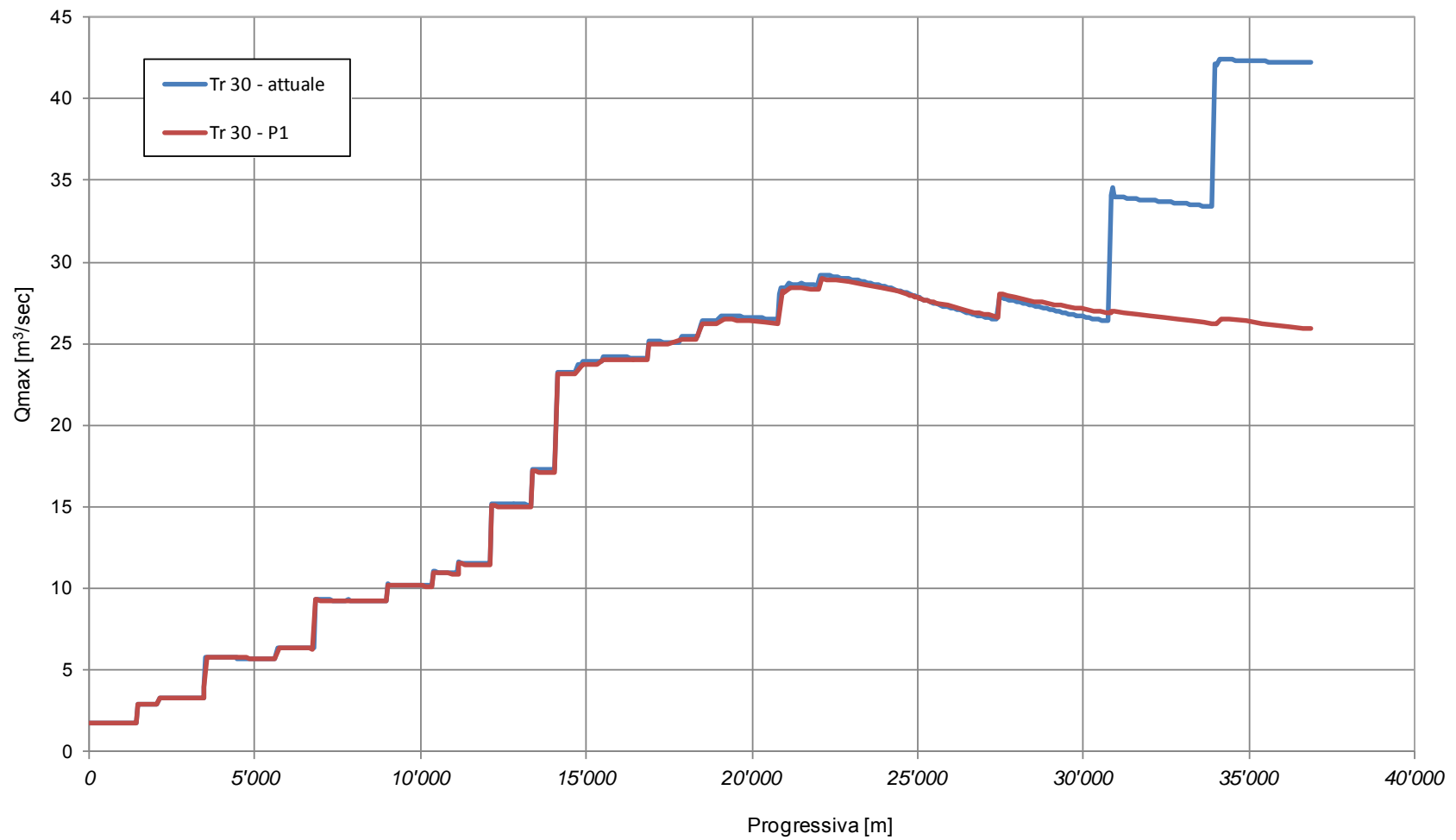


Figura 22 – Involuppo delle massime portate del Fosso Vecchio per Tr 30 anni, nello scenario di progetto P1 e nello scenario attuale (A).

Colmi di portata - Fosso Vecchio - stato di progetto P1 e stato attuale
Scenario A

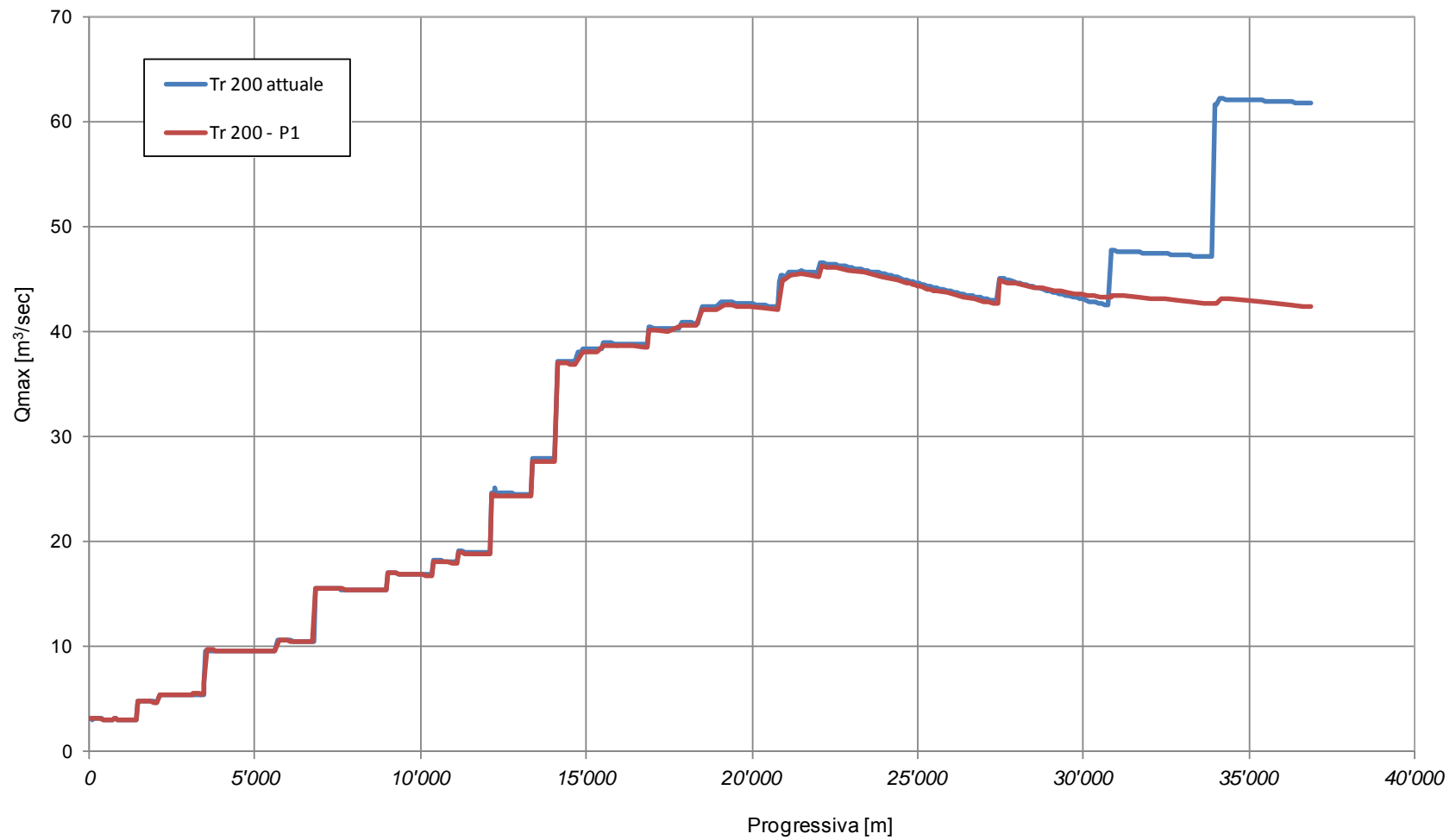


Figura 23 – Involuppo delle massime portate del Fosso Vecchio per Tr 200 anni, nello scenario di progetto P1 e nello scenario attuale (A).

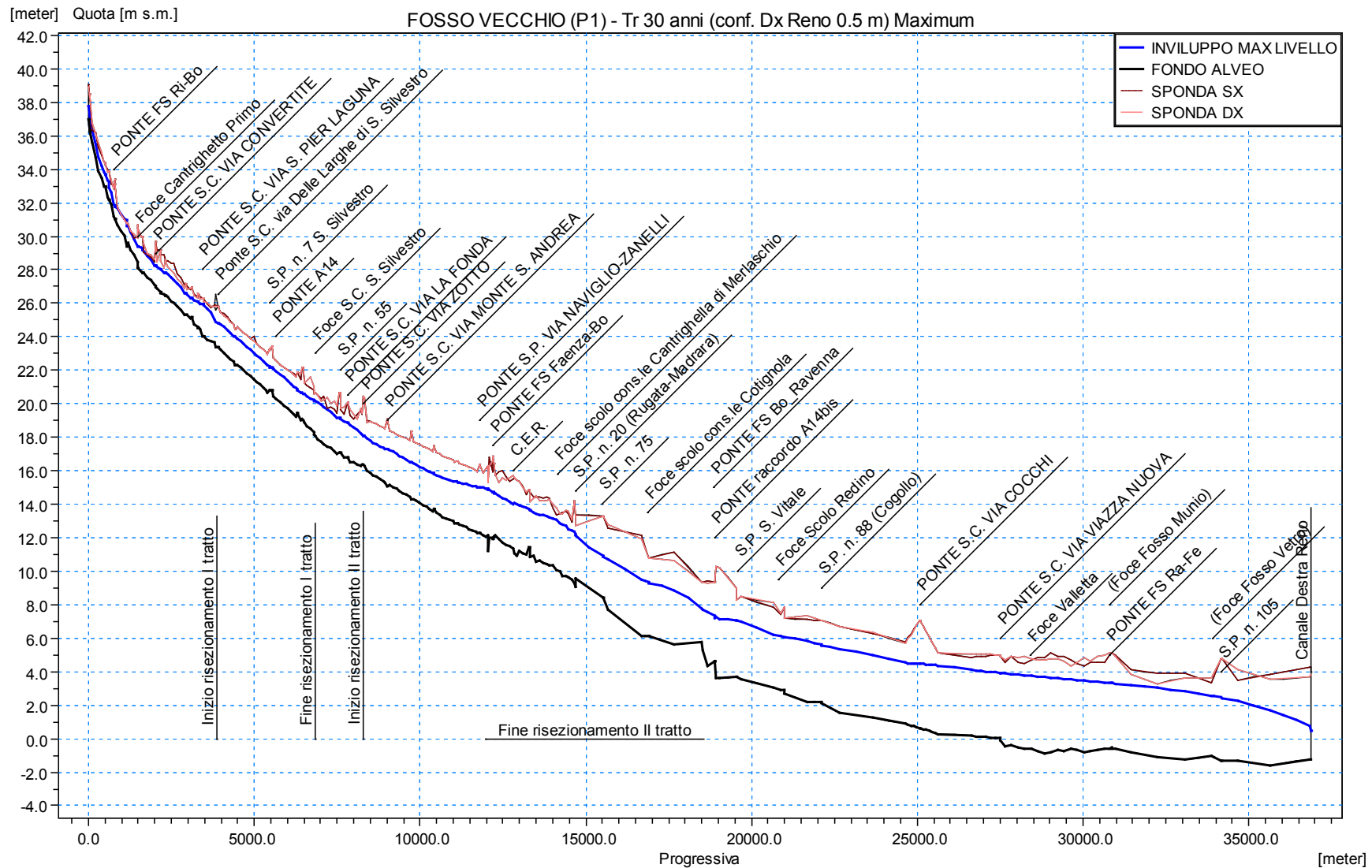


Figura 24 – Inviluppo dei massimi livelli del Fosso Vecchio per Tr 30 anni, nello scenario di progetto P1, con condizione di valle pari a 0.5 m s.m..

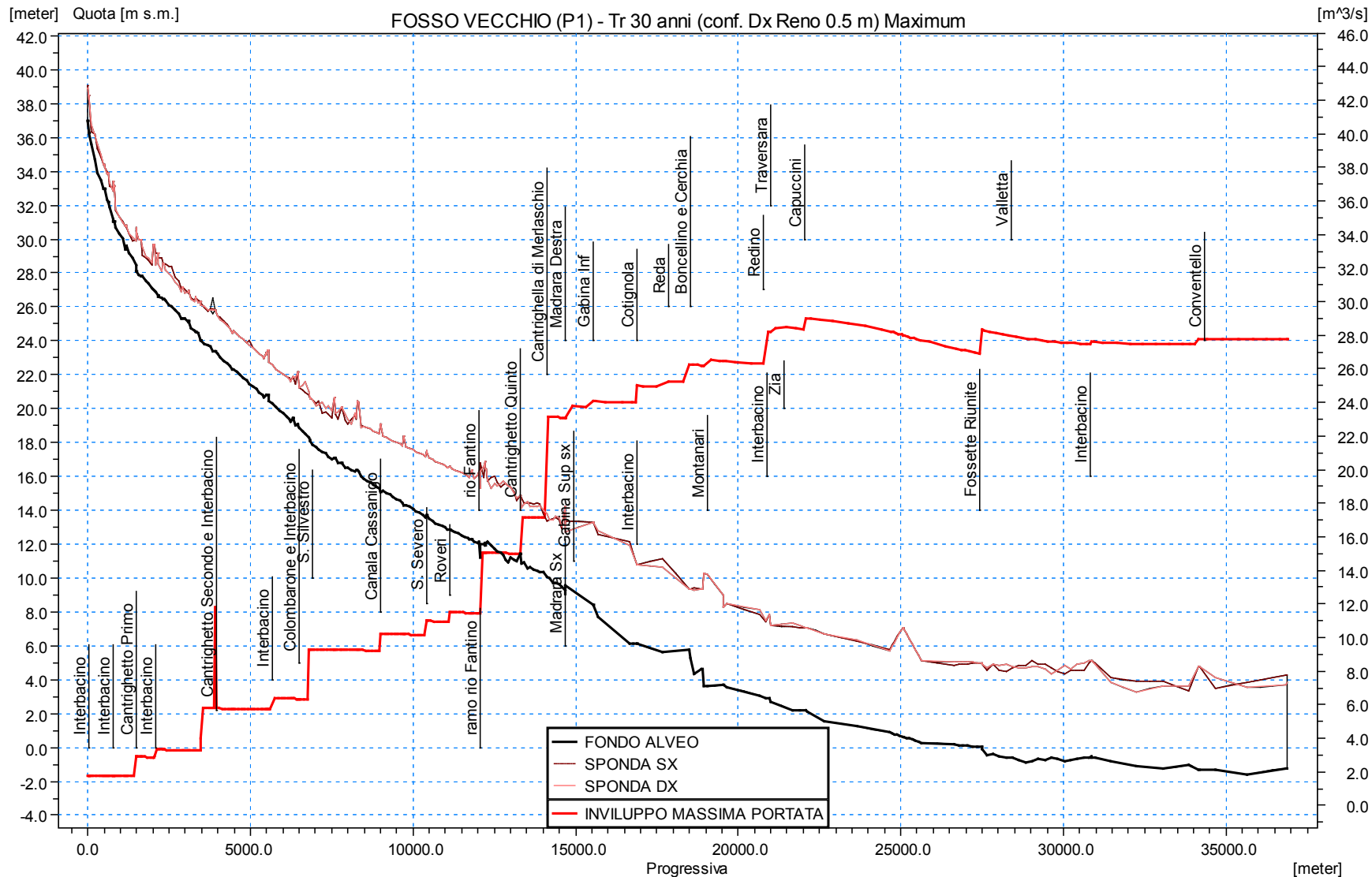


Figura 25 – Inviluppo delle massime portate del Fosso Vecchio per Tr 30 anni, nello scenario di progetto P1, con condizione di valle pari a 0.5 m s.m..

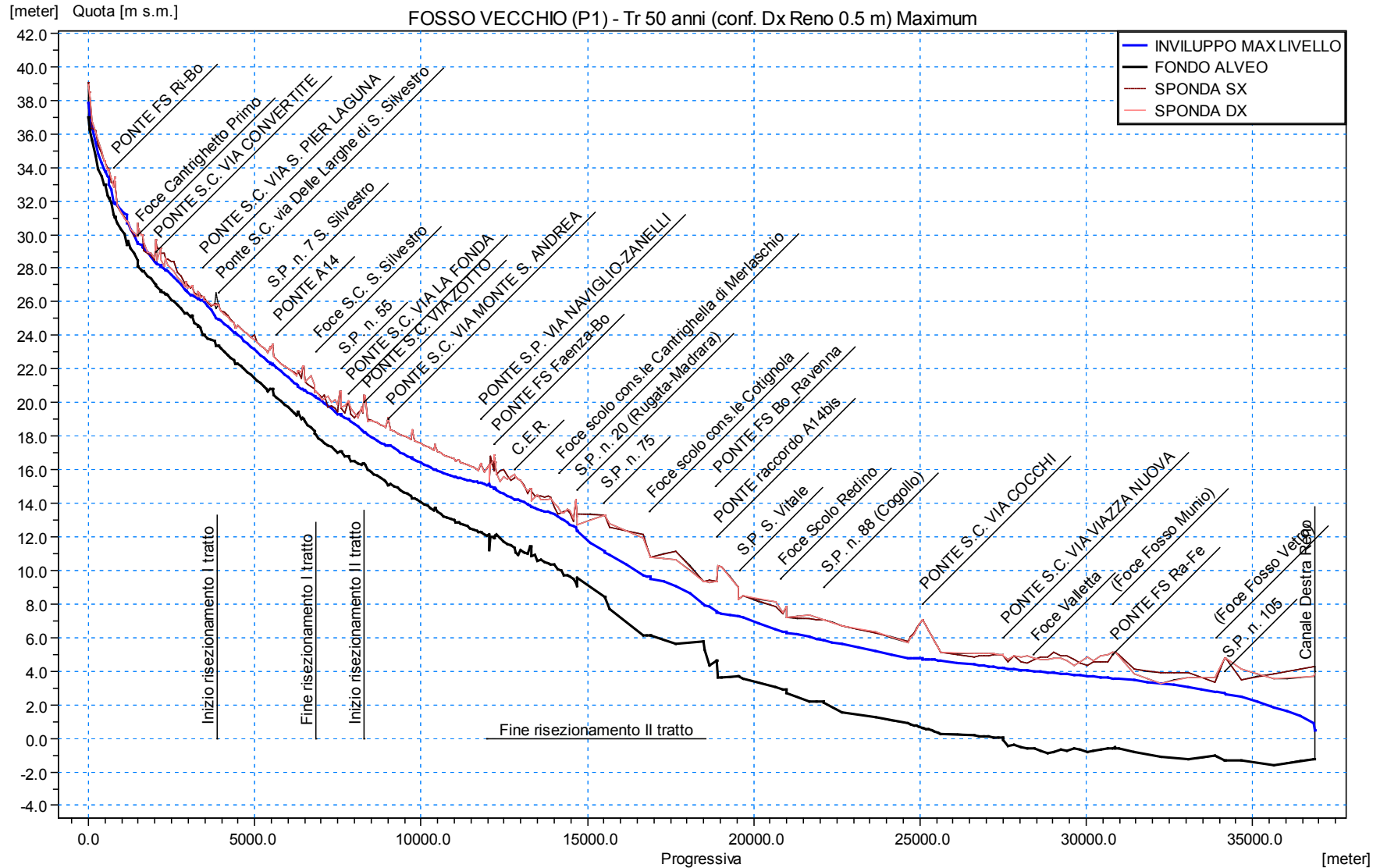


Figura 26 – Inviluppo dei massimi livelli del Fosso Vecchio per Tr 50 anni, nello scenario di progetto P1, con condizione di valle pari a 0.5 m s.m..

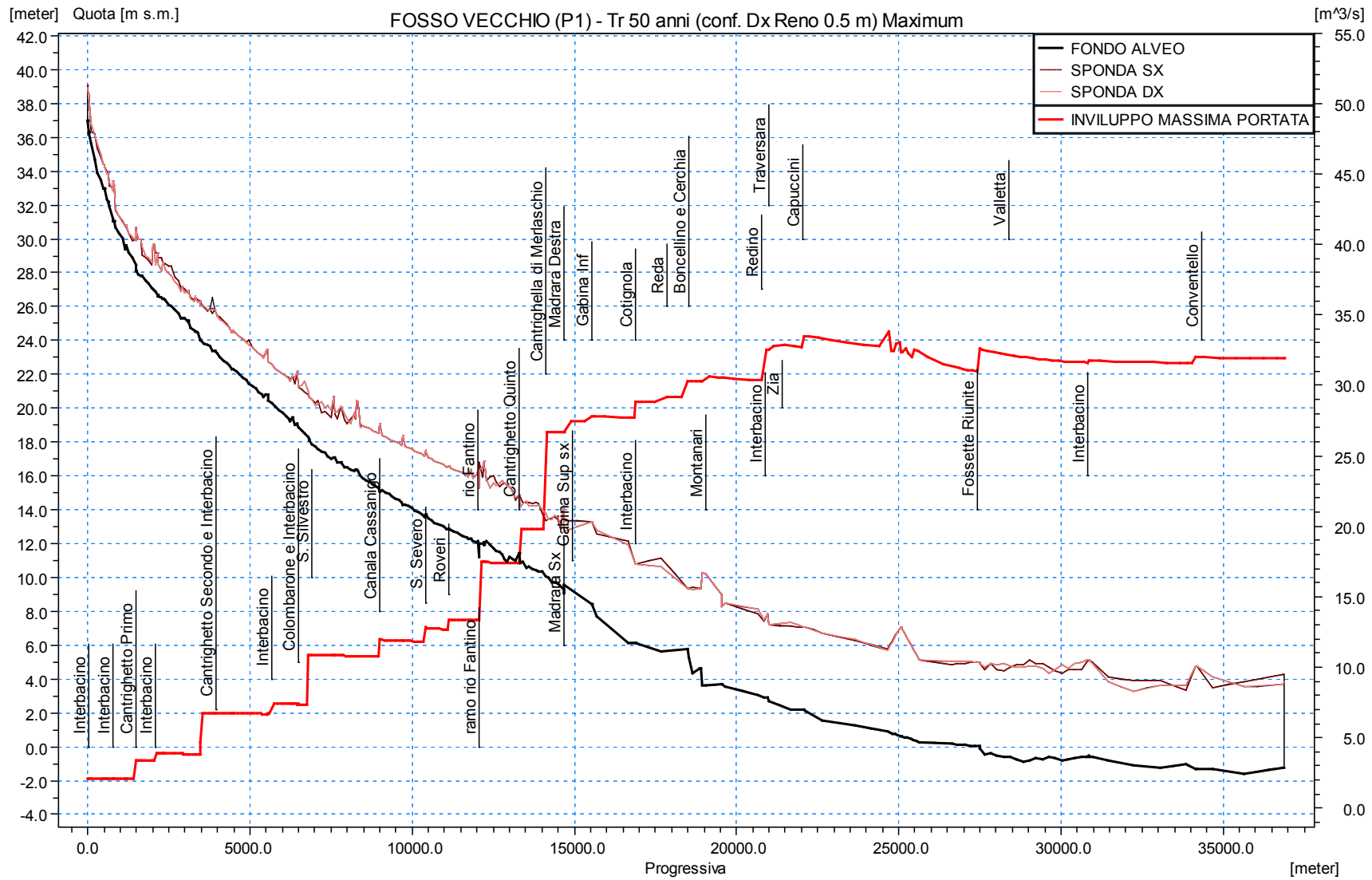


Figura 27 – Inviluppo delle massime portate del Fosso Vecchio per Tr 50 anni, nello scenario di progetto P1, con condizione di valle pari a 0.5 m s.m..

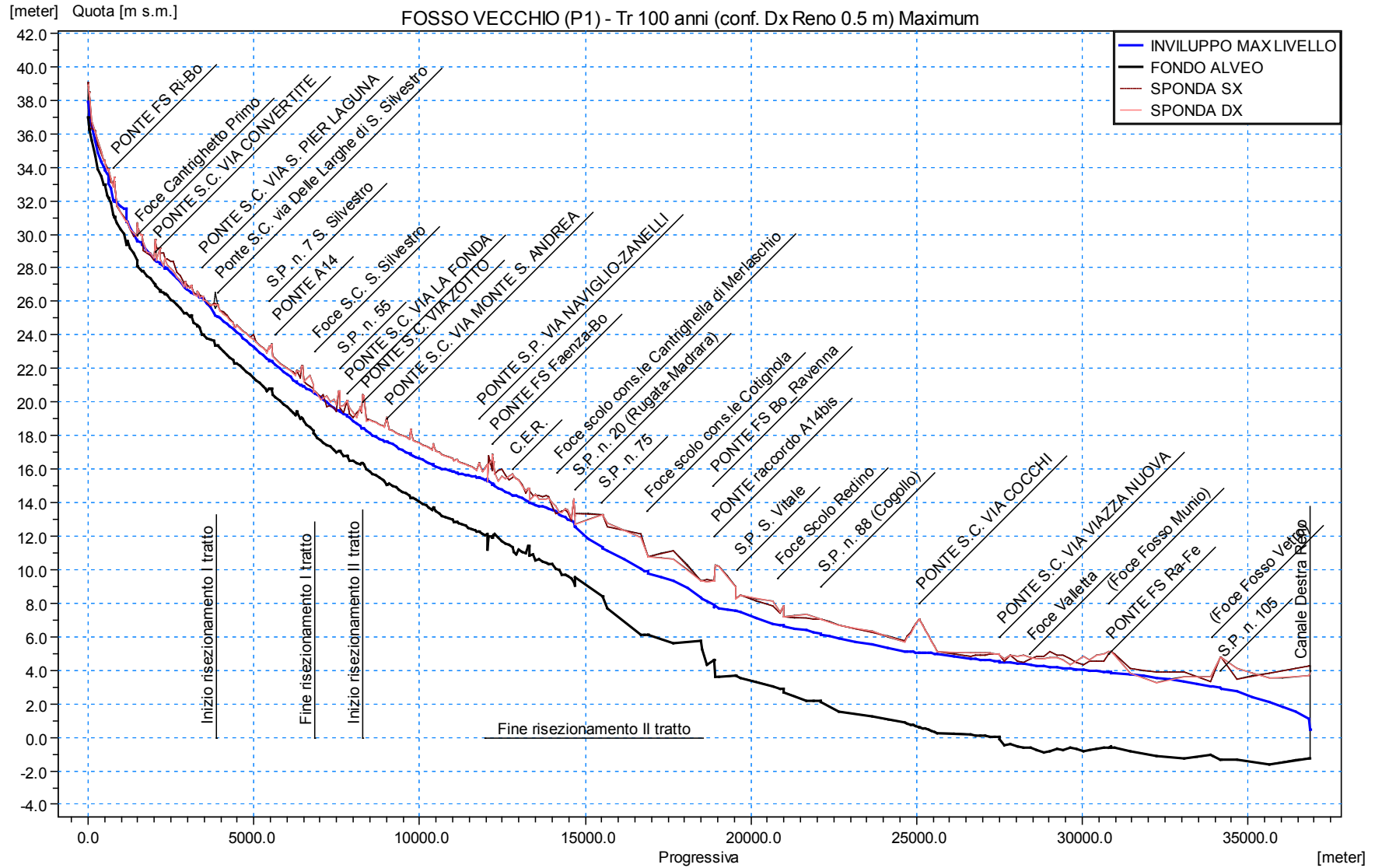


Figura 28 – Inviluppo dei massimi livelli del Fosso Vecchio per Tr 100 anni, nello scenario di progetto P1, con condizione di valle pari a 0.5 m s.m..

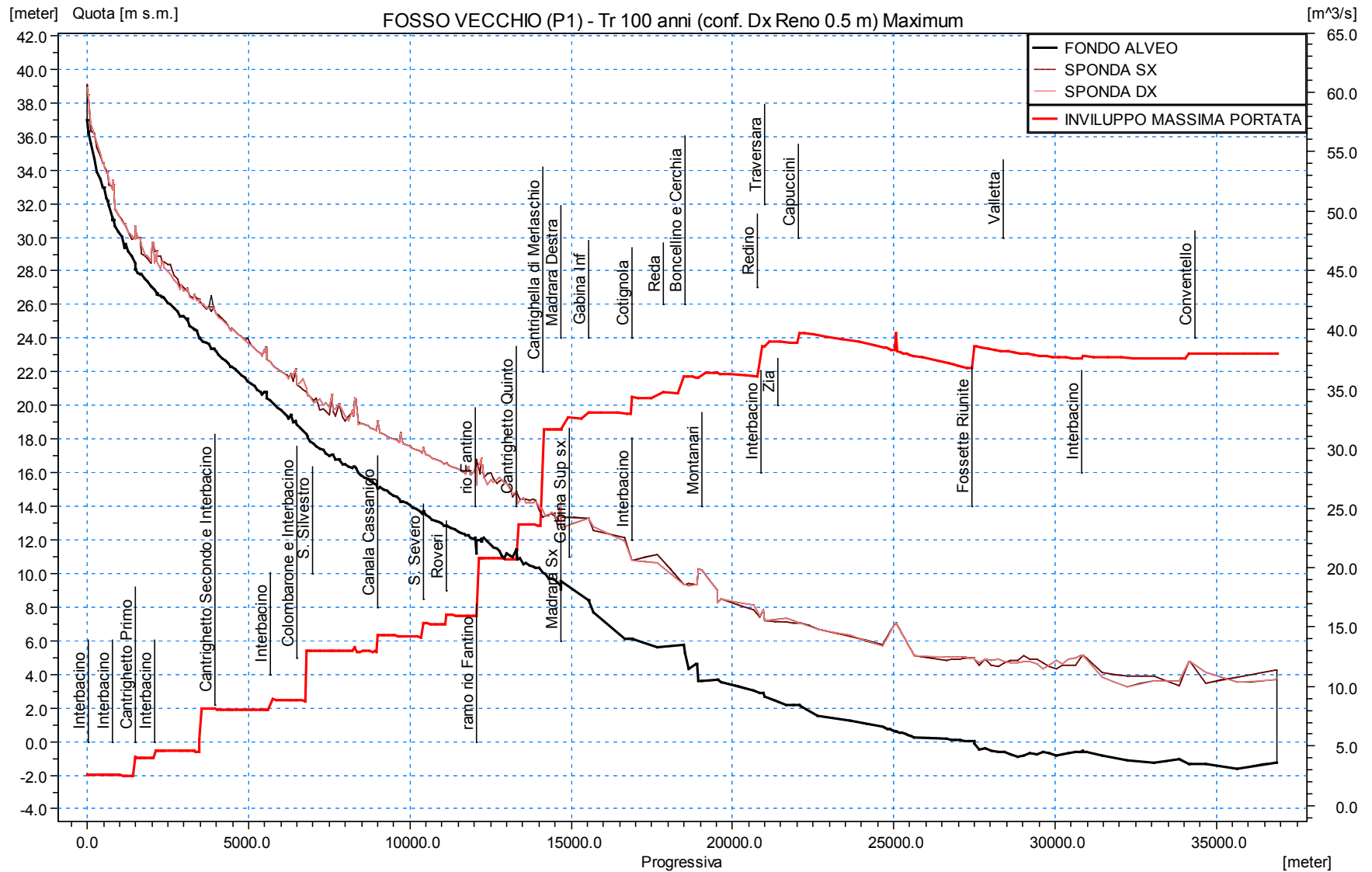


Figura 29 – Inviluppo delle massime portate del Fosso Vecchio per Tr 100 anni, nello scenario di progetto P1, con condizione di valle pari a 0.5 m s.m..

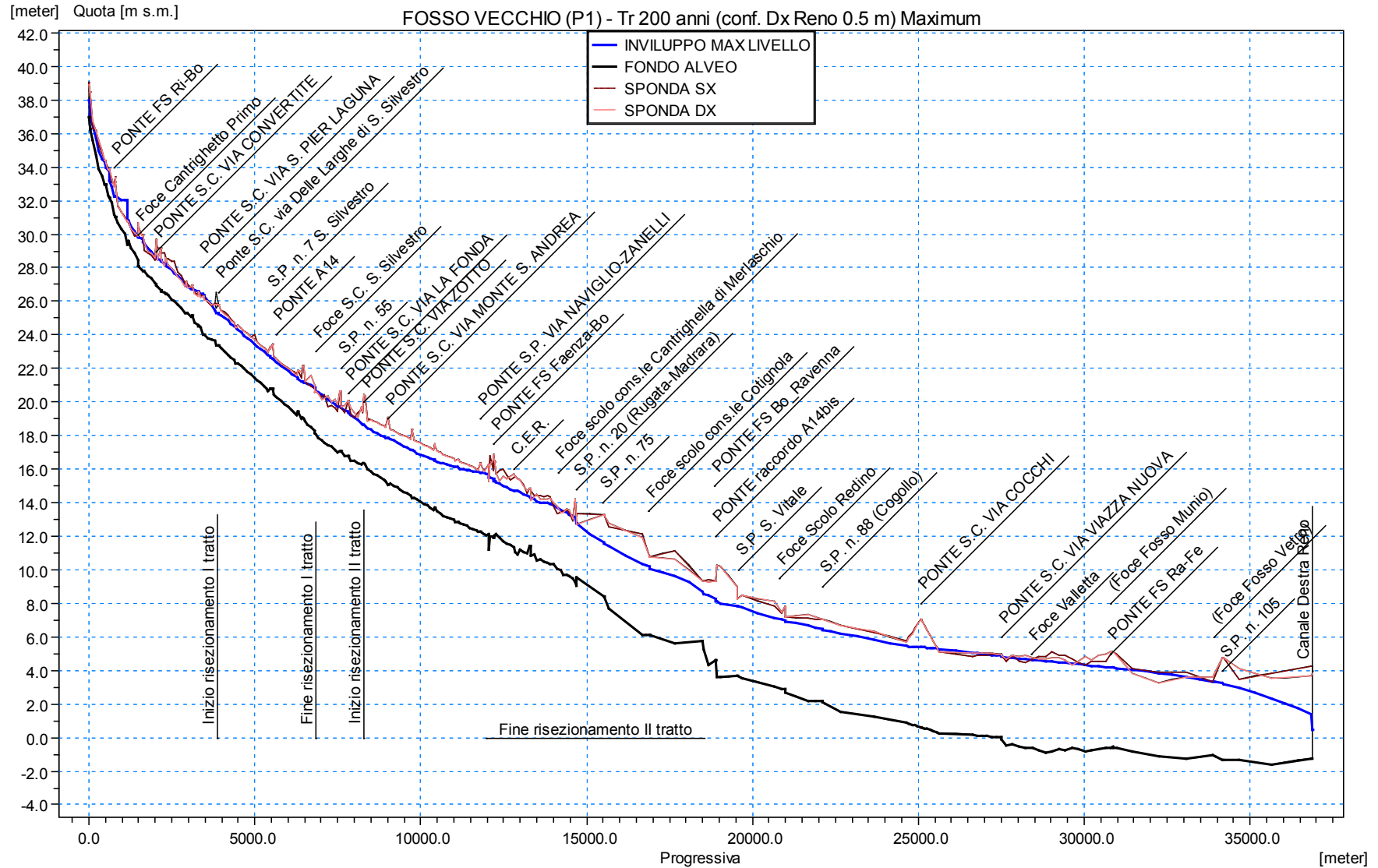


Figura 30 – Inviluppo dei massimi livelli del Fosso Vecchio per Tr 200 anni, nello scenario di progetto P1, con condizione di valle pari a 0.5 m s.m..

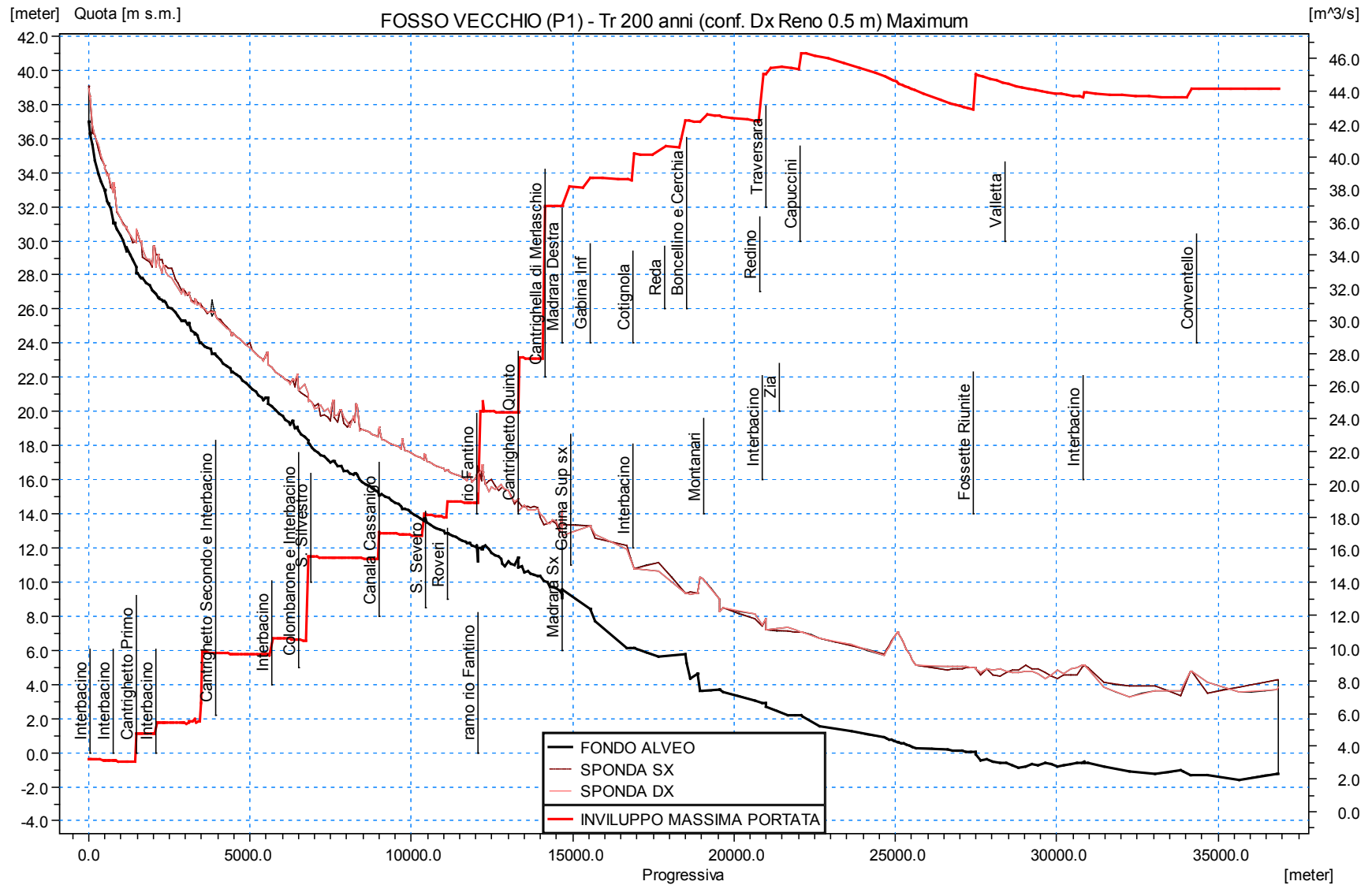


Figura 31 – Inviluppo delle massime portate del Fosso Vecchio per Tr 200 anni, nello scenario di progetto P1, con condizione di valle pari a 0.5 m s.m..

Al fine di condurre un minuzioso confronto con lo stato attuale (ATT) - assenza di interventi, compreso il risezionamento dei due tratti del Fosso Vecchio, eliminazione della condotta cls DN1000 e mantenimento della confluenza del Munio e del Vetro nel Fosso Vecchio - sono stati simulati gli eventi di piena con tempo di ritorno di 30, 50, 100 e 200 anni, per le due condizioni a valle nel Destra Reno (scenario A: tirante idrico pari a 0.5 m s.m.; B: tirante idrico corrispondente al tirante massimo per la piena trentennale).

Di seguito, inoltre, si presentano (per il solo Scenario A, che nel caso specifico non si differenzia significativamente rispetto al B) gli involuppi delle massime portate al variare del tempo di ritorno per i tre fossi, Vecchio, Munio e Vetro (figure 32, 33 e 34).

Si riportano inoltre sui profili longitudinali di ogni singolo fosso gli involuppi dei massimi tiranti e delle massime portate (per $Tr = 30, 50, 100$ e 200 anni); come già anticipato nei paragrafi precedenti, tutti i grafici riguardanti la configurazione geometrica definita di stato attuale [ATT], in termini di involuppo sia dei picchi di piena che dei colmi di portata, sono infatti riportati - con adeguata didascalia - dalla figura 35 alla figura 85.

Si può osservare come allo stato attuale il Fosso Vecchio presenti criticità ridotte solo per eventi con tempo di ritorno non superiore al trentennale, mentre per il Fosso Munio e per il fosso Vetro le criticità sono non trascurabili anche per eventi con tempo di ritorno 30 anni; poiché il tirante nelle sezioni più vallive di questi ultimi risente del livello idrico presente nel Fosso Vecchio in corrispondenza della loro stessa sezione di ingresso, è ovvio che interventi sul Fosso Vecchio che inducono una riduzione del tirante massimo avranno effetti positivi anche sul Munio e sul Vetro.

STATO ATTUALE [ATT]

SCENARIO A (DESTRA RENO IN CONDIZIONI NORMALI DI DEFLUSSO $h_{valle} = 0.5$ m s.m.)

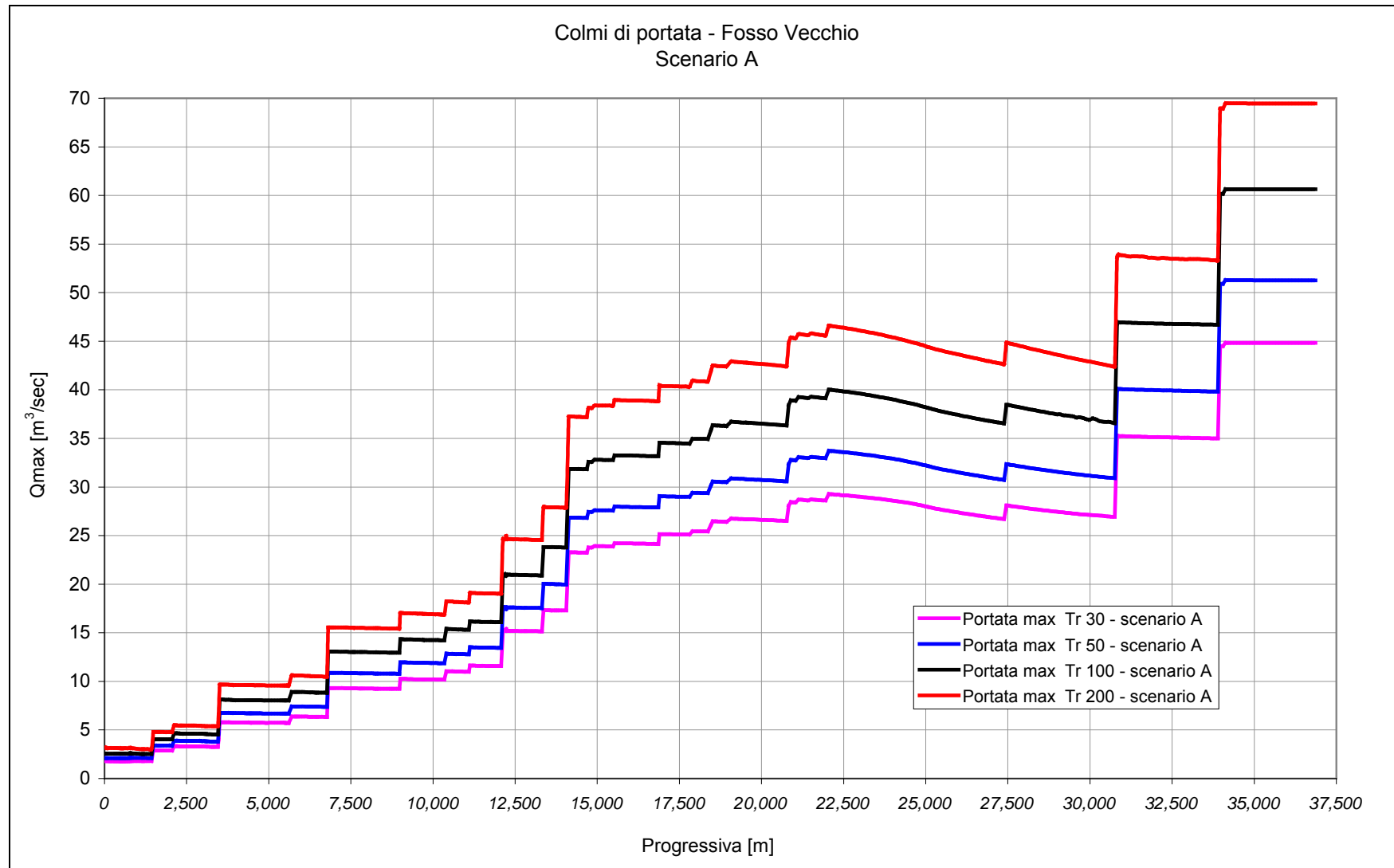


Figura 32 – Inviluppo delle massime portate del Fosso Vecchio per Tr 30, 50, 100 e 200 anni, nello scenario attuale (A).

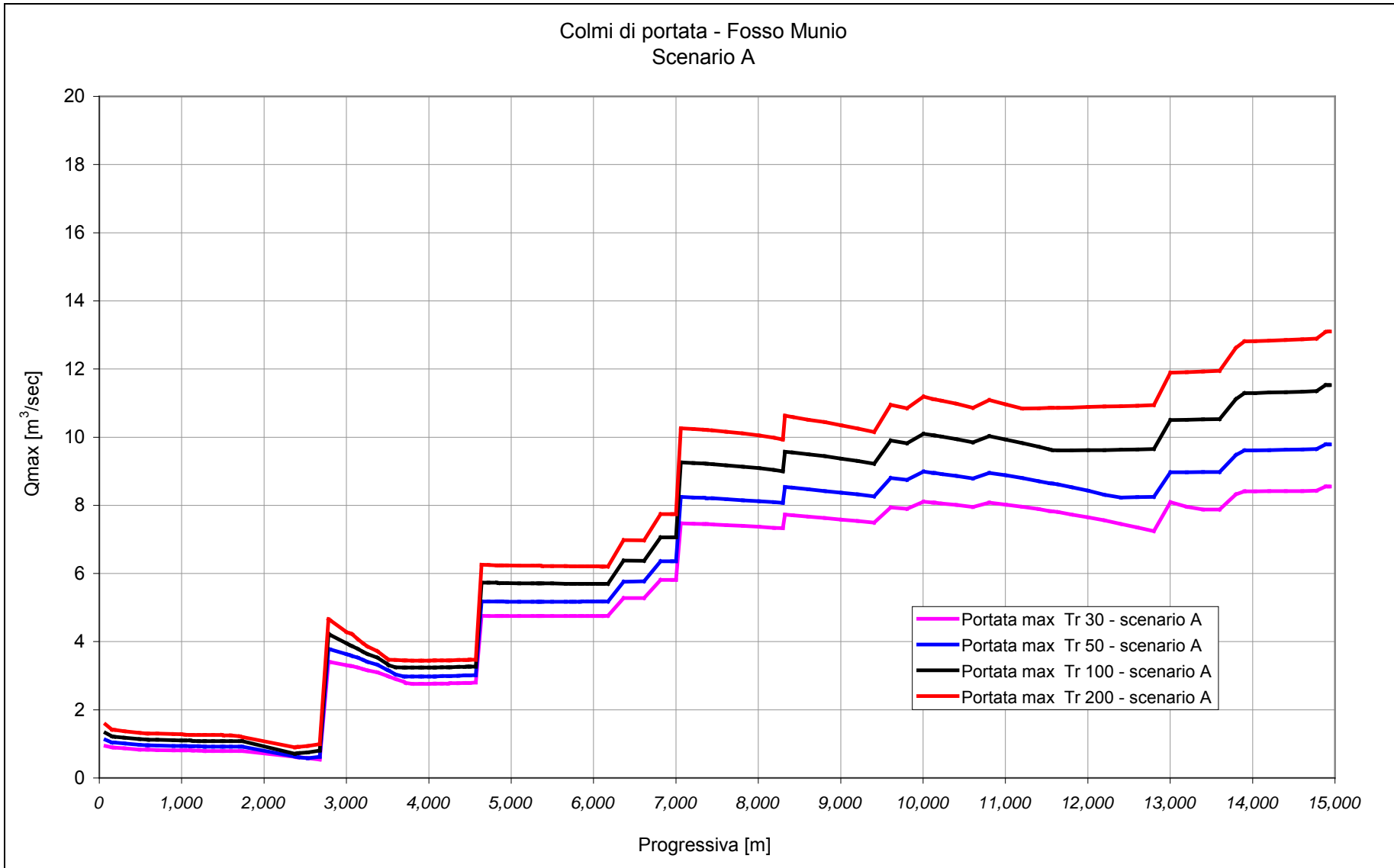


Figura 33 – Involuppo delle massime portate del Fosso Munio per Tr 30, 50, 100 e 200 anni, nello scenario attuale (A).

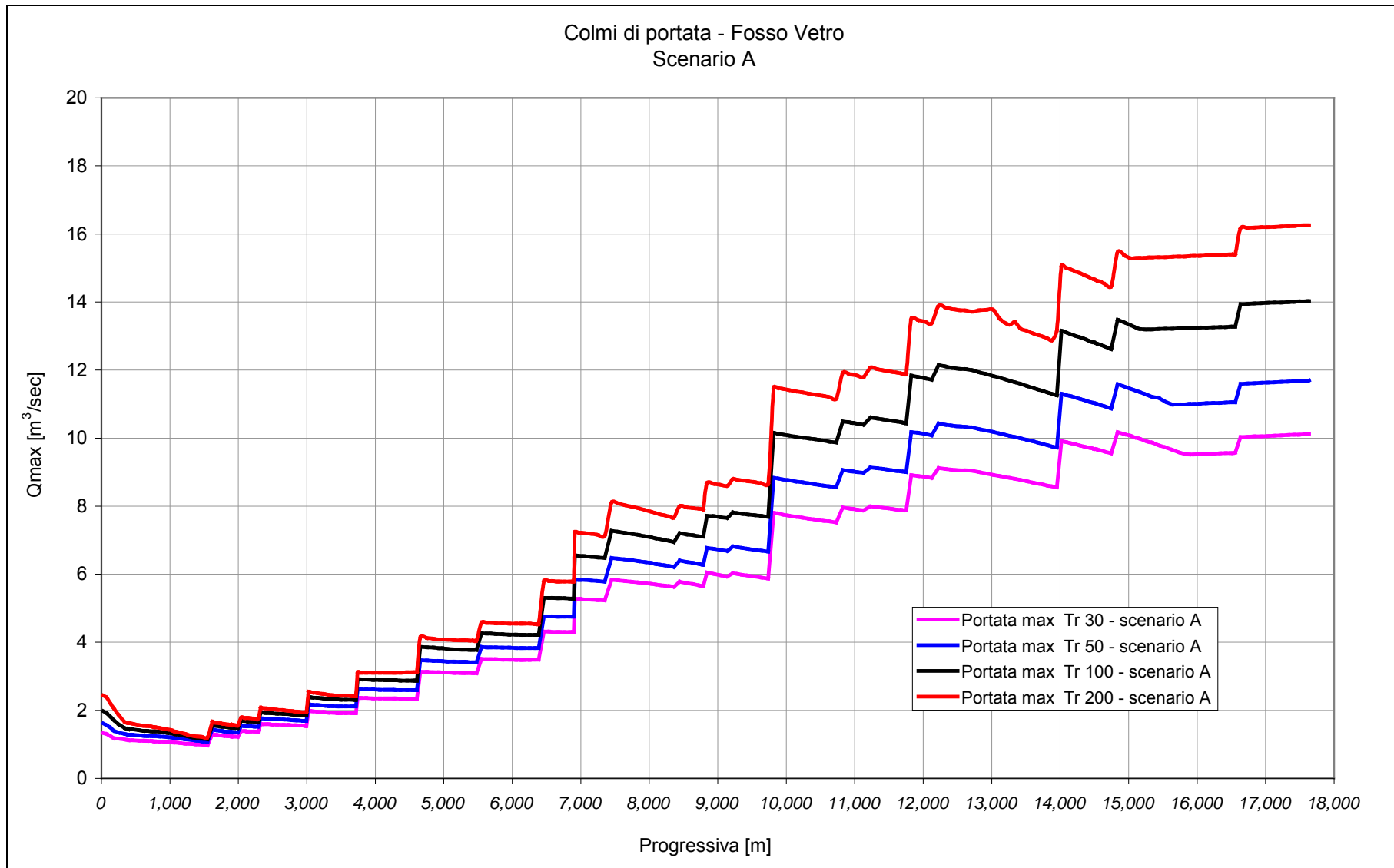


Figura 34 – Involuppo delle massime portate del Fosso Vetro per Tr 30, 50, 100 e 200 anni, nello scenario attuale (A).

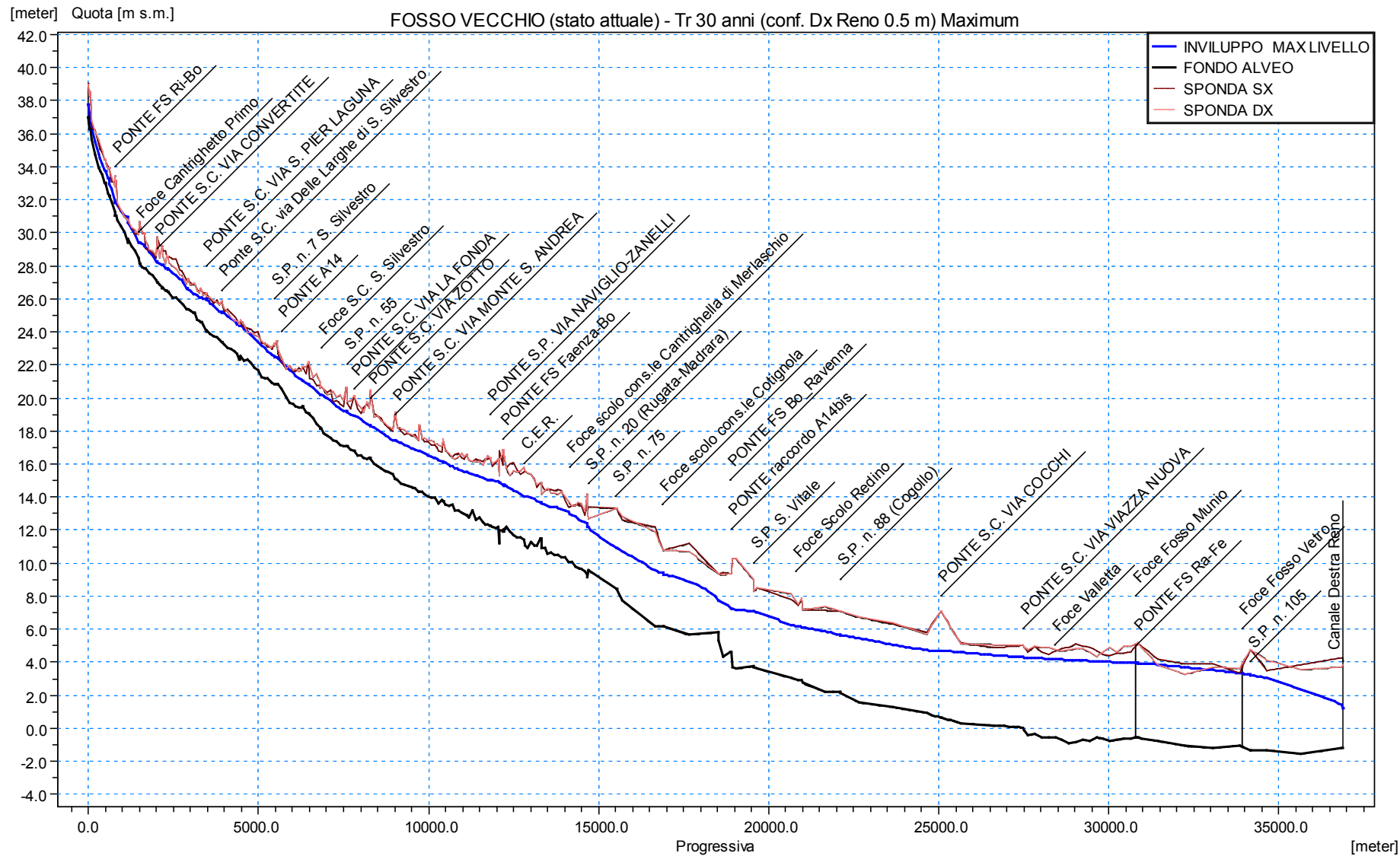


Figura 35 – Inviluppo dei massimi livelli del Fosso Vecchio per Tr 30 anni, nello scenario attuale (A).

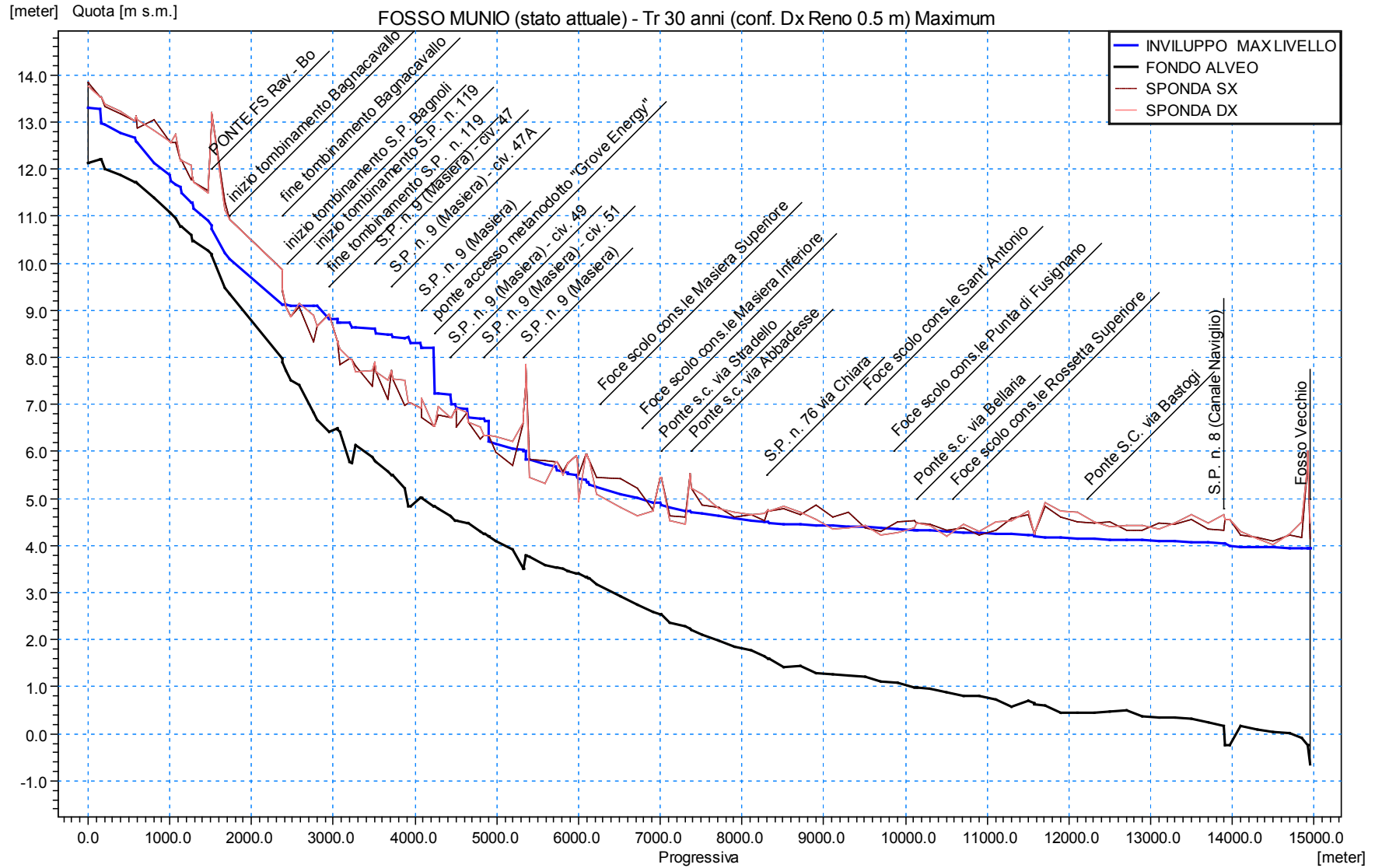


Figura 36 – Inviluppo dei massimi livelli del Fosso Munio per Tr 30 anni, nello scenario attuale (A).

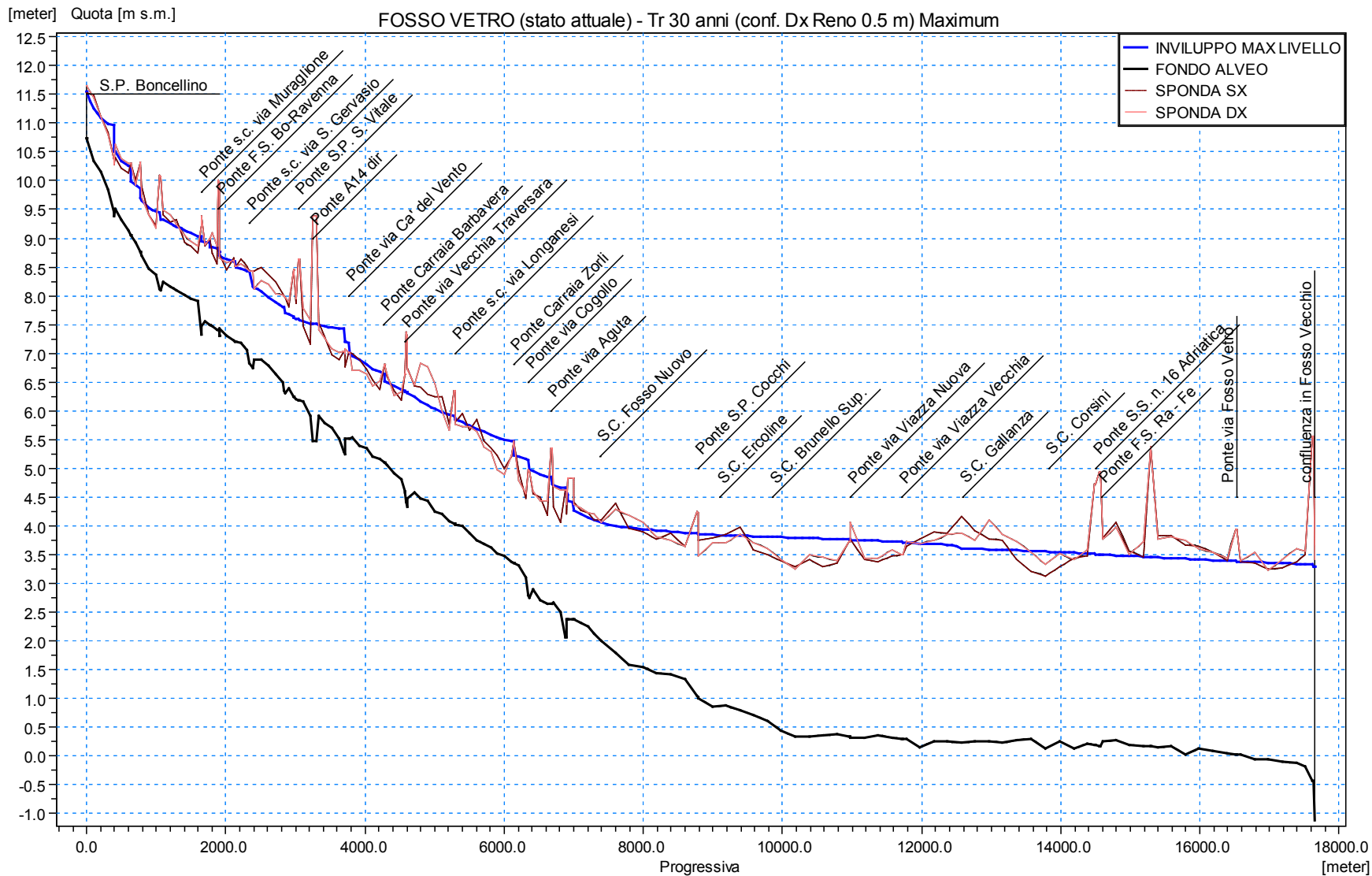


Figura 37 – Involuppo dei massimi livelli del Fosso Vetro per Tr 30 anni, nello scenario attuale (A).

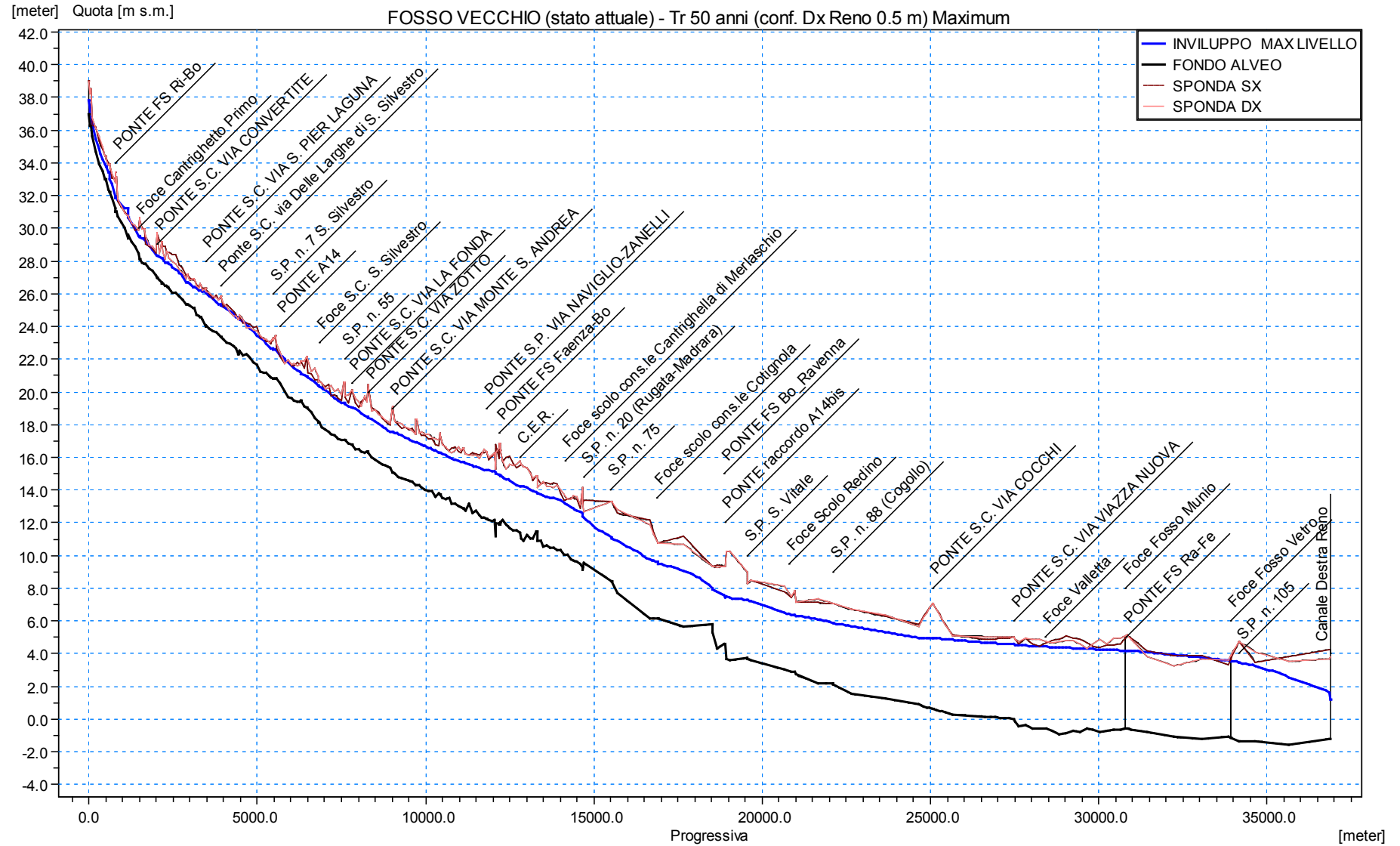


Figura 38 – Inviluppo dei massimi di livello del Fosso Vecchio per Tr 50 anni, nello scenario attuale (A).

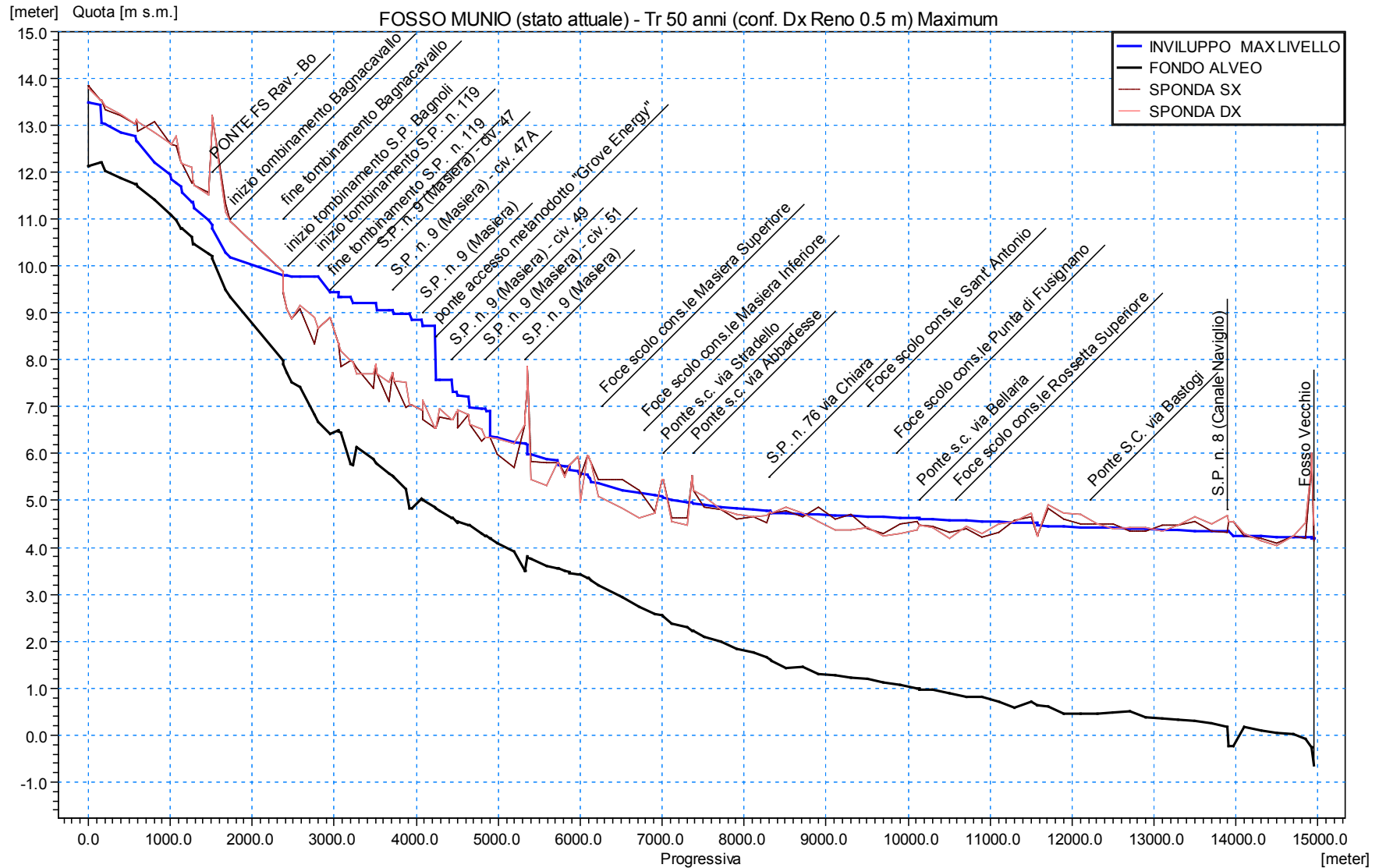


Figura 39 – Inviluppo dei massimi di livello del Fosso Munio per Tr 50 anni, nello scenario attuale (A).

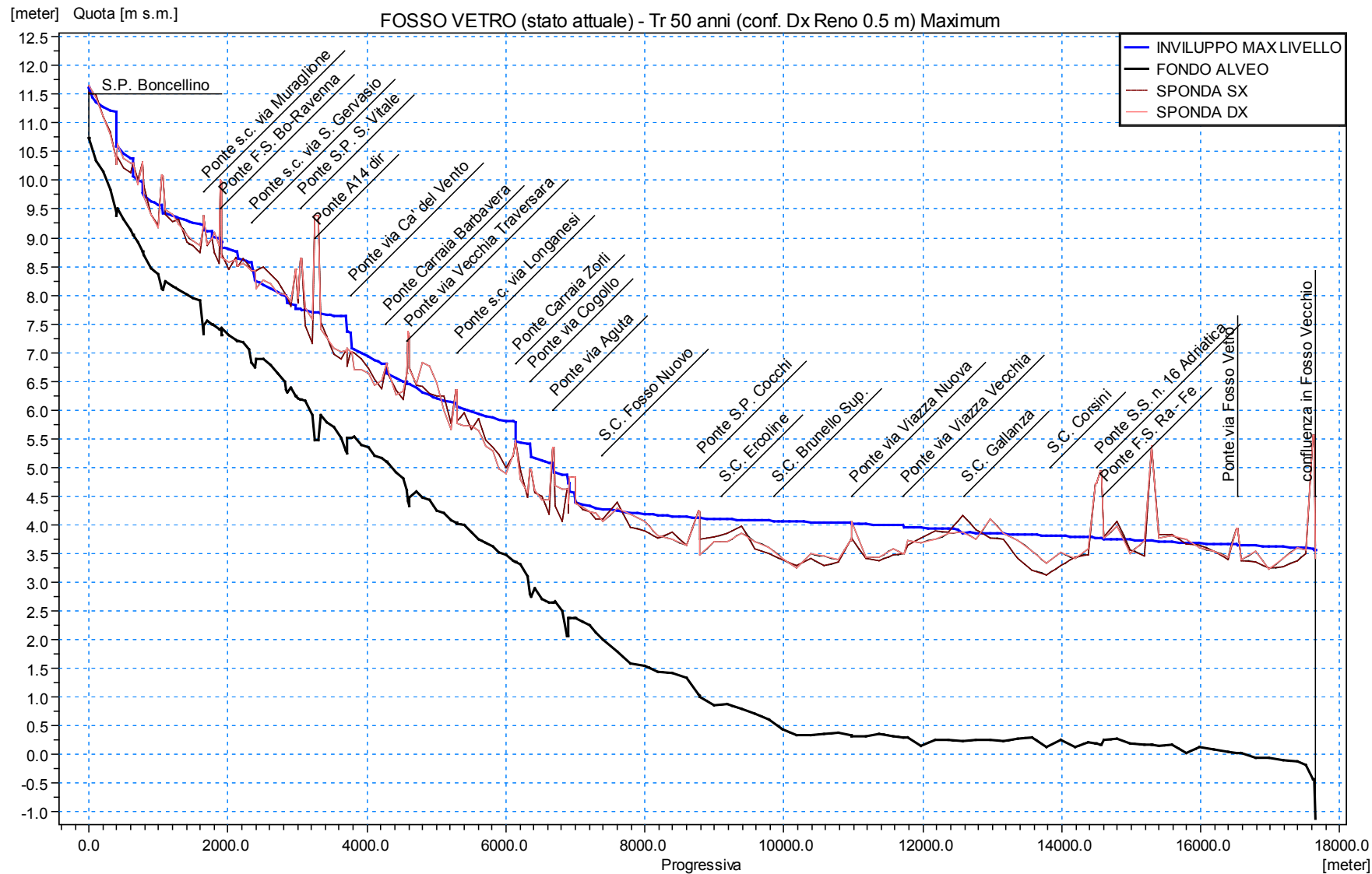


Figura 40 – Inviluppo dei massimi di livello del Fosso Vetro per Tr 50 anni, nello scenario attuale (A).

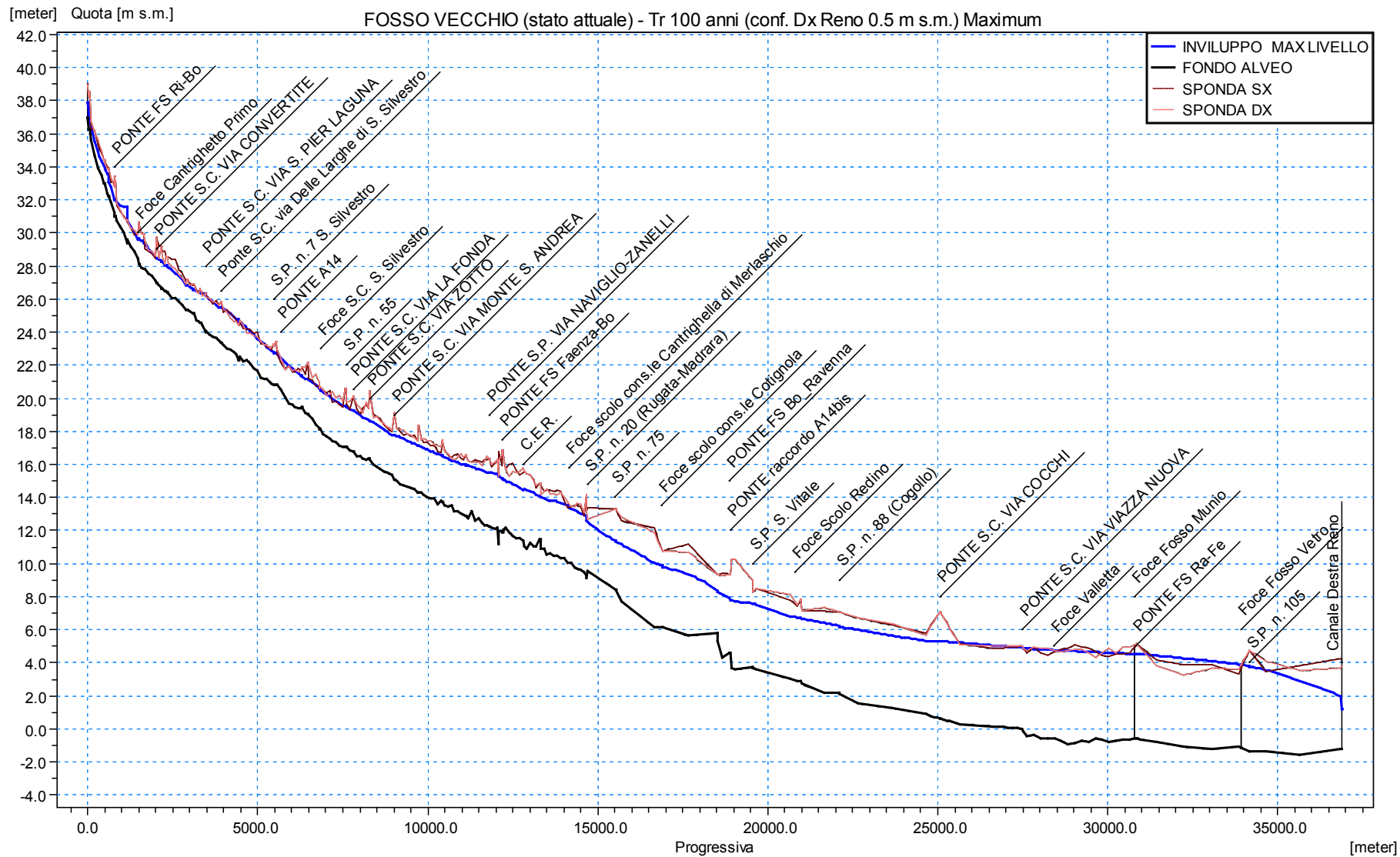


Figura 41 –Inviluppo dei massimi livelli del Fosso Vecchio per Tr 100 anni, nello scenario attuale (A).

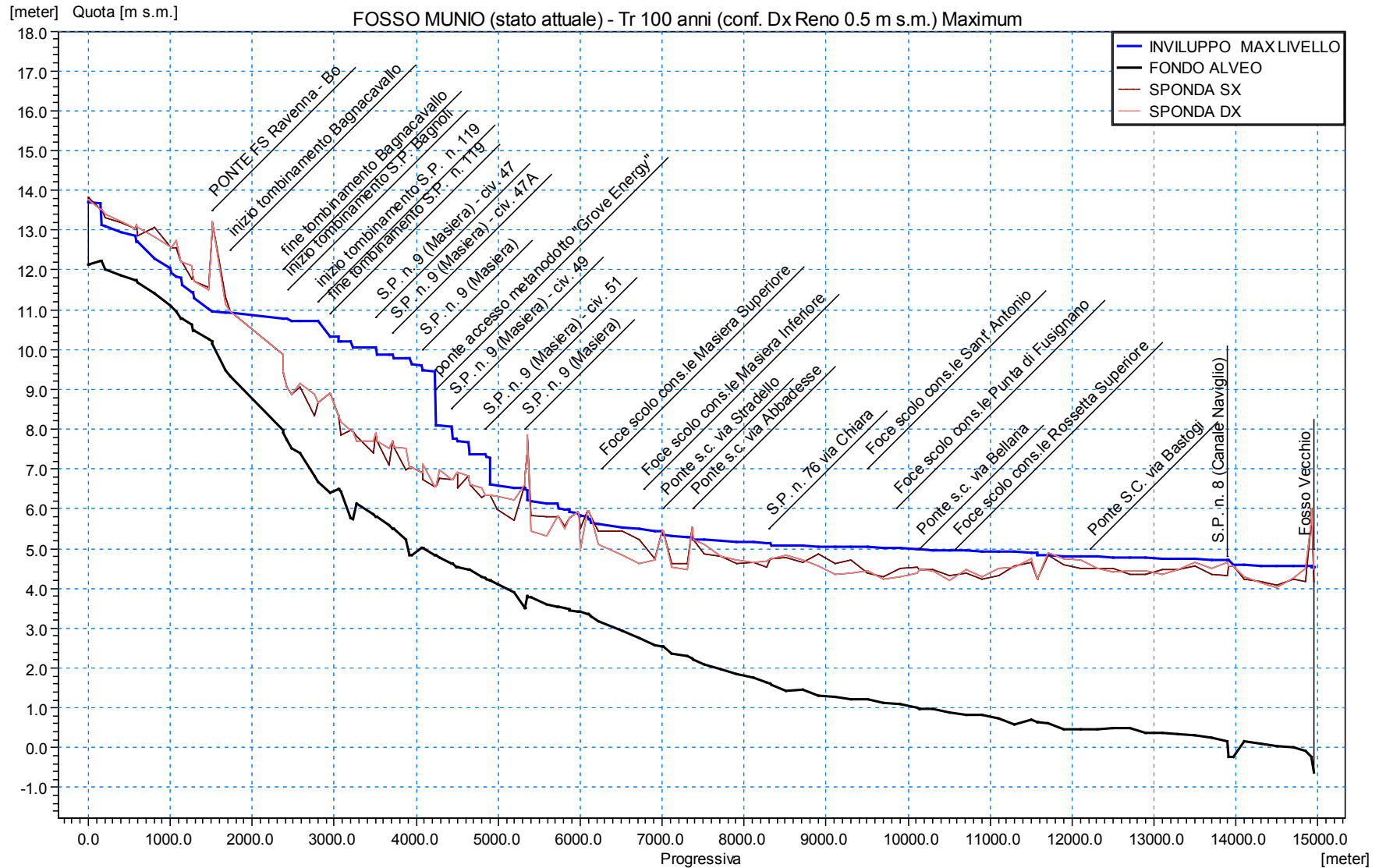


Figura 42 –Inviluppo dei massimi livelli del Fosso Munio per Tr 100 anni, nello scenario attuale (A).

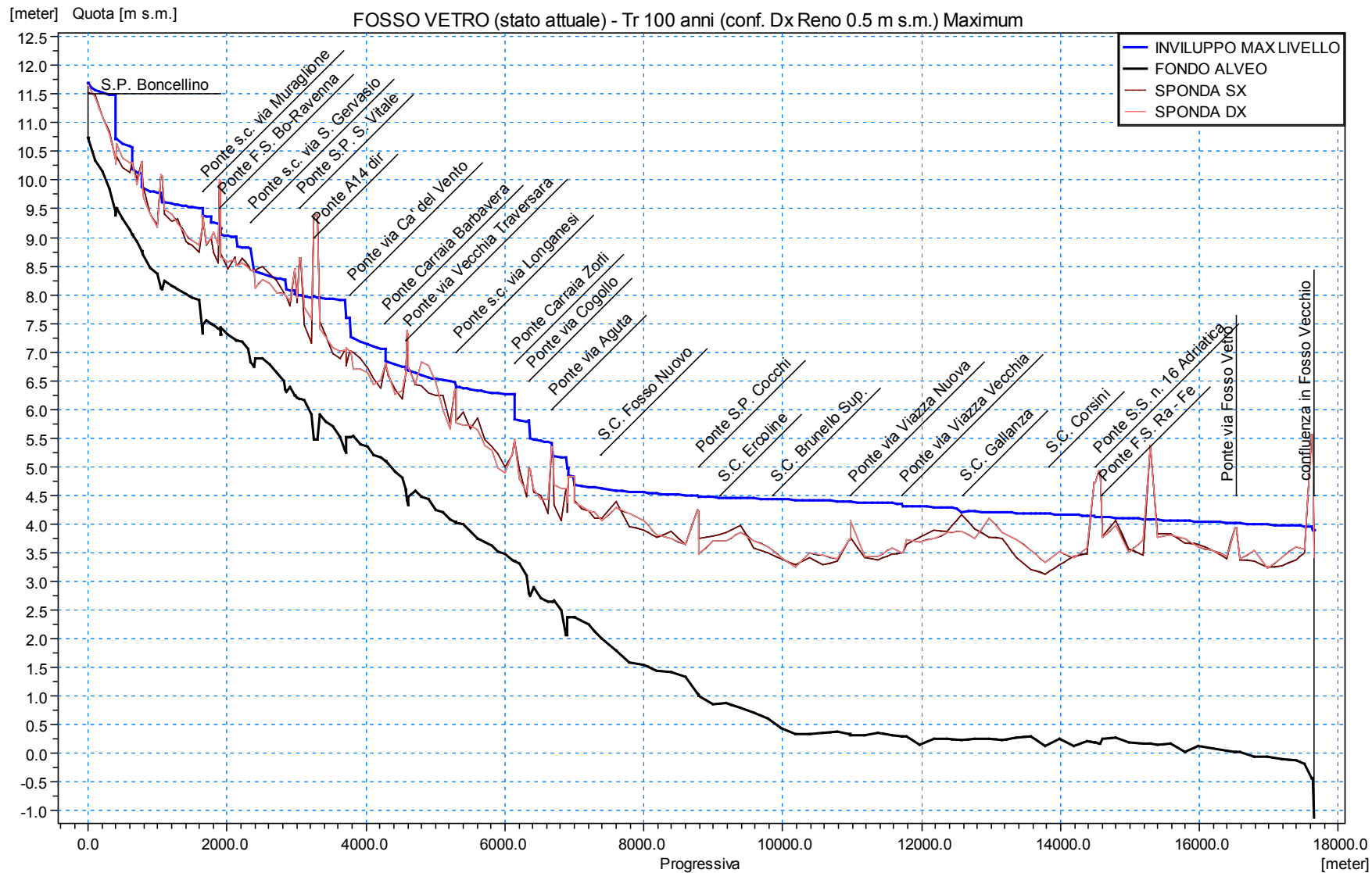


Figura 43 –Inviluppo dei massimi livelli del Fosso Vetro per Tr 100 anni, nello scenario attuale (A).

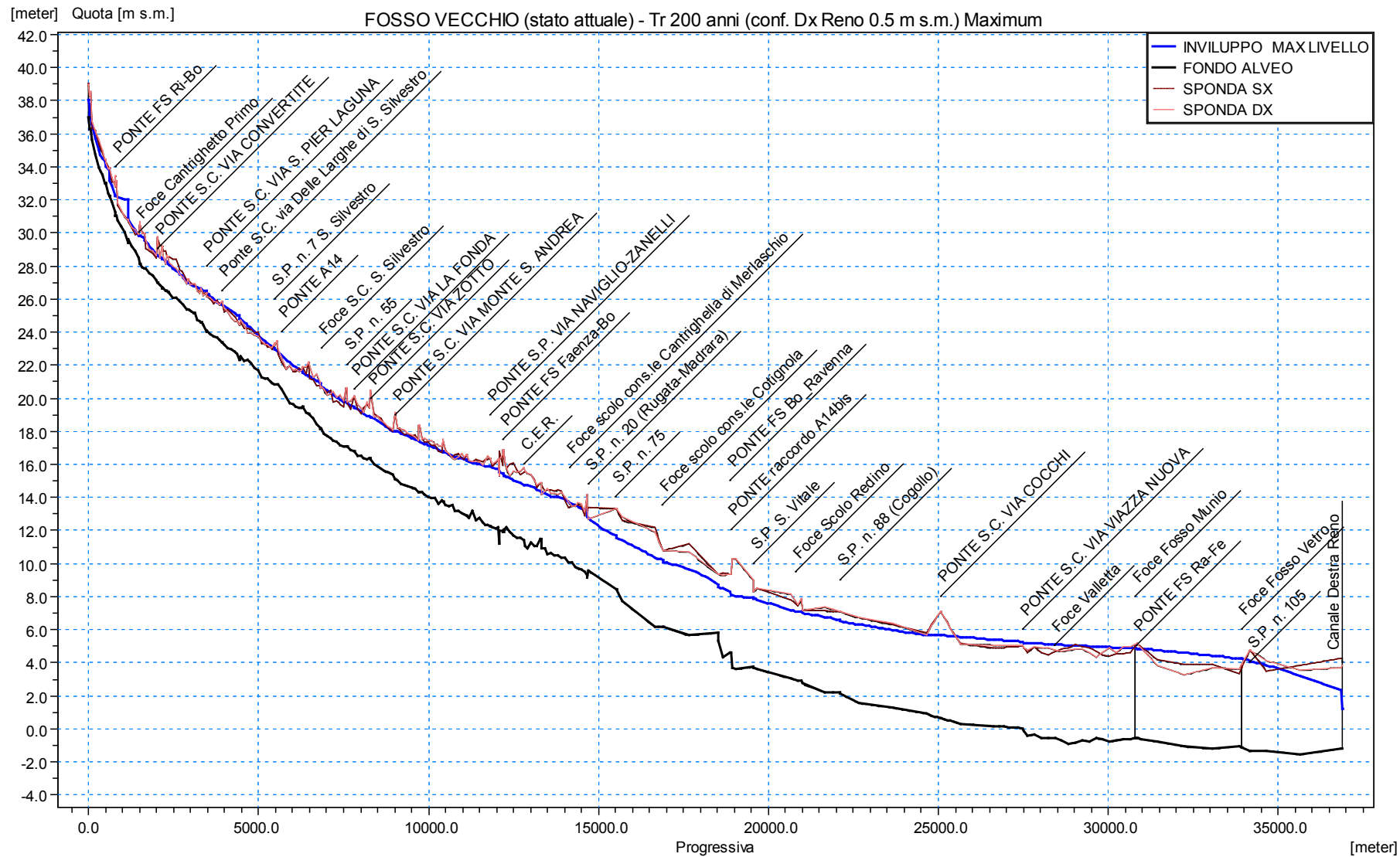


Figura 44 –Inviluppo dei massimi livelli del Fosso Vecchio per Tr 200 anni, nello scenario attuale (A).

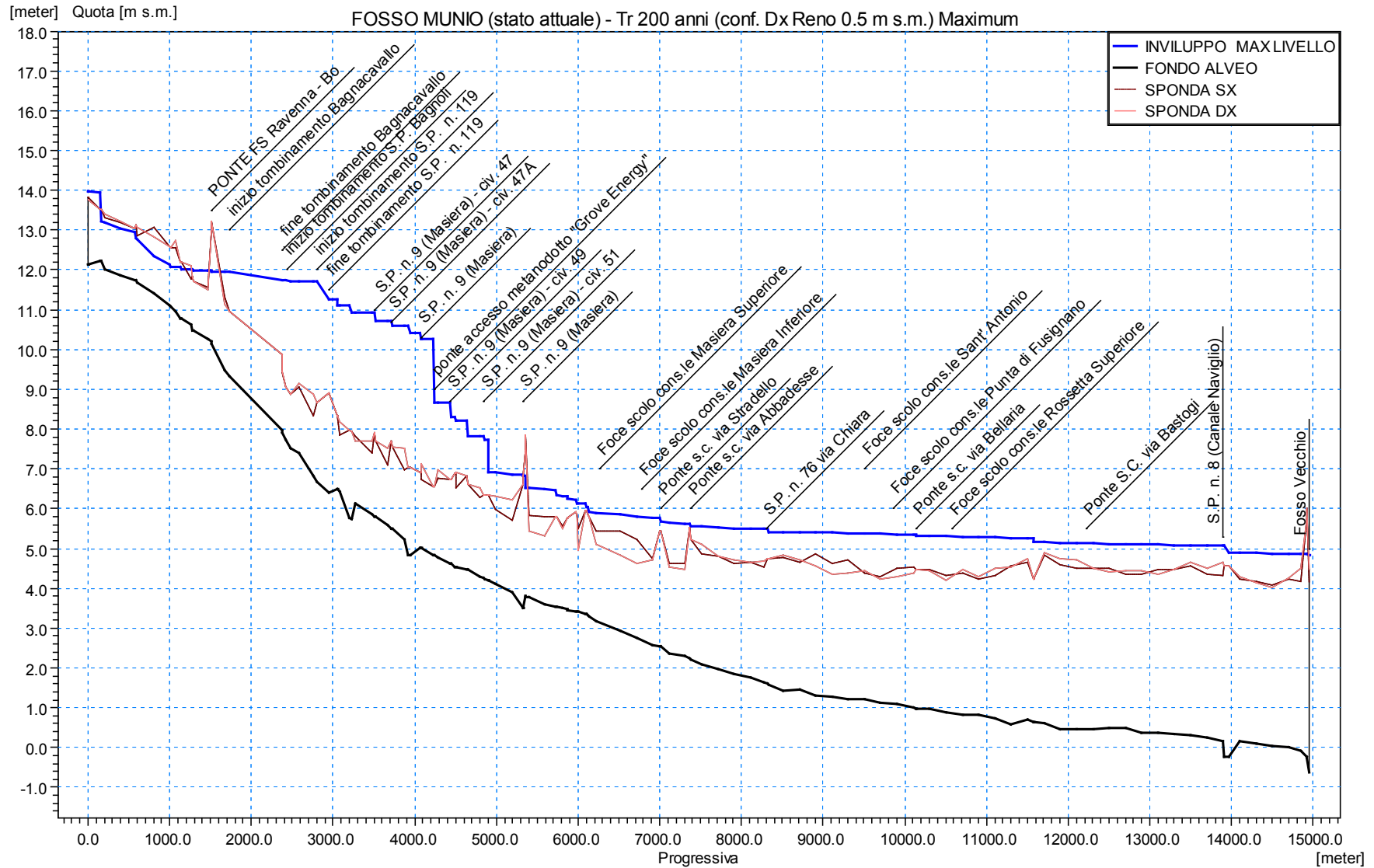


Figura 45 –Inviluppo dei massimi livelli del Fosso Munio per Tr 200 anni, nello scenario attuale (A).

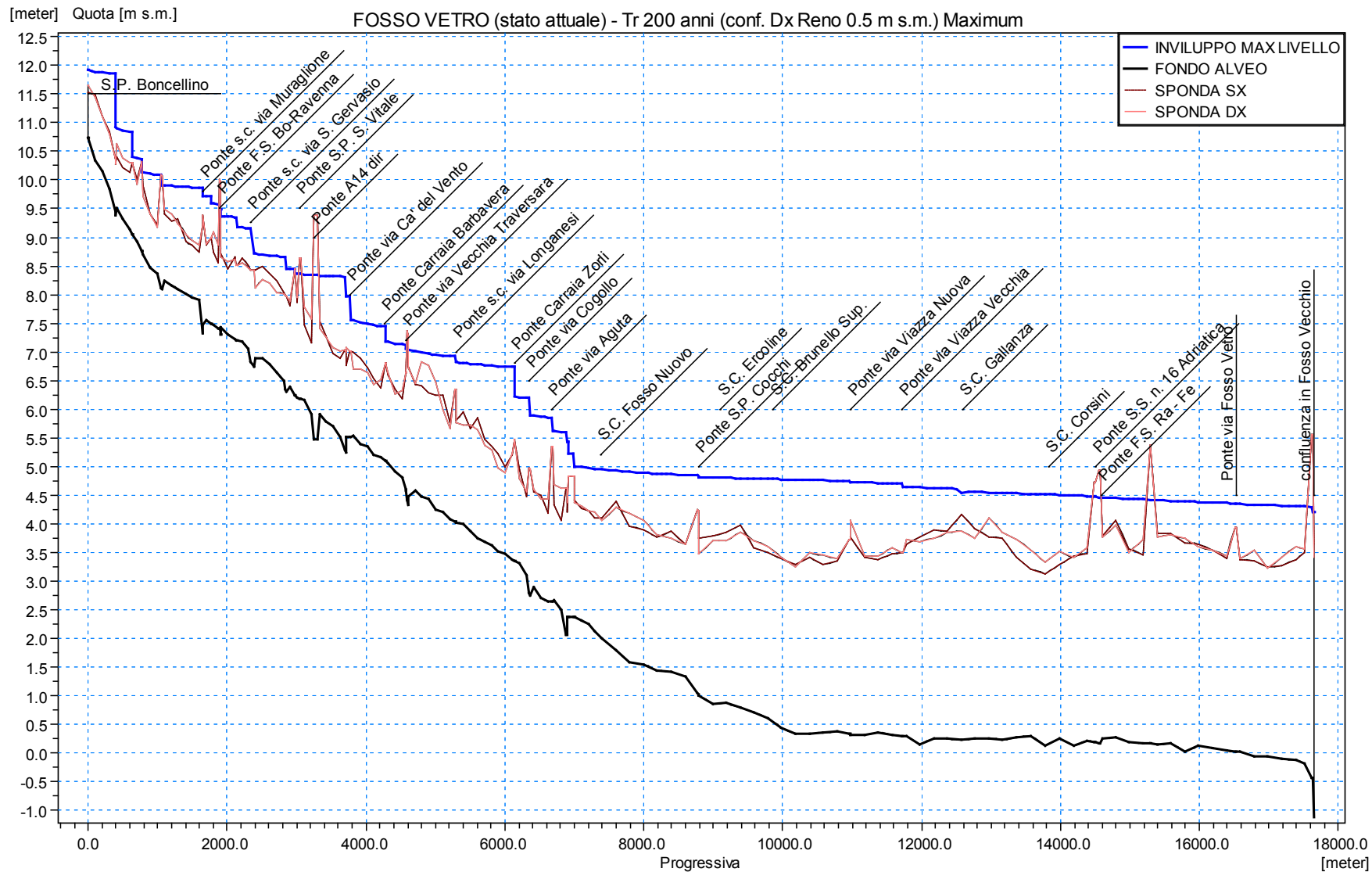


Figura 46 –Inviluppo dei massimi livelli del Fosso Vetro per Tr 200 anni, nello scenario attuale (A).

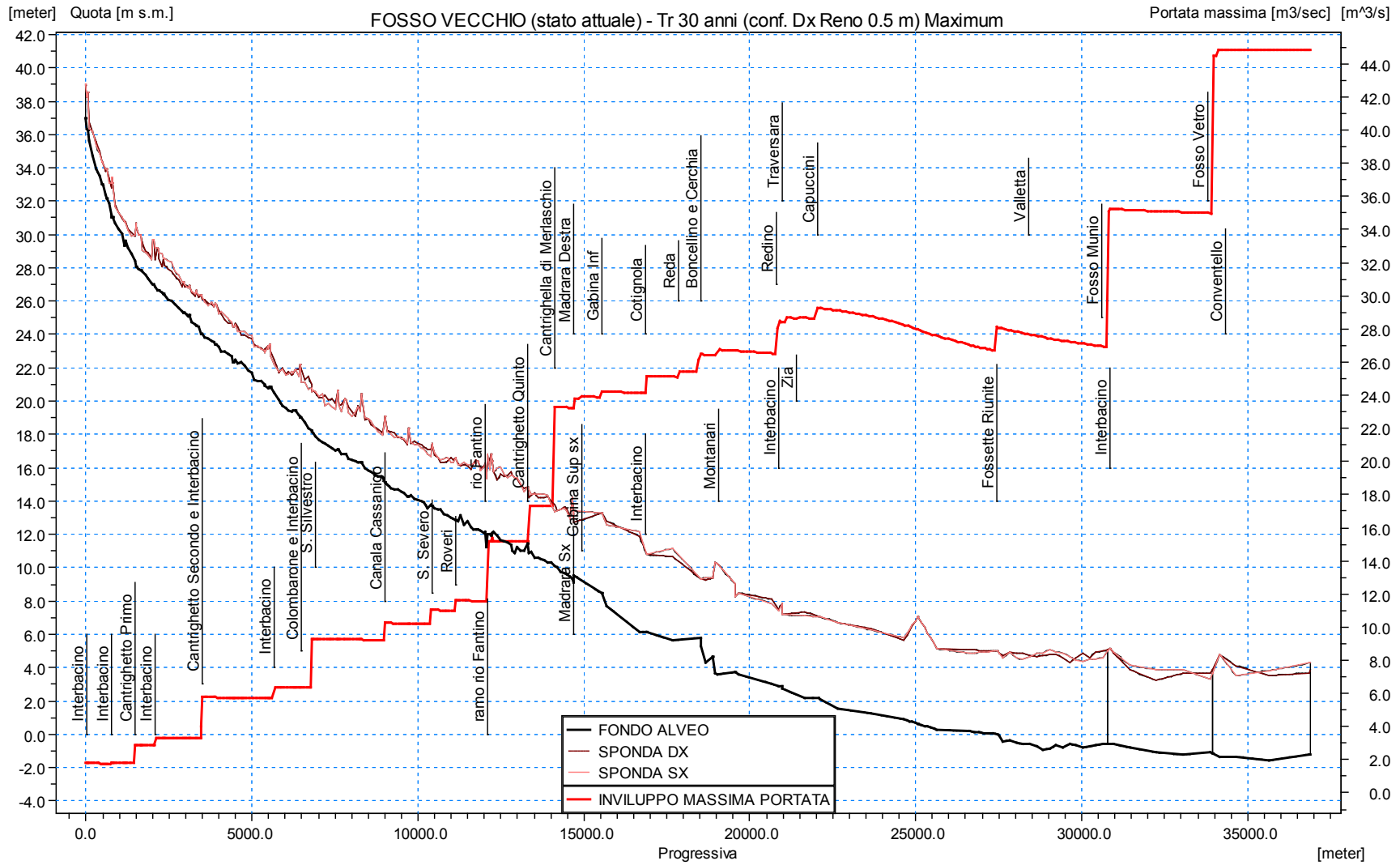


Figura 47 – Inviluppo dei massimi di portata del Fosso Vecchio per Tr 30 anni, nello scenario attuale (A).

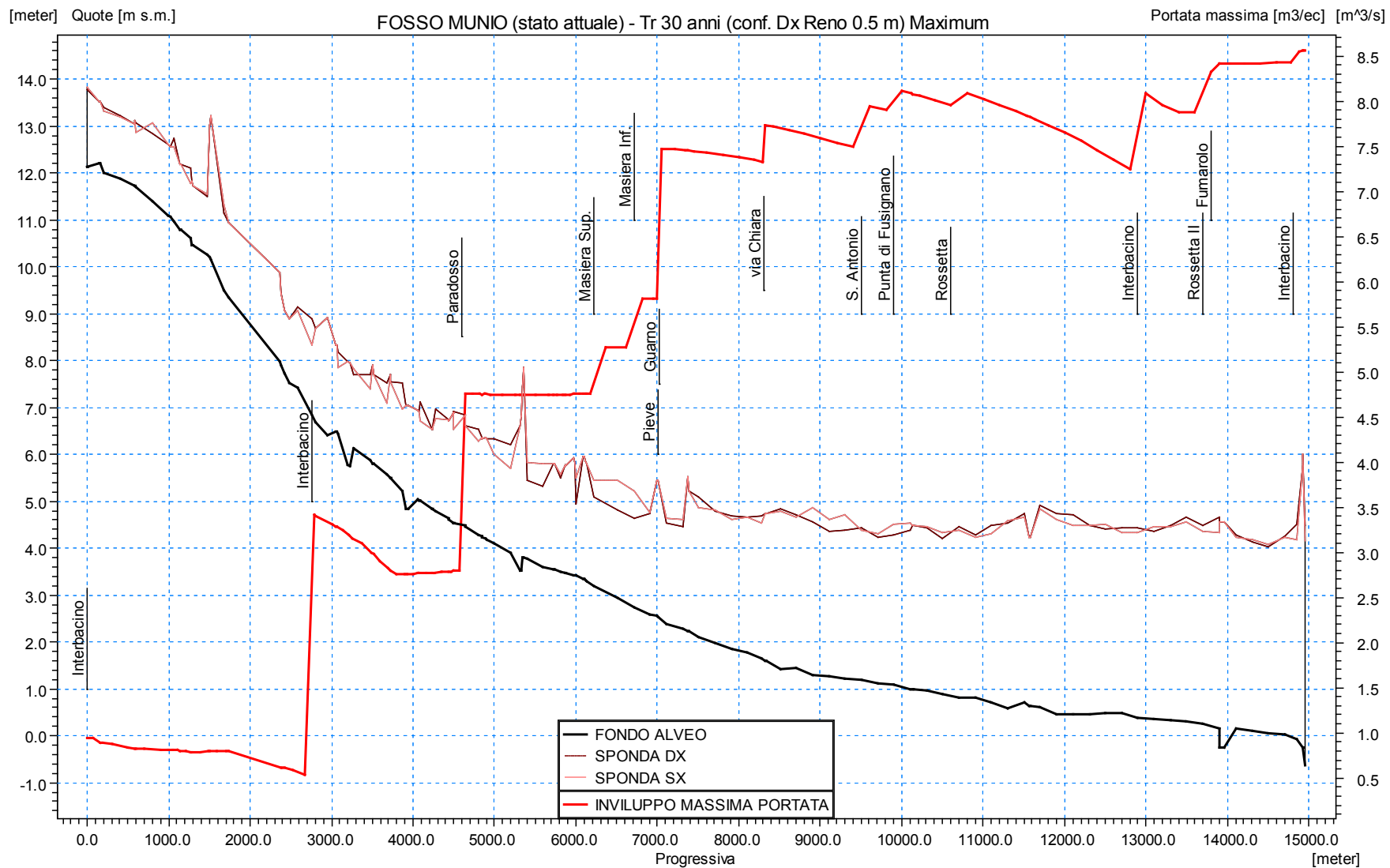


Figura 48 – Inviluppo dei massimi di portata del Fosso Munio per Tr 30 anni, nello scenario attuale (A).

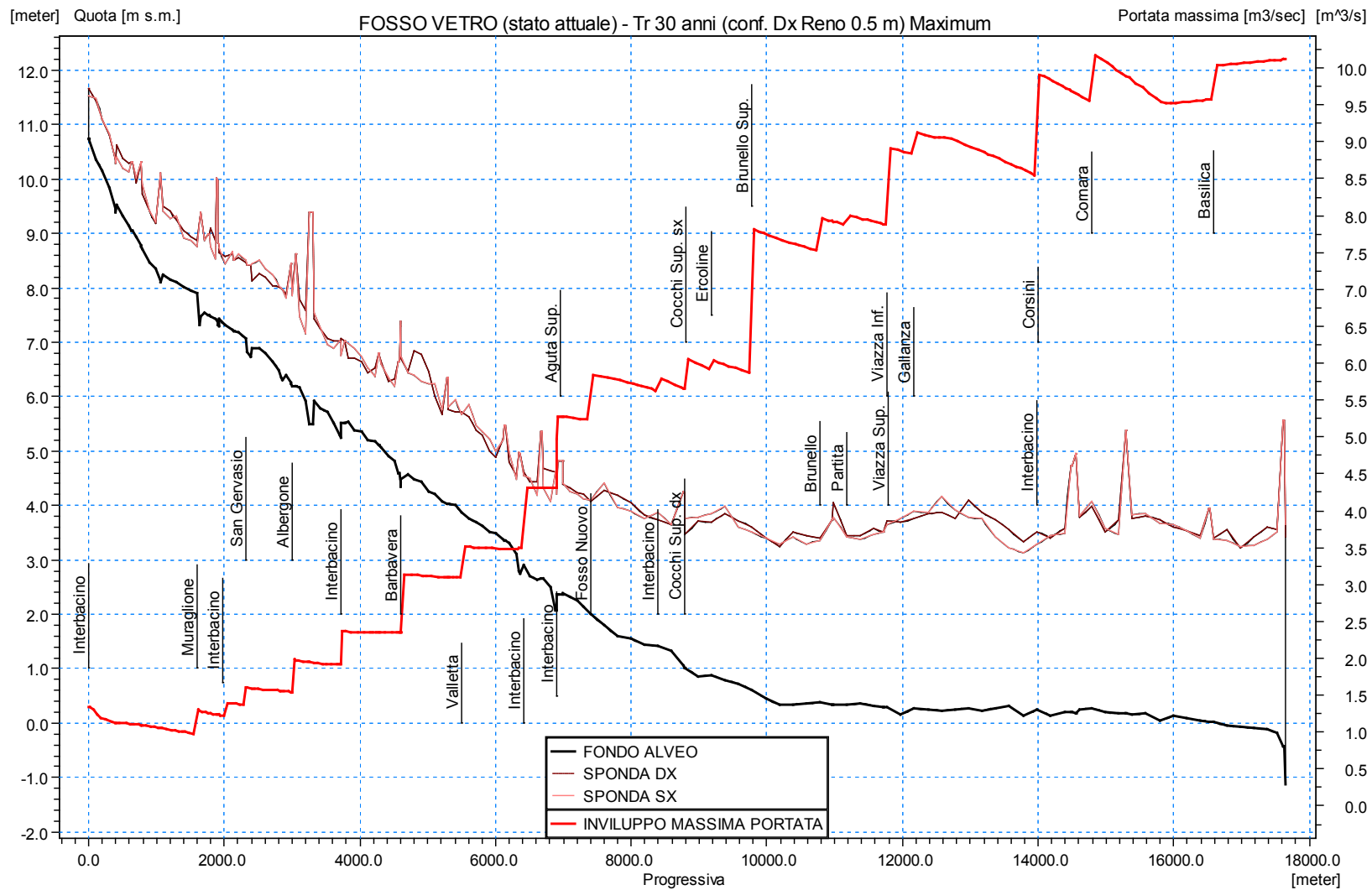


Figura 49 – Inviluppo dei massimi di portata del Fosso Vetro per Tr 30 anni, nello scenario attuale (A).

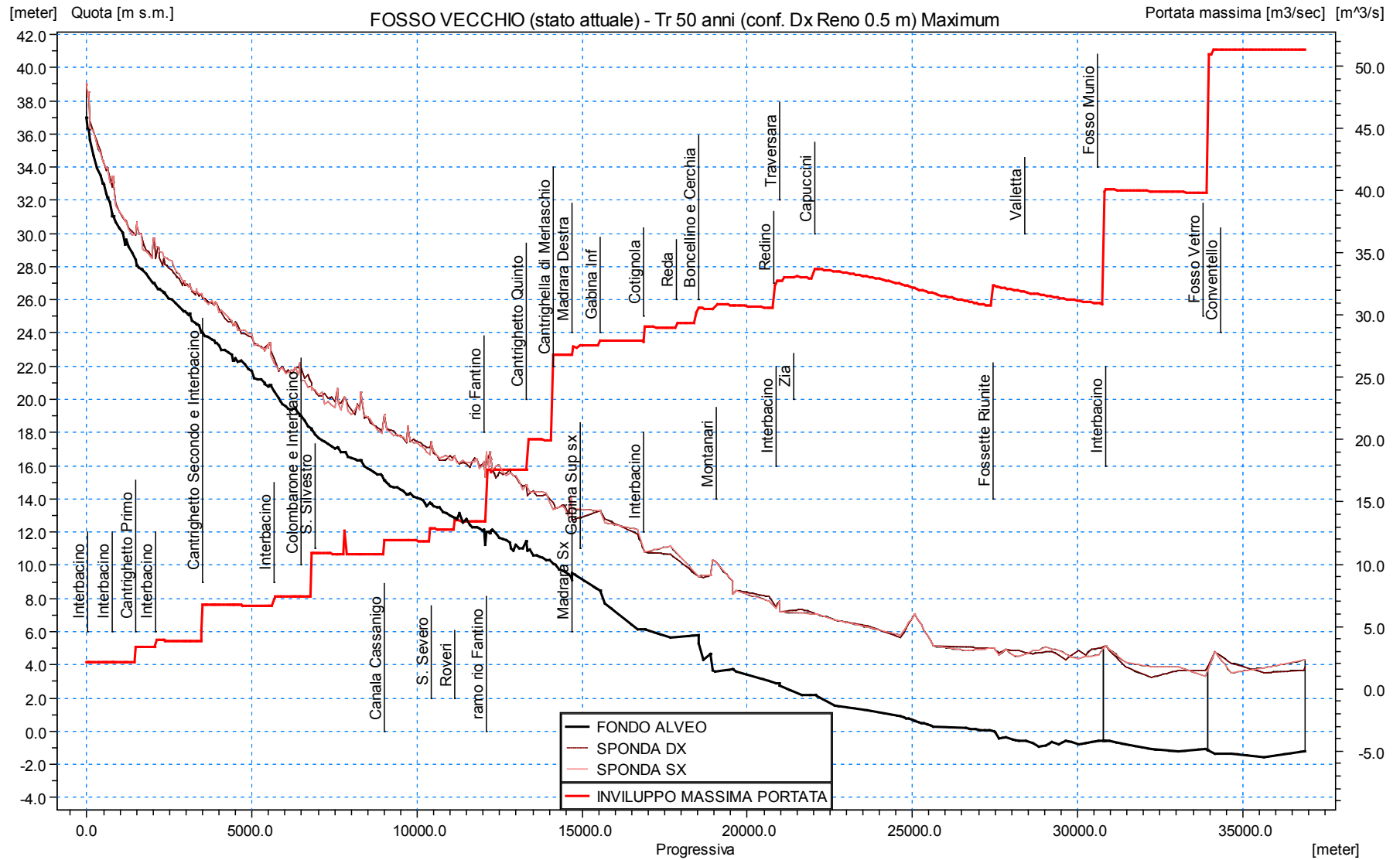


Figura 50 – Inviluppo dei massimi di portata del Fosso Vecchio per Tr 50 anni, nello scenario attuale (A).

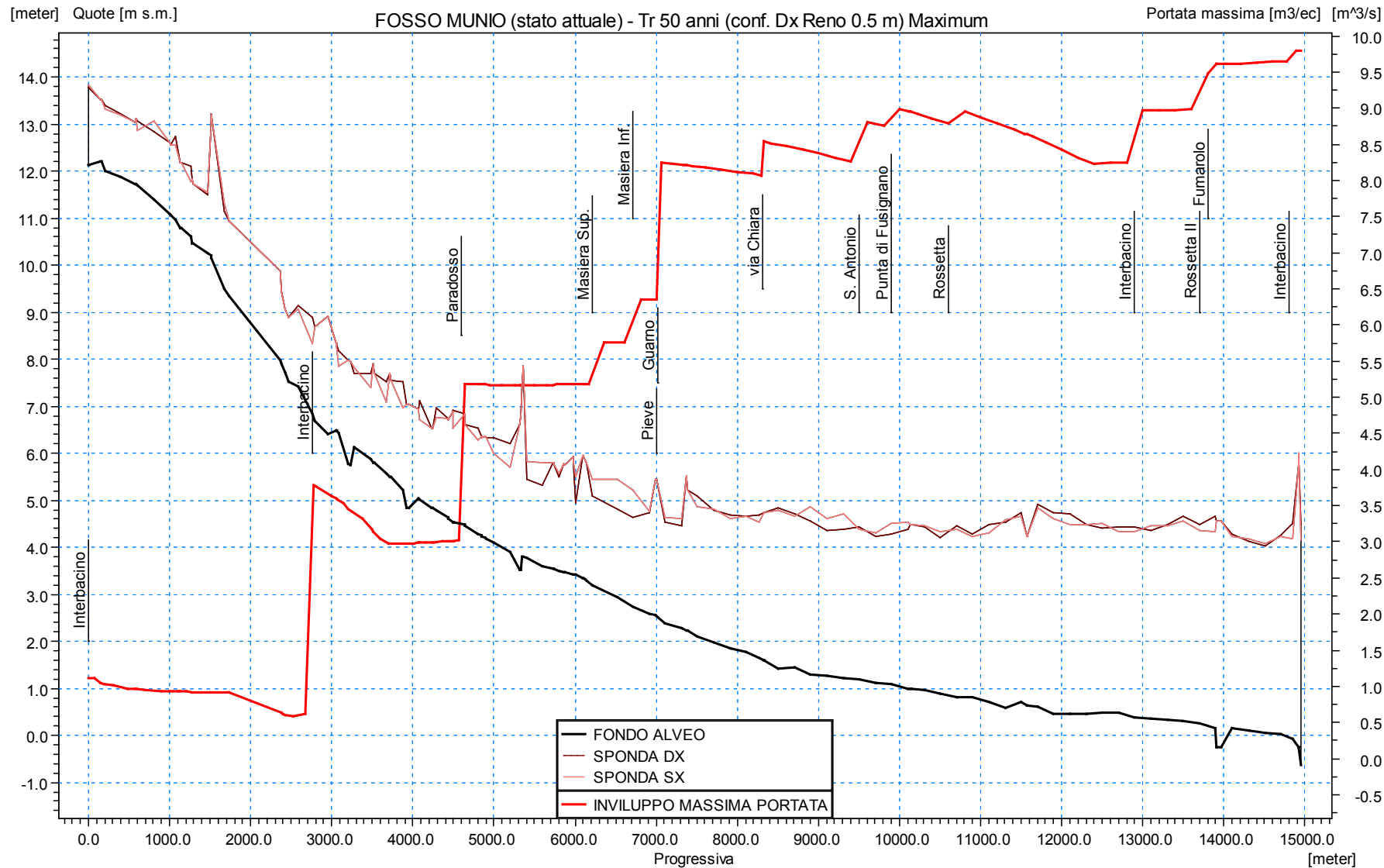


Figura 51 – Inviluppo dei massimi di portata del Fosso Munio per Tr 50 anni, nello scenario attuale (A).

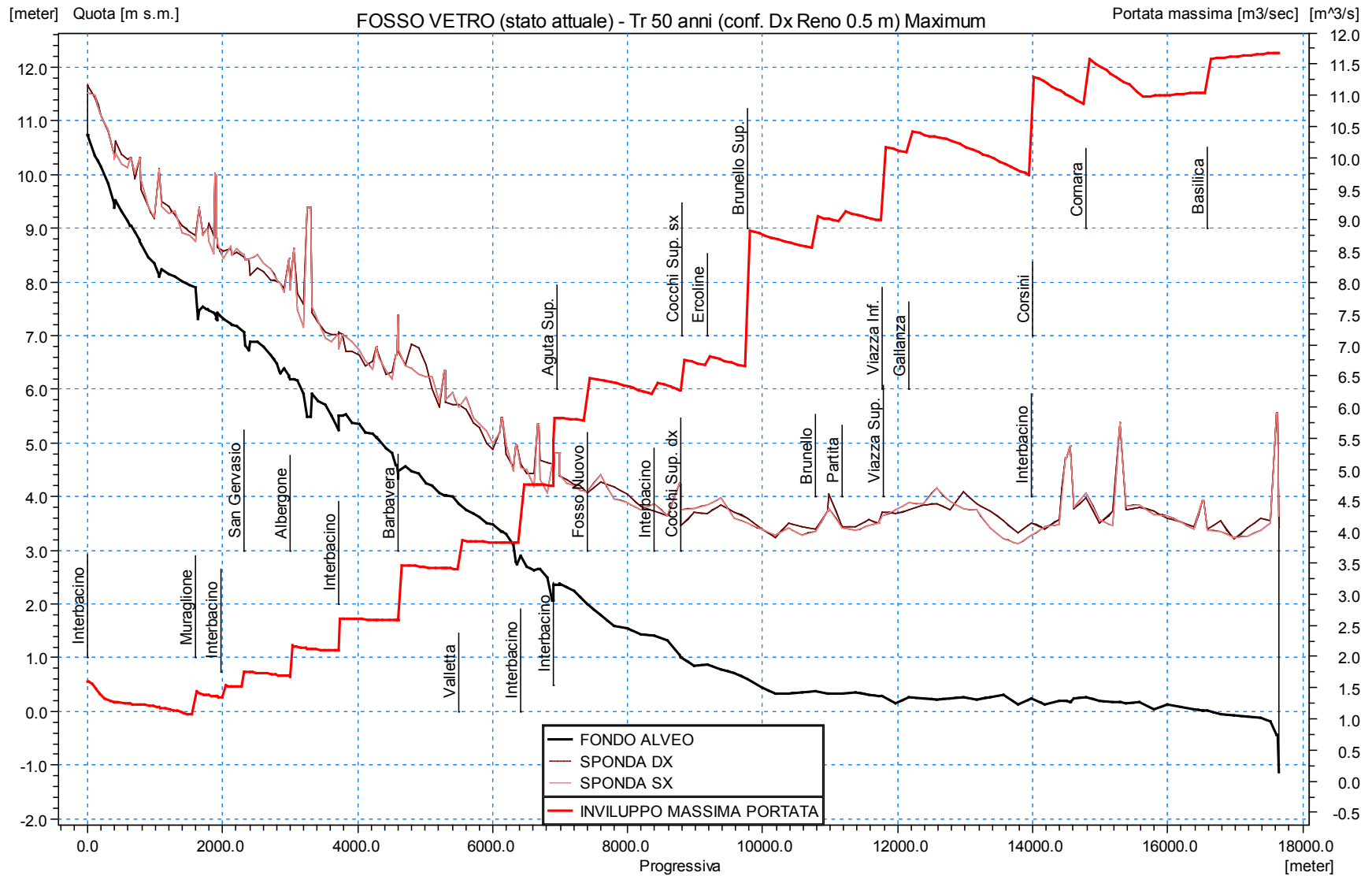


Figura 52 – Inviluppo dei massimi di portata del Fosso Vetro per Tr 50 anni, nello scenario attuale (A).

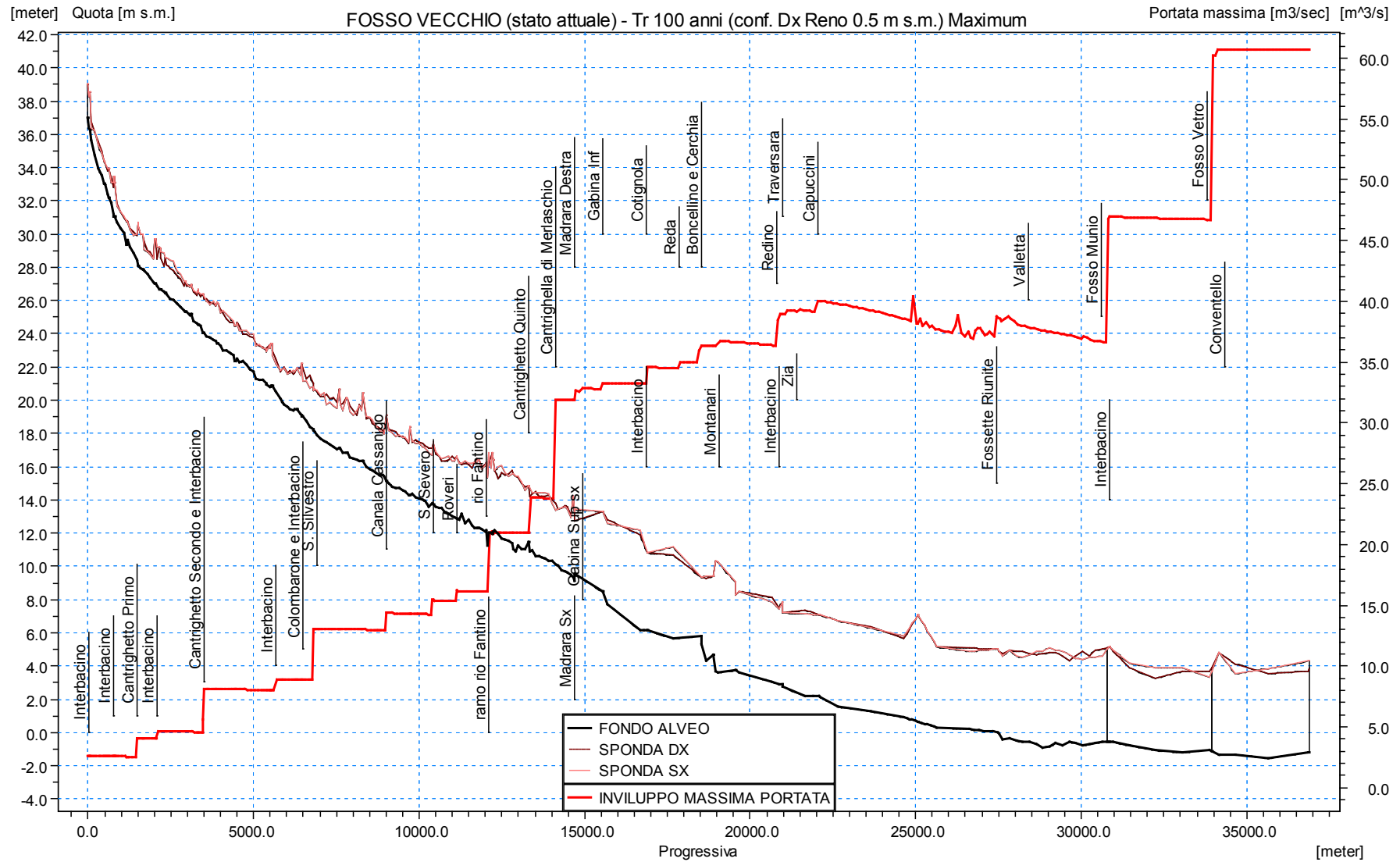


Figura 53 – Inviluppo dei massimi di portata del Fosso Vecchio per Tr 100 anni, nello scenario attuale (A).

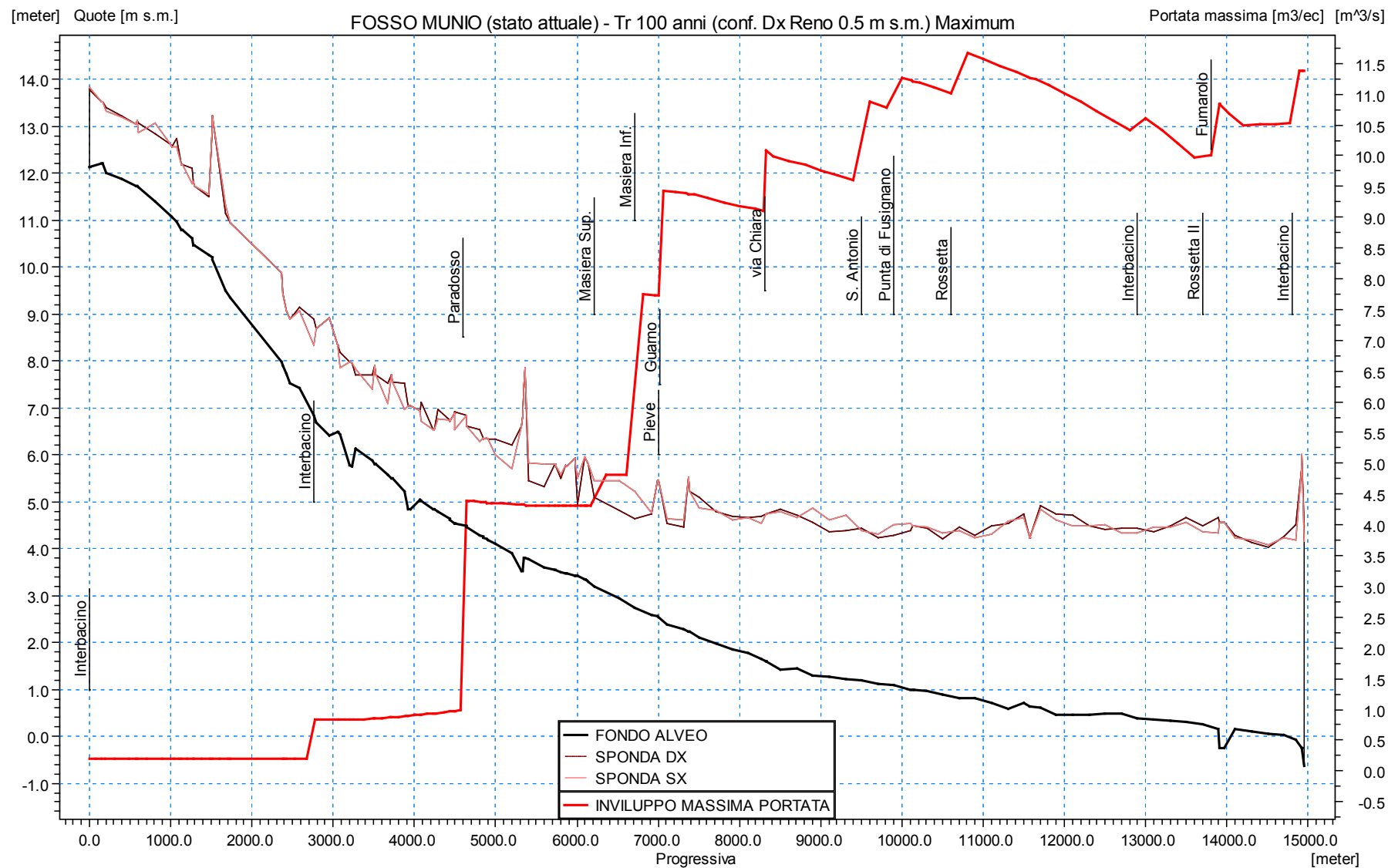


Figura 54 – Inviluppo dei massimi di portata del Fosso Munio per Tr 100 anni, nello scenario attuale (A).

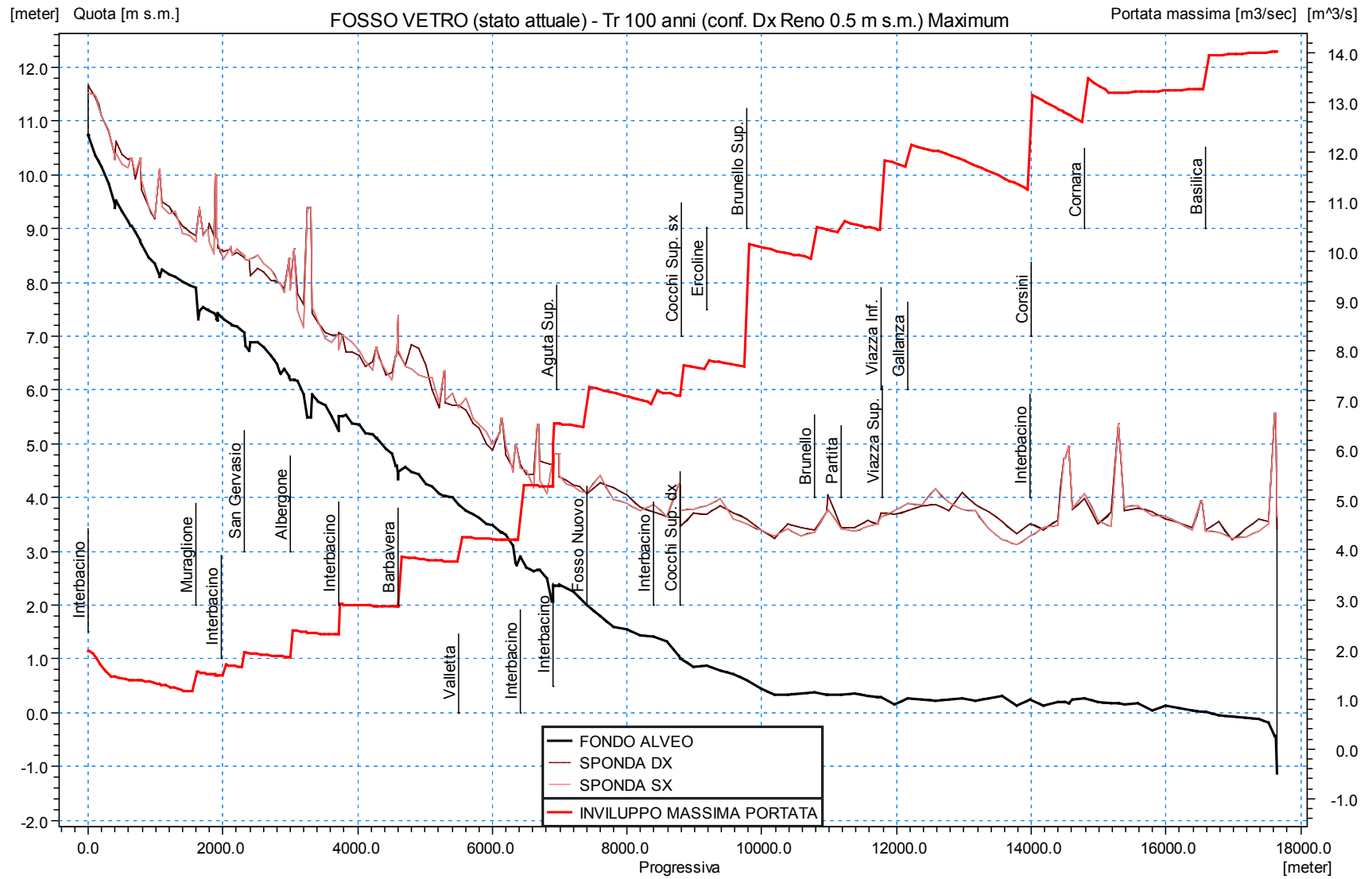


Figura 55 – Inviluppo dei massimi di portata del Fosso Vetro per Tr 100 anni, nello scenario attuale (A).

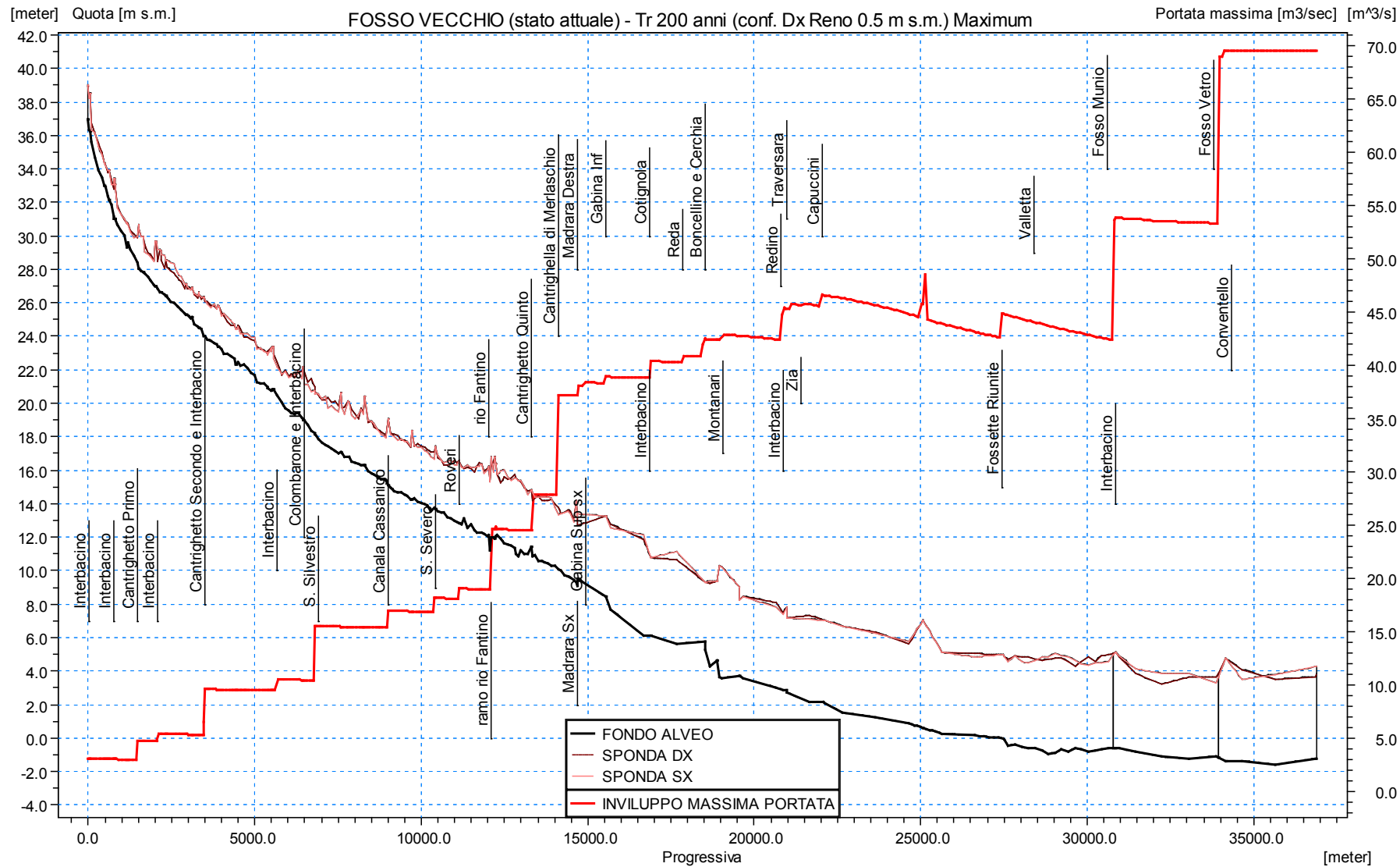


Figura 56 – Inviluppo dei massimi di portata del Fosso Vecchio per Tr 200 anni, nello scenario attuale (A).

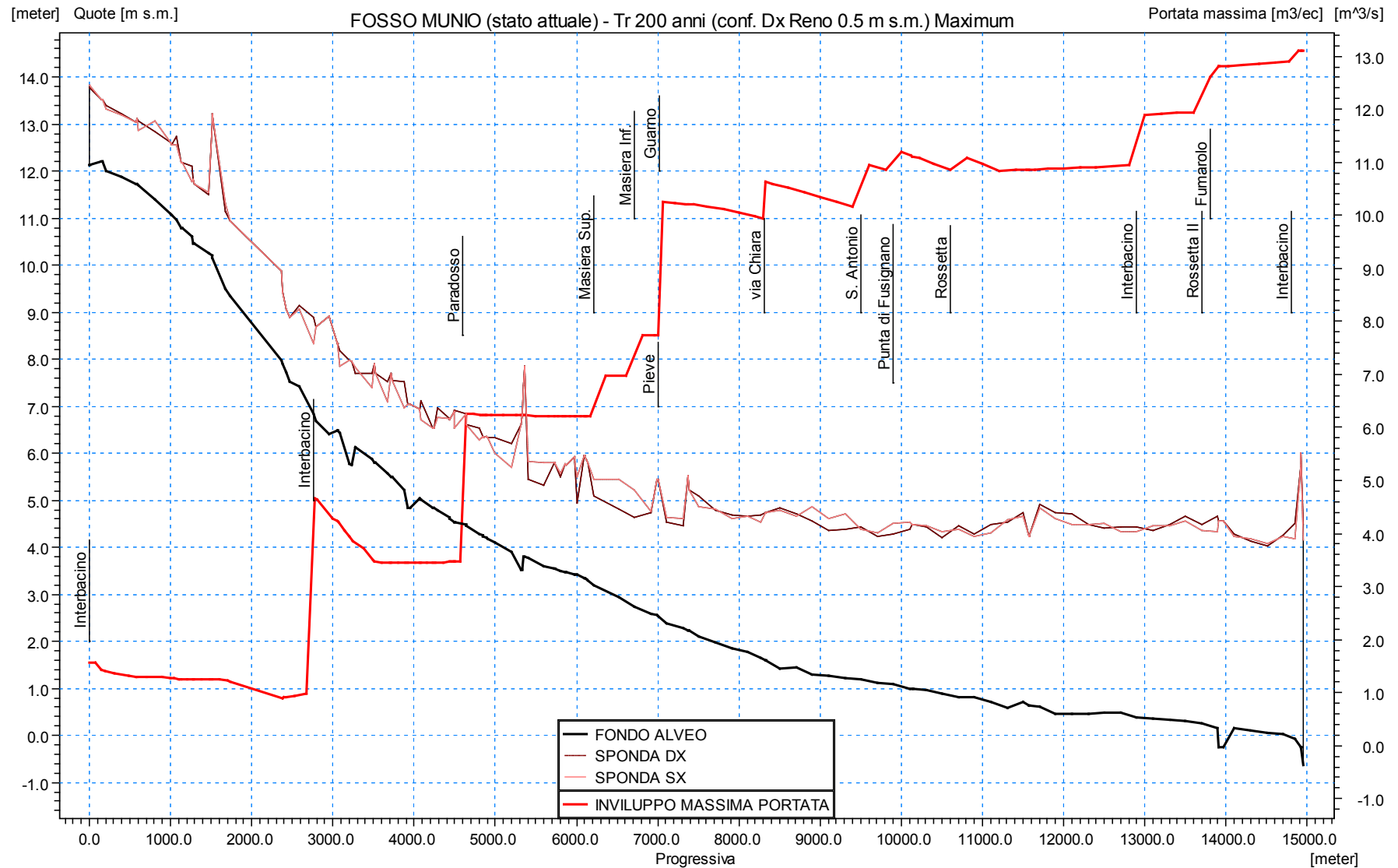


Figura 57 – Inviluppo dei massimi di portata del Fosso Munio per Tr 200 anni, nello scenario attuale (A).

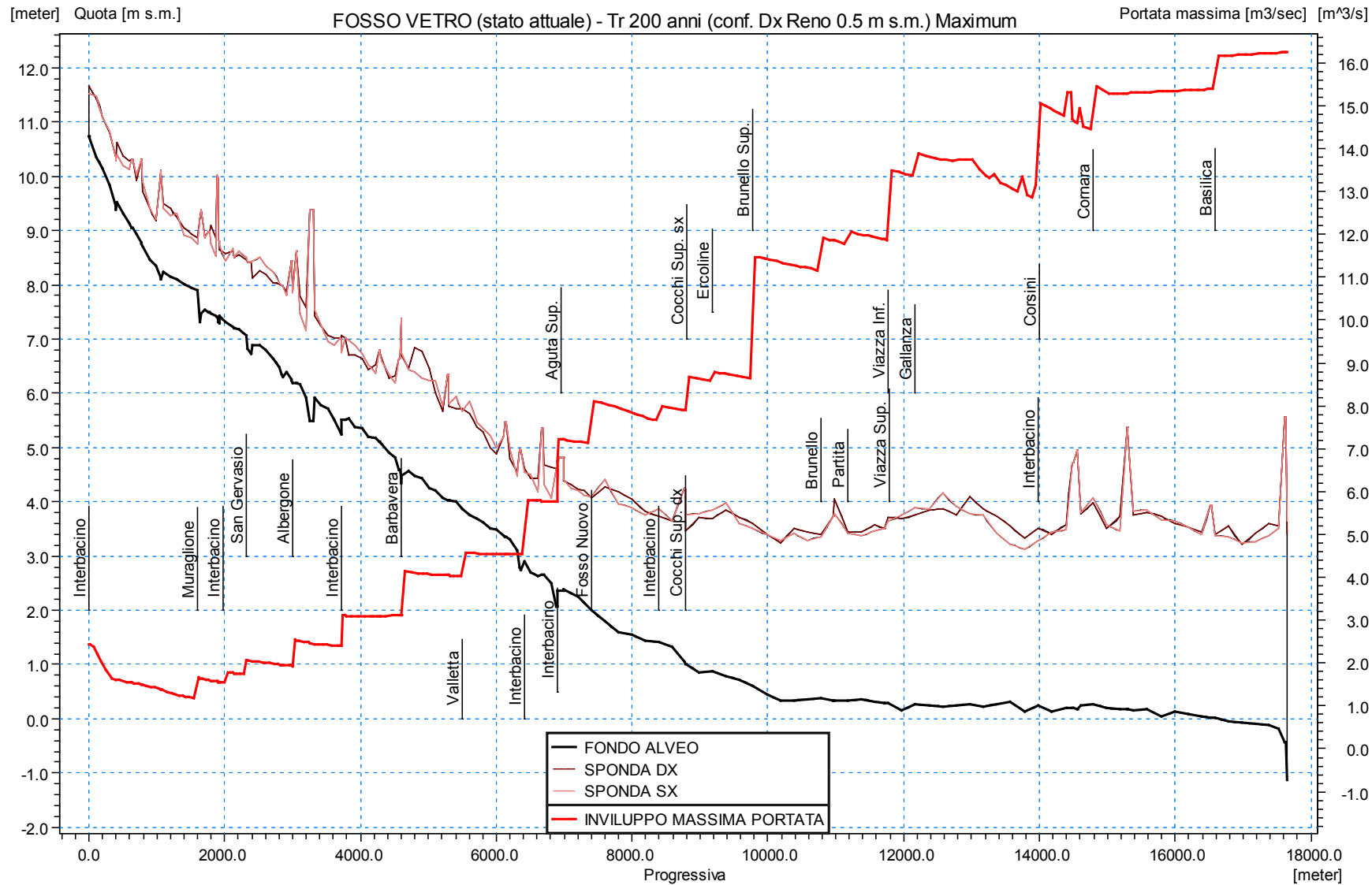


Figura 58 – Involuppo dei massimi di portata del Fosso Vetro per Tr 200 anni, nello scenario attuale (A).

STATO ATTUALE [ATT]

SCENARIO B (DESTRA RENO Tr 30 anni, TR 30, 50, 100, 200 anni)

Colmi di portata - Fosso Vecchio
Scenario B

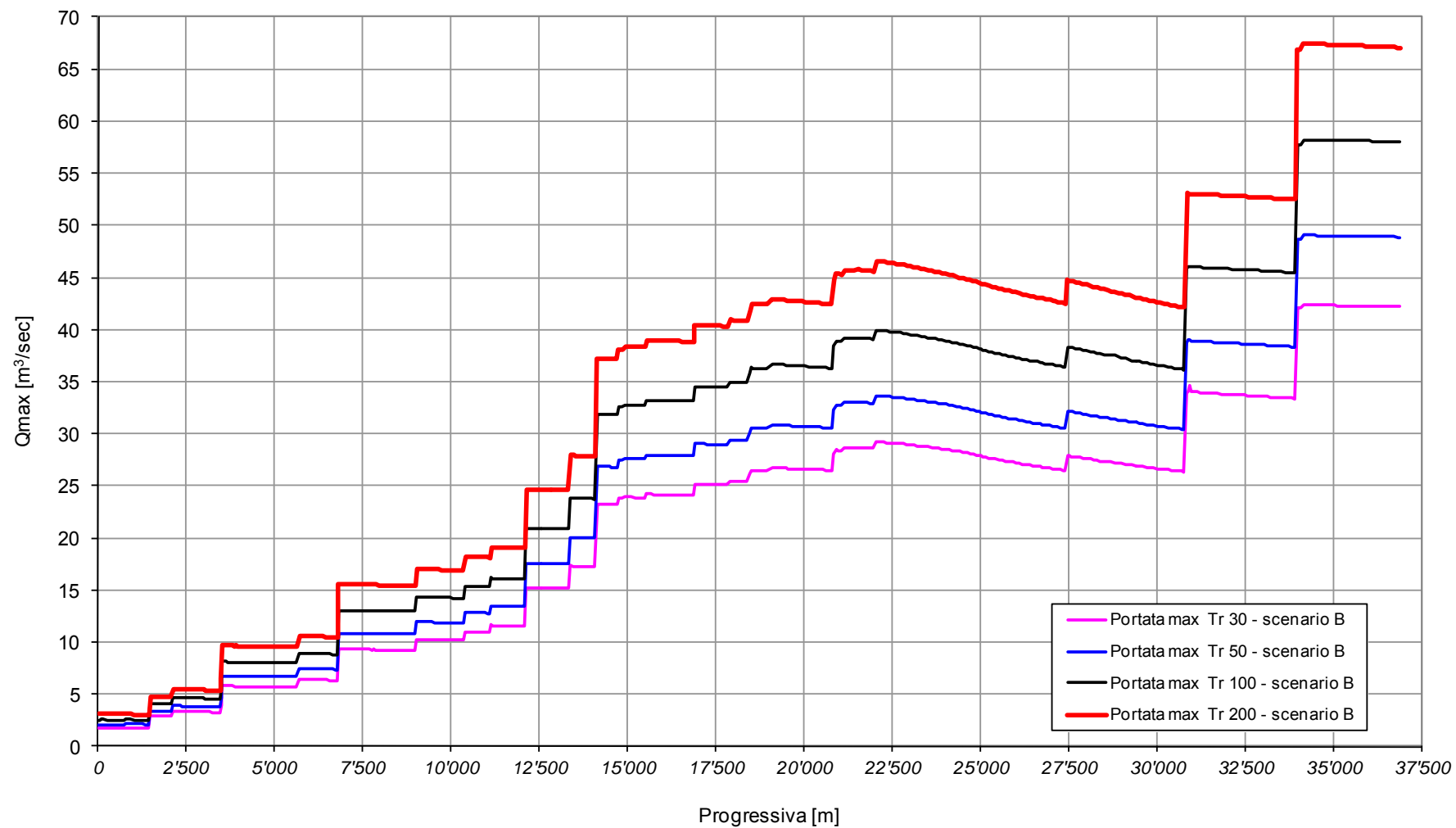


Figura 59 – Involuppo delle massime portate del Fosso Vecchio per Tr 30, 50, 100 e 200 anni, nello scenario attuale (B).

Colmi di portata - Fosso Munio
Scenario B

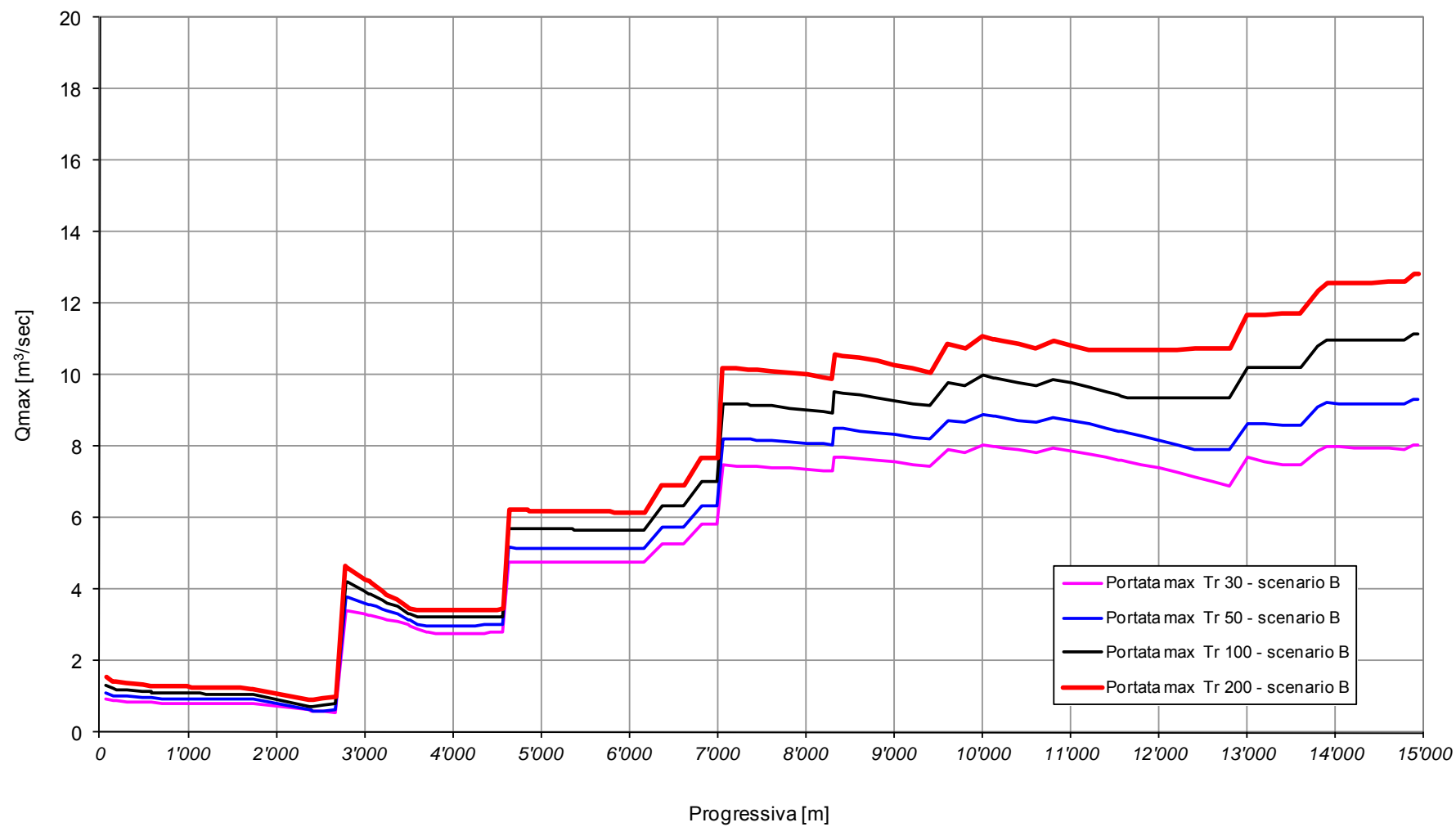


Figura 60 – Involuppo delle massime portate del Fosso Munio per Tr 30, 50, 100 e 200 anni, nello scenario attuale (B).

Colmi di portata - Fosso Vetro
Scenario B

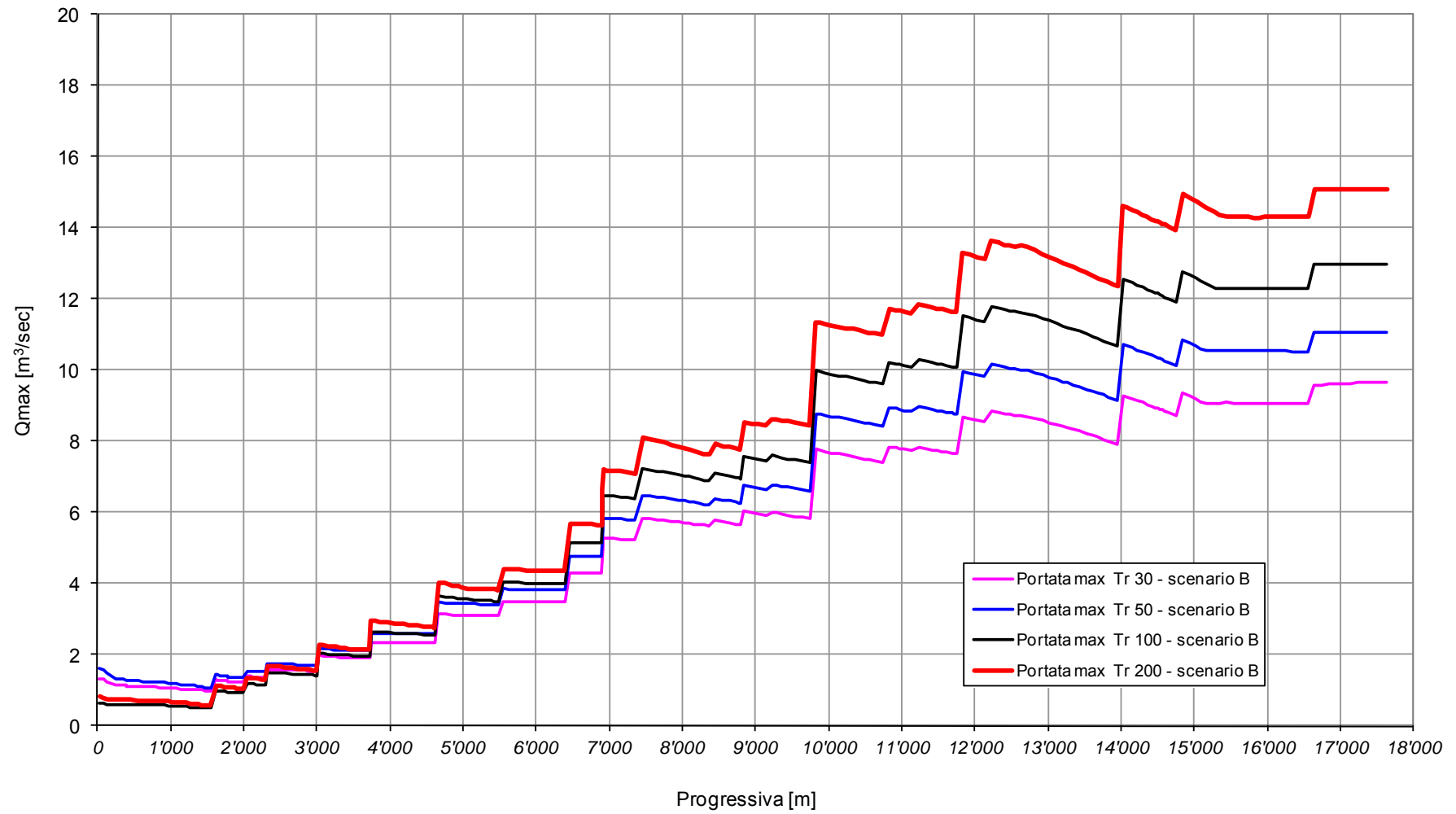


Figura 61 – Inviluppo delle massime portate del Fosso Vetro per Tr 30, 50, 200 e 200 anni, nello scenario attuale (B).

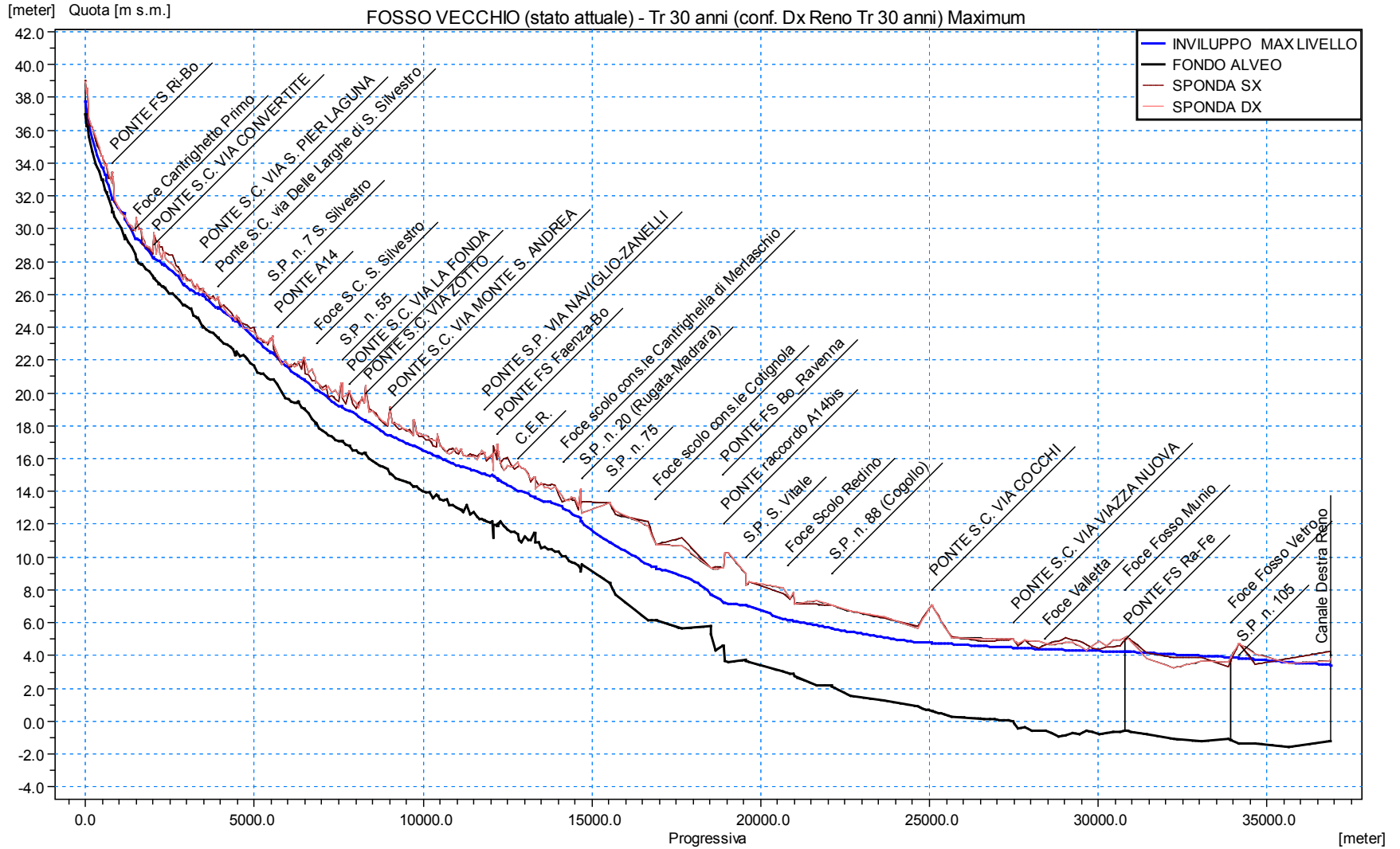


Figura 62 –Inviluppo dei massimi livelli del Fosso Vecchio per Tr 30 anni, nello scenario attuale (B).

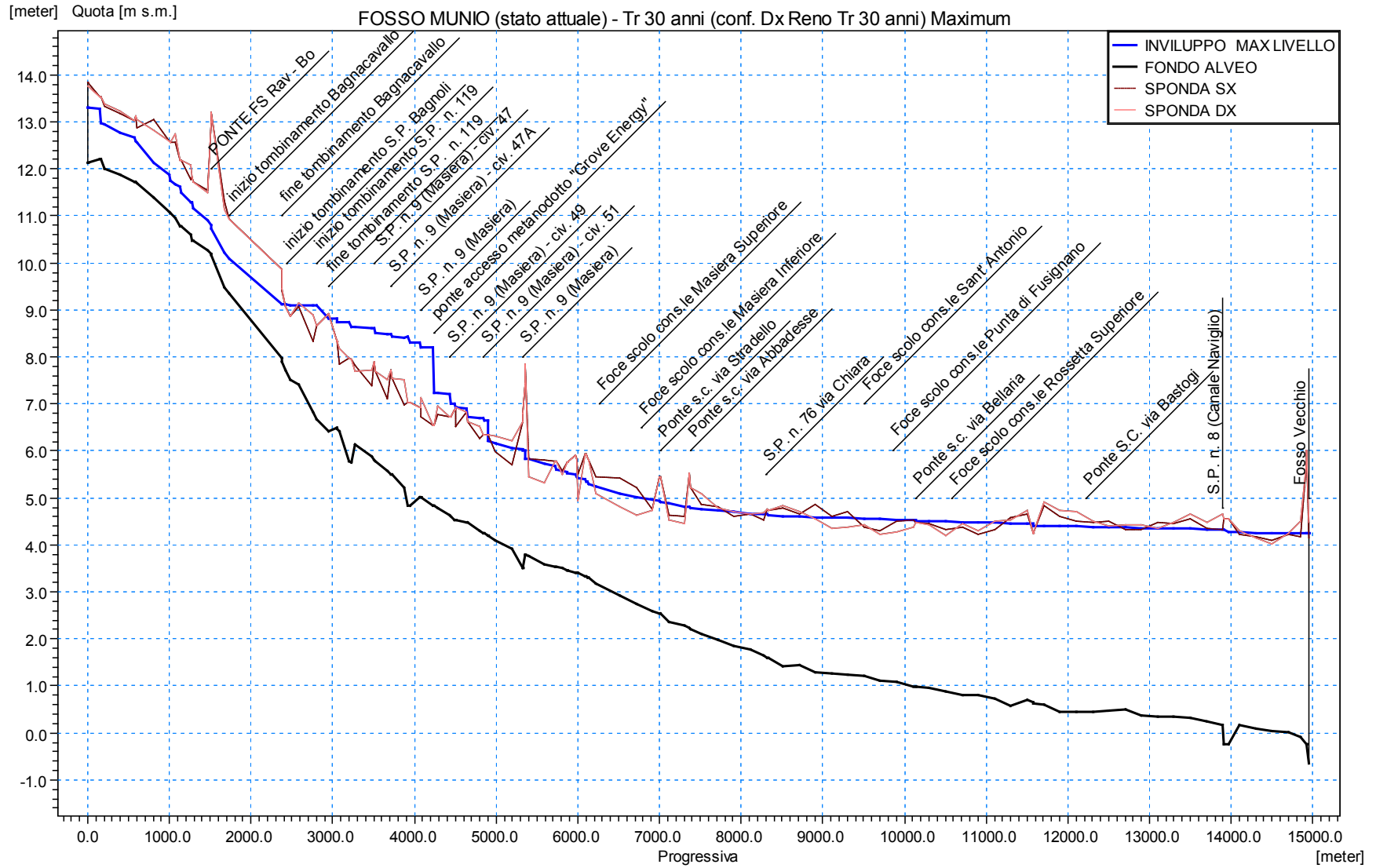


Figura 63 –Inviluppo dei massimi livelli del Fosso Munio per Tr 30 anni, nello scenario attuale (B).

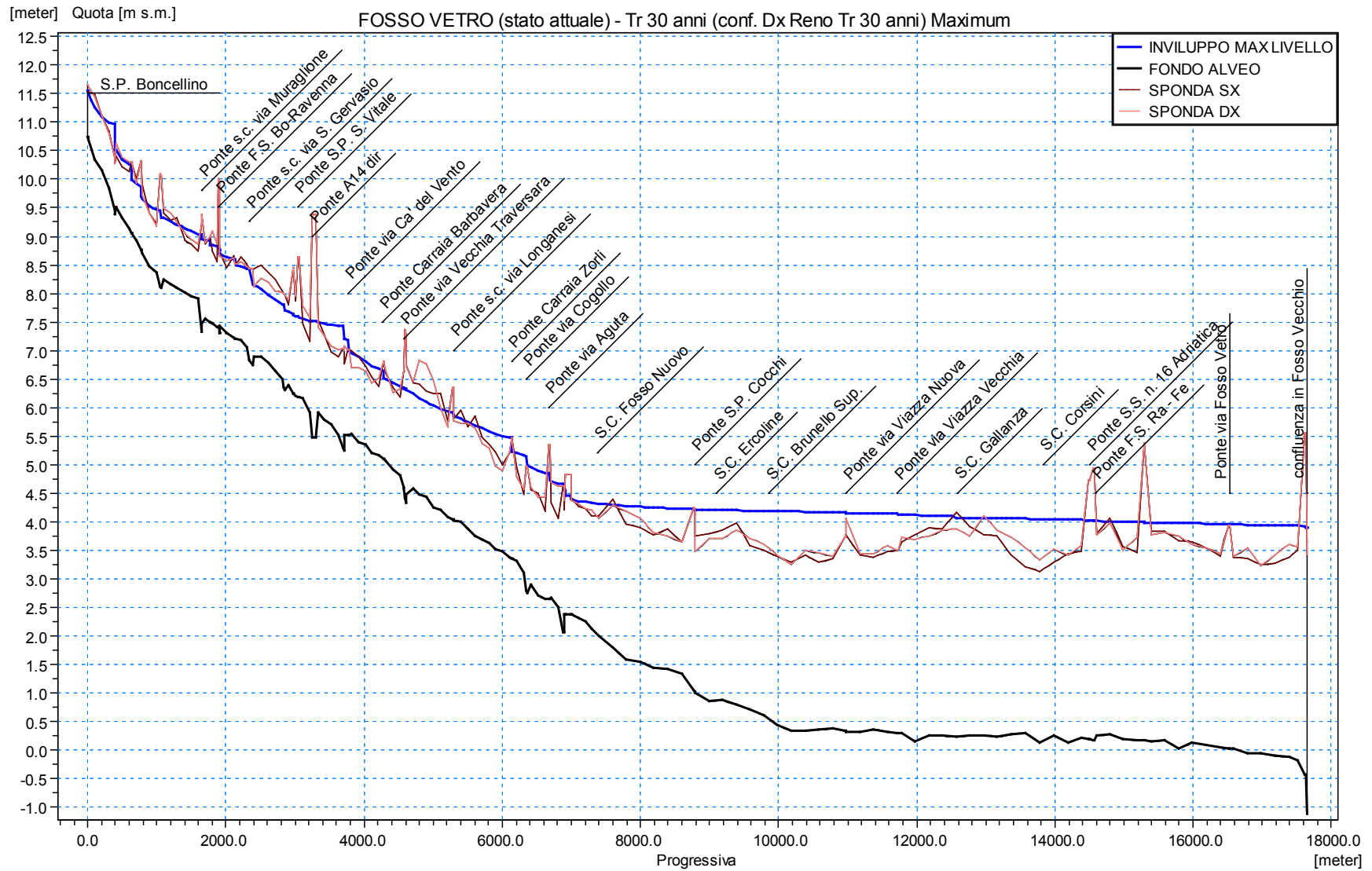


Figura 64 –Inviluppo dei massimi livelli del Fosso Vetro per Tr 30 anni, nello scenario attuale (B).

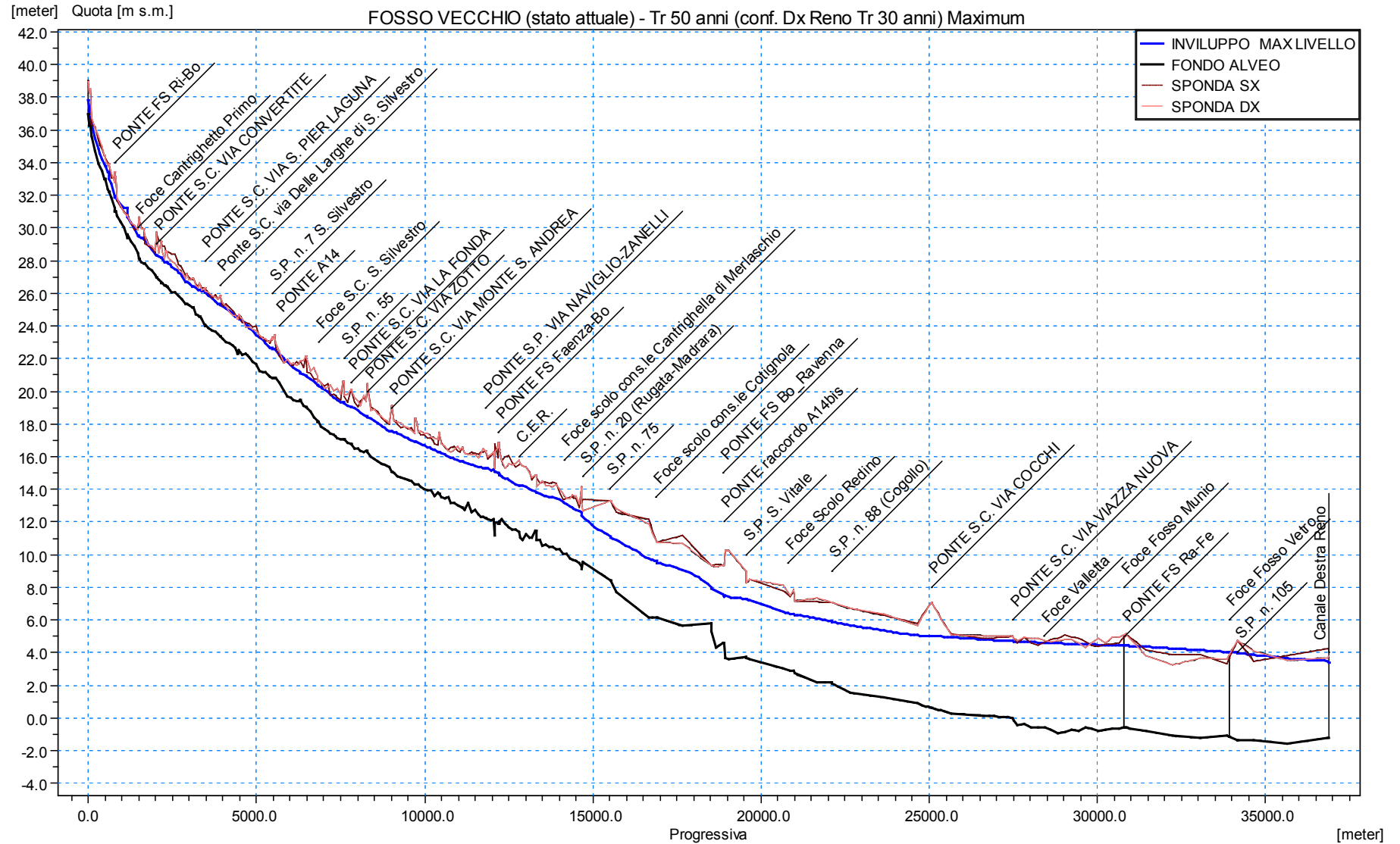


Figura 65 –Inviluppo dei massimi livelli del Fosso Vecchio per Tr 50 anni, nello scenario attuale (B).

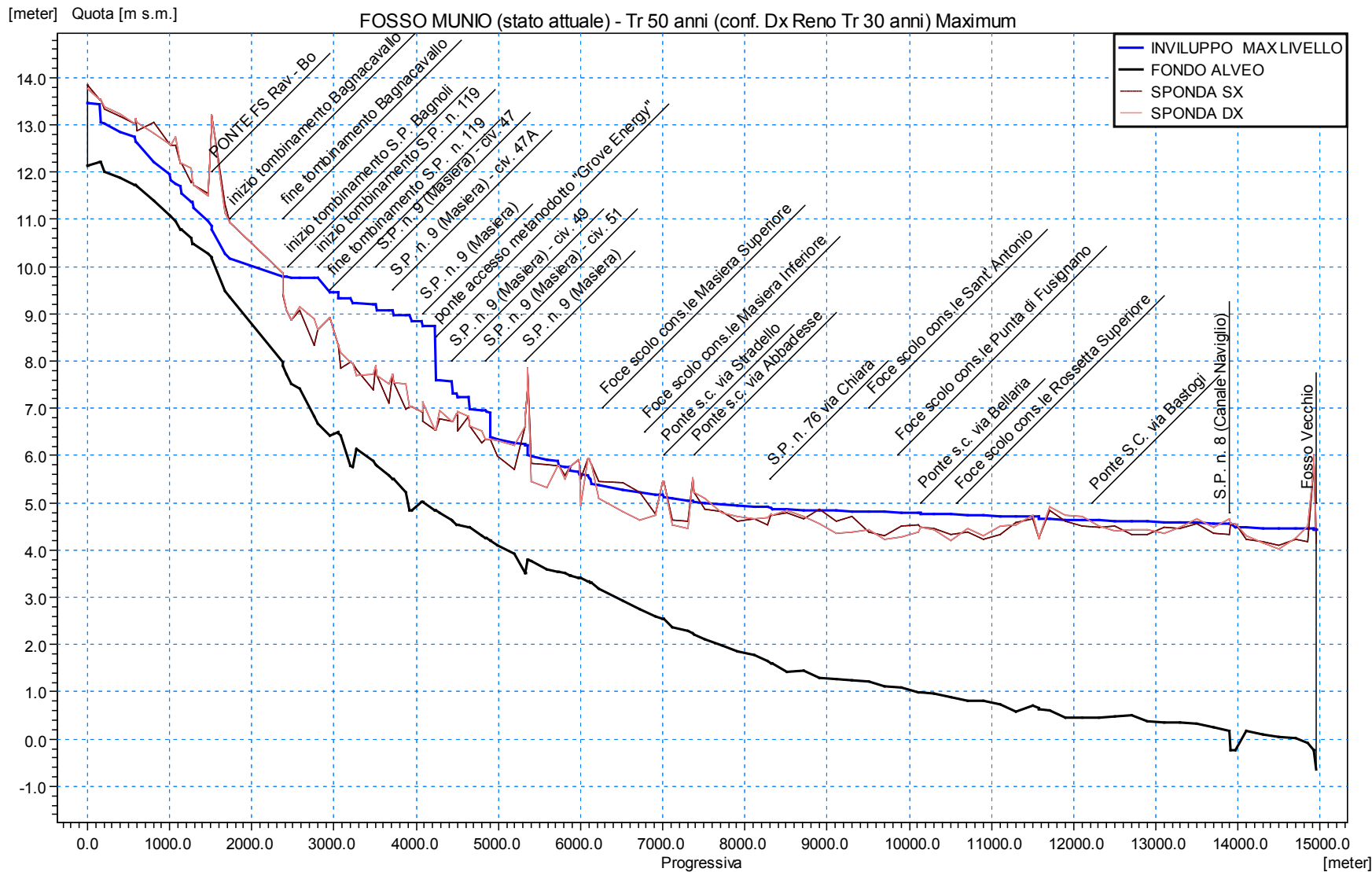


Figura 66 –Inviluppo dei massimi livelli del Fosso Munio per Tr 50 anni, nello scenario attuale (B).

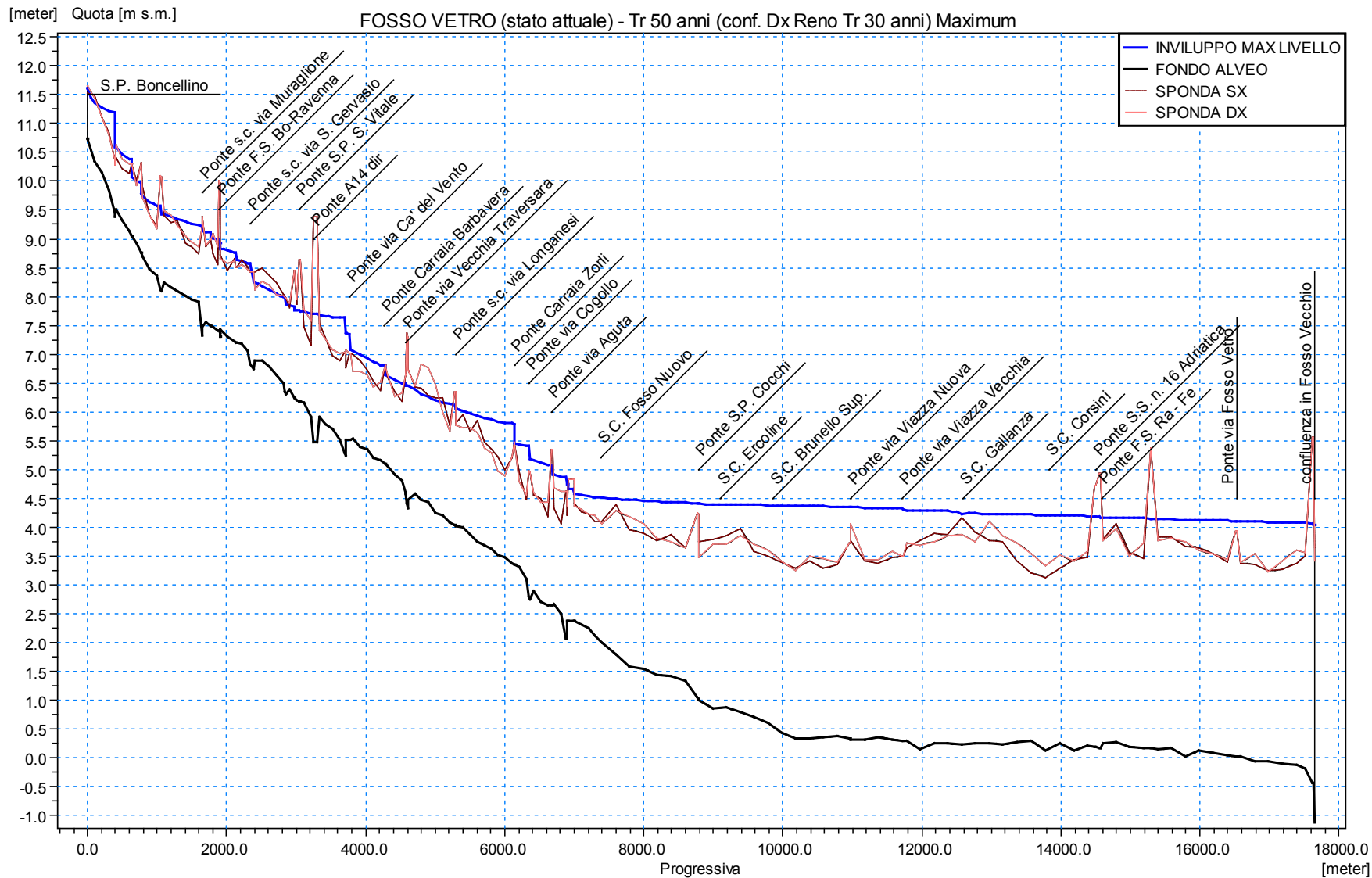


Figura 67 –Inviluppo dei massimi livelli del Fosso Vetro per Tr 50 anni, nello scenario attuale (B).

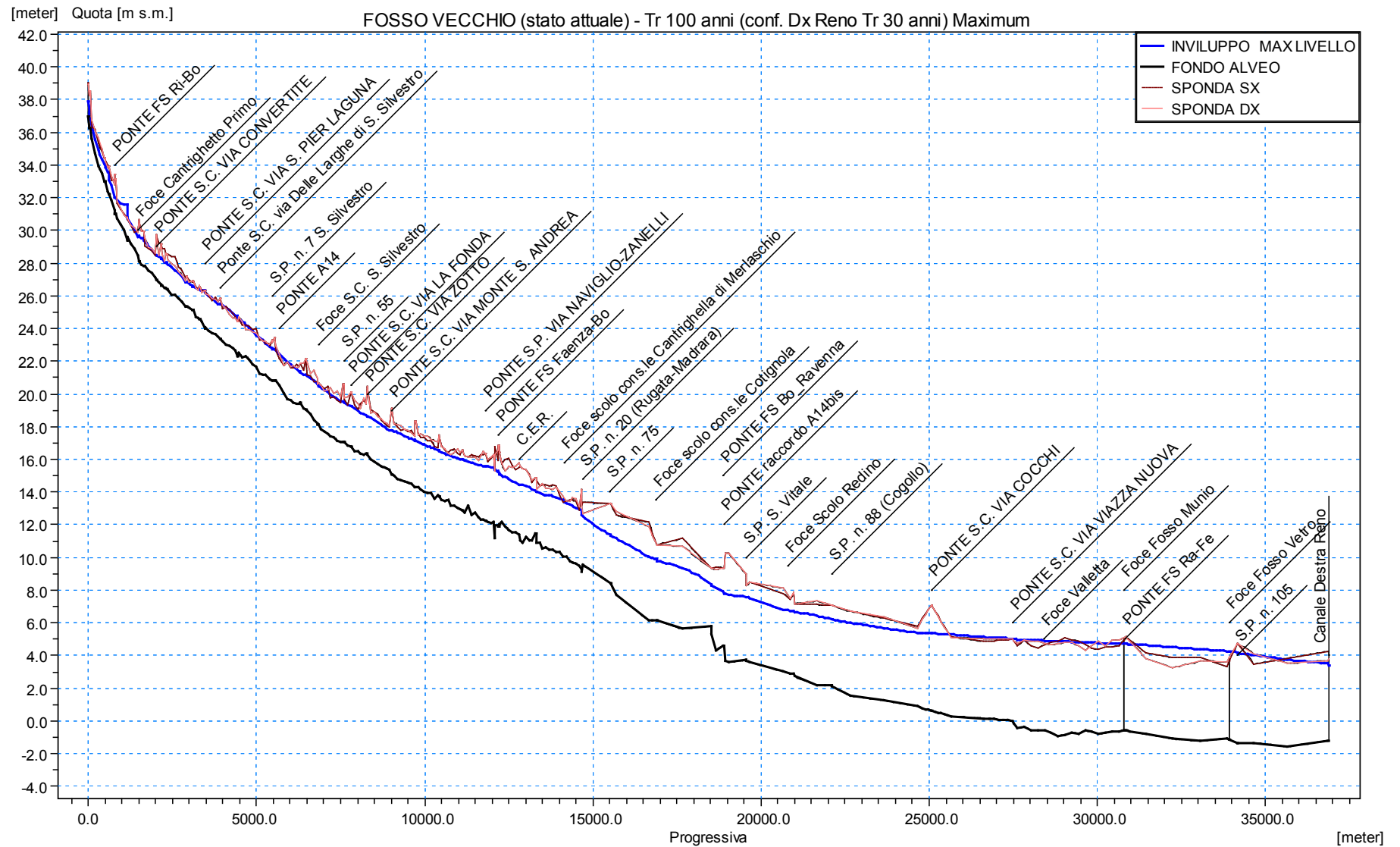


Figura 68 –Inviluppo dei massimi livelli del Fosso Vecchio per Tr 100 anni, nello scenario attuale (B).

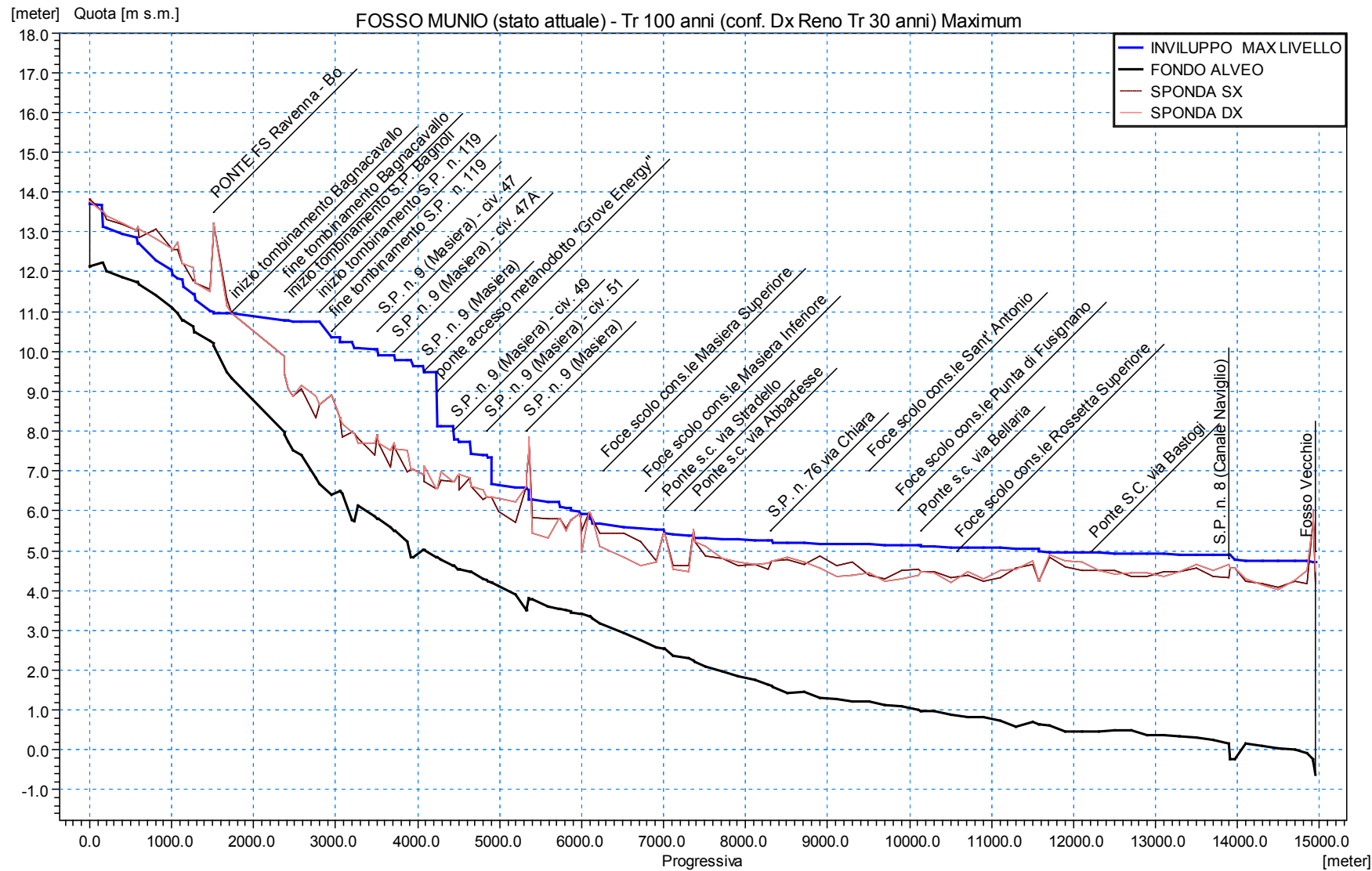


Figura 69 –Inviluppo dei massimi livelli del Fosso Munio per Tr 100 anni, nello scenario attuale (B).

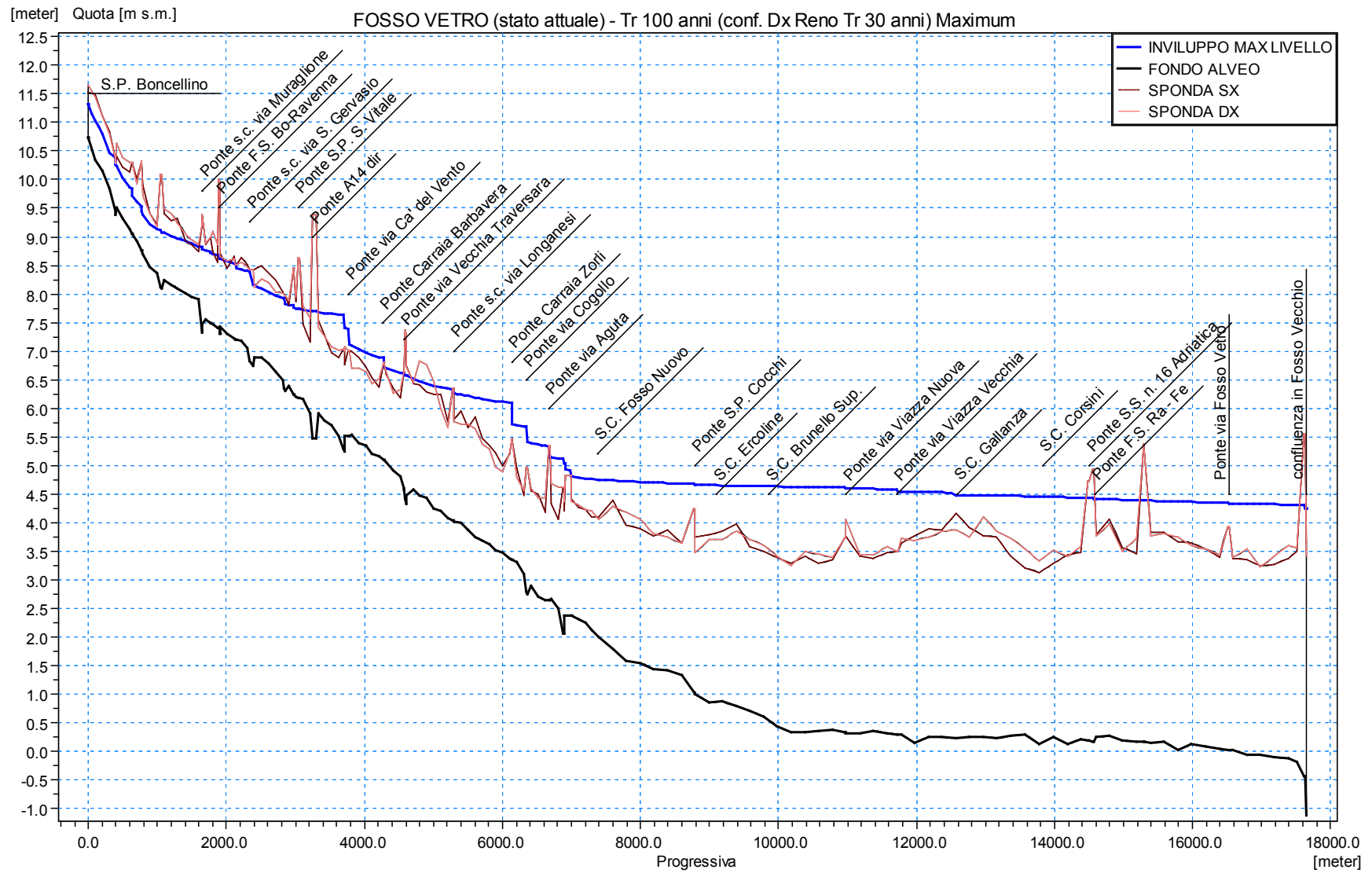


Figura 70 –Inviluppo dei massimi livelli del Fosso Vetro per Tr 100 anni, nello scenario attuale (B).

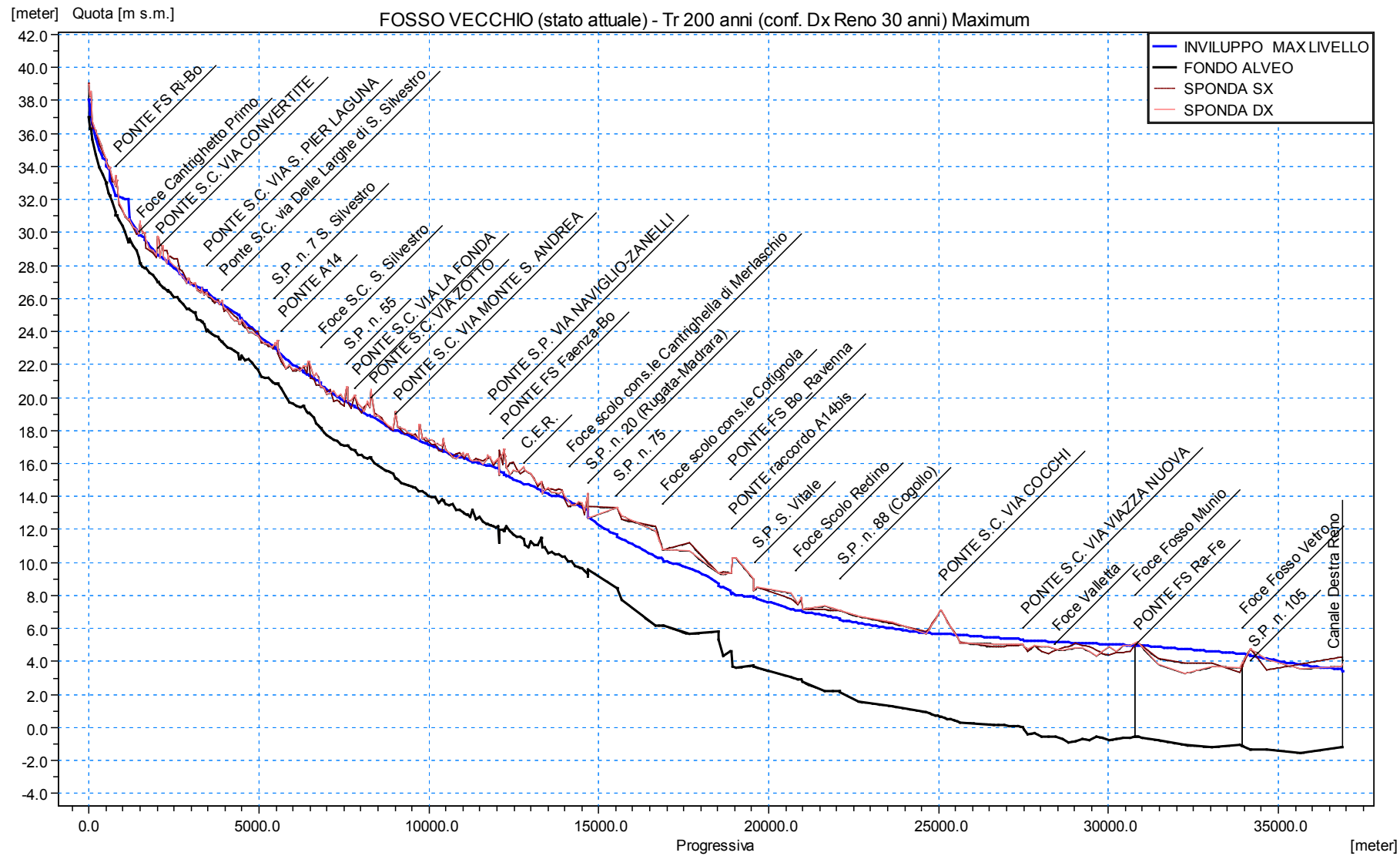


Figura 71 –Inviluppo dei massimi livelli del Fosso Vecchio per Tr 200 anni, nello scenario attuale (B).

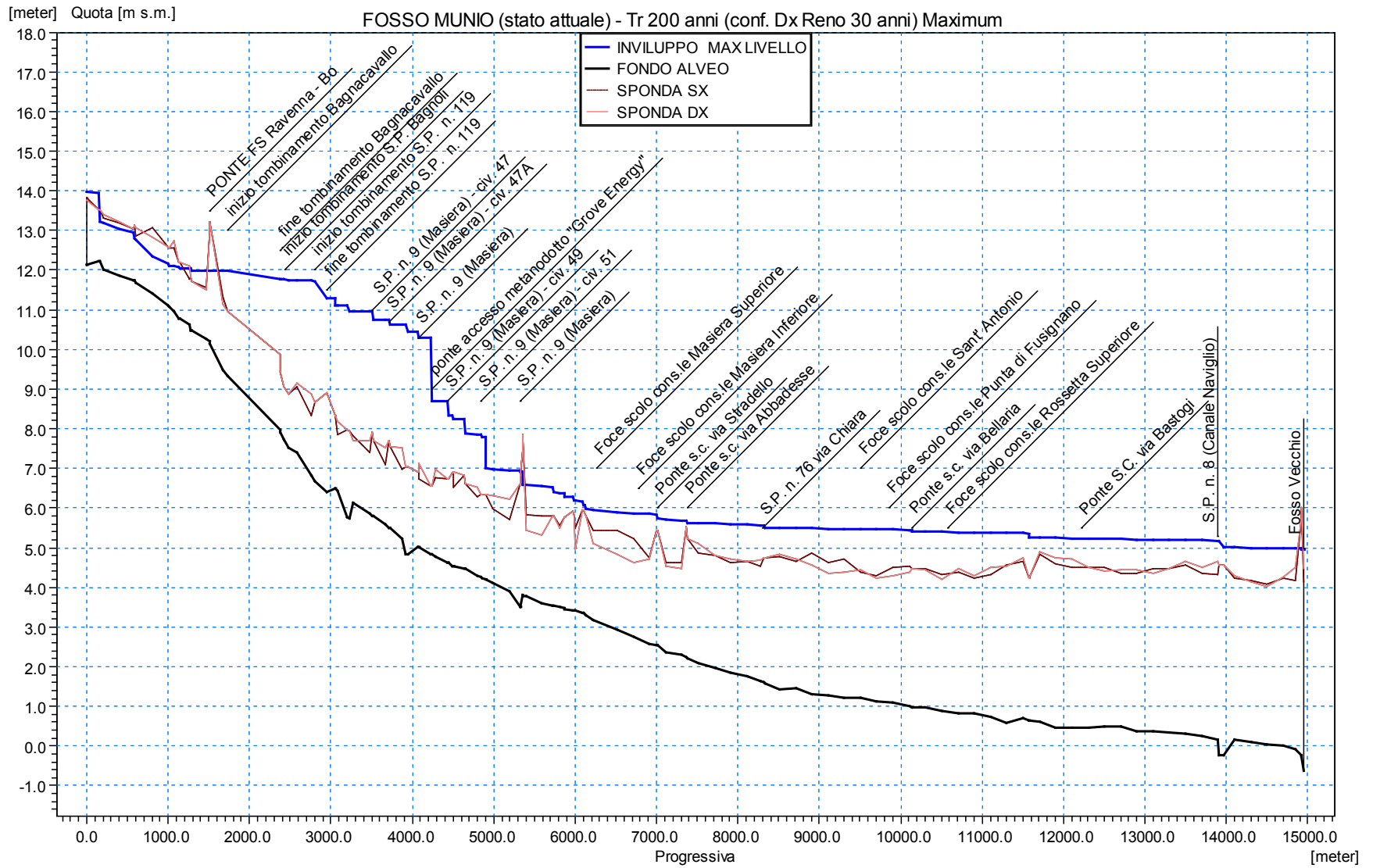


Figura 72 –Inviluppo dei massimi livelli del Fosso Munio per Tr 200 anni, nello scenario attuale (B).

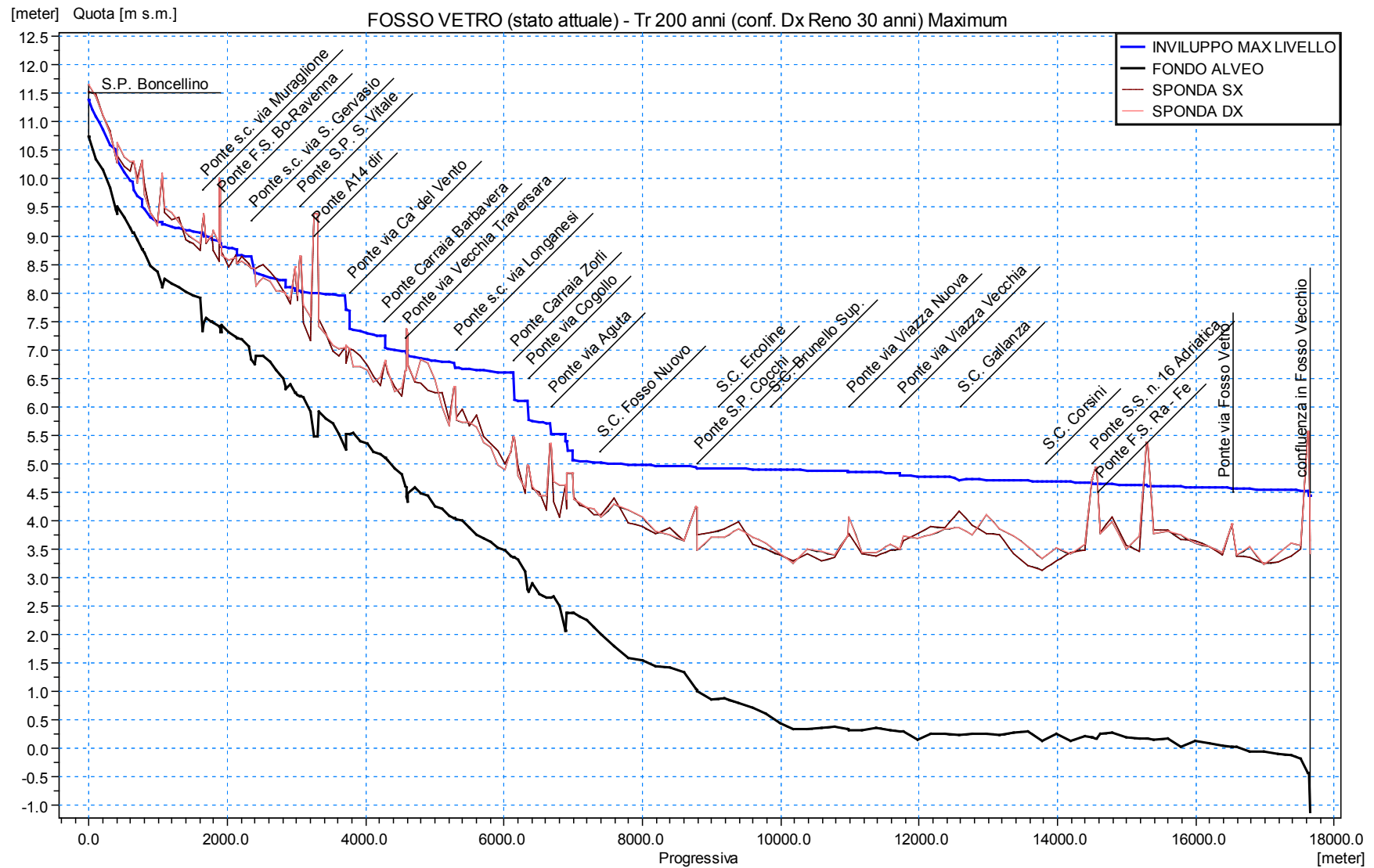


Figura 73 –Inviluppo dei massimi livelli del Fosso Vetro per Tr 200 anni, nello scenario attuale (B).

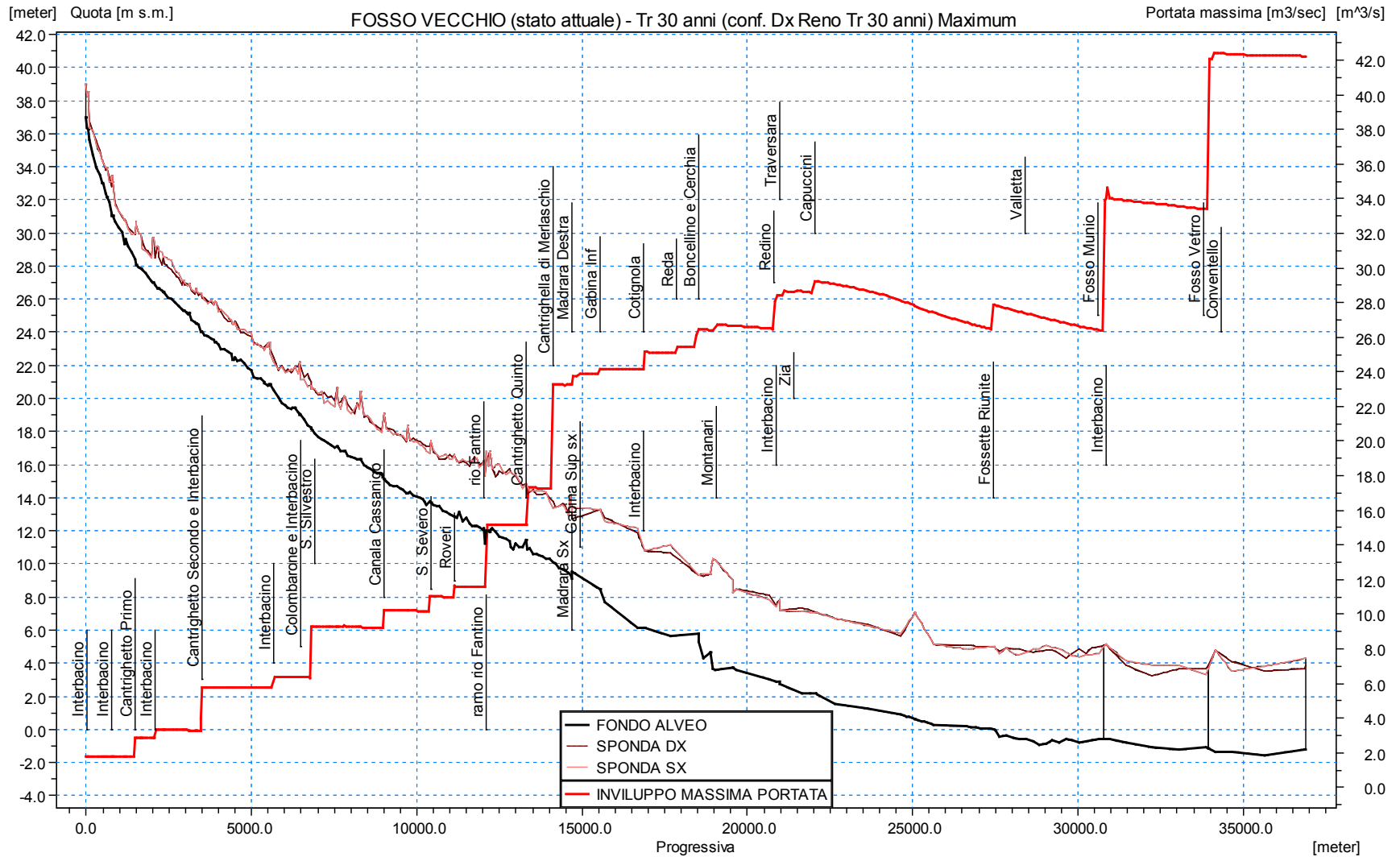


Figura 74 – Involuppo dei massimi di portata del Fosso Vecchio per Tr 30 anni, nello scenario attuale (B).

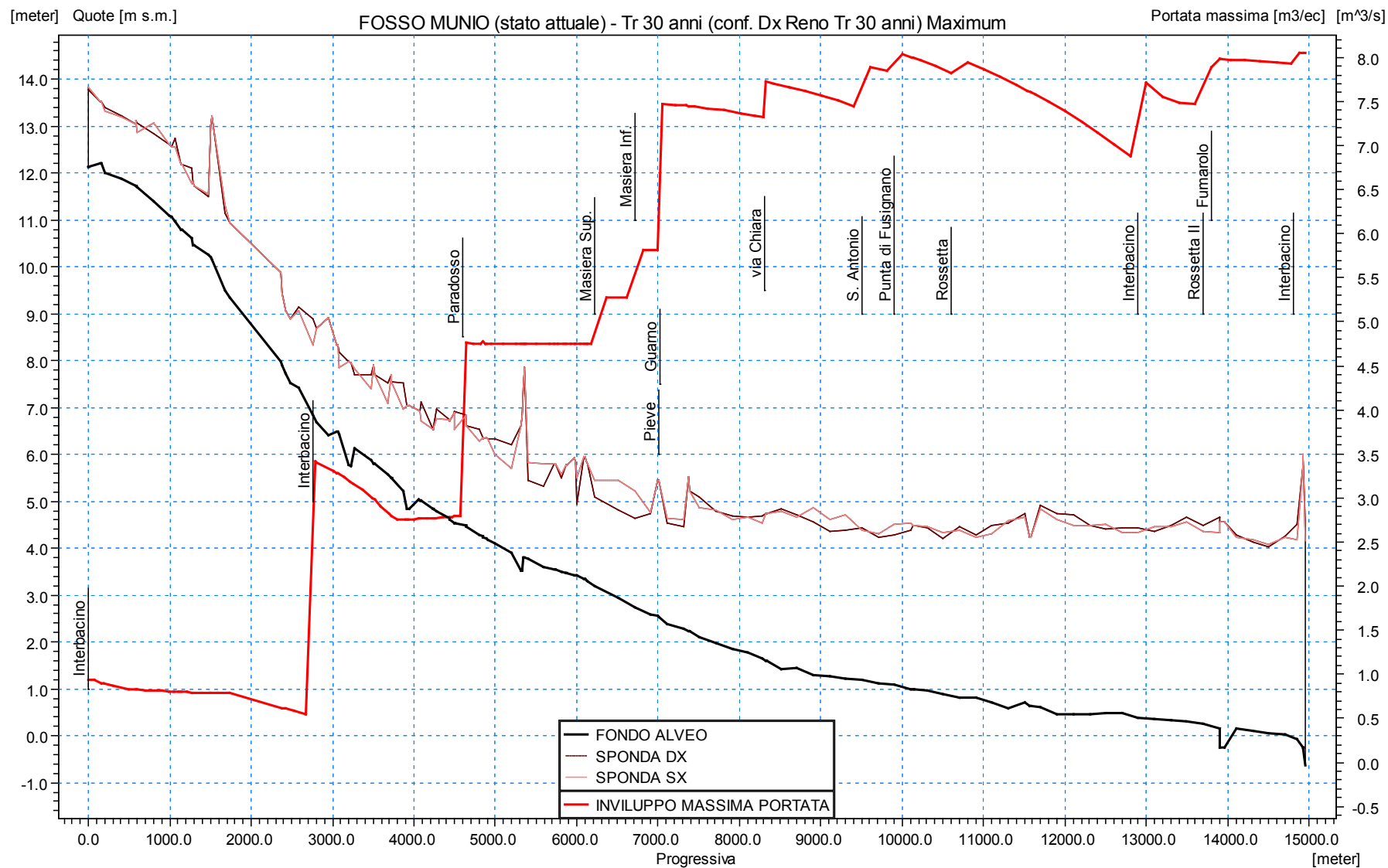


Figura 75 – Inviluppo dei massimi di portata del Fosso Munio per Tr 30 anni, nello scenario attuale (B).

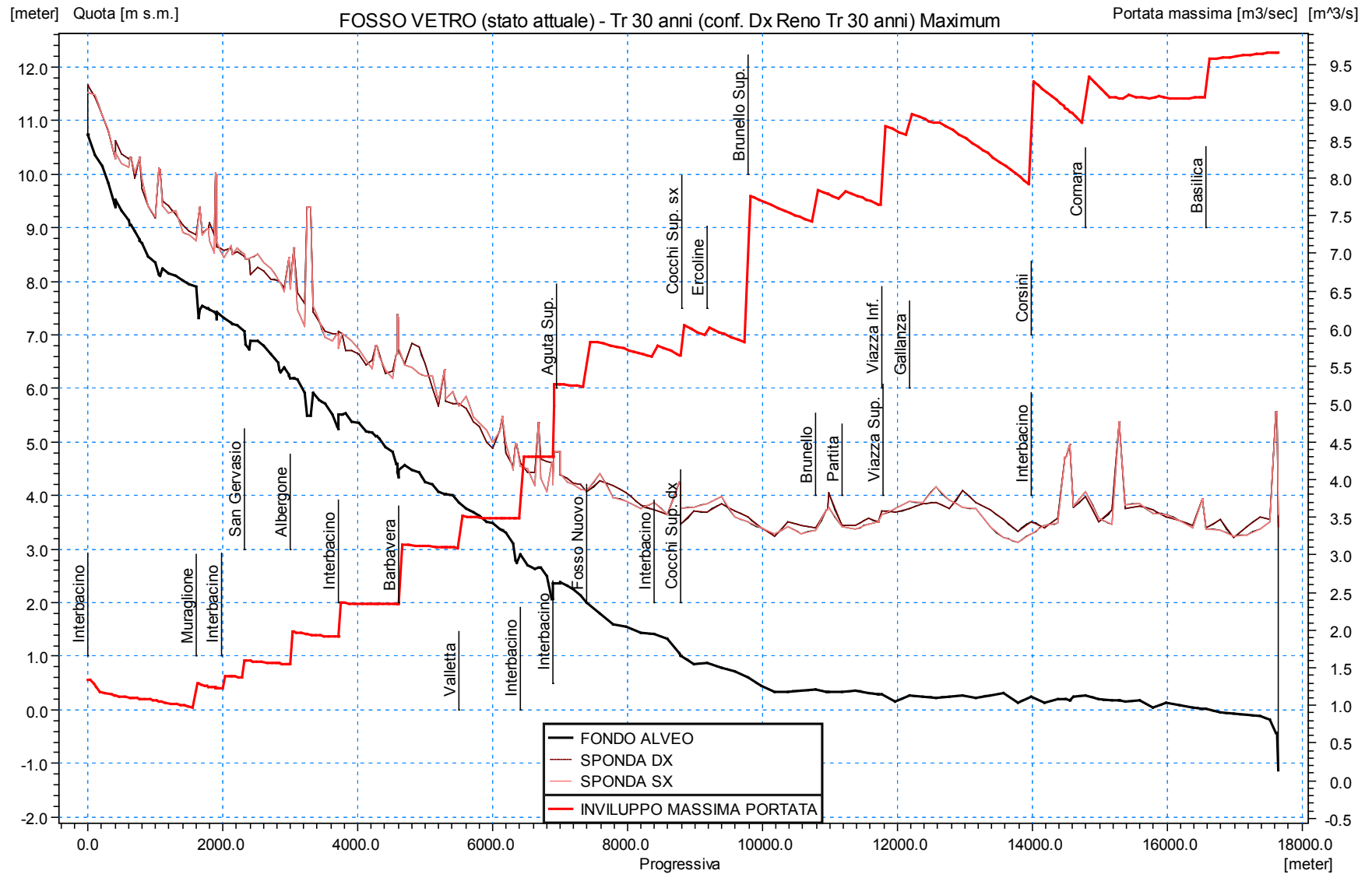


Figura 76 – Involuppo dei massimi di portata del Fosso Vetro per Tr 30 anni, nello scenario attuale (B).

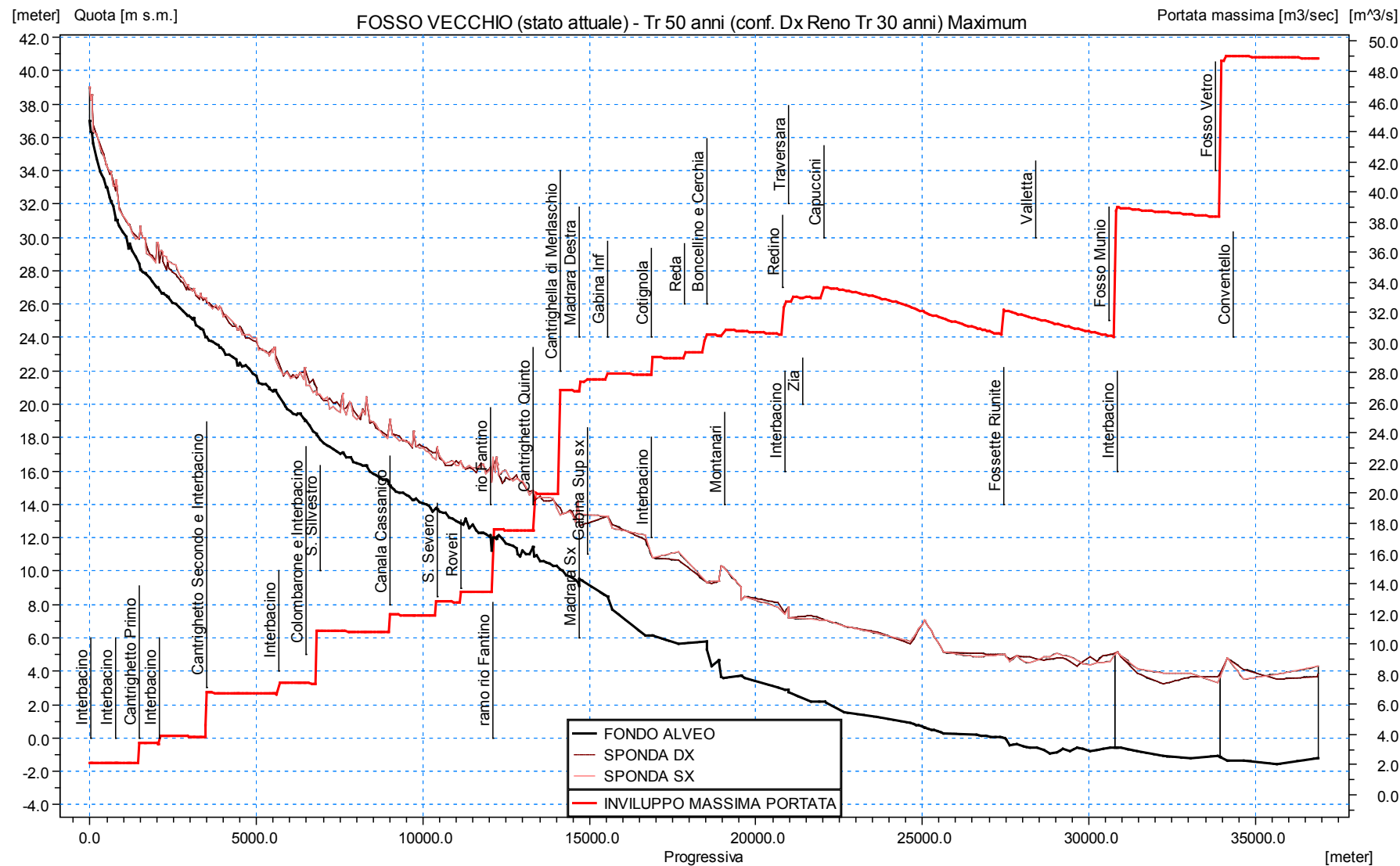


Figura 77 – Inviluppo dei massimi di portata del Fosso Vecchio per Tr 50 anni, nello scenario attuale (B).

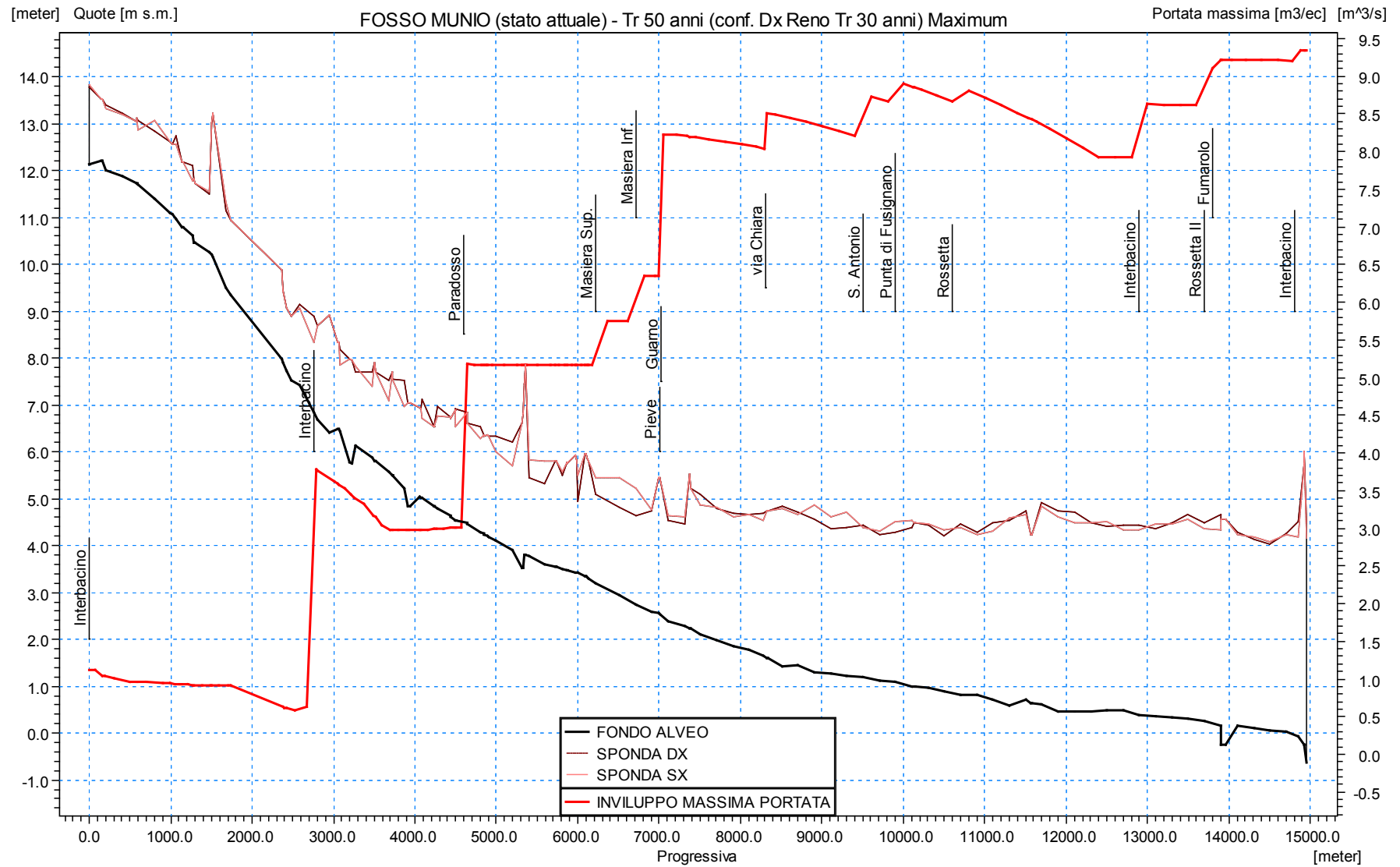


Figura 78 – Inviluppo dei massimi di portata del Fosso Munio per Tr 50 anni, nello scenario attuale (B)

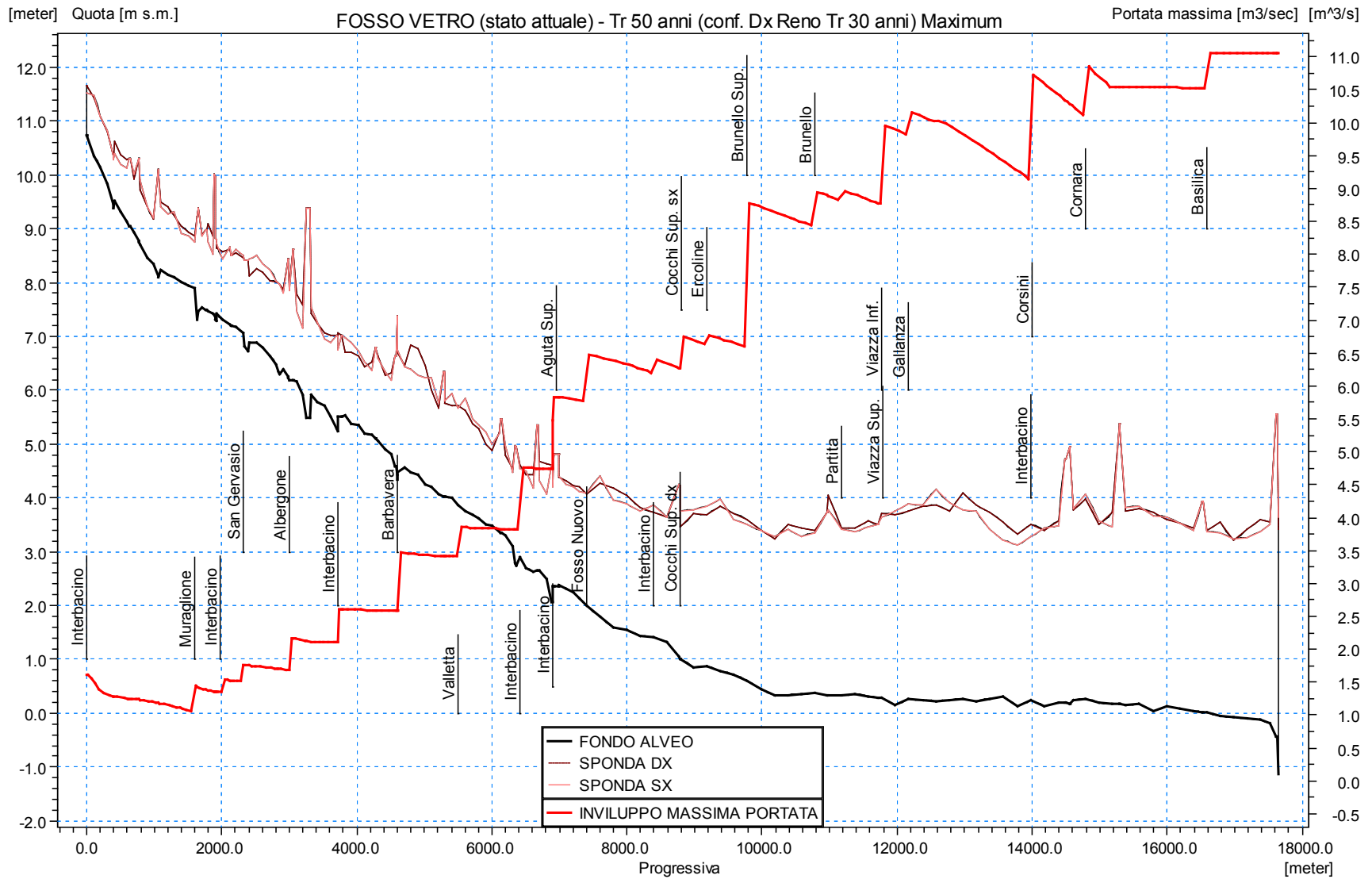


Figura 79 – Inviluppo dei massimi di portata del Fosso Vetro per Tr 50 anni, nello scenario attuale (B).

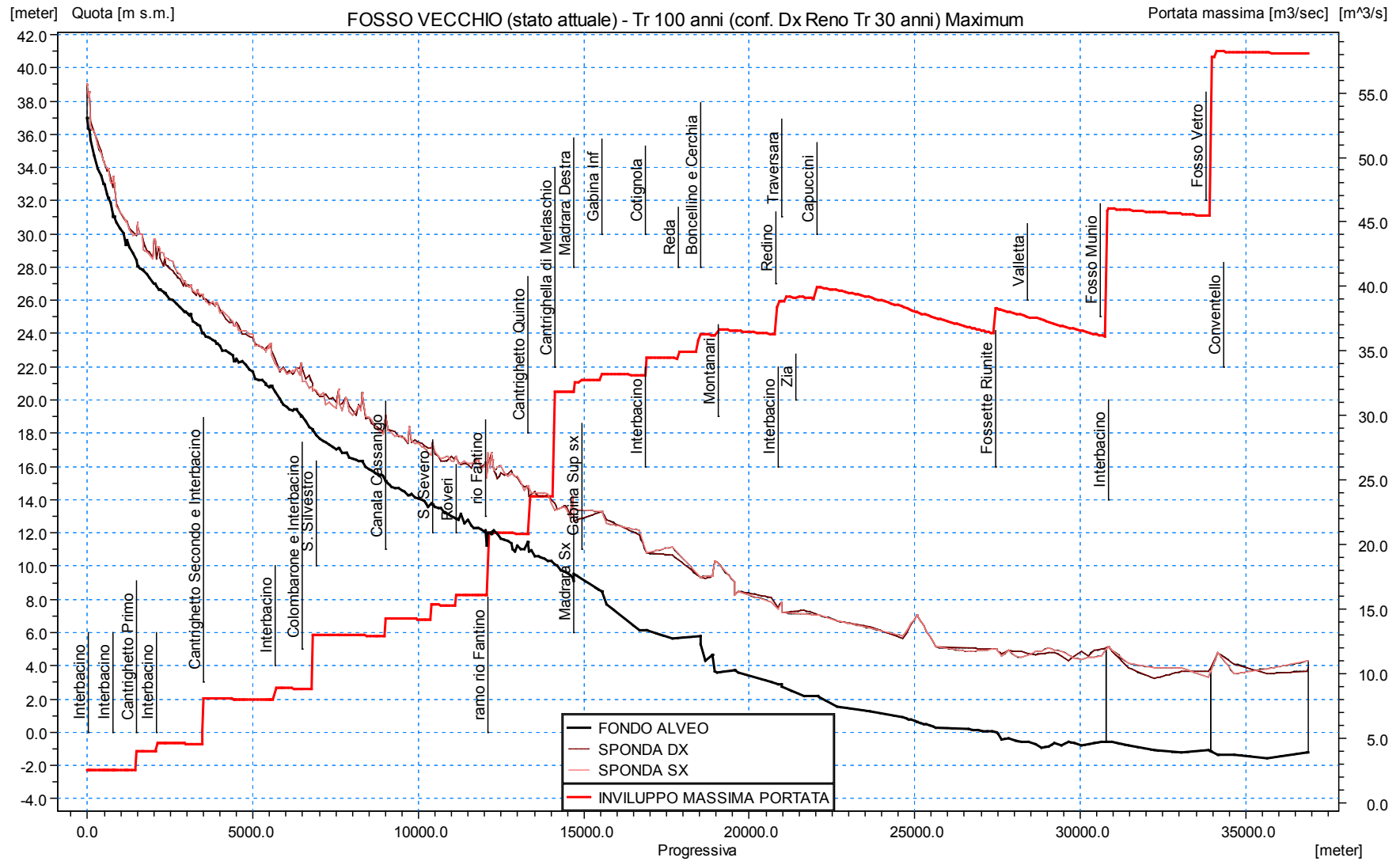


Figura 80 – Involuppo dei massimi di portata del Fosso Vecchi per Tr 100 anni, nello scenario attuale (B).

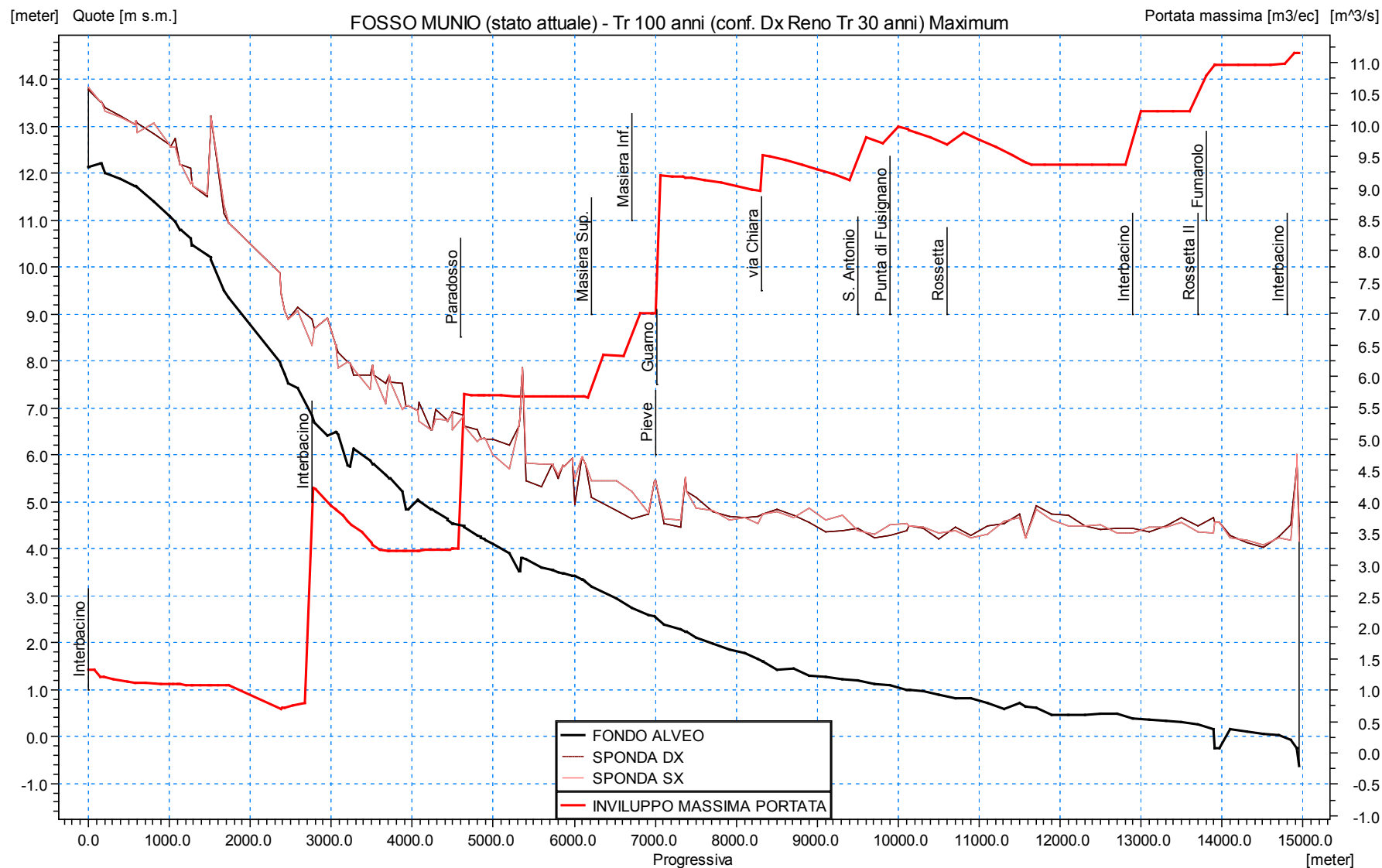


Figura 81 – Inviluppo dei massimi di portata del Fosso Munio per Tr 100 anni, nello scenario attuale (B).

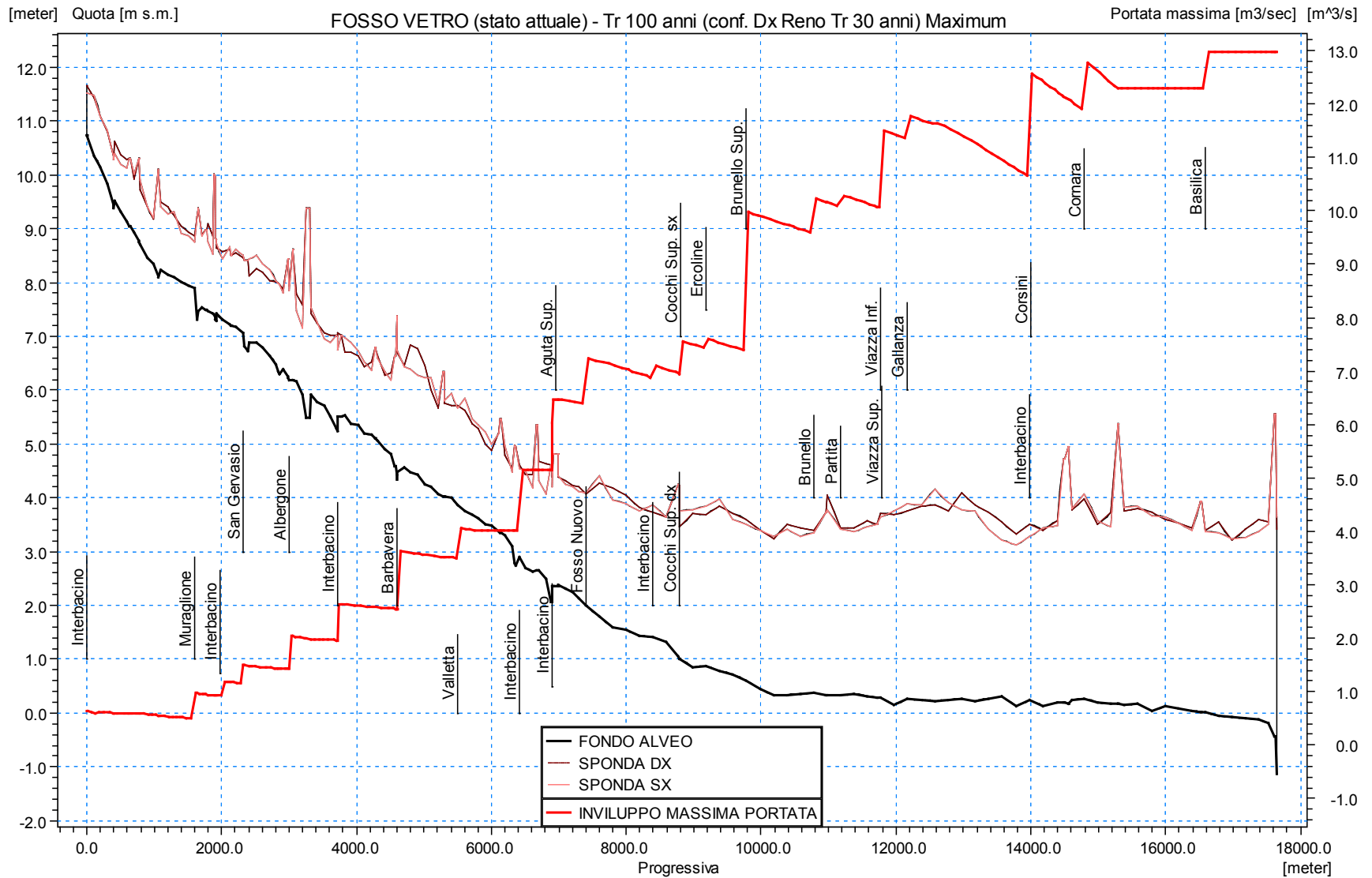


Figura 82 – Involuppo dei massimi di portata del Fosso Vetro per Tr 100 anni, nello scenario attuale (B).

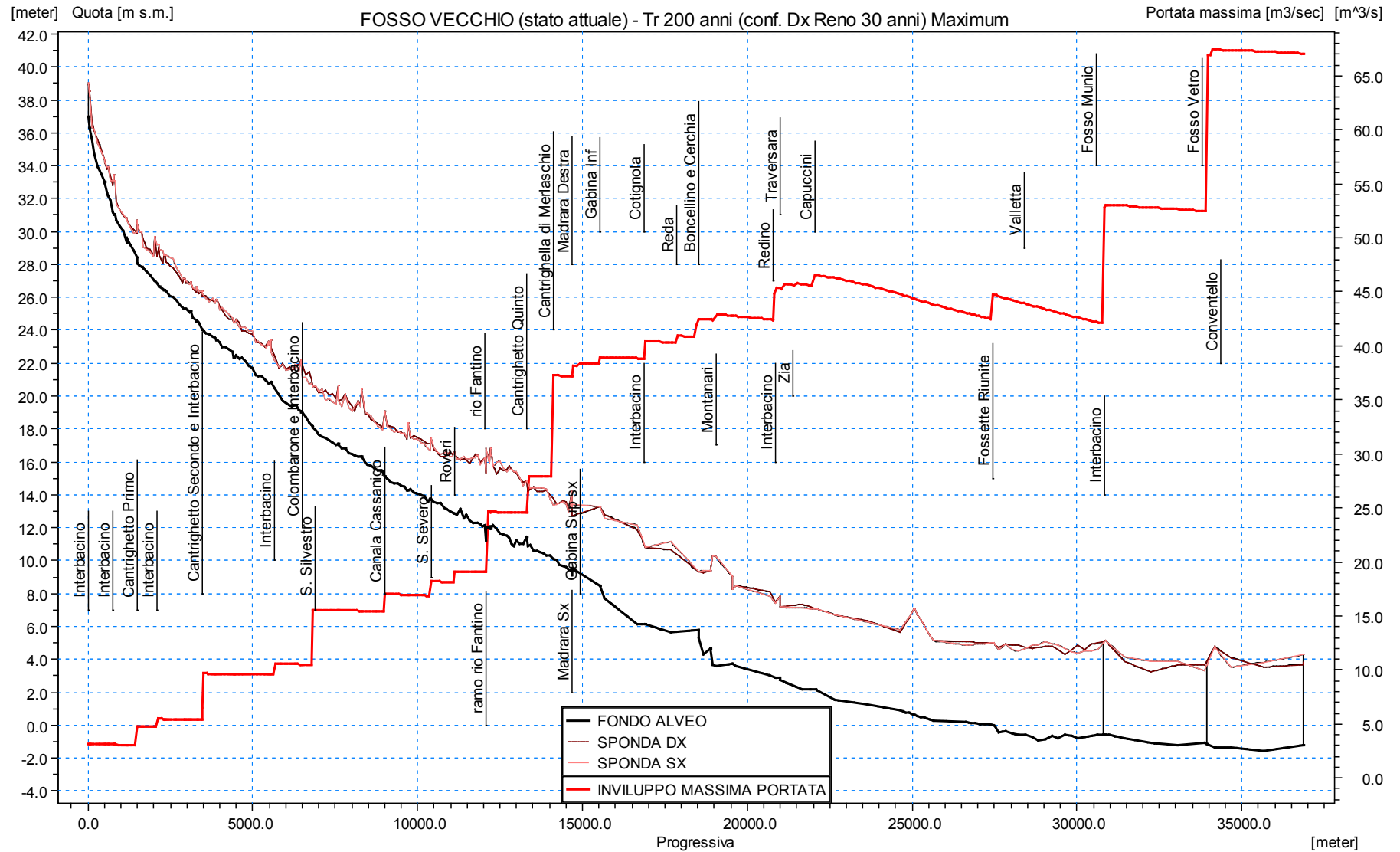


Figura 83 – Involuppo dei massimi di portata del Fosso Vecchio per Tr 200 anni, nello scenario attuale (B).

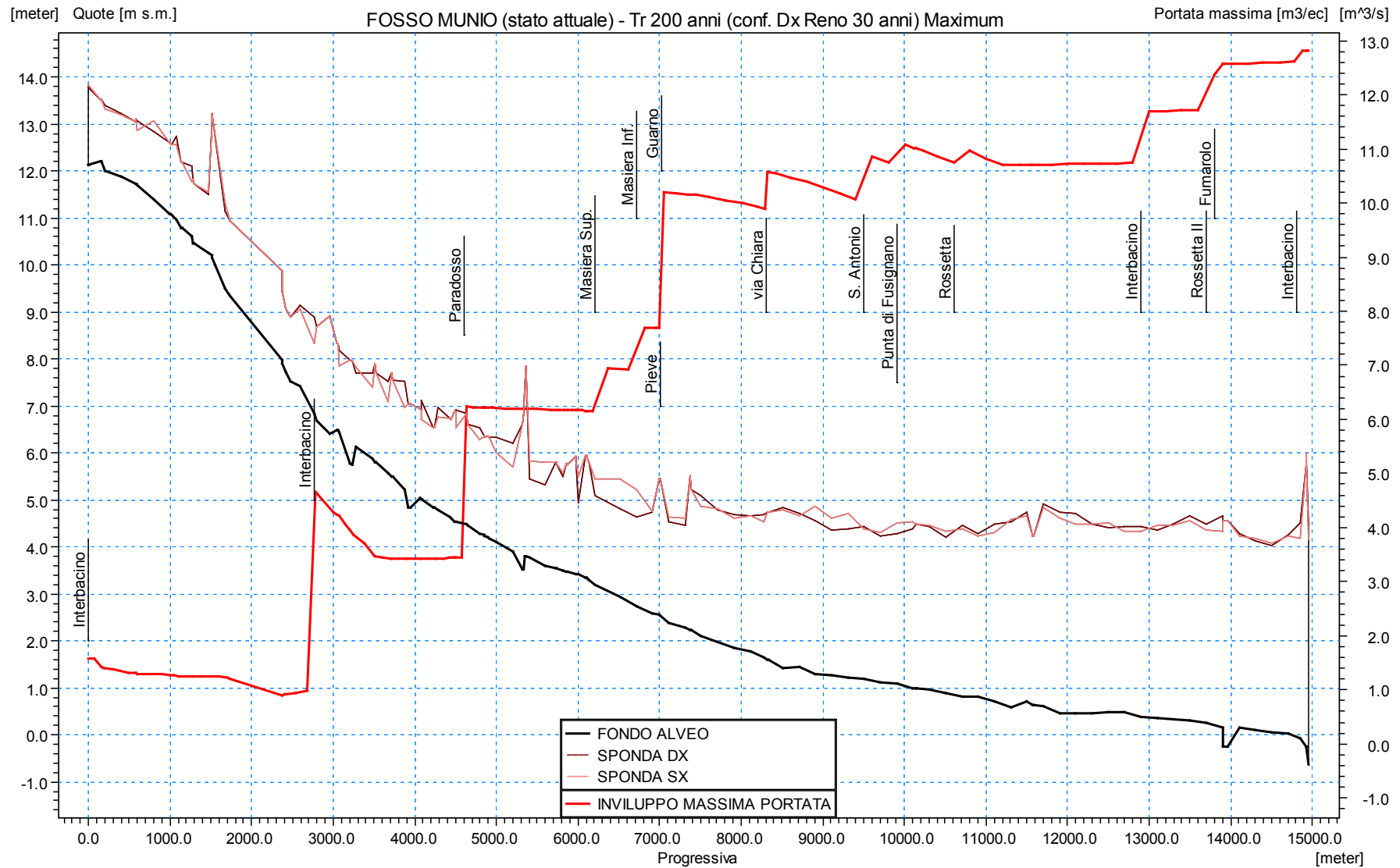


Figura 84 – Inviluppo dei massimi di portata del Fosso Munio per Tr 200 anni, nello scenario attuale (B).

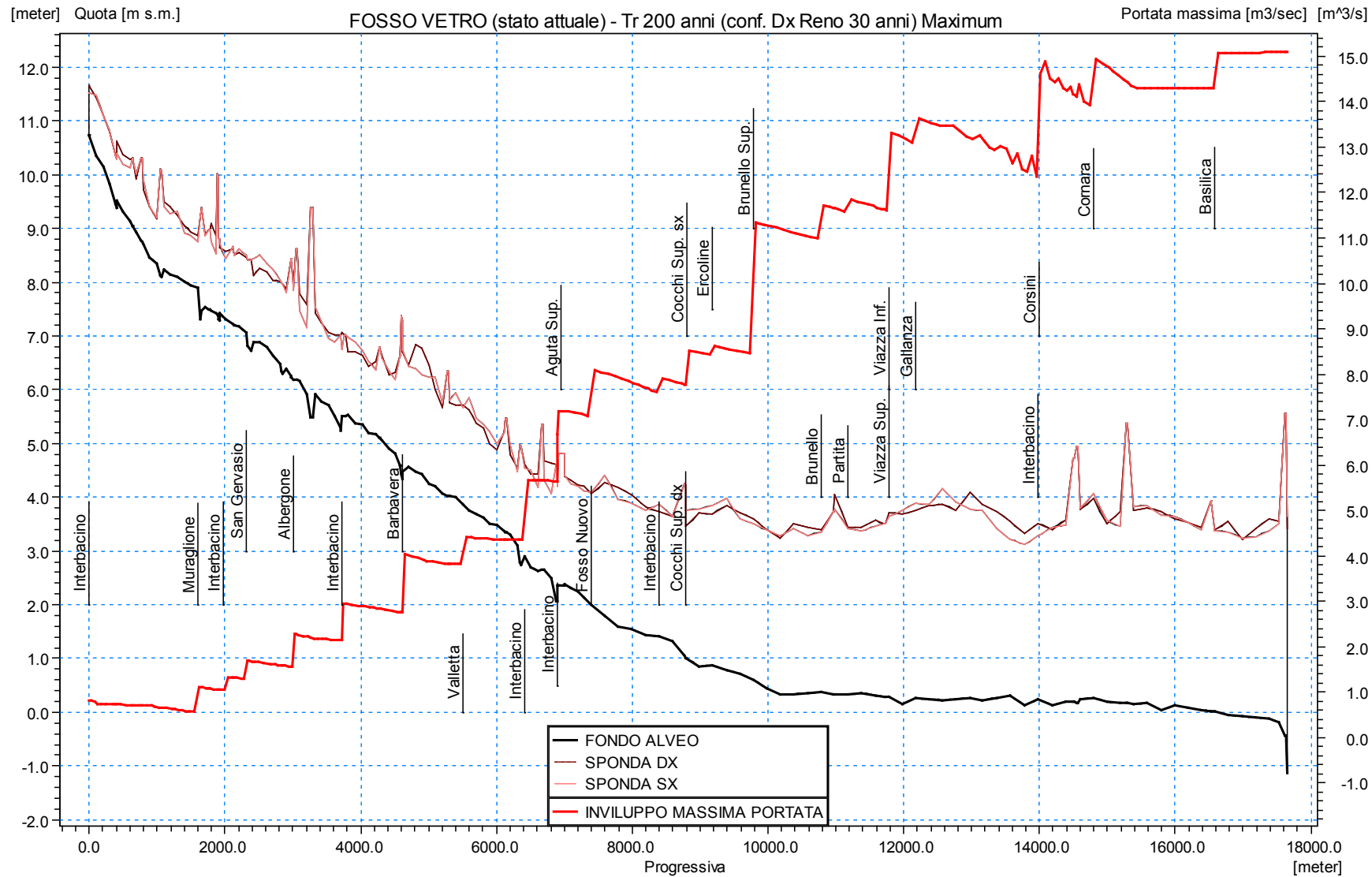


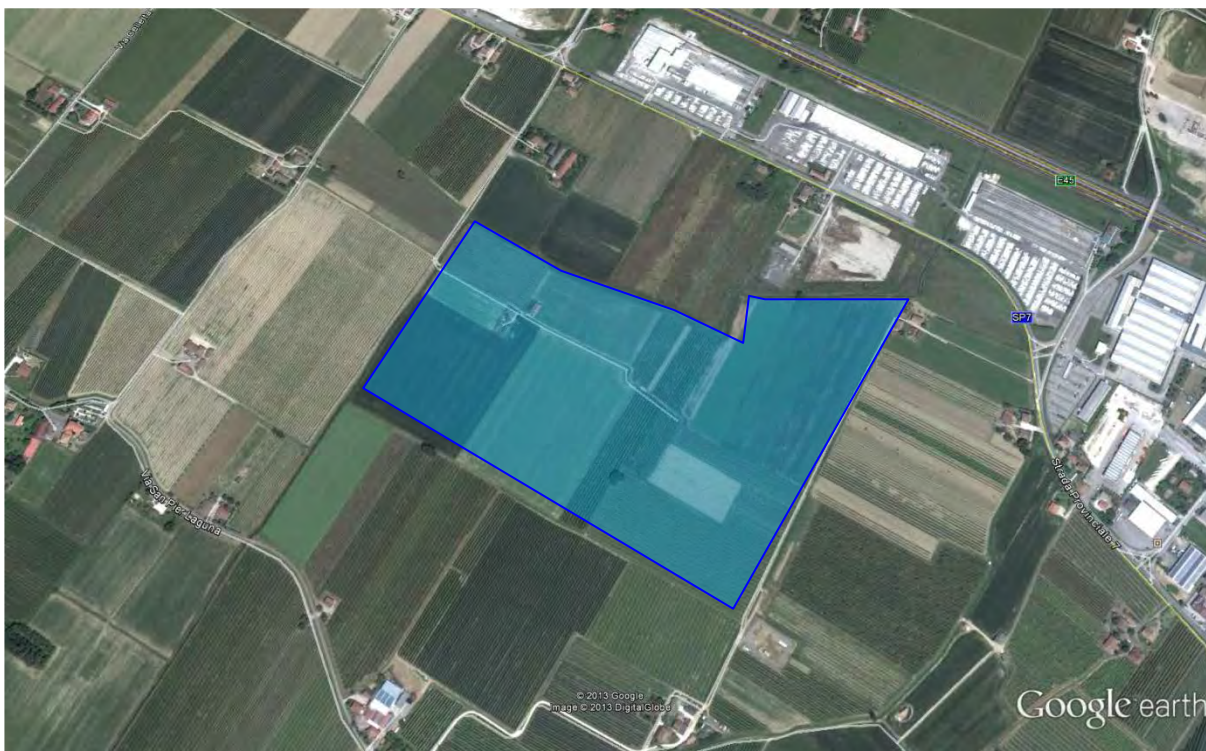
Figura 85 – Inviluppo dei massimi di portata del Fosso Vetro per Tr 200 anni, nello scenario attuale (B).

6.2 Configurazione di progetto 2 (P2)

La seconda ipotesi progettuale esaminata ha lo scopo di verificare il beneficio indotto dalla realizzazione di n. 3 casse di espansione sul Fosso Vecchio, indicando una prima ipotesi progettuale della geometria delle stesse (profondità della cassa, quota dello sfioratore e larghezza dello stesso, ...). Da una prima analisi e verifica preventiva, il Consorzio di Bonifica della Romagna Occidentale ha individuato la posizione ottimale delle tre casse, in termini sia idraulici che litologici. Di seguito si riporta una breve descrizione delle aree individuate, mentre in allegato (Appendice 4) si riportano in scala 1:10'000 le tavole desunte dal Sistema Informativo Territoriale del Consorzio di Bonifica della Romagna Occidentale, su base CTR, riportanti le aree interessate dalla possibile localizzazione di casse di espansione.

Cassa 1:

L'area è collocata in località Faenza, a monte dell'autostrada A14 Bologna-Ancona e della strada provinciale SP7, ad ovest della zona industriale che si affaccia sulla SP8. Essa ha una superficie media di circa 270'780 mq ed è compresa tra le progressive 4'181 m e 5'274 m del Fosso Vecchio; si ipotizza di posizionare lo sfioro in corrispondenza di una delle sezioni più a monte del fosso Vecchio (4'182 m), al fine di intercettare l'onda di piena transitante davanti alla cassa in corrispondenza della sezione ove il suo picco è massimo, garantendo così un più efficace abbattimento dei colmi di portata ed il massimo sfruttamento possibile della cassa in termini volumetrici. Per la realizzazione della cassa è previsto lo scavo, in quanto l'alveo del Fosso risulta in trincea.



Cassa 2:

L'area è collocata in località Granarolo Faentino, è delimitata dalle SP 8 e 85 e si estende per una superficie media di circa 9'000 mq. Essa è compresa tra le progressiva 11'200 m e 11'740 m del Fosso Vecchio; anche in questo caso, al fine di intercettare l'onda di piena transitante davanti alla cassa in corrispondenza della sezione ove il suo picco è massimo, si ipotizza di posizionare lo sfioro in corrispondenza di una delle sezioni più a monte del fosso Vecchio, ossia della 11'287 m. Per la realizzazione della cassa è previsto lo scavo, in quanto l'alveo del Fosso risulta in trincea.



Cassa 3:

L'area è collocata in località Alfonsine, a monte della linea ferroviaria Bologna - Ferrara - Ravenna - Rimini, ed è delimitata a sud-est dal Fosso Vecchio e a nord-ovest dal Canale Naviglio e dal Fosso Munio. La superficie media ha un'estensione di circa 424'120 mq. Essa è compresa tra le progressiva 28'833 m e 30'433 m del Fosso Vecchio; si ipotizza di posizionare lo sfioro in corrispondenza di una delle sezioni più a monte del fosso Vecchio, ossia della 29'033.00. Per la realizzazione della cassa, in questa prima ipotesi di sua configurazione geometrica, non è previsto lo scavo, in quanto si ritiene di poter sfruttare gli argini esistenti dei tre fossi sopra citati (identificando, di fatto, il tirante utile d'invaso con l'attuale grado di pensilità dei rilevati arginali del Fosso Vecchio). Come si dettaglierà meglio nel seguito, in seconda battuta si è ipotizzato anche di sfruttare al massimo le potenzialità di tale area di laminazione, prevedendo di poter scavare in parte l'attuale piano campagna per aumentare significativamente il volume massimo di laminazione.



Le tre casse di progetto sono state localizzate tutte sul Fosso Vecchio, a monte della confluenza dei suoi affluenti Munio (in sinistra idraulica) e Vetro (in destra idraulica); l'abbattimento dei livelli nel Fosso Vecchio induce effetti benefici anche sui due affluenti, diminuendo i fenomeni di rigurgito in corrispondenza delle sezioni ove il Munio e il Vetro confluiscono nel Fosso Vecchio.

Nella configurazione progettuale indicata con P2, che prevede l'inserimento delle tre casse, si mantengono ovviamente gli interventi sul Fosso Munio e sul Fosso Vecchio già eseguiti, ossia l'eliminazione della condotta DN 1000 dell'attraversamento del metanodotto alla progressiva 4233 del Munio, che ripristina il tratto a cielo aperto, ed il risezionamento dei due segmenti del Fosso Vecchio, tra la progressiva 3883 m e la progressiva 6823 m e tra la 8293 m e la 11'983 m.

L'evento di riferimento per una prima indicazione progettuale relativa alla geometria delle tre casse (quota dello sfioro e larghezza dello stesso) è quello con tempo di ritorno pari a 100 anni, caratterizzato da livelli e portate elevate ma centrate rispetto allo "spettro" di eventi rispetto al quale si desidera che gli interventi di progetto funzionino sempre correttamente (da Tr 30 anni a Tr 200 anni).

La configurazione scelta in funzione di tale evento (considerando inizialmente come condizione al contorno di valle per il Fosso Vecchio un tirante idrico pari a 0.5 m s. m. nel Destra Reno) è stata poi mantenuta nelle simulazione degli eventi con tempi di ritorno Tr di 30, 50 e 200 anni.

Di seguito si riporta schematicamente la quota e la larghezza dello sfioro imposte nelle singole casse di espansione; queste sono da considerarsi come una prima ipotesi progettuale di massima, che andrà poi verificata ed affinata in fase di progettazione definitiva dal Consorzio di Bonifica.

Si riportano inoltre per ogni singola cassa, all'aumentare del livello idrico, l'estensione dello specchio d'acqua e il volume immagazzinabile.

| Cassa | Progressiva Fosso Vecchio (m) | Quota sfioro (m s.m.) | Larghezza sfioro (m) | Quota fondo cassa (m s.m.) | Quota sponde (m s.m.) |
|----------------|--------------------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|------------------------------|
| Cassa 1 | 4'281.68 | 23.60 | 50.00 | 21.50 | 24.92 |
| Cassa 2 | 1'287.02 | 14.70 | 40.00 | 12.60 | 16.37 |
| Cassa 3 | 29'033.00 | 3.80 | 70.00 | 2.35 | 4.78 |

Cassa 1

| Quota (m.s.m) | Tirante (m) | A (m²) | V (m³) |
|----------------------|--------------------|--------------------------|--------------------------|
| 21.50 | | 261201.00 | |
| 22.00 | 0.50 | 263596.63 | 262399.31 |
| 22.50 | 1.00 | 265992.25 | 394796.53 |
| 23.00 | 1.50 | 268387.88 | 528391.56 |
| 23.60 | 2.10 | 271262.63 | 690286.71 |
| 24.00 | 2.50 | 273179.13 | 799175.06 |
| 25.50 | 4.00 | 280366.00 | 1214333.91 |

Cassa 2

| Quota (m.s.m) | Tirante (m) | A (m²) | V (m³) |
|----------------------|--------------------|--------------------------|--------------------------|
| 12.60 | | 91171.00 | |
| 13.00 | 0.40 | 92337.10 | 91754.45 |
| 13.60 | 1.00 | 94086.25 | 147681.46 |
| 14.00 | 1.40 | 95252.35 | 185549.18 |
| 14.70 | 2.10 | 97293.03 | 252940.06 |
| 15.00 | 2.40 | 98167.60 | 282259.15 |
| 16.60 | 4.00 | 102832.00 | 443058.83 |

Cassa 3

| Quota (m.s.m) | Tirante (m) | A (m²) | V (m³) |
|----------------------|--------------------|--------------------------|--------------------------|
| 2.35 | | 410702.00 | |
| 2.70 | 0.35 | 413834.38 | 412268.54 |
| 3.00 | 0.65 | 416519.28 | 536821.59 |
| 3.40 | 1.05 | 420099.15 | 704145.28 |
| 3.80 | 1.45 | 423679.02 | 872900.91 |
| 4.50 | 2.15 | 429943.78 | 1171668.89 |
| 5.35 | 3.00 | 437551.00 | 1540354.17 |

Di seguito si riportano (da figura 86 a figura 98) gli involuppi di livello idrico e portata massimi nei fossi Vecchio, Munio e Vetro, per un evento con tempo di ritorno di 100 anni, nel caso di Scenario A, ossia con un tirante nel Destra Reno pari a 0.5 m s. m.; nei profili longitudinali del Fosso Vecchio vengono riportate le posizioni delle tre casse.

Si osserva dall'involuppo del massimo livello nel Fosso Vecchio come la presenza delle casse induca un abbattimento elevato dei tiranti a monte e a valle delle stesse; in particolare, si osservano abbattimenti del tirante idrico massimo fino a 75 e 80 cm per le casse 1 e 2. Inferiore è l'abbattimento indotto dalla cassa più a valle, fino ad un massimo di circa 65 cm, ma l'effetto benefico dovuto al funzionamento della cassa 3 risulta essere più esteso sia a monte che a valle della cassa stessa; la presenza della cassa, infatti, causa un effetto di "richiamo" anche per le sezioni più a monte, che vedono così diminuire il tirante idrico massimo rispetto allo stato attuale.

La presenza delle tre casse, quindi, permette lo smaltimento in sicurezza della portata con tempo di ritorno centennale, anche lungo tratti che attualmente risultano oggi idraulicamente insufficienti; ciò risulta, oltre che graficamente dalla figura 99, dalla tabella seguente, ove si riportano per alcune progressive del Fosso Vecchio (quelle per le quali gli effetti in termini di riduzione del livello risultano più significativi) le quote delle sponde sinistra e destra ed i tiranti massimi nelle due seguenti configurazioni a confronto:

- P2: configurazione attuale (Fosso Vecchio risagomato in due tratti ed eliminazione della tombinatura sul Fosso Munio alla progressiva 4233 m), con l'inserimento delle tre casse, aventi caratteristiche geometriche come sopra riportato,

- P1*: configurazione attuale (Fosso Vecchio risagomato in due tratti ed eliminazione della tombinatura sul Fosso Munio alla progressiva 4233 m), senza casse d'espansione.

Si riporta quindi la differenza tra questi ultimi e la sponda più bassa (le differenze positive indicano punti per i quali si ha l'esondazione del Fosso Vecchio); in grassetto si riportano le progressive ove sono posizionate le casse.

Si osserva come in generale la presenza delle casse induca abbattimenti dei livelli di piena considerevoli, che si estendono anche nelle sezioni a monte e a valle delle stesse; per le sezioni che risultavano già sufficienti idraulicamente per lo smaltimento della portata con $T_r = 100$ anni si osserva comunque un benefico incremento del franco di sicurezza.

Lungo alcuni tratti, invece, caratterizzati nella configurazione P1* da esondazioni diffuse (ad esempio, dalla progr. 6821 m alla 7506 m e dalla progr. 25637 m alla 34659 m), la presenza delle casse abbatte i livelli massimi ad un tirante tale da permettere il transito in sicurezza della portata centennale o comunque ad avere esondazioni molto più contenute.

| Progressiva Fosso Vecchio (m) | Sponda sx (m.s.m.) | Sponda dx (m.s.m.) | h max (P2) (m.s.m.) | h max (P1*) (m.s.m.) | h max (P2) - sponda min (m) | h max (P1*) - sponda min (m) |
|-------------------------------|--------------------|--------------------|---------------------|----------------------|-----------------------------|------------------------------|
| 3683.74 | 25.72 | 25.85 | 25.67 | 25.68 | -0.05 | -0.04 |
| 3783.45 | 25.92 | 25.78 | 25.28 | 25.30 | -0.50 | -0.48 |
| 3840 | 25.6 | 25.6 | 25.09 | 25.15 | -0.51 | -0.45 |
| 3905.02 | 25.85 | 25.85 | 25.05 | 25.11 | -0.80 | -0.74 |
| 3913.22 | 25.84 | 25.84 | 25.02 | 25.09 | -0.82 | -0.75 |
| 3982.85 | 25.43 | 25.43 | 24.91 | 25.00 | -0.52 | -0.43 |
| 4082.61 | 25.37 | 25.26 | 24.66 | 24.82 | -0.60 | -0.44 |
| 4181.68 | 25.16 | 25.09 | 24.33 | 24.67 | -0.76 | -0.42 |
| 4281.68 | 24.97 | 24.92 | 23.78 | 24.49 | -1.14 | -0.43 |
| 4382.19 | 24.75 | 24.75 | 23.57 | 24.33 | -1.18 | -0.42 |
| 4432.23 | 24.46 | 24.46 | 23.53 | 24.29 | -0.93 | -0.17 |
| 4442.23 | 24.46 | 24.46 | 23.52 | 24.21 | -0.94 | -0.25 |
| 4480.93 | 24.58 | 24.58 | 23.47 | 24.16 | -1.11 | -0.42 |
| 4581.29 | 24.41 | 24.41 | 23.31 | 23.99 | -1.10 | -0.42 |
| 4681.41 | 24.24 | 24.24 | 23.14 | 23.81 | -1.10 | -0.43 |
| 4781.41 | 24.07 | 24.07 | 22.97 | 23.64 | -1.10 | -0.43 |
| 4880.95 | 23.90 | 23.90 | 22.79 | 23.46 | -1.11 | -0.44 |
| 4980 | 23.99 | 23.73 | 22.61 | 23.29 | -1.12 | -0.44 |
| 5077.83 | 23.57 | 23.57 | 22.44 | 23.12 | -1.13 | -0.45 |
| 5175.3 | 23.40 | 23.4 | 22.27 | 22.96 | -1.13 | -0.44 |
| 5274.45 | 23.23 | 23.23 | 22.09 | 22.78 | -1.14 | -0.45 |
| 5374.05 | 23.07 | 23.07 | 21.9 | 22.62 | -1.17 | -0.45 |
| 5400 | 22.93 | 22.93 | 21.87 | 22.59 | -1.06 | -0.34 |
| 5472.64 | 23.29 | 23.29 | 21.79 | 22.50 | -1.50 | -0.79 |
| 5482.64 | 23.14 | 23.14 | 21.76 | 22.42 | -1.38 | -0.72 |
| 5531.94 | 23.42 | 23.42 | 21.73 | 22.39 | -1.69 | -1.03 |
| 5543.94 | 23.42 | 23.42 | 21.72 | 22.37 | -1.70 | -1.05 |
| 5560.27 | 22.76 | 22.76 | 21.69 | 22.33 | -1.07 | -0.43 |
| 5659.88 | 22.59 | 22.59 | 21.55 | 22.17 | -1.04 | -0.42 |
| 5805.1 | 22.34 | 22.34 | 21.37 | 21.98 | -0.97 | -0.36 |
| 5905.88 | 22.18 | 22.18 | 21.21 | 21.82 | -0.97 | -0.36 |
| 6005.71 | 22.02 | 22.02 | 21.03 | 21.65 | -0.99 | -0.37 |
| 6105.14 | 21.86 | 21.86 | 20.85 | 21.47 | -1.01 | -0.39 |
| 6200.77 | 21.78 | 21.71 | 20.67 | 21.32 | -1.04 | -0.39 |
| 6250 | 21.88 | 21.84 | 20.59 | 21.24 | -1.25 | -0.60 |
| 6301.88 | 21.9 | 21.90 | 20.51 | 21.18 | -1.39 | -0.72 |
| 6308.88 | 21.9 | 21.90 | 20.49 | 21.11 | -1.41 | -0.79 |
| 6398.29 | 21.45 | 21.78 | 20.37 | 21.01 | -1.08 | -0.44 |
| 6455.43 | 22.18 | 22.18 | 20.34 | 20.97 | -1.84 | -1.21 |
| 6464.43 | 22.16 | 22.16 | 20.33 | 20.94 | -1.83 | -1.22 |
| 6498.45 | 21.26 | 21.26 | 20.3 | 20.90 | -0.96 | -0.36 |
| 6597.43 | 21.11 | 21.39 | 20.21 | 20.80 | -0.90 | -0.31 |
| 6696.44 | 20.96 | 21.57 | 20.17 | 20.72 | -0.79 | -0.24 |
| 6797.3 | 20.81 | 20.99 | 20.08 | 20.62 | -0.73 | -0.19 |
| 6821.54 | 20.6 | 20.60 | 20.05 | 20.60 | -0.55 | 0.00 |
| 6835.54 | 20.66 | 20.66 | 20.01 | 20.48 | -0.65 | -0.18 |
| 6906.87 | 20.54 | 20.52 | 19.94 | 20.40 | -0.58 | -0.12 |
| 7007.12 | 20.29 | 20.18 | 19.8 | 20.26 | -0.38 | 0.08 |
| 7106.78 | 20.44 | 20.23 | 19.66 | 20.13 | -0.57 | -0.10 |
| 7206.75 | 19.75 | 20.38 | 19.52 | 19.97 | -0.23 | 0.22 |
| 7306.41 | 19.84 | 20.05 | 19.35 | 19.81 | -0.49 | -0.03 |
| 7406.63 | 19.62 | 20.16 | 19.19 | 19.65 | -0.43 | 0.03 |
| 7506.08 | 19.48 | 19.84 | 19.04 | 19.50 | -0.44 | 0.02 |
| 7581.32 | 20.63 | 20.63 | 19.03 | 19.49 | -1.60 | -1.14 |
| 7592.82 | 20.63 | 20.63 | 19.02 | 19.49 | -1.61 | -1.14 |
| 7605.52 | 19.69 | 19.75 | 18.98 | 19.44 | -0.71 | -0.25 |
| 7705.36 | 19.34 | 19.80 | 18.8 | 19.27 | -0.54 | -0.07 |
| 7800 | 20.11 | 20.11 | 18.74 | 19.21 | -1.37 | -0.90 |
| 7818 | 20.09 | 20.09 | 18.73 | 19.17 | -1.36 | -0.92 |
| 7904.2 | 19.3 | 19.65 | 18.63 | 19.07 | -0.67 | -0.23 |
| 8003.73 | 19.07 | 19.38 | 18.47 | 18.90 | -0.60 | -0.17 |
| 8103.24 | 19.4 | 19.11 | 18.29 | 18.73 | -0.82 | -0.38 |

| Progressiva Fosso Vecchio (m) | Sponda sx (m.s.m.) | Sponda dx (m.s.m.) | h max (P2) (m.s.m.) | h max (P1*) (m.s.m.) | h max (P2) - sponda min (m) | h max (P1*) - sponda min (m) |
|-------------------------------|--------------------|--------------------|---------------------|----------------------|-----------------------------|------------------------------|
| 8202.63 | 19.62 | 19.73 | 18.11 | 18.55 | -1.51 | -1.07 |
| 8250 | 19.39 | 19.42 | 18.01 | 18.46 | -1.38 | -0.93 |
| 8300.06 | 20.43 | 20.43 | 17.98 | 18.44 | -2.45 | -1.99 |
| 8309.66 | 20.43 | 20.43 | 17.97 | 18.41 | -2.46 | -2.02 |
| 8392.4 | 19.05 | 18.87 | 17.84 | 18.27 | -1.03 | -0.60 |
| 8492.09 | 18.96 | 18.96 | 17.69 | 18.13 | -1.27 | -0.83 |
| 8591.96 | 18.86 | 18.86 | 17.58 | 18.02 | -1.28 | -0.84 |
| 8691.84 | 18.77 | 18.77 | 17.47 | 17.91 | -1.30 | -0.86 |
| 8792.45 | 18.67 | 18.67 | 17.37 | 17.81 | -1.30 | -0.86 |
| 8892.36 | 18.57 | 18.57 | 17.27 | 17.71 | -1.30 | -0.86 |
| 8950 | 18.48 | 18.48 | 17.23 | 17.66 | -1.25 | -0.82 |
| 9006.66 | 19.11 | 19.11 | 17.23 | 17.66 | -1.88 | -1.45 |
| 9018.56 | 19.11 | 19.11 | 17.22 | 17.65 | -1.89 | -1.46 |
| 9091.09 | 18.38 | 18.38 | 17.17 | 17.59 | -1.21 | -0.79 |
| 9191.44 | 18.29 | 18.29 | 17.05 | 17.47 | -1.24 | -0.82 |
| 9291.31 | 18.19 | 18.19 | 16.92 | 17.36 | -1.27 | -0.83 |
| 9390.48 | 18.1 | 18.10 | 16.8 | 17.24 | -1.30 | -0.86 |
| 9490.04 | 18.01 | 18.01 | 16.68 | 17.13 | -1.33 | -0.88 |
| 9590.6 | 17.91 | 17.91 | 16.56 | 17.02 | -1.35 | -0.89 |
| 9690.58 | 17.82 | 17.82 | 16.44 | 16.91 | -1.38 | -0.91 |
| 9717.53 | 18.34 | 18.34 | 16.44 | 16.91 | -1.90 | -1.43 |
| 9725.83 | 18.34 | 18.34 | 16.42 | 16.88 | -1.92 | -1.46 |
| 9793.22 | 17.73 | 17.73 | 16.36 | 16.81 | -1.37 | -0.92 |
| 9892.62 | 17.64 | 17.64 | 16.25 | 16.72 | -1.39 | -0.92 |
| 9992.89 | 17.55 | 17.55 | 16.15 | 16.62 | -1.40 | -0.93 |
| 10091.76 | 17.46 | 17.46 | 16.05 | 16.53 | -1.41 | -0.93 |
| 10192.58 | 17.37 | 17.37 | 15.94 | 16.44 | -1.43 | -0.93 |
| 10293.63 | 17.28 | 17.28 | 15.84 | 16.36 | -1.44 | -0.92 |
| 10391.2 | 17.17 | 17.17 | 15.74 | 16.27 | -1.43 | -0.90 |
| 10420.25 | 17.48 | 17.48 | 15.72 | 16.26 | -1.76 | -1.22 |
| 10429.75 | 17.41 | 17.41 | 15.69 | 16.22 | -1.72 | -1.19 |
| 10491.52 | 17.08 | 17.08 | 15.63 | 16.17 | -1.45 | -0.91 |
| 10590.79 | 16.99 | 16.99 | 15.53 | 16.10 | -1.46 | -0.89 |
| 10691.27 | 16.9 | 16.90 | 15.43 | 16.03 | -1.47 | -0.87 |
| 10790.1 | 16.81 | 16.81 | 15.35 | 15.98 | -1.46 | -0.83 |
| 10891.02 | 16.72 | 16.72 | 15.26 | 15.92 | -1.46 | -0.80 |
| 10989.82 | 16.63 | 16.63 | 15.15 | 15.86 | -1.48 | -0.77 |
| 11050 | 16.54 | 16.54 | 15.1 | 15.83 | -1.44 | -0.71 |
| 11125.38 | 16.59 | 16.59 | 15.06 | 15.8 | -1.53 | -0.79 |
| 11134.38 | 16.57 | 16.57 | 15.03 | 15.77 | -1.54 | -0.80 |
| 11200 | 16.46 | 16.46 | 14.97 | 15.73 | -1.49 | -0.73 |
| 11287.02 | 16.37 | 16.37 | 14.88 | 15.69 | -1.49 | -0.68 |
| 11385.55 | 16.28 | 16.28 | 14.85 | 15.65 | -1.43 | -0.63 |
| 11486.31 | 16.19 | 16.19 | 14.82 | 15.61 | -1.37 | -0.58 |
| 11585.19 | 16.16 | 16.16 | 14.79 | 15.57 | -1.37 | -0.59 |
| 11684.85 | 16.01 | 16.01 | 14.76 | 15.53 | -1.25 | -0.48 |
| 11740 | 15.92 | 15.92 | 14.75 | 15.52 | -1.17 | -0.40 |
| 11790.89 | 16.38 | 16.38 | 14.74 | 15.51 | -1.64 | -0.87 |
| 11808.89 | 16.36 | 16.36 | 14.73 | 15.48 | -1.63 | -0.88 |
| 11890.69 | 15.83 | 15.83 | 14.71 | 15.46 | -1.12 | -0.37 |
| 11982.94 | 16.05 | 16.11 | 14.67 | 15.38 | -1.38 | -0.67 |
| 12035 | 16.28 | 16.28 | 14.67 | 15.4 | -1.61 | -0.88 |
| 12068.19 | 15.3 | 15.30 | 14.66 | 15.28 | -0.64 | -0.02 |
| 12082.36 | 16.8 | 16.26 | 14.65 | 15.26 | -1.61 | -1.00 |
| 12180.07 | 15.9 | 16.57 | 14.55 | 15.17 | -1.35 | -0.73 |
| 12197.02 | 16.84 | 16.84 | 14.56 | 15.17 | -2.28 | -1.67 |
| 12207.52 | 16.84 | 16.84 | 14.52 | 15.09 | -2.32 | -1.75 |
| 12228.52 | 16.42 | 16.42 | 14.51 | 15.08 | -1.91 | -1.34 |
| 12234.52 | 16.42 | 16.42 | 14.48 | 15.04 | -1.94 | -1.38 |
| 12280.54 | 15.75 | 15.79 | 14.44 | 14.99 | -1.31 | -0.76 |
| 12393.83 | 15.97 | 15.28 | 14.31 | 14.87 | -0.97 | -0.41 |
| 12495.17 | 16.04 | 15.60 | 14.21 | 14.76 | -1.39 | -0.84 |

| Progressiva Fosso Vecchio (m) | Sponda sx (m.s.m.) | Sponda dx (m.s.m.) | h max (P2) (m.s.m.) | h max (P1*) (m.s.m.) | h max (P2) - sponda min (m) | h max (P1*) - sponda min (m) |
|-------------------------------|--------------------|--------------------|---------------------|----------------------|-----------------------------|------------------------------|
| 12594.08 | 15.63 | 15.47 | 14.1 | 14.65 | -1.37 | -0.82 |
| 12693.27 | 15.38 | 15.55 | 13.99 | 14.54 | -1.39 | -0.84 |
| 12793.02 | 15.52 | 15.76 | 13.88 | 14.43 | -1.64 | -1.09 |
| 12836.47 | 15.55 | 15.55 | 13.89 | 14.44 | -1.66 | -1.11 |
| 12911.47 | 15.4 | 15.40 | 13.88 | 14.41 | -1.52 | -0.99 |
| 13000.96 | 15.38 | 15.36 | 13.83 | 14.34 | -1.53 | -1.02 |
| 13099.95 | 15.05 | 15.01 | 13.75 | 14.25 | -1.26 | -0.76 |
| 13199.57 | 14.56 | 14.74 | 13.66 | 14.14 | -0.90 | -0.42 |
| 13297.02 | 14.87 | 14.87 | 13.61 | 14.08 | -1.26 | -0.79 |
| 13306.02 | 14.87 | 14.87 | 13.56 | 14.01 | -1.31 | -0.86 |
| 13326.25 | 14.7 | 14.17 | 13.55 | 14 | -0.62 | -0.17 |
| 13409.91 | 14.41 | 14.35 | 13.48 | 13.93 | -0.87 | -0.42 |
| 13505.1 | 14.42 | 14.49 | 13.4 | 13.85 | -1.02 | -0.57 |
| 13607.53 | 14.42 | 14.21 | 13.33 | 13.77 | -0.88 | -0.44 |
| 13706.57 | 14.39 | 14.20 | 13.33 | 13.76 | -0.87 | -0.44 |
| 13807.41 | 14.42 | 14.19 | 13.28 | 13.7 | -0.91 | -0.49 |
| 13906.96 | 14.36 | 14.27 | 13.23 | 13.64 | -1.04 | -0.63 |
| 14006.1 | 13.81 | 14.02 | 13.17 | 13.57 | -0.64 | -0.24 |
| 14105.79 | 13.36 | 13.77 | 13.07 | 13.46 | -0.29 | 0.10 |
| 14206.42 | 13.43 | 13.45 | 12.9 | 13.3 | -0.53 | -0.13 |
| 14304.96 | 13.49 | 13.47 | 12.8 | 13.21 | -0.67 | -0.26 |
| 14390.07 | 13.54 | 13.65 | 12.7 | 13.12 | -0.84 | -0.42 |
| 14490.55 | 13.43 | 13.56 | 12.55 | 13 | -0.88 | -0.43 |
| 14582.27 | 12.91 | 13.09 | 12.45 | 12.91 | -0.46 | 0.00 |
| 14667.97 | 14.18 | 14.18 | 12.39 | 12.84 | -1.79 | -1.34 |
| 14681.27 | 13.2 | 13.20 | 12.22 | 12.56 | -0.98 | -0.64 |
| 14687.85 | 13.39 | 12.70 | 12.18 | 12.53 | -0.52 | -0.17 |
| 15526.66 | 13.29 | 13.29 | 10.96 | 11.37 | -2.33 | -1.92 |
| 15535.66 | 13.29 | 13.29 | 10.91 | 11.29 | -2.38 | -2.00 |
| 15683.95 | 12.58 | 12.80 | 10.75 | 11.14 | -1.83 | -1.44 |
| 16671.02 | 12.15 | 11.90 | 9.58 | 10.01 | -2.32 | -1.89 |
| 16780.73 | 11.46 | 11.34 | 9.5 | 9.93 | -1.84 | -1.41 |
| 16890.45 | 10.78 | 10.78 | 9.45 | 9.88 | -1.33 | -0.90 |
| 16900.45 | 10.78 | 10.78 | 9.37 | 9.77 | -1.41 | -1.01 |
| 17665.88 | 11.15 | 10.67 | 8.93 | 9.31 | -1.74 | -1.36 |
| 18508.7 | 9.34 | 9.34 | 7.87 | 8.33 | -1.47 | -1.01 |
| 18518.9 | 9.34 | 9.34 | 7.83 | 8.25 | -1.51 | -1.09 |
| 18659.49 | 9.41 | 9.26 | 7.69 | 8.13 | -1.57 | -1.13 |
| 18877.78 | 9.38 | 9.38 | 7.47 | 7.92 | -1.91 | -1.46 |
| 18886.78 | 9.38 | 9.38 | 7.36 | 7.78 | -2.02 | -1.60 |
| 18937.98 | 10.3 | 10.30 | 7.38 | 7.8 | -2.92 | -2.50 |
| 19036.98 | 10.24 | 10.24 | 7.28 | 7.68 | -2.96 | -2.56 |
| 19540.46 | 9.02 | 9.02 | 7.17 | 7.56 | -1.85 | -1.46 |
| 19554.46 | 8.29 | 8.29 | 7.15 | 7.53 | -1.14 | -0.76 |
| 19670.29 | 8.49 | 8.49 | 7.08 | 7.46 | -1.41 | -1.03 |
| 20664.65 | 7.82 | 8.11 | 6.38 | 6.79 | -1.44 | -1.03 |
| 20865.3 | 7.83 | 7.90 | 6.29 | 6.7 | -1.54 | -1.13 |
| 20976.92 | 7.84 | 7.84 | 6.26 | 6.67 | -1.58 | -1.17 |
| 20987.02 | 7.17 | 7.17 | 6.23 | 6.62 | -0.94 | -0.55 |
| 21659.33 | 7.11 | 7.34 | 6.01 | 6.4 | -1.10 | -0.71 |
| 21900 | 7.09 | 7.19 | 5.9 | 6.29 | -1.19 | -0.80 |
| 22095.11 | 7.08 | 7.08 | 5.82 | 6.22 | -1.26 | -0.86 |
| 22106.21 | 7.08 | 7.08 | 5.78 | 6.16 | -1.30 | -0.92 |
| 22655.36 | 6.71 | 6.69 | 5.59 | 5.98 | -1.10 | -0.71 |
| 23650.15 | 6.26 | 6.34 | 5.22 | 5.64 | -1.04 | -0.62 |
| 24642.85 | 5.79 | 5.68 | 4.85 | 5.34 | -0.83 | -0.34 |
| 24726.5 | 6.04 | 5.95 | 4.83 | 5.33 | -1.12 | -0.62 |
| 24810.15 | 6.29 | 6.23 | 4.82 | 5.31 | -1.41 | -0.92 |
| 24893.81 | 6.55 | 6.50 | 4.81 | 5.31 | -1.69 | -1.19 |
| 24977.46 | 6.8 | 6.78 | 4.8 | 5.3 | -1.98 | -1.48 |
| 25061.11 | 7.05 | 7.05 | 4.8 | 5.3 | -2.25 | -1.75 |
| 25075.51 | 7.04 | 7.04 | 4.78 | 5.28 | -2.26 | -1.76 |

| Progressiva Fosso Vecchio (m) | Sponda sx (m.s.m.) | Sponda dx (m.s.m.) | h max (P2) (m.s.m.) | h max (P1*) (m.s.m.) | h max (P2) - sponda min (m) | h max (P1*) - sponda min (m) |
|-------------------------------|--------------------|--------------------|---------------------|----------------------|-----------------------------|------------------------------|
| 25169.17 | 6.72 | 6.72 | 4.77 | 5.27 | -1.95 | -1.45 |
| 25262.83 | 6.4 | 6.40 | 4.76 | 5.26 | -1.64 | -1.14 |
| 25356.48 | 6.09 | 6.08 | 4.75 | 5.25 | -1.33 | -0.83 |
| 25450.14 | 5.77 | 5.76 | 4.73 | 5.24 | -1.03 | -0.52 |
| 25543.8 | 5.45 | 5.44 | 4.72 | 5.22 | -0.72 | -0.22 |
| 25637.46 | 5.13 | 5.11 | 4.69 | 5.21 | -0.42 | 0.10 |
| 26631.26 | 4.86 | 5.05 | 4.47 | 5.04 | -0.39 | 0.18 |
| 26774.85 | 4.88 | 5.05 | 4.43 | 5.01 | -0.45 | 0.13 |
| 26918.43 | 4.91 | 5.04 | 4.4 | 4.99 | -0.51 | 0.08 |
| 27062.02 | 4.93 | 5.03 | 4.38 | 4.97 | -0.55 | 0.04 |
| 27205.6 | 4.96 | 5.03 | 4.35 | 4.95 | -0.61 | -0.01 |
| 27349.19 | 4.99 | 5.02 | 4.33 | 4.94 | -0.66 | -0.05 |
| 27492.77 | 5.01 | 5.01 | 4.31 | 4.92 | -0.70 | -0.09 |
| 27503.47 | 4.88 | 4.88 | 4.28 | 4.88 | -0.60 | 0.00 |
| 27633.37 | 4.58 | 4.72 | 4.26 | 4.87 | -0.32 | 0.29 |
| 27833 | 4.94 | 4.93 | 4.23 | 4.84 | -0.70 | -0.09 |
| 28033 | 4.58 | 4.86 | 4.2 | 4.82 | -0.38 | 0.24 |
| 28233 | 4.48 | 4.90 | 4.16 | 4.8 | -0.32 | 0.32 |
| 28433 | 4.67 | 4.74 | 4.12 | 4.77 | -0.55 | 0.10 |
| 28633 | 4.84 | 4.67 | 4.09 | 4.75 | -0.58 | 0.08 |
| 28833 | 4.86 | 4.72 | 4.06 | 4.73 | -0.66 | 0.01 |
| 29033 | 5.11 | 4.78 | 4.03 | 4.71 | -0.75 | -0.07 |
| 29233 | 4.94 | 4.79 | 4.02 | 4.69 | -0.77 | -0.10 |
| 29433 | 4.9 | 4.61 | 4.01 | 4.67 | -0.60 | 0.06 |
| 29633 | 4.67 | 4.32 | 4 | 4.66 | -0.32 | 0.34 |
| 29833 | 4.46 | 4.58 | 3.98 | 4.63 | -0.48 | 0.17 |
| 30033 | 4.36 | 4.85 | 3.97 | 4.62 | -0.39 | 0.26 |
| 30233 | 4.52 | 4.61 | 3.96 | 4.6 | -0.56 | 0.08 |
| 30433 | 4.54 | 4.92 | 3.95 | 4.58 | -0.59 | 0.04 |
| 30633 | 4.59 | 4.98 | 3.94 | 4.55 | -0.65 | -0.04 |
| 30792.37 | 4.98 | 5.09 | 3.93 | 4.55 | -1.05 | -0.43 |
| 30857.98 | 5.14 | 5.14 | 3.93 | 4.54 | -1.21 | -0.60 |
| 30868.88 | 5.13 | 5.13 | 3.91 | 4.51 | -1.22 | -0.62 |
| 30972.37 | 4.95 | 4.90 | 3.9 | 4.5 | -1.00 | -0.40 |
| 31448.01 | 4.16 | 3.85 | 3.83 | 4.42 | -0.02 | 0.57 |
| 32245.65 | 3.88 | 3.26 | 3.7 | 4.26 | 0.44 | 1.00 |
| 33057.39 | 3.89 | 3.65 | 3.56 | 4.1 | -0.09 | 0.45 |
| 33855.43 | 3.34 | 3.63 | 3.41 | 3.9 | 0.07 | 0.56 |
| 33925 | 3.66 | 3.89 | 3.39 | 3.89 | -0.27 | 0.23 |
| 34166.43 | 4.76 | 4.76 | 3.33 | 3.81 | -1.43 | -0.95 |
| 34178.35 | 4.75 | 4.75 | 3.29 | 3.76 | -1.46 | -0.99 |
| 34658.84 | 3.5 | 4.12 | 3.09 | 3.55 | -0.41 | 0.05 |
| 35649.86 | 3.84 | 3.53 | 2.43 | 2.87 | -1.10 | -0.66 |
| 36846.36 | 4.26 | 3.68 | 1.5 | 1.98 | -2.18 | -1.70 |
| 36875 | 4.27 | 3.85 | 0.5 | 0.5 | -3.35 | -3.35 |

Al fine di valutare al meglio gli effetti indotti dal funzionamento delle casse, si sono riportati per le tre casse le onde di livello sullo sfioratore ed in corrispondenza della sezione del Fosso Vecchio sulla quale si innesta la cassa stessa; da tali grafici, è possibile osservare in quale punto dell'onda di piena transitante nel Fosso si "attacca" il livello idrico dello sfioratore, momento oltre il quale i due livelli (in fosso ed in cassa) avranno ovviamente totale coincidenza .

Si riportano inoltre le portate in ingresso alle tre casse (espresse con segno negativo) in funzione del tempo.

Date le dimensioni inferiori si osserva come la cassa intermedia, cassa 2, presenta una portata massima in ingresso di poco superiore ai $4 \text{ m}^3/\text{s}$, mentre per la cassa 1 e la cassa 3 si hanno picchi di portate in ingresso pari rispettivamente a 5.3 e $10.8 \text{ m}^3/\text{s}$; da tale grafico è possibile comprendere anche l'entità del volume immagazzinato all'interno della cassa, rappresentato dall'area sottesa dalla curva $Q(t)$.

Per comprendere al meglio l'effetto positivo di decurtazione della portata transitante nel Fosso Vecchio dovuto all'attivazione delle casce, si riportano per esse i grafici della portata in ingresso/uscita e le onde di piena transitanti nel Fosso Vecchio nelle sezioni subito a monte e a valle delle stesse. In generale, il buon funzionamento delle casce (in relazione all'evento $T_r = 100$ anni, adottato come evento di riferimento per definire prime indicazioni progettuali di massima) si nota dalla riduzione del picco di portata dell'onda di piena transitante nel Fosso Vecchio. Durante la fase di esaurimento dell'onda la cassa restituisce parte dei volumi immagazzinati al Fosso Vecchio tramite la sezione di sfioro e per questo motivo si osserva un leggero incremento delle portate nelle sezioni a valle delle casce.

In coda a tali grafici desunti dal programma di simulazione MIKE 11, si riporta come già accennato l'inviluppo dei tiranti massimi per le due configurazioni, P2 e P1*, in un grafico indicante le sponde sinistra e destra del Fosso Vecchio, per meglio osservare le zone per le quali si ha un abbassamento dei livelli massimi tale da impedire il verificarsi di esondazioni. In particolare alla progressiva 32245.65 la quota della sponda destra (pari a 3.6 m.s.m) risulta essere particolarmente bassa, a causa probabilmente di un cedimento "naturale" della fondazione arginale; tale condizione specifica può essere risolta con un riporto di terreno e/o un intervento di consolidamento puntuale, limitato al tratto più critico.

Analogamente per gli eventi con tempo di ritorno di 200 anni (da figura 100 a figura 109), 50 anni (da figura 110 a figura 119) e 30 anni (da figura 120 a figura 129) si riportano gli inviluppi di livello e portata massimi per il Fosso Vecchio, nonché i livelli in corrispondenza delle casce - e del Fosso Vecchio nelle sezioni antistanti - e le onde di piena nelle casce e nel fosso per le sezioni a monte e a valle delle stesse.

Non si riportano i medesimi profili longitudinali per i fossi Munio e Vetro per agilità di esposizione, dal momento che gli effetti indotti su questi ultimi dalla presenza delle casce sono limitati e non rappresentano l'obiettivo primario degli studi condotti.

Per poter verificare i benefici indiretti delle casce sui due affluenti, Munio (vedasi figura 130) e Vetro (vedasi figura 131), si riportano comunque, per i vari tempi di ritorno considerati, progressiva per progressiva, la differenza tra il tirante massimo nella configurazione P2 e l'omologo nella configurazione P1*.

STATO DI PROGETTO [P2]

SCENARIO A (DESTRA RENO IN CONDIZIONI NORMALI DI DEFLUSSO $h_{valle} = 0.5$ m s.m.)

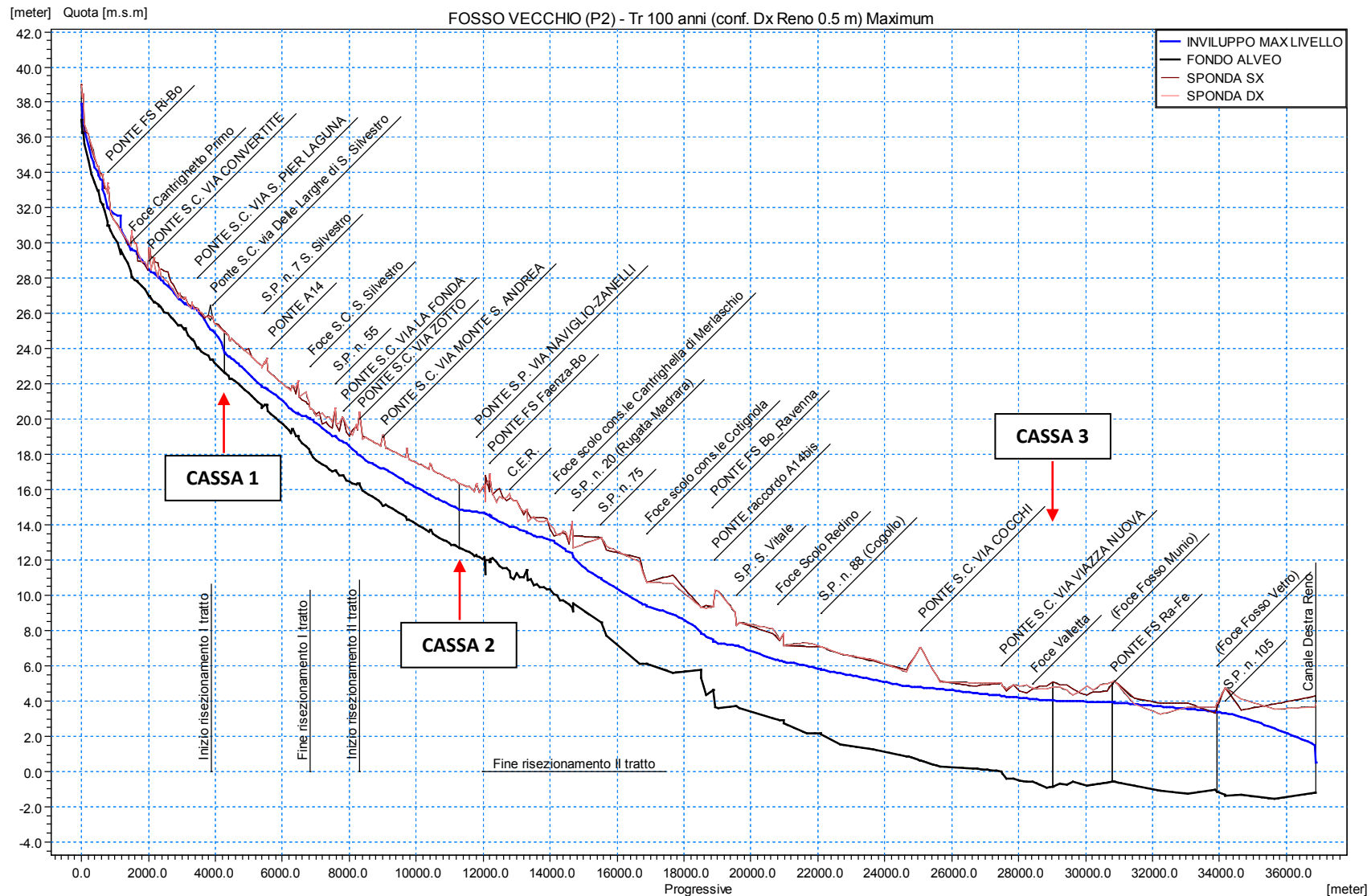


Figura 86 –Inviluppo dei massimi livelli del Fosso Vecchio per Tr 100 anni, nello scenario con casse P2 (A).

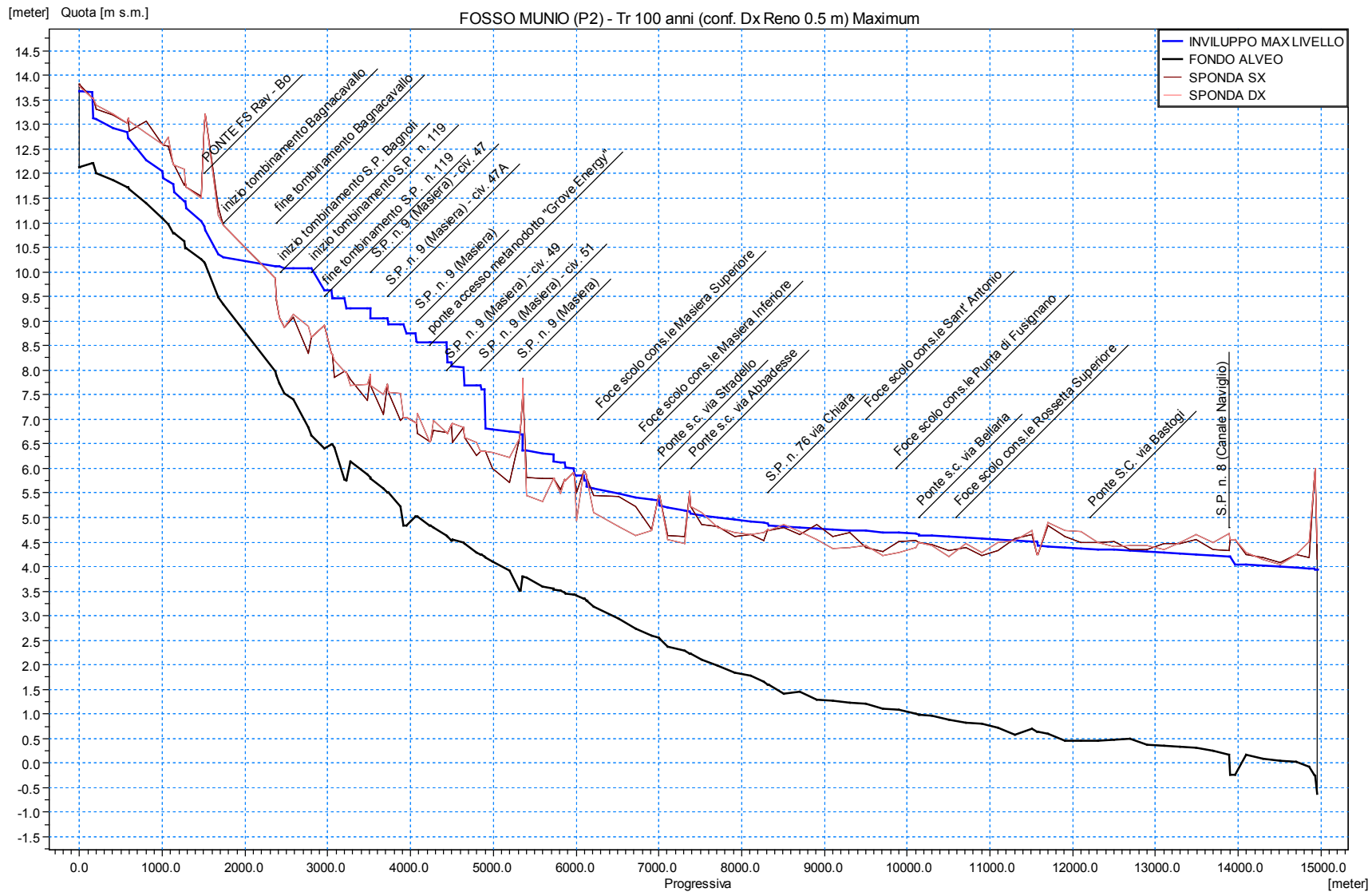


Figura 87 –Inviluppo dei massimi livelli del Fosso Munio per Tr 100 anni, nello scenario con casse P2 (A).

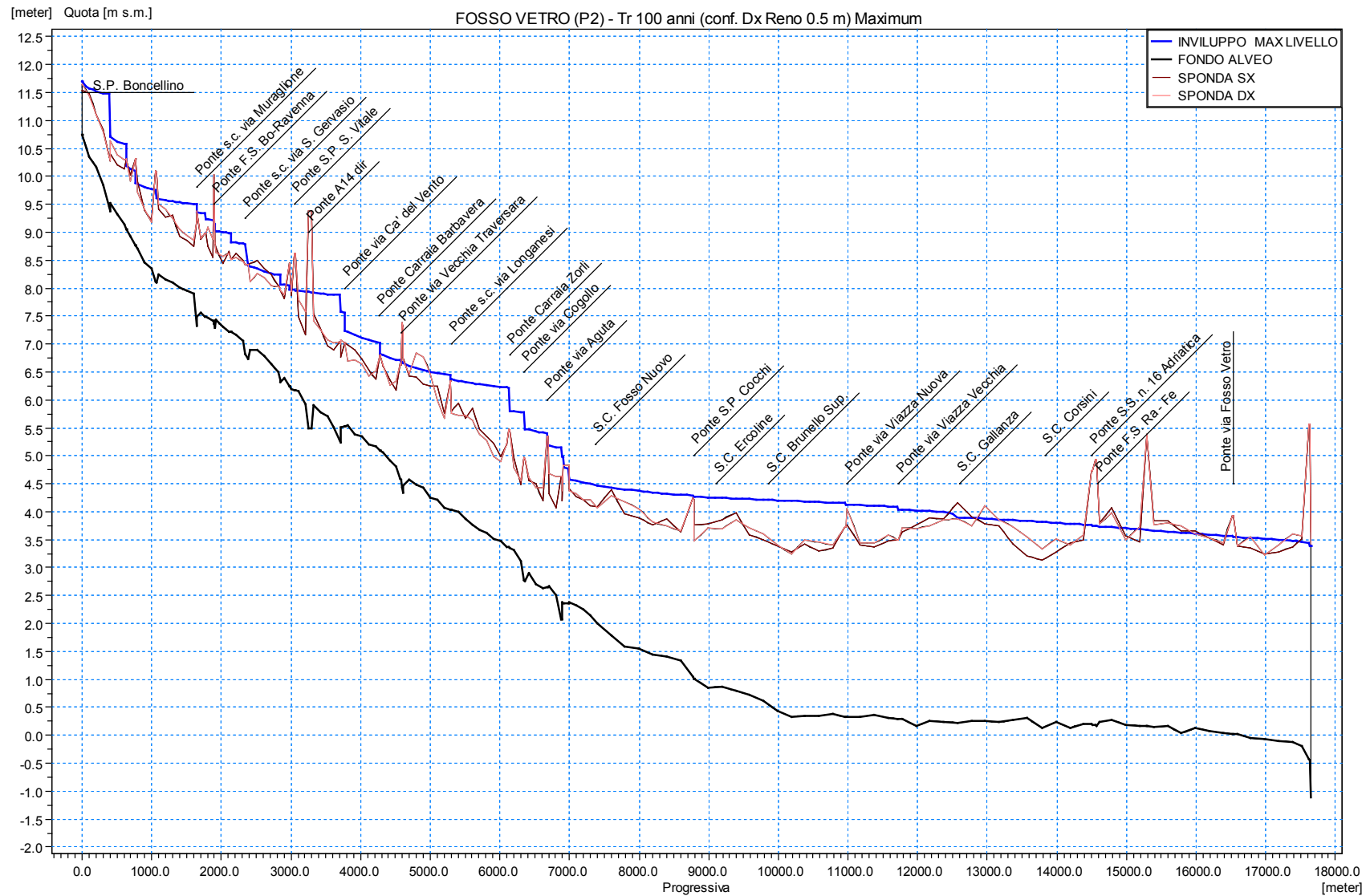


Figura 88 –Inviluppo dei massimi livelli del Fosso Vetro per Tr 100 anni, nello scenario con casse P2 (A).

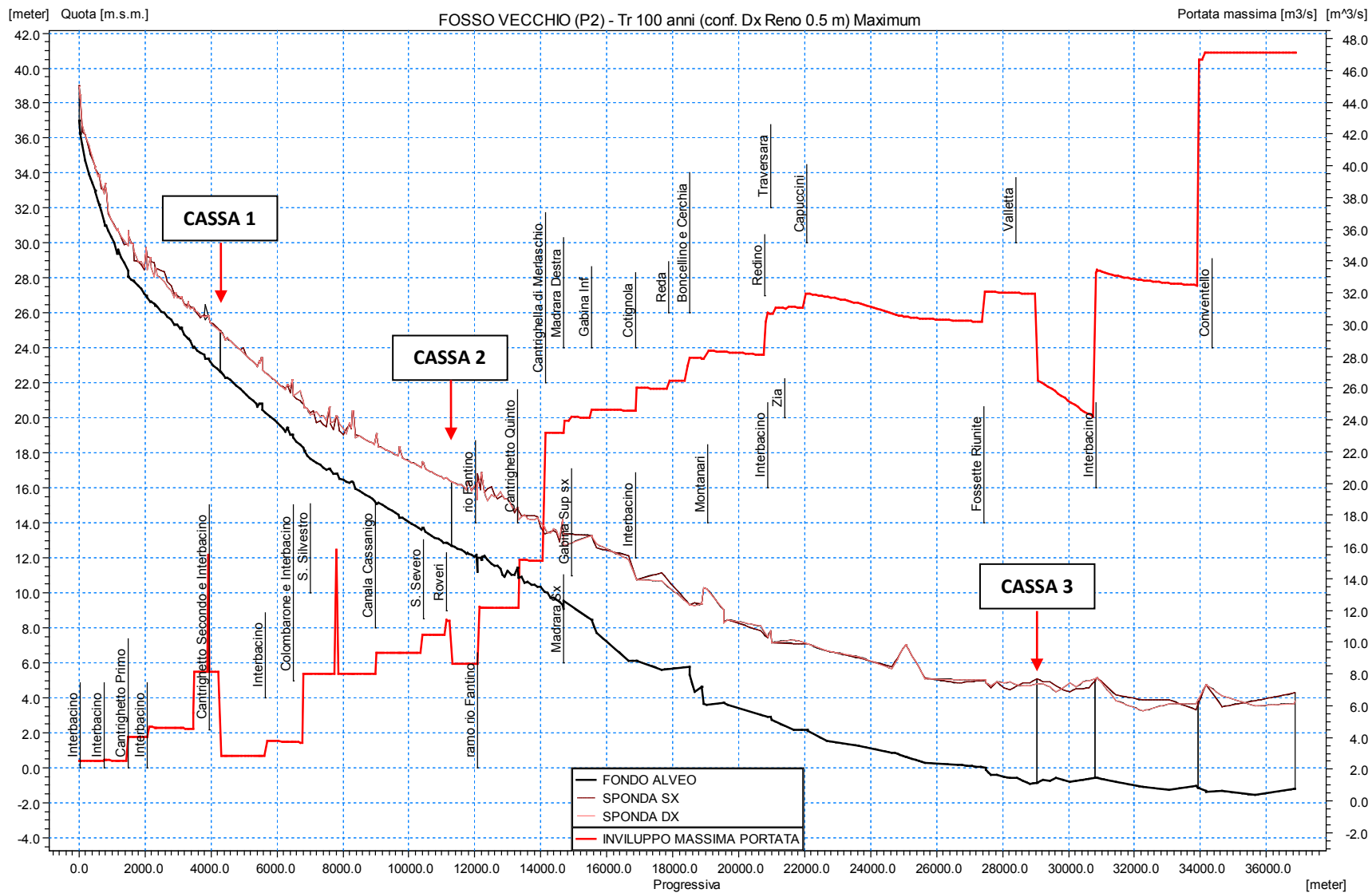


Figura 89 – Inviluppo dei massimi di portata del Fosso Vecchio per Tr 100 anni, nello scenario con casse P2 (A).

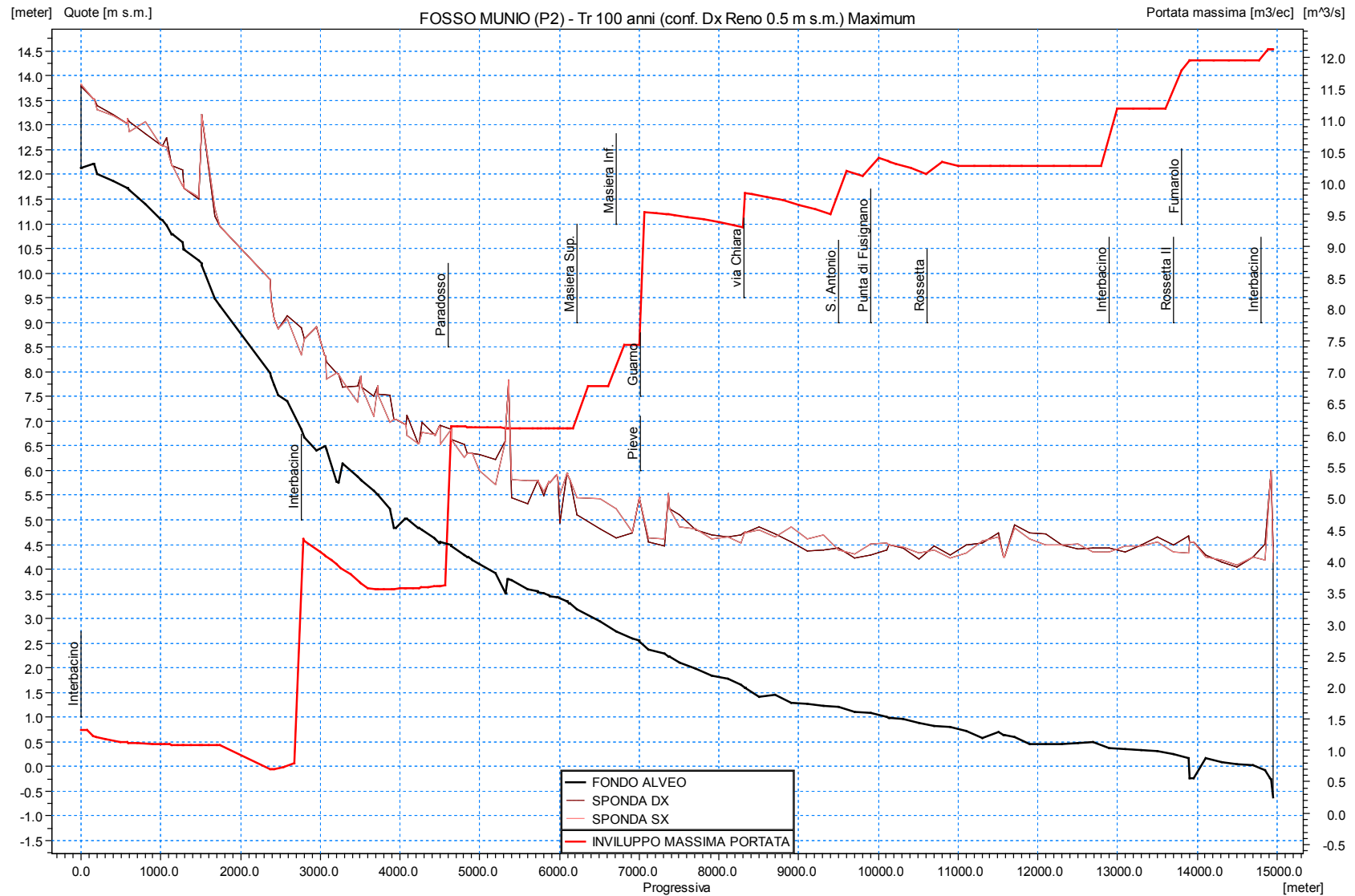


Figura 90 – Inviluppo dei massimi di portata del Fosso Munio per Tr 100 anni, nello scenario con casse P2 (A).

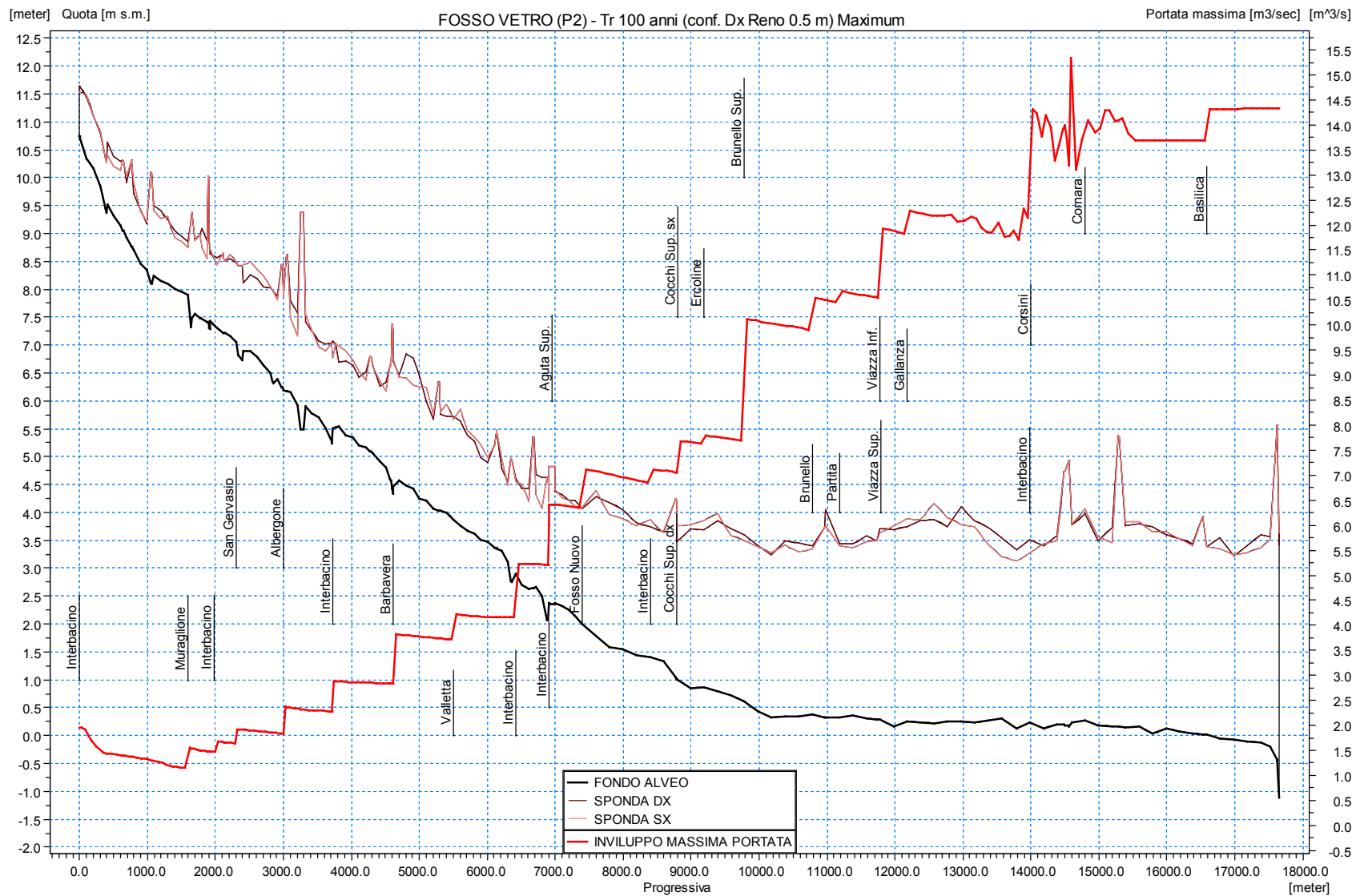


Figura 91 – Involuppo dei massimi di portata del Fosso Vetro per Tr 100 anni, nello scenario con casse P2 (A).

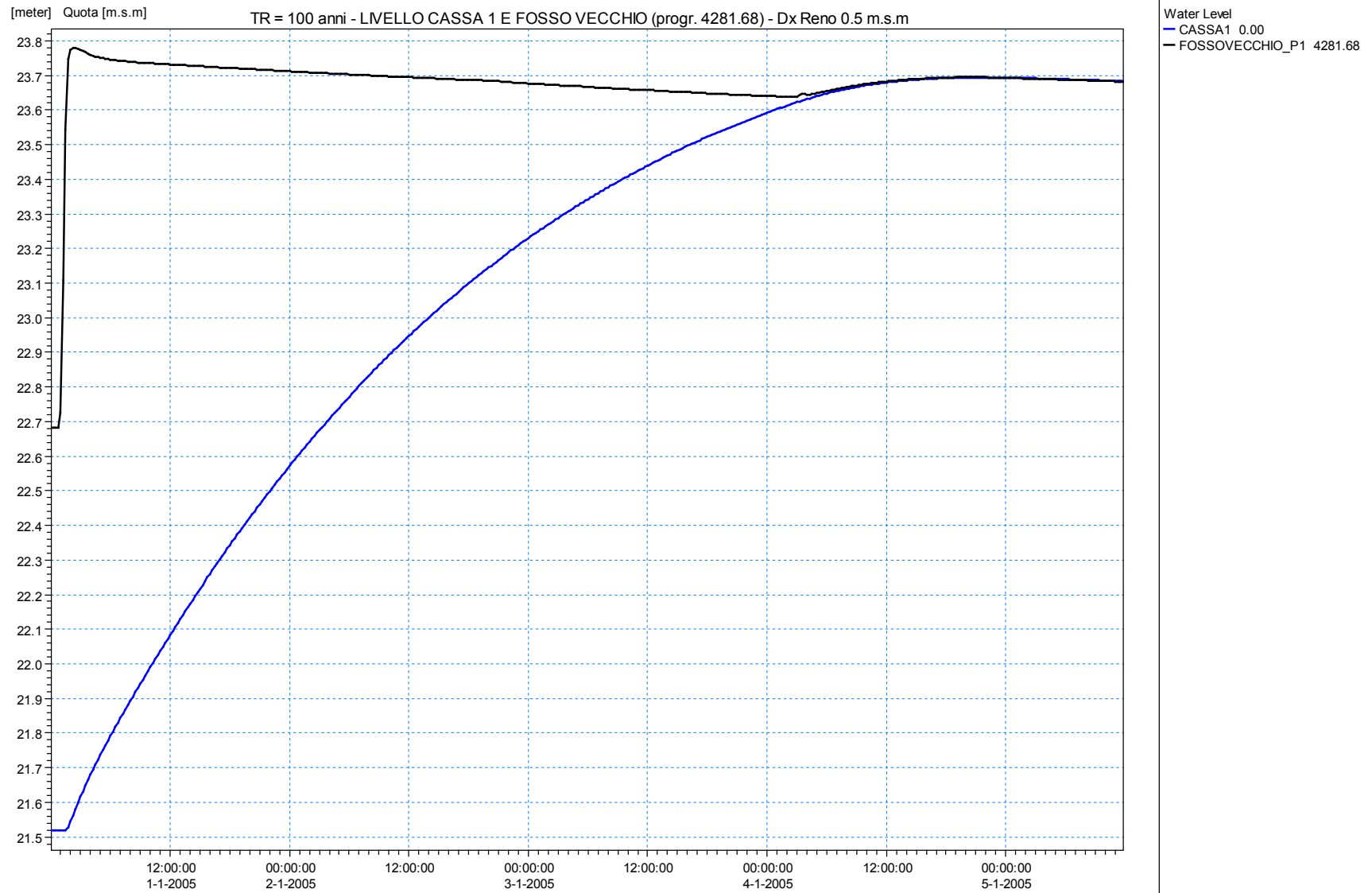


Figura 92 – Livello in cassa 1 e nel Fosso Vecchio per Tr = 100 anni (A).

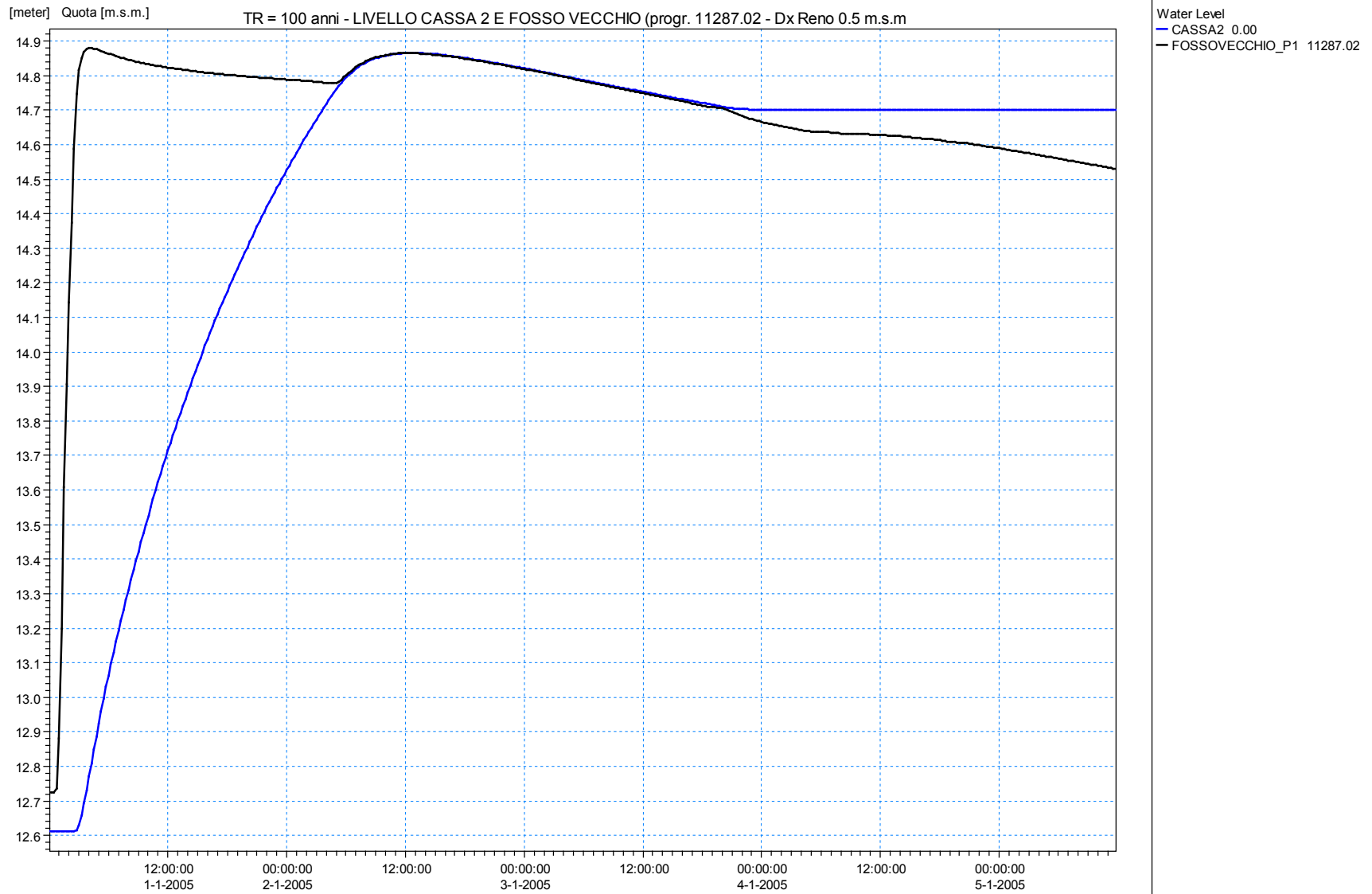


Figura 93 – Livello in cassa 2 e nel Fosso Vecchio per Tr = 100 anni (A).

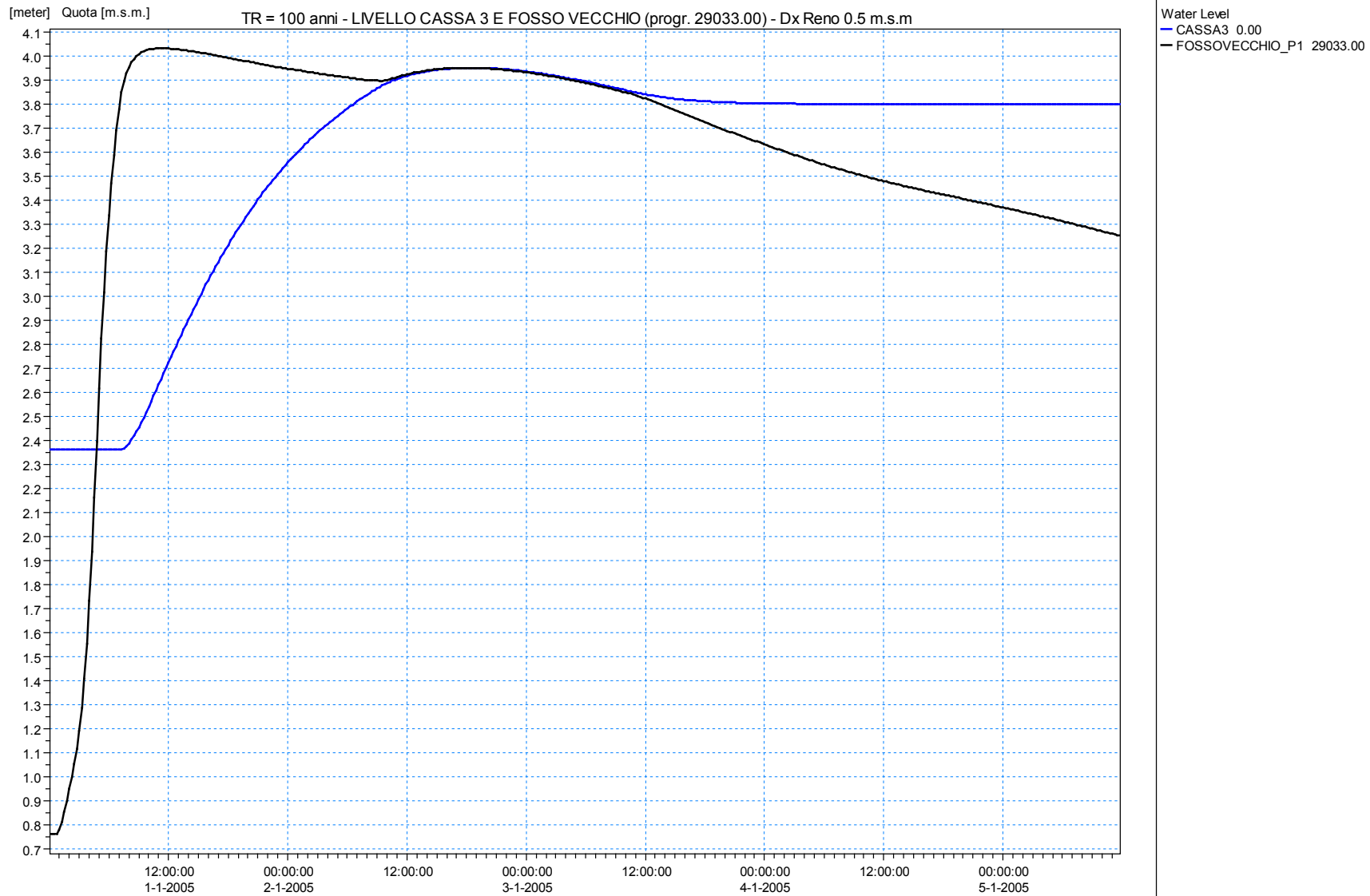


Figura 94 – Livello in cassa 3 e nel Fosso Vecchio per Tr = 100 anni (A).

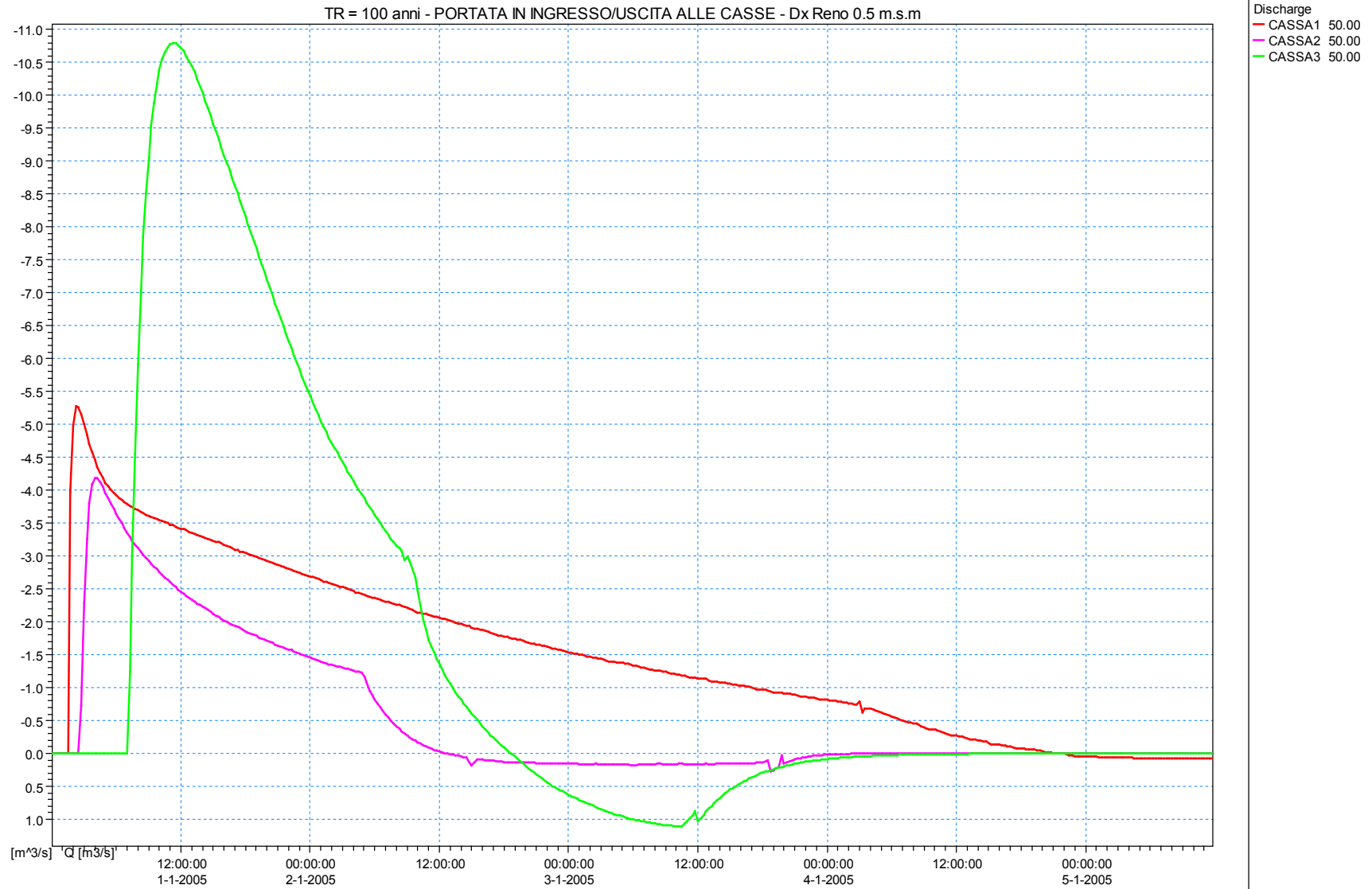


Figura 95 – Portate in ingresso/uscita alle tre casse per Tr = 100 anni (A).

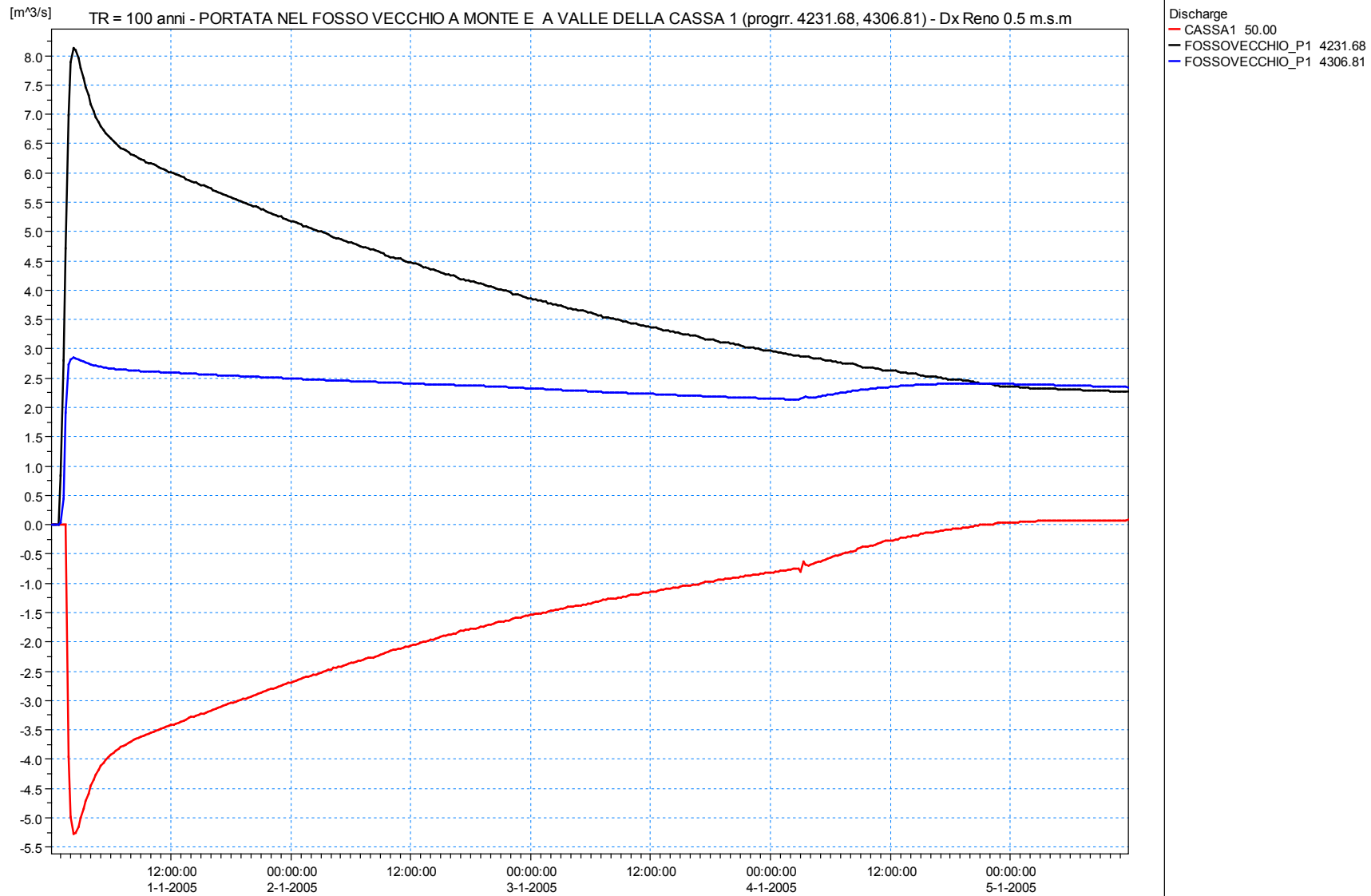


Figura 96 – Portate in cassa 1 e nel Fosso Vecchio in corrispondenza della sezione a monte e a valle della cassa per $Tr = 100$ anni (A).

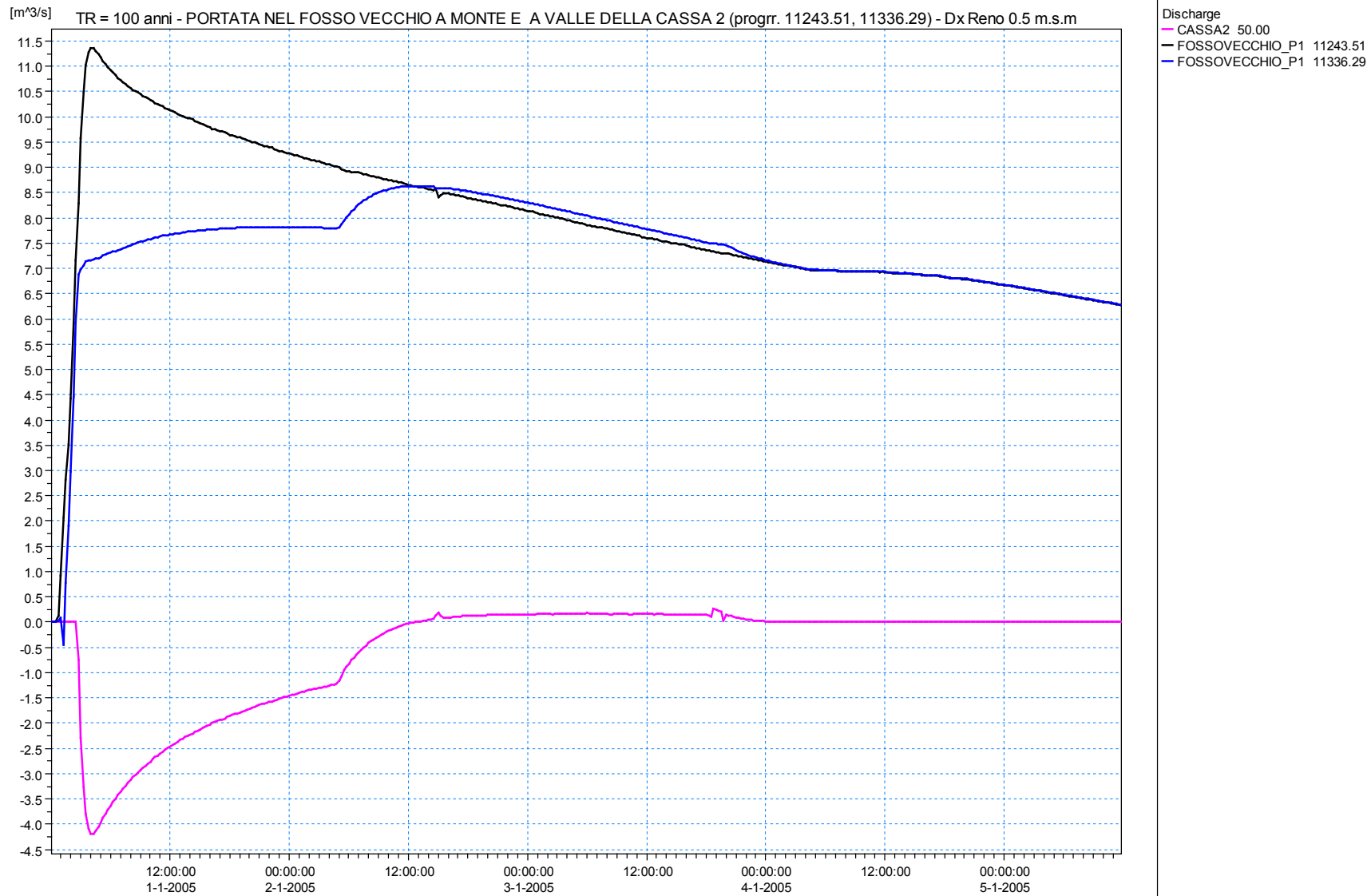


Figura 97 – Portate in cassa 2 e nel Fosso Vecchio in corrispondenza della sezione a monte e a valle della cassa per $Tr = 100$ anni (A).

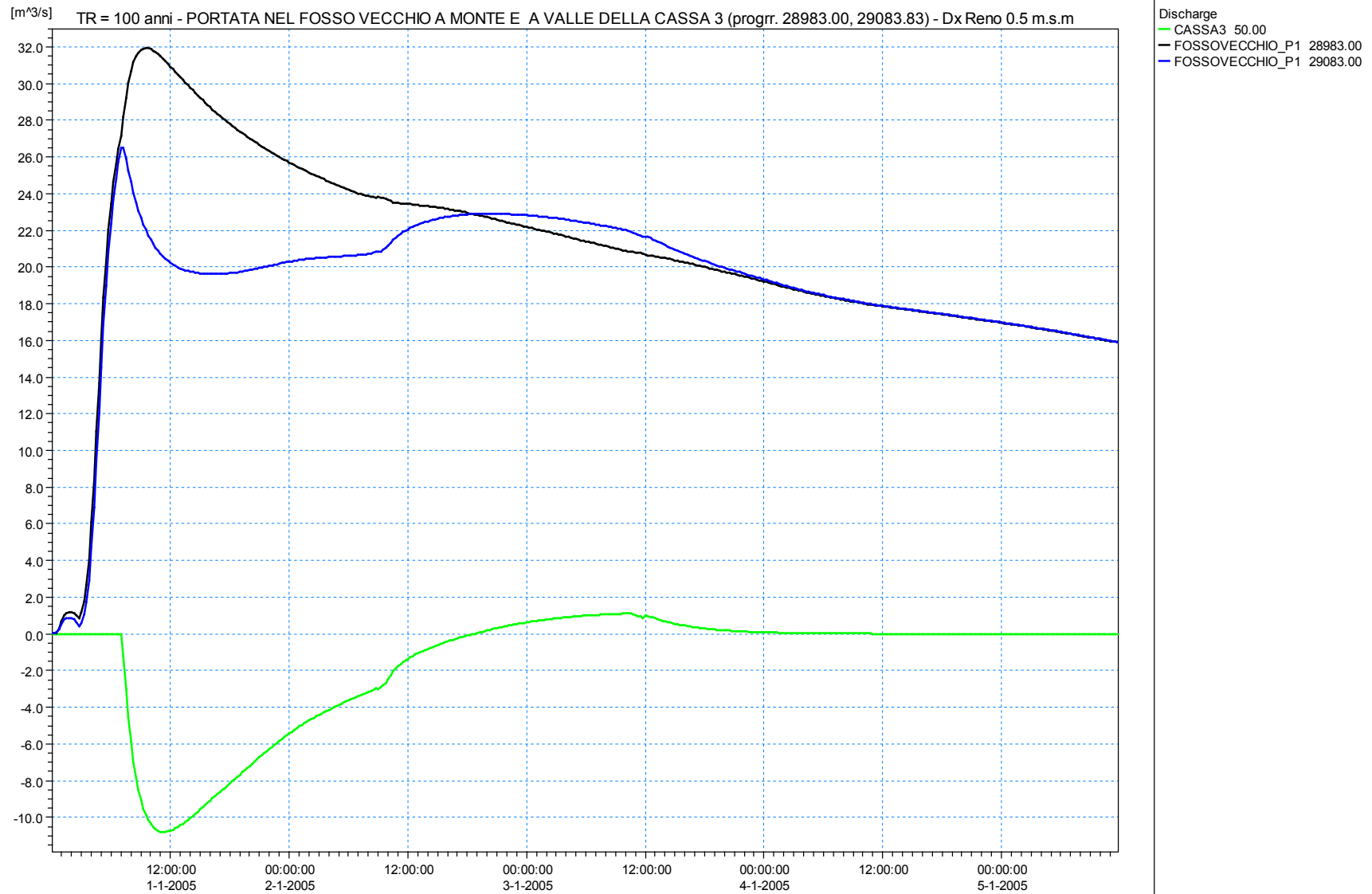


Figura 98 – Portate in cassa 3 e nel Fosso Vecchio in corrispondenza della sezione a monte e a valle della cassa per Tr = 100 anni (A).

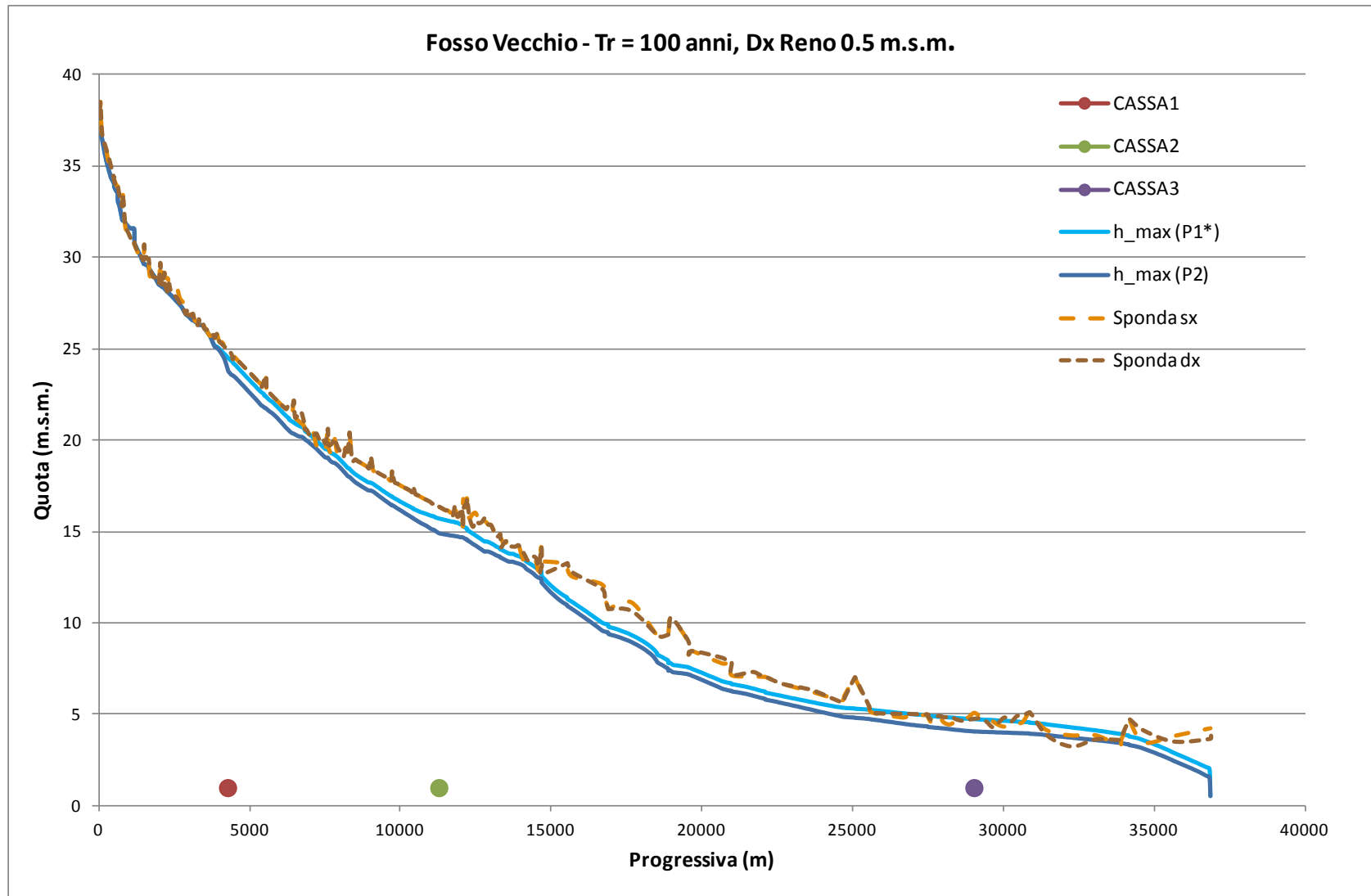


Figura 99 – Involuppi massimi per il Fosso Vecchio nella configurazione con casse, P2, e senza casse, P1*, con riportate le sponde sx e dx, per Tr = 100 anni (A).

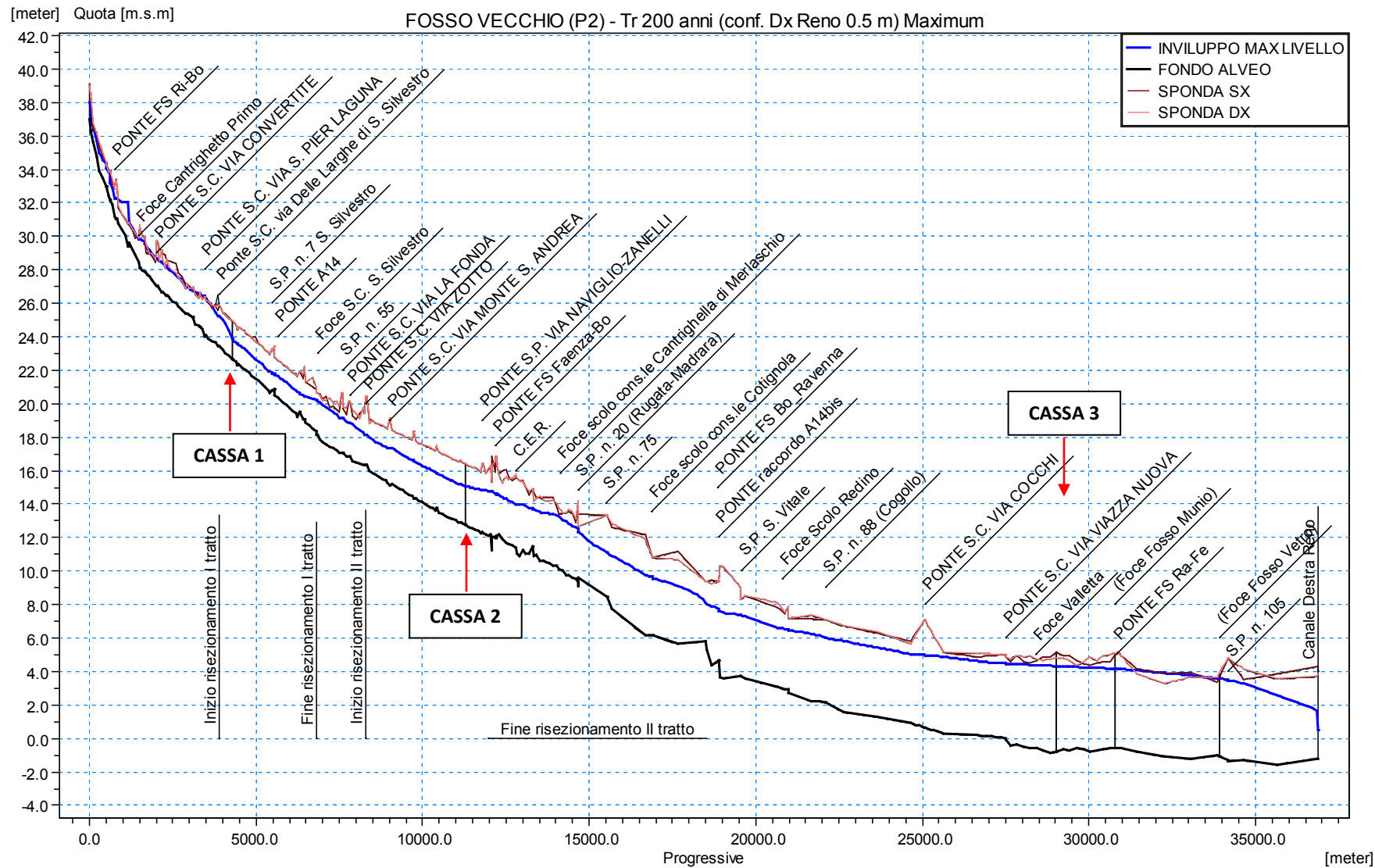


Figura 100 –Inviluppo dei massimi livelli del Fosso Vecchio per Tr 200 anni, nello scenario con casse P2 (A).

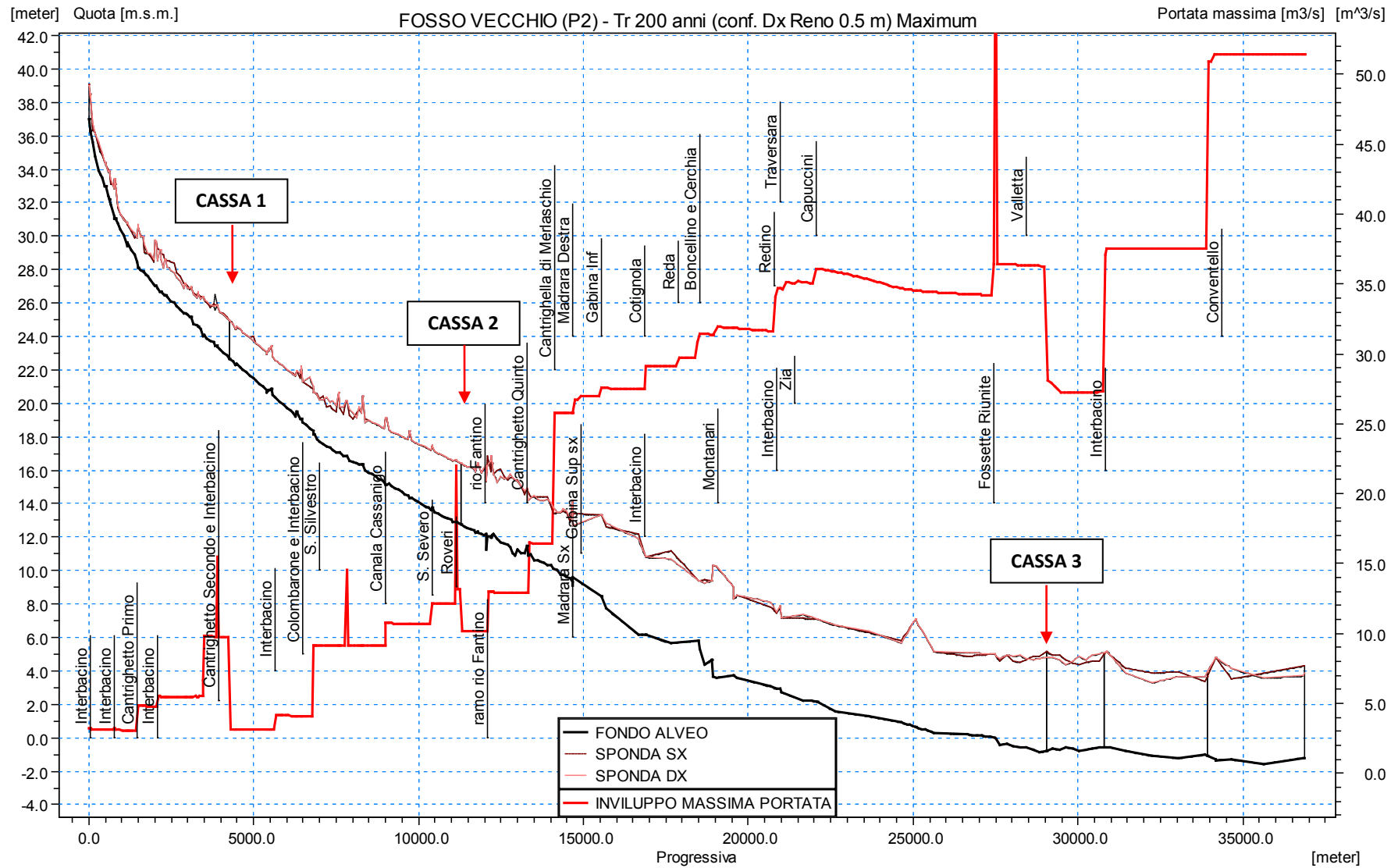


Figura 101 – Inviluppo dei massimi di portata del Fosso Vecchio per Tr 200 anni, nello scenario con casse P2 (A).

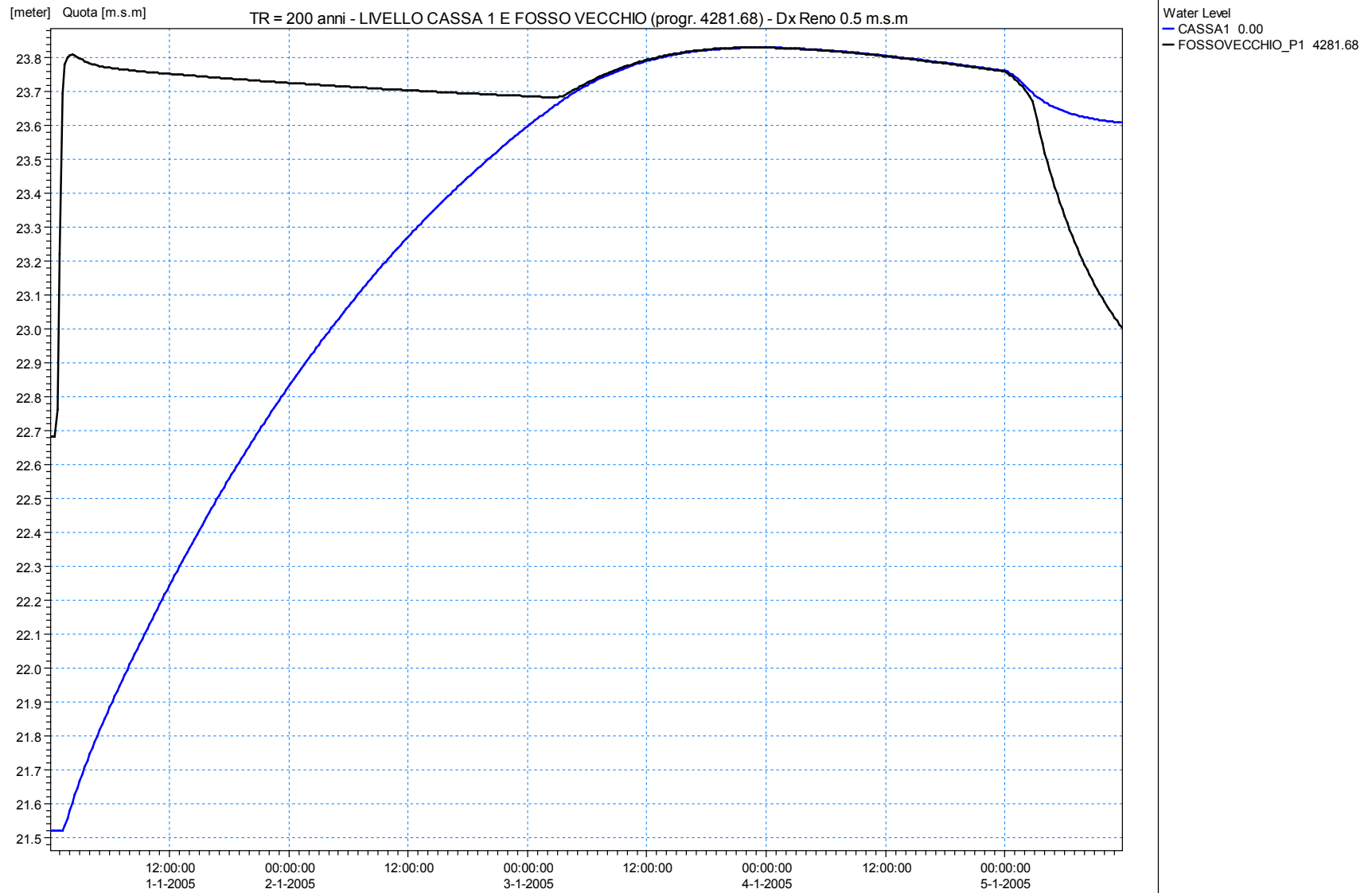


Figura 102 – Livello in cassa 1 e nel Fosso Vecchio per $Tr = 200$ anni (A).

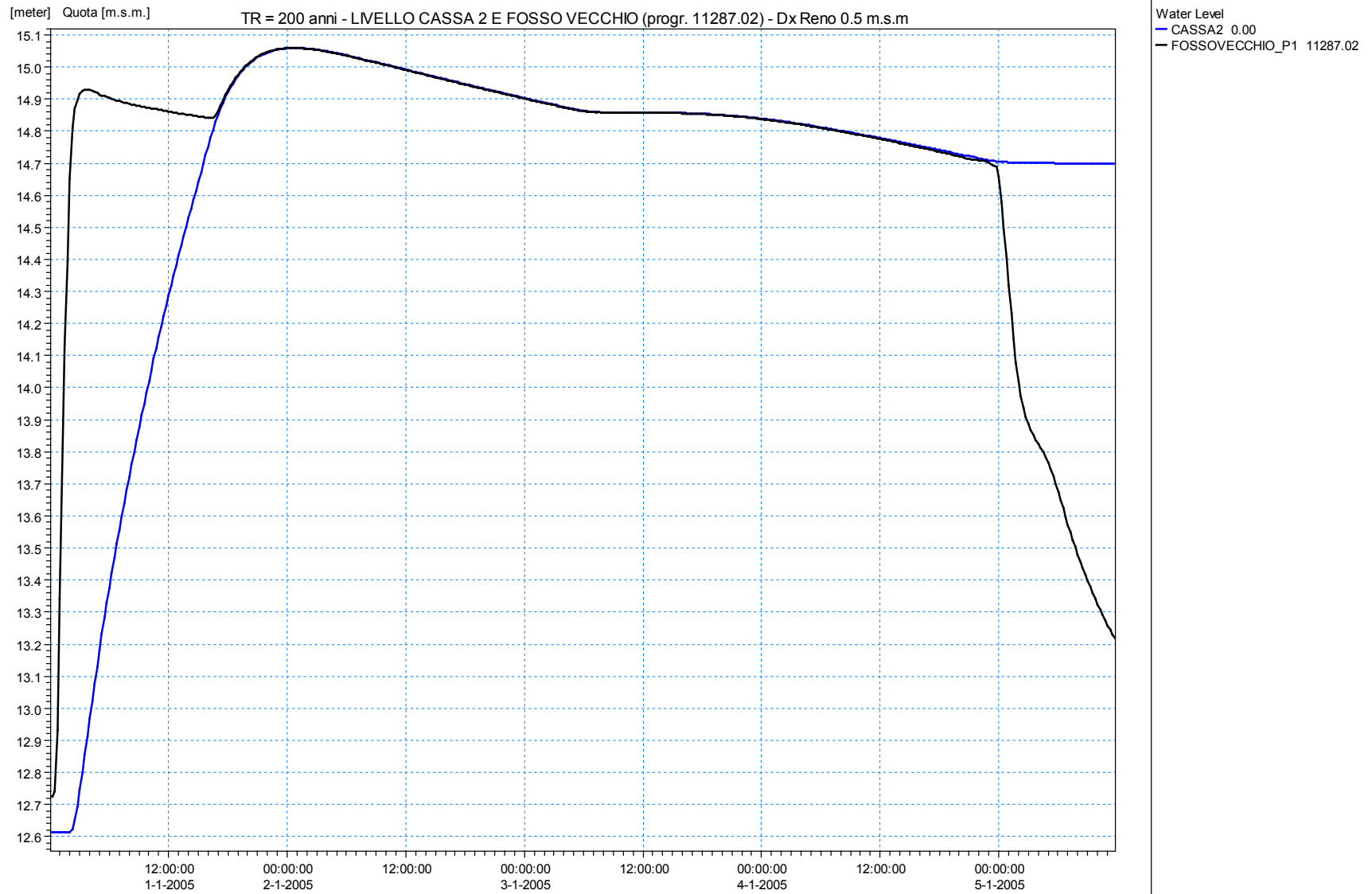


Figura 103 – Livello in cassa 2 e nel Fosso Vecchio per $Tr = 200$ anni (A).

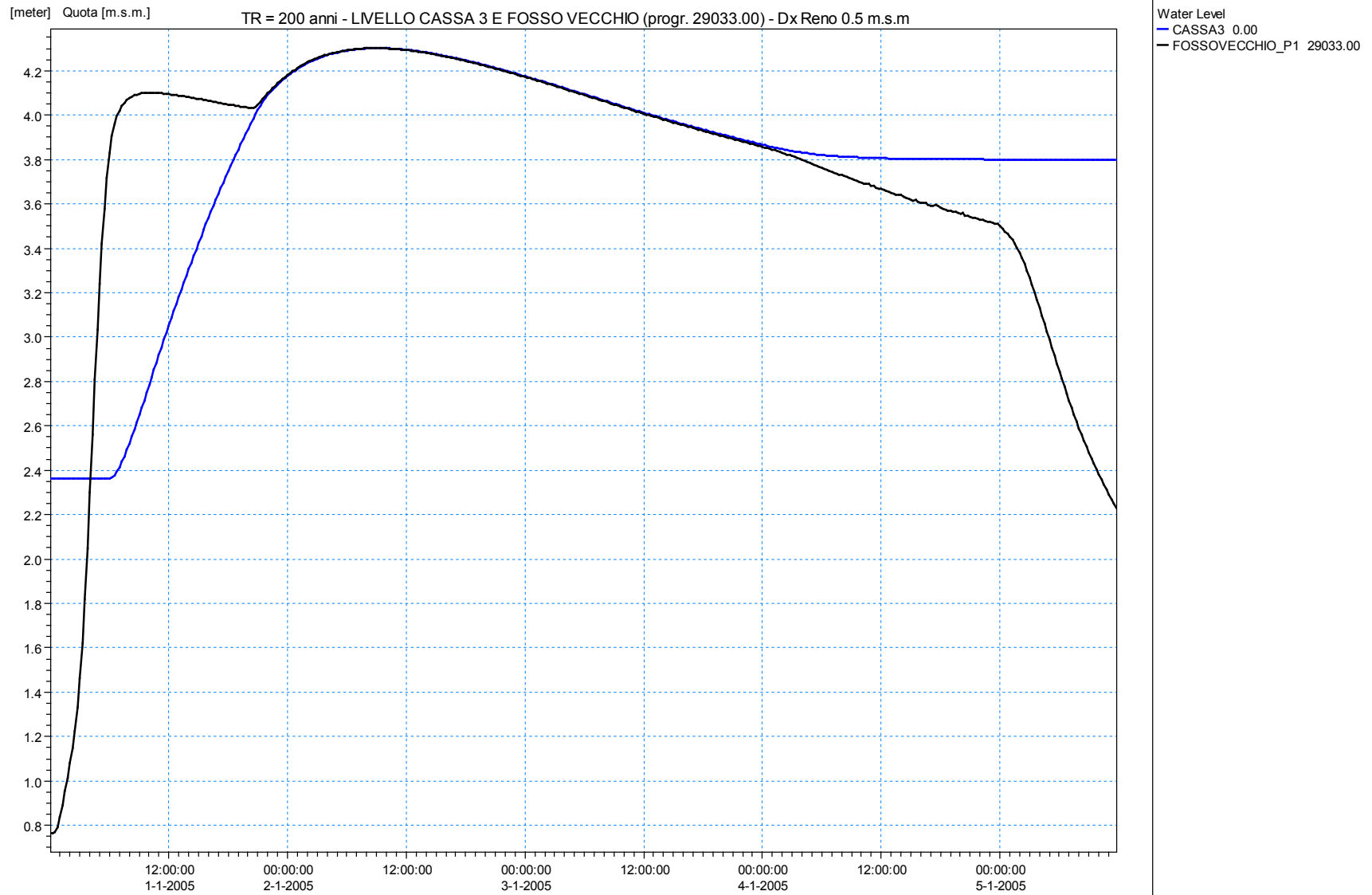


Figura 104 – Livello in cassa 3 e nel Fosso Vecchio per $Tr = 200$ anni (A).

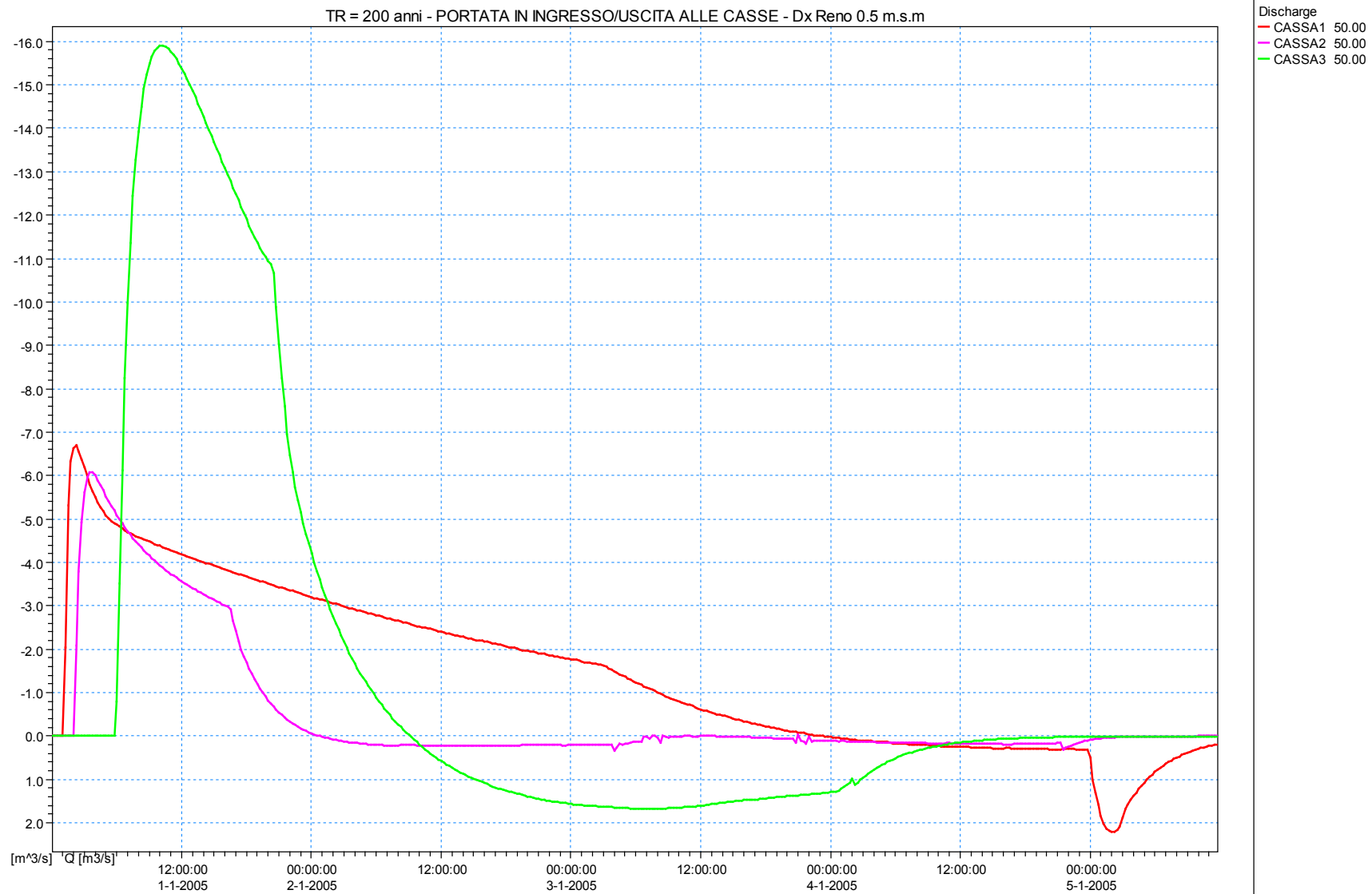


Figura 105 – Portate in ingresso/uscita alle tre casse per Tr = 200 anni (A).

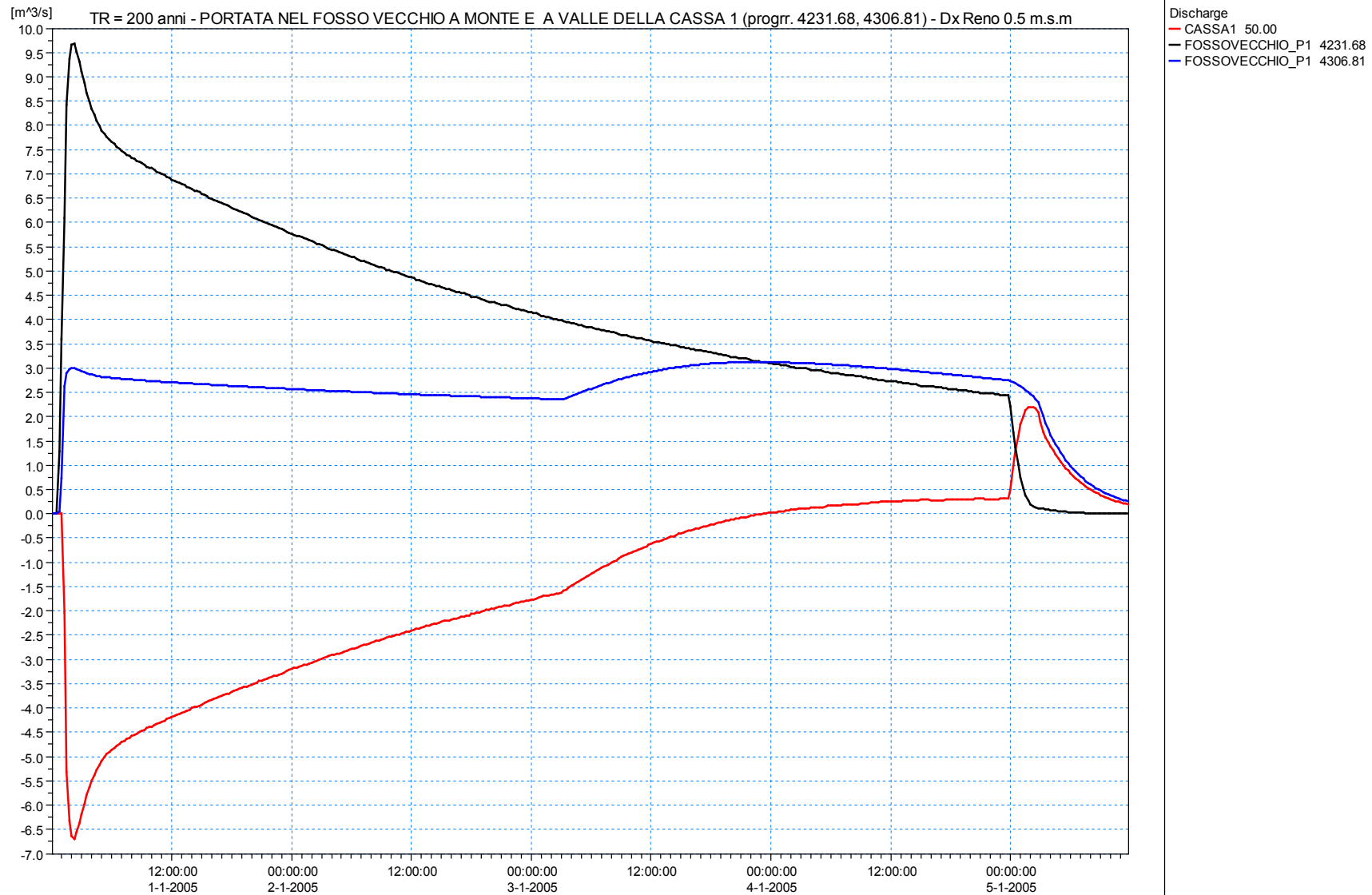


Figura 106 – Portate in cassa 1 e nel Fosso Vecchio in corrispondenza della sezione a monte e a valle della cassa per $Tr = 200$ anni (A).

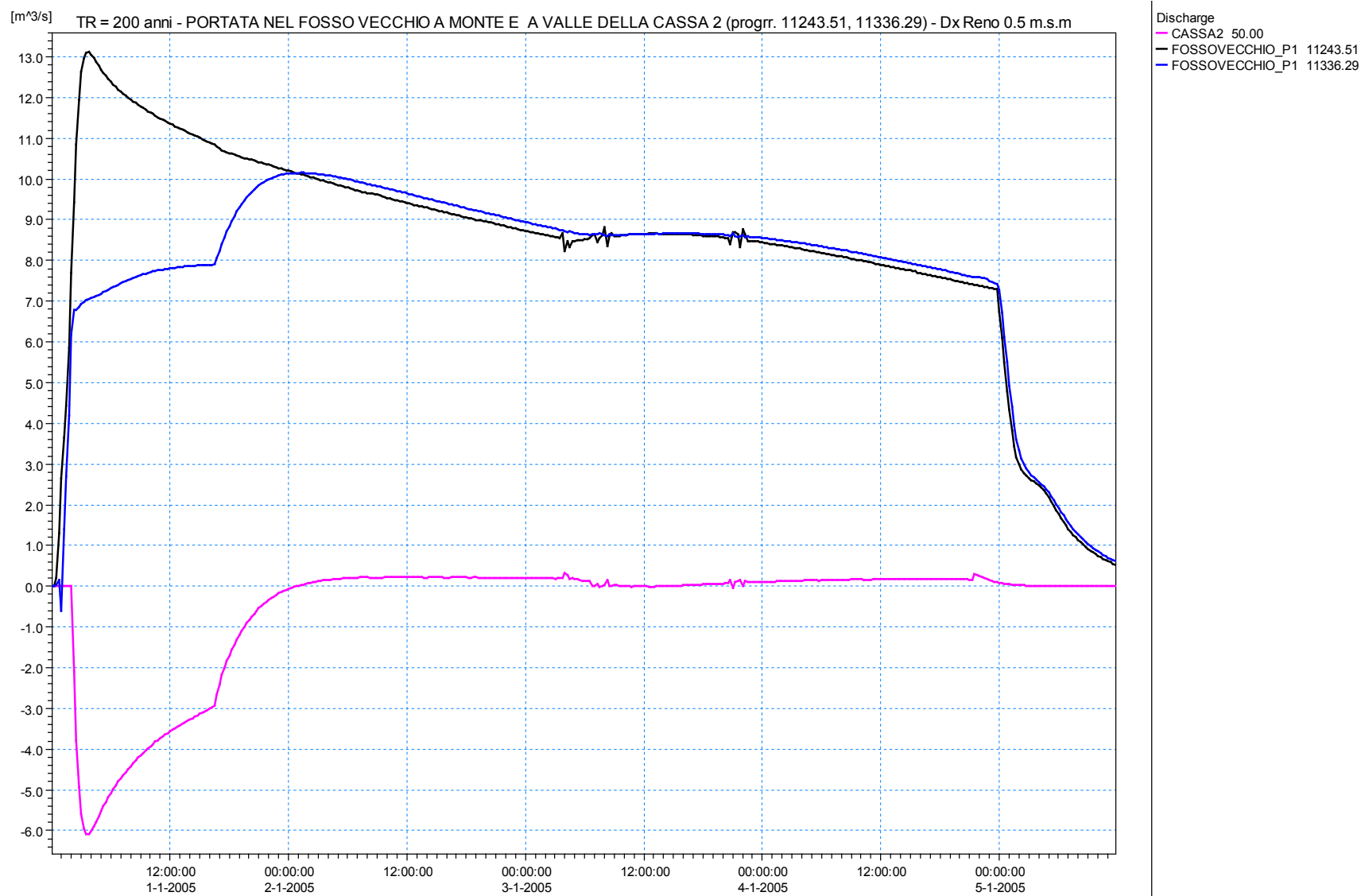


Figura 107 – Portate in cassa 2 e nel Fosso Vecchio in corrispondenza della sezione a monte e a valle della cassa per $Tr = 200$ anni (A).

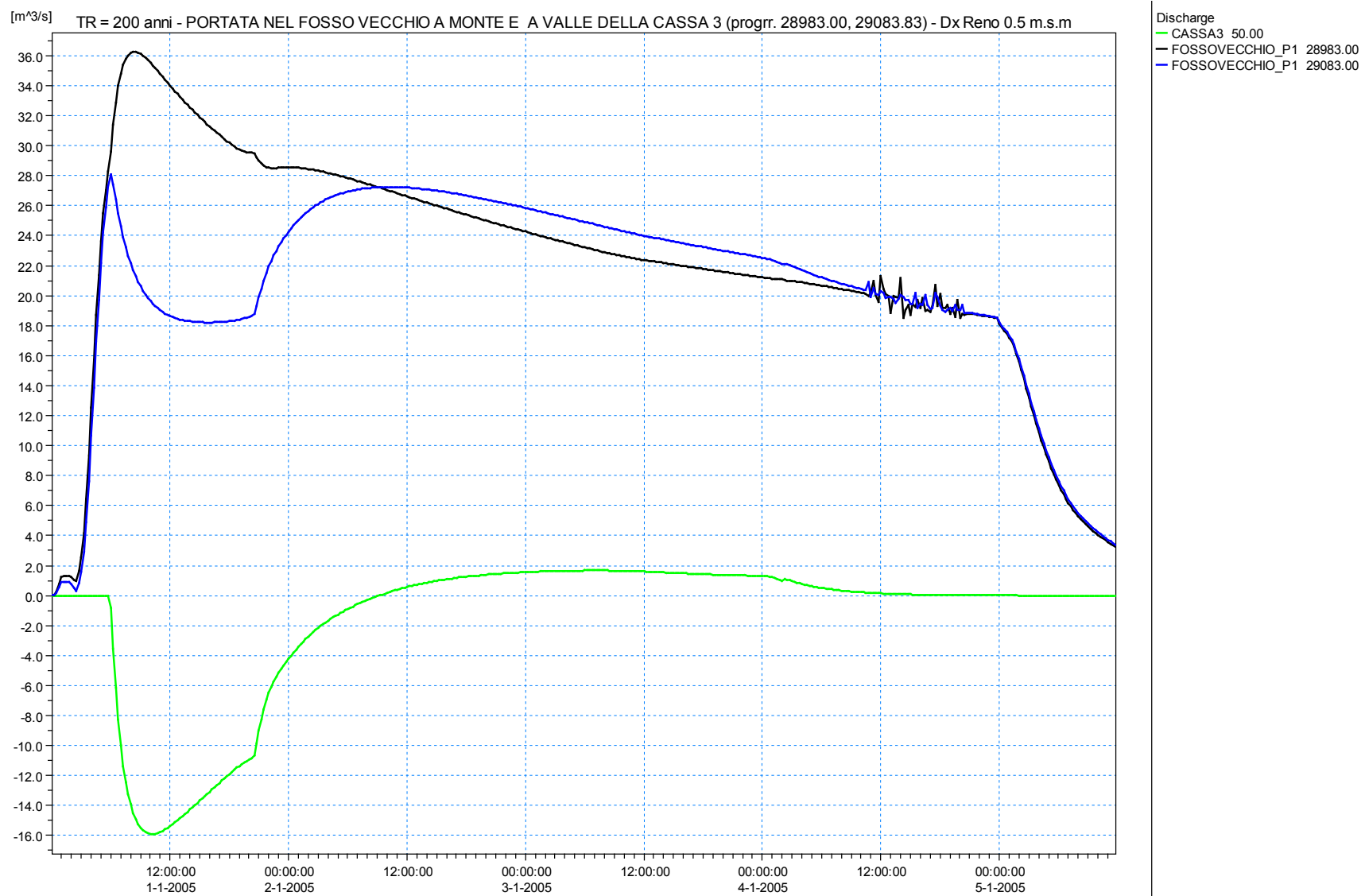


Figura 108 – Portate in cassa 3 e nel Fosso Vecchio in corrispondenza della sezione a monte e a valle della cassa per $Tr = 200$ anni (A).

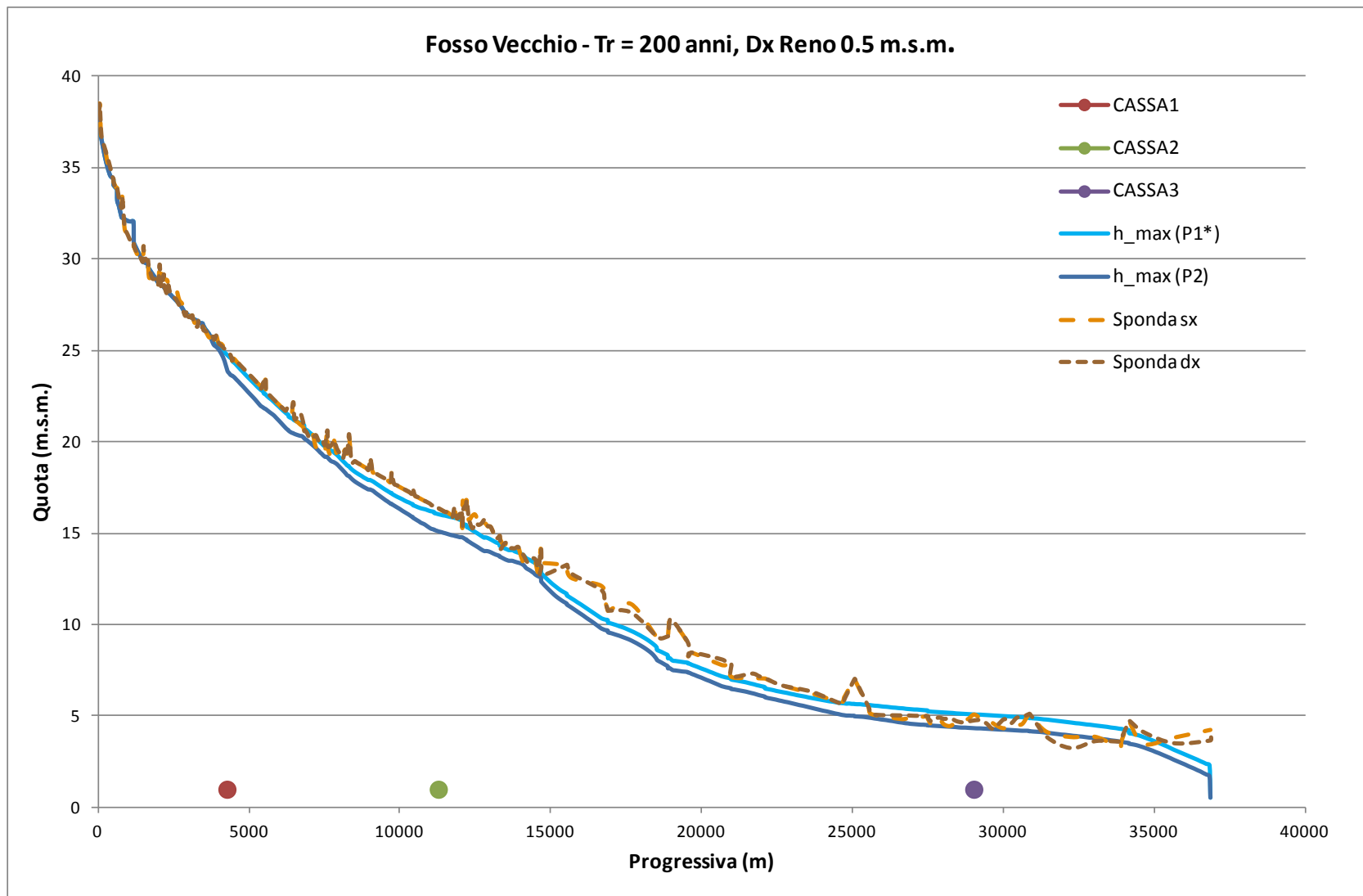


Figura 109 – Involuppi massimi per il Fosso Vecchio nella configurazione con casse, P2, e senza casse, P1*, con riportate le sponde sx e dx, per Tr = 200 anni (A).

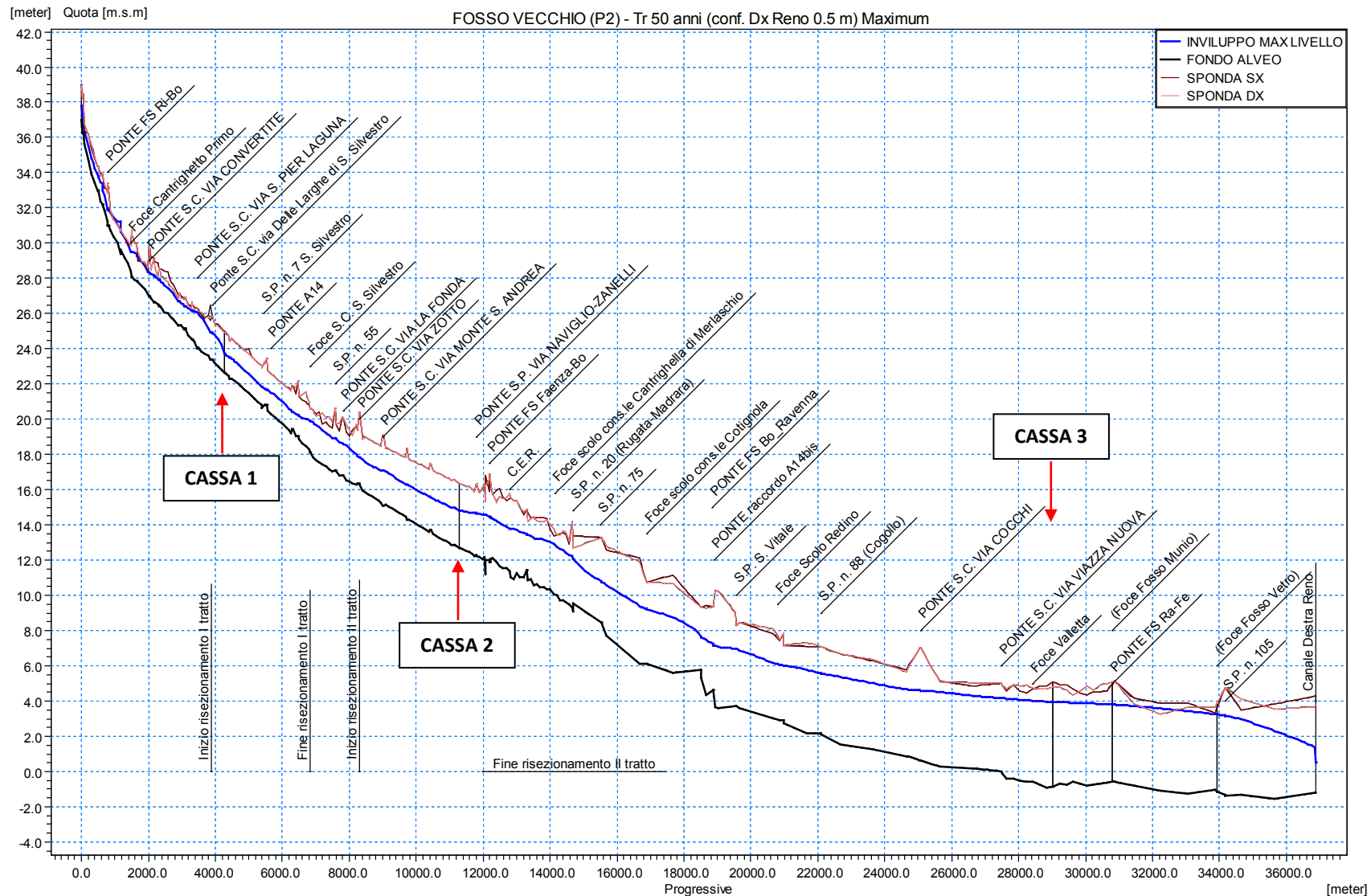


Figura 110 –Inviluppo dei massimi livelli del Fosso Vecchio per Tr 50 anni, nello scenario con casse P2 (A).

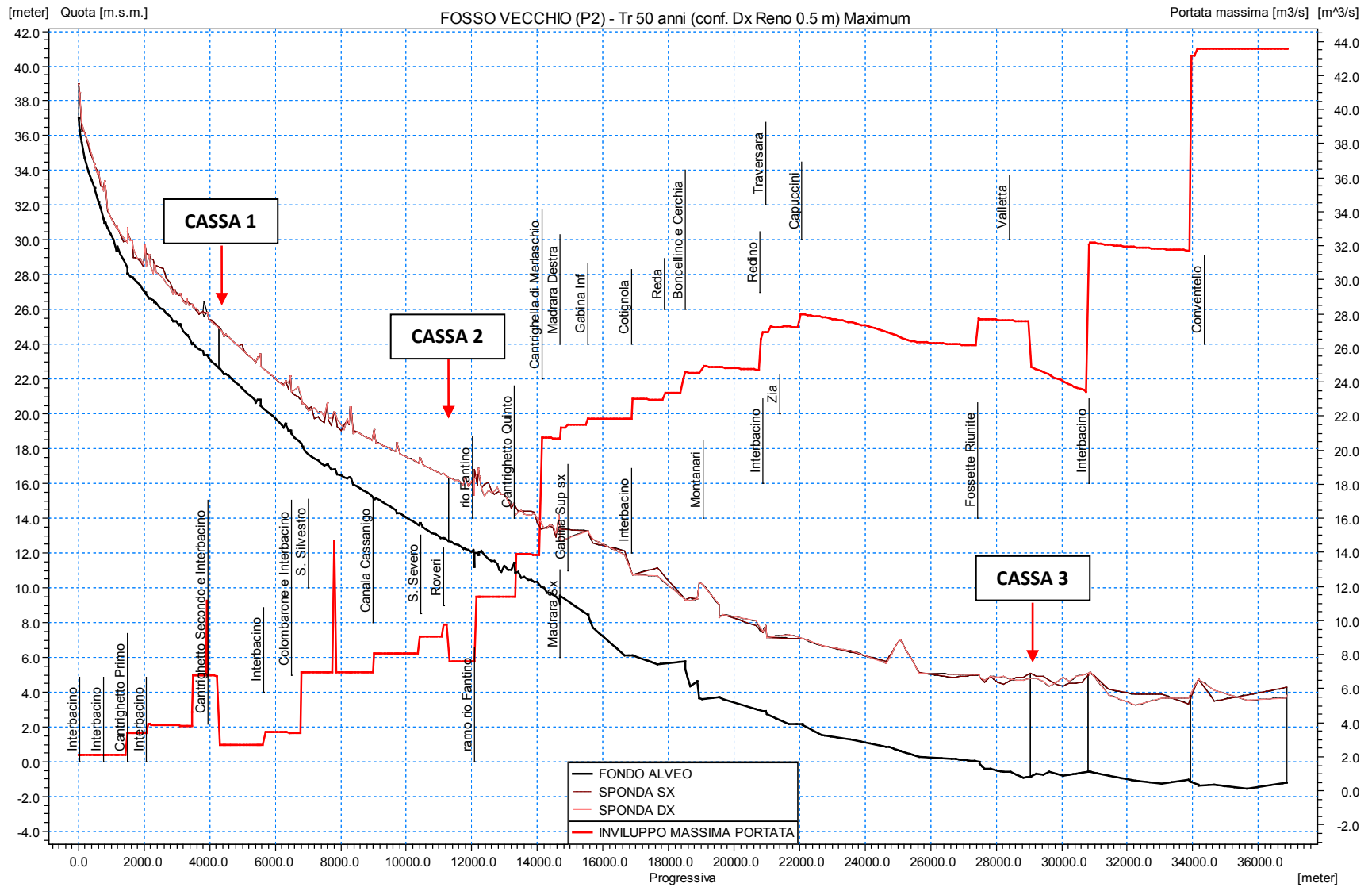


Figura 111 – Involuppo dei massimi di portata del Fosso Vecchio per Tr 50 anni, nello scenario con casse P2 (A).

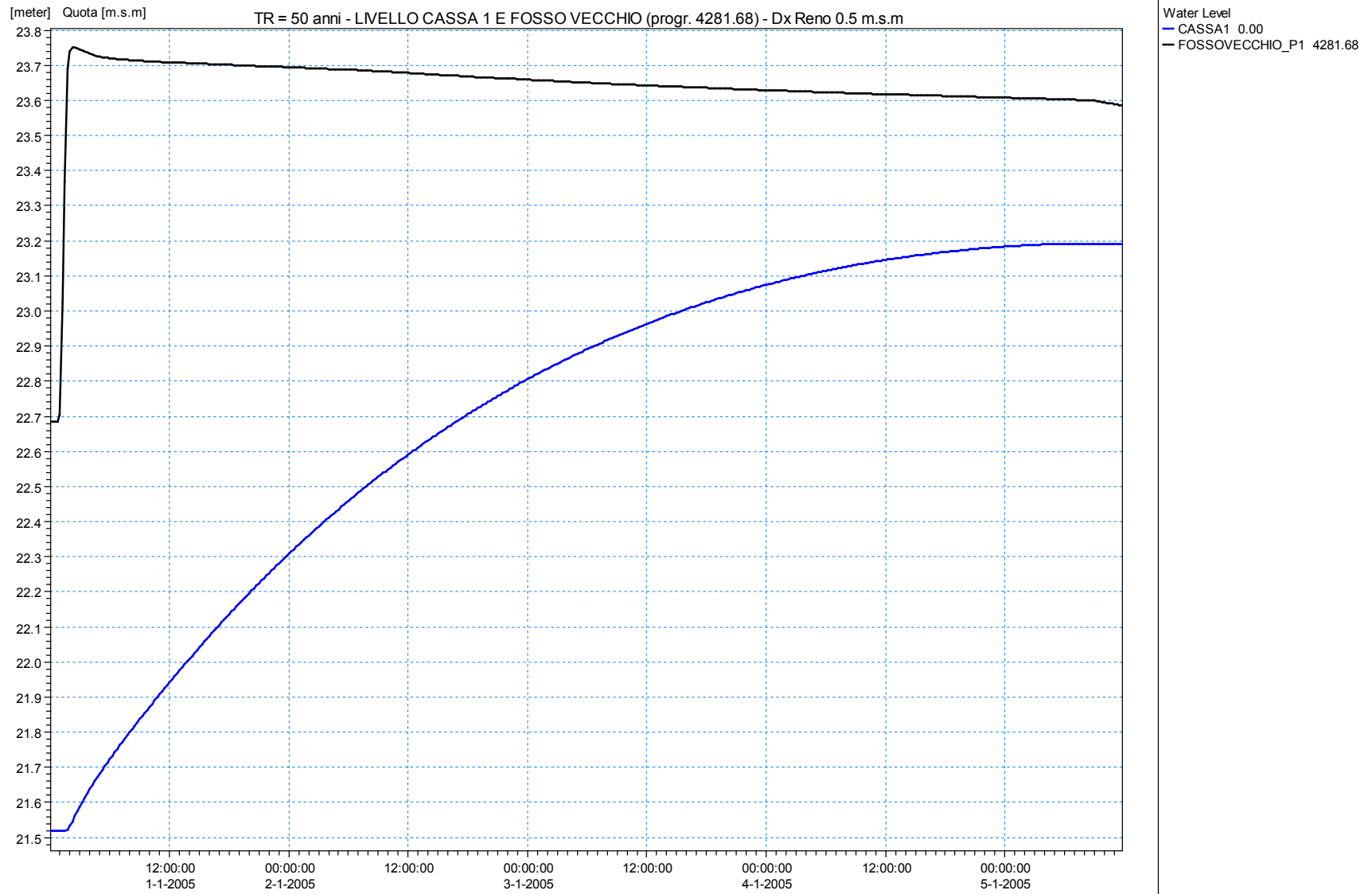


Figura 112 – Livello in cassa 1 e nel Fosso Vecchio per Tr = 50 anni (A).

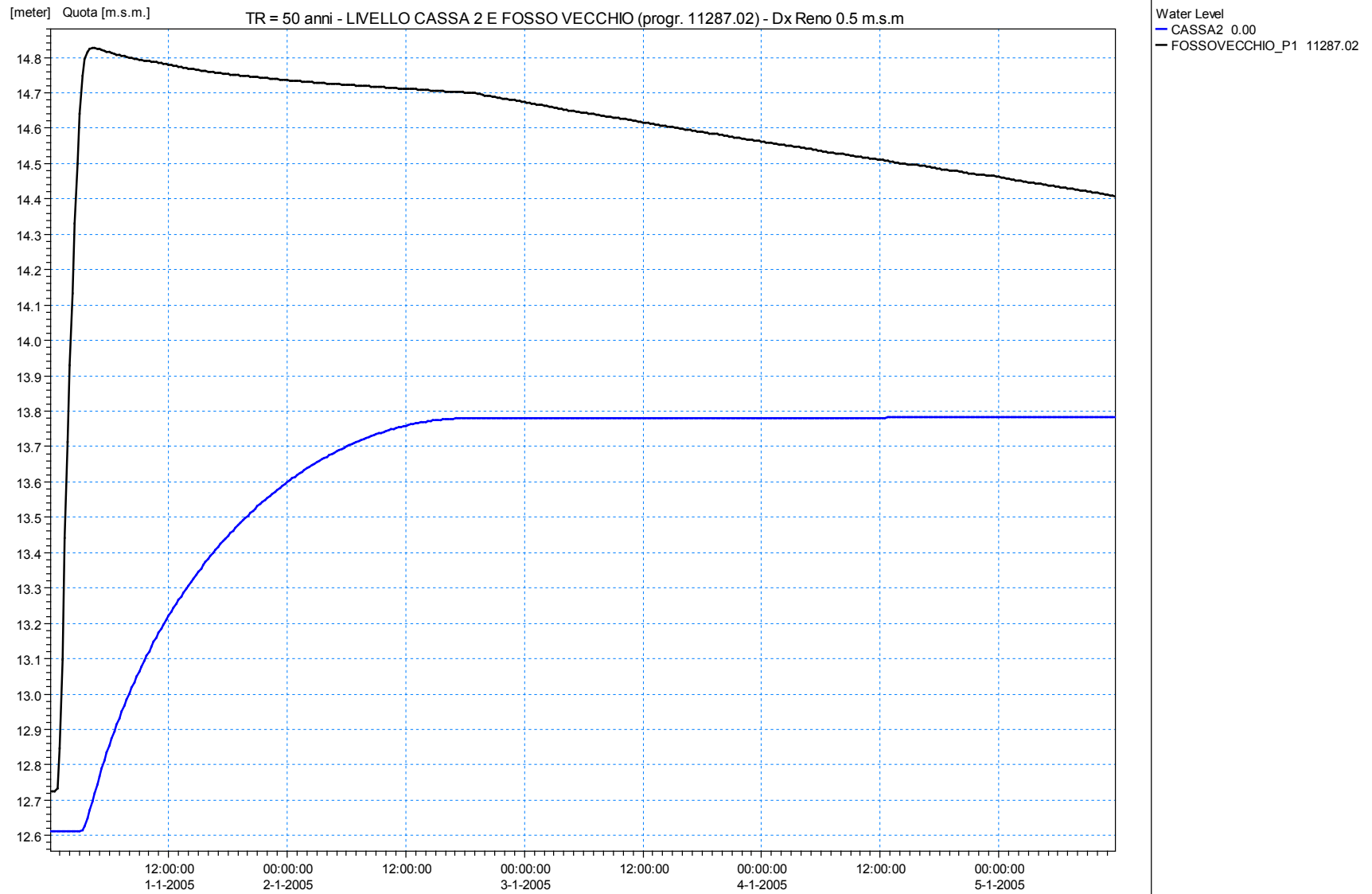


Figura 113 – Livello in cassa 2 e nel Fosso Vecchio per Tr = 50 anni (A).

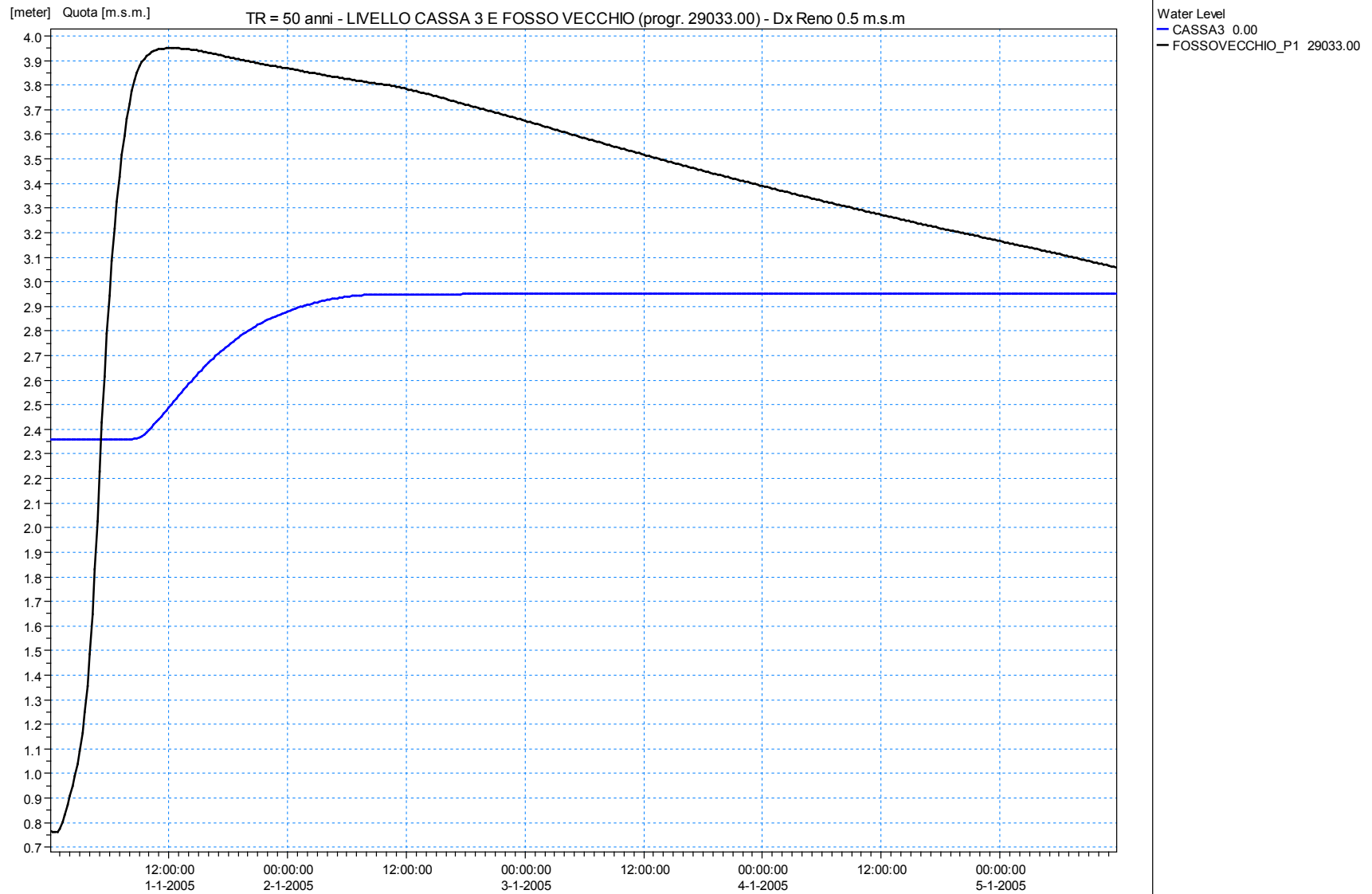


Figura 114 – Livello in cassa 3 e nel Fosso Vecchio per Tr = 50 anni (A).

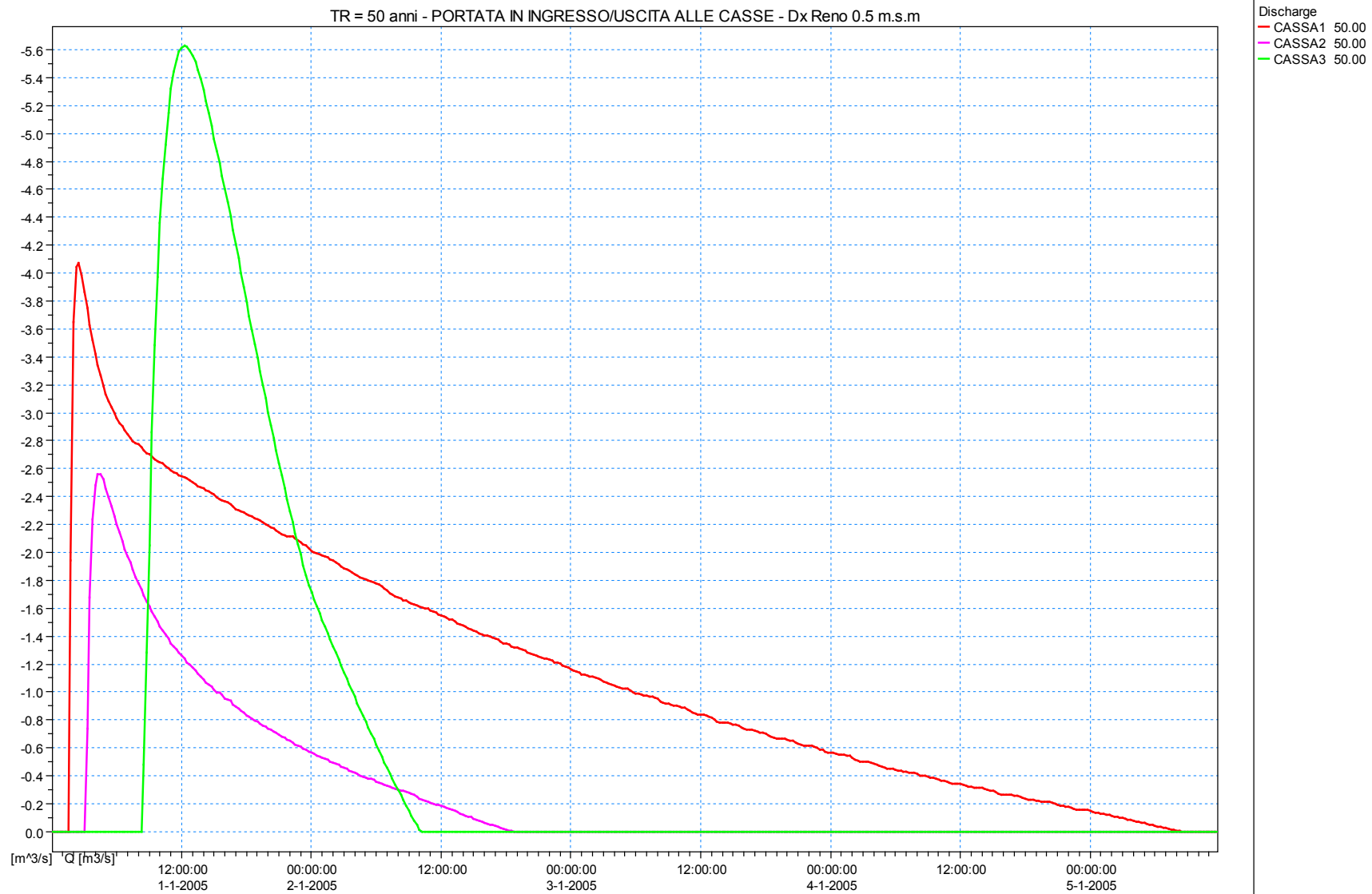


Figura 115 – Portate in ingresso/uscita alle tre casce per $Tr = 50$ anni (A).

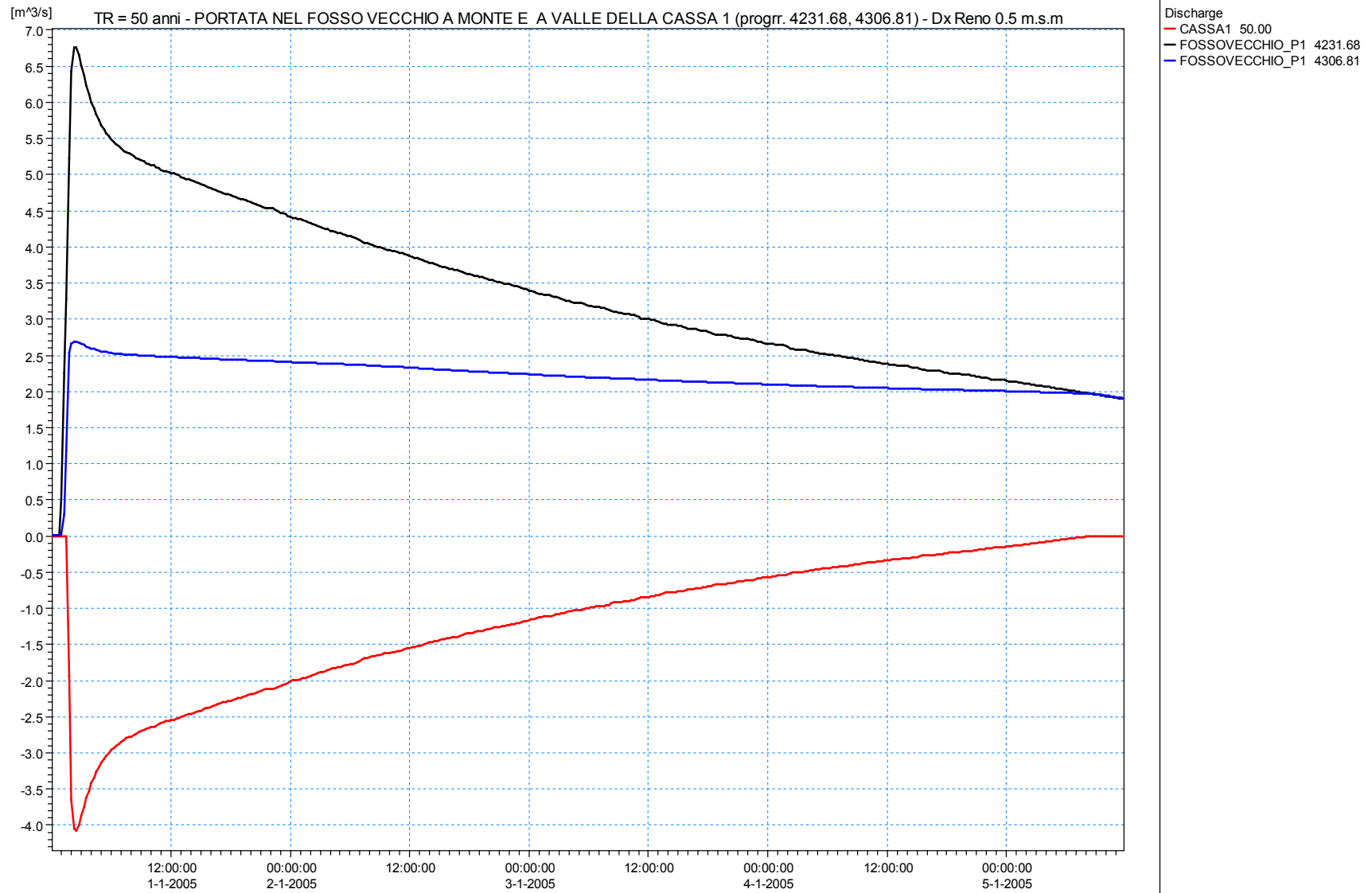


Figura 116 – Portate in cassa 1 e nel Fosso Vecchio in corrispondenza della sezione a monte e a valle della cassa per $Tr = 50$ anni (A).

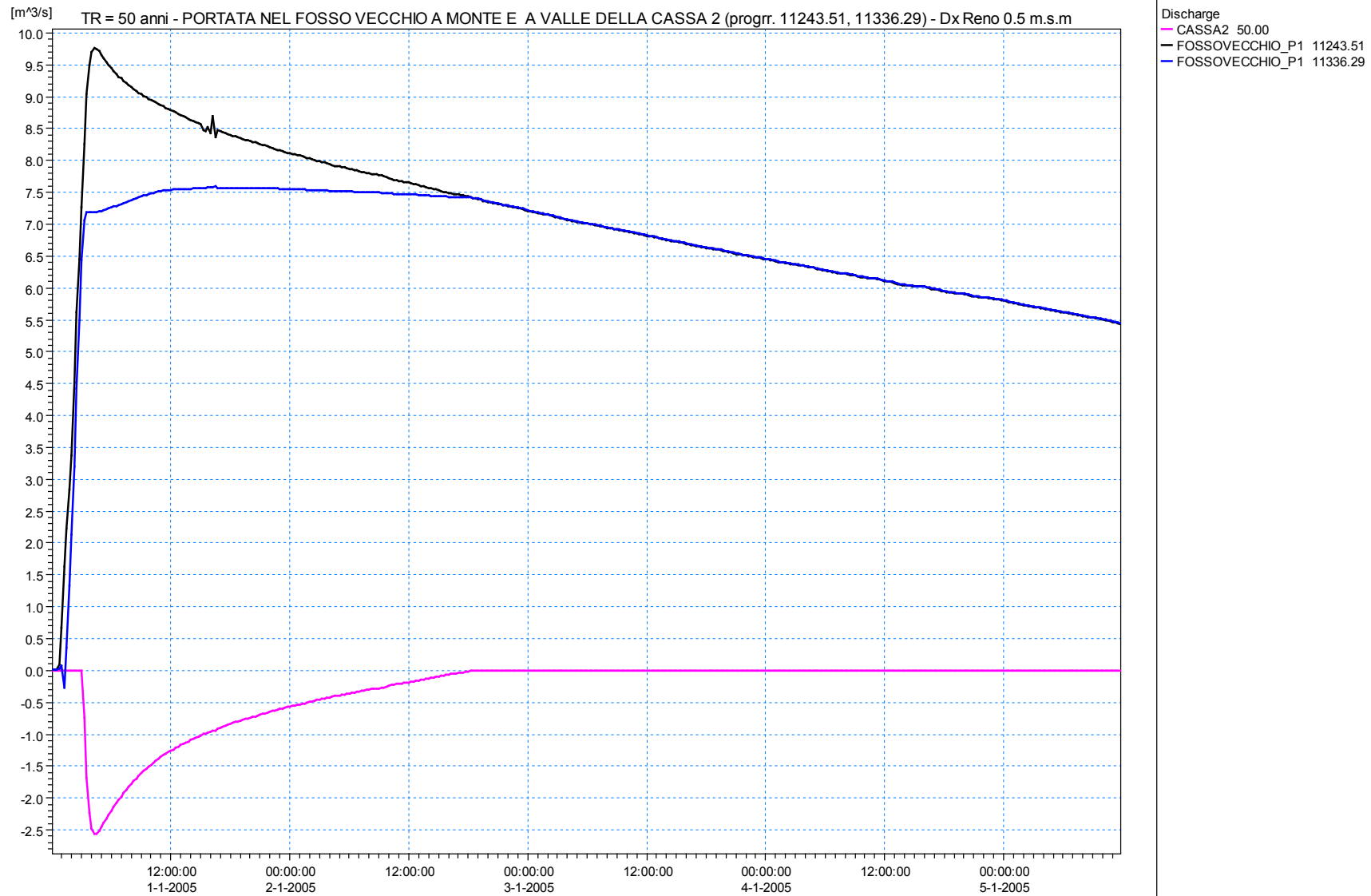


Figura 117 – Portate in cassa 2 e nel Fosso Vecchio in corrispondenza della sezione a monte e a valle della cassa per $Tr = 50$ anni (A).

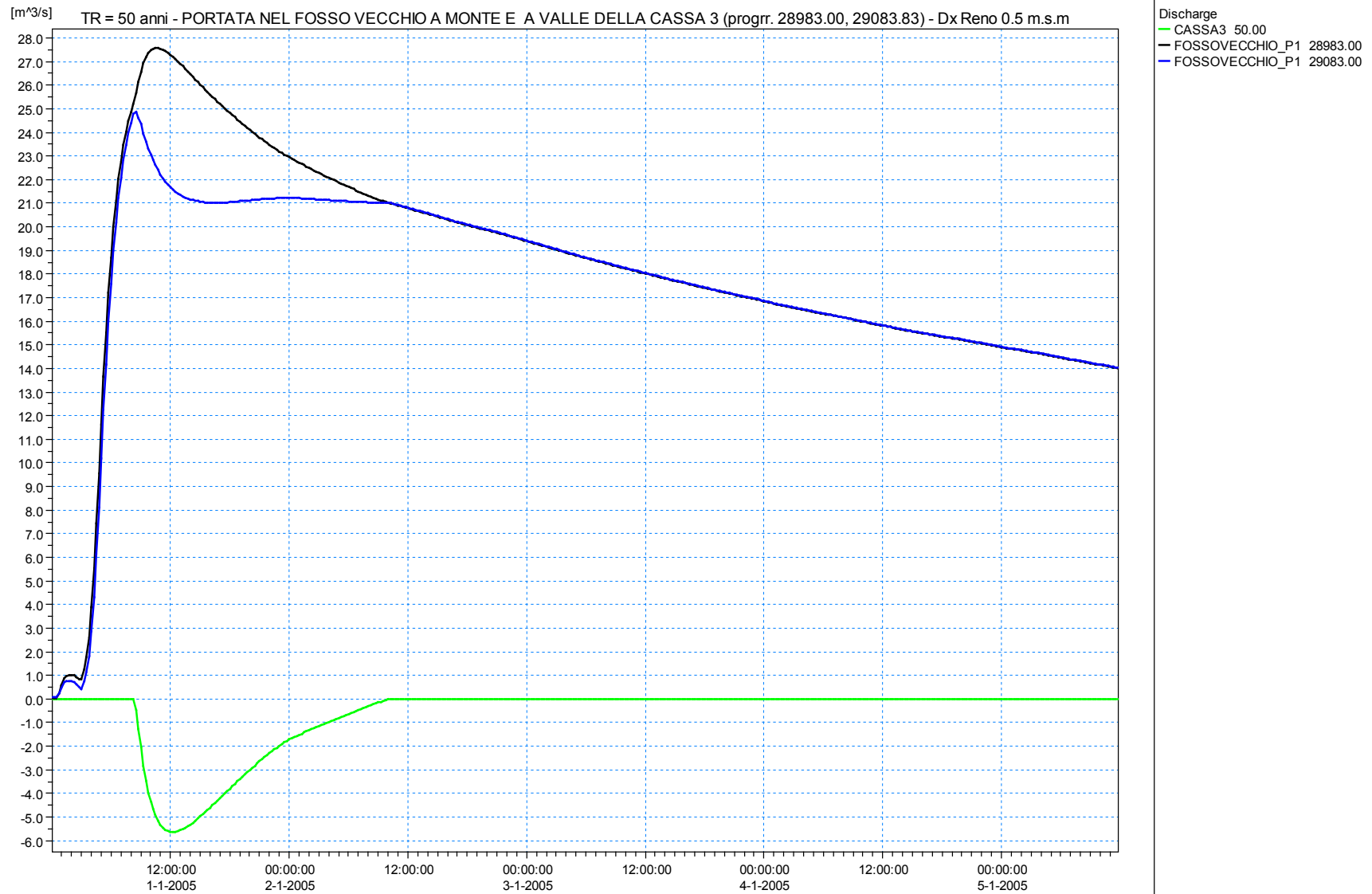


Figura 118 – Portate in cassa 3 e nel Fosso Vecchio in corrispondenza della sezione a monte e a valle della cassa per Tr = 50 anni (A).

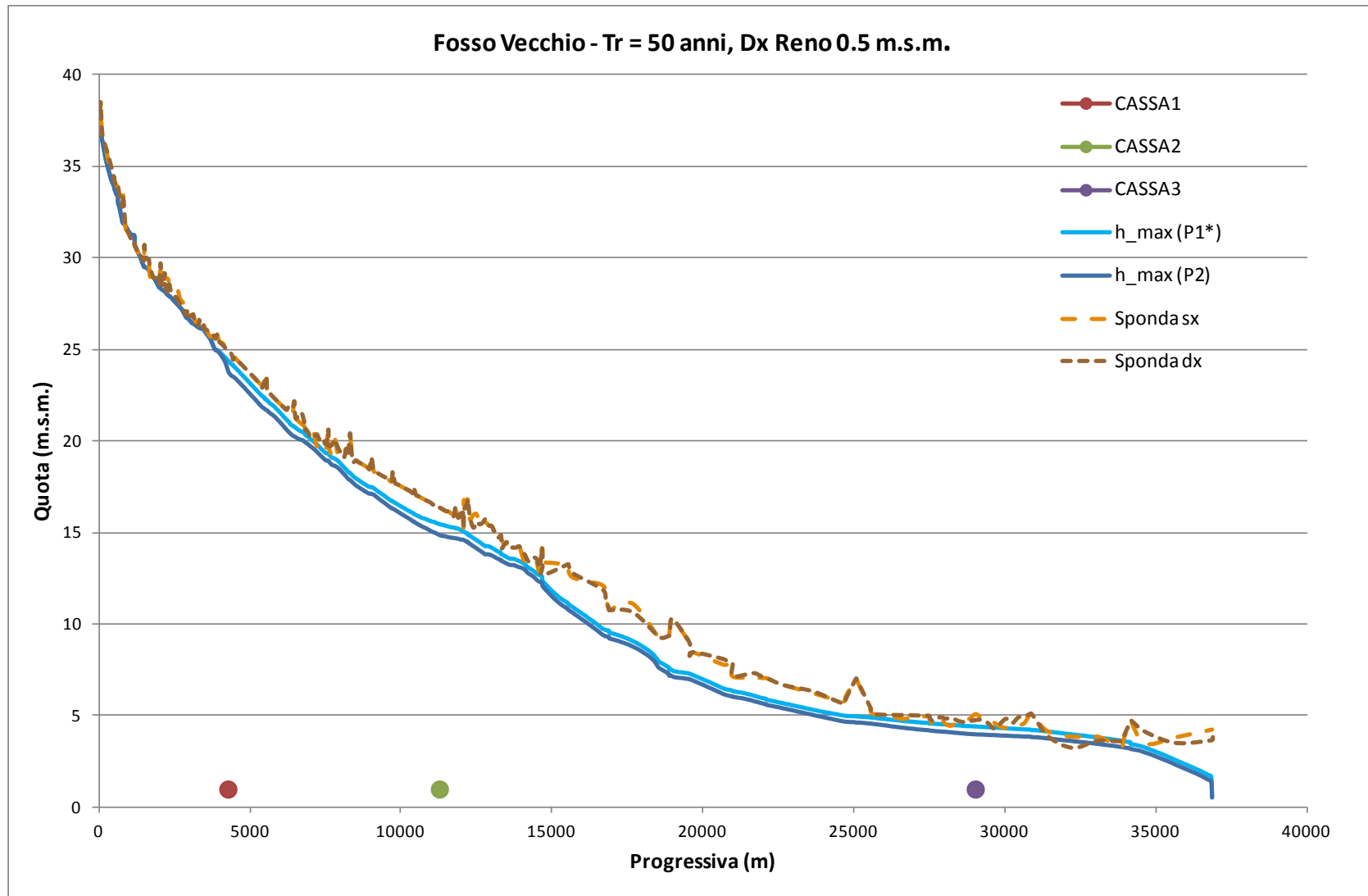


Figura 119 – Involuppi massimi per il Fosso Vecchio nella configurazione con casse, P2, e senza casse, P1*, con riportate le sponde sx e dx, per $Tr = 50$ anni (A).

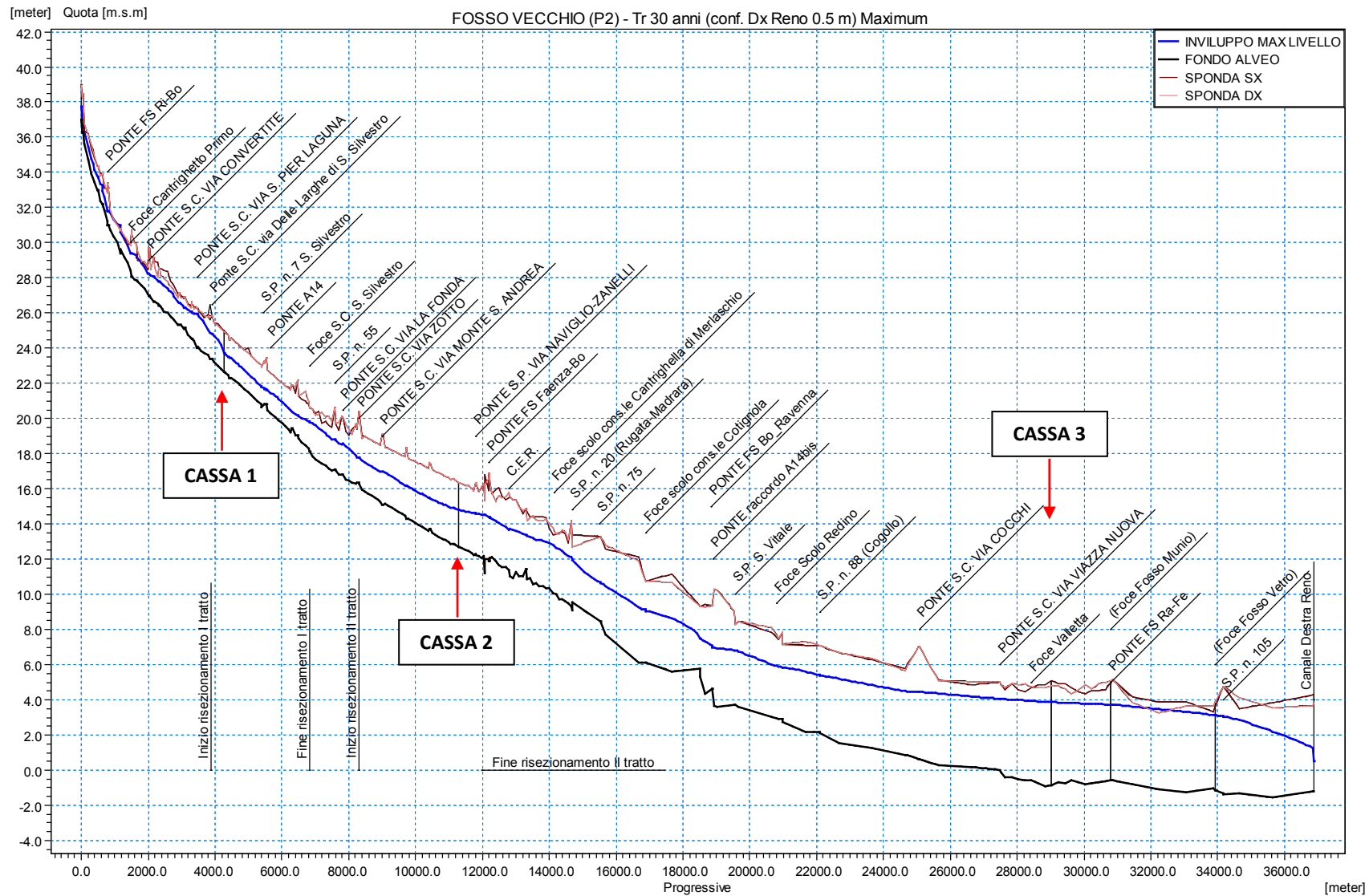


Figura 120 –Inviluppo dei massimi livelli del Fosso Vecchio per Tr 30 anni, nello scenario con casse P2 (A).

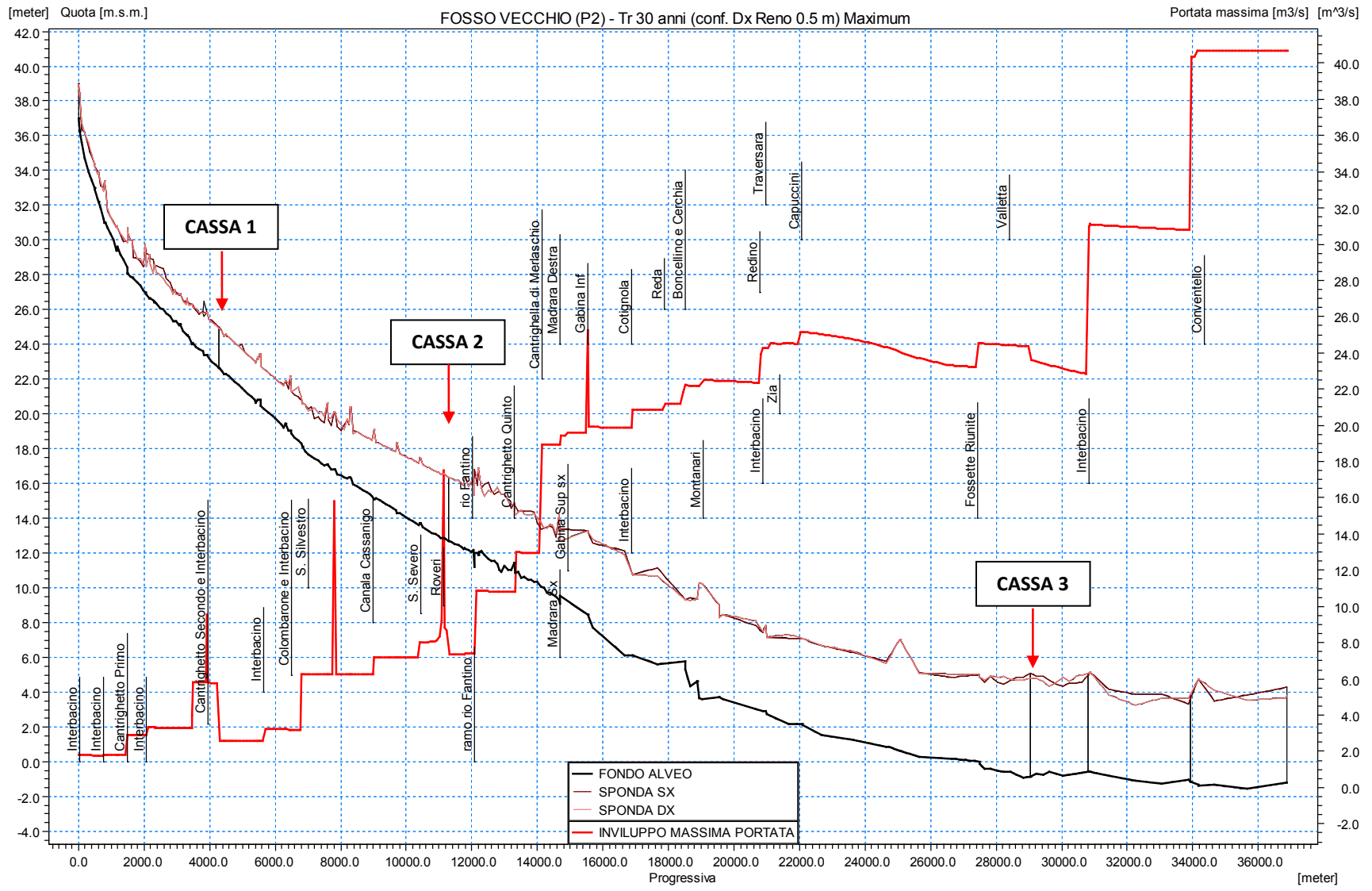


Figura 121 – Involuppo dei massimi di portata del Fosso Vecchio per Tr 30 anni, nello scenario con casse P2 (A).

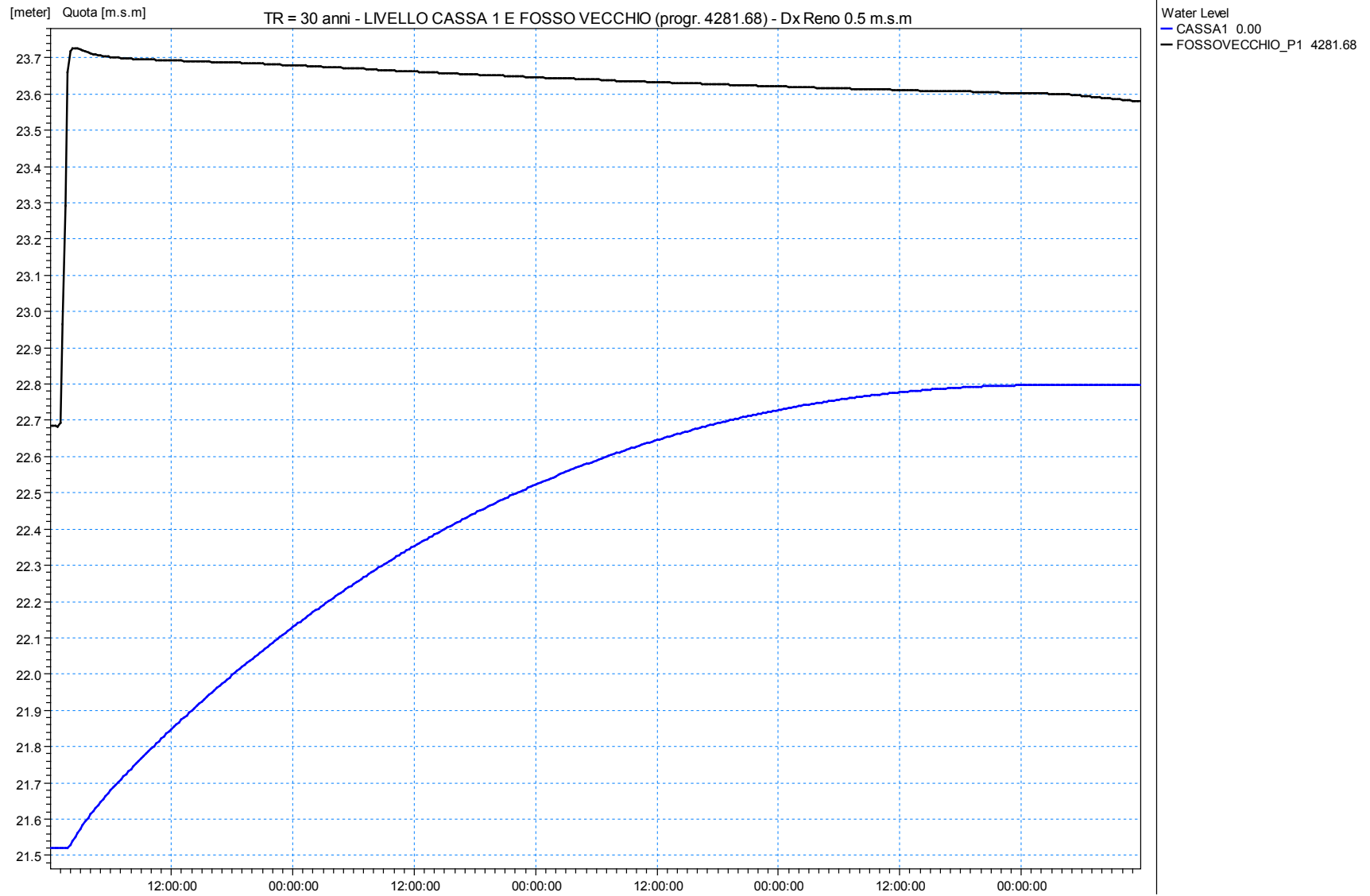


Figura 122 – Livello in cassa 1 e nel Fosso Vecchio per Tr = 30 anni (A).

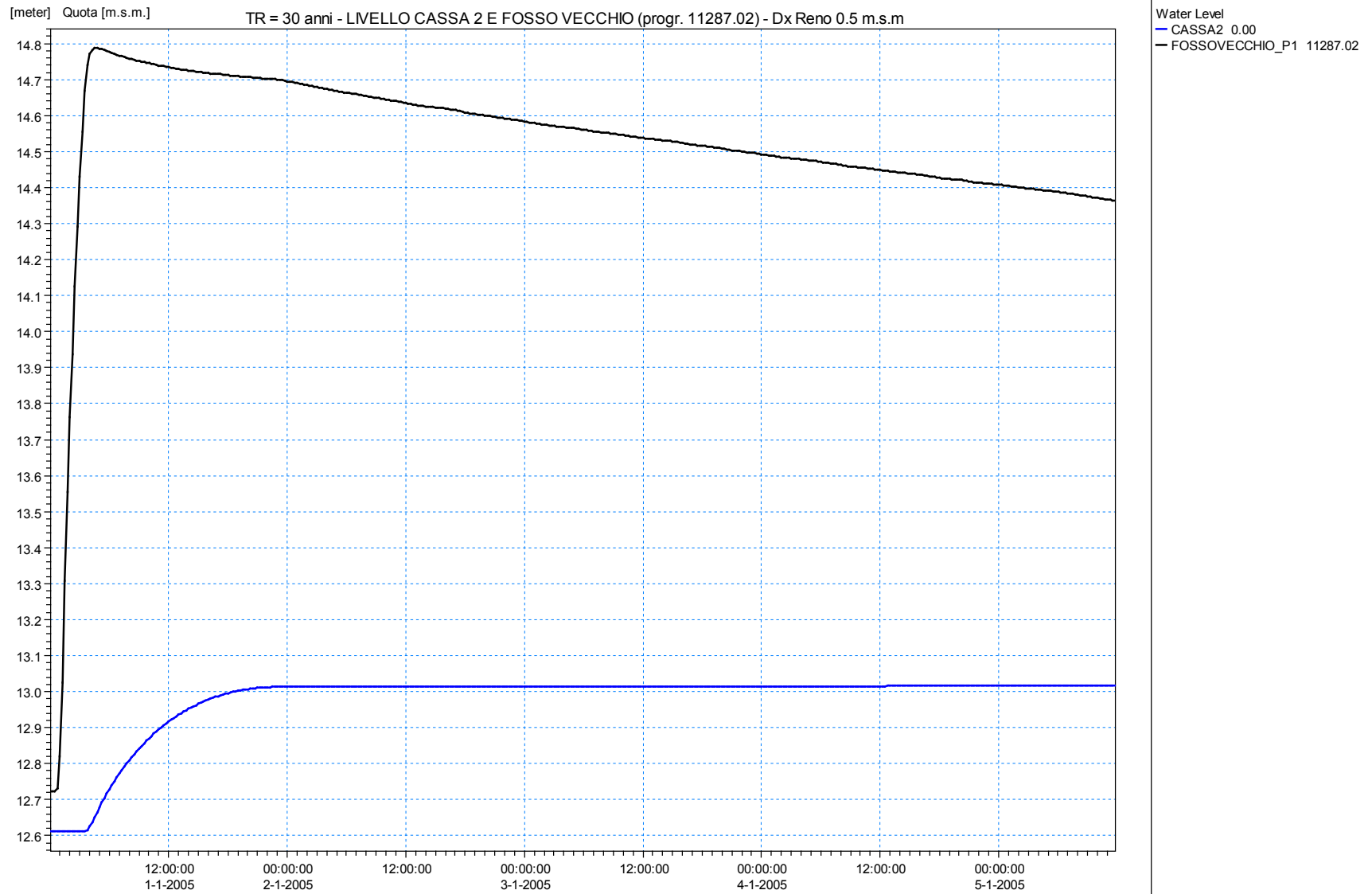


Figura 123 – Livello in cassa 2 e nel Fosso Vecchio per Tr = 30 anni (A).

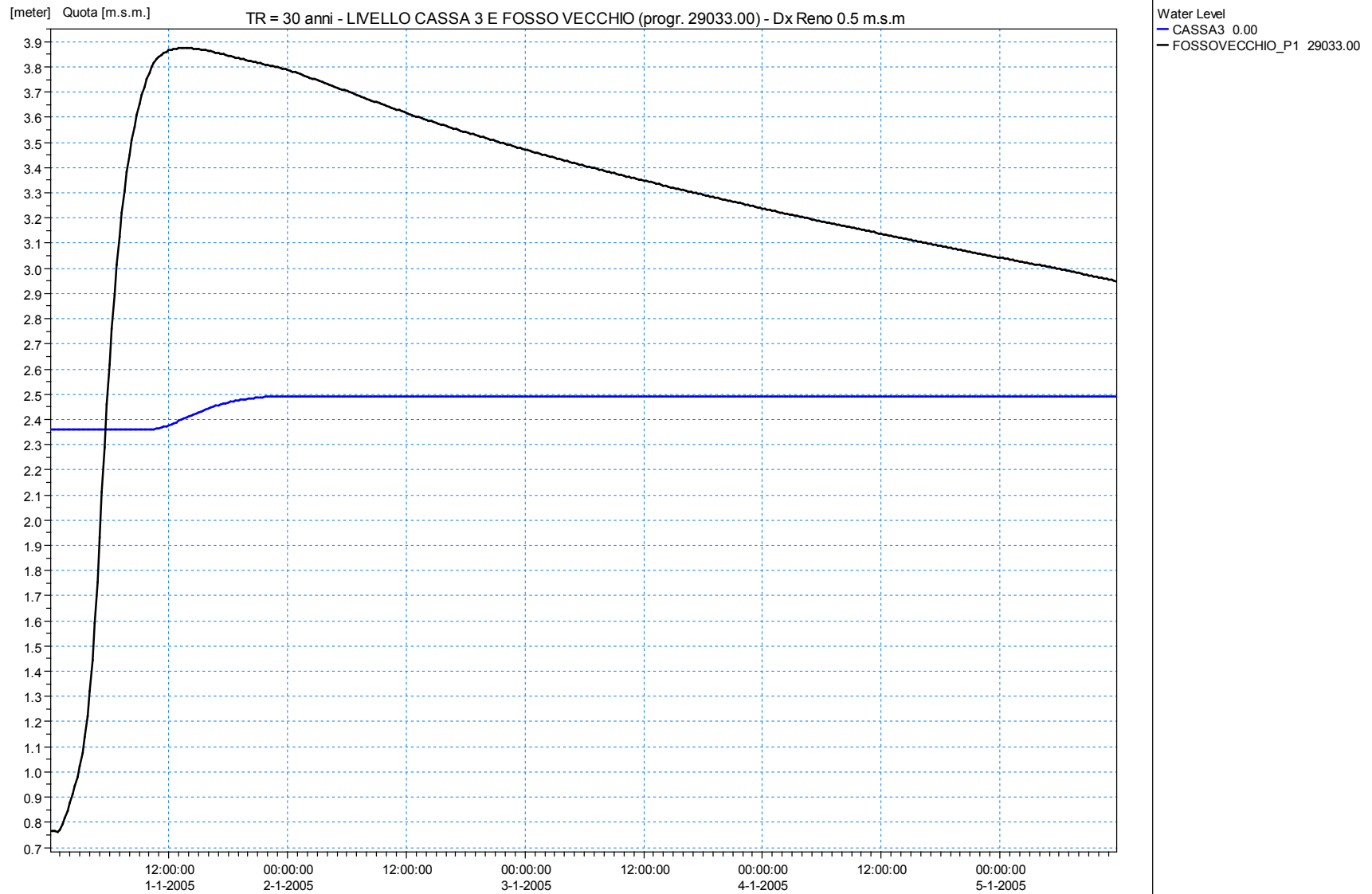


Figura 124 – Livello in cassa 3 e nel Fosso Vecchio per Tr = 30 anni (A).

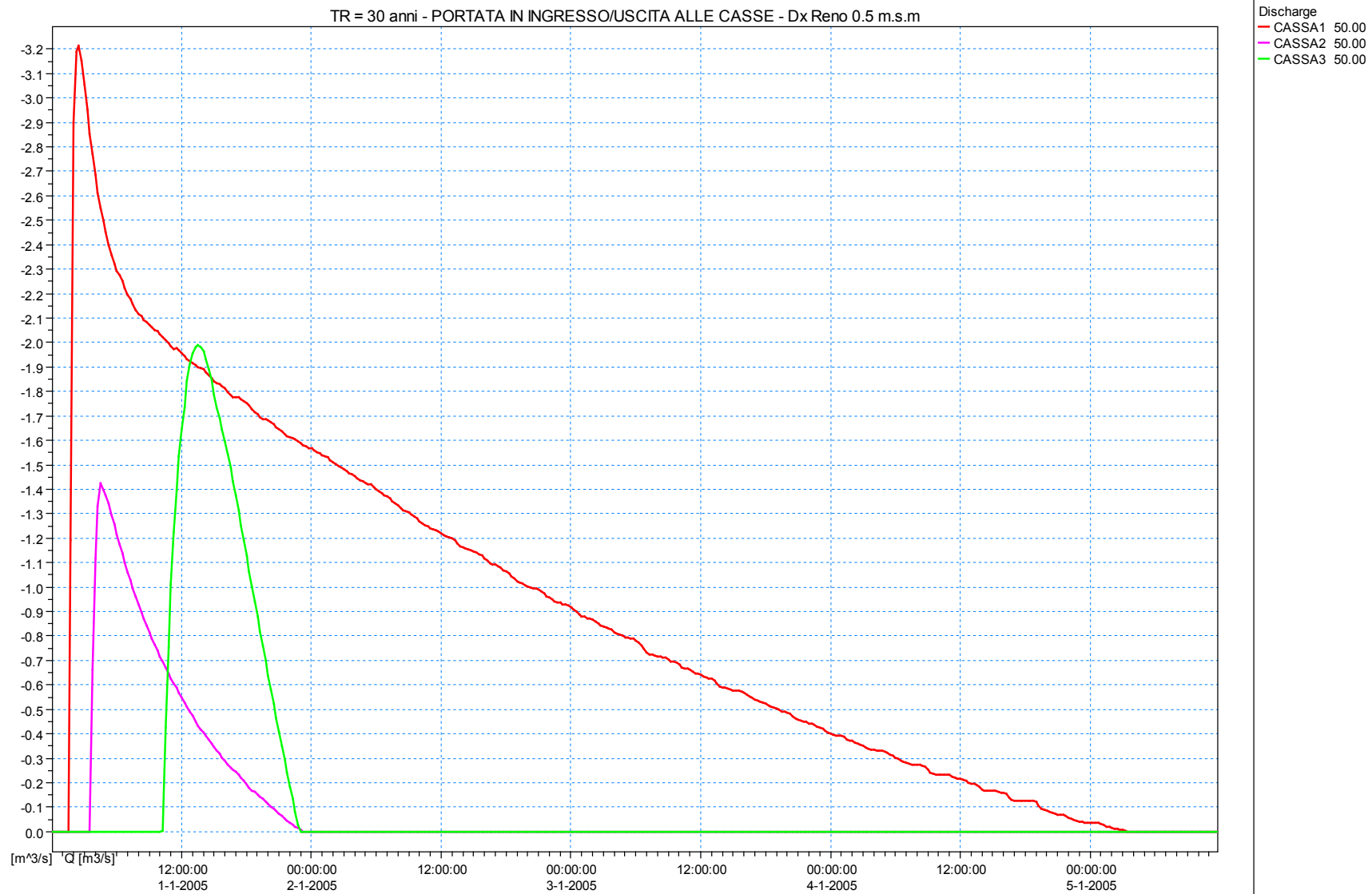


Figura 125 – Portate in ingresso/uscita alle tre casse per $Tr = 30$ anni (A).

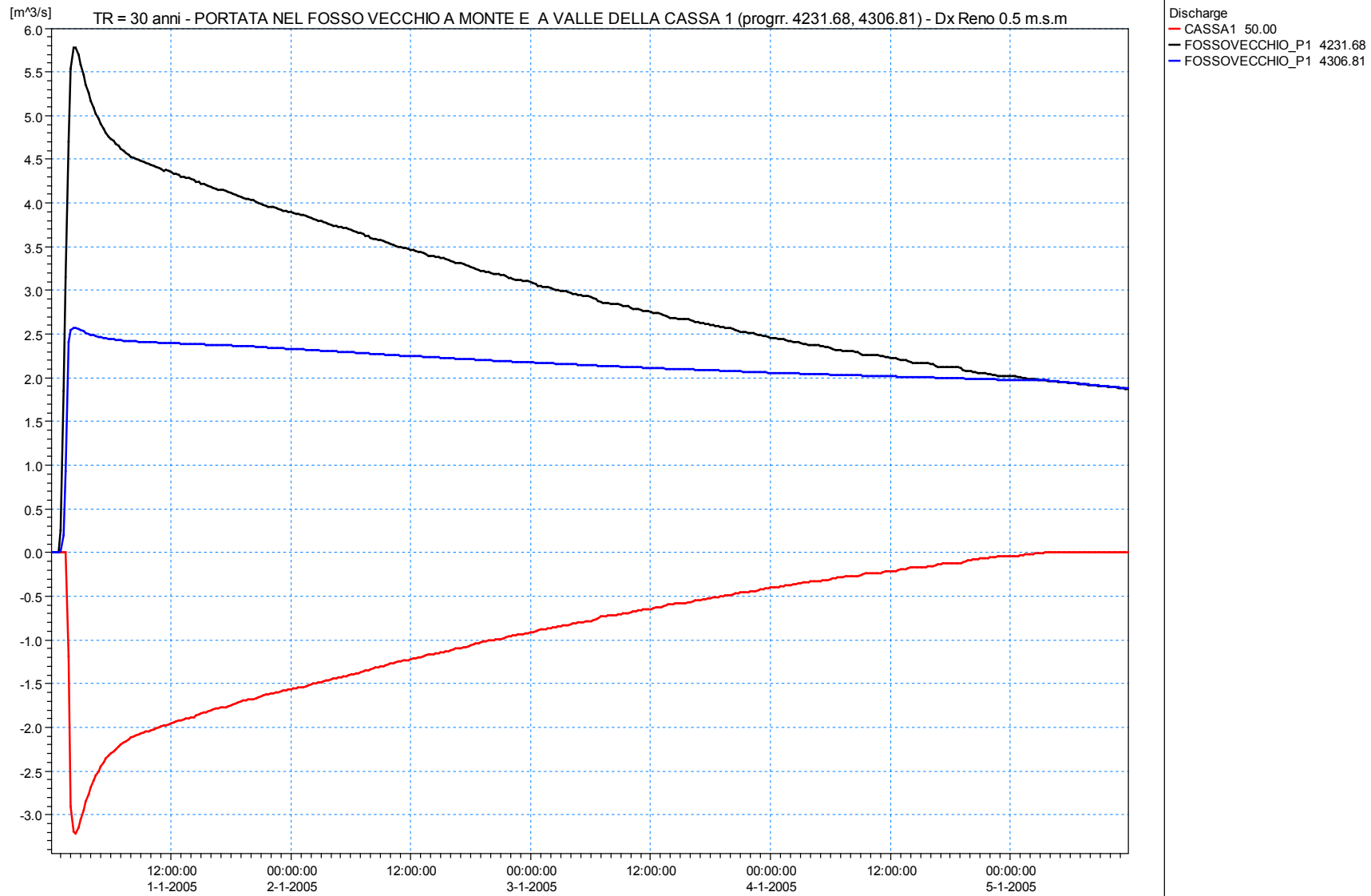


Figura 126 – Portate in cassa 1 e nel Fosso Vecchio in corrispondenza della sezione a monte e a valle della cassa per $Tr = 30$ anni (A).

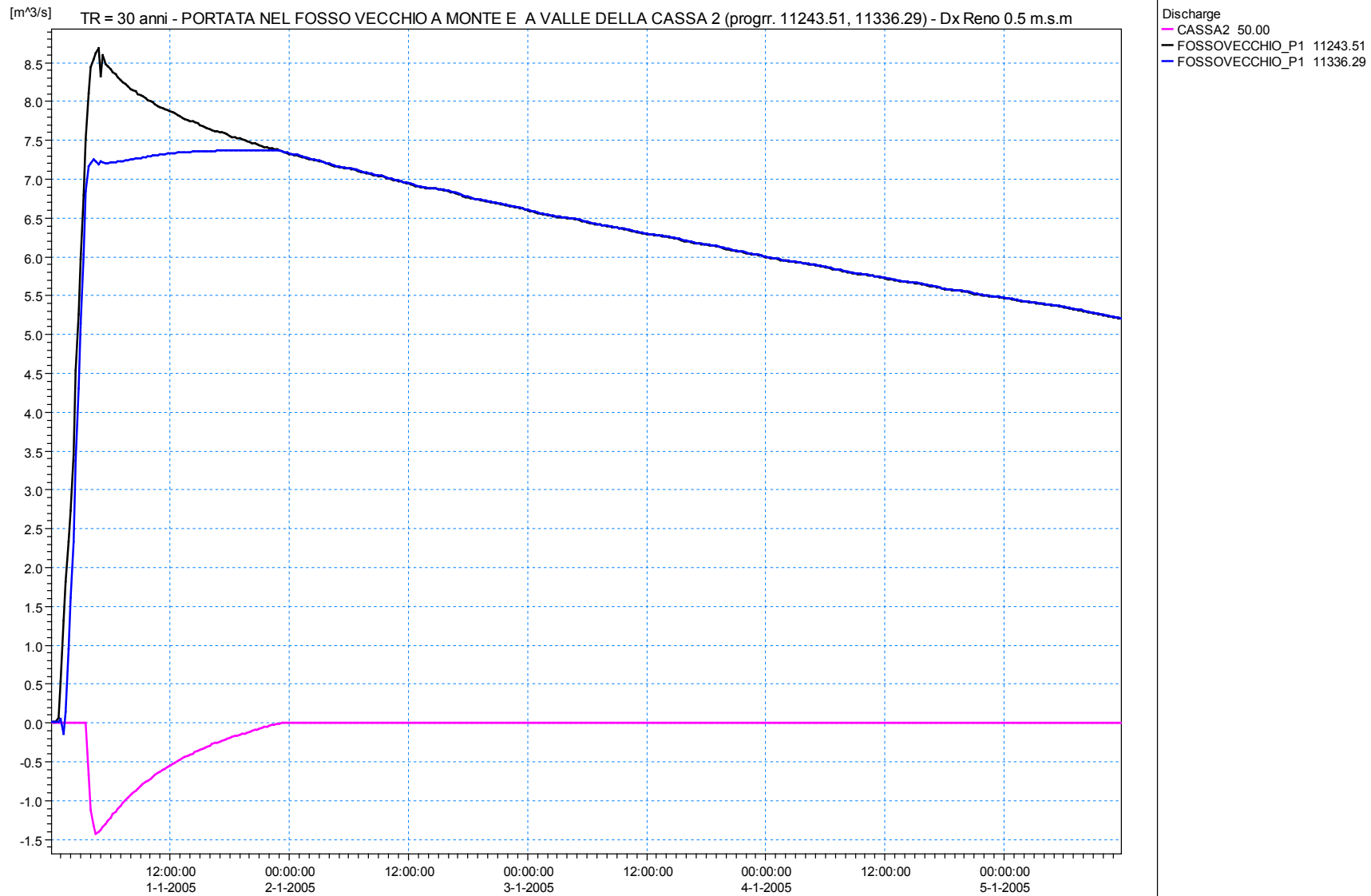


Figura 127 – Portate in cassa 2 e nel Fosso Vecchio in corrispondenza della sezione a monte e a valle della cassa per $Tr = 30$ anni (A).

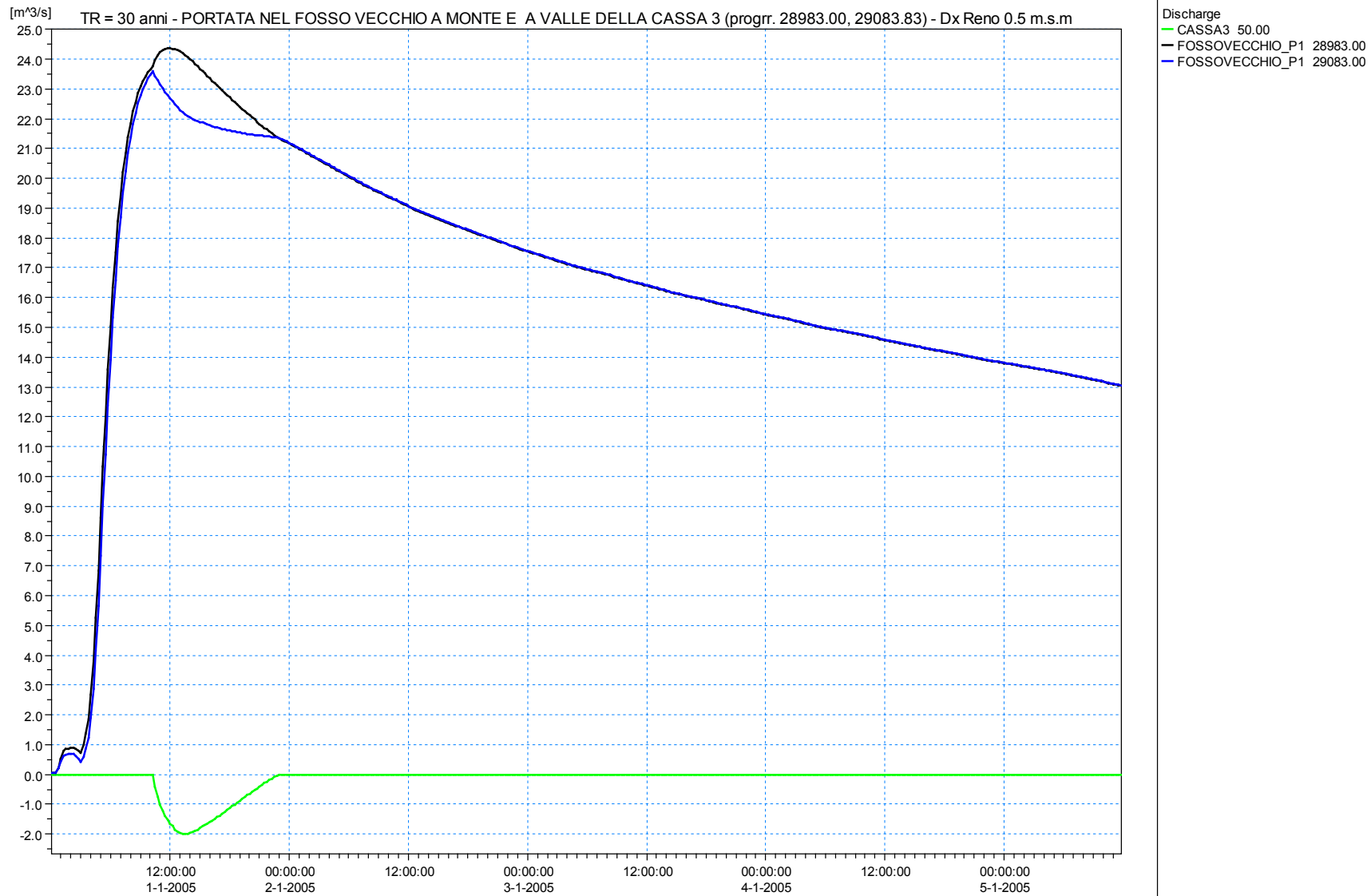


Figura 128 – Portate in cassa 3 e nel Fosso Vecchio in corrispondenza della sezione a monte e a valle della cassa per $Tr = 30$ anni (A).

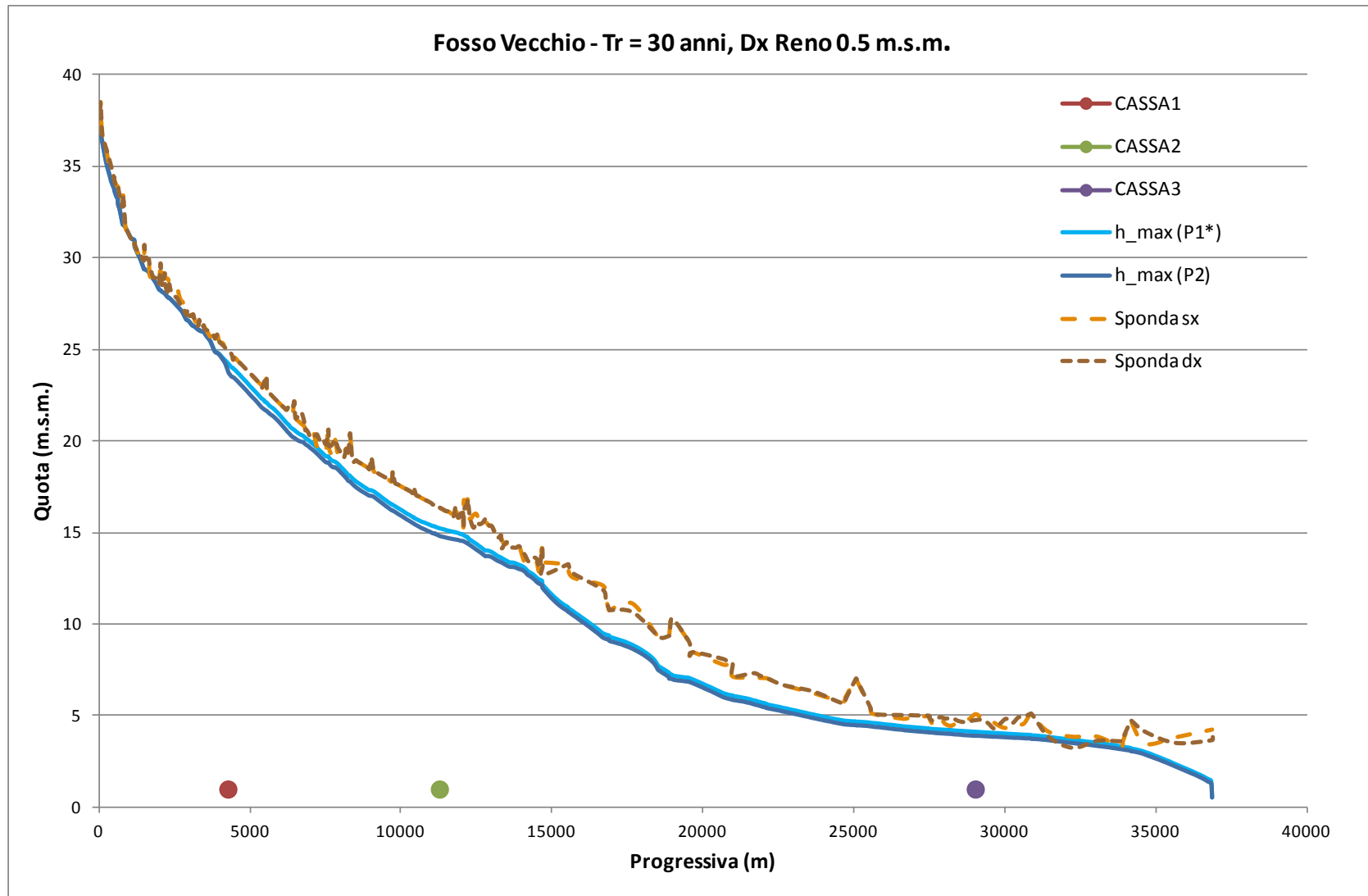


Figura 129 – Involuppi massimi per il Fosso Vecchio nella configurazione con casce, P2, e senza casce, P1*, con riportate le sponde sx e dx, per Tr = 30 anni (A).

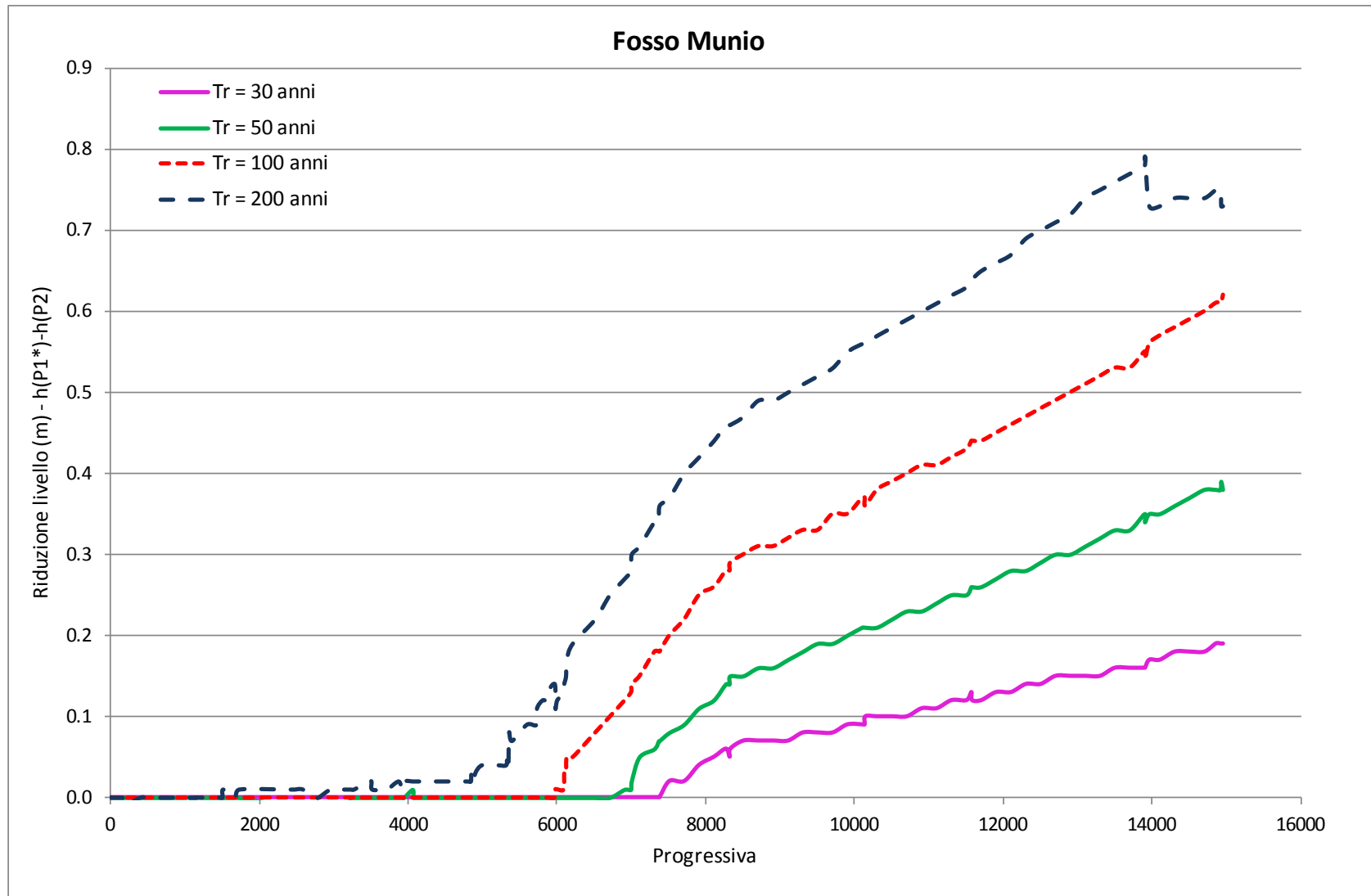


Figura 130 – Abbattimento dei livelli nel Fosso Munio dovuto alla presenza delle tre casse sul Fosso Vecchio, per Tr = 30, 50, 100 e 200 anni (A)

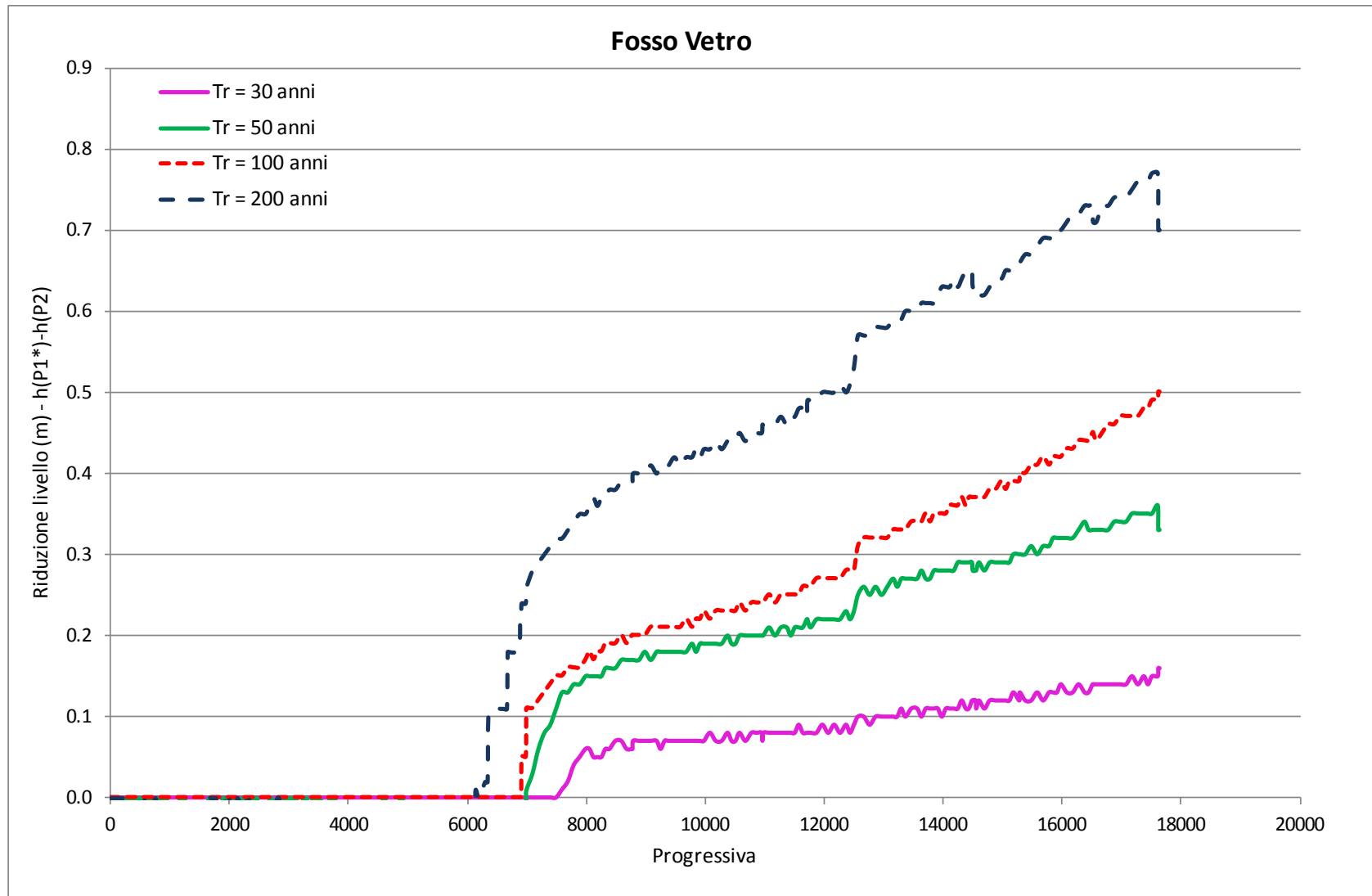


Figura 131 – Abbattimento dei livelli nel Fosso Vetro dovuto alla presenza delle tre casse sul Fosso Vecchio, per $Tr = 30, 50, 100$ e 200 anni (A)

In conclusione, i grafici riportanti lungo i profili longitudinali del Fosso Vecchio l'involuppo dei massimi tiranti mostrano i benefici indotti dalla presenza delle casse; per l'evento con tempo di ritorno $Tr = 100$ anni, Scenario A (ossia condizione al contorno di valle pari ad un tirante idrico di 0.5 m nel Destra Reno), adottato come punto di partenza per individuare in prima istanza la geometria da assegnare alle tre casse, si osserva una riduzione dei tiranti idrici massimi, a partire dalla progressiva 3'840 m.

Gli abbassamenti dei tiranti indotti delle casse, estendendosi anche sulle sezioni a monte e a valle delle stesse, si sommano tra loro e risulta quindi difficile stabilire con precisione in corrispondenza di quale sezione inizia e termina l'effetto di ogni singola cassa.

In generale si osserva come, per l'evento con tempo di ritorno pari a 100 anni, la riduzione del tirante massimo impedisce l'esondazione in sezioni che risultano critiche allo stato attuale; in particolare, i maggiori benefici si hanno:

- tra le progressive 7'007 m e 7'506 m, in corrispondenza della cassa 1;
- tra le progressive 14'106 m e 14'490 m, per la cassa 2;
- a partire dalla progressiva 25'637 m sino alla 34'659 m, per la cassa 3.

In corrispondenza della progressiva 32'245 m entrambe le sponde (ed in particolar modo quella destra) presentano una quota del piano campagna inferiore a quelle a monte e a valle, a causa probabilmente di cedimenti locali. Come osservato precedentemente, tale criticità puntuale potrebbe essere risolta sovralzando l'argine e con controbanche per ridurre la tendenza allo sprofondamento della fondazione.

In corrispondenza delle sezioni idraulicamente già oggi sufficienti, in generale l'abbattimento dei tiranti idrici massimi aumenta notevolmente il franco di sicurezza.

Per l'evento con tempo di ritorno $Tr = 30$ anni, già la configurazione attuale del Fosso Vecchio risulta essere sufficiente, a meno della sezione critica di cui sopra (progressiva 32'245 m); per l'evento con $Tr = 50$ anni, invece, le criticità attualmente presenti (progressive 7'206.75 m, 31'448.01 m, 33'057.39 m e 33'855.43 m), a meno della già citata progressiva 32245 m, vengono risolte grazie alla presenza delle tre casse.

Per l'evento con tempo di ritorno Tr pari a 200 anni, allo stato attuale le esondazioni risultano essere ovviamente molto importanti ed estese a più tratti; le criticità che attualmente si verificano tra la progressiva 6'696 m e la 7'506 m sono risolte dalla presenza della cassa 1, nel faentino, che mette così in sicurezza un tratto lungo circa 1 km.

Anche le sezioni interessate da esondazione tra le progressive 14'006 m e 14'688 m sono messe in sicurezza dalla presenza delle casse.

A monte dell'ultima cassa (dalla progr. 25544 m) il Fosso Vecchio risulta quasi ovunque insufficiente, allo stato attuale, a garantire il transito della duecentennale in sicurezza.

La presenza della cassa 3 risolve le criticità in molte sezioni e la riduce in altre: in corrispondenza della sezione alla progressiva 31'448 m, ad esempio, il "gap" di insufficienza idraulica tra il picco di piena e alla sponda più bassa è attualmente di 92 cm senza casce e di "soli" 20 cm in presenza delle casce.

Si comprende quindi come tali dispositivi (casce di laminazione) garantiscano condizioni di maggiore sicurezza per i territori interessati.

L'abbassamento dei livelli idrici nel Fosso Vetro comporta, come detto, dei benefici indotti anche sui suoi due affluenti, Munio e Vetro, così come si evince dai grafici in figura 130 e 131, nei quali vengono riportate le differenze tra il tirante massimo nella configurazione attuale e in quella con le casce.

Si osserva che tale beneficio aumenta man mano che ci si avvicina alla confluenza con il Fosso Vecchio, in quanto la presenza delle casce abbassa il livello in quest'ultimo, facendo così diminuire gli effetti di rigurgito negli affluenti.

Questi benefici vanno parzialmente a risolvere (o comunque migliorare) alcune criticità in corrispondenza delle sezioni più a valle, mentre non possono essere risolte altre criticità parimenti importanti in corrispondenza di tratti più a monte dei due affluenti.

Le simulazioni condotte per i vari tempi di ritorno ($Tr = 30, 50, 100$ e 200 anni) adottando come condizione di valle nel Destra Reno un livello costante pari a 0.5 m (configurazione Scenario A), ora descritte, sono state eseguite anche ponendo come condizione al contorno di valle nel Canale di Bonifica in Destra Reno un'onda di piena trentennale contestualmente transitante nel recettore (configurazione Scenario B).

Questa condizione comporta un innalzamento importante nei livelli di piena nel Fosso Vecchio (e conseguentemente anche nei suoi affluenti Vetro e Munio a causa dei maggiori effetti di rigurgito); data la posizione molto valliva della cassa 3, questa assume - ancor più delle altre - un ruolo di "tutela idraulica" fondamentale in quanto riduce gli effetti negativi di rigurgito dovuti ai livelli nel Destra Reno. Similmente al caso precedente, si riportano tutti i grafici di maggiore significato per il presente studio, secondo tale ordine:

- per $Tr = 100$ anni (evento di riferimento), da figura 132 a figura 145;
- per $Tr = 200$ anni, da figura 146 a figura 155;
- per $Tr = 50$ anni, da figura 156 a figura 165;
- per $Tr = 30$ anni, da figura 166 a figura 175;
- comparazione dei livelli fra stato attuale (ATT) e stato di progetto (P2) nei due affluenti Munio (figura 176) e Vetro (figura 177), per tutti gli eventi idrologici ($Tr = 30, 50, 100, 200$ anni);
- profilo "sinottico" del Fosso Vecchio, riportante per lo stato di progetto (P2) gli involucri dei livelli di piena (figura 178) per le due configurazioni del Destra Reno (A e B) e per tutti gli eventi idrologici ($Tr = 30, 50, 100, 200$ anni).

STATO DI PROGETTO [P2]
SCENARIO B (DESTRA RENO Tr 30 anni, TR 30, 50, 100, 200 anni)

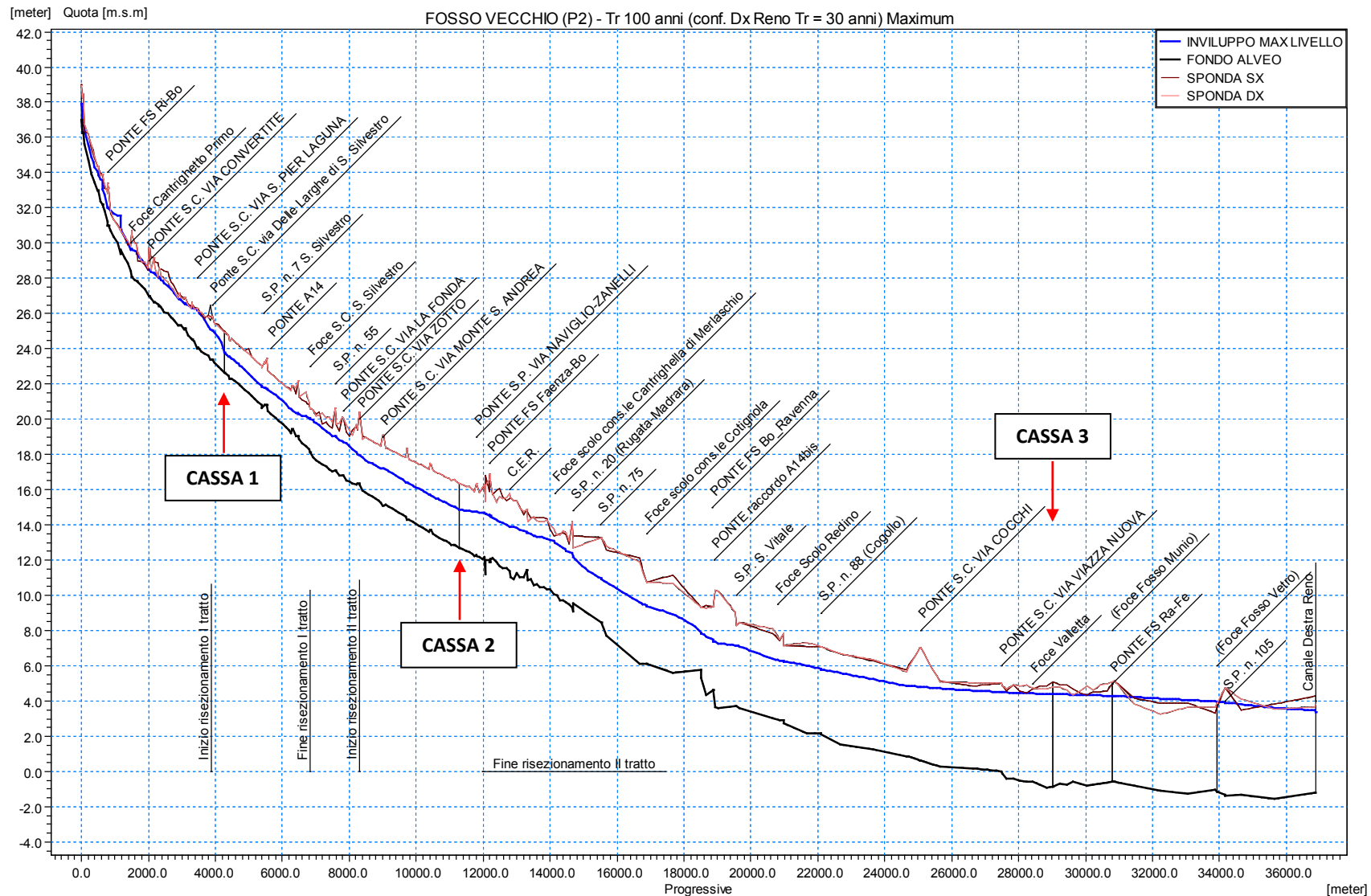


Figura 132 –Inviluppo dei massimi livelli del Fosso Vecchio per Tr 100 anni, nello scenario con casse P2 (B).

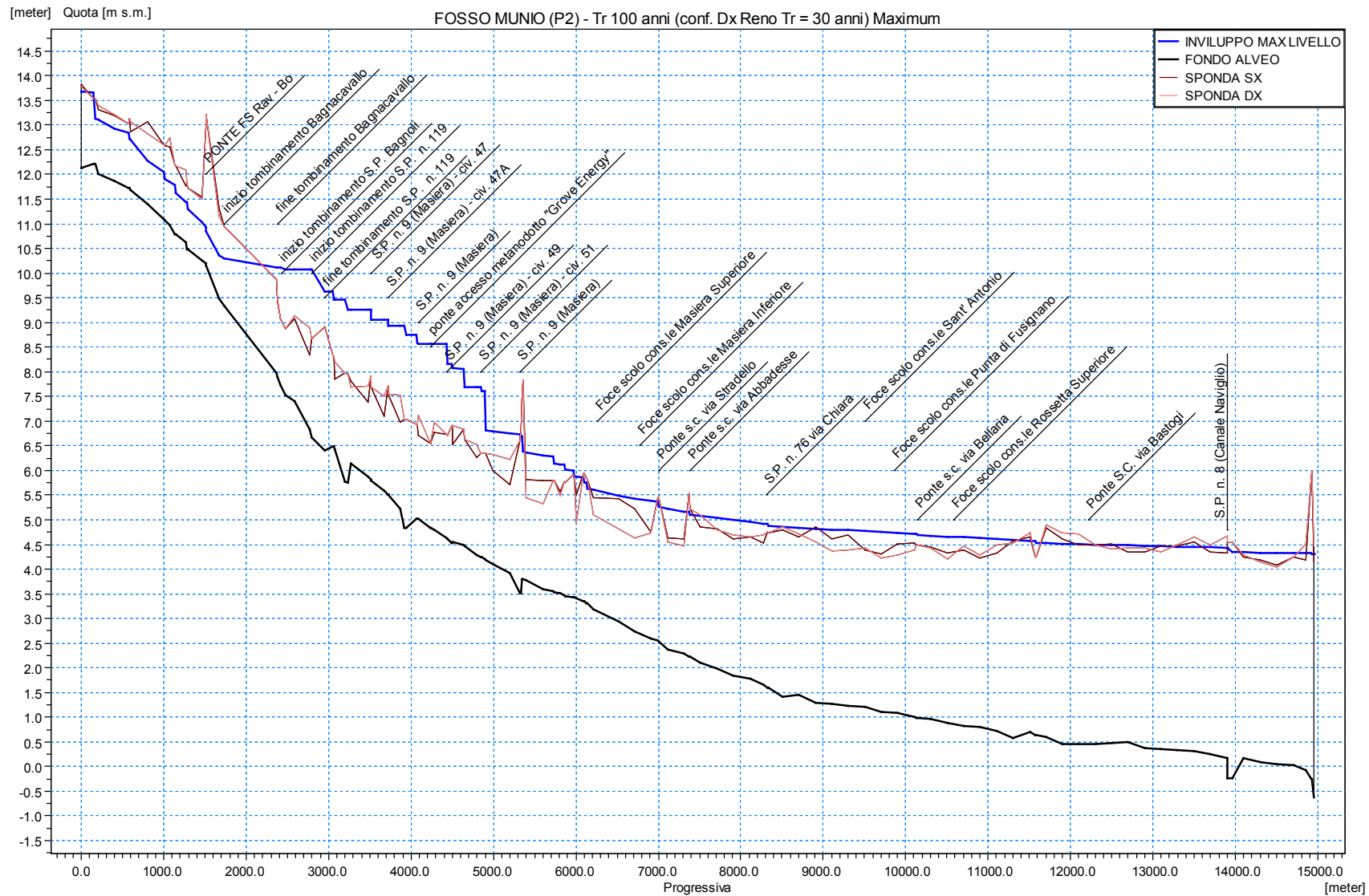


Figura 133 –Inviluppo dei massimi livelli del Fosso Munio per Tr 100 anni, nello scenario con casse P2 (B).

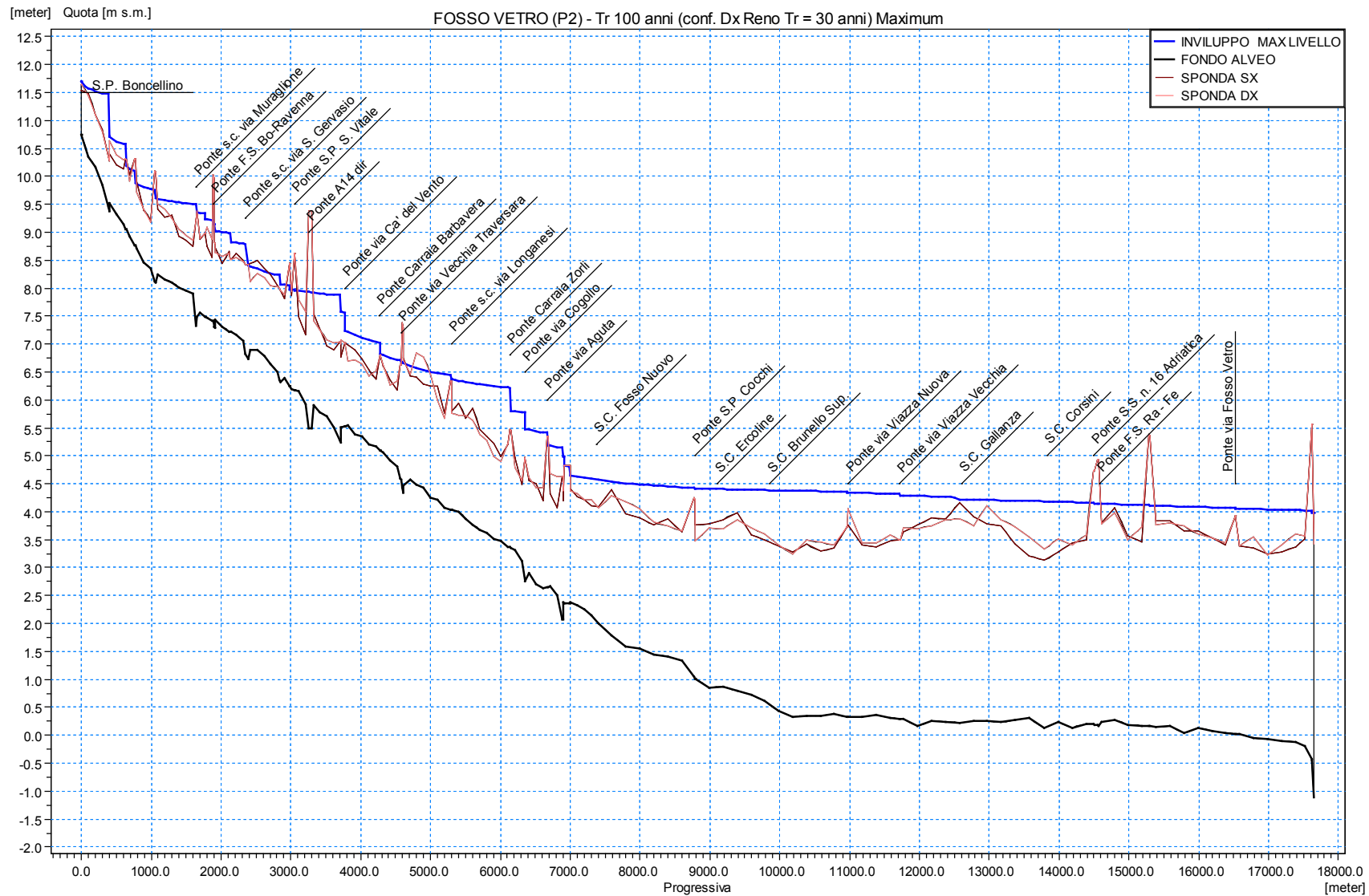


Figura 134 –Inviluppo dei massimi livelli del Fosso Vetro per Tr 100 anni, nello scenario con casse P2 (B).

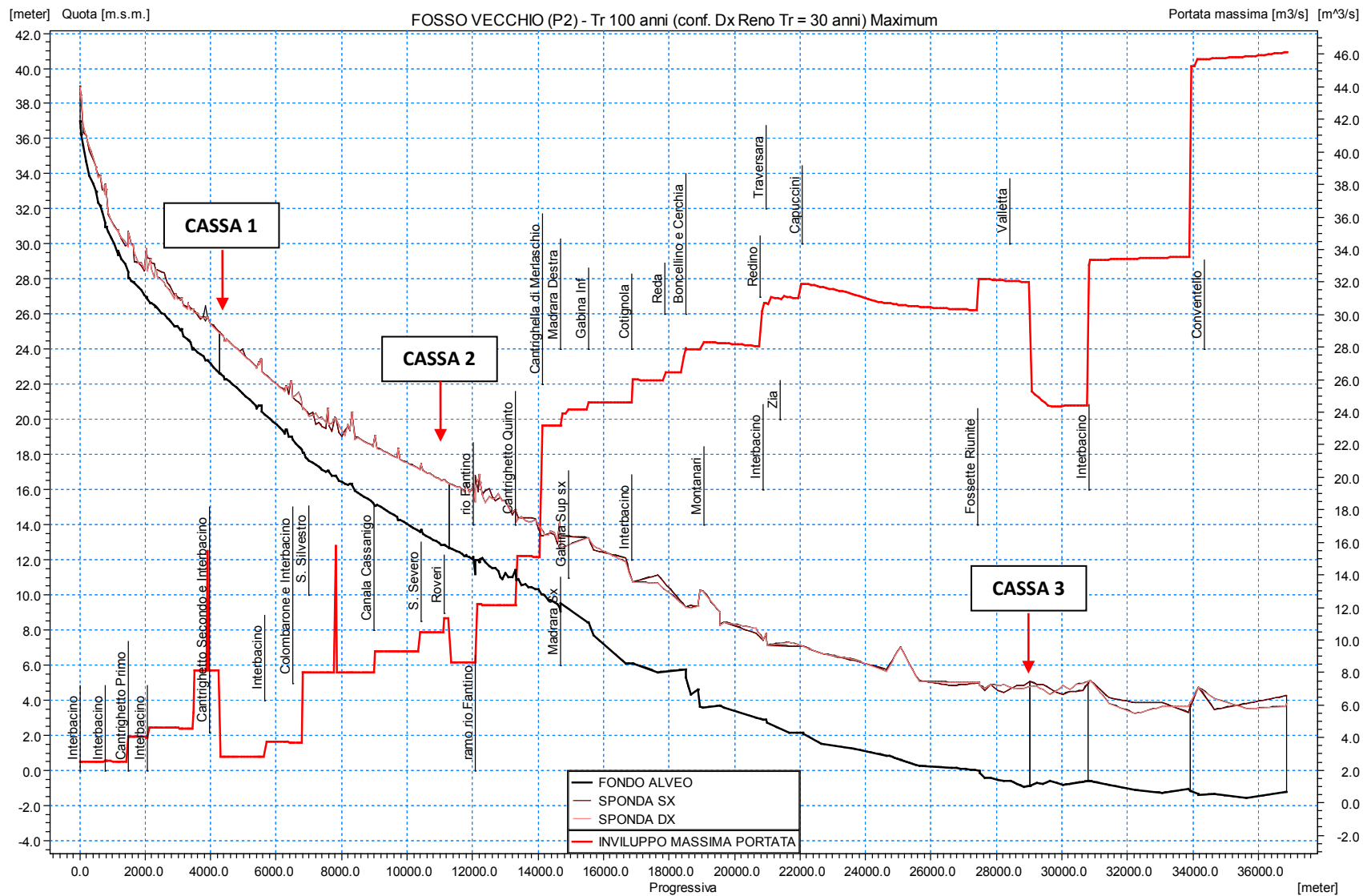


Figura 135 – Inviluppo dei massimi di portata del Fosso Vecchio per Tr 100 anni, nello scenario con casse P2 (B).

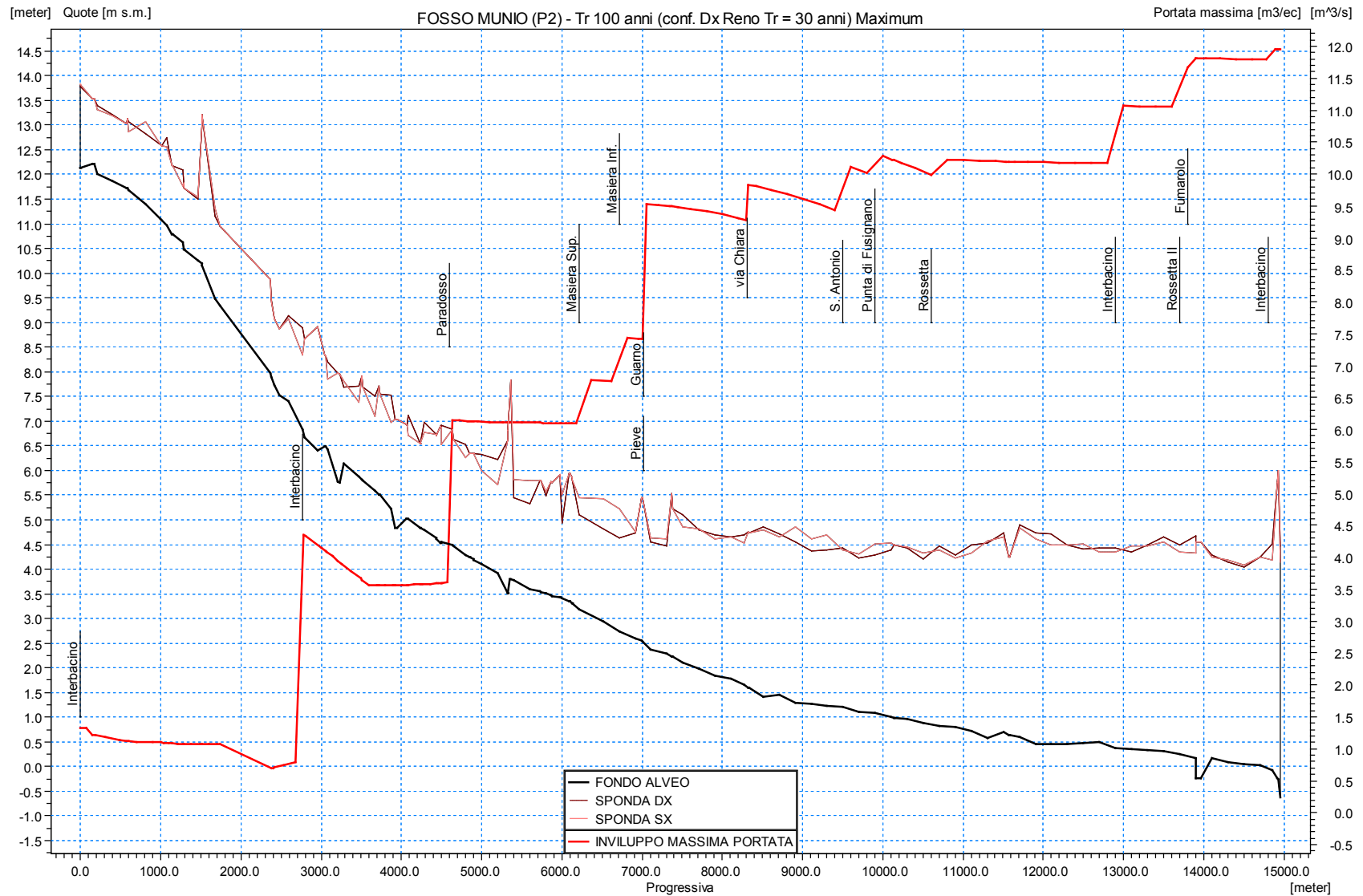


Figura 136 – Inviluppo dei massimi di portata del Fosso Munio per Tr 100 anni, nello scenario con casse P2 (B).

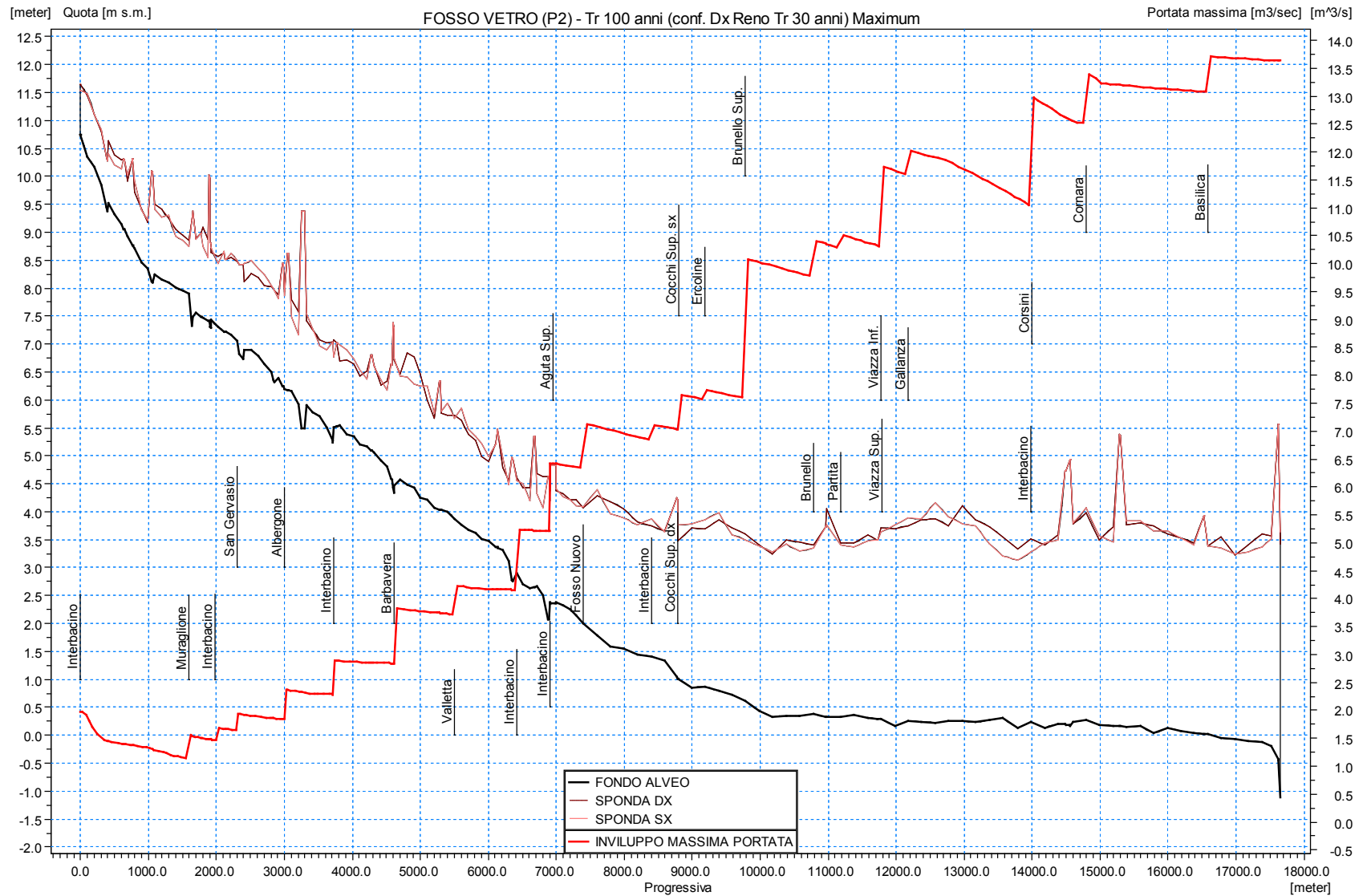


Figura 137 – Involuppo dei massimi di portata del Fosso Vetro per Tr 100 anni, nello scenario con casse P2 (B).

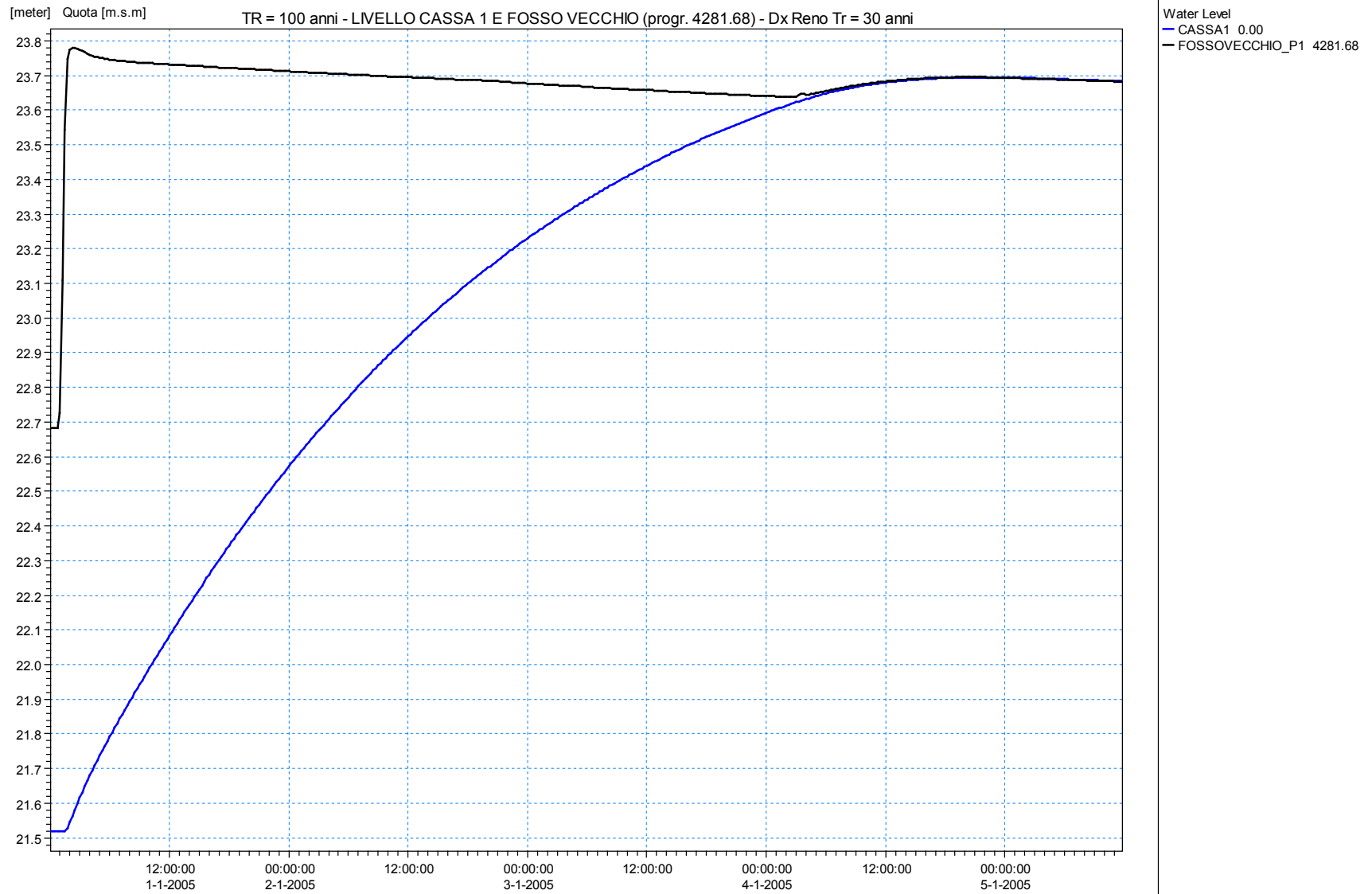


Figura 138 – Livello in cassa 1 e nel Fosso Vecchio per $Tr = 100$ anni (B).

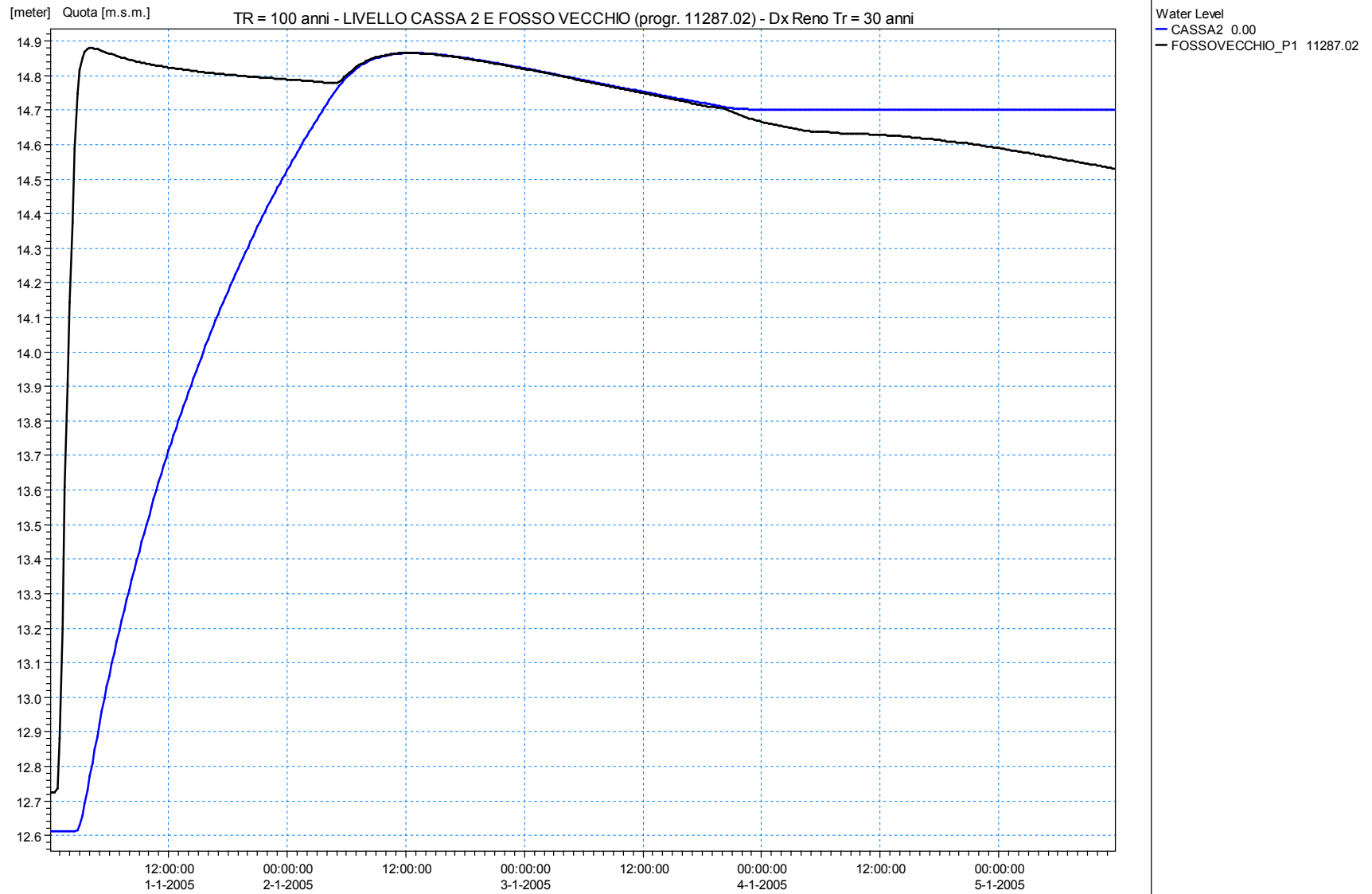


Figura 139 – Livello in cassa 2 e nel Fosso Vecchio per $Tr = 100$ anni (B).

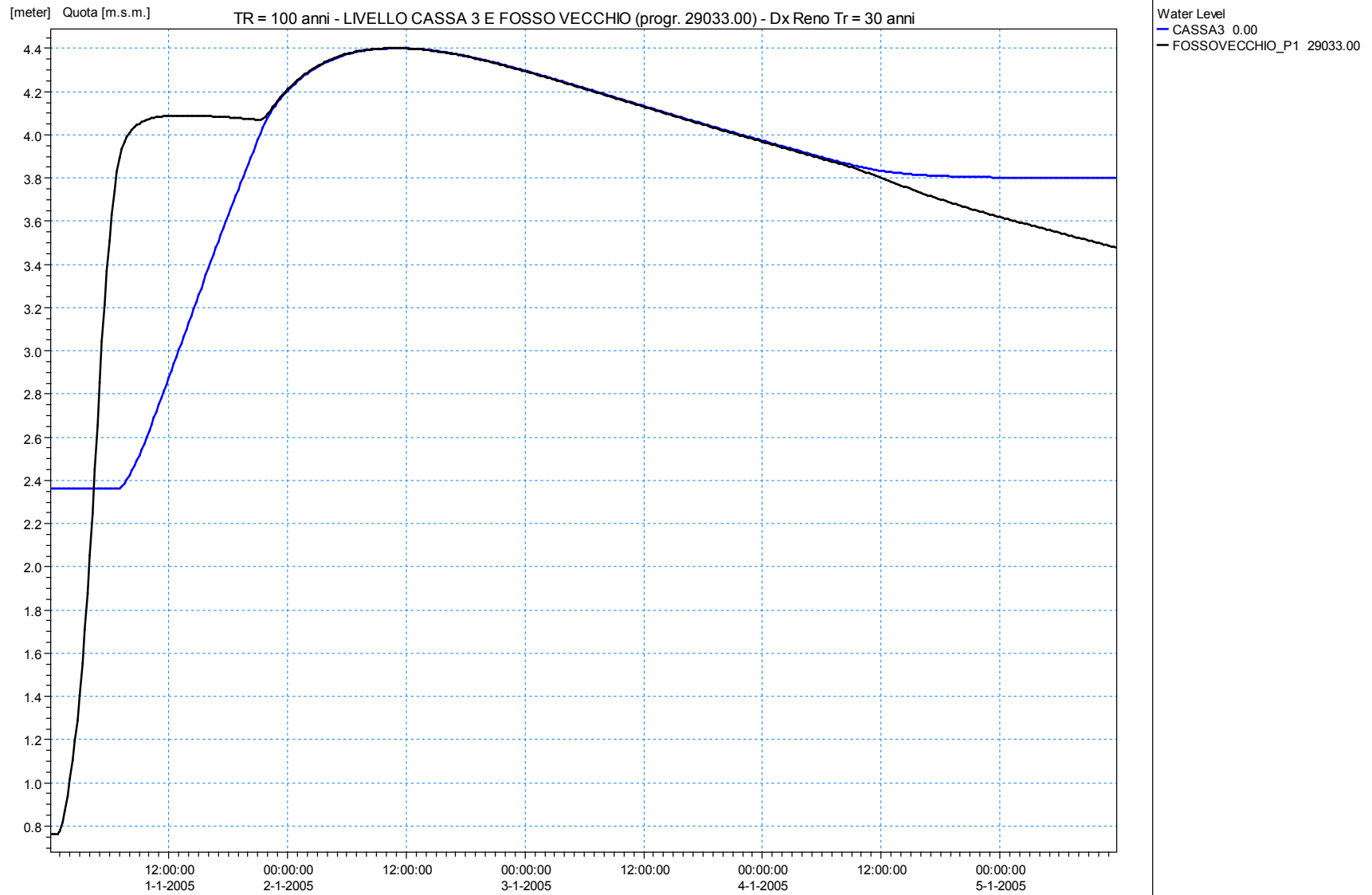


Figura 140 – Livello in cassa 3 e nel Fosso Vecchio per $Tr = 100$ anni (B).

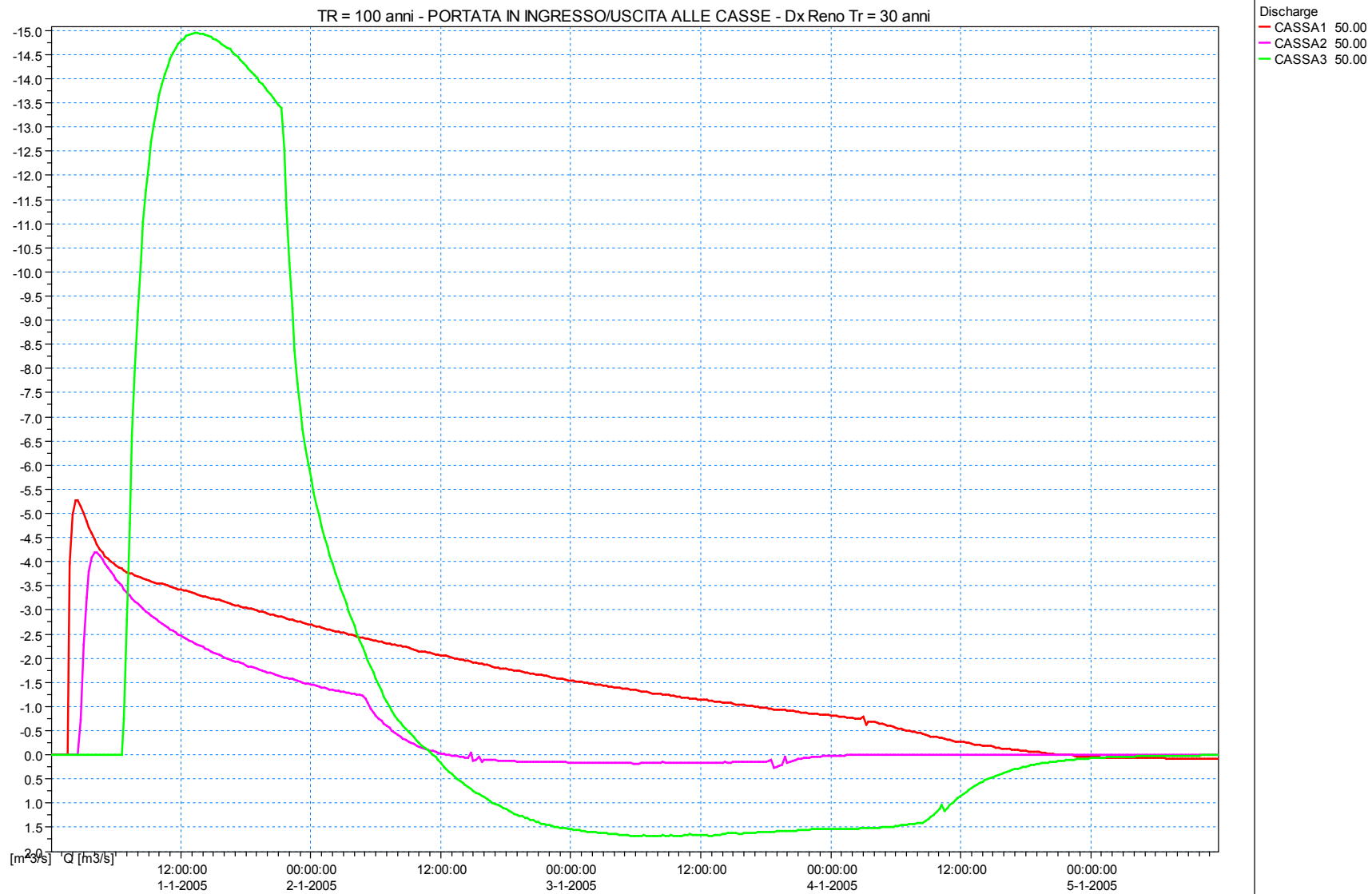


Figura 141 – Portate in ingresso/uscita alle tre casse per Tr = 100 anni (B).

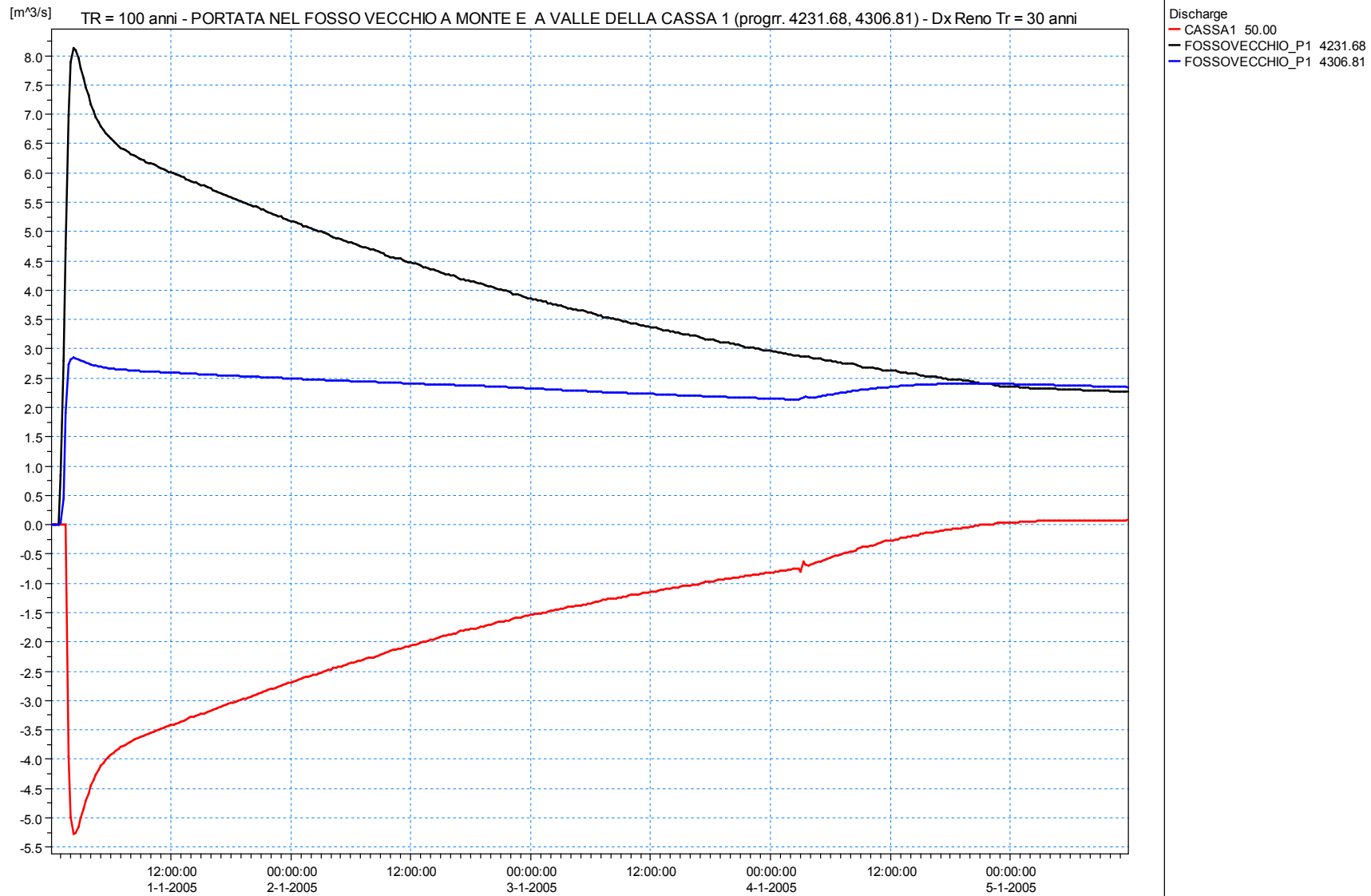


Figura 142 – Portate in cassa 1 e nel Fosso Vecchio in corrispondenza della sezione a monte e a valle della cassa per $Tr = 100$ anni (B).

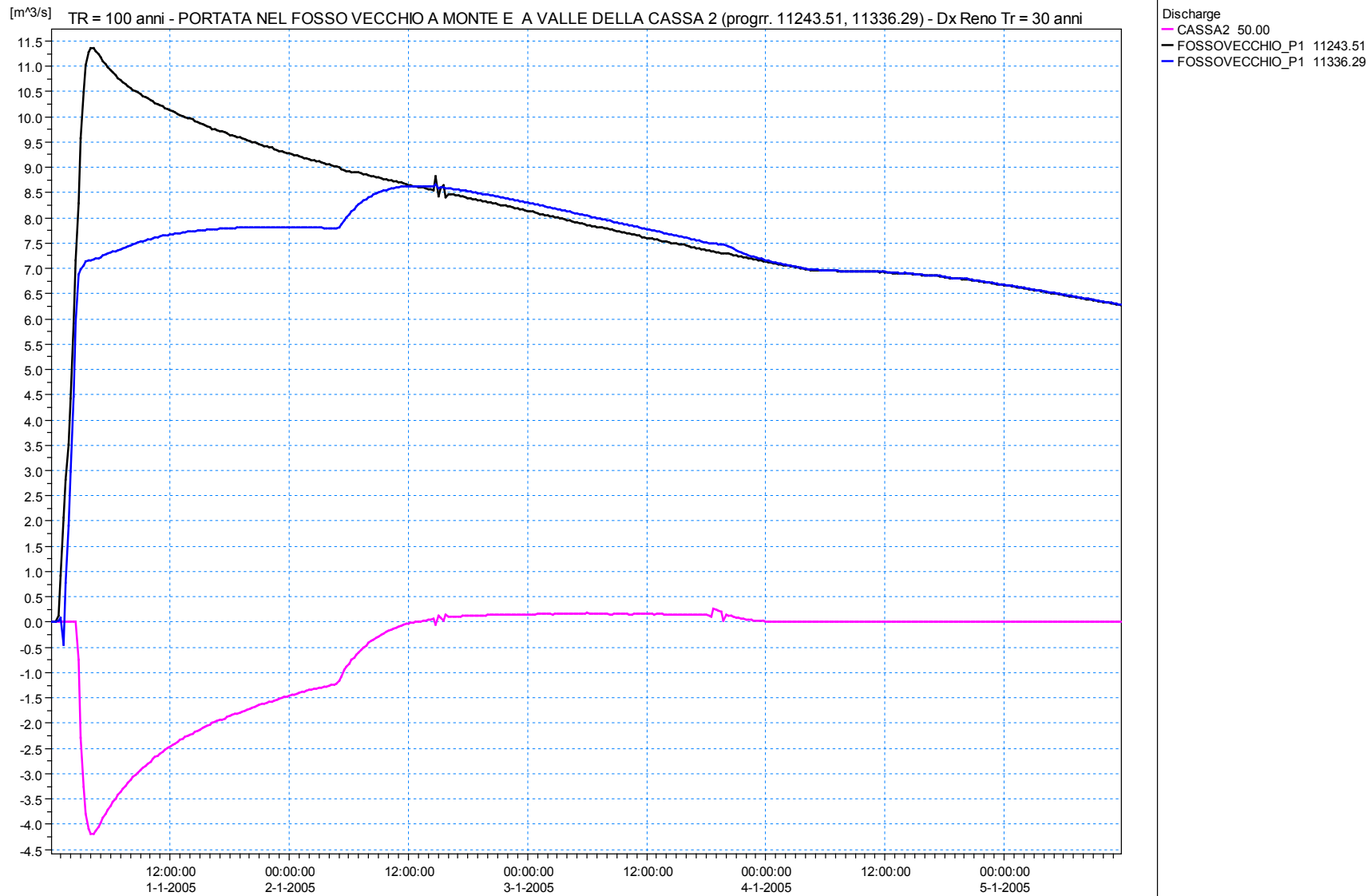


Figura 143 – Portate in cassa 2 e nel Fosso Vecchio in corrispondenza della sezione a monte e a valle della cassa per $Tr = 100$ anni (B).

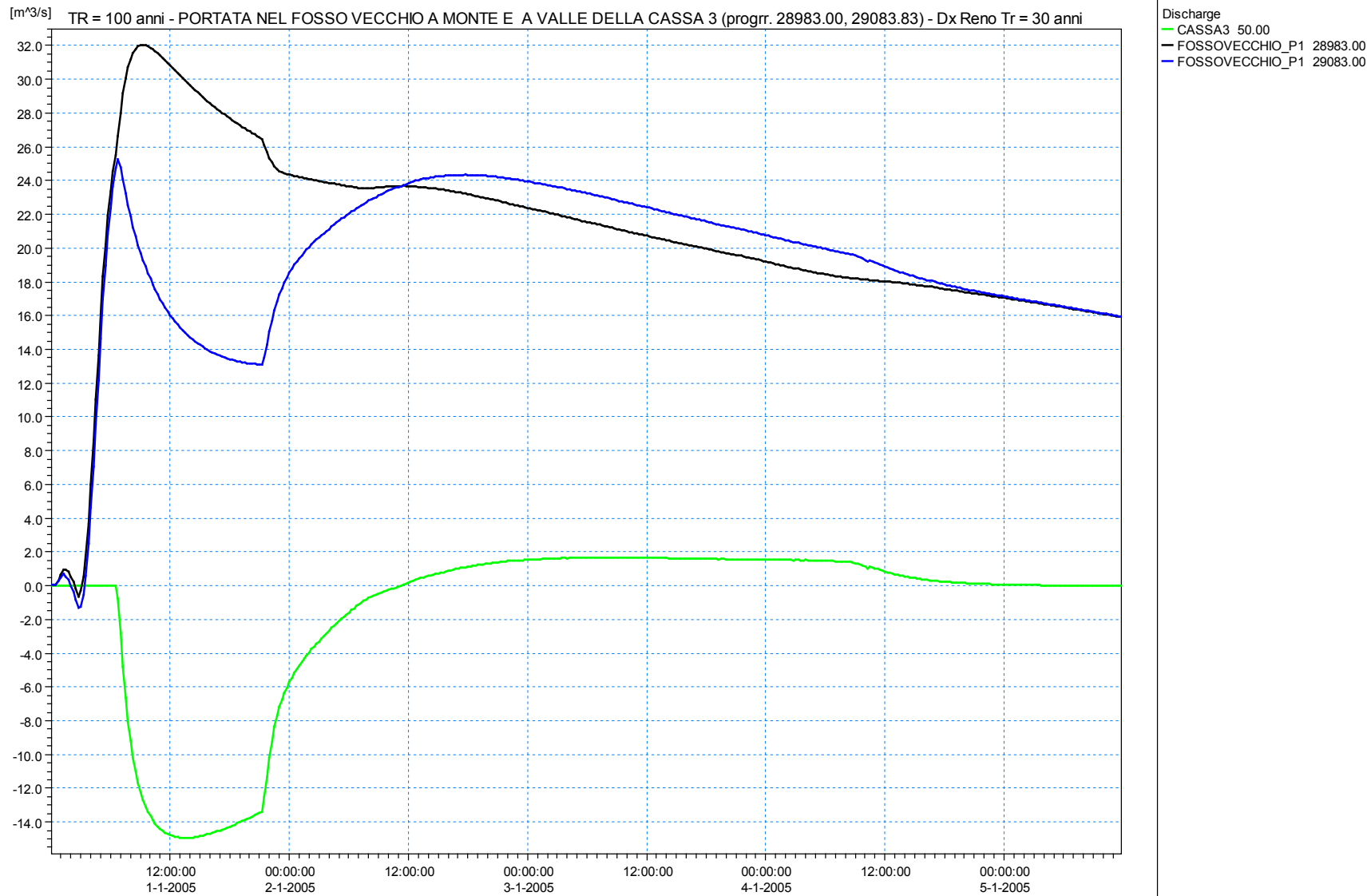


Figura 144 – Portate in cassa 3 e nel Fosso Vecchio in corrispondenza della sezione a monte e a valle della cassa per Tr = 100 anni (B).

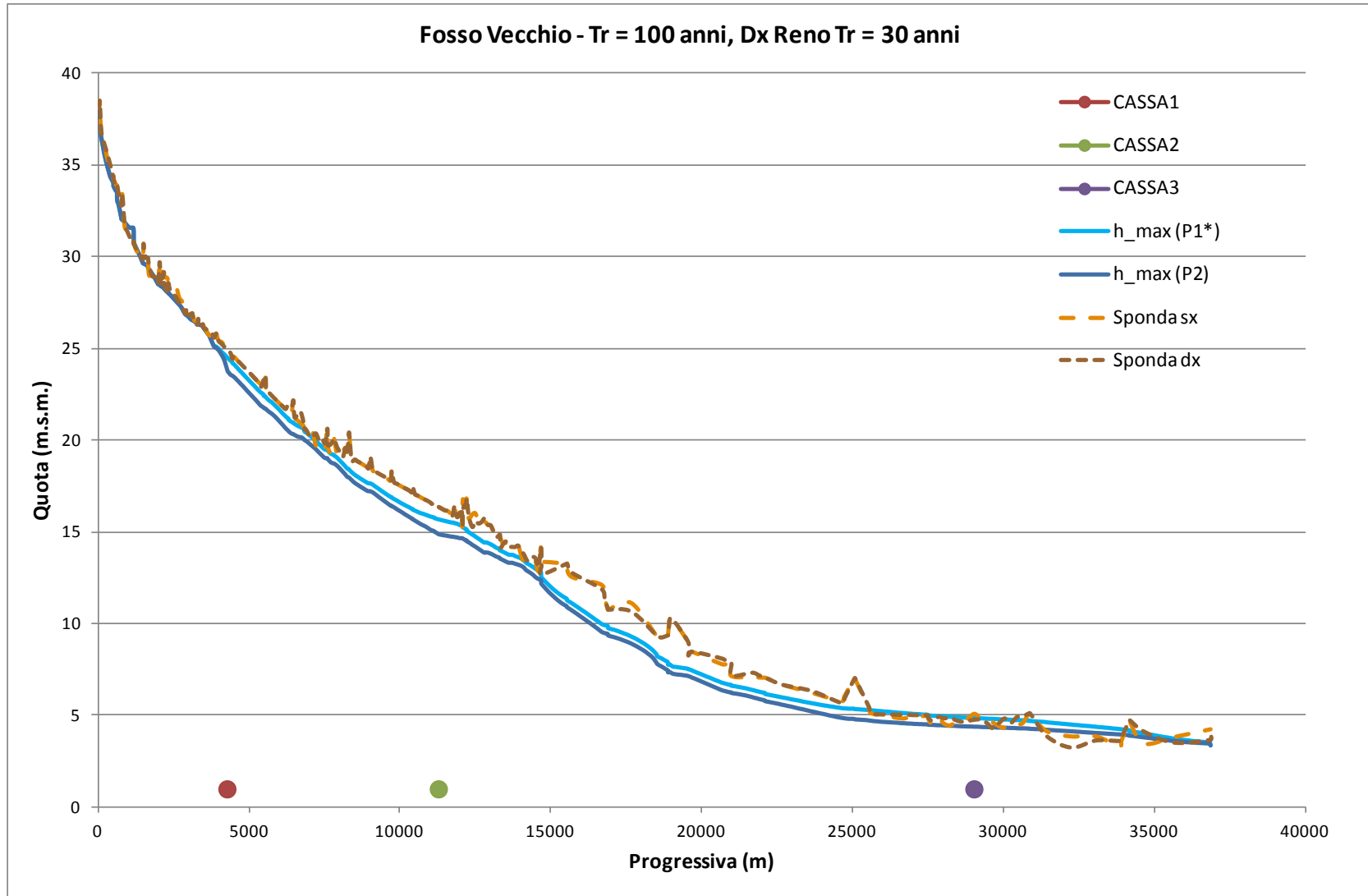


Figura 145 – Involuppi massimi per il Fosso Vecchio nella configurazione con casse, P2, e senza casse, P1*, con riportate le sponde sx e dx, per Tr = 100 anni (B)

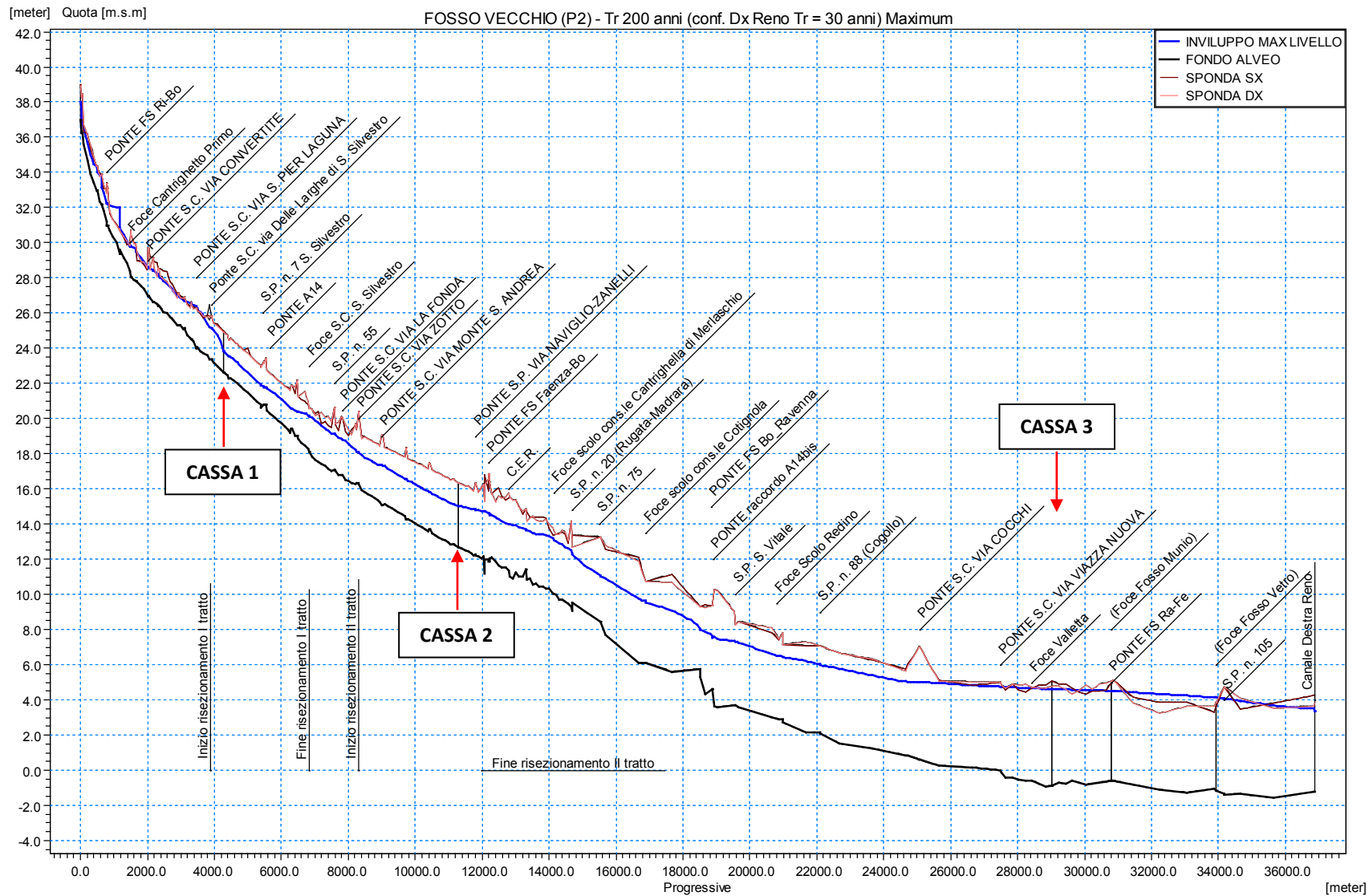


Figura 146 –Inviluppo dei massimi livelli del Fosso Vecchio per Tr 200 anni, nello scenario con casse P2 (B)

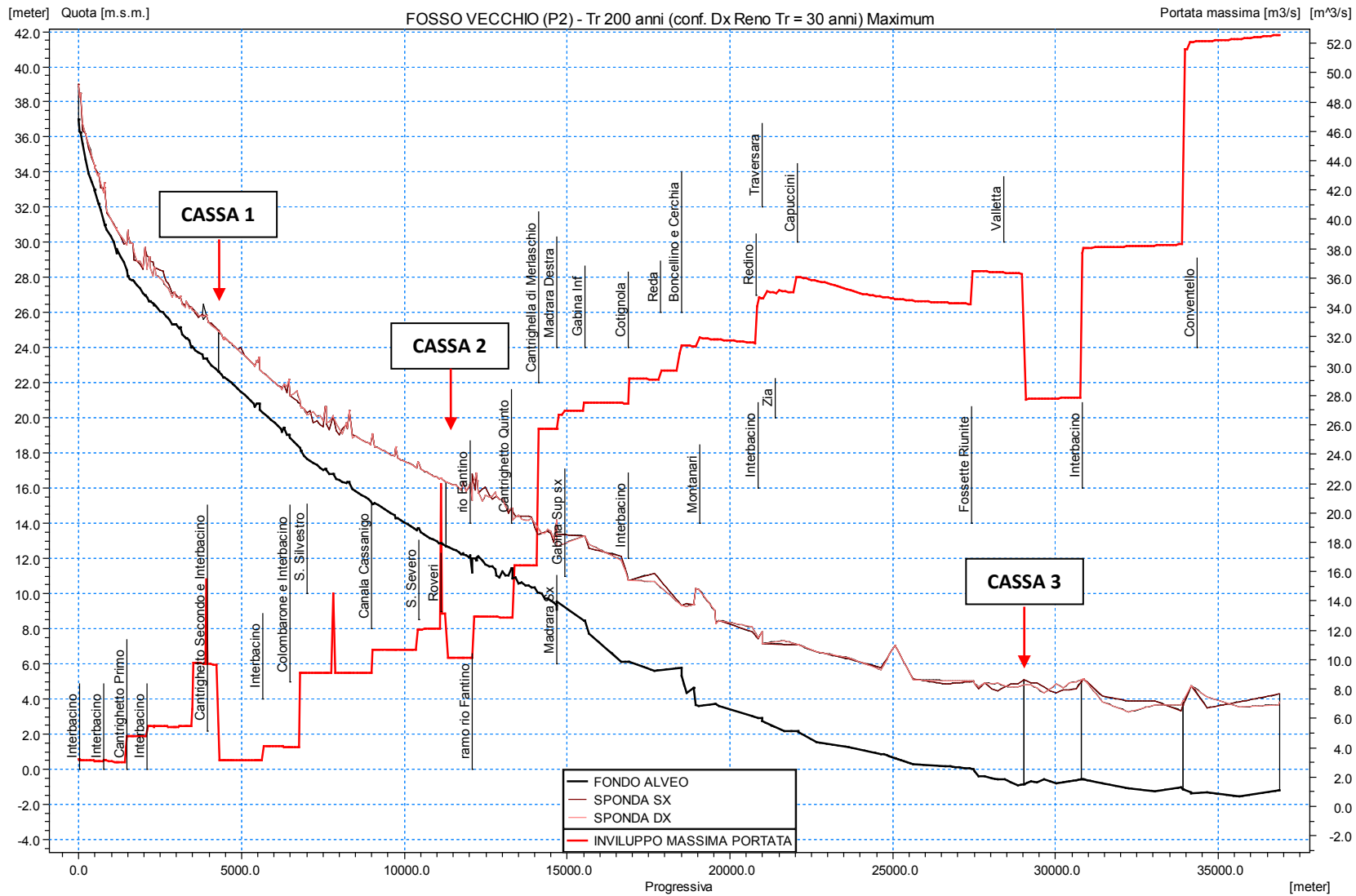


Figura 147 – Inviluppo dei massimi di portata del Fosso Vecchio per Tr 200 anni, nello scenario con casse P2 (B)

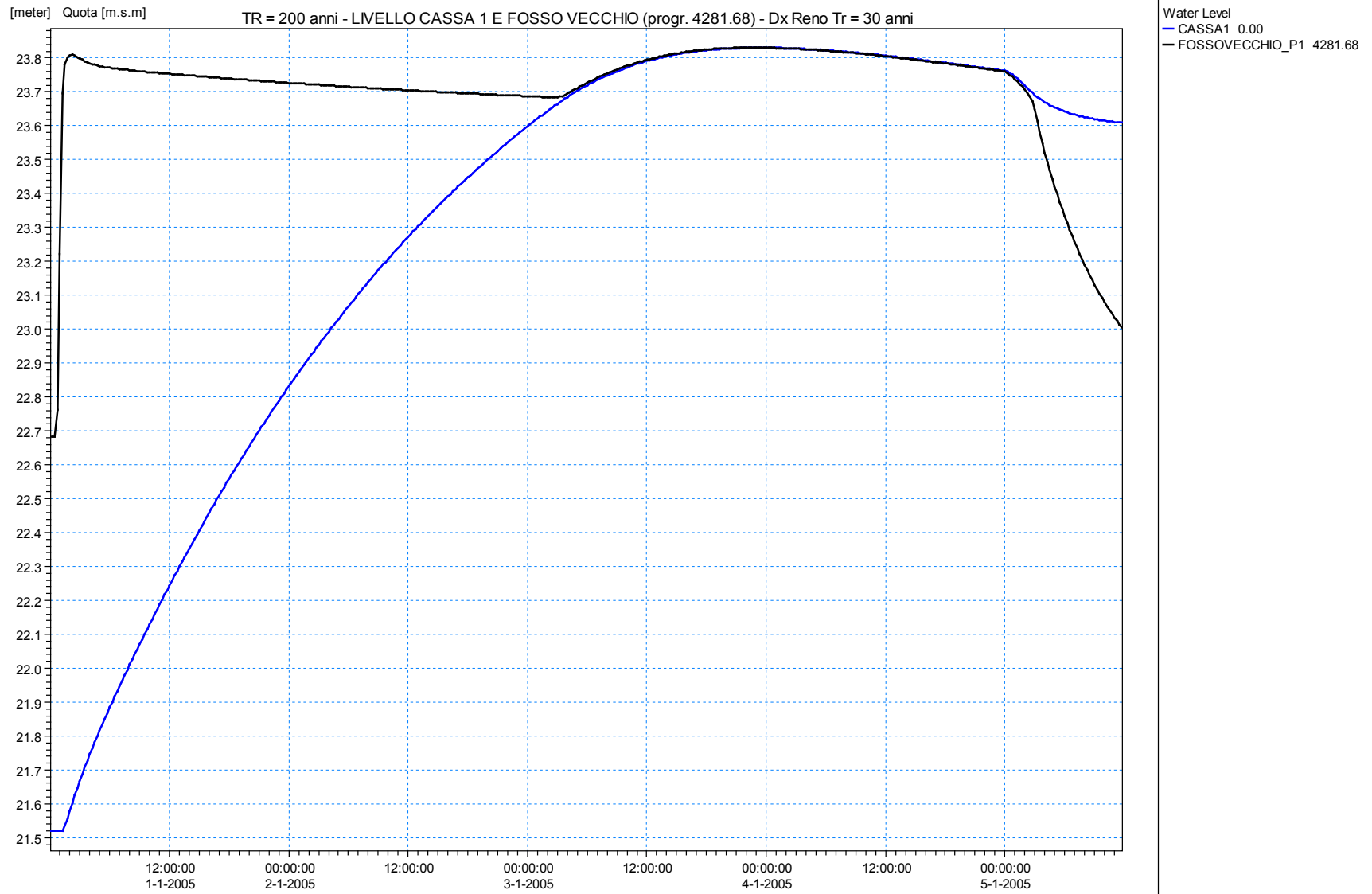


Figura 148 – Livello in cassa 1 e nel Fosso Vecchio per Tr = 200 anni (B)

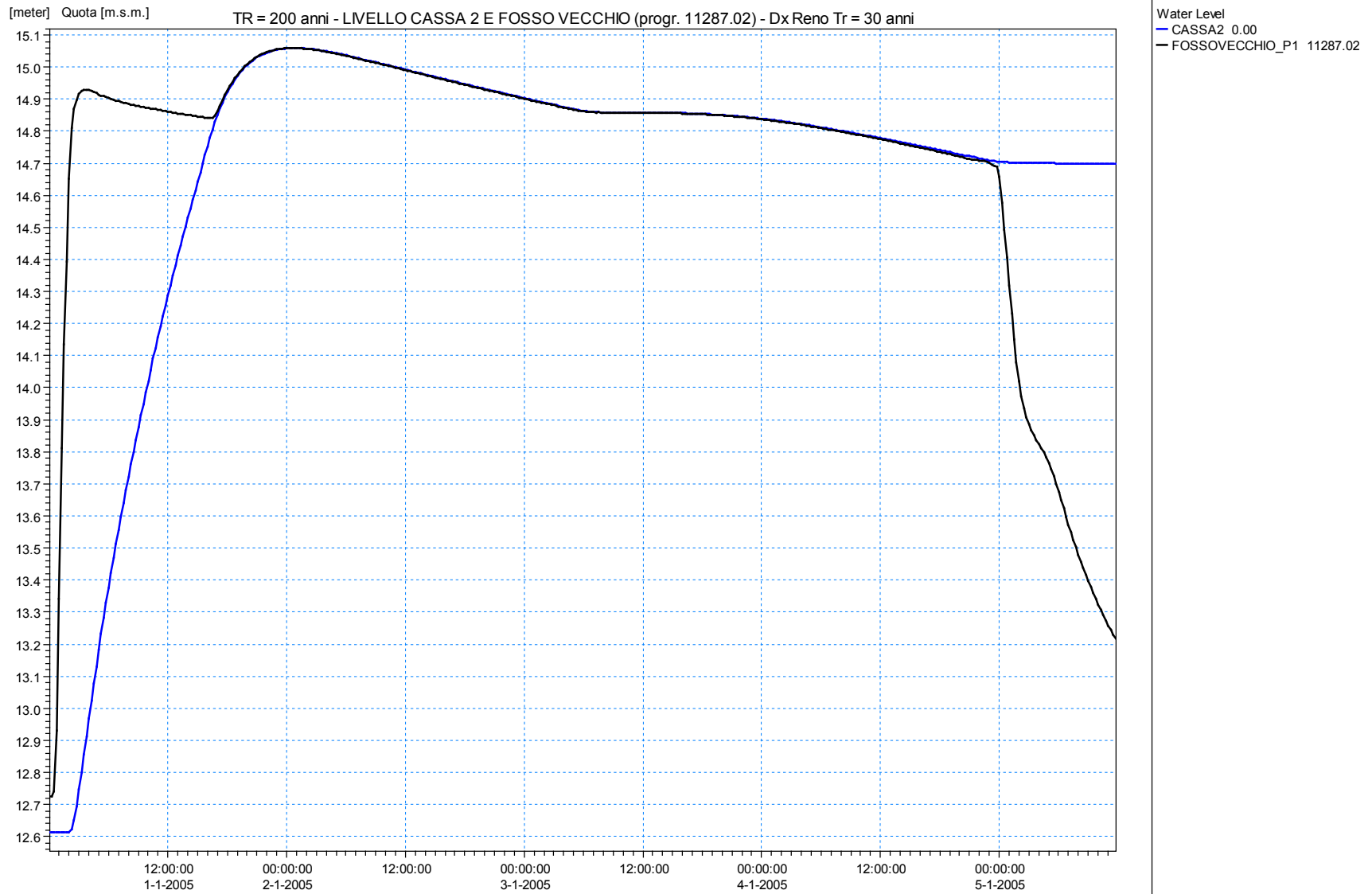


Figura 149 – Livello in cassa 2 e nel Fosso Vecchio per Tr = 200 anni (B)

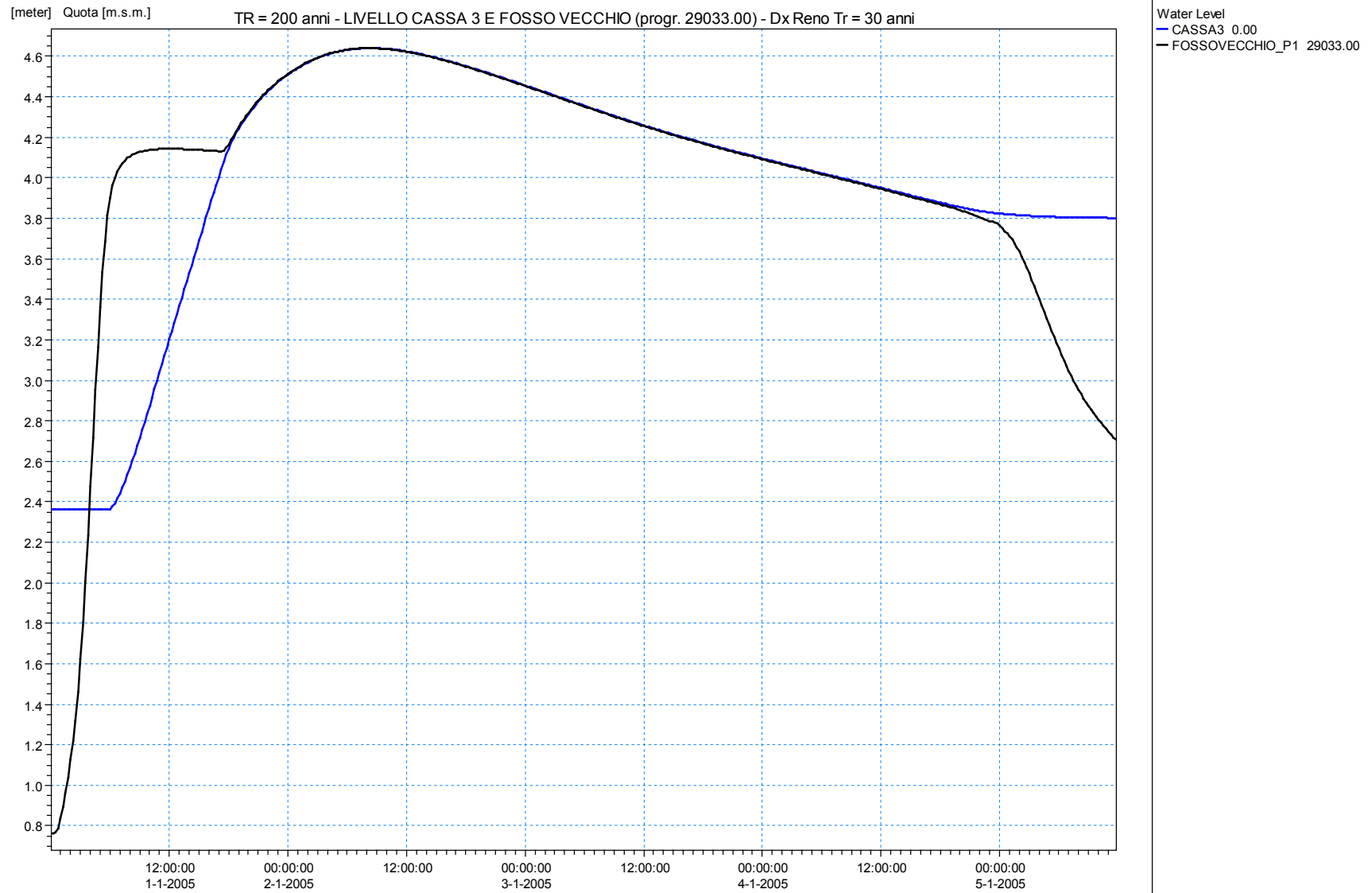


Figura 150 – Livello in cassa 3 e nel Fosso Vecchio per Tr = 200 anni (B)

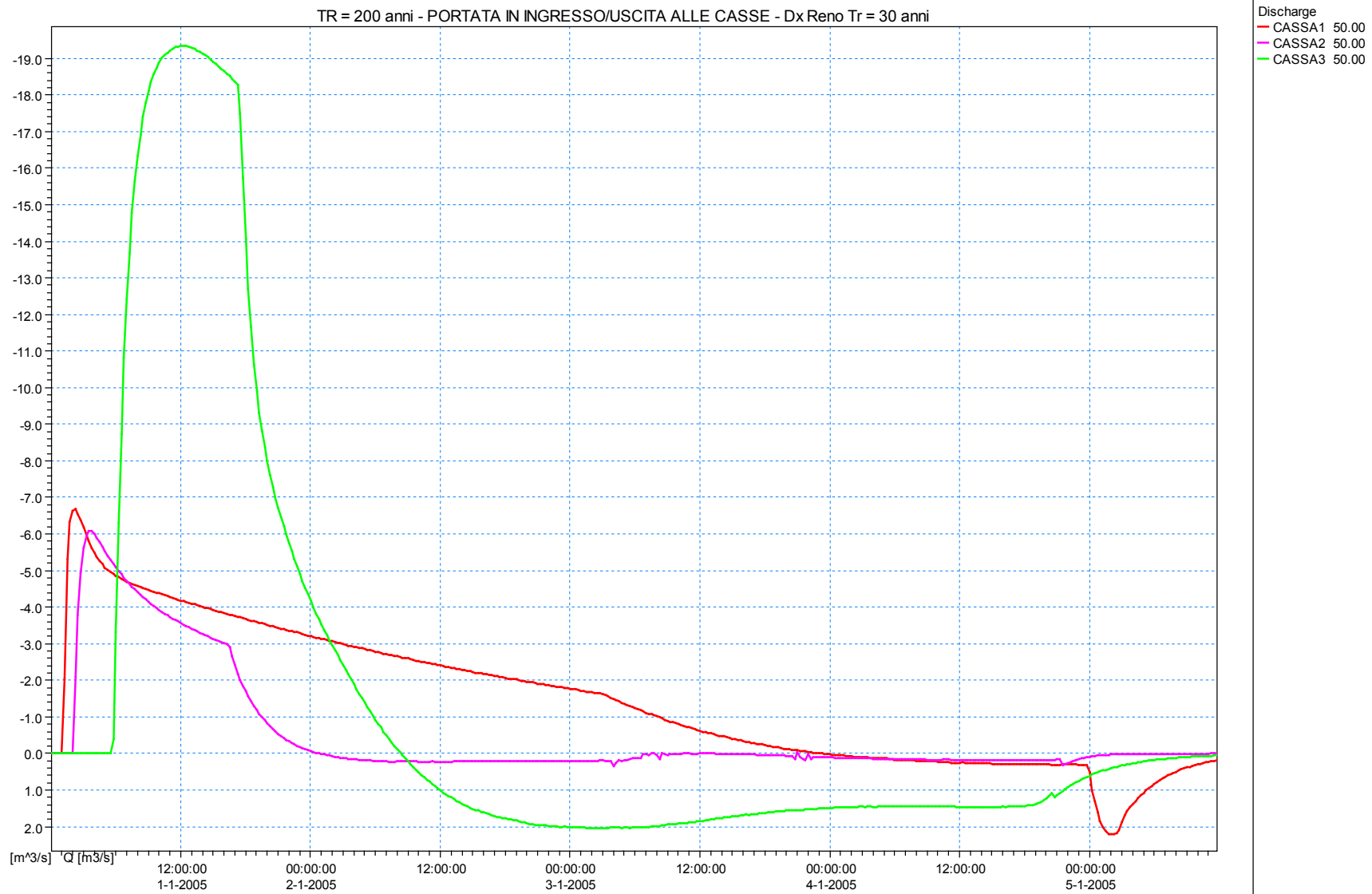


Figura 151 – Portate in ingresso/uscita alle tre casse per Tr = 200 anni (B)

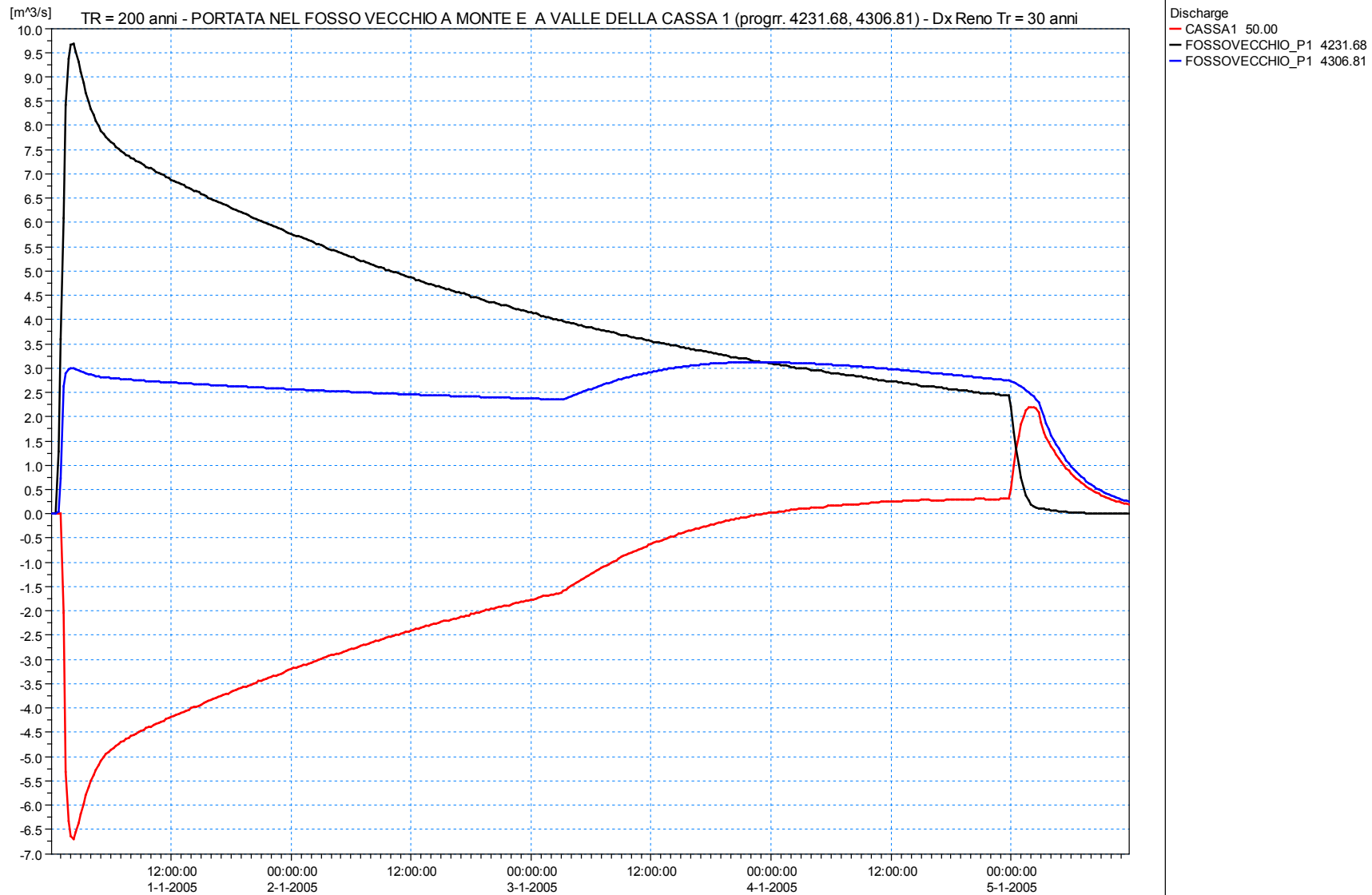


Figura 152 – Portate in cassa 1 e nel Fosso Vecchio in corrispondenza della sezione a monte e a valle della cassa per $Tr = 200$ anni (B)

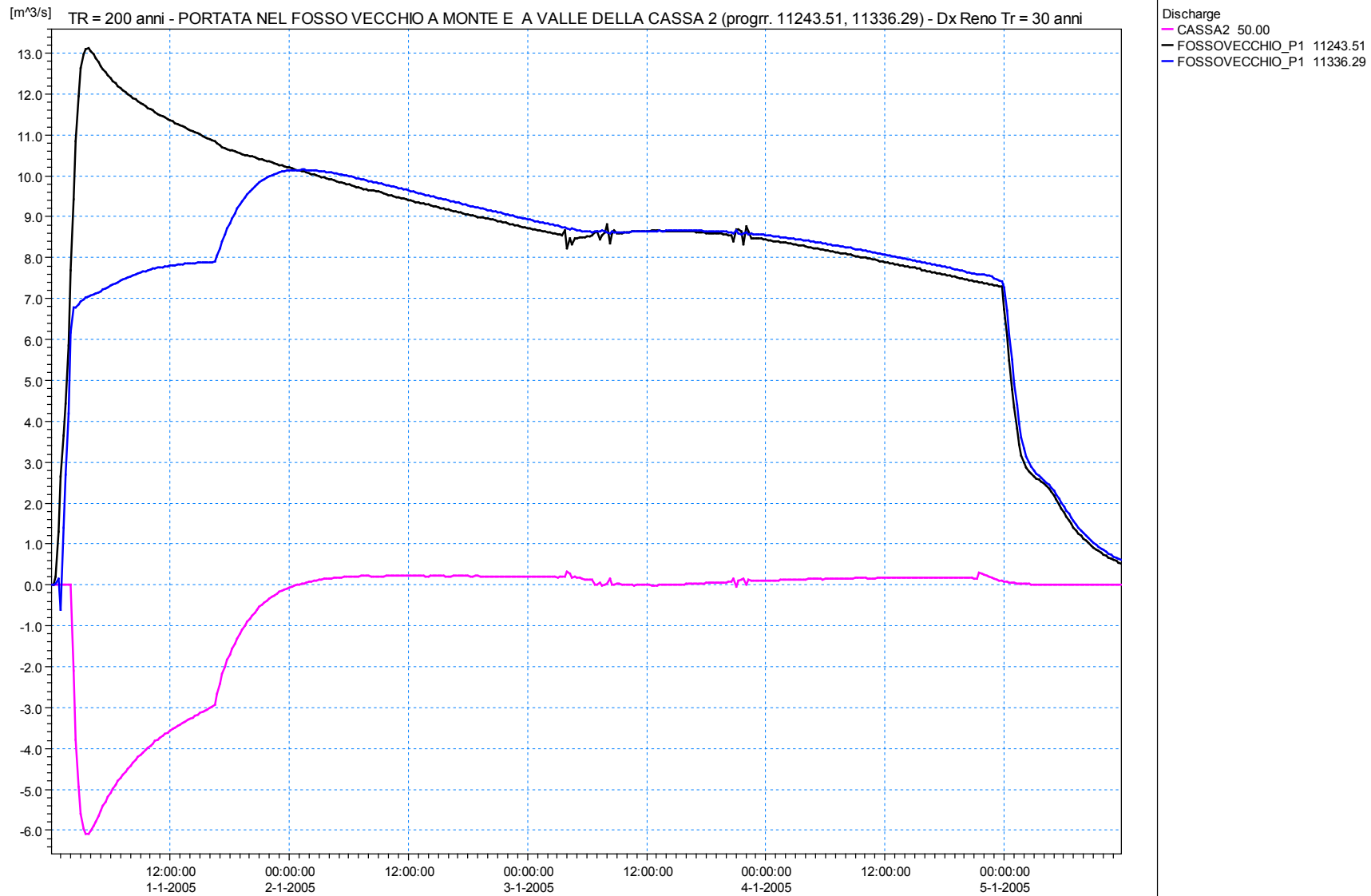


Figura 153 – Portate in cassa 2 e nel Fosso Vecchio in corrispondenza della sezione a monte e a valle della cassa per Tr = 200 anni (B)

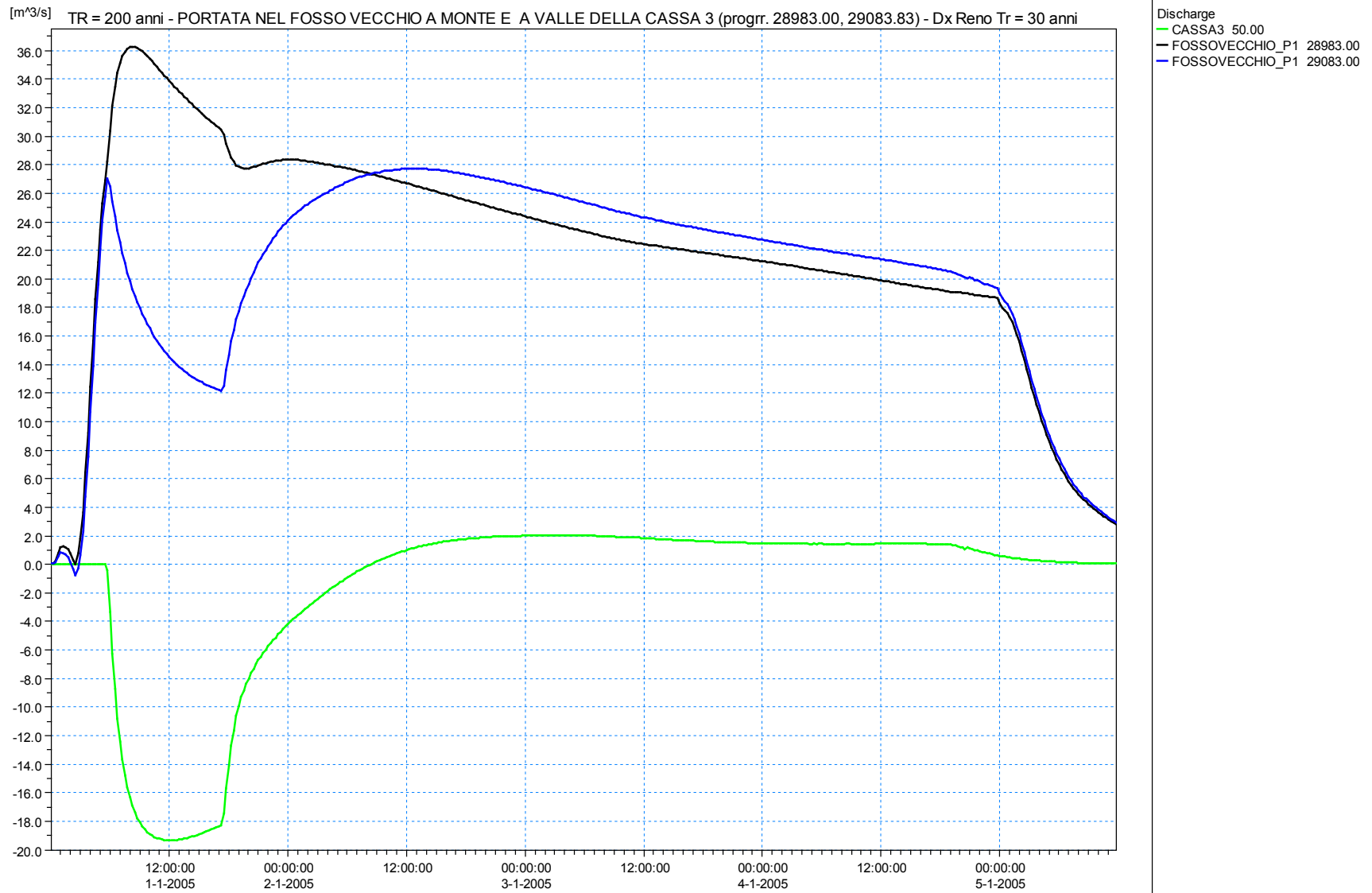


Figura 154 – Portate in cassa 3 e nel Fosso Vecchio in corrispondenza della sezione a monte e a valle della cassa per Tr = 200 anni (B)

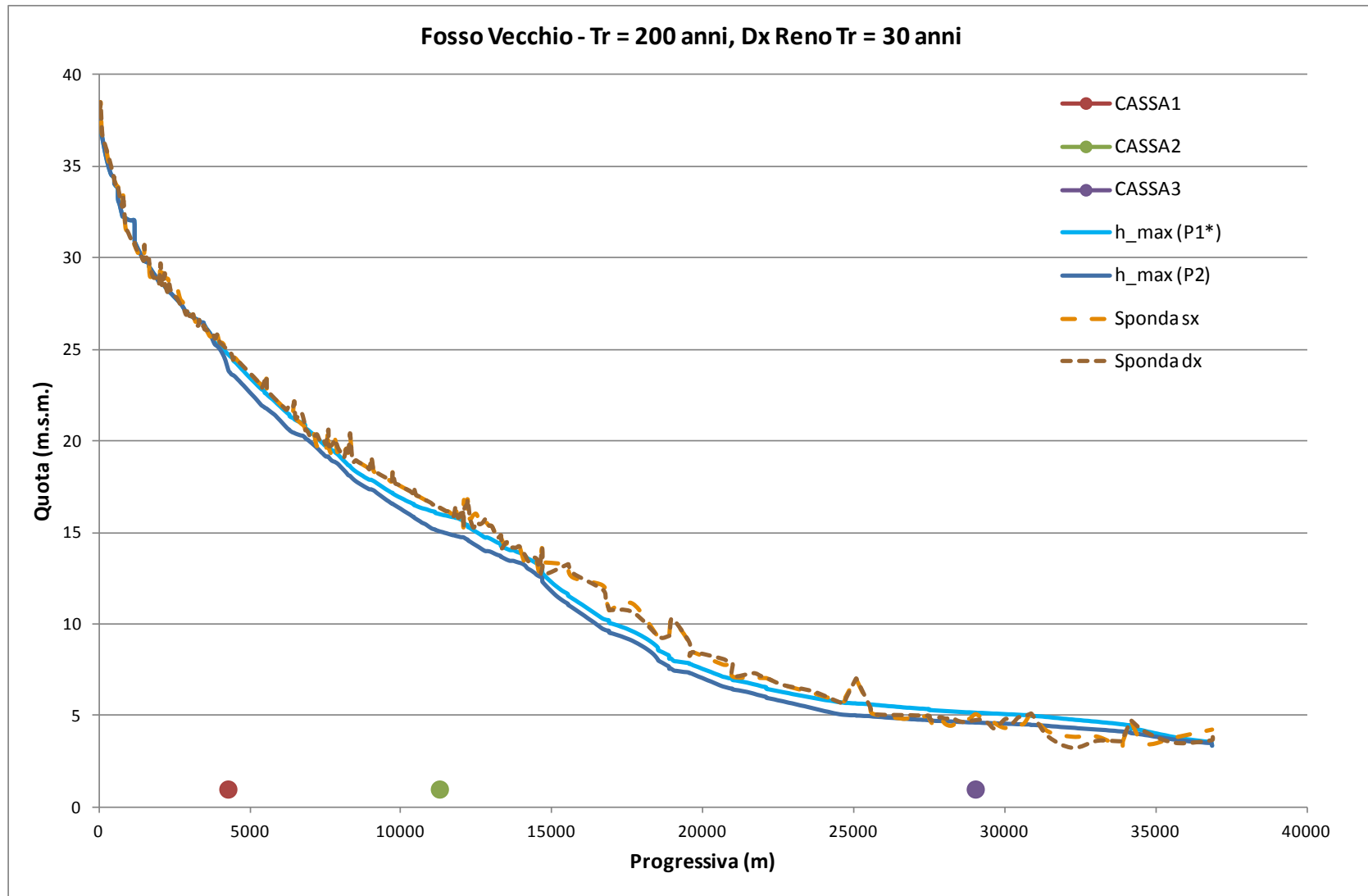


Figura 155 – Involuppi massimi per il Fosso Vecchio nella configurazione con casse, P2, e senza casse, P1*, con riportate le sponde sx e dx, per Tr = 200 anni (B)

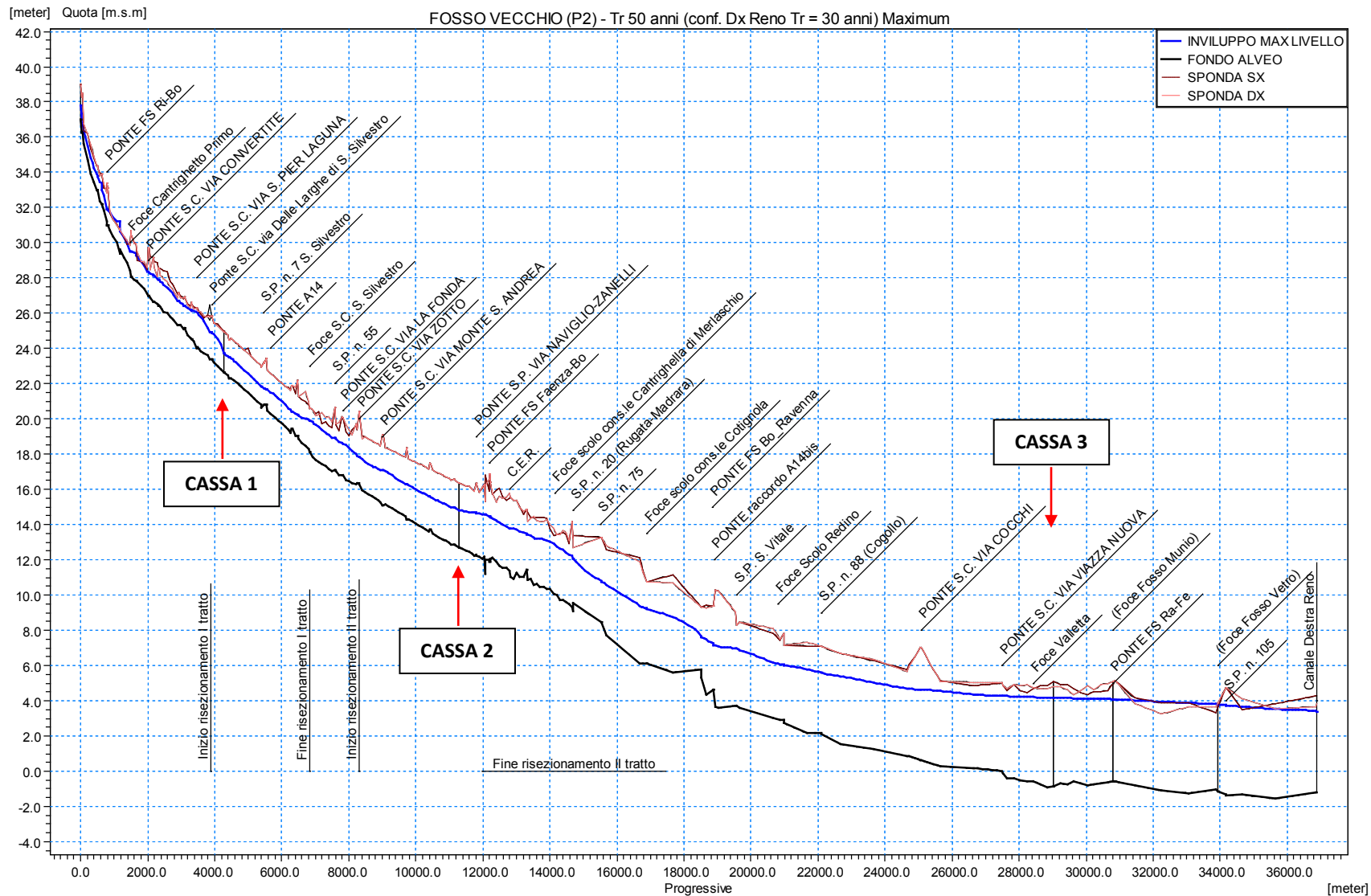


Figura 156 –Inviluppo dei massimi livelli del Fosso Vecchio per Tr 50 anni, nello scenario con casse P2 (B)

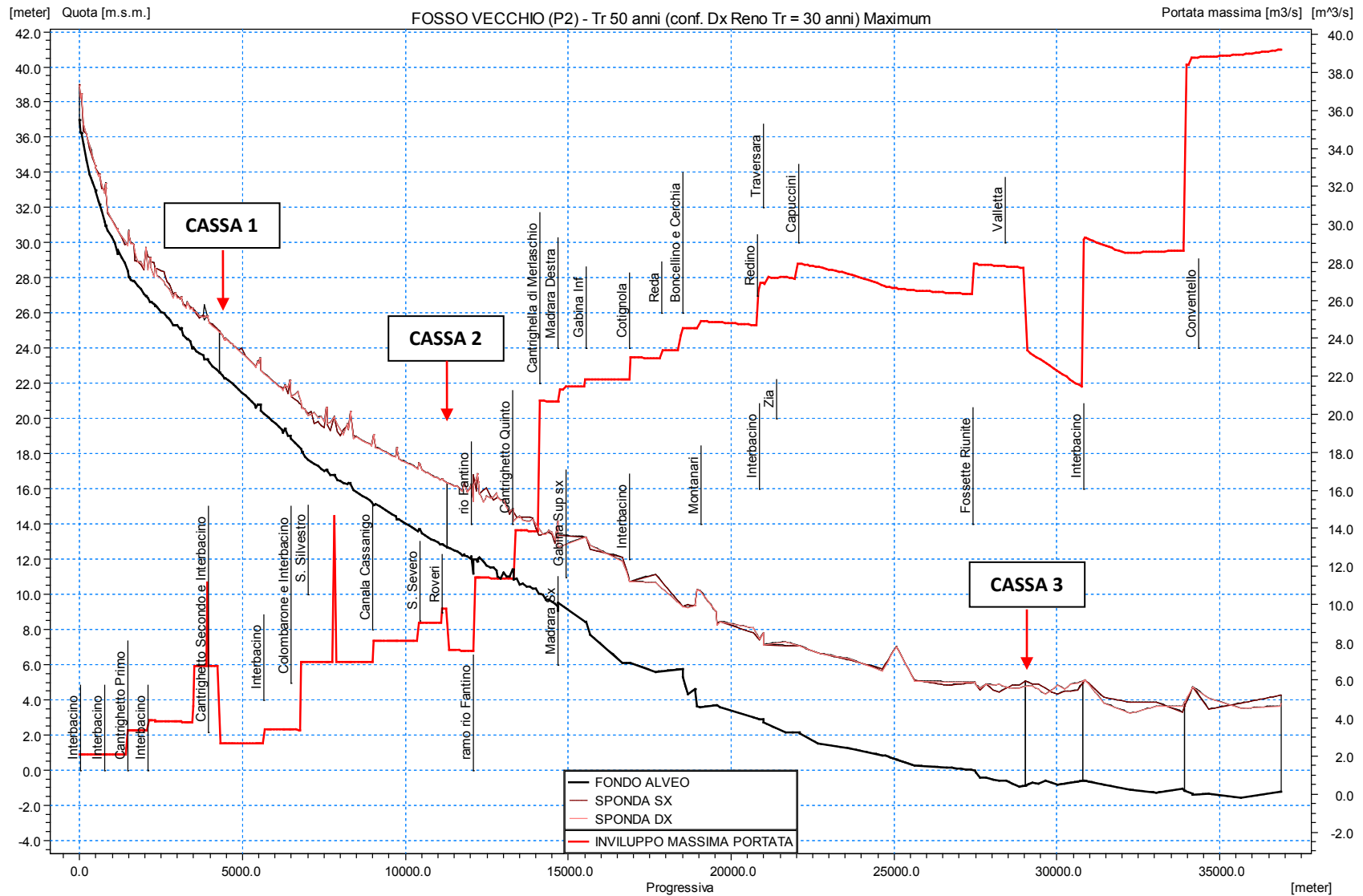


Figura 157 – Inviluppo dei massimi di portata del Fosso Vecchio per Tr 50 anni, nello scenario con casse P2 (B).

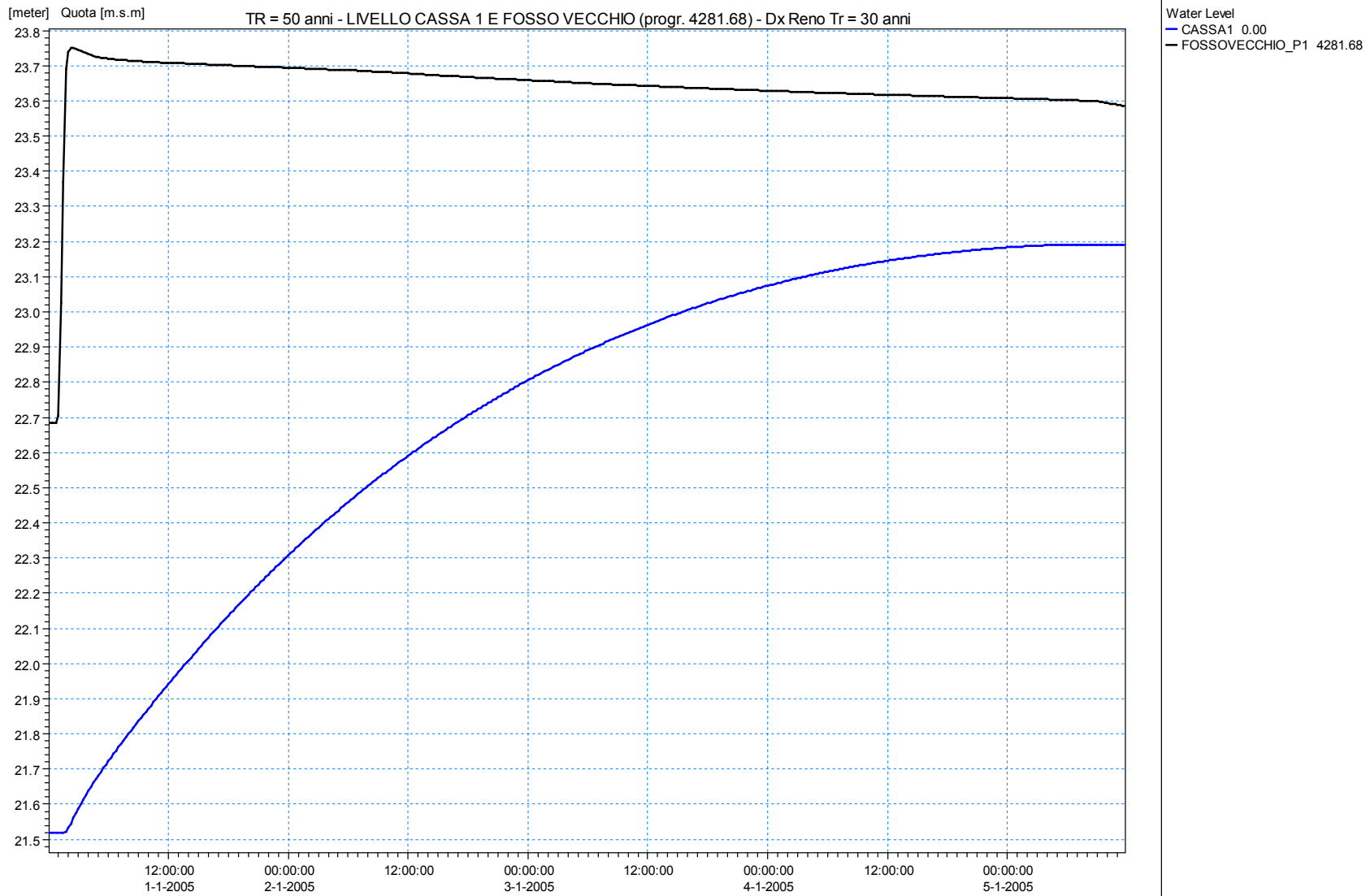


Figura 158 – Livello in cassa 1 e nel Fosso Vecchio per Tr = 50 anni (B).

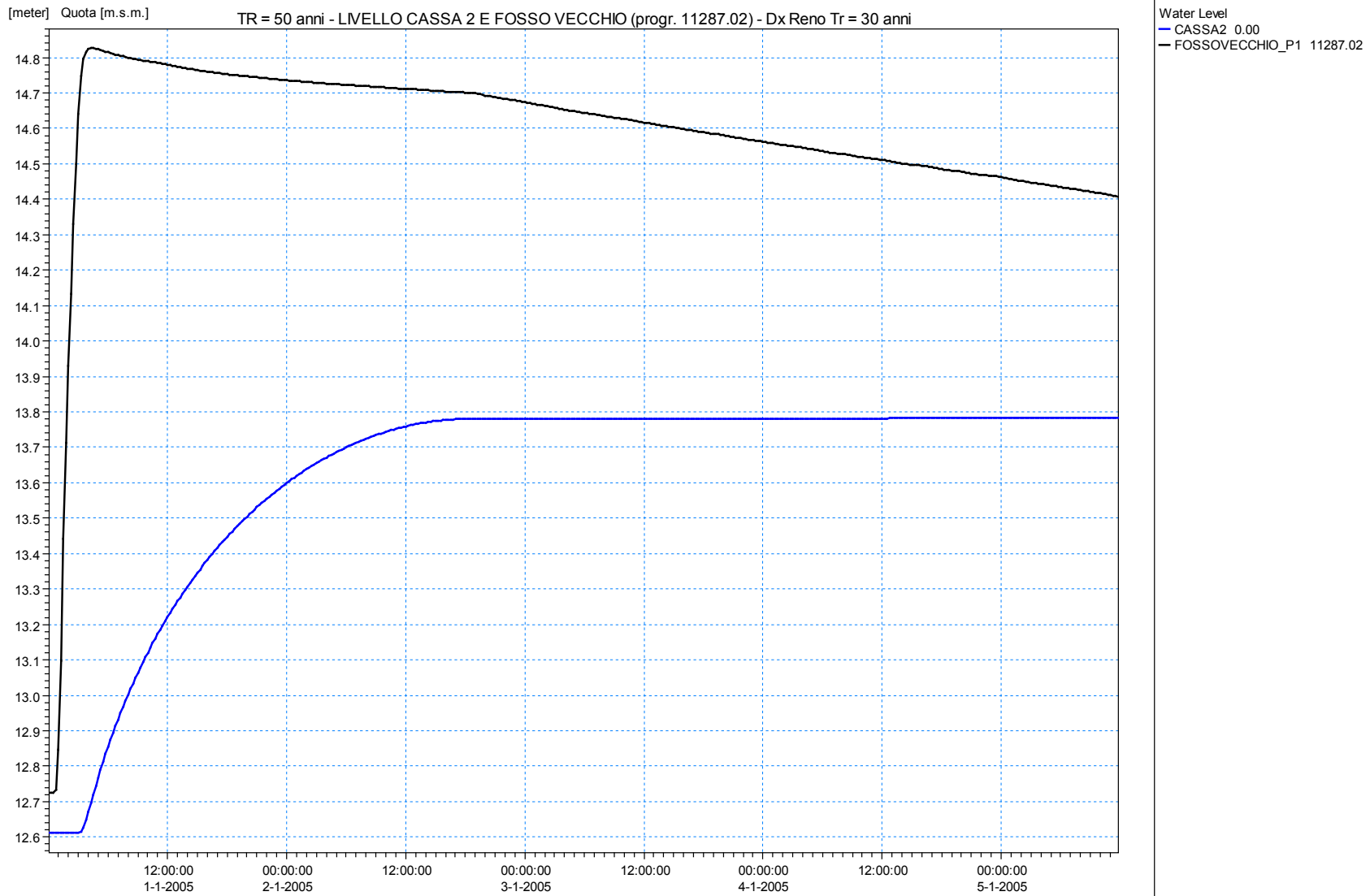


Figura 159 – Livello in cassa 2 e nel Fosso Vecchio per Tr = 50 anni (B).

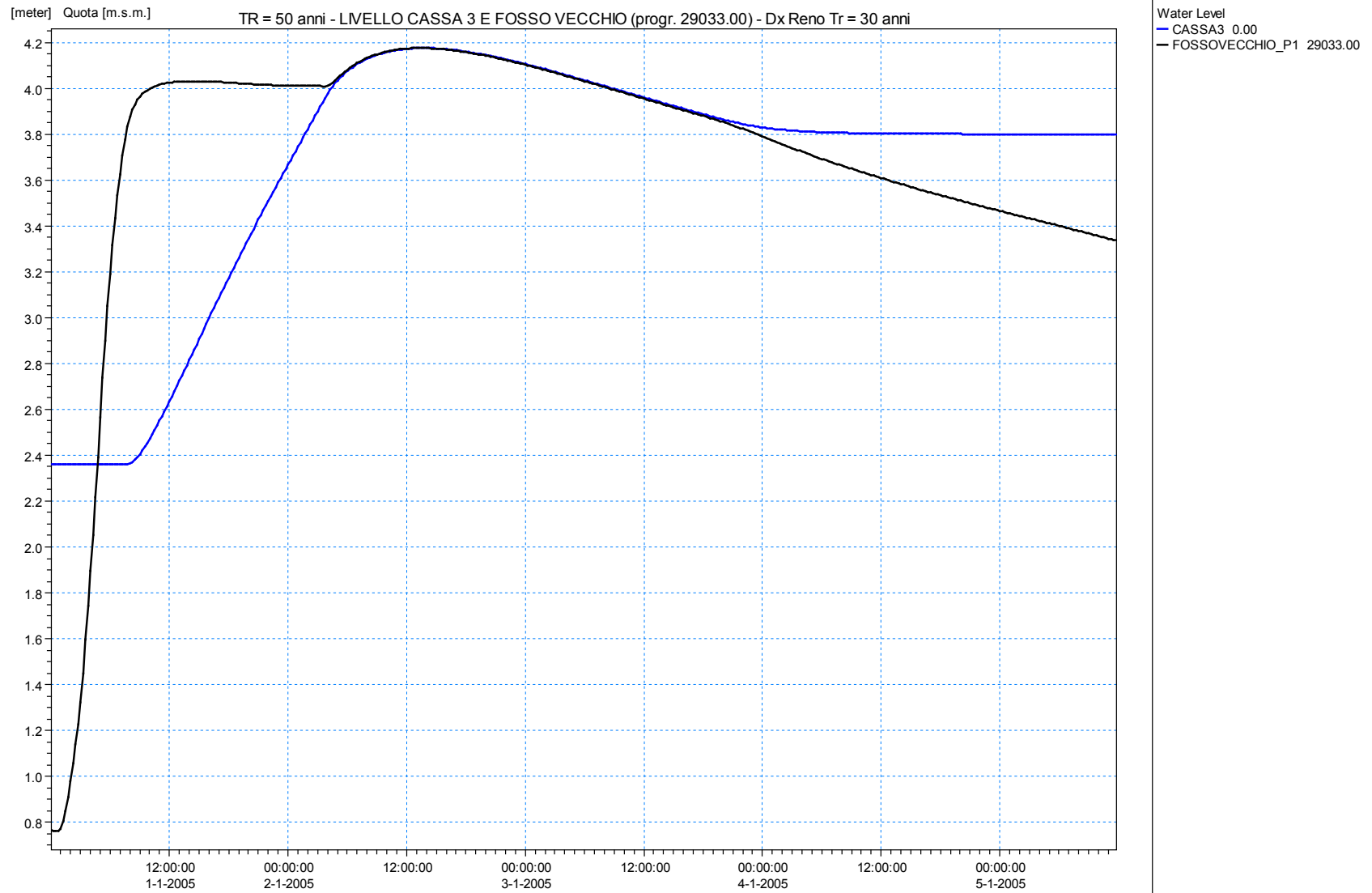


Figura 160 – Livello in cassa 3 e nel Fosso Vecchio per Tr = 50 anni (B).

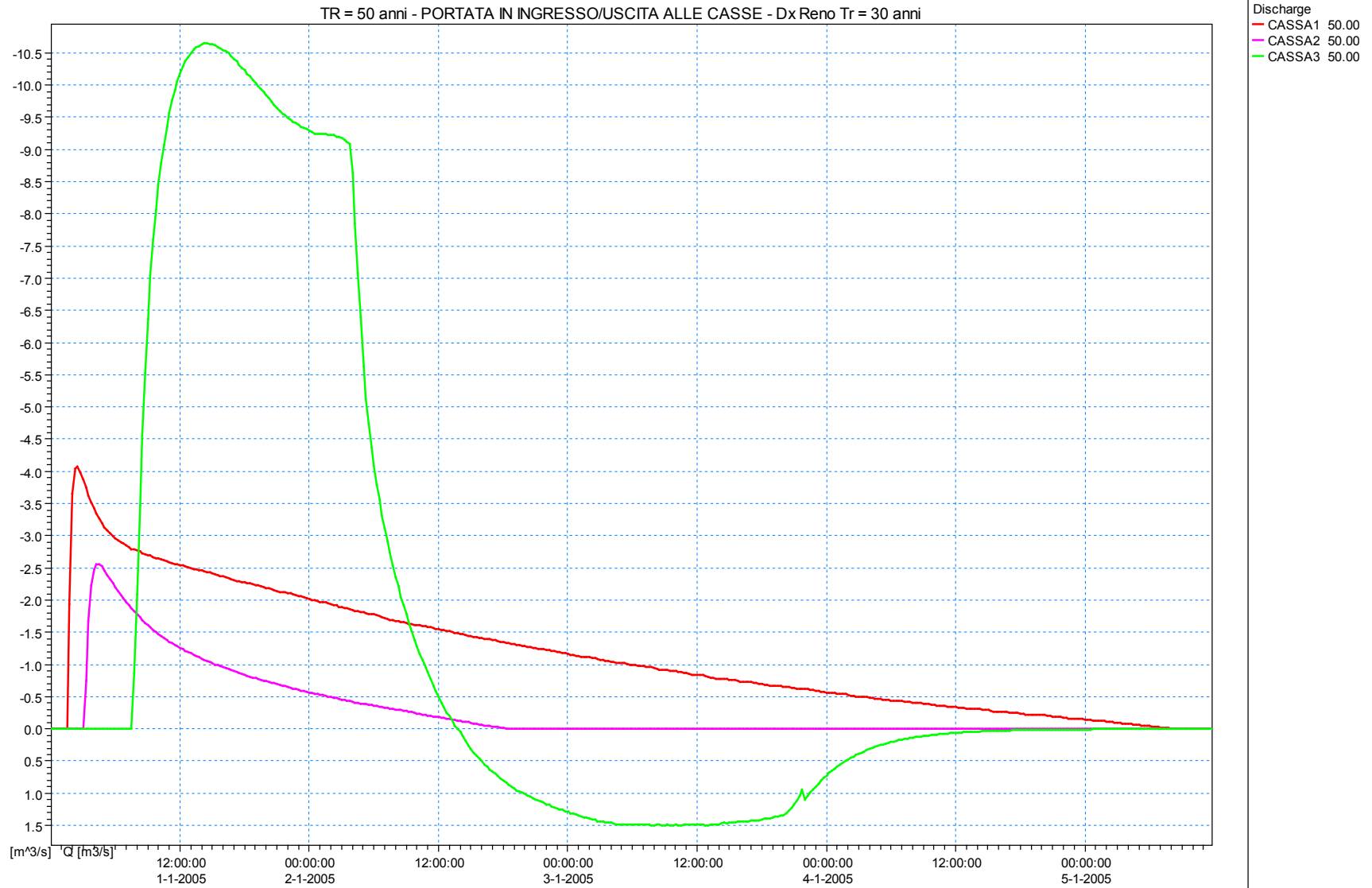


Figura 161 – Portate in ingresso/uscita alle tre casse per $Tr = 50$ anni (B).

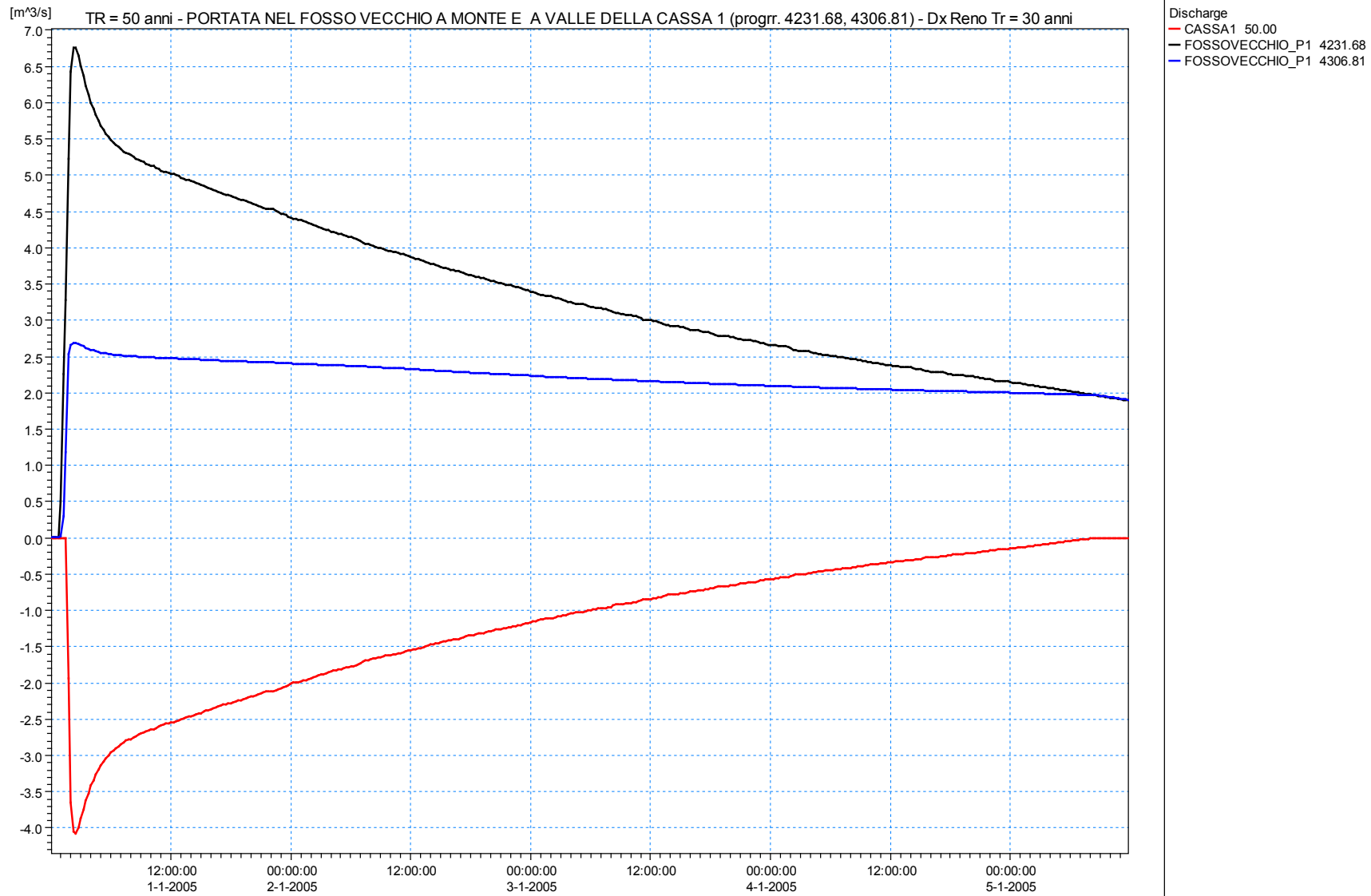


Figura 162 – Portate in cassa 1 e nel Fosso Vecchio in corrispondenza della sezione a monte e a valle della cassa per Tr = 50 anni (B).

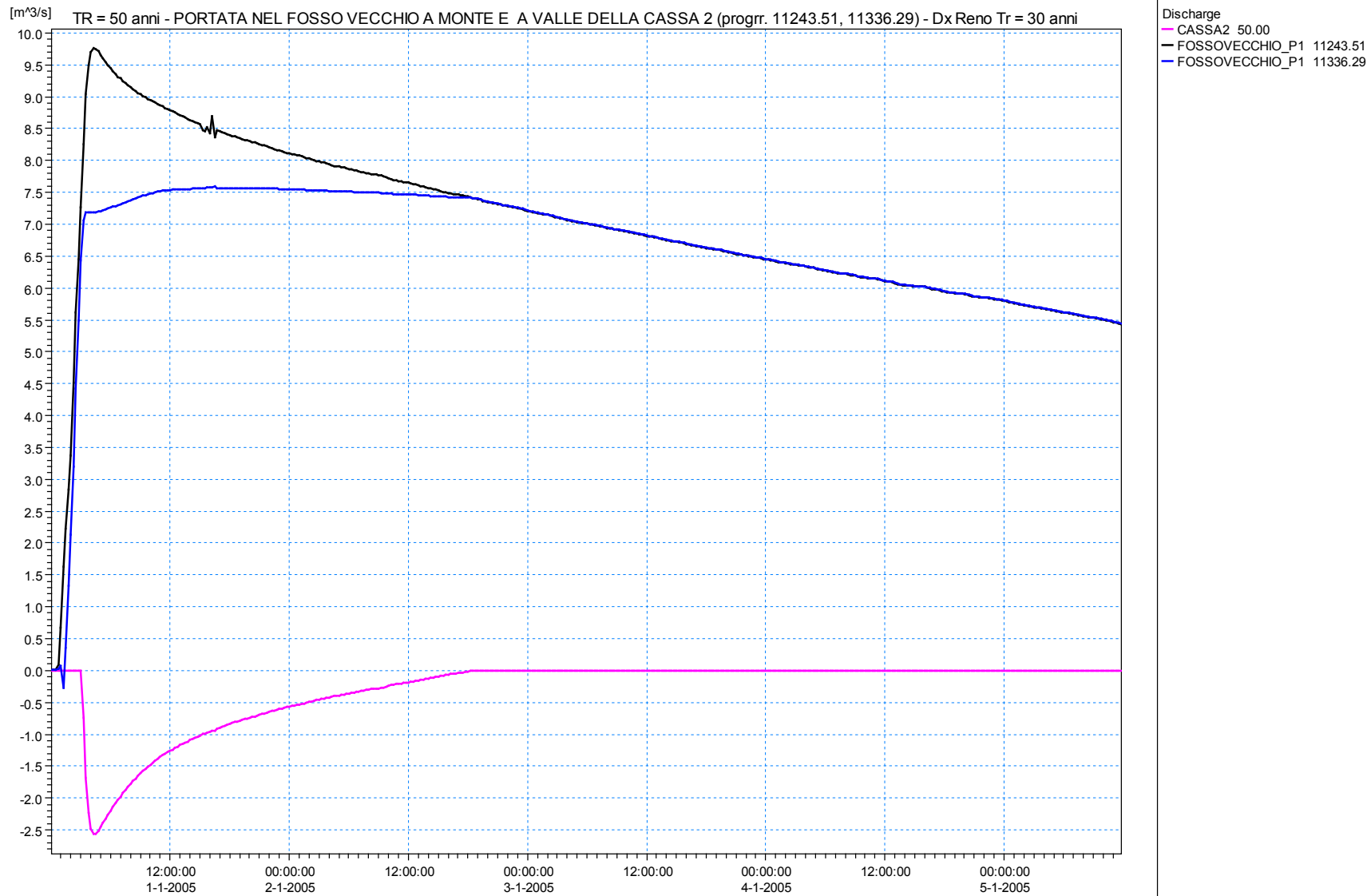


Figura 163 – Portate in cassa 2 e nel Fosso Vecchio in corrispondenza della sezione a monte e a valle della cassa per Tr = 50 anni (B).

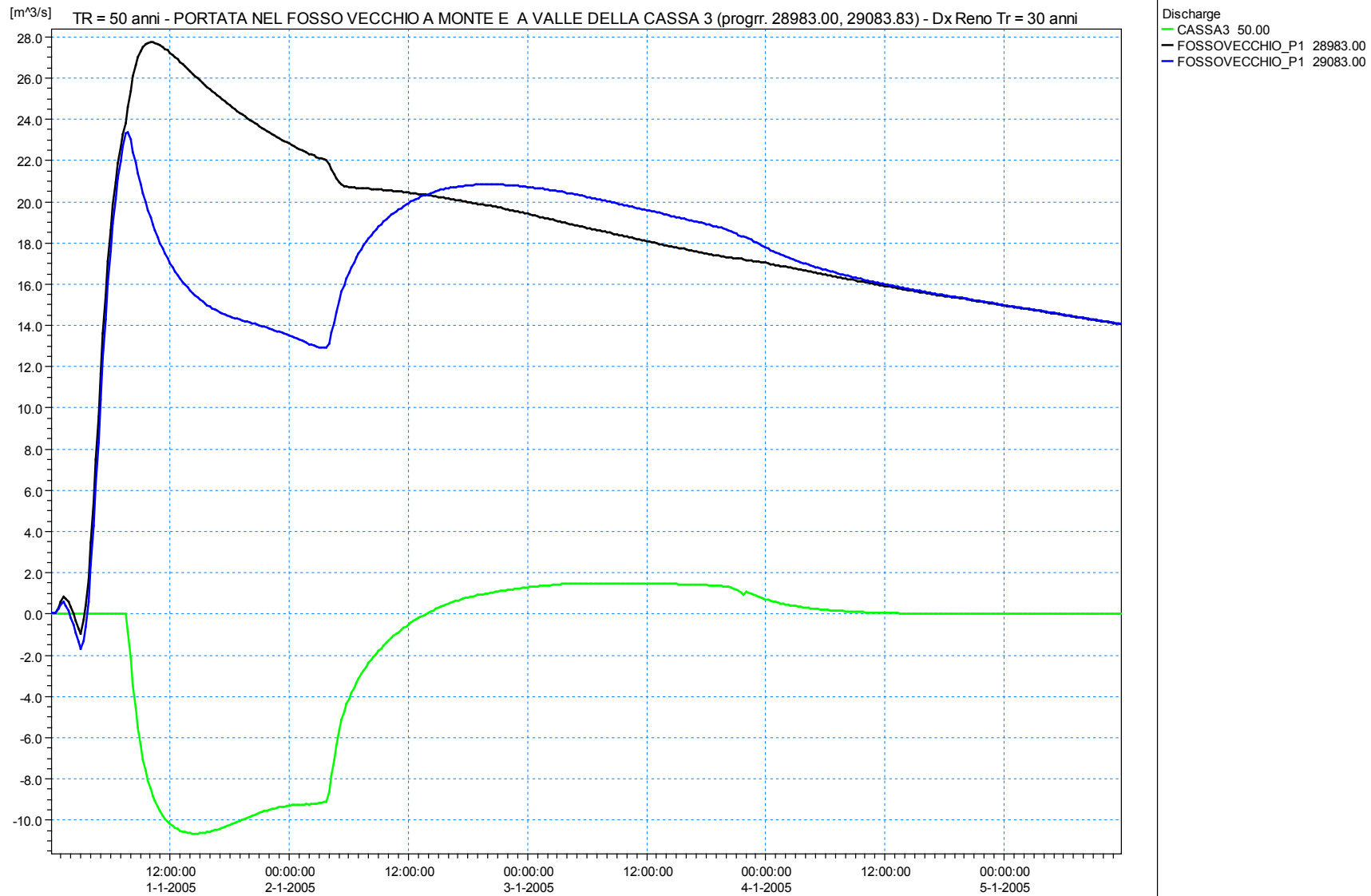


Figura 164 – Portate in cassa 3 e nel Fosso Vecchio in corrispondenza della sezione a monte e a valle della cassa per Tr = 50 anni (B).

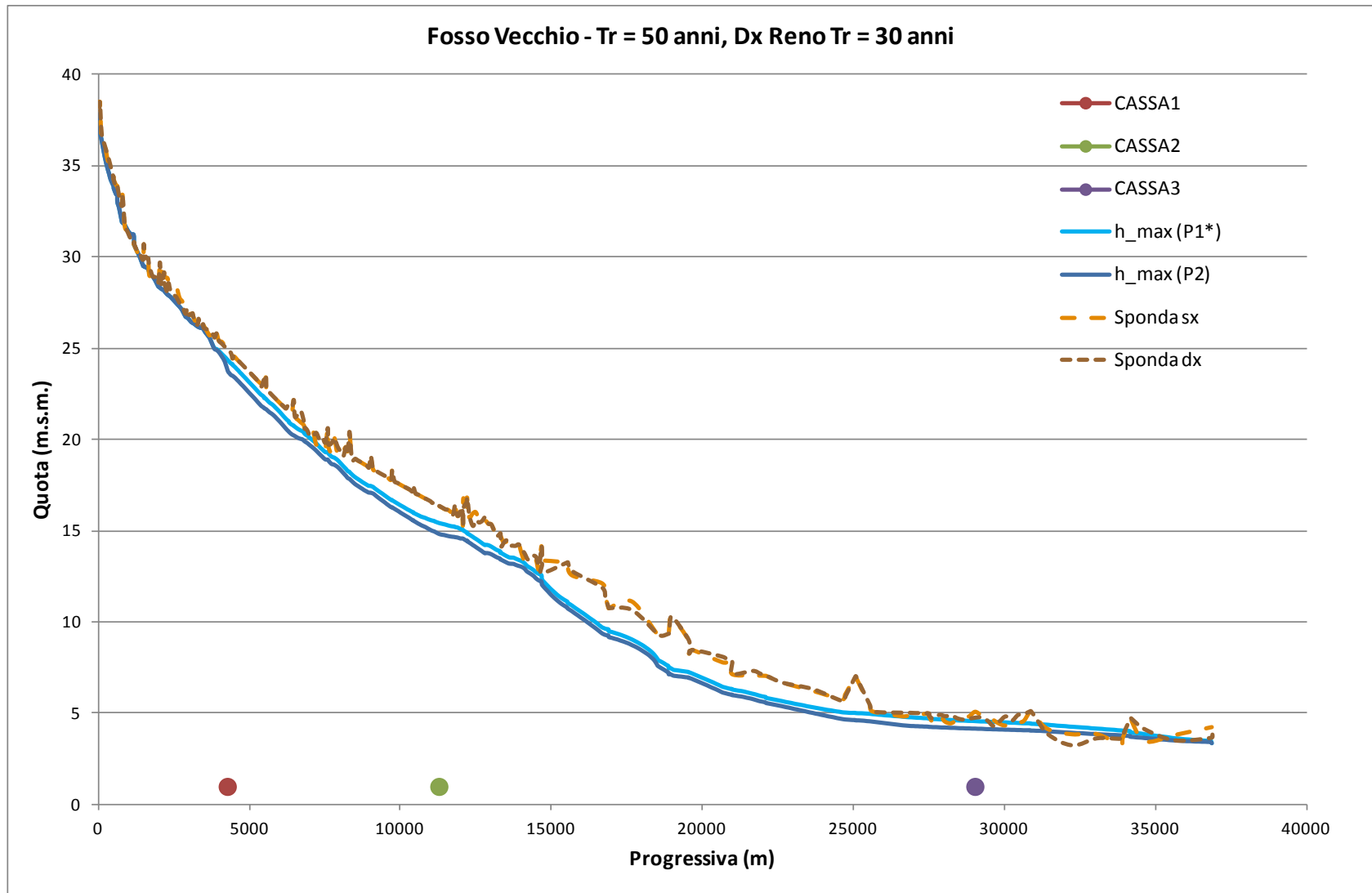


Figura 165 – Involuppi massimi per il Fosso Vecchio nella configurazione con casse, P2, e senza casse, P1*, con riportate le sponde sx e dx, per Tr = 50 anni (B)

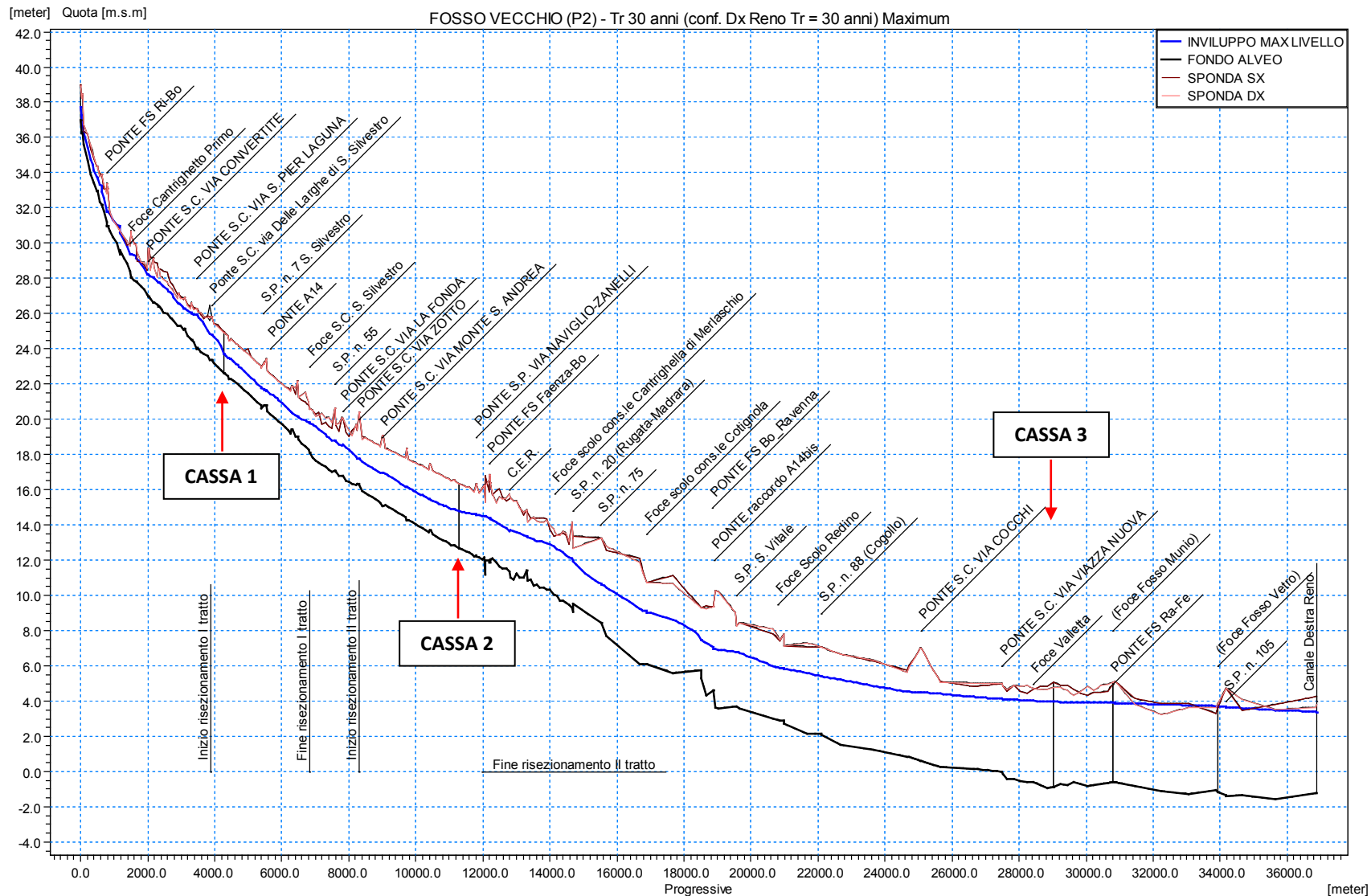


Figura 166 – Inviluppo dei massimi livelli del Fosso Vecchio per Tr 30 anni, nello scenario con casse P2 (B)

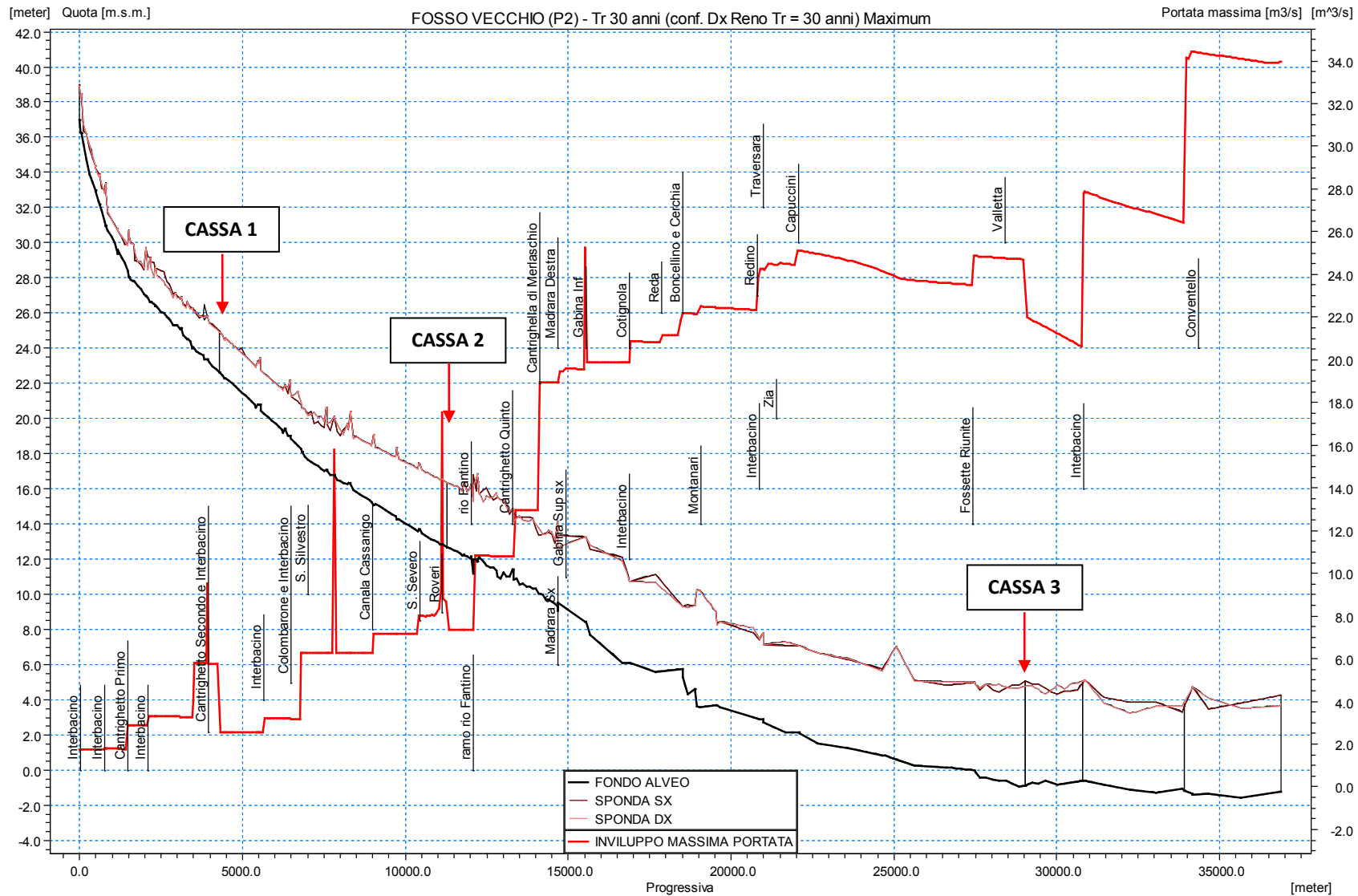


Figura 167 – Inviluppo dei massimi di portata del Fosso Vecchio per Tr 30 anni, nello scenario con casse P2 (B)

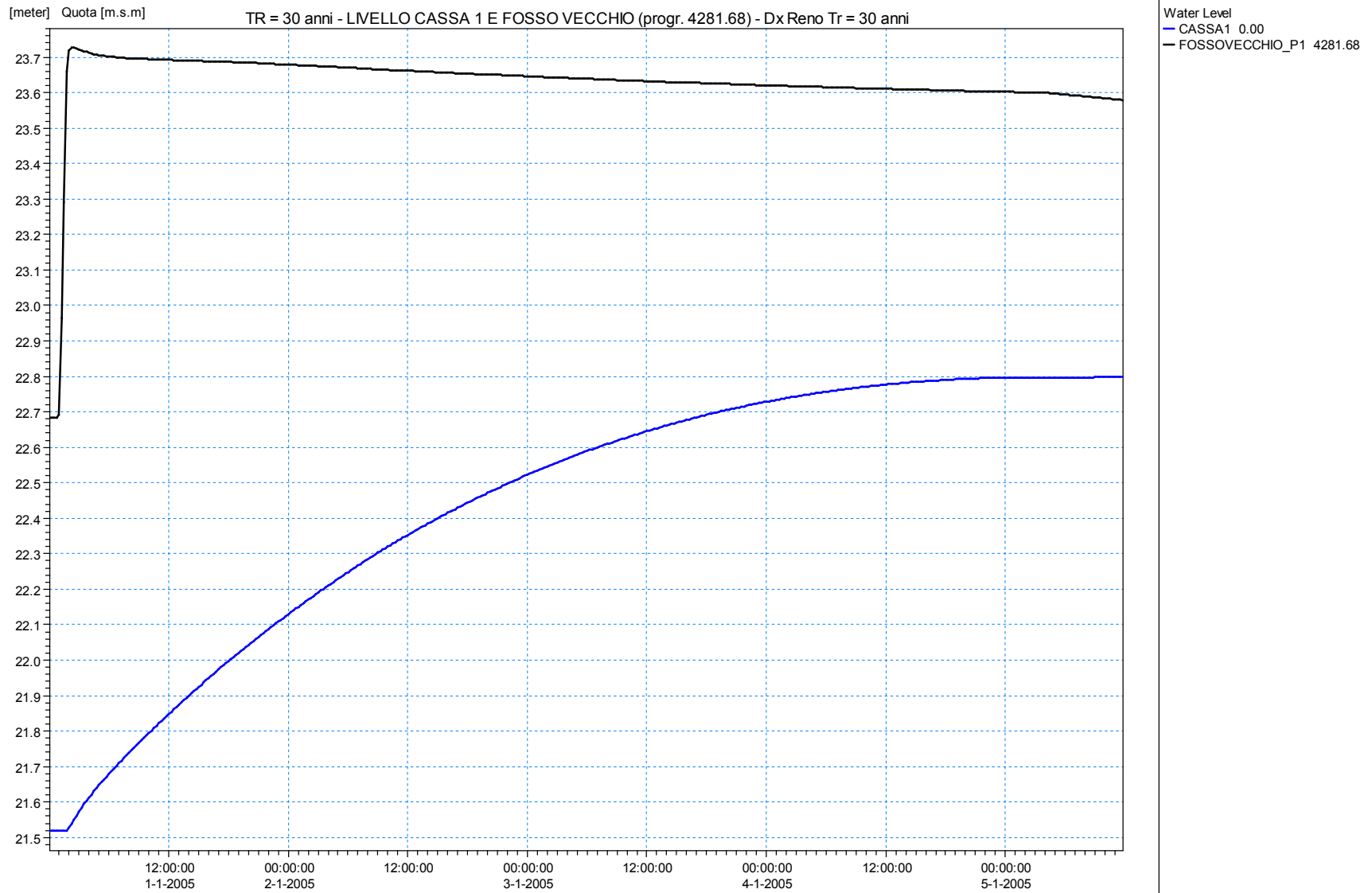


Figura 168 – Livello in cassa 1 e nel Fosso Vecchio per Tr = 30 anni (B)

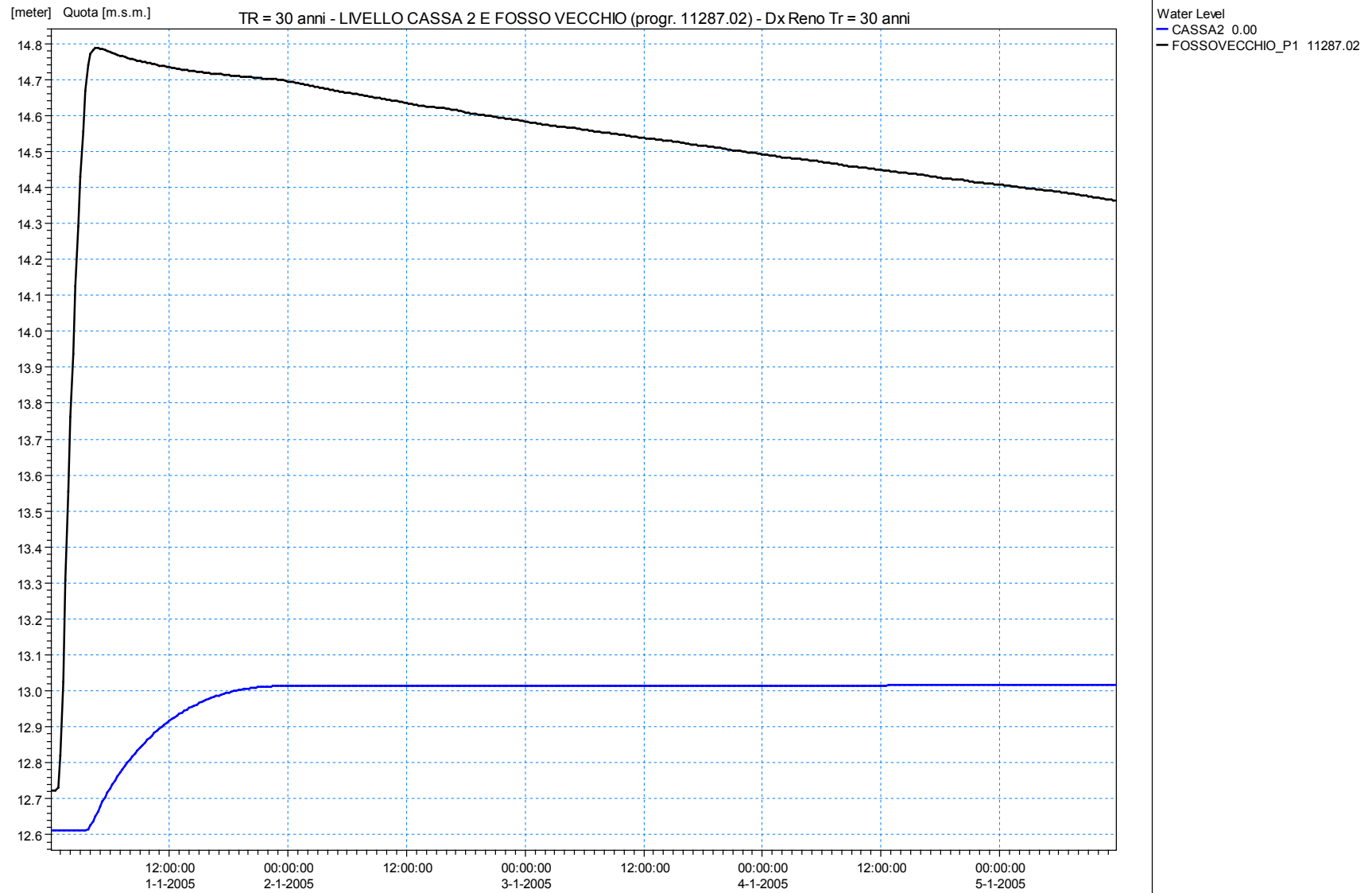


Figura 169 – Livello in cassa 2 e nel Fosso Vecchio per Tr = 30 anni (B)

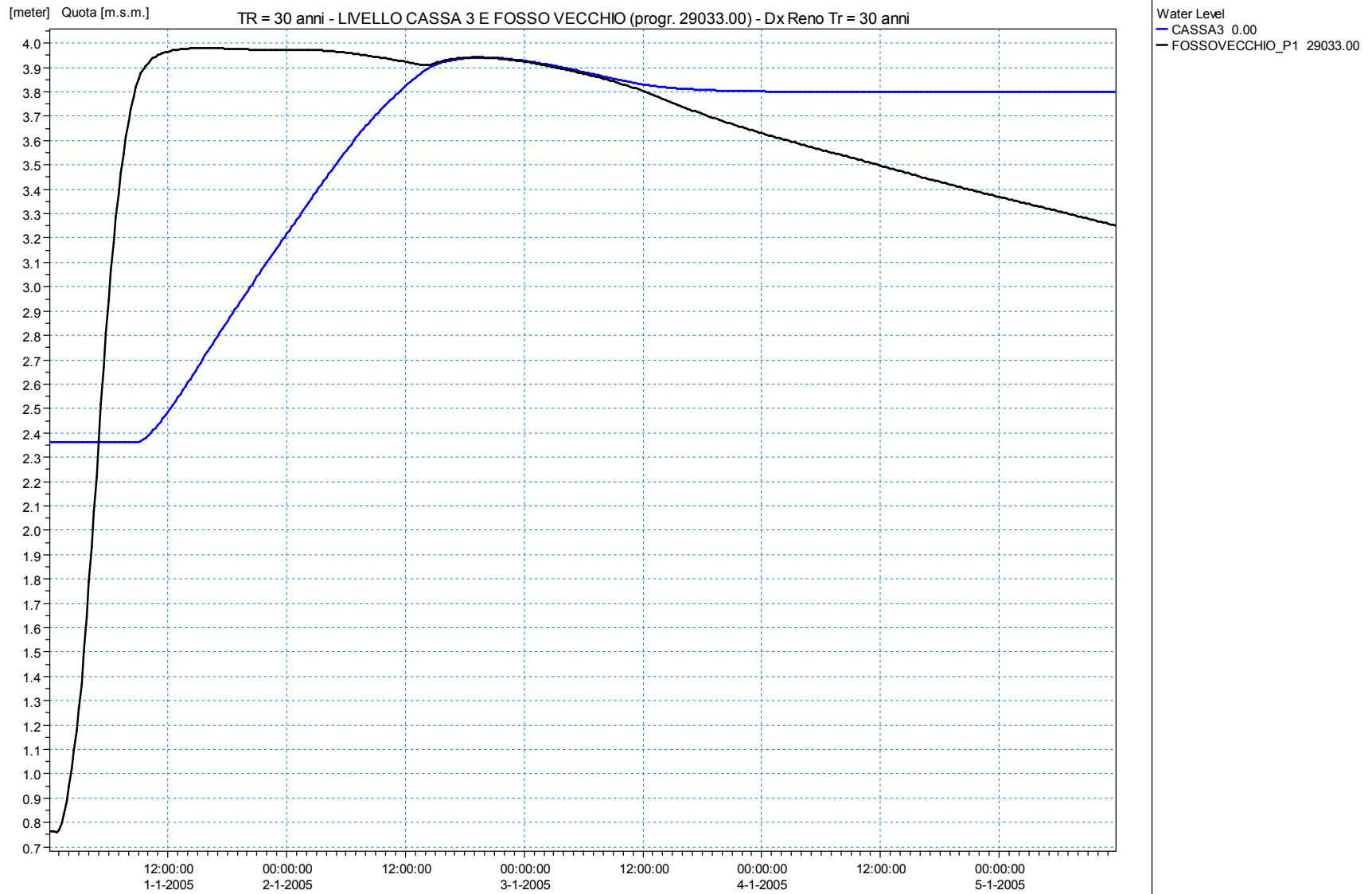


Figura 170 – Livello in cassa 3 e nel Fosso Vecchio per Tr = 30 anni (B)

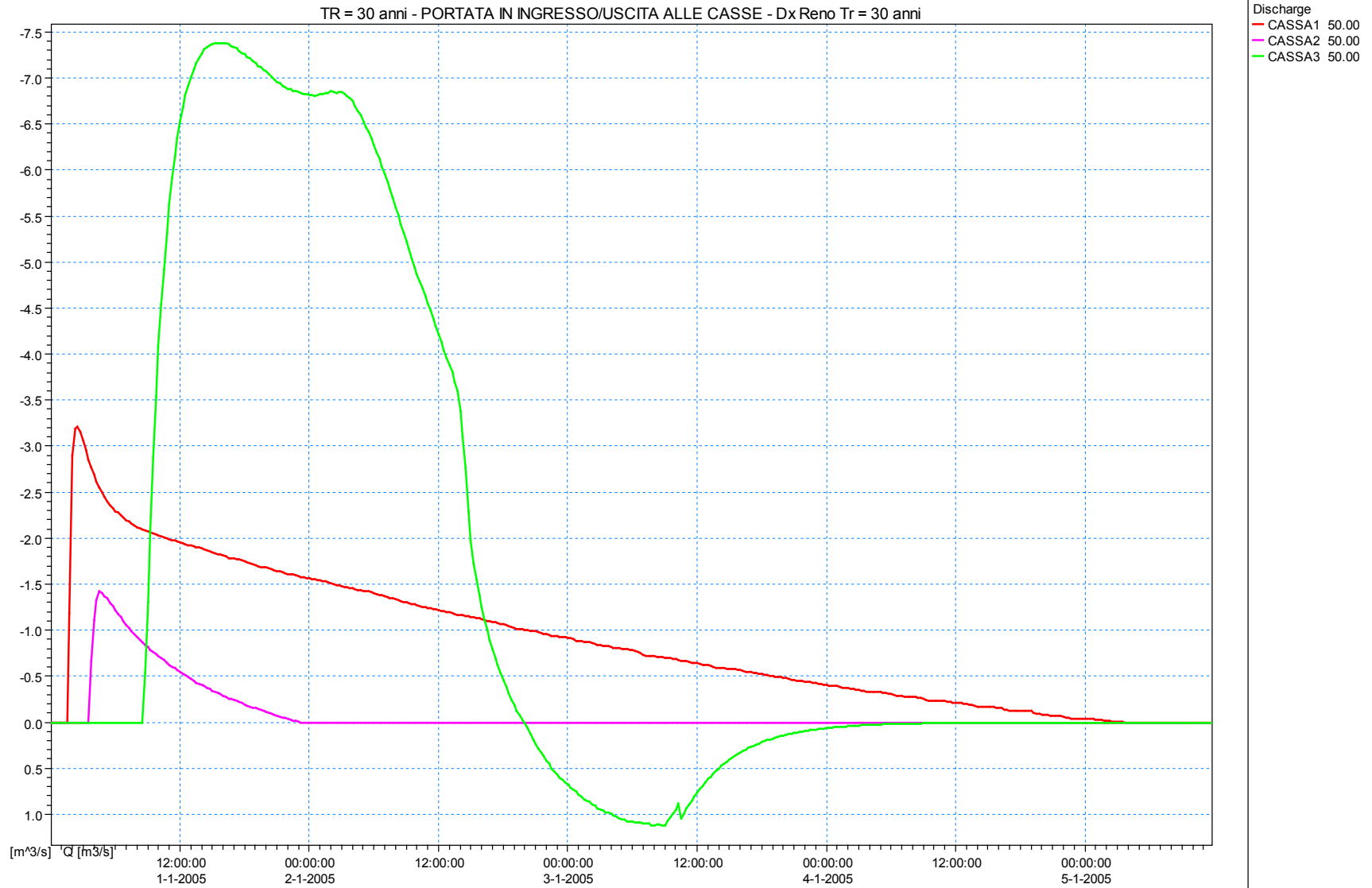


Figura 171 – Portate in ingresso/uscita alle tre casse per $Tr = 30$ anni (B)

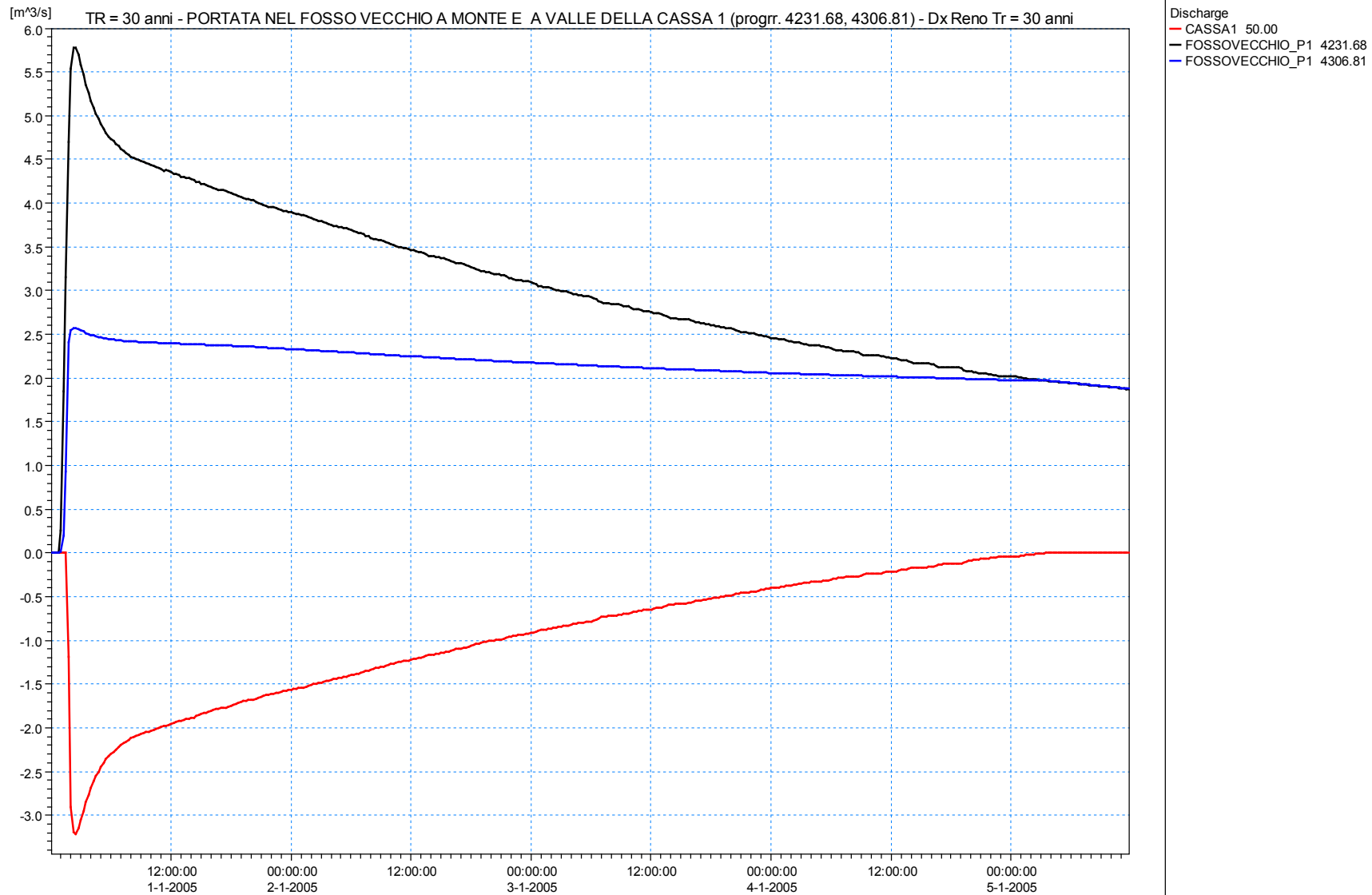


Figura 172 – Portate in cassa 1 e nel Fosso Vecchio in corrispondenza della sezione a monte e a valle della cassa per Tr = 30 anni (B)

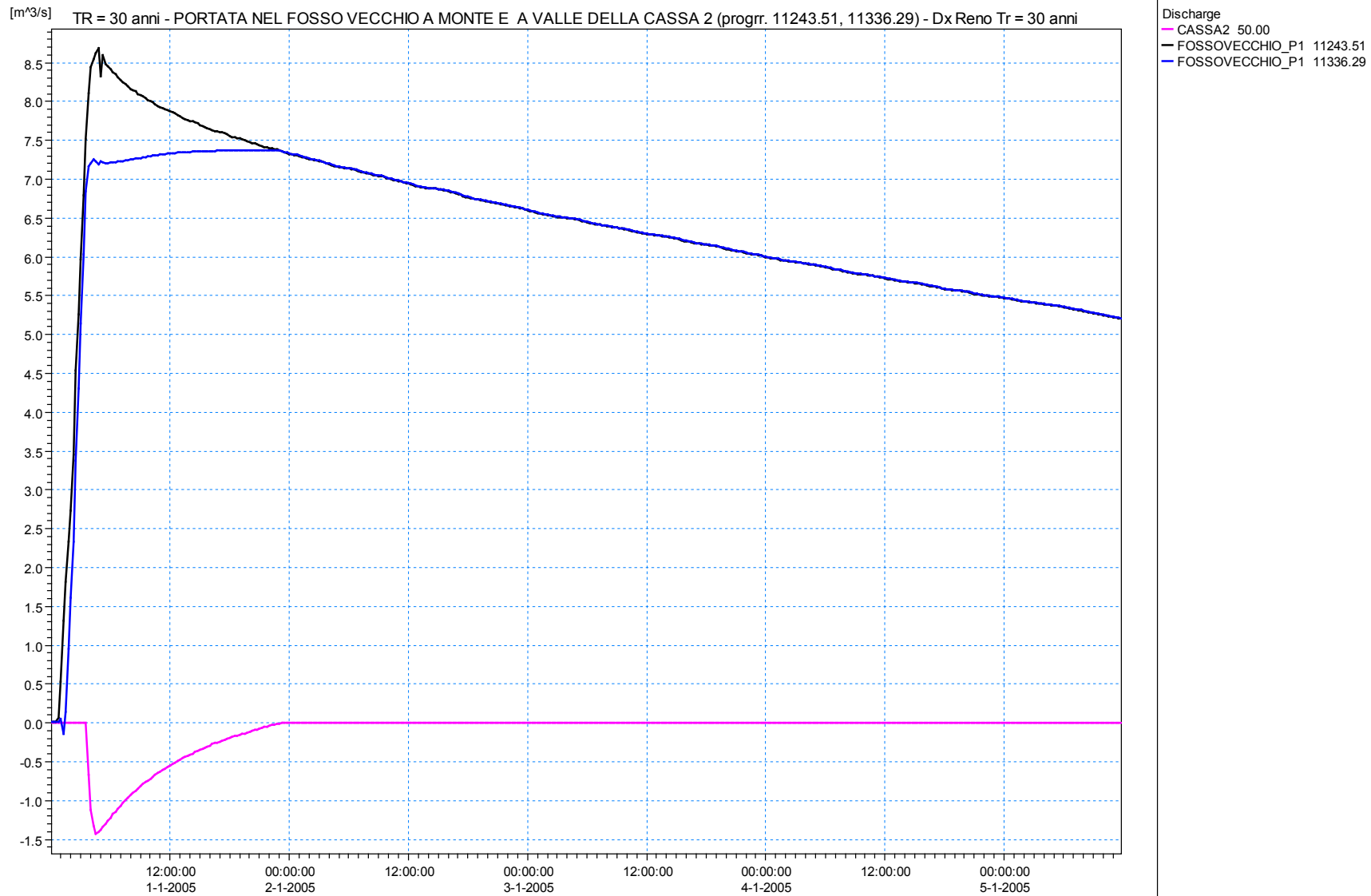


Figura 173 – Portate in cassa 2 e nel Fosso Vecchio in corrispondenza della sezione a monte e a valle della cassa per Tr = 30 anni (B)

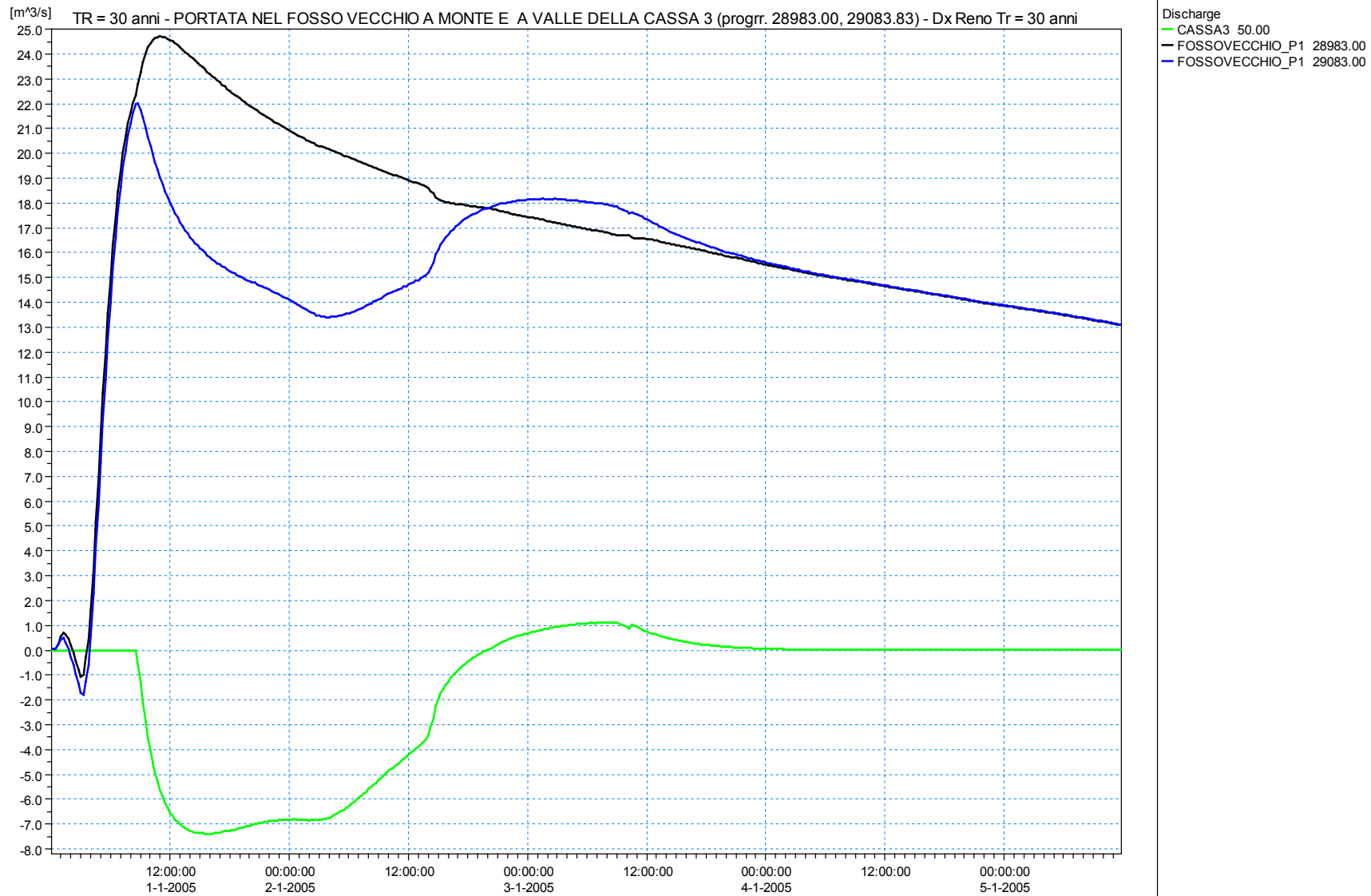


Figura 174 – Portate in cassa 3 e nel Fosso Vecchio in corrispondenza della sezione a monte e a valle della cassa per Tr = 30 anni (B)

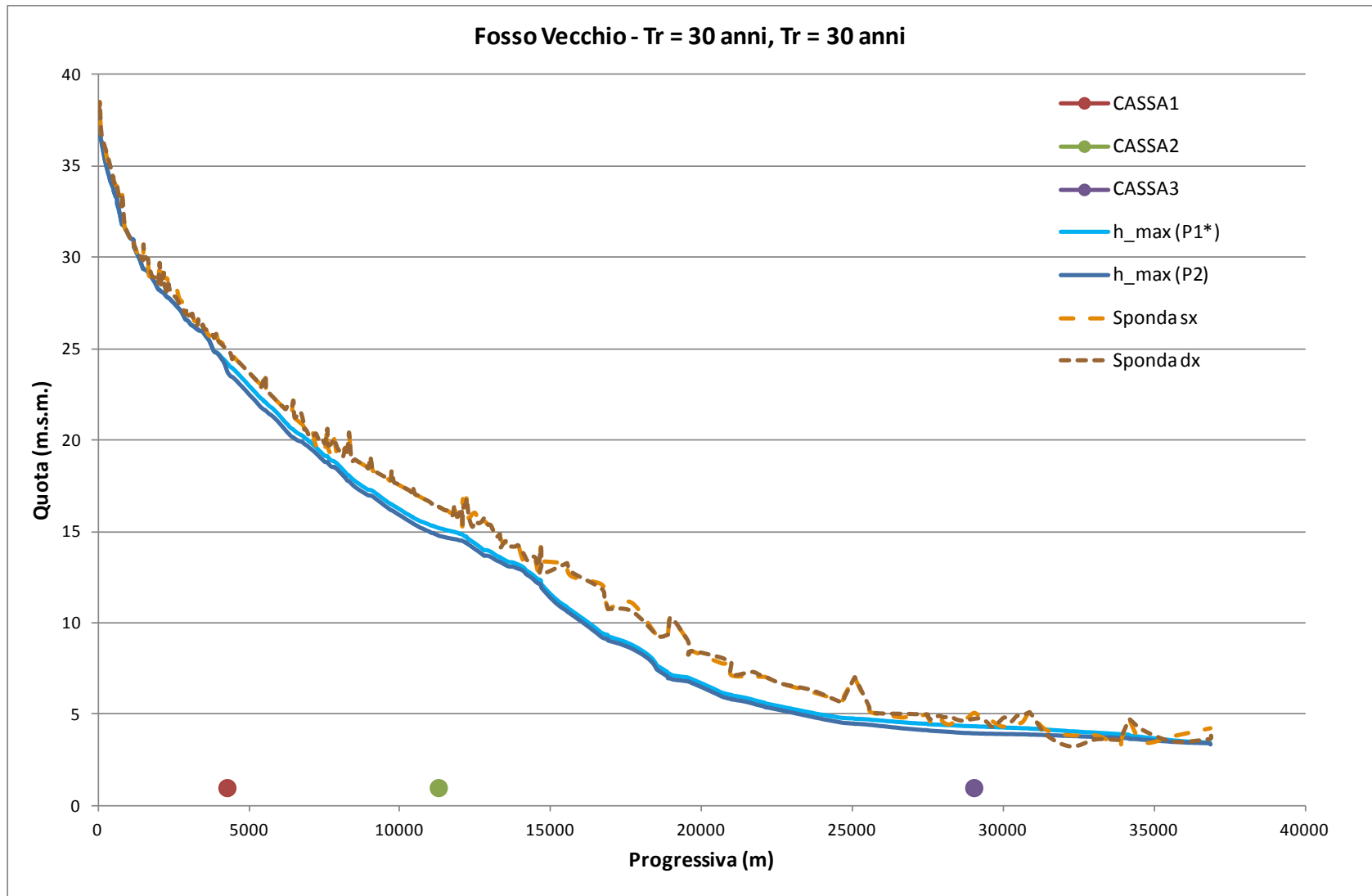


Figura 175 – Involuppi massimi per il Fosso Vecchio nella configurazione con casse, P2, e senza casse, P1*, con riportate le sponde sx e dx, per Tr = 30 anni (B)

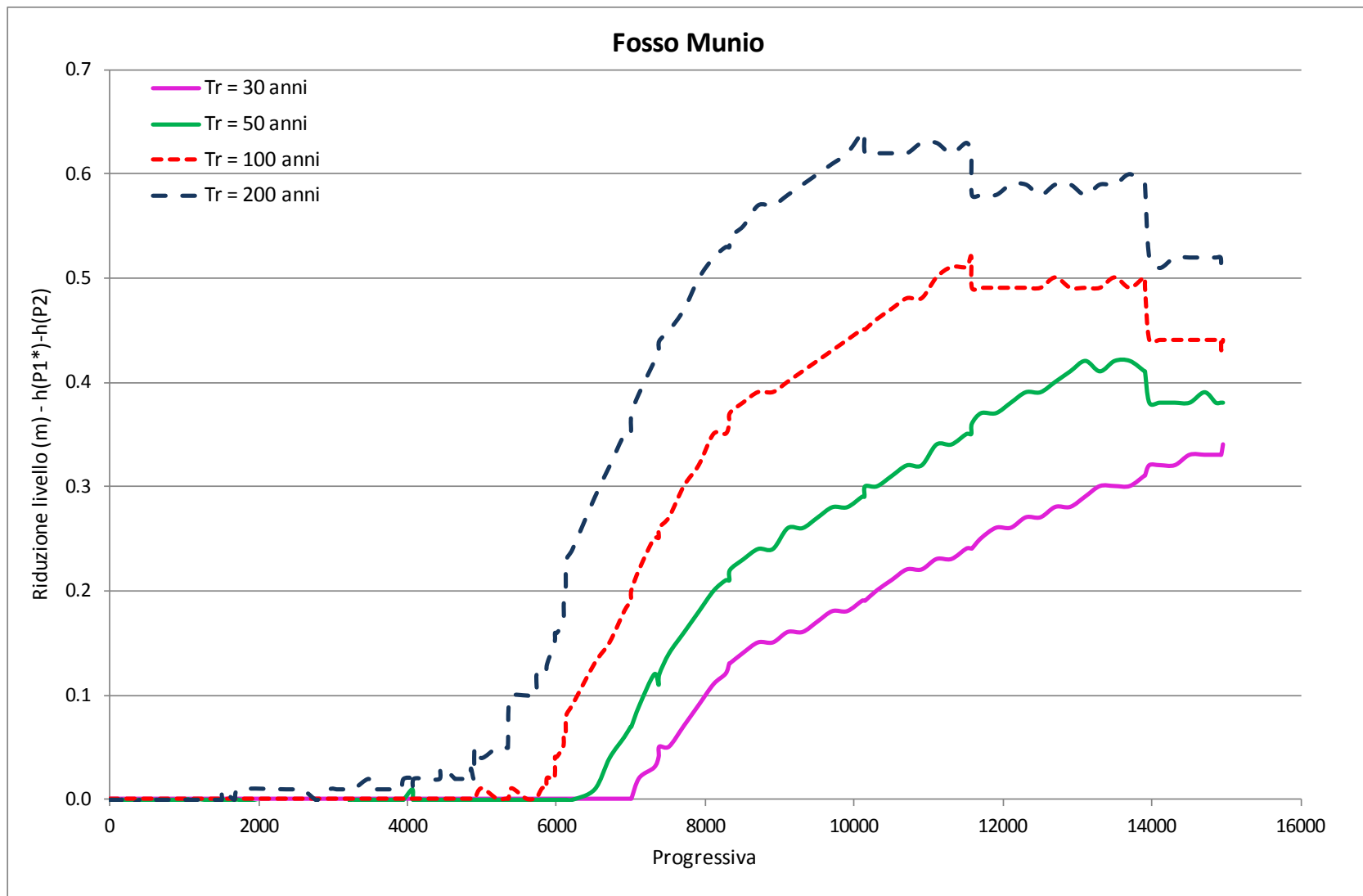


Figura 176 – Abbattimento dei livelli nel Fosso Munio dovuto alla presenza delle tre casce (P2) sul Fosso Vecchio, per Tr = 30, 50, 100 e 200 anni (B)

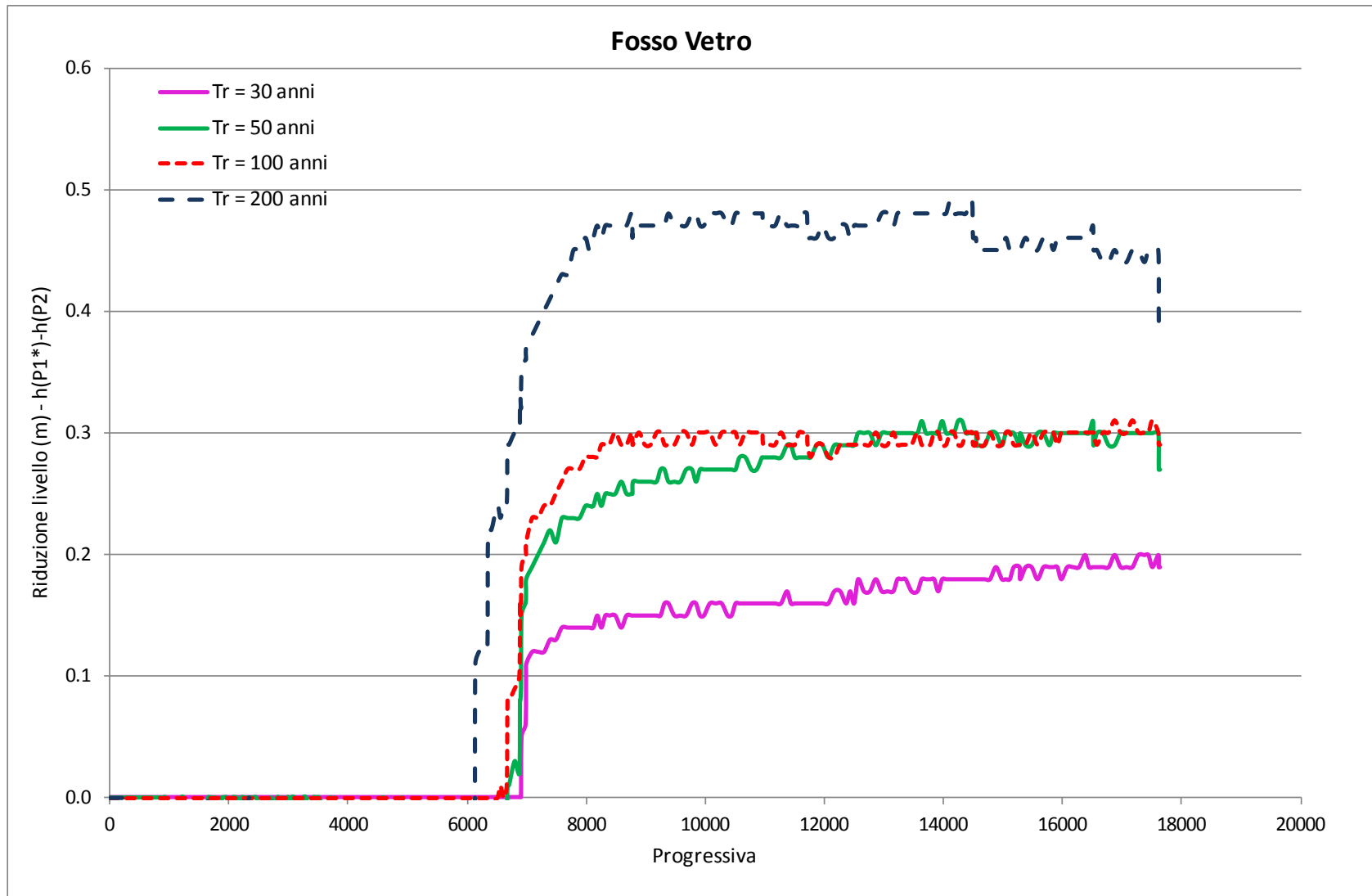


Figura 177 – Abbattimento dei livelli nel Fosso Vetro dovuto alla presenza delle tre casse (P2) sul Fosso Vecchio, per $Tr = 30, 50, 100$ e 200 anni (B)

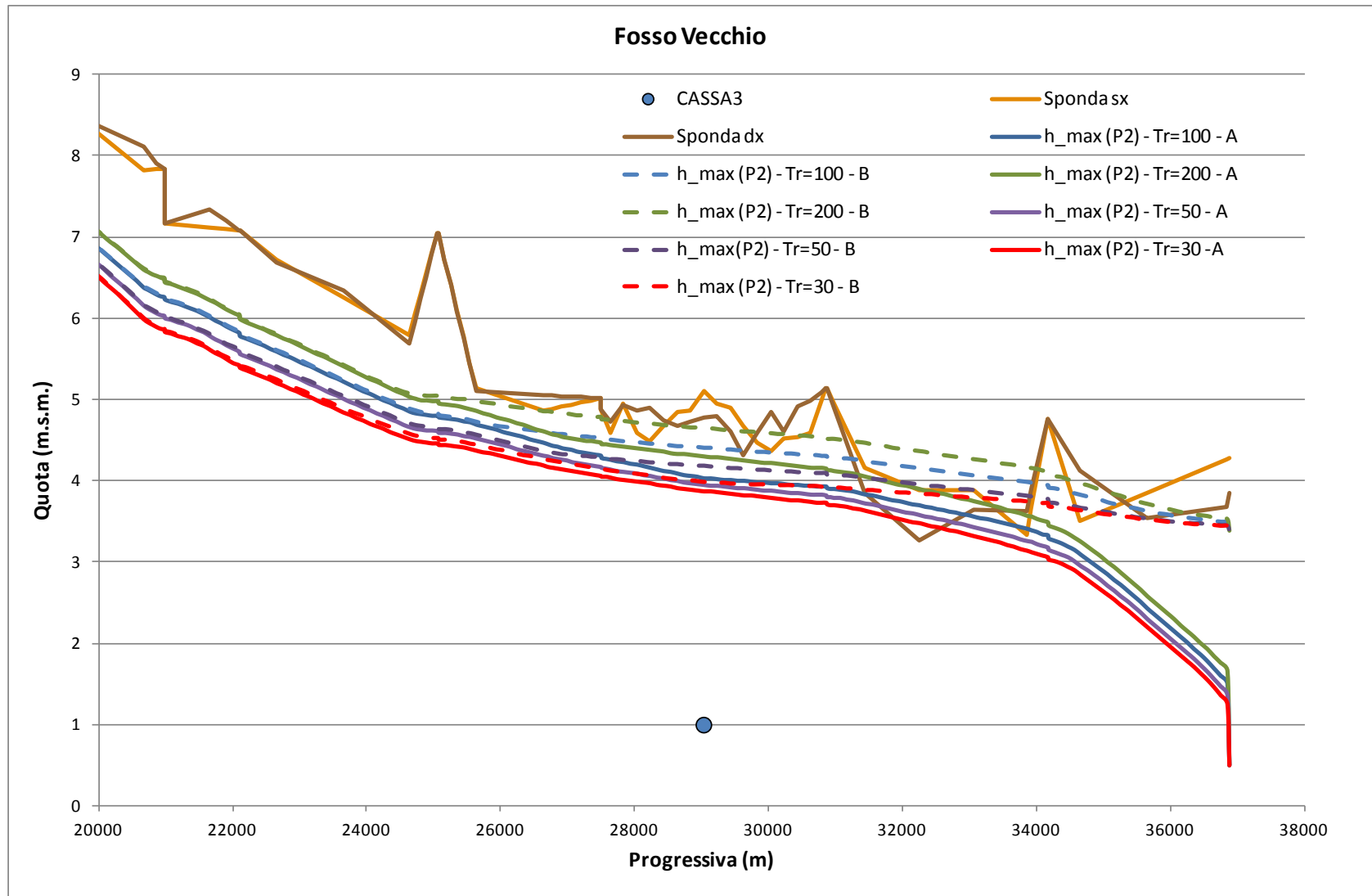


Figura 178 –Confronto tra i livelli massimi (stato P2) nel tratto vallivo del Fosso Vecchio, per Tr = 30, 50, 100 e 200 anni, nelle due configurazioni A e B

Dalle simulazioni effettuate con condizione al contorno nel Destra Reno $Tr = 30$ anni (configurazione B), si osserva come in tutto il tratto vallivo del Fosso Vecchio i tiranti risultino più alti rispetto alla configurazione A (ossia con un livello imposto nel Canale di Bonifica in Destra Reno pari a 0.5 m s.m.) dalla progressiva 20'000 m circa sino all'ultima sezione di valle, cioè alla confluenza nello stesso recettore.

I tratti più a monte, invece, non risentono di tale condizione e di conseguenza gli effetti indotti dalla presenza delle due casse 1 e 2, non subiscono cambiamenti (a meno, ovviamente, del tratto compreso tra la cassa 2 e la 3, influenzato in parte dal funzionamento di quest'ultima).

Confrontando l'evento con $Tr = 100$ anni, si può osservare come la cassa 3 si riempia più rapidamente (figura 140) rispetto al caso omologo della configurazione A (figura 94); a causa della condizione di valle (onda di livello nel Destra Reno che via via aumenta): al crescere della portata aumentano rispetto alla condizione A i livelli nel Fosso Vecchio (viene a mancare l'effetto di richiamo che si aveva nel caso precedente con il livello nel Destra Reno costante e pari a 0.5 m s.m.).

I due grafici mostrano come, nello scenario B, la cassa 3 non riesca più a tagliare il picco di portata come accadeva nel caso precedente (A), proprio perché a causa dell'innalzamento del livello nel Destra Reno, nel Fosso Vecchio il livello si innalza ulteriormente all'aumentare della portata in arrivo da monte.

Come accennato, In figura 178 si riporta una sintesi dei livelli nelle due configurazioni A e B, al variare del tempo di ritorno. Trascurando il punto critico in corrispondenza della sezione alla progressiva 32'245 m, le cui sponde risultano particolarmente depresse, si osserva come alcuni tratti, non critici nella configurazione A, vadano in crisi anche per eventi con Tr basso, in quanto il livello elevato è imposto dall'evento di piena contestuale nel Destra Reno (si osservi, ad esempio, alla progressiva 34'659 m e per un tratto lungo 1 km circa, come il Fosso Vecchio risulti insufficiente anche per $Tr = 30$ anni).

Gli effetti dovuti all'onda di piena trentennale nel Destra Reno si ripercuotono, naturalmente, anche nei due affluenti, Munio e Vetro, i quali risentono in modo meno spinto dell'effetto positivo indotto dalla presenza delle casse, in quanto il livello nel Fosso Vecchio non si abbassa a sufficienza; ciò può essere osservato dalle figure 176 e 177.

6.3 Configurazione di progetto 3 (P2*)

Al fine di aumentare la laminazione dell'onda di piena nel Fosso Vecchio, anche quando il Destra Reno è interessato da una piena importante (ad es. la trentennale), si è pensato di approfondire il fondo della cassa 3 (denominata così 3*) sino ad una quota pari mediamente a 0.80 m s.m., rispetto alla quota assunta precedentemente e pari al piano campagna di 2.35 m s.m.; lo scavo di 1.55 m comporterebbe un notevole aumento della capacità della cassa, permettendo così di immagazzinare un maggior volume d'acqua.

Tale configurazione viene indicata con P2* ed andrà ad influenzare, ovviamente, unicamente le sezioni più vallive del Fosso Vecchio, cioè quelle poco a monte e tutte quelle a valle della cassa 3, interessata dall'approfondimento rispetto alla configurazione P2.

| Cassa | Progressiva Fosso Vecchio (m) | Quota sfioro (m s.m.) | Larghezza sfioro (m) | Quota fondo cassa (m s.m.) | Quota sponde (m s.m.) |
|----------|-------------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------------|-----------------------|
| Cassa 3* | 29'033.00 | 3.80 | 70.00 | 0.80 | 4.78 |

Cassa 3*

| Quota (m.s.m) | Tirante (m) | A (m ²) | V (m ³) |
|---------------|-------------|---------------------|---------------------|
| 0.80 | | 396830.02 | |
| 1.60 | 0.80 | 403989.75 | 400410.68 |
| 2.35 | 1.55 | 410702.00 | 705920.09 |
| 2.70 | 1.90 | 413834.38 | 850213.96 |
| 3.00 | 2.20 | 416519.28 | 974767.01 |
| 3.40 | 2.60 | 420099.15 | 1142090.69 |
| 3.80 | 3.00 | 423679.02 | 1310846.33 |
| 4.50 | 3.70 | 429943.78 | 1609614.31 |
| 5.35 | 4.55 | 437551.00 | 1978299.59 |

Di seguito si riportano i profili longitudinali in termini di inviluppo dei massimi tiranti idrici e dei picchi di portata lungo il Fosso Vecchio, per i tempi di ritorno $Tr = 50$, 100 e 200 anni ($Tr = 30$ anni è già ovunque verificata con lo stato P2), con a valle la condizione al contorno più critica (condizione B, cioè onda di piena trentennale nel Destra Reno).

Per meglio comprendere l'ulteriore abbassamento di livello massimo indotto dalla cassa approfondita (3*) nella configurazione P2*, rispetto alla P2, si riportano gli inviluppi dei tiranti massimi nell'ultimo tratto del Destra Reno.

I soliti grafici significativi (profili di inviluppo, onde di portata e di livello, comparazioni con precedenti stati di progetto, ...) vengono riportati di seguito con il seguente ordine:

- per $Tr = 50$ anni, da figura 179 a figura 184;
- per $Tr = 100$ anni (evento di riferimento), da figura 185 a figura 190;
- per $Tr = 200$ anni, da figura 191 a figura 196.

Poiché nulla cambia per le casse 1 e 2, di queste non viene riportato nessun grafico.

Per la cassa 3 approfondita (indicata con 3*) si riportano invece il livello e la portata in ingresso/uscita, comparata all'onda di piena transitante nel Fosso Vecchio nelle sezioni a monte e a valle della cassa.

Per comparare le due geometrie della cassa 3 e 3* sono state inoltre riportate nel medesimo grafico la portata in ingresso/uscita alla cassa e le onde di piena nel Fosso Vecchio a monte e a valle della cassa stessa.

Si può osservare dai grafici di figura 181 (Tr 50 anni), figura 187 (Tr 100 anni) e figura 192 (Tr 200 anni) come l'approfondimento della cassa 3 (detta 3*) permette un ulteriore abbassamento dei massimi tiranti idrici, aspetto importante quando il Destra Reno si trova in condizioni di piena.

L'approfondimento della cassa (3*), rispetto alla prima ipotesi (3), quindi, garantisce di immagazzinare all'interno della cassa un maggior volume (circa 400'000 m³), decurtandolo dall'onda di piena transitante nel Fosso Vecchio e garantendo un ulteriore abbattimento dei picchi di piena, fondamentale specialmente in occasione di forti e prolungati rigurgiti dal Canale di Bonifica in Destra Reno.

**STATO DI PROGETTO [P2*]
SCENARIO B (DESTRA RENO Tr 30 anni, TR 50, 100, 200 anni)**

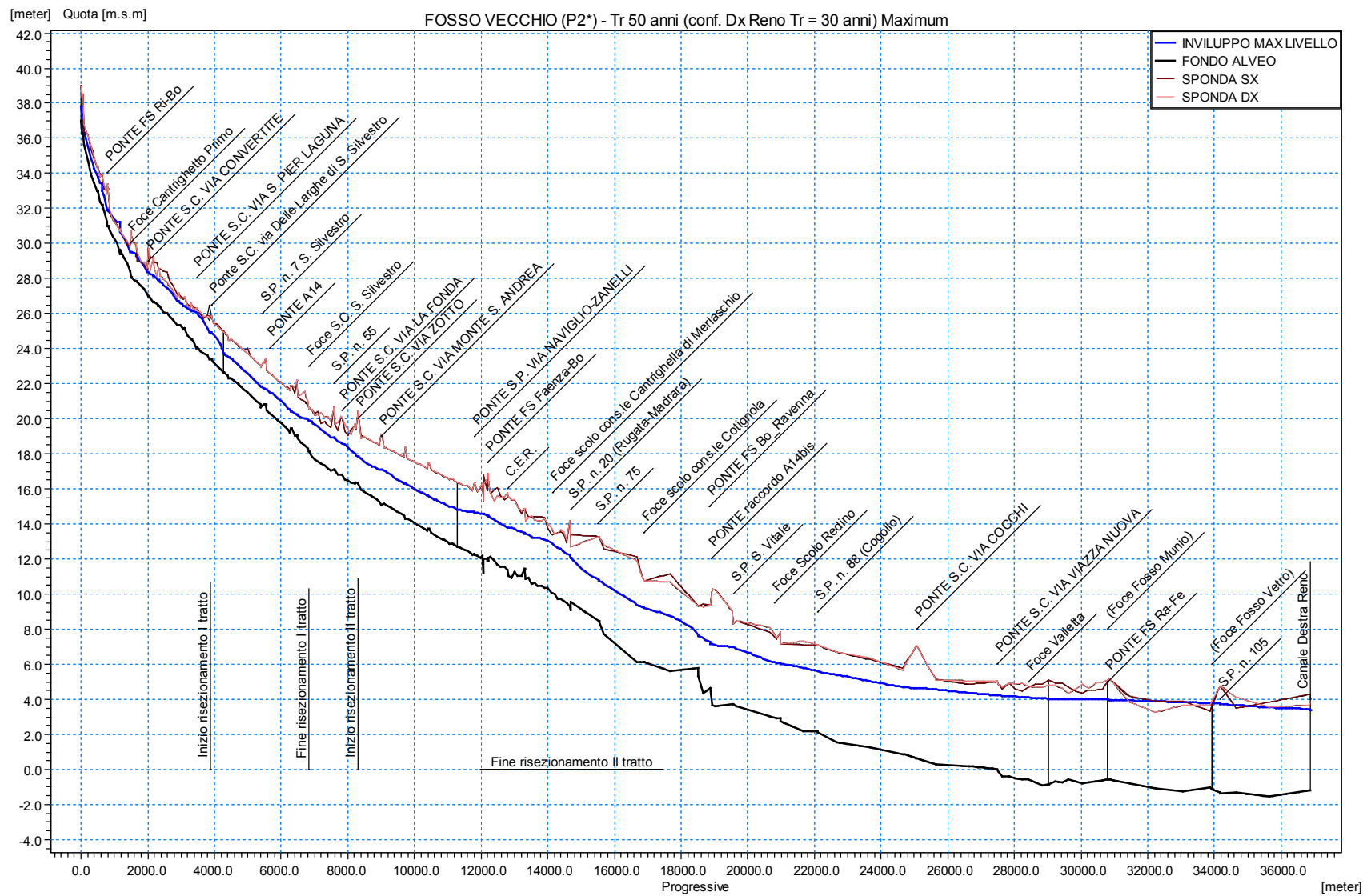


Figura 179 – Inviluppo dei massimi livelli del Fosso Vecchio per Tr 50 anni, nello scenario con casse P2* (B).

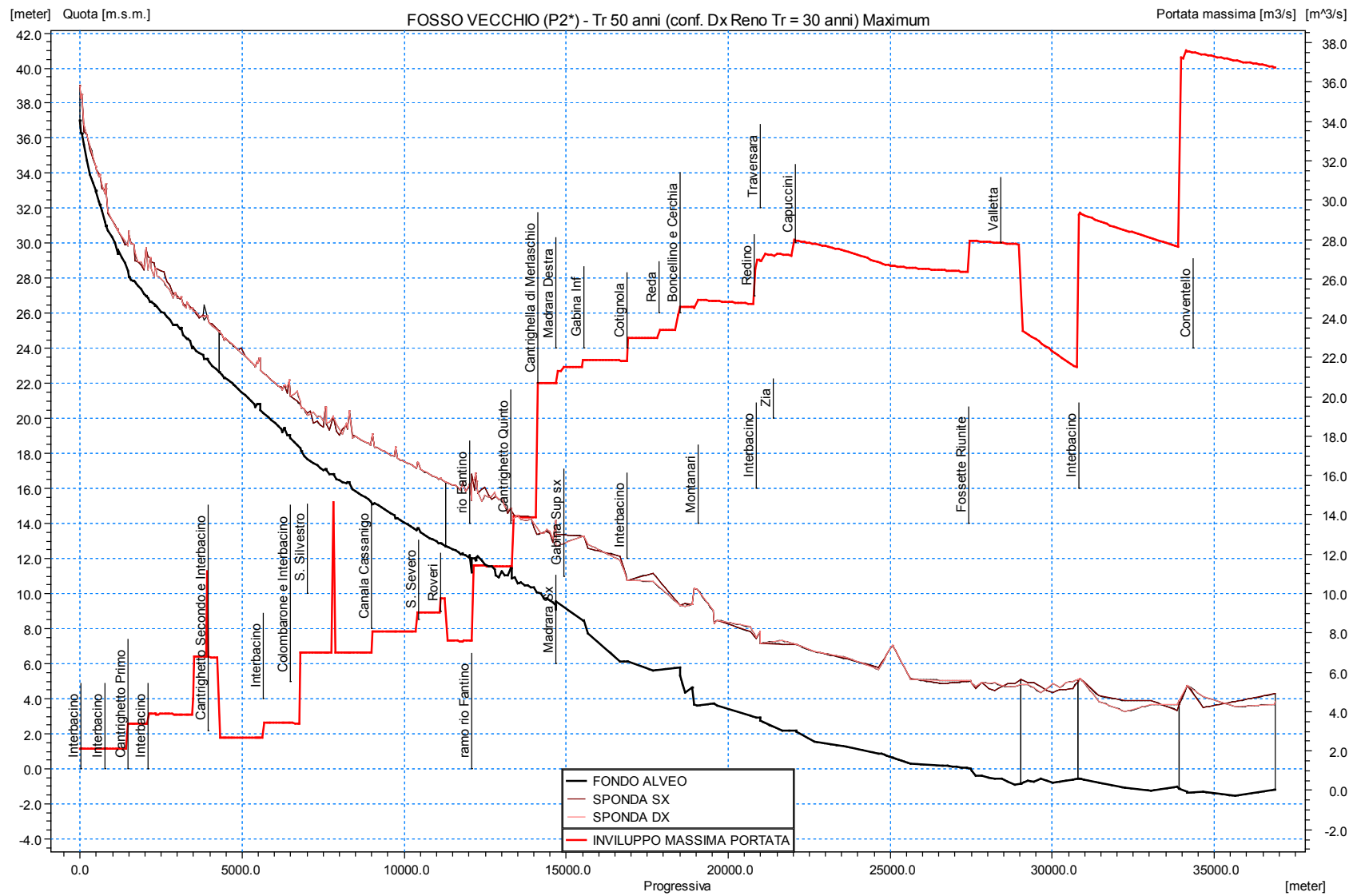


Figura 180 – Inviluppo delle massime portate del Fosso Vecchio per Tr 50 anni, nello scenario con casse P2* (B).

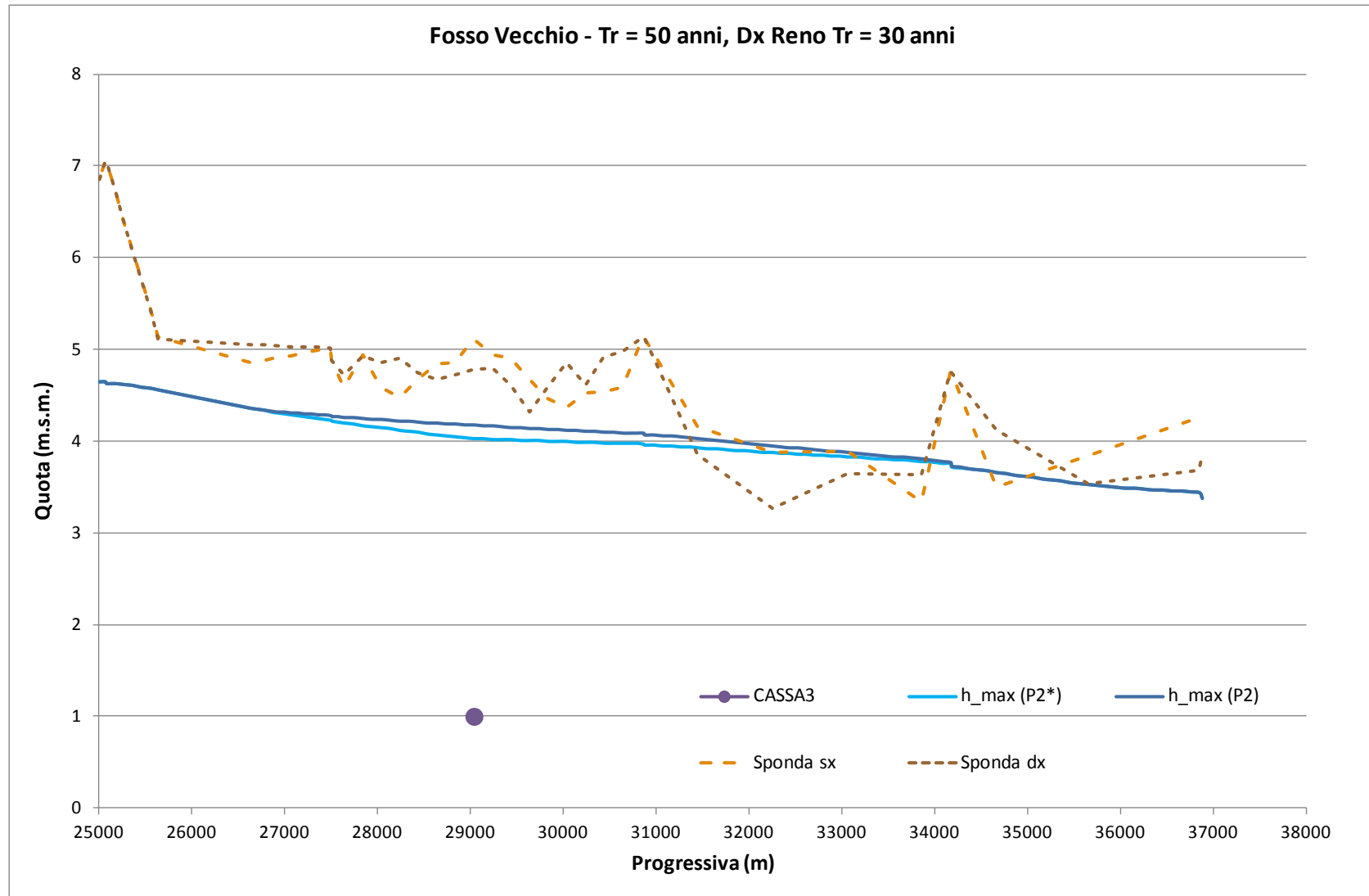


Figura 181 – Inviluppo delle massime portate del Fosso Vecchio per Tr 50 anni, negli scenari con casse P2 e P2* (B).

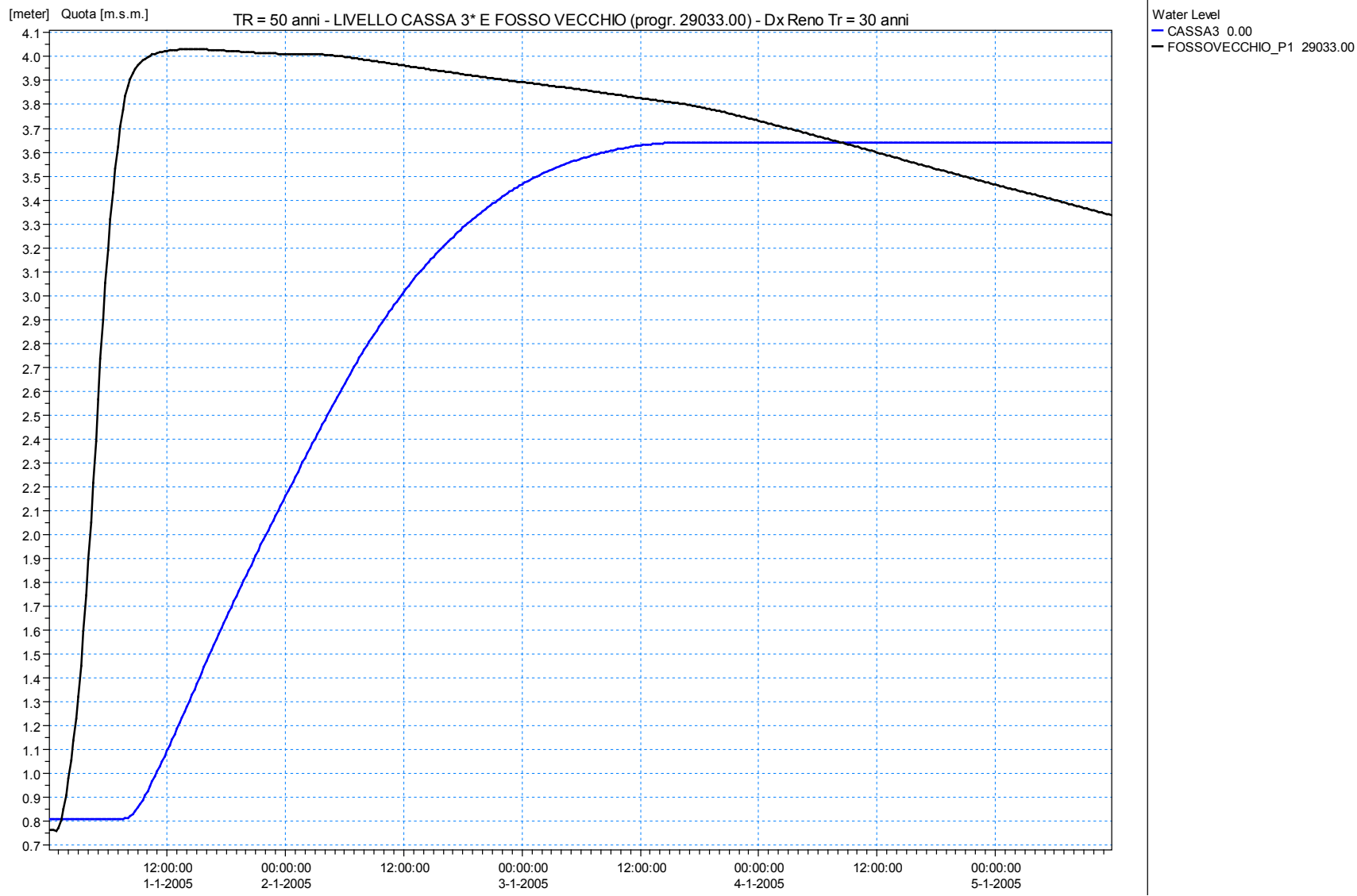


Figura 182 – Livello in cassa 3* e nel Fosso Vecchio per Tr = 50 anni (B).

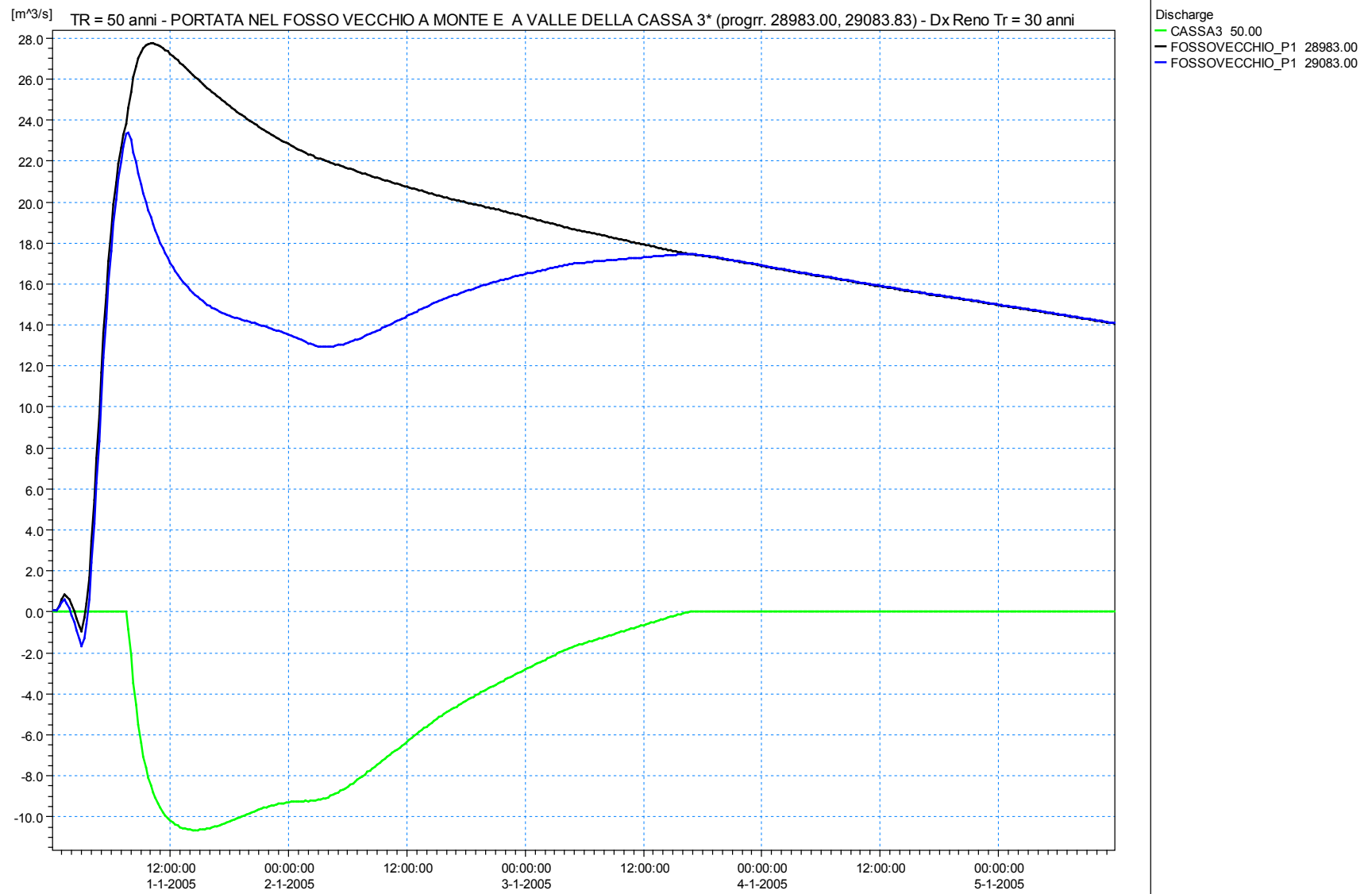


Figura 183 – Portate in cassa 3* e nel Fosso Vecchio in corrispondenza della sezione a monte e a valle della cassa per Tr = 50 anni (B).

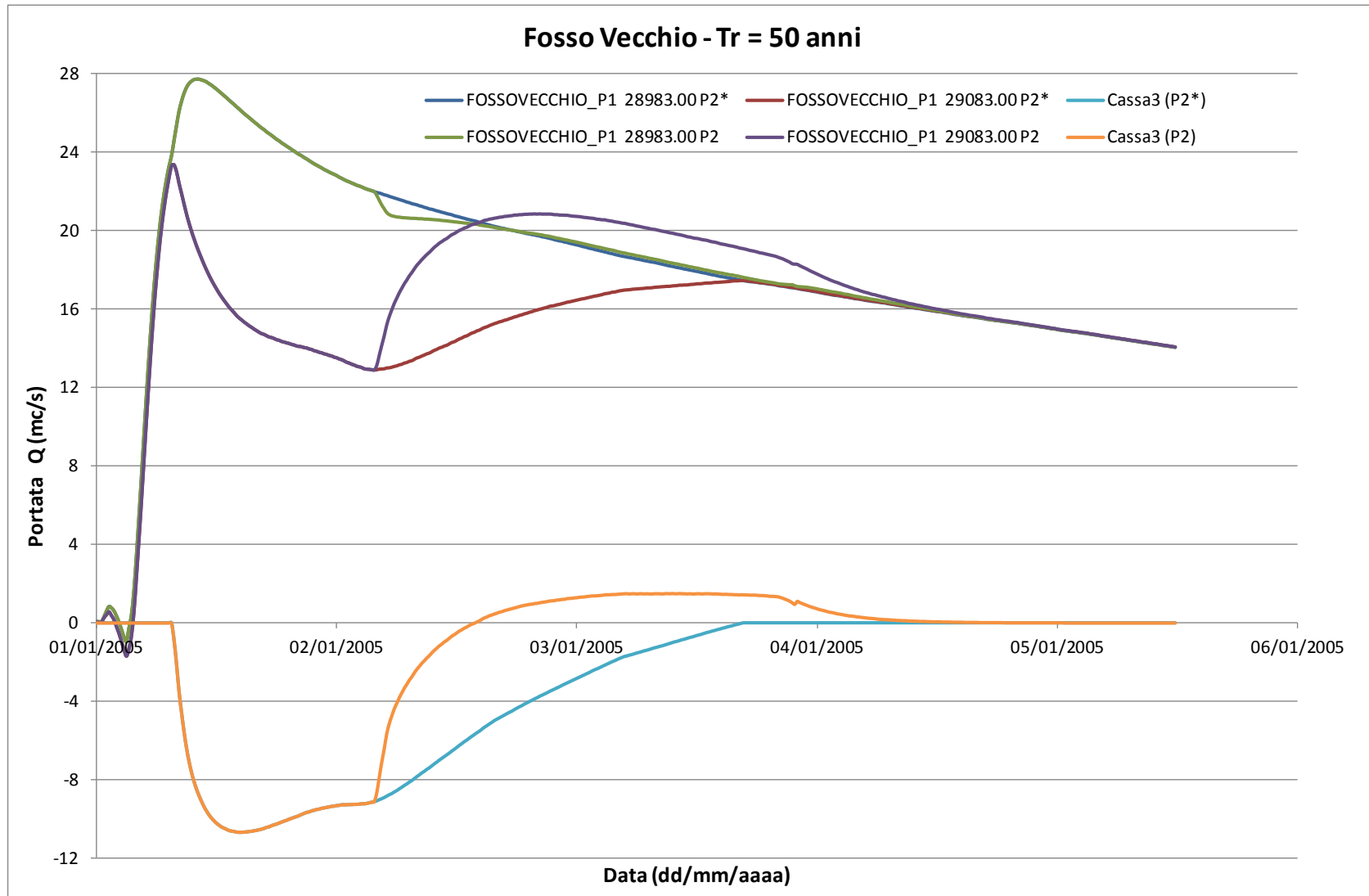


Figura 184 – Portate in cassa 3 e 3* e nel Fosso Vecchio in corrispondenza della sezione a monte e a valle della cassa per Tr = 50 anni (B).

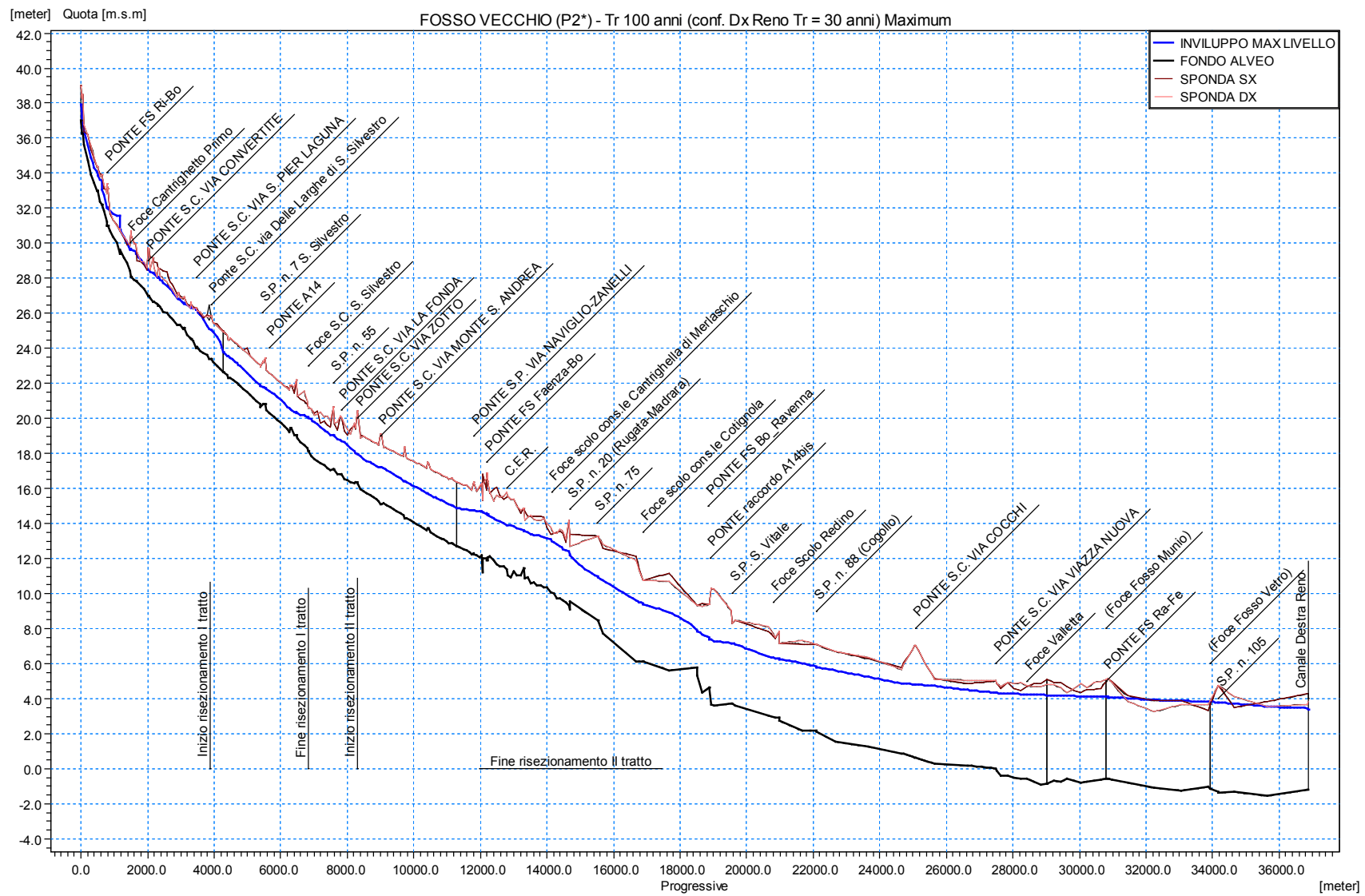


Figura 185 – Involuppo dei massimi livelli del Fosso Vecchio per Tr 100 anni, nello scenario con casse P2* (B).

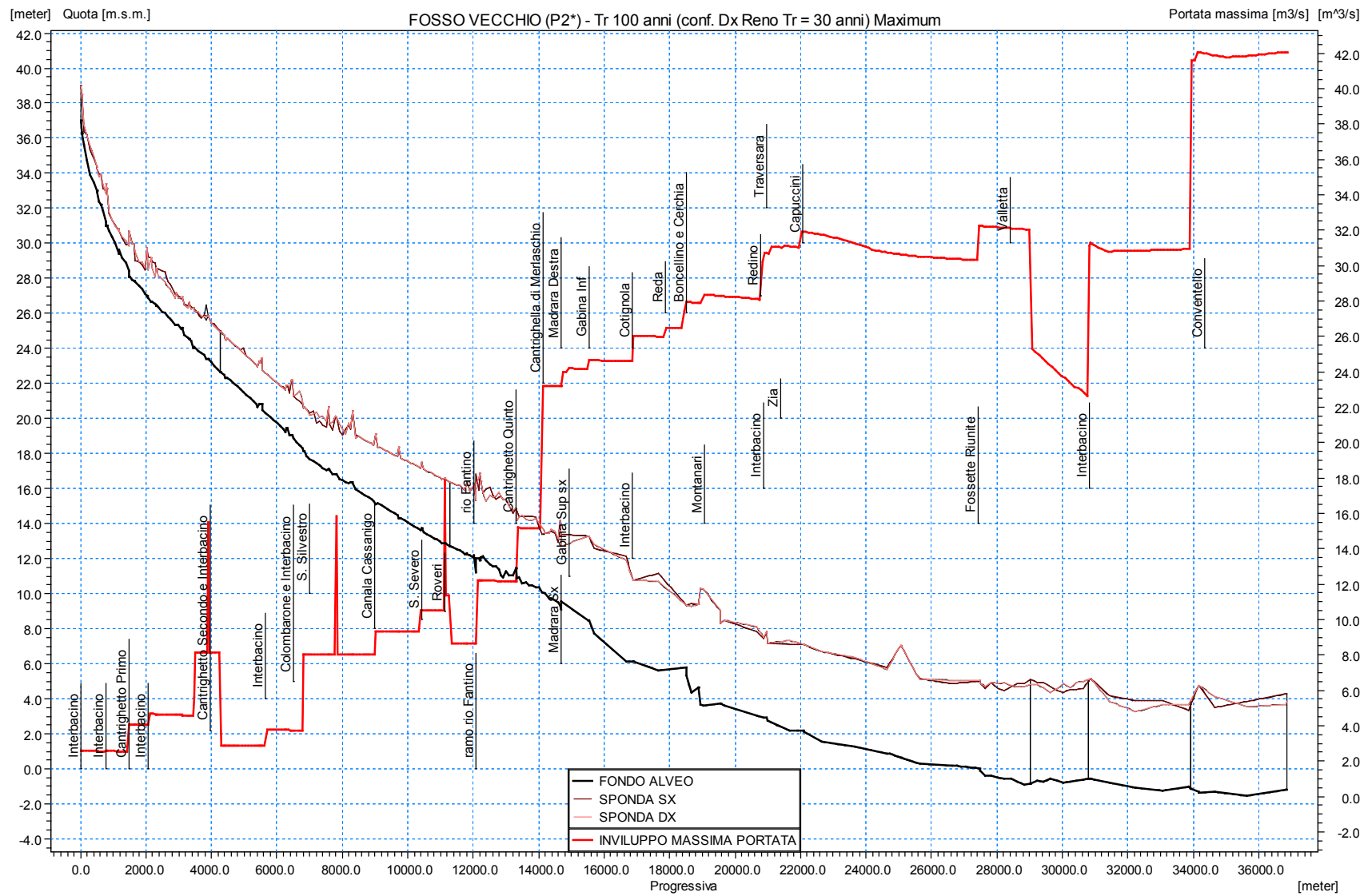


Figura 186 – Inviluppo delle massime portate del Fosso Vecchio per Tr 100 anni, nello scenario con casse P2* (B).

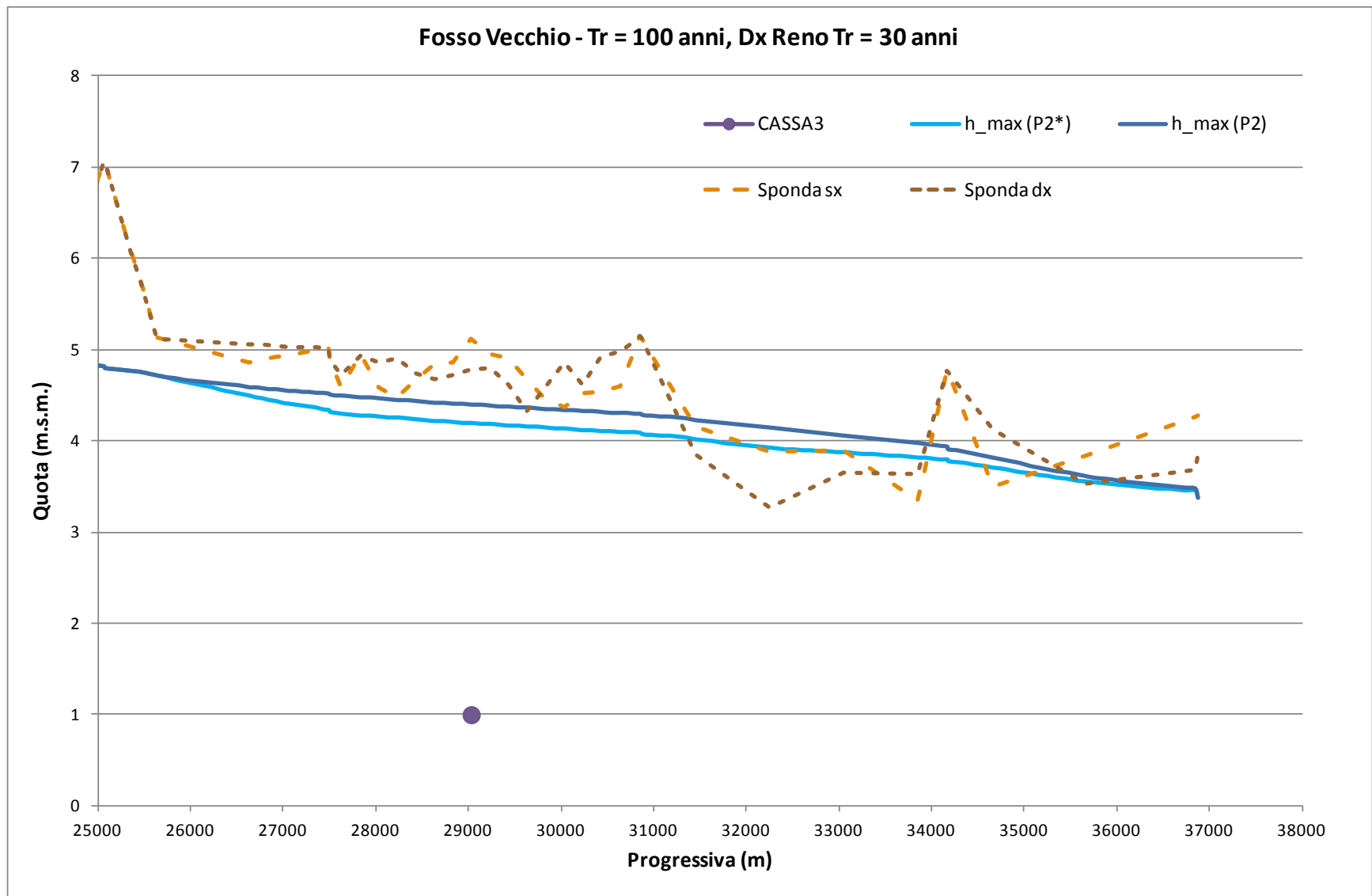


Figura 187 – Involuppo delle massime portate del Fosso Vecchio per Tr 100 anni, negli scenari con casse P2 e P2* (B).

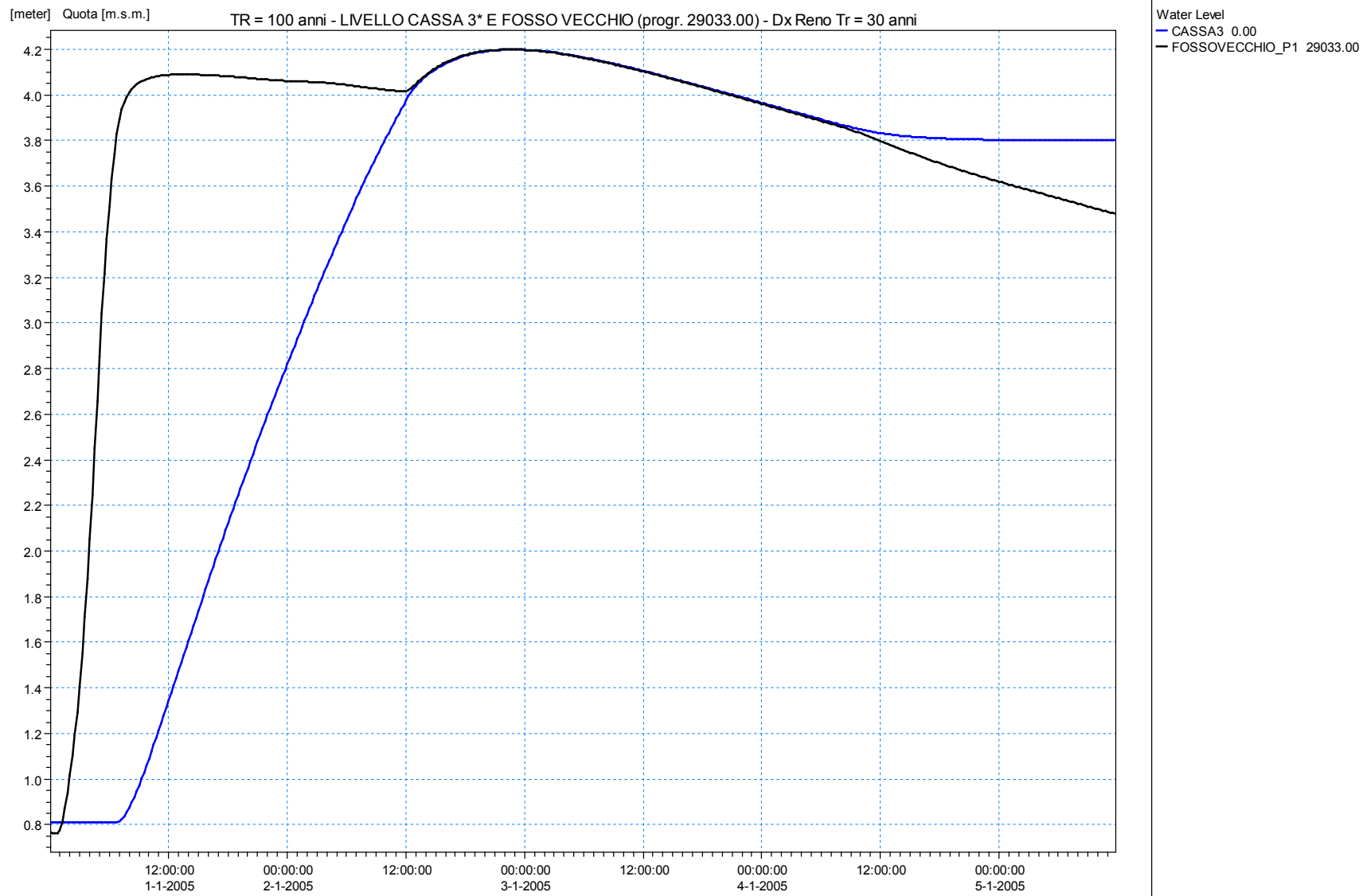


Figura 188 – Livello in cassa 3* e nel Fosso Vecchio per Tr = 100 anni (B).

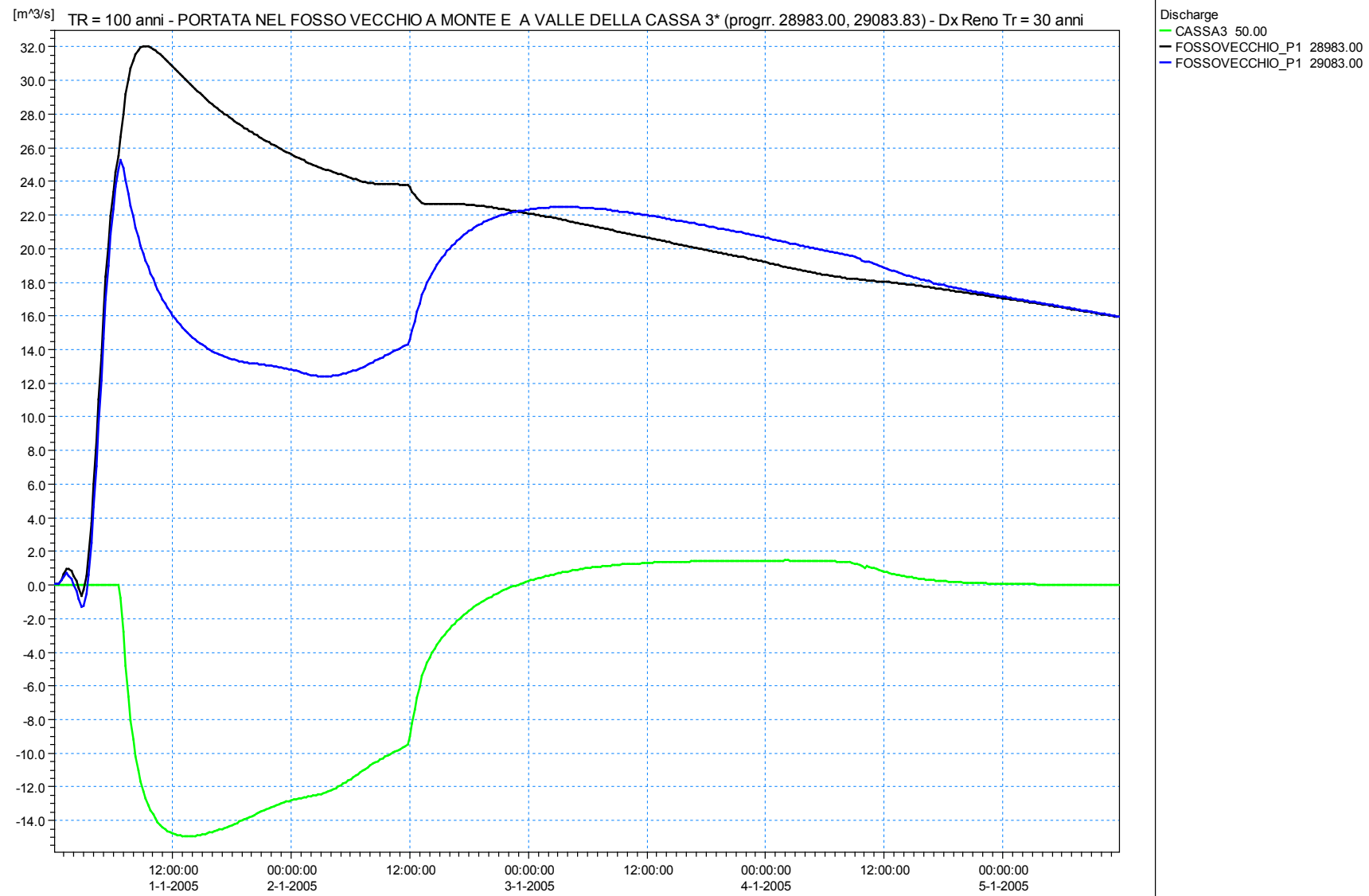


Figura 189 – Portate in cassa 3* e nel Fosso Vecchio in corrispondenza della sezione a monte e a valle della cassa per Tr = 100 anni (B).

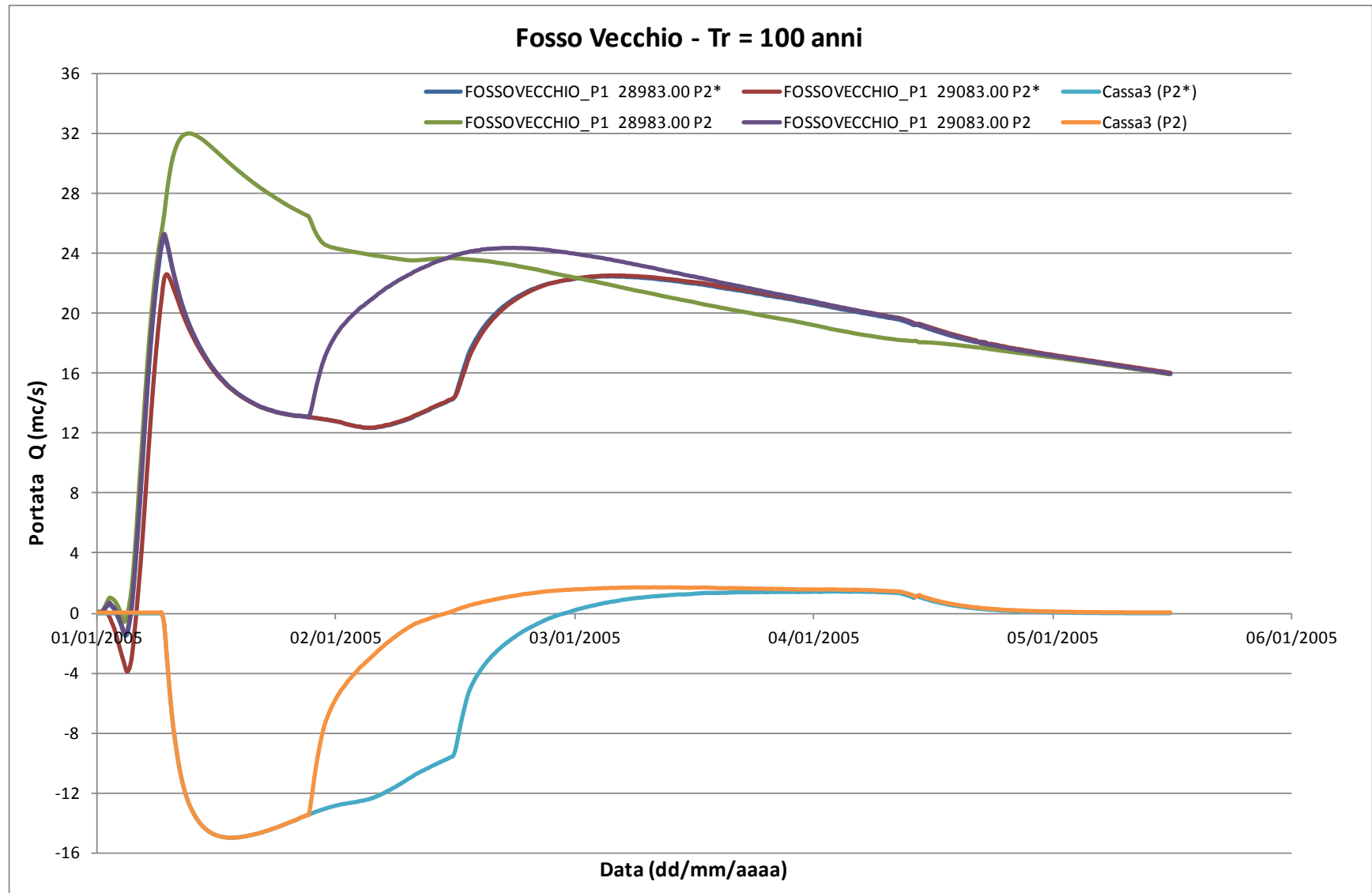


Figura 190 – Portate in cassa 3 e 3* e nel Fosso Vecchio in corrispondenza della sezione a monte e a valle della cassa per Tr = 100 anni (B).

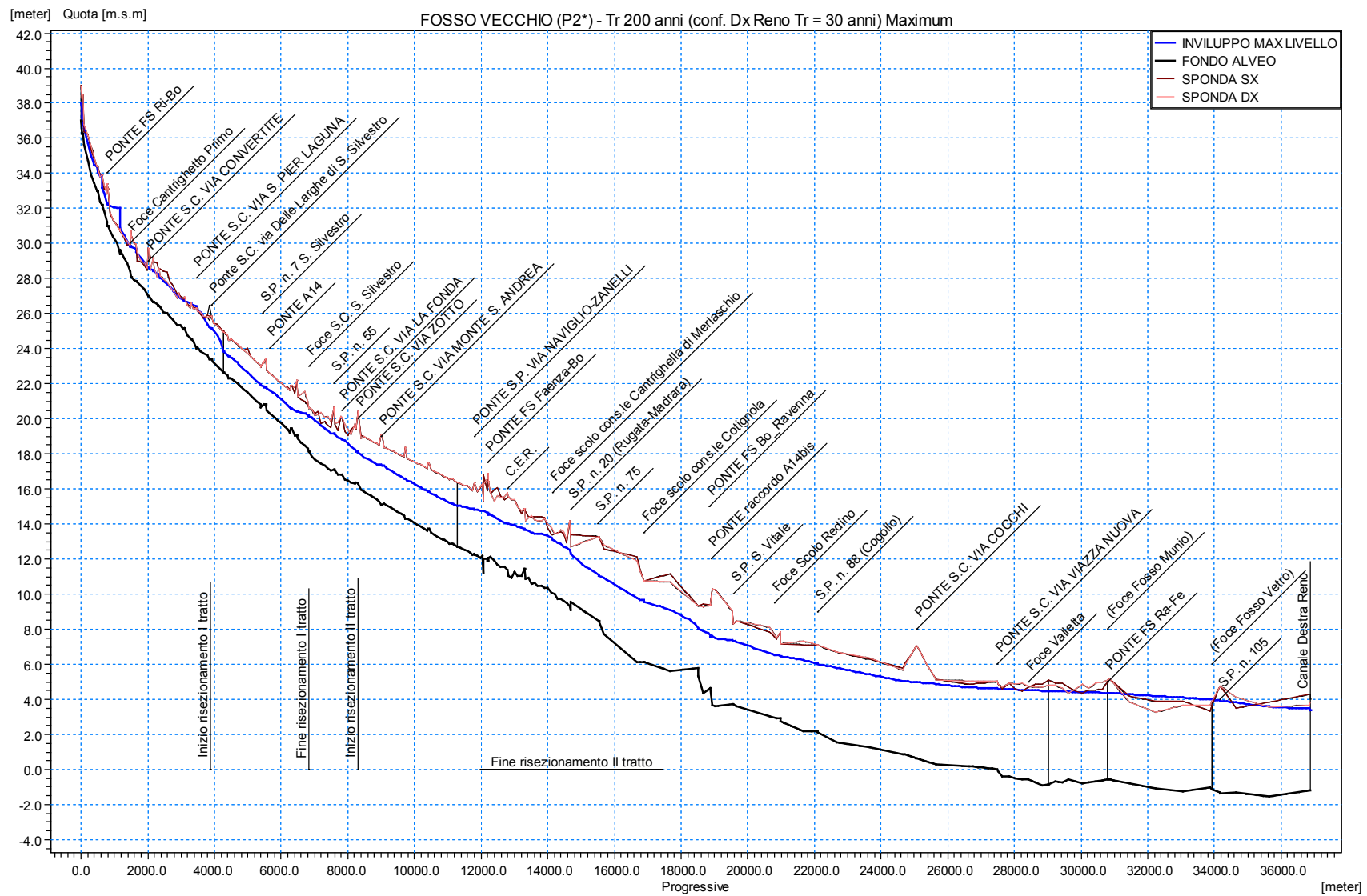


Figura 191 – Involuppo dei massimi livelli del Fosso Vecchio per Tr 200 anni, nello scenario con casse P2* (B).

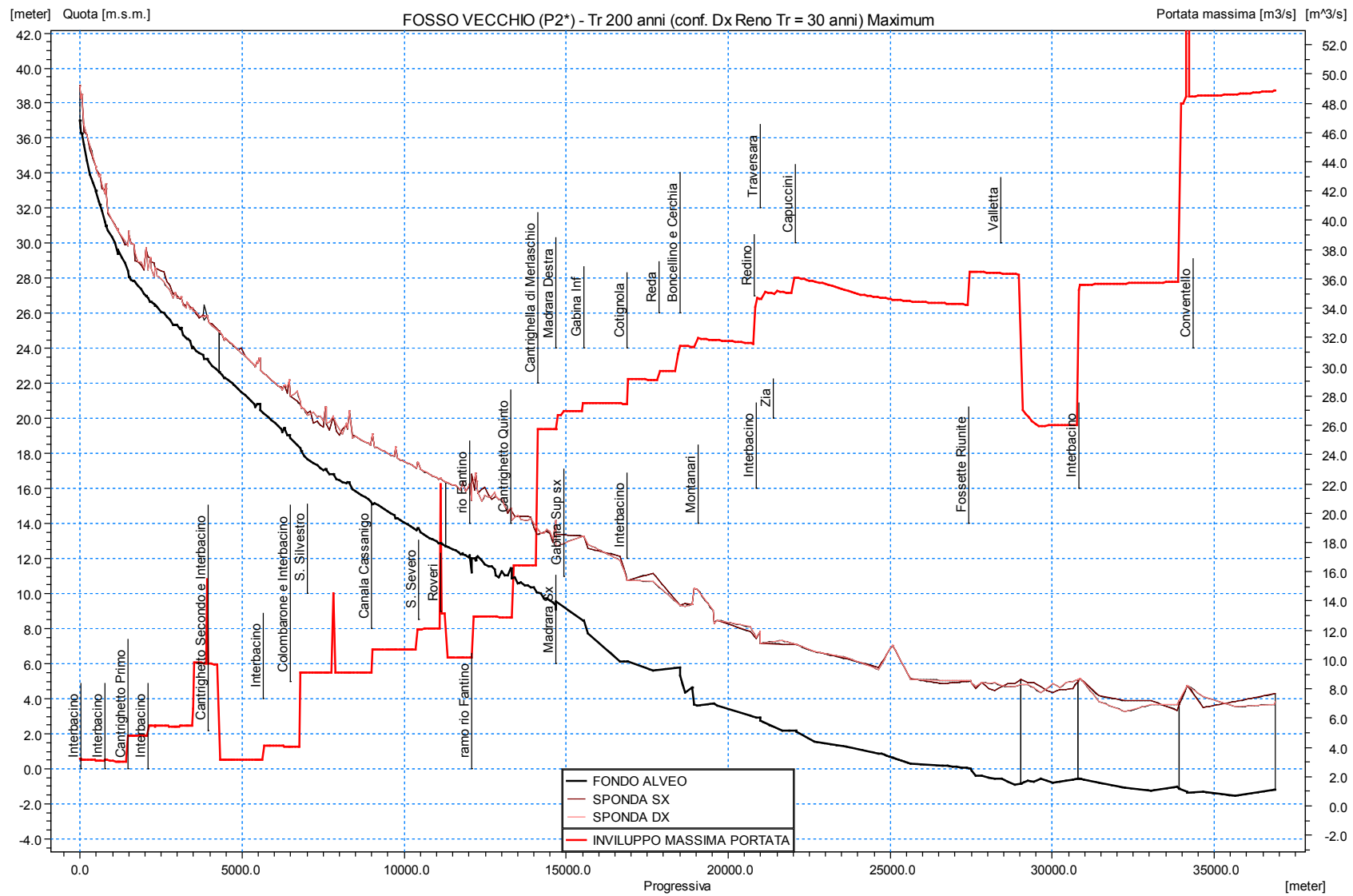


Figura 192 – Inviluppo delle massime portate del Fosso Vecchio per Tr 200 anni, nello scenario con casse P2* (B).

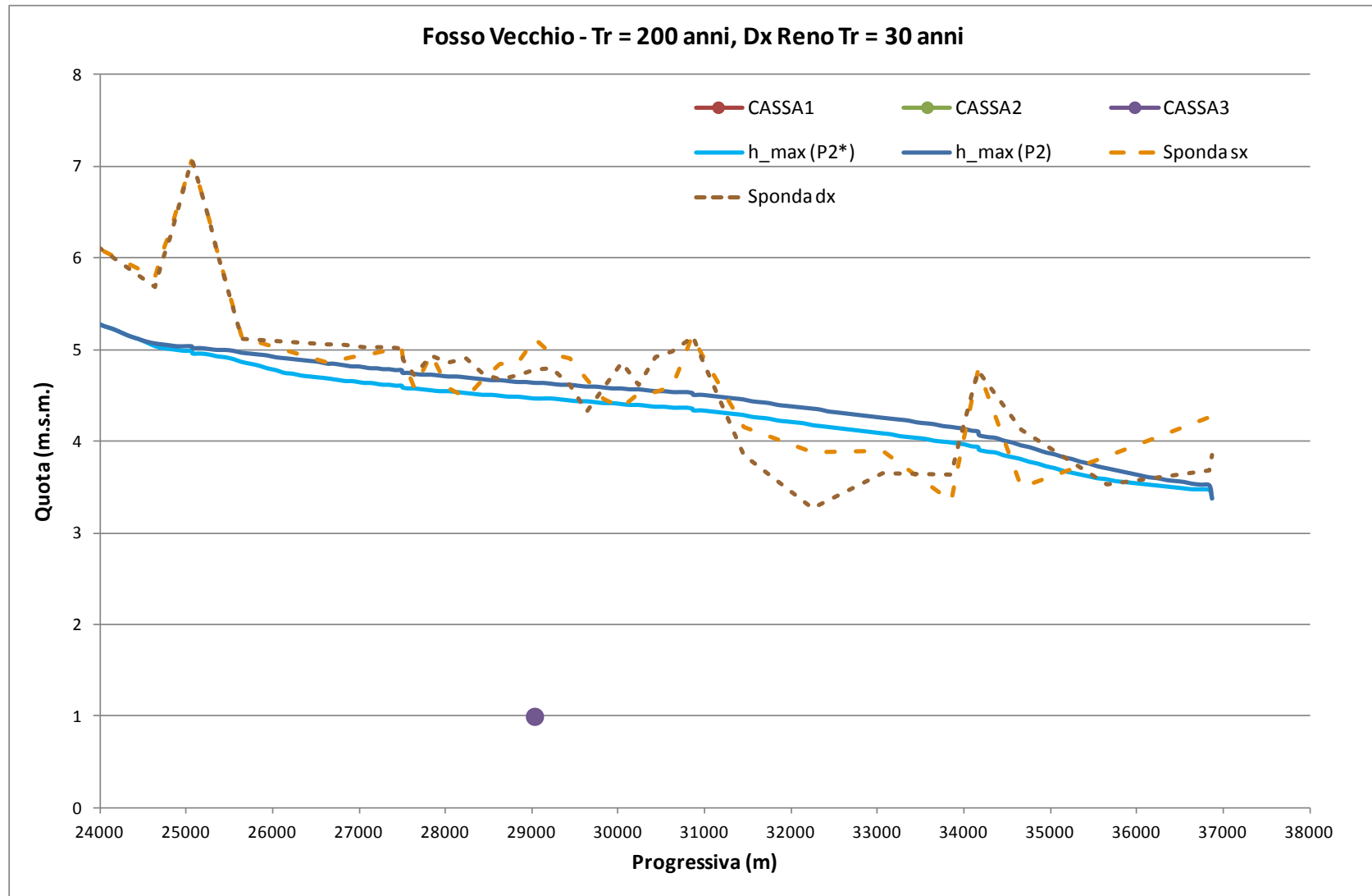


Figura 193 – Inviluppo delle massime portate del Fosso Vecchio per Tr 200 anni, negli scenari con casse P2 e P2* (B).

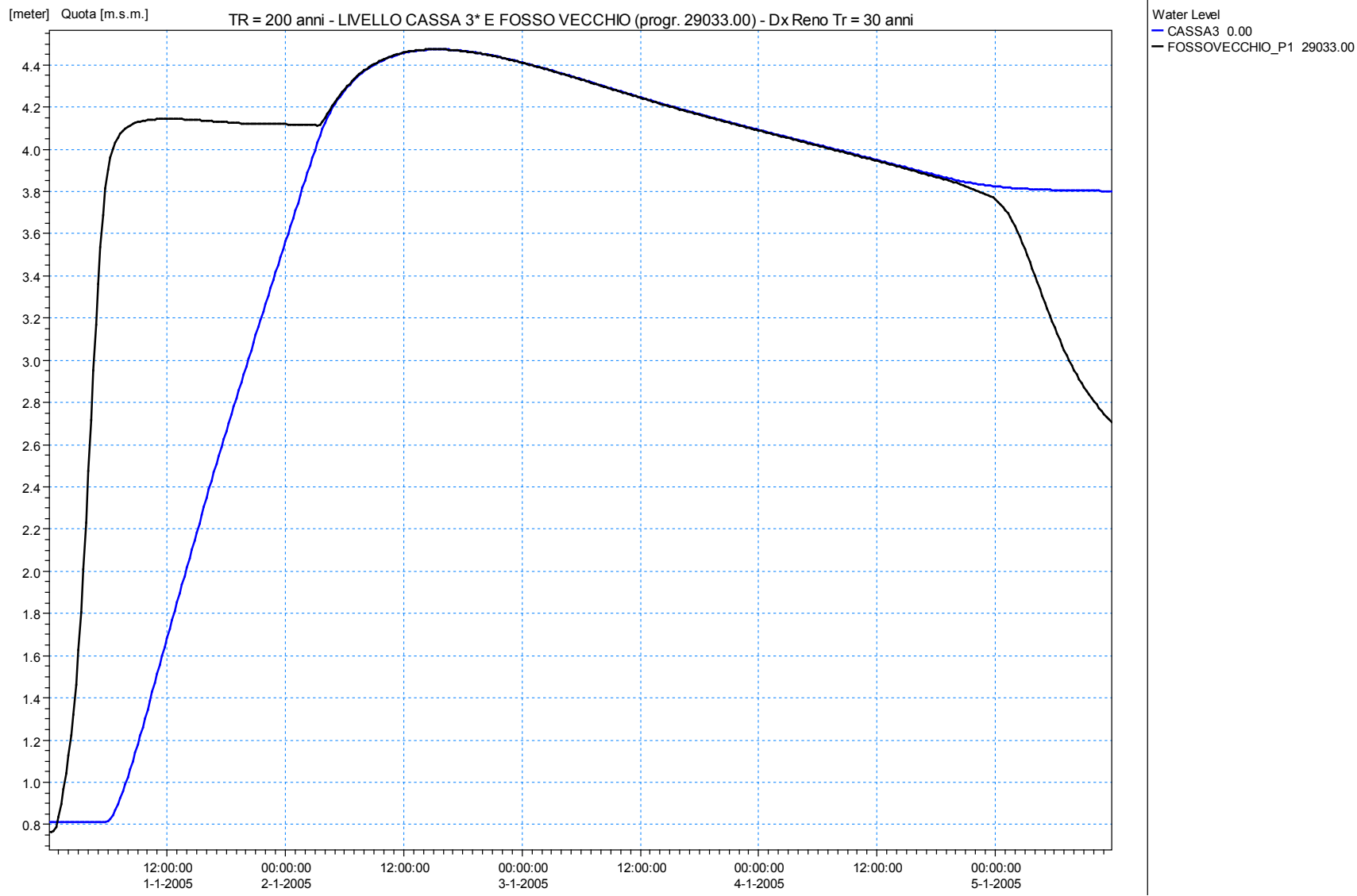


Figura 194 – Livello in cassa 3* e nel Fosso Vecchio per Tr = 200 anni (B).

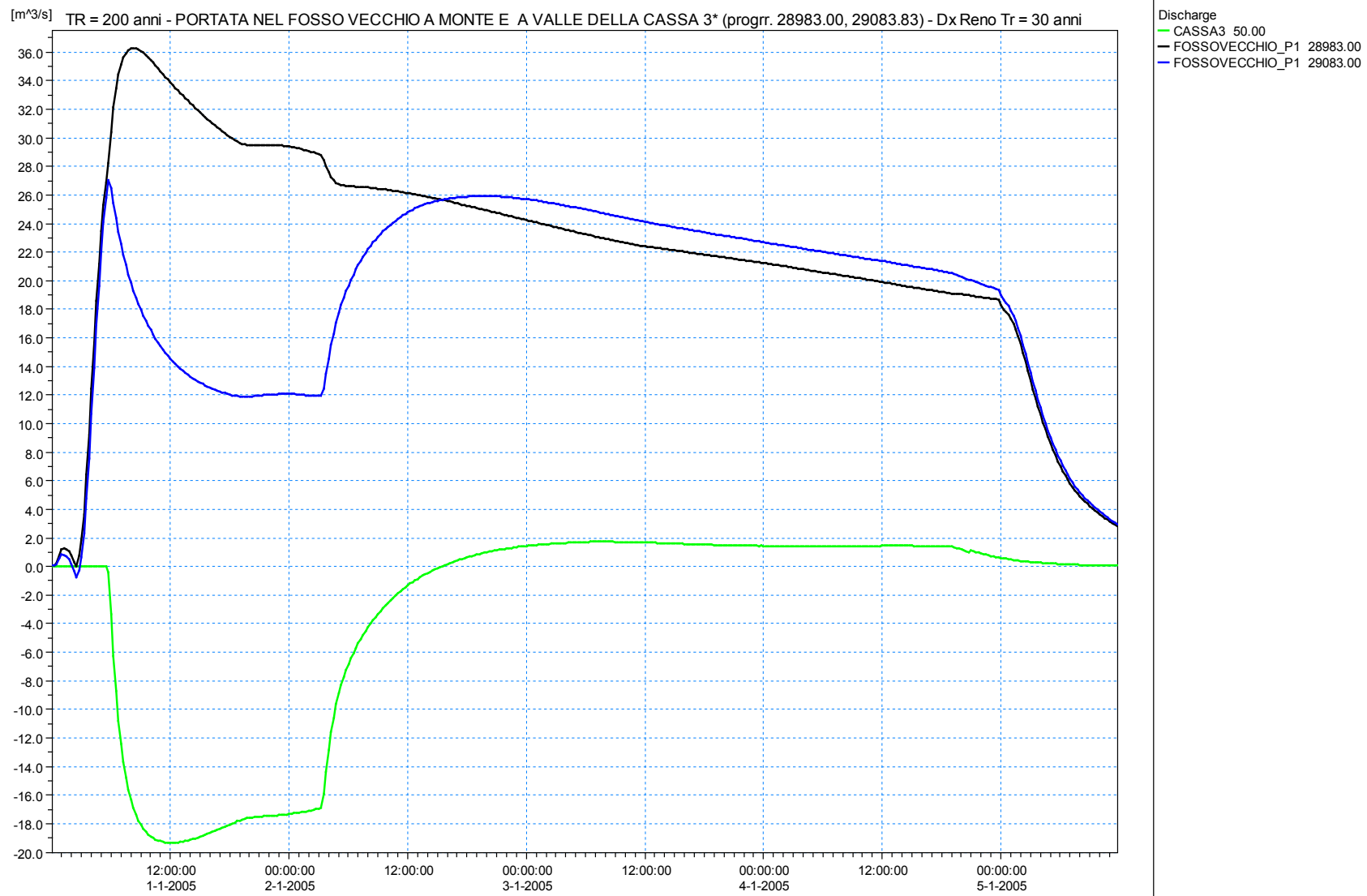


Figura 195 – Portate in cassa 3* e nel Fosso Vecchio in corrispondenza della sezione a monte e a valle della cassa per Tr = 200 anni (B).

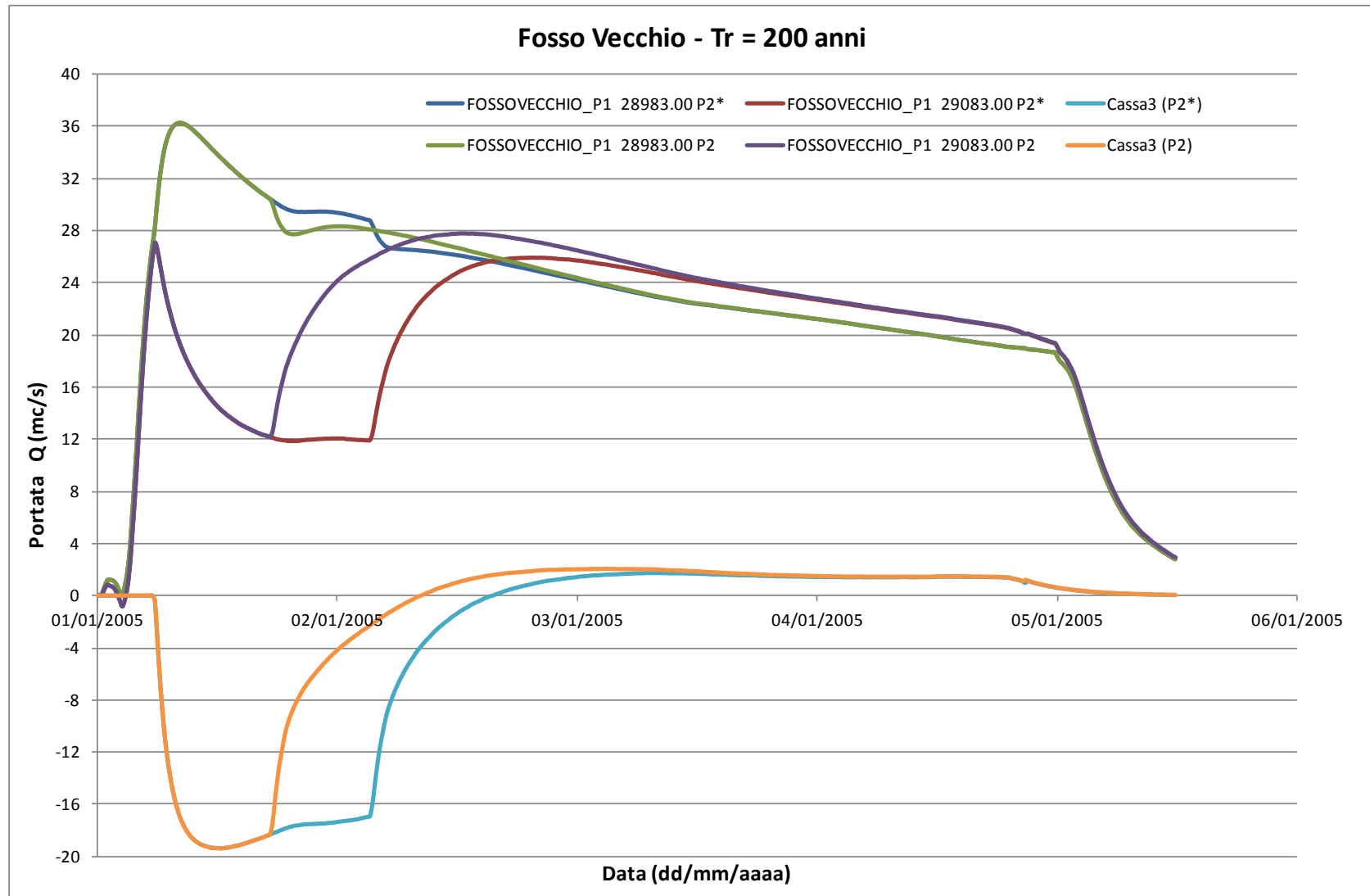


Figura 196 – Portate in cassa 3 e 3* e nel Fosso Vecchio in corrispondenza della sezione a monte e a valle della cassa per Tr = 200 anni (B).

7. CONCLUSIONI

Lo studio condotto sui bacini e reticoli idrografici del Fosso Vecchio, Fosso Munio e Fosso Vetro ha permesso, partendo dallo stato attuale, di verificare i benefici indotti dalla realizzazione di 3 casse di espansione sul Fosso Vecchio relativamente all'abbassamento dei tiranti idrici massimi e quindi alla riduzione di numero ed entità di eventi di esondazione.

La configurazione dei tre fossi dalla quale si è partiti (ATT) è quella antecedente alla risagomatura di due tratti del Fosso Vecchio e precedente anche all'eliminazione di una tombinatura (DN1000) lungo il Fosso Munio, con ripristino della sezione a cielo aperto.

Da tale punto di partenza, la prima ipotesi progettuale esaminata (indicata con P1) consiste nel deviare il Fosso Munio e il Fosso Vetro in un nuovo collettore parallelo al tracciato del Fosso Vecchio, posto in destra idraulica e confluyente direttamente e indipendentemente nel Canale a Destra di Reno; tale intervento permetterebbe di sgravare il Fosso Vecchio dall'apporto consistente dei due affluenti e questi ultimi, a loro volta, non risentirebbero del rigurgito dovuto alle condizioni del loro ricevente, ma, essendo da questo totalmente disgiunti, e confluendo in un canale di nuova costruzione opportunamente dimensionato, riuscirebbero più efficientemente a veicolare verso valle le loro rispettive portate di piena.

Si comprende ovviamente come tale ipotesi progettuale, aldilà dei suoi indubbi vantaggi idraulici, comporti oneri elevati, considerando i costi per la costruzione del nuovo collettore, nonché i relativi espropri da effettuare; non verrebbero inoltre eliminati i molteplici problemi di insufficienza locale delle tre aste.

L'ipotesi progettuale P1 tiene conto anche della eliminazione della condotta DN 1000 dell'attraversamento del metanodotto alla progressiva 4233 m del fosso Munio, con ripristino del tratto a cielo aperto, e del rizezionamento di due segmenti del Fosso Vecchio, tra la progressiva 3843 m e la progressiva 6823 m e tra la 8293 m e la 11'983 m.

Gli esiti delle simulazioni idrauliche consentono di apprezzare i benefici indotti dagli interventi localizzati su Munio e Vecchio.

In particolare il consistente rigurgito prodotto dalla presenza della condotta DN 1000 alla progressiva 4233 m circa del Munio, a seguito della rimozione della stessa si riduce sensibilmente; l'effetto della eliminazione della strozzatura, valutabile in circa 70 cm per l'evento trentennale, non risolve però tutti i problemi di insufficienza del tratto, caratterizzato da tombinature frequenti (ogni 200 - 300 m), pur alleggerendo notevolmente il carico idraulico.

Al fine di ridurre il rischio di allagamento, sarebbero necessari ulteriori interventi localizzati (rimozione di tombinature, o sostituzione di quelle esistenti con altre di maggiore sezione trasversale); le simulazioni condotte permettono di comprendere quali solo i tratti più critici (anche per tempi di ritorno bassi) ed inoltre è possibile verificare i benefici indotti dalla rimozione/sostituzione di alcune tombinature.

Relativamente agli interventi già eseguiti sul Fosso Vecchio di risagomatura dei tratti dalla progressiva 3843 m alla 6823 m e dalla 8293 m alla 11983 m, i risultati numerici delle simulazioni mostrano come la risagomatura induca un abbassamento dei tiranti idrici massimi dell'ordine di 40 cm.

Infine, la simulazione con configurazione di progetto P1 permette di osservare come la disgiunzione dei due affluenti, Fosso Munio e Fosso Vetro, dal Fosso Vecchio, indurrebbe ineluttabilmente un miglioramento del funzionamento di quest'ultimo (abbassamento massimo dell'involuppo di piena di 75 cm circa per Tr 30 anni e di quasi 1 m per Tr 200 anni, per lo scenario A; per lo scenario B, a causa del rigurgito indotto dal transito della piena trentennale nel Destra Reno, tale riduzione non supera mai i 50 cm); l'abbassamento dei massimi tiranti indotto da tale intervento, inoltre, si ha anche in sezioni più a monte dei punti di immissione del Munio e del Vetro, a causa del fenomeno di rigurgito indotto dall'ingresso delle portate defluenti negli stessi.

L'operazione di disgiunzione del Fosso Munio e del Fosso Vetro dal Fosso Vecchio comporta anche molteplici difficoltà, che inducono ad abbandonare tale ipotesi, rispetto ad altre meno costose e di più semplice realizzazione:

- necessità di realizzare sul Fosso Munio una botte sifone per sottopassare il Fosso Vecchio e per collegare il Munio al Vetro a monte della sede ferroviaria e della SS16, se l'officiosità del Fosso Vetro è tale da permettere l'ingresso del Munio in sicurezza;
- nel caso in cui le portate transitanti nel Vetro e la sua geometria non consentano l'allacciamento del Munio a monte di ferrovia e SS16, si aggiunge la necessità di realizzare due tombinature in corrispondenza di tali attraversamenti;
- risagomatura del tratto del Fosso Vetro dalla nuova confluenza del Fosso Munio sino all'ex confluenza del Fosso Vecchio e realizzazione, in prosecuzione verso valle di questo, di un nuovo tratto a cielo aperto fino a scarico nel Destra Reno, per una lunghezza di circa 3 km;
- problemi, oltre che tecnici e di copertura economica, di tempo e spese per le acquisizioni catastali dei futuri sedimi dei due fossi.

Per le simulazioni condotte allo stato progettuale P2, ossia con la presenza delle 3 casse di espansione sul Fosso Vecchio preventivamente individuate con i tecnici del Consorzio, si è partiti dal reale stato attuale dei fossi, ossia tratti risagomati nel Fosso Vecchio, eliminazione della condotta DN100 lungo il Fosso Munio (come per la condizione P1) e con i due affluenti Munio e Vetro che si immettono, come oggi, nel F. Vecchio.

Le caratteristiche geometriche delle casse (area, altezza utile, volume immagazzinato in funzione del tirante idrico) e dei dispositivi di sfioro (quota e larghezza della soglia), sono state stabilite in fase "metaprogettuale" per tentativi e successive approssimazioni, ossia simulando il funzionamento delle 3 casse ed osservando i benefici indotti per un evento con tempo di ritorno centennale (condizione al contorno di valle nel Destra Reno: $h = 0.5$ m s.m.) al variare delle caratteristiche geometriche.

Una volta ottenuti risultati soddisfacenti ed ottimizzati, si è deciso di adottare le geometrie riportate in relazione e le simulazioni sono state condotte anche per i vari tempi di ritorno (30, 50, 100 e 200 anni), per le due condizioni al contorno A e B.

Dall'involuppo dei massimi livelli nel Fosso Vecchio, ottenuto dalla simulazione condotta per $T_r = 100$ anni e condizione al contorno di valle $h = 0.5$ m s.m nel Destra Reno, si osserva come la presenza delle casse induca un elevato abbattimento dei tiranti a monte e a valle delle stesse, garantendo lo smaltimento in sicurezza della portata con tempo di ritorno centennale, anche lungo tratti che attualmente risultano idraulicamente insufficienti.

In particolare, si osservano abbattimenti del tirante idrico massimo fino a 75 cm e 80 cm per le casse 1 e 2, mentre inferiore è l'abbattimento indotto dalla cassa più a valle, fino ad un massimo di circa 65 cm. Data la sua notevole estensione, e quindi notevole capacità di immagazzinamento, il funzionamento della cassa 3 si ripercuote positivamente per diverse sezioni a monte e a valle della cassa stessa.

La presenza delle casse annulla la maggior parte delle criticità attualmente presenti nel Fosso Vecchio; naturalmente, non possono essere risolte alcune criticità puntuali dovute ad abbassamenti localizzati delle sponde (progressiva 32'245 m).

Queste condizioni specifiche possono essere risanate intervenendo puntualmente, ad esempio con un riporto di terreno od attività di consolidamento; l'abbattimento dei tiranti idrici massimi dovuti alla presenza della cassa 3, nel caso specifico, permette comunque di intervenire con un intervento localizzato ad un tratto di lunghezza ridotta e sarà necessario per la messa in sicurezza il raggiungimento di quote inferiori rispetto allo stato attuale.

I grafici delle portate in ingresso alle tre casse in funzione del tempo permettono di determinare il volume immagazzinato nelle casse durante il verificarsi degli eventi (area sottesa dalla curva $Q(t)$); gli idrogrammi di piena transitanti nel Fosso Vecchio a monte e a valle delle tre casse permettono di apprezzare l'effetto positivo di decurtazione della portata transitante nel Fosso Vecchio dovuto all'attivazione delle casse. Le stesse considerazioni sono state svolte per gli eventi con tempo di ritorno di 200, 50 e 30 anni, per le due condizioni al contorno A e B.

In generale, per l'evento con tempo di ritorno 30 anni già la configurazione attuale del Fosso Vecchio risulta essere sufficiente, a meno della sezione critica di cui sopra (progressiva 32'245 m), mentre per l'evento con $Tr = 50$ anni le criticità attualmente presenti vengono risolte grazie alla presenza delle tre casse.

Per l'evento con $Tr = 200$ anni le criticità che attualmente si verificano nel faentino, tra la progressiva 6'696 m (foce scolo consorziale S. Silvestro) e la 7'506 m (attraversamento S.P. 55) sono risolte dalla presenza della cassa 1, che mette così in sicurezza un tratto lungo oltre 1 km; anche le sezioni interessate da esondazione tra le progressive 14'006 m (foce scolo consorziale Cantrighella di Merlaschio) e 14'688 m (attraversamento S.P. 20) sono messe in sicurezza dalla presenza delle casse.

A monte dell'ultima cassa (dalla progressiva 25544 m, a valle del ponte di Via Cocchi), allo stato attuale il Fosso Vecchio risulta insufficiente quasi ovunque a garantire il transito della piena duecentennale in sicurezza; la presenza della cassa 3 risolve le criticità in molte sezioni e la riduce nelle restanti. Si comprende, quindi, come tali dispositivi di laminazione garantiscano ovunque condizioni di maggiore sicurezza per i territori interessati.

La presenza delle 3 casse, inoltre, genera degli effetti positivi anche sugli affluenti Munio e Vetro, in quanto, abbassando i tiranti massimi osservabili nel Fosso Vecchio in corrispondenza dei punti di immissione dei due affluenti, questi risentono meno degli effetti di rigurgito e quindi per le sezioni vallive si osserva un abbassamento dei livelli massimi.

Poiché i tratti più critici dei due affluenti sono quelli più a monte, non influenzati dalla presenza della cassa 3 nel Fosso Vecchio e caratterizzati da frequenti tombature (spesso insufficienti), per ridurre la probabilità di esondazione lungo tali tratti risulterebbe conveniente intervenire su alcune tombature insufficienti a garantire il transito delle portate anche per eventi con tempi di ritorno bassi.

Quando il Destra Reno è interessato dal transito dell'evento di piena trentennale (configurazione B) i livelli idrici nel tratto vallivo del Fosso Vecchio si mantengono elevati a causa degli effetti di rigurgito; in tal caso, l'effetto positivo indotto dalla cassa 3 nel tratto vallivo del Fosso Vecchio è limitato.

I tratti più a monte non risentono invece di tale condizione e di conseguenza gli effetti indotti dalla presenza delle due casse 1 e 2 non subiscono cambiamenti (a meno, ovviamente, del tratto compreso tra la cassa 2 e la 3, influenzato dal funzionamento di quest'ultima).

Dal confronto delle due configurazioni A e B per l'evento con $Tr = 100$ anni, si osserva come il riempimento della cassa 3 avvenga più rapidamente nella configurazione B, rispetto alla configurazione A.

Al fine di aumentare la laminazione dell'onda di piena nel Fosso Vecchio, anche quando il Destra Reno è interessato da una piena importante (ad es. la trentennale), sono state condotte ulteriori simulazioni con la cassa 3 approfondita rispetto allo stato di progetto P2 (definita cassa 3*, facendo così passare la quota di fondo da 2.35 a 0.80 m.s.m); i risultati delle simulazioni permettono di osservare come lo scavo di 1.55 m comporterebbe un notevole aumento della capacità della cassa, permettendo così di immagazzinare un maggior volume d'acqua, decurtandola dall'onda di piena transitante nel Fosso Vecchio e riducendo l'entità della potenziale esondazione.

Tale soluzione andrà approfondita nelle successive fasi progettuali con accertamenti idrogeologici di dettaglio sulla falda freatica in sito e relative escursioni stagionali, accertandone la possibilità di adeguato drenaggio delle acque per mantenere il fondo cassa asciutto o, in alternativa, adottando una scelta completamente diversa di mantenimento di un laghetto perenne profondo (con escavazione da effettuare oltre i previsti +0.80 msm).

In tale configurazione di progetto P2*, l'approfondimento della cassa (3*), rispetto alla prima ipotesi (3), garantisce di immagazzinare all'interno della cassa un maggior volume ($\Delta V \cong 400'000 \text{ m}^3$), decurtandolo dall'onda di piena transitante nel Fosso Vecchio e garantendo un ulteriore abbattimento dei picchi di piena, fondamentale specialmente in occasione di forti e prolungati rigurgiti dal Canale di Bonifica in Destra Reno.

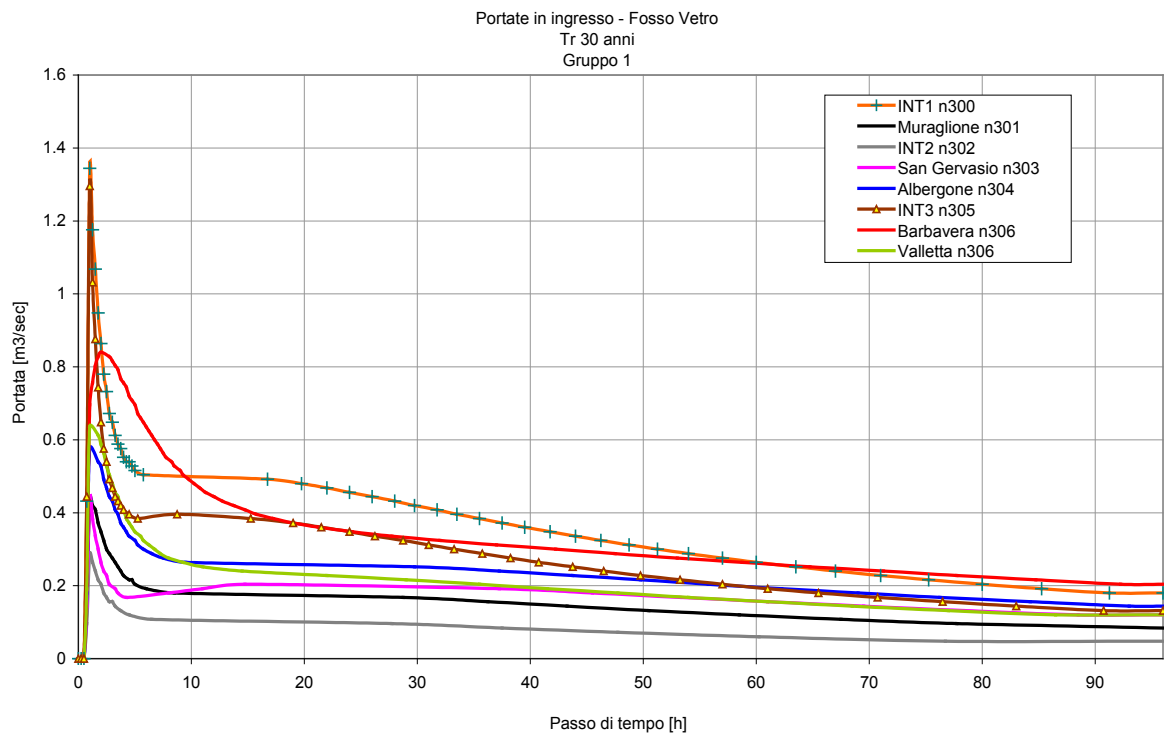
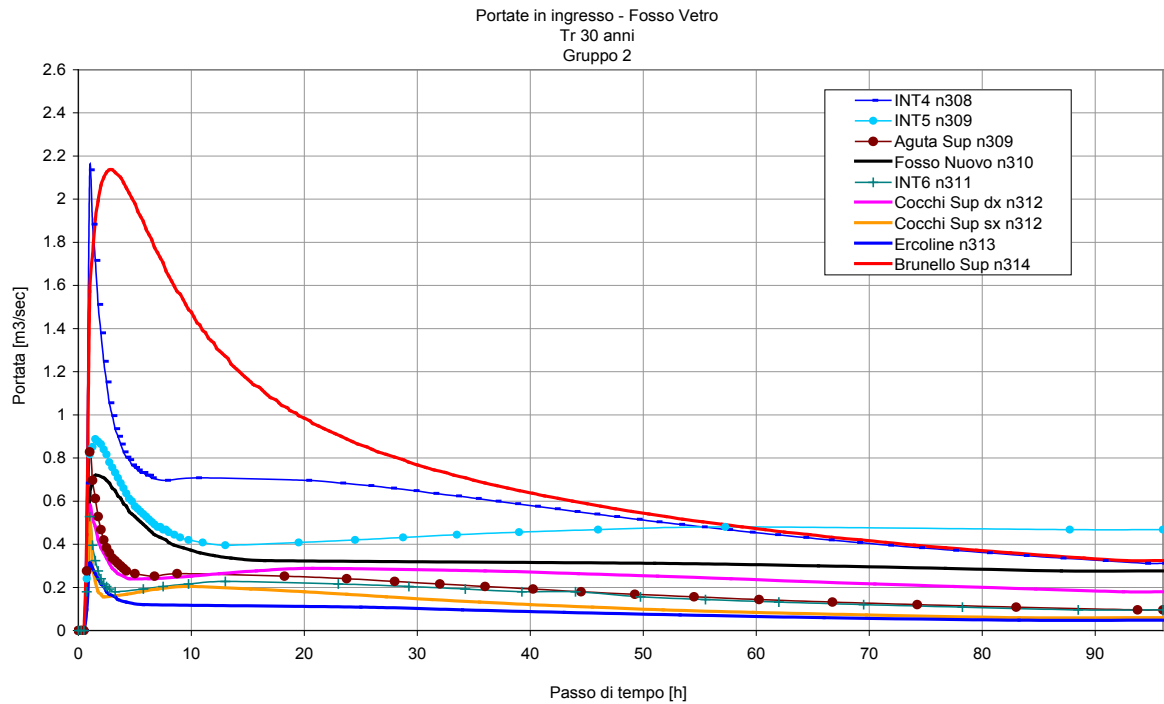
Si rileva infatti - una volta annullato il problema "locale" e di "maggiore criticità" della "cordamolla" tra le progressive 31'200 m e 34'300 m circa, sia in sinistra che (soprattutto) in destra idrografica - che:

- per $Tr = 50$ anni, il Fosso Vecchio è già in sicurezza idraulica nella configurazione P2, ma con P2* si ha un ulteriore abbattimento dei livelli idrici massimi nel tratto vallivo più critico fino a 15-20 cm (figura 181);
- per $Tr = 100$ anni, il Fosso Vecchio è già in sicurezza idraulica nella configurazione P2 con franchi arginali pressoché nulli, mentre con P2* si riuscirebbe a garantire ovunque un franco di quasi 0,3 m nel tratto vallivo più critico (figura 187);
- per $Tr = 200$ anni, il Fosso Vecchio, non in sicurezza idraulica nella configurazione P2, riuscirebbe nella configurazione P2* - anche se con franchi arginali pressoché nulli nei punti più ribassati e qualche residua possibilità di spagliamenti puntuali - a consentire ovunque lo smaltimento dell'onda di piena (figura 192)!

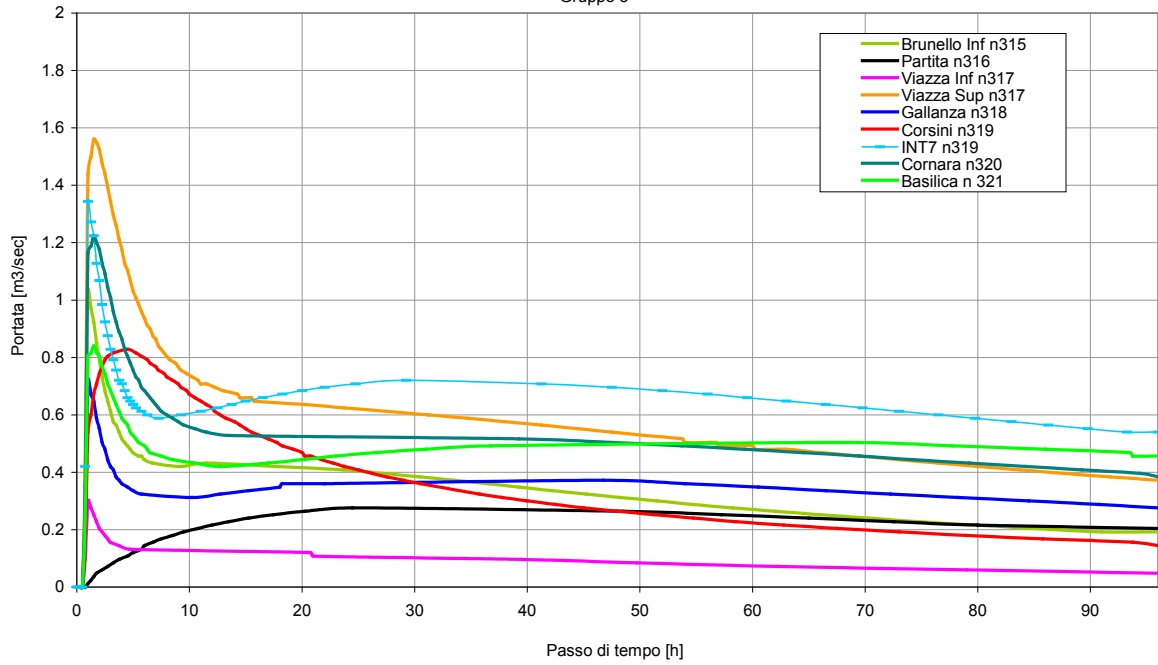
Si evince in conclusione che l'ulteriore potenziamento della cassa 3 (in 3*) risulterebbe di grande ausilio per garantire la sicurezza idraulica dei territori contigui al Fosso Vecchio anche in concomitanza di sue piene rigurgitate da contestuali livelli alti presenti nel recettore, il Canale di Bonifica in Destra di Reno.

APPENDICE A: IDROGRAMMI DI PIENA UTILIZZATI QUALI SOLLECITAZIONI DI INPUT IN INGRESSO ALLE ASTE DEL FOSSO VECCHIO, FOSSO VETRO E FOSSO MUNIO

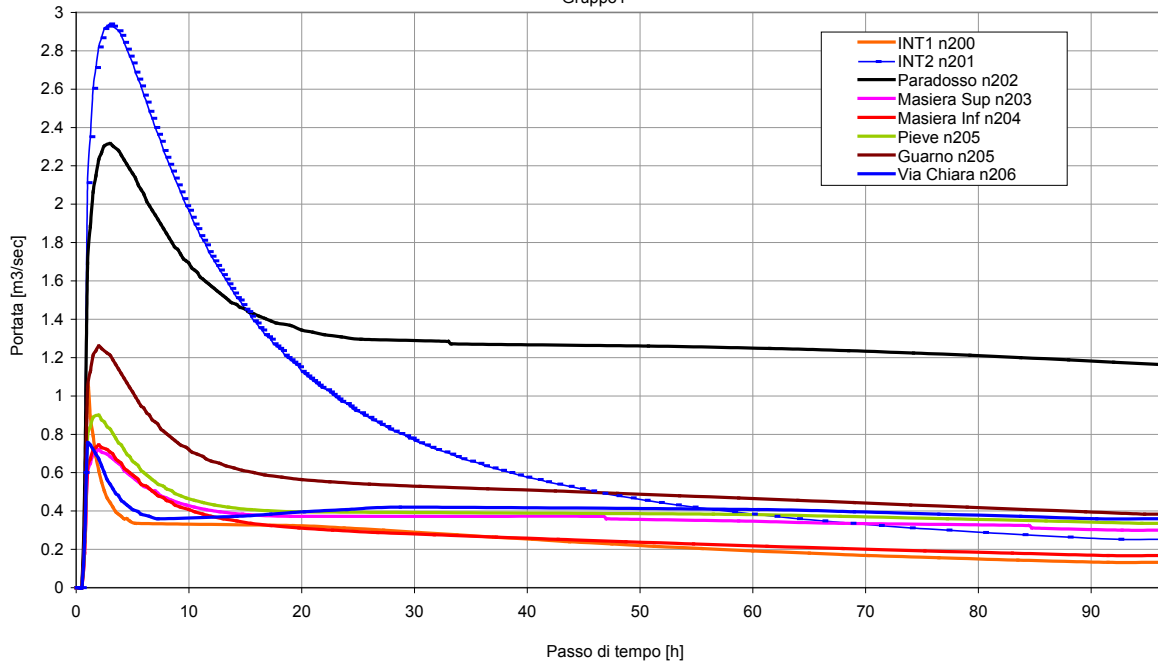
Tr 30 anni



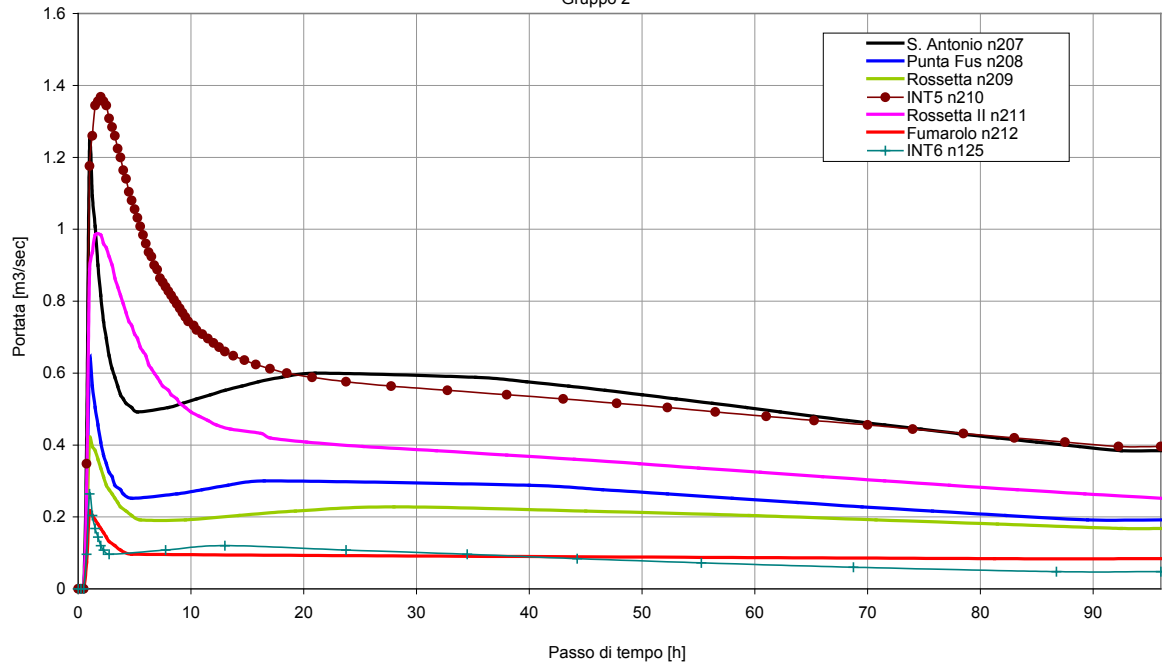
Portate in ingresso - Fosso Vetro
Tr 30 anni
Gruppo 3



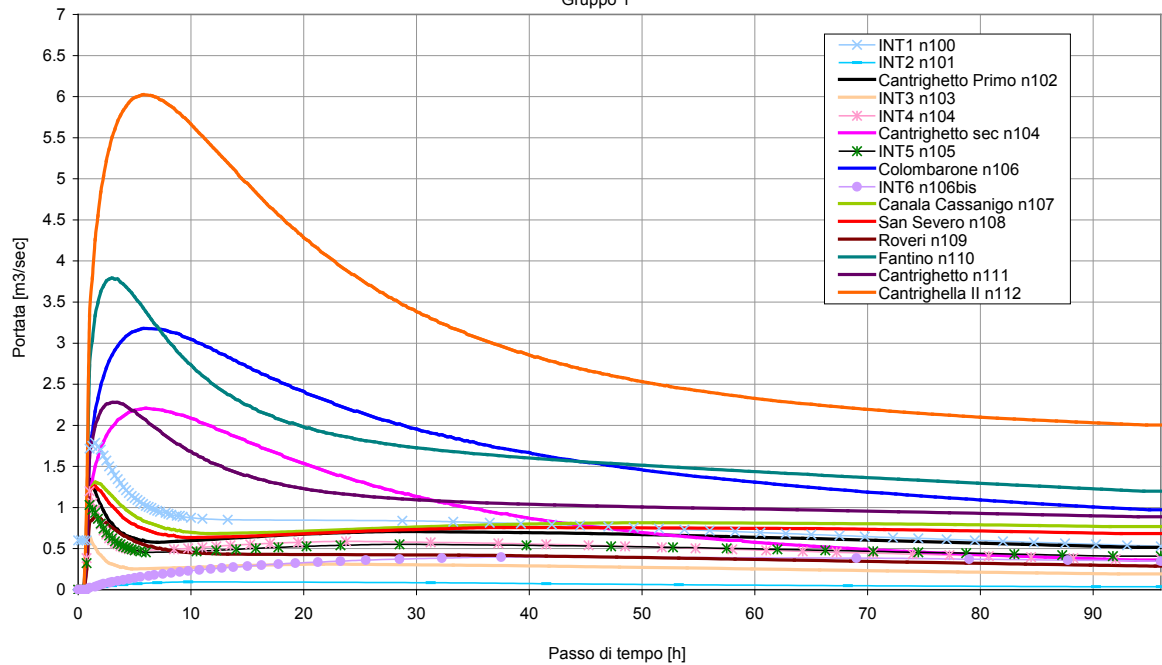
Portate in ingresso - Fosso Munio
Tr 30 anni
Gruppo1



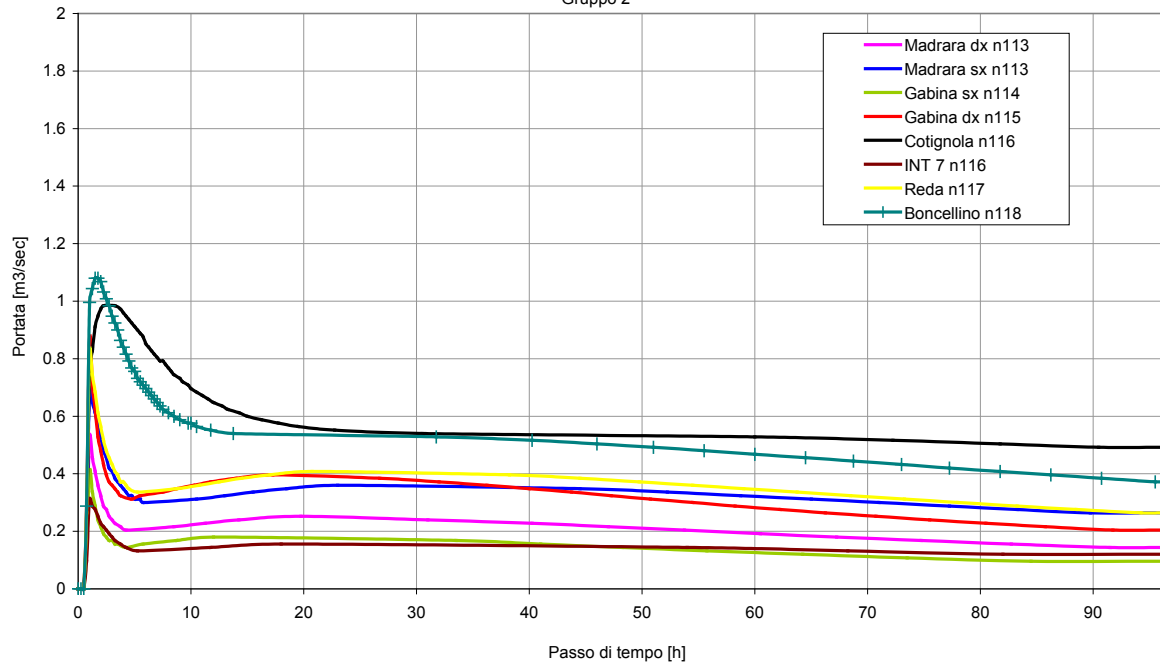
Portate in ingresso - Fosso Munio
Tr 30 anni
Gruppo 2



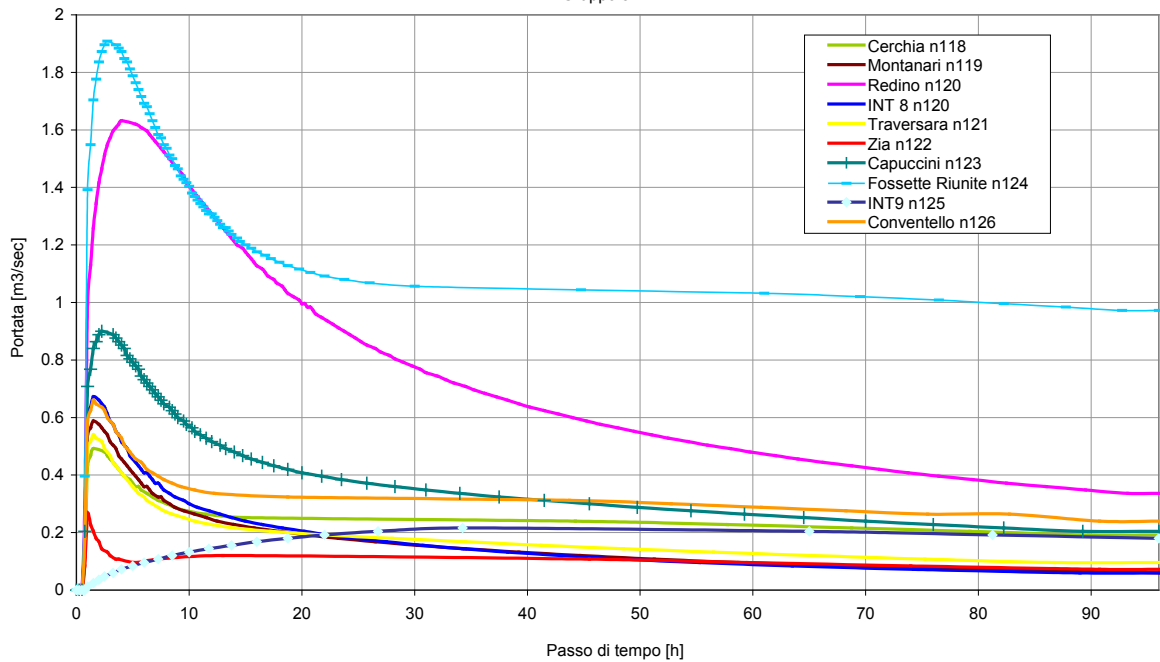
Portate in ingresso - Fosso Vecchio
Tr 30 anni
Gruppo 1



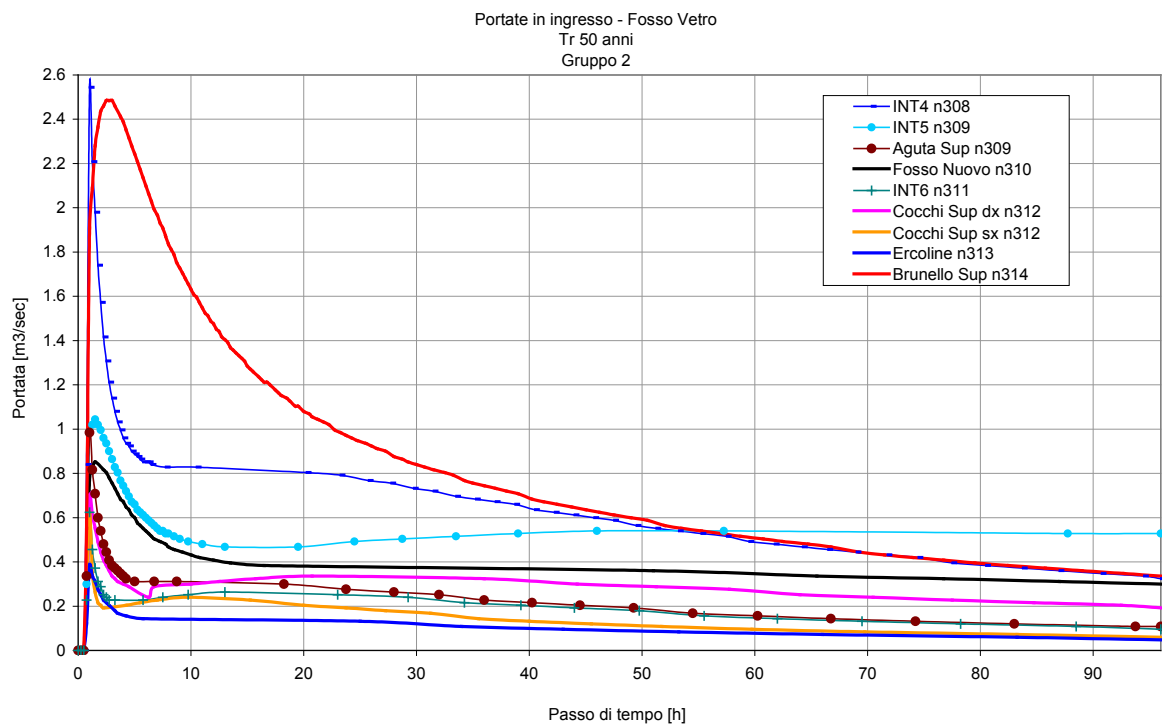
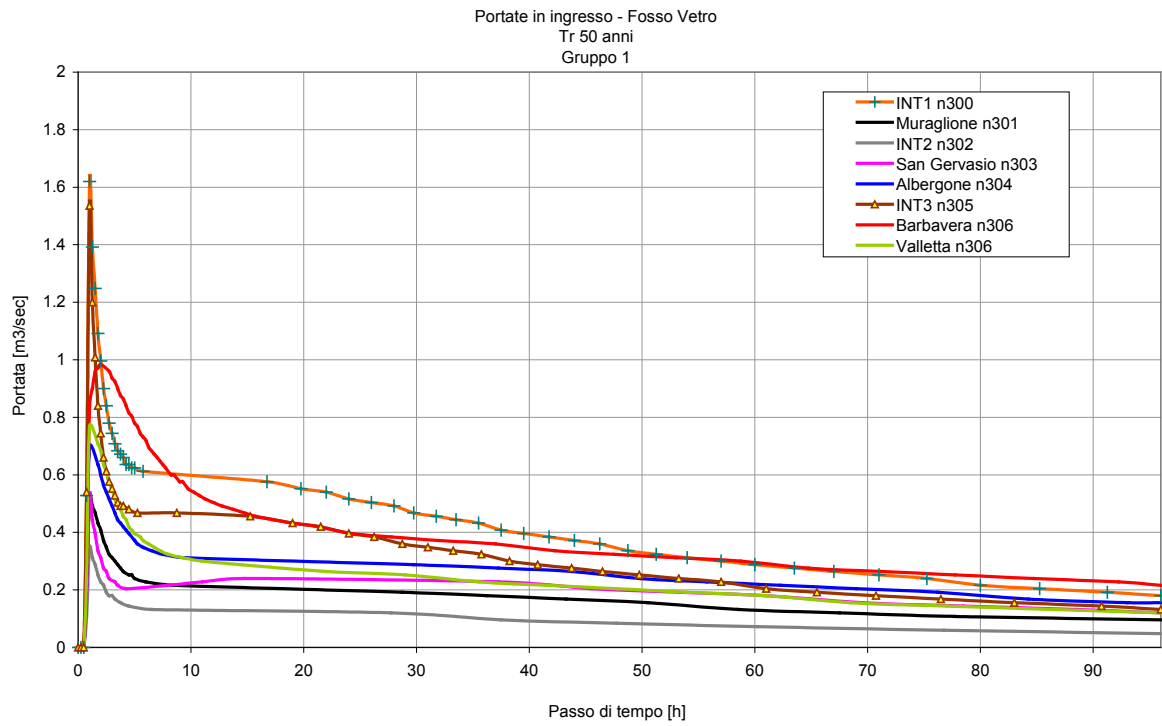
Portate in ingresso - Fosso Vecchio
Tr 30 anni
Gruppo 2



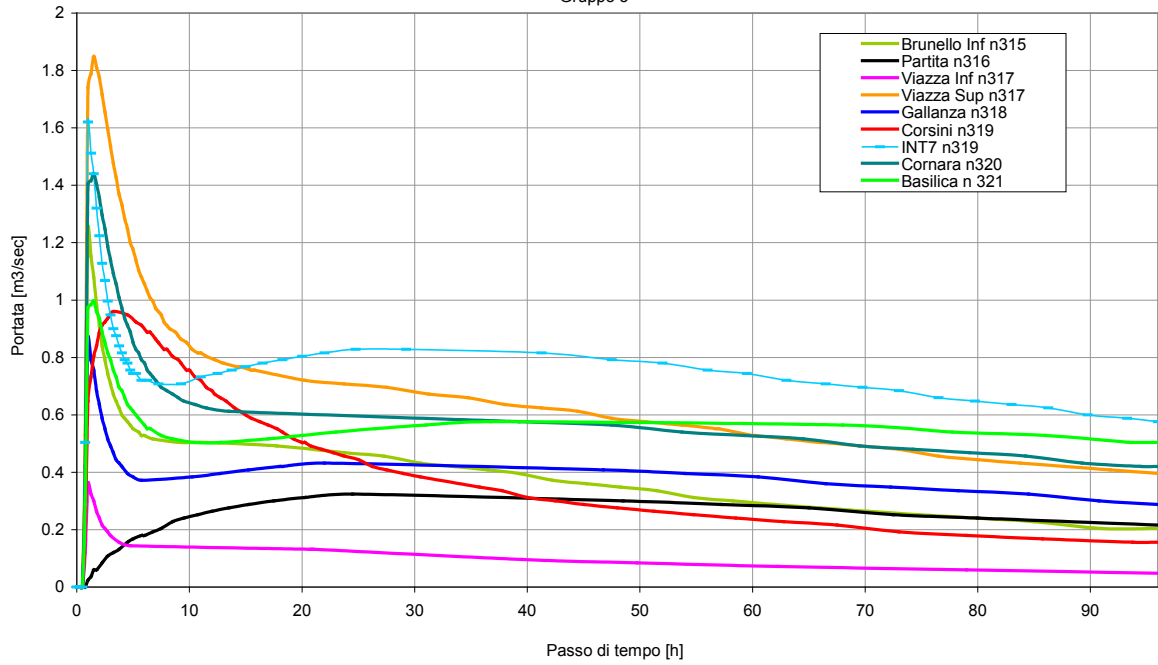
Portate in ingresso - Fosso Vecchio
Tr 30 anni
Gruppo 3



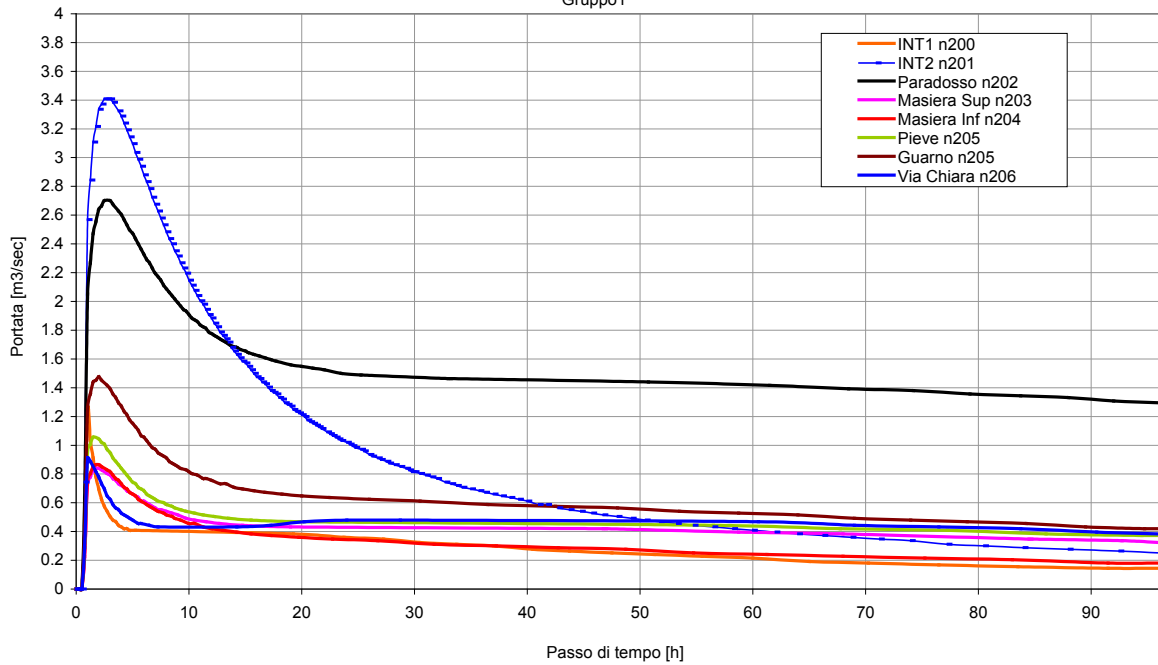
Tr 50 anni



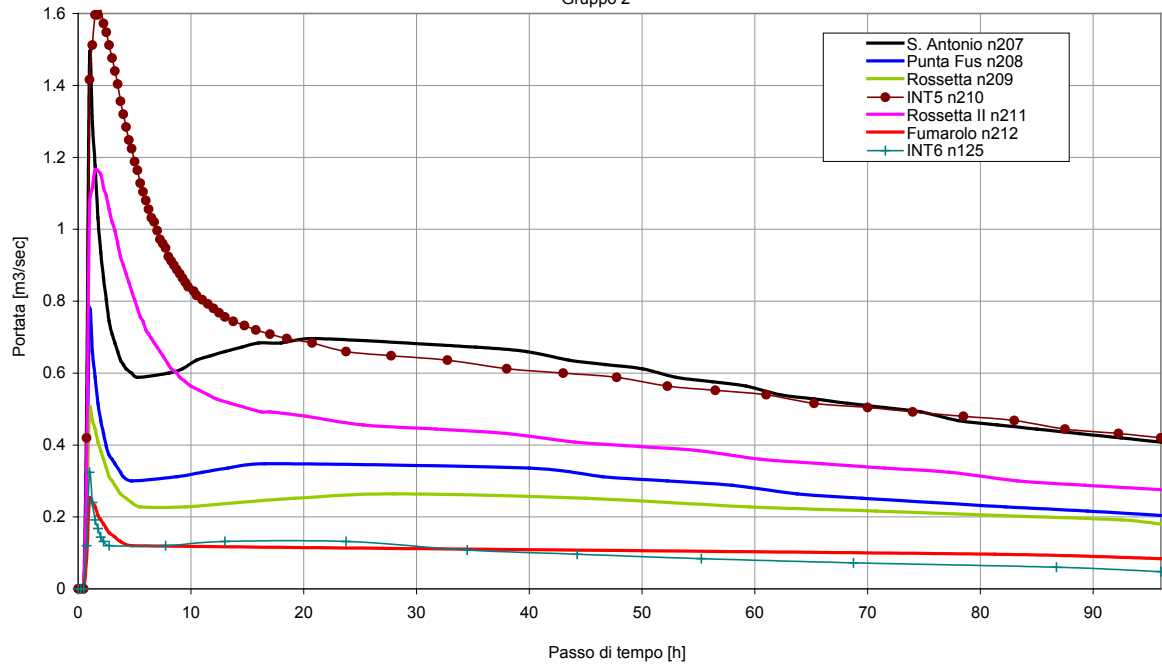
Portate in ingresso - Fosso Vetro
Tr 50 anni
Gruppo 3



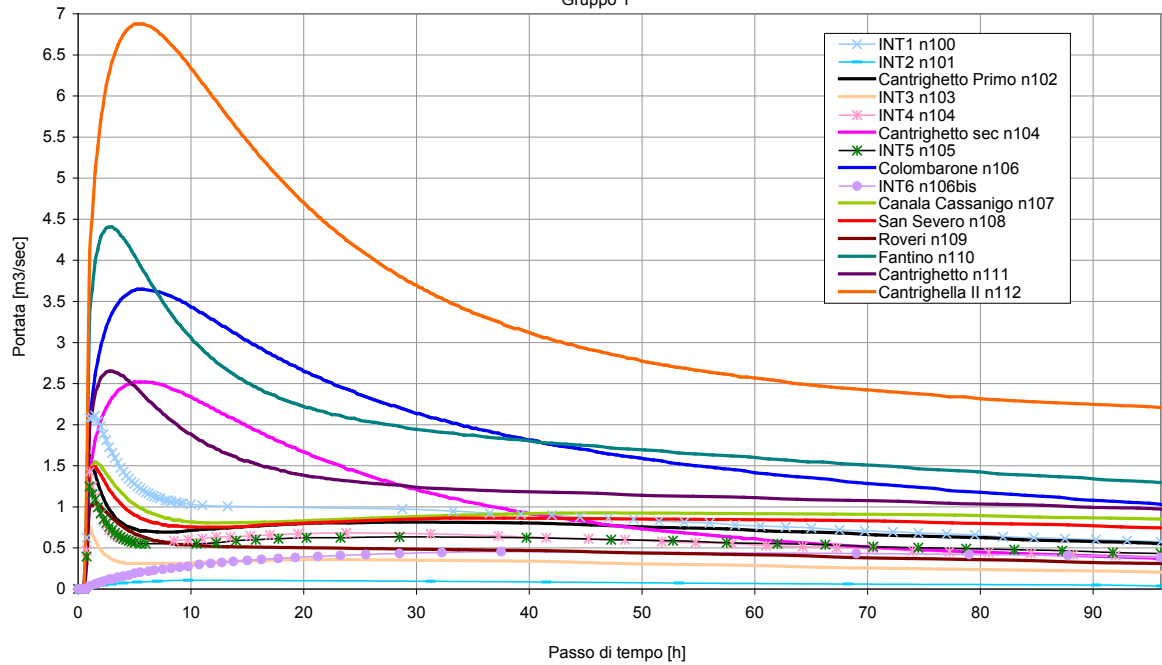
Portate in ingresso - Fosso Munio
Tr 50 anni
Gruppo1



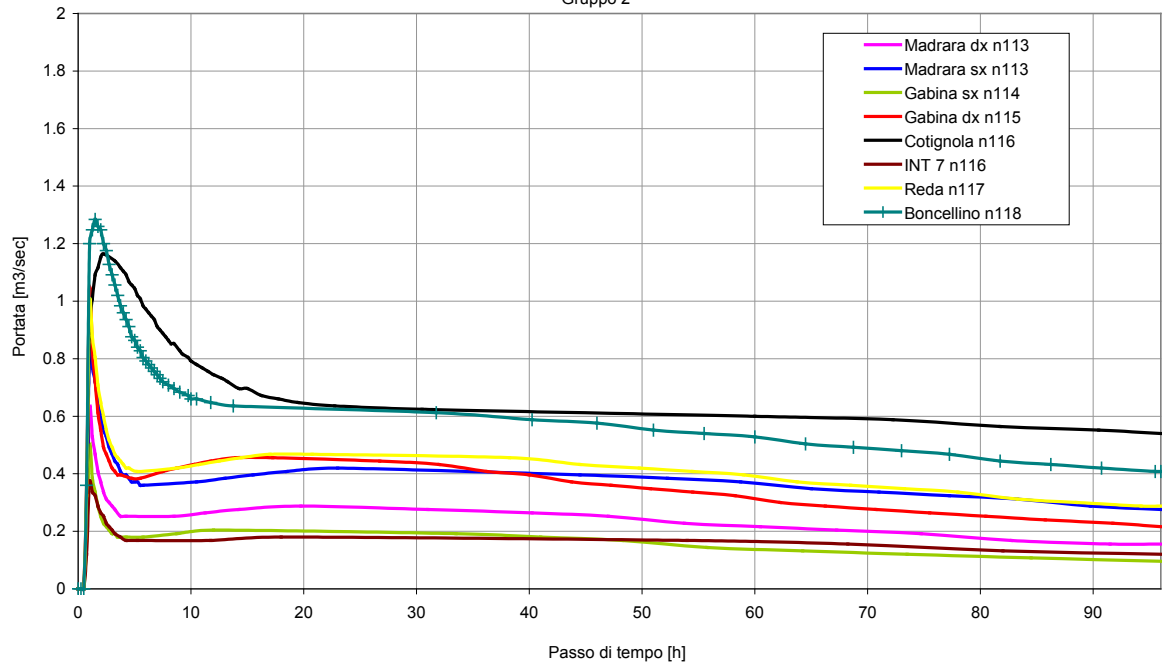
Portate in ingresso - Fosso Munio
Tr 50 anni
Gruppo 2



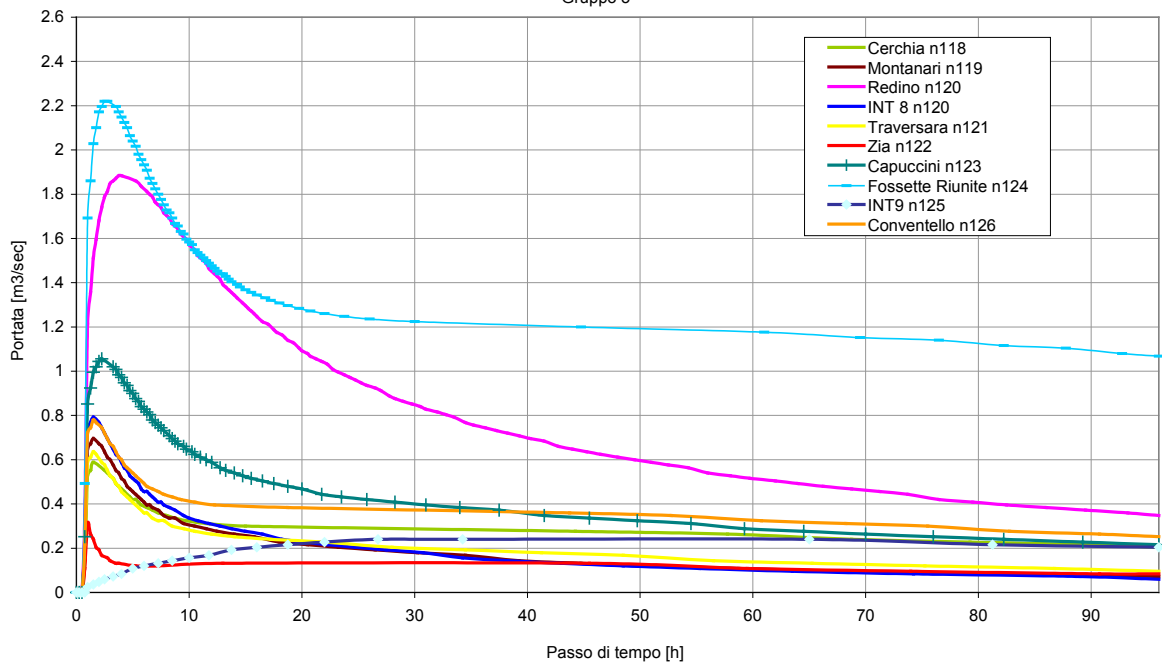
Portate in ingresso - Fosso Vecchio
Tr 50 anni
Gruppo 1



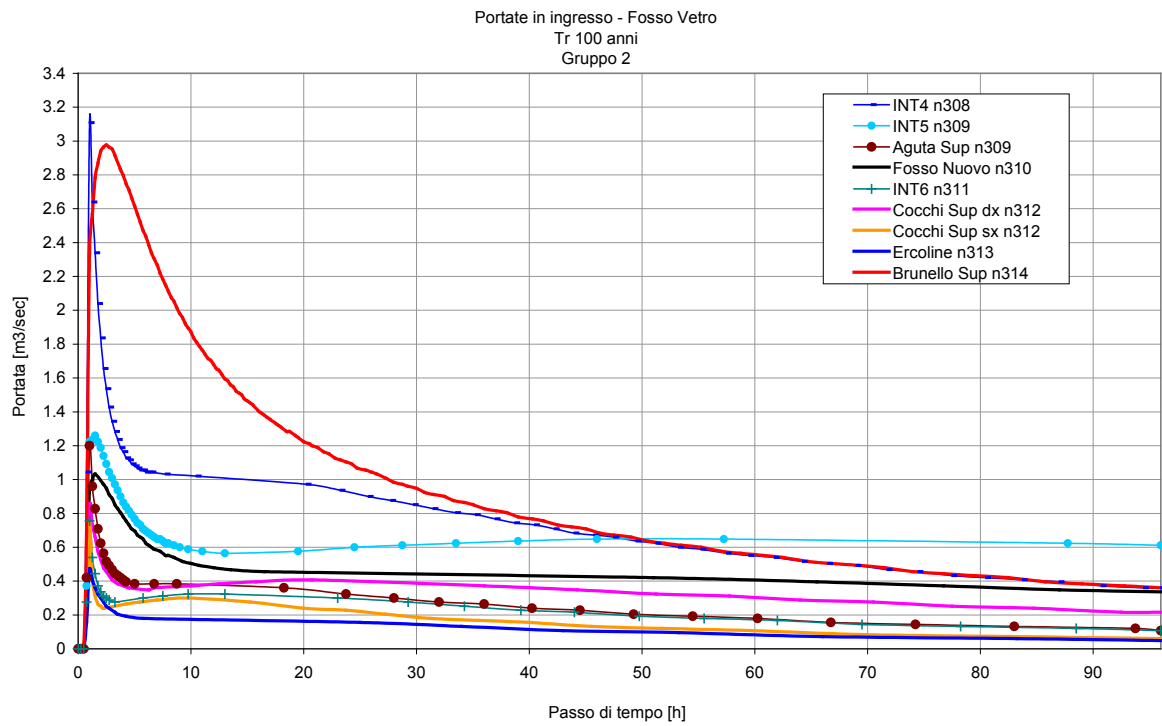
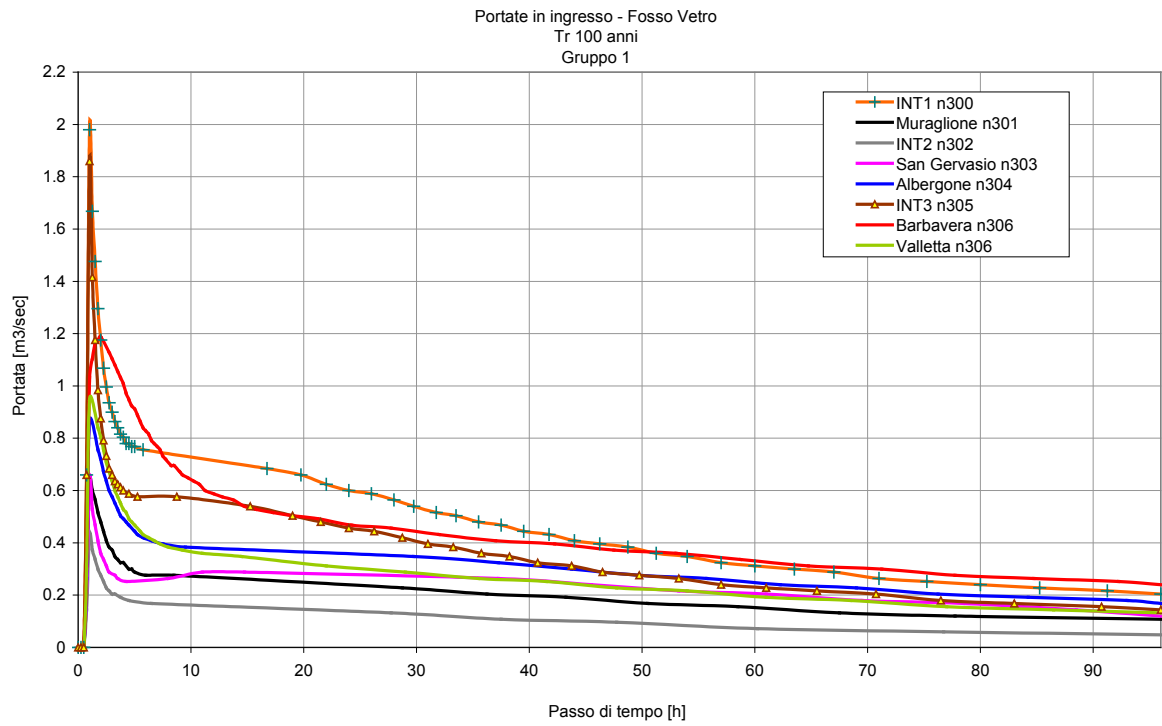
Portate in ingresso - Fosso Vecchio
Tr 50 anni
Gruppo 2



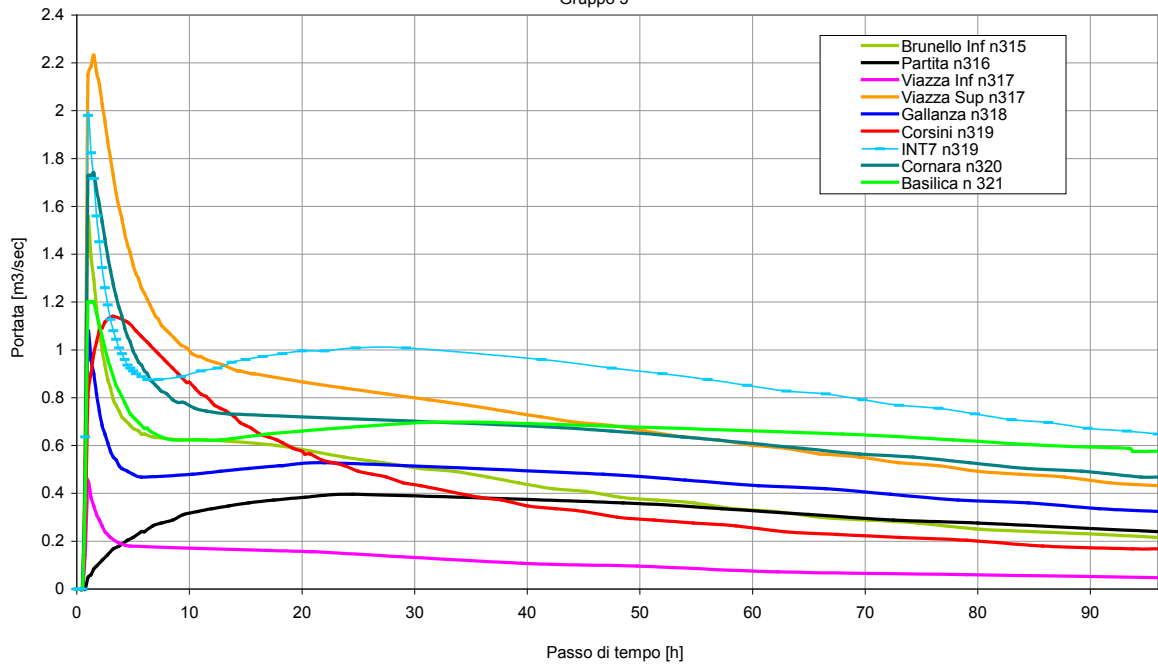
Portate in ingresso - Fosso Vecchio
Tr 50 anni
Gruppo 3



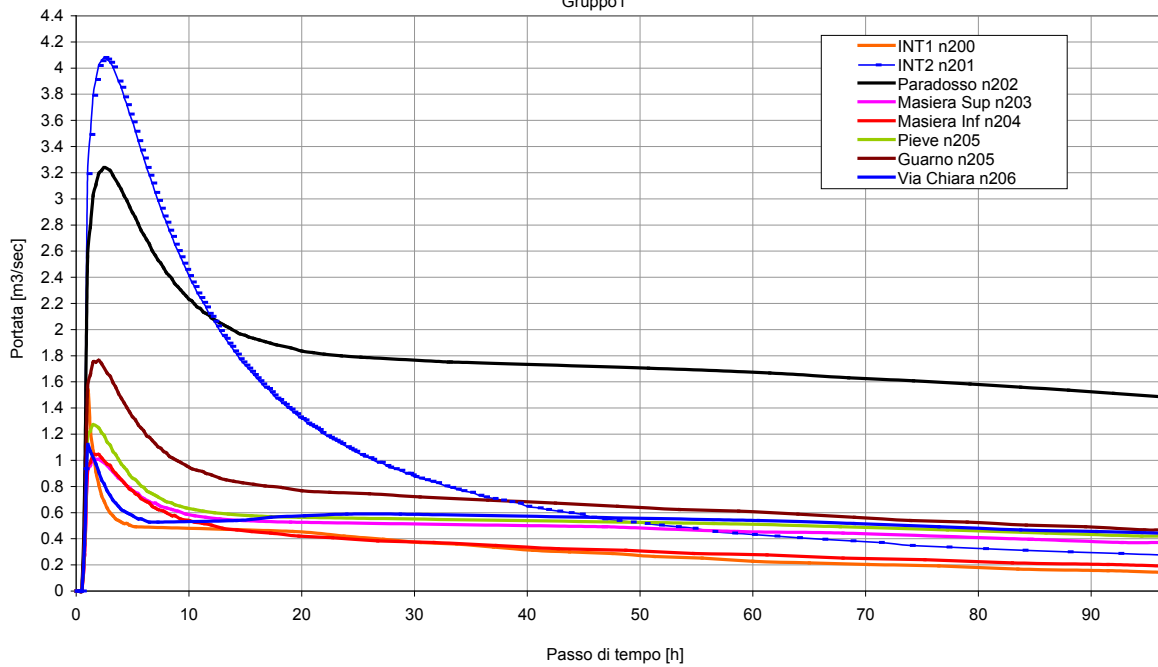
Tr 100 anni



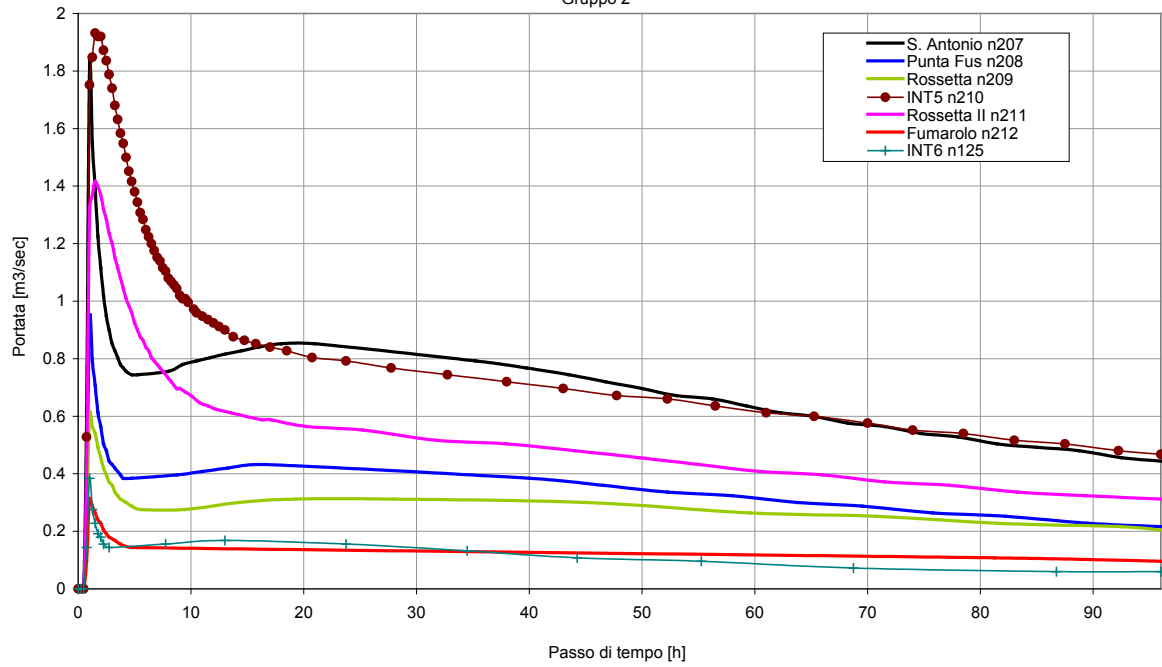
Portate in ingresso - Fosso Vetro
Tr 100 anni
Gruppo 3



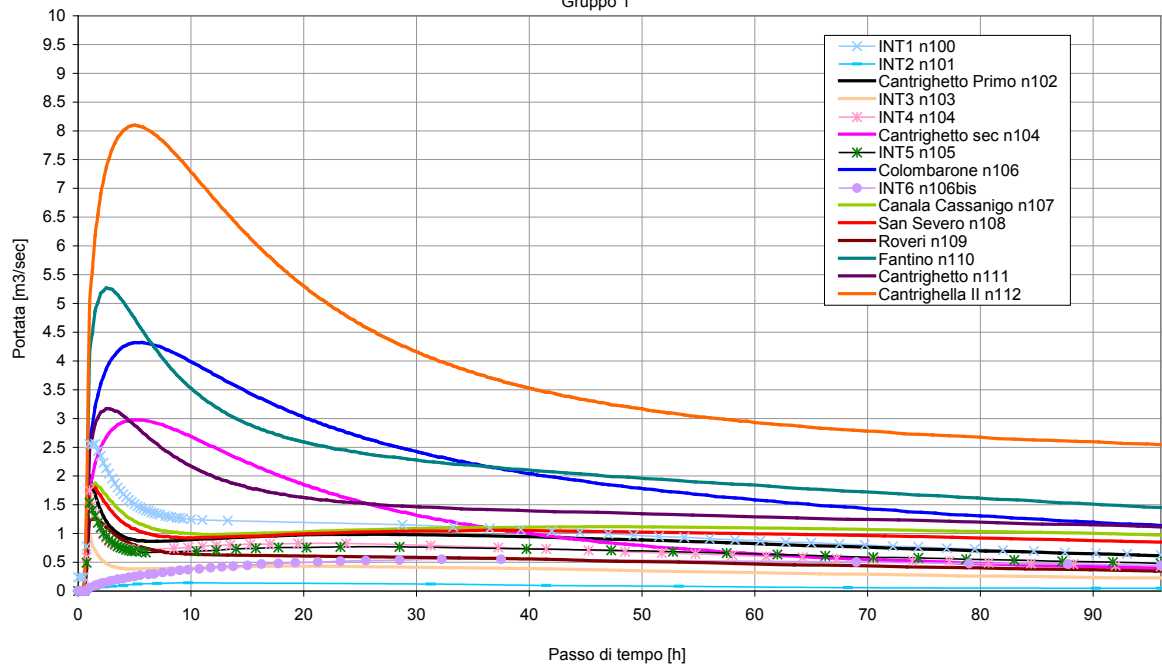
Portate in ingresso - Fosso Munio
Tr 100 anni
Gruppo1



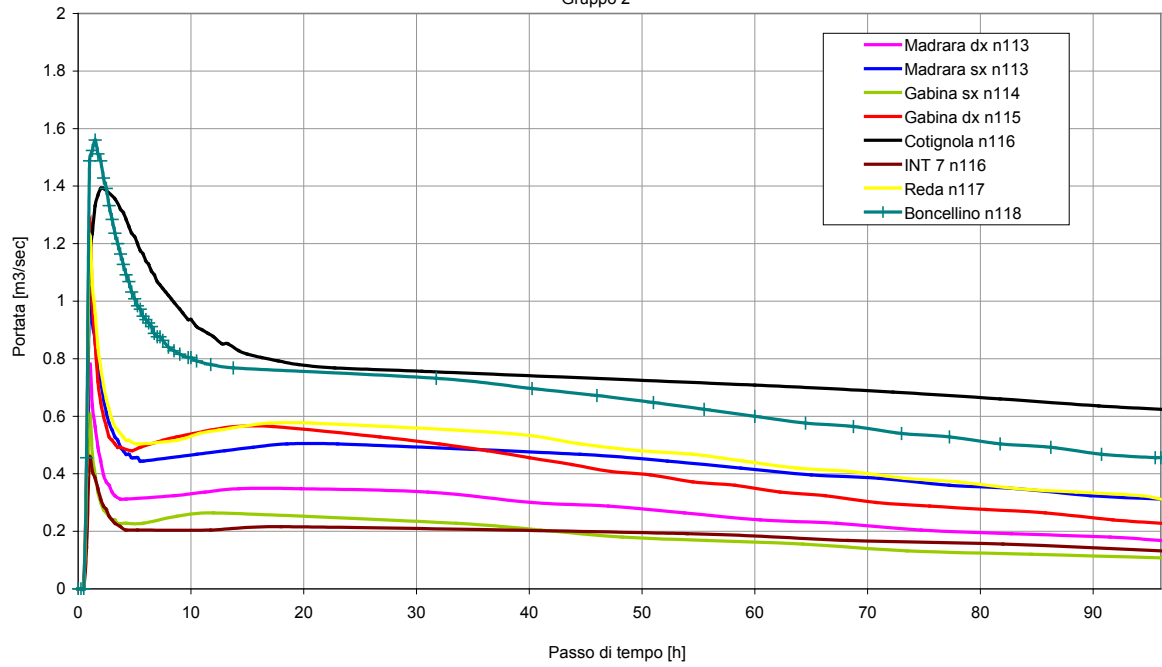
Portate in ingresso - Fosso Munio
Tr 100 anni
Gruppo 2



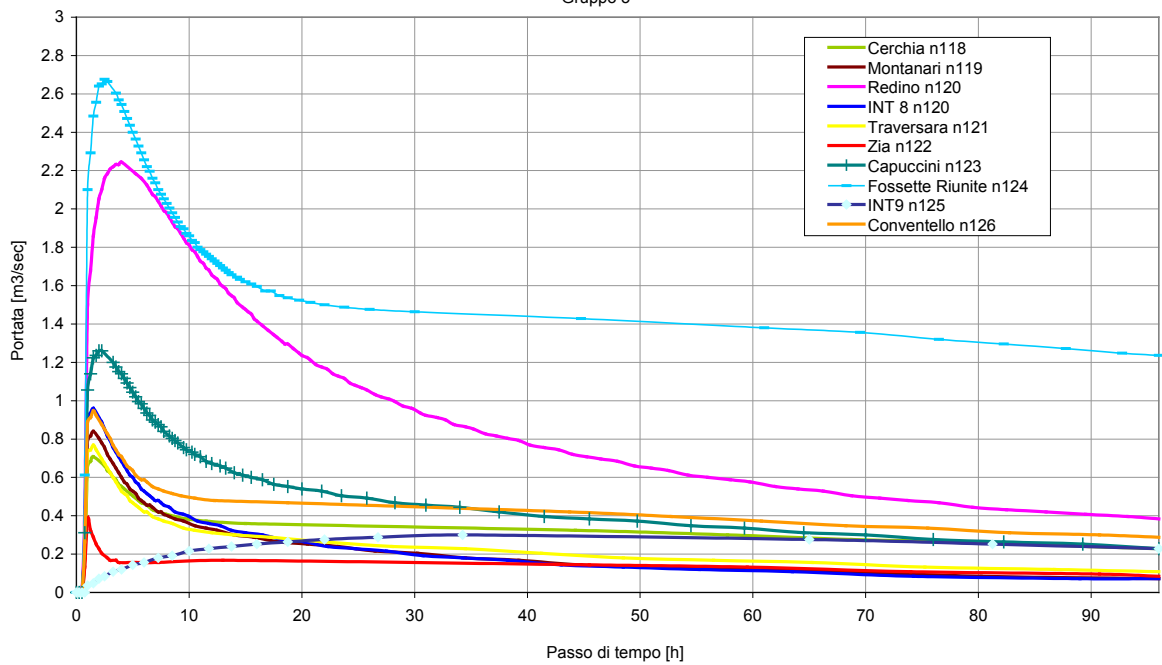
Portate in ingresso - Fosso Vecchio
Tr 100 anni
Gruppo 1



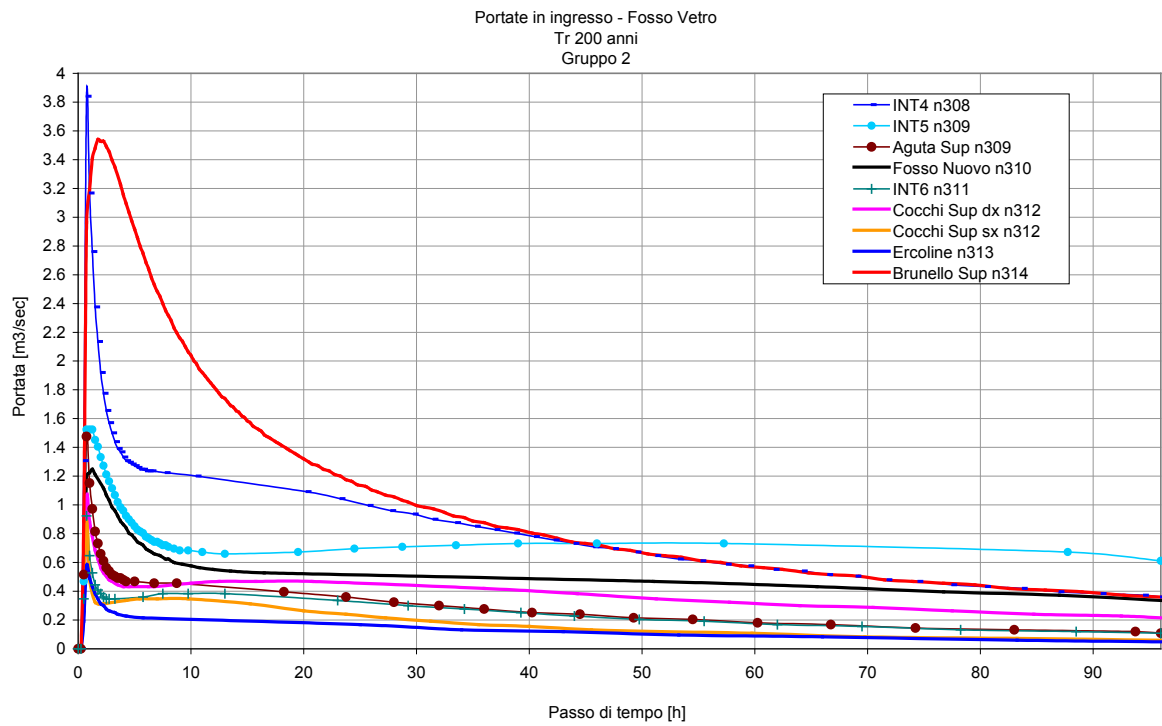
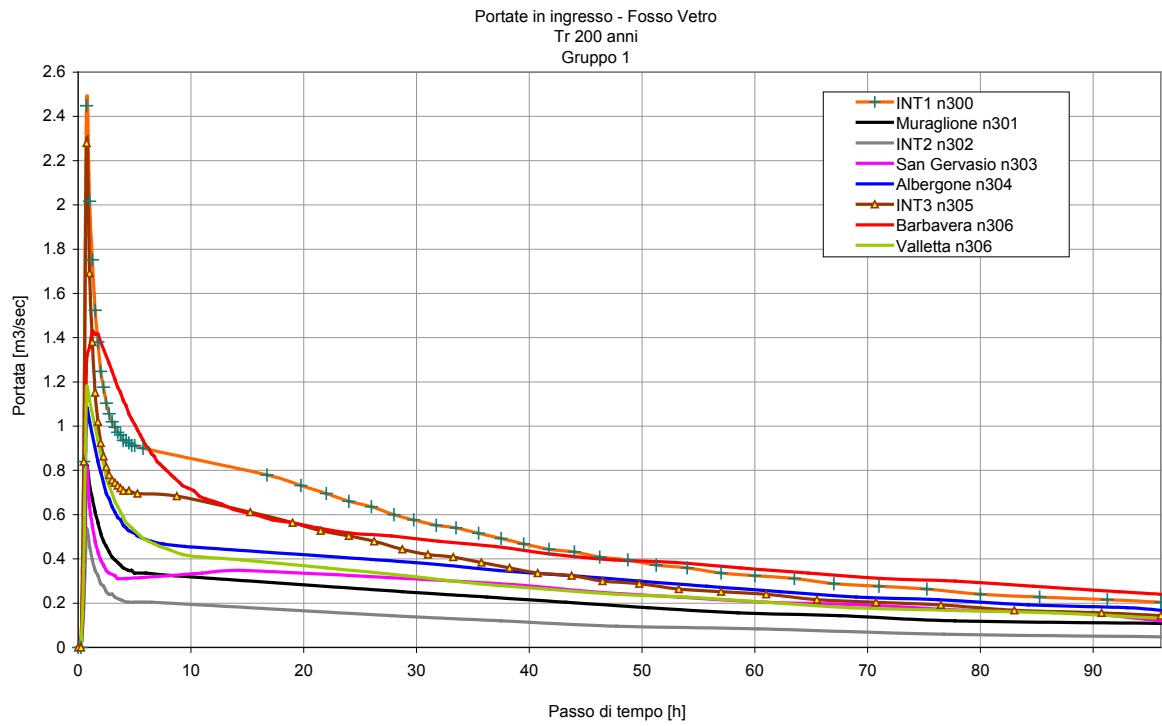
Portate in ingresso - Fosso Vecchio
Tr 100 anni
Gruppo 2



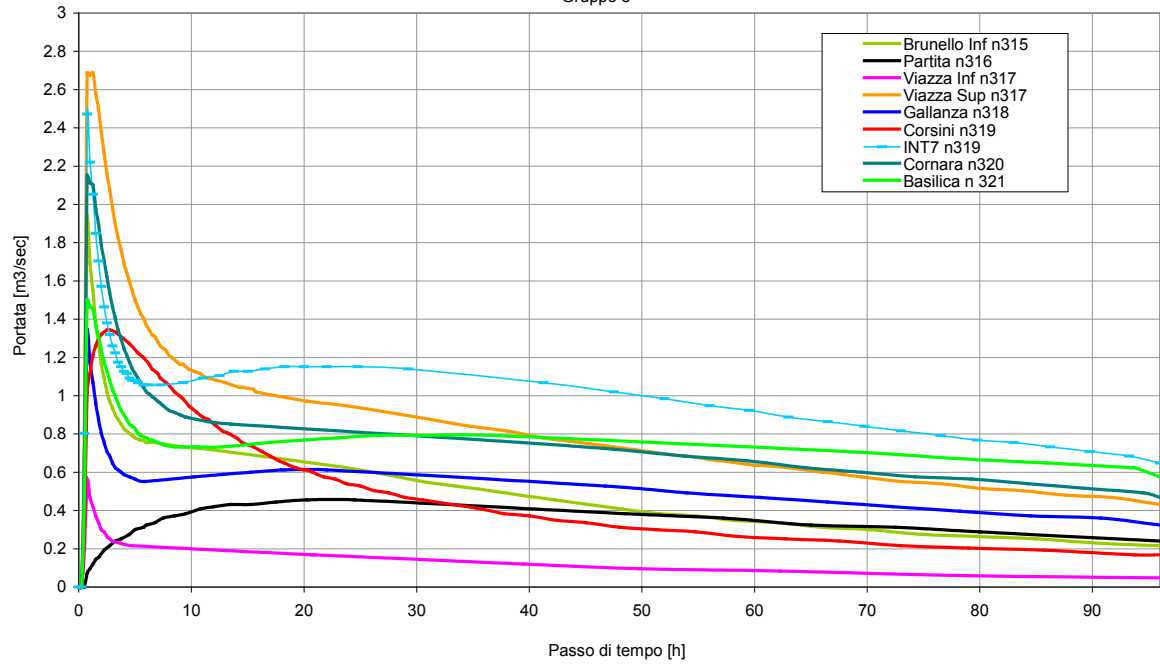
Portate in ingresso - Fosso Vecchio
Tr 100 anni
Gruppo 3



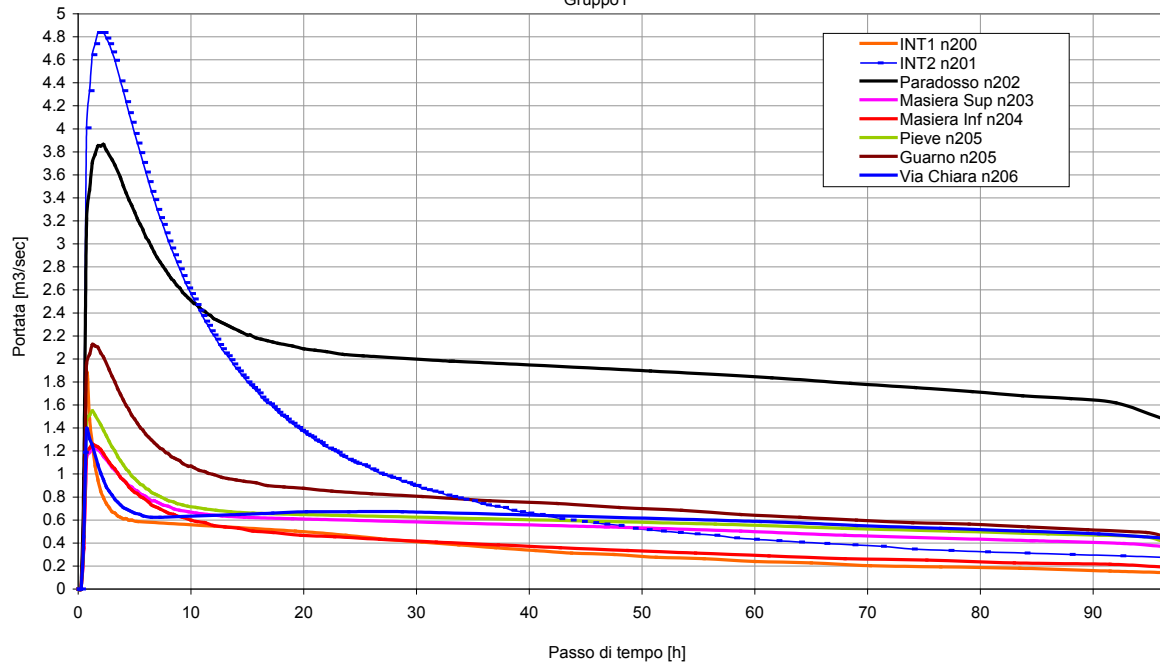
Tr 200 anni



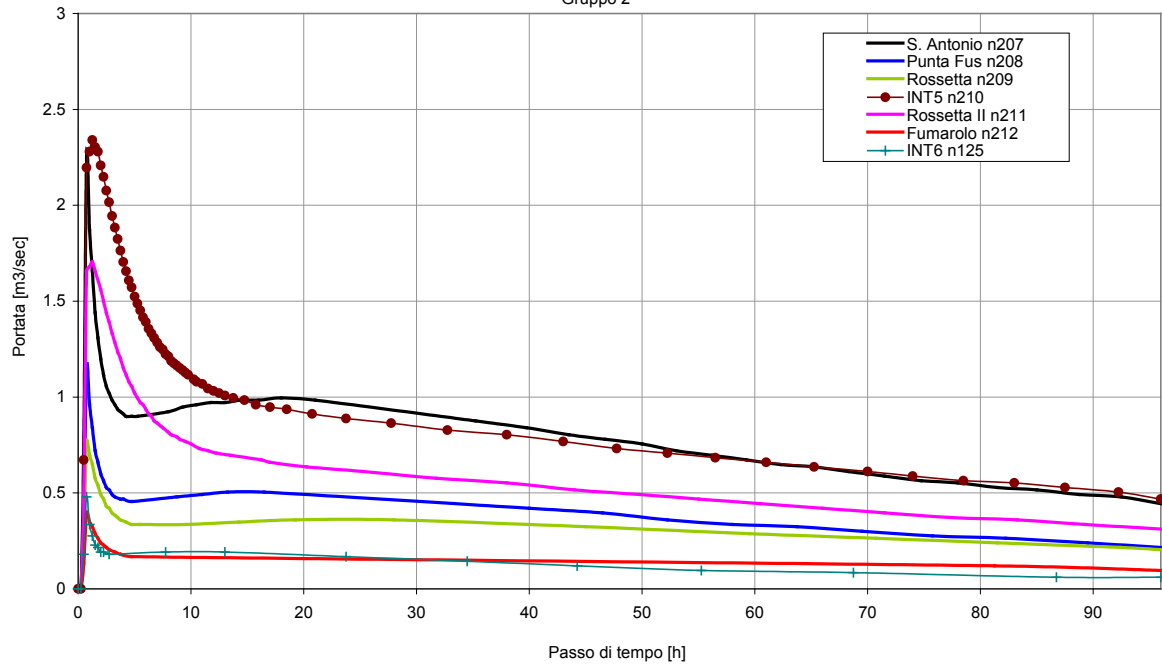
Portate in ingresso - Fosso Vetro
Tr 200 anni
Gruppo 3



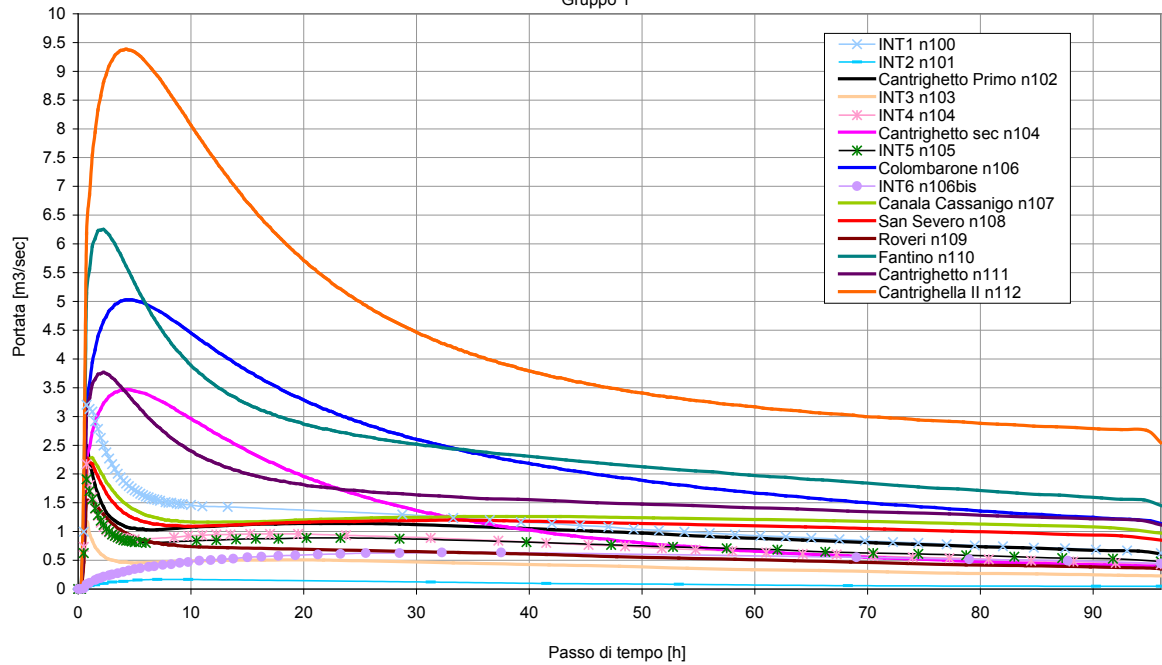
Portate in ingresso - Fosso Munio
Tr 200 anni
Gruppo1



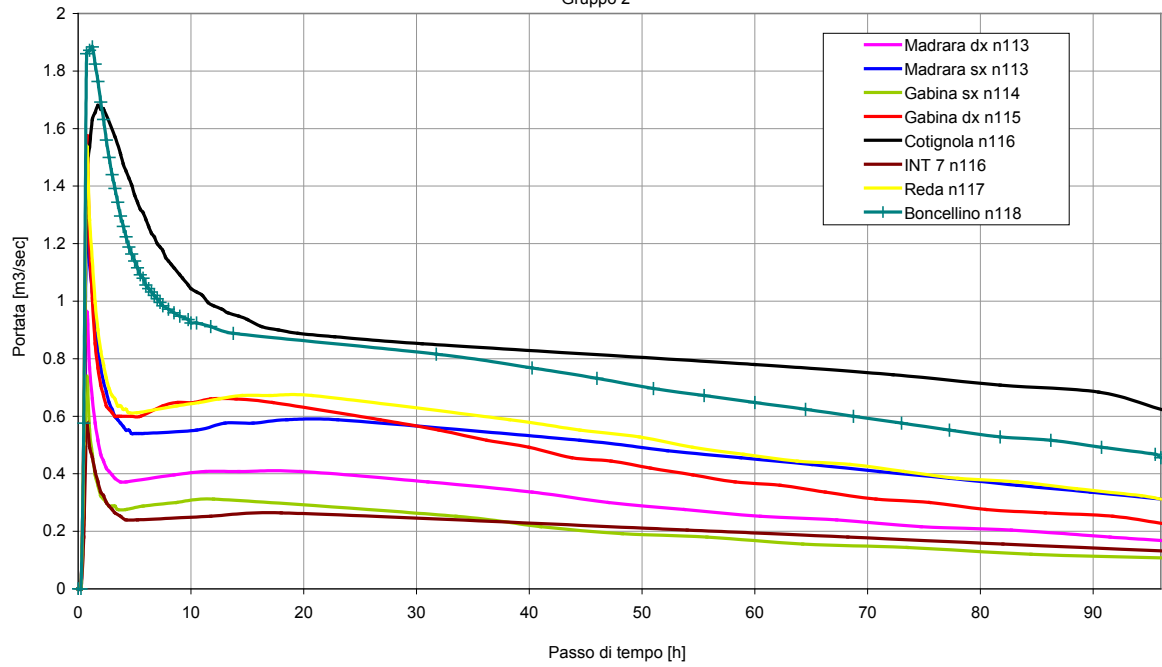
Portate in ingresso - Fosso Munio
Tr 200 anni
Gruppo 2



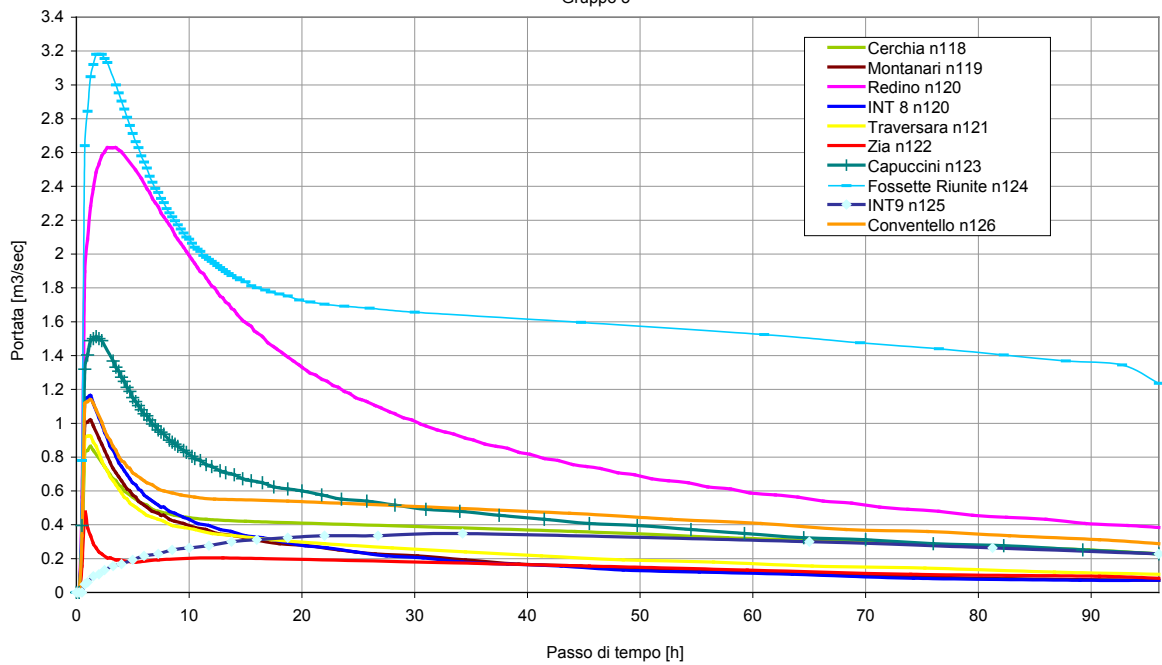
Portate in ingresso - Fosso Vecchio
Tr 200 anni
Gruppo 1



Portate in ingresso - Fosso Vecchio
Tr 200 anni
Gruppo 2



Portate in ingresso - Fosso Vecchio
Tr 200 anni
Gruppo 3



APPENDICE B: CENNI SUI MODELLI DI CALCOLO UTILIZZATI

B.1 MAPINFO

Il Software Mapinfo, utilizzato nel presente studio per la determinazione dell'input idrologico da inserire nel modello SWMM, è una delle parti costituenti il sistema informativo geografico (detto brevemente anche GIS, dalle iniziali di "Geographic Information System") in essere presso l'Autorità di Bacino del Reno e messo a disposizione dello scrivente durante lo svolgimento del lavoro.

Un sistema informativo geografico (GIS) è un insieme di strumenti informatici concepito per descrivere e analizzare elementi, eventi e fenomeni inerenti la superficie terrestre; ad oggi esso rappresenta il miglior mezzo di supporto in qualsiasi processo decisionale.

La tecnologia GIS integra in un unico ambiente le più comuni operazioni legate all'uso di database (quali interrogazioni – queries - , analisi statistiche, etc) con i benefici dell'analisi geografica consentita dalle mappe cartografiche (selezione e ricerca spaziale, sovrapposizione di livelli geografici (map overlay), generazione di modelli digitali del terreno). Questa particolarità distingue il Gis dagli altri sistemi di informazione e fa di esso un potente strumento utilizzabile da molteplici operatori privati e pubblici per pianificare gli eventi, predire i risultati e definire strategie. Esso consente, inoltre, di superare i limiti connessi ad una rappresentazione statica della realtà su formato cartaceo (scala fissa, limitata estensione territoriale, numero limitato di informazioni).

Il Gis consente di creare mappe, integrare informazioni, visualizzare scenari, risolvere complessi problemi e sviluppare soluzioni esprimibili sia in forma cartografica che nella forma quali-quantitativa.

Il Gis integra 5 componenti essenziali: hardware, software, dati, persone e metodi.

L'hardware non è altro che l'insieme di computer con il quale il Gis opera; nel caso specifico tutte le elaborazioni sono state svolte avvalendosi di un personal computer.

Il software Gis utilizzato per il presente studio è Mapinfo Professional, versione 6.5.

Mapinfo dispone di funzioni e strumenti necessari a raccogliere, analizzare e visualizzare le informazioni geografiche. I suoi elementi fondamentali sono:

- strumenti per l'input e la gestione degli elementi geografici;
- un database relazionale (RDBMS);
- strumenti che supportano interrogazioni, analisi e visualizzazioni;
- interfaccia utente grafica (GUI) per consentire un facile accesso.

In un Gis rivestono molta importanza i dati e la loro organizzazione. I dati geografici, infatti, hanno associate tabelle descrittive, contenenti un insieme importante di informazioni. Il Gis può, inoltre, integrare i dati spaziali con fonti diverse tramite l'uso di database relazionali.

Il Gis memorizza le informazioni geografiche come un insieme di layers (strati), nel caso specifico in files di estensione .tab che possono essere tra loro relazionati tramite collegamento e sovrapposizione geografica.

Questo semplice ma estremamente potente e versatile concetto è applicato per risolvere diversi problemi reali, quali ottimizzazione di percorsi, applicazioni di pianificazione territoriale, calcoli idrologici e idraulici, etc.

Il Gis lavora con due fondamentali differenti tipi di modelli geografici: il modello vettoriale e il modello raster. Nel modello vettoriale le informazioni di punti, linee e poligono, sono codificate e memorizzate come collezione di coordinate x, y. La localizzazione di un elemento puntuale, ad esempio una idrovora, può essere descritta come una semplice coppia di punti. Gli elementi lineari, invece, ad esempio un corso d'acqua, sono memorizzati come una collezione di coordinate di punti. Gli elementi poligonali, ad esempio una cassa di espansione, sono memorizzati come un anello chiuso di coordinate.

Il modello raster è costituito da un insieme di celle regolari rappresentanti ciascuna uno specifico valore (ad es. le carte tecniche regionali).

Per lo studio descritto, si sono utilizzate, da un lato le base dati già esistenti presso l'Autorità di Bacino del Reno e il Consorzio di Bonifica, costituite da:

- carte tecniche regionali a varia scala (CTR scala 1:5'000; 1:25'000) (dati raster);
- rete idrica principale, secondaria, minore e di bonifica (dati vettoriali);
- relativi bacini idrografici (dati vettoriali);
- curve di uguale precipitazione (isoiete) (dati vettoriali).

Tutti i dati di cui sopra sono georeferenziati nel sistema UTM ED50 32 RER (anche detto UTM*).

I calcoli effettuati tramite il Gis sono, invece, consistiti in:

- calcolo di lunghezze di tratti di corsi d'acqua;
- calcolo di superfici e aree;
- calcolo della media di precipitazione pesata sull'area del bacino di riferimento, per ottenere il valore della pioggia media estrema relativa al bacino afferente al Fosso Vecchio.

B.2 IL MODULO DI CALCOLO S.W.M.M. PER LA SIMULAZIONE DEL COMPORTAMENTO IDRODINAMICO DELLE RETI DI BONIFICA

La sollecitazione idrologica del sistema idrico oggetto di studio, costituito dal Fosso Vecchio, Fosso Munio e Fosso Vetro, è stata ottenuta mediante l'utilizzo del modello SWMM 5.0 (Storm Water Management Model) dell'U.S. EPA statunitense.

SWMM è un software complesso in grado di simulare il trasferimento della precipitazione meteorica (e degli inquinanti da essa veicolati) dalla superficie del bacino alla rete di canali e condotte che costituiscono il sistema di drenaggio. In linea generale SWMM è concepito per modellare in termini qualitativi e quantitativi tutti i processi che si innescano nel ciclo idrologico. Nel caso specifico, tuttavia, il programma è stato utilizzato esclusivamente per il calcolo delle onde idrologiche relative a diversi tempi di ritorno dei sottobacini contribuenti dei tre corpi idrici considerati, mentre il trasferimento delle onde di piena lungo le aste fluviali è stato effettuato mediante l'ausilio del codice di calcolo Mike 11.

SWMM può essere utilizzato tanto per la progettazione quanto per la gestione delle reti di drenaggio, poiché è in grado di effettuare simulazioni sia ad evento singolo che in continuo. SWMM è sostanzialmente basato su una struttura modulare in cui ogni blocco ha una specifica funzione e fornisce i risultati di partenza per il blocco successivo. I moduli principali del modello sono il "Runoff", per la modellazione del deflusso superficiale (che di seguito si descrive), e il modulo dinamico "Extran" (Extendend Trasport), per la propagazione idraulica all'interno della rete, basato sulla risoluzione completa delle equazioni di De Saint Venant (per le cui specifiche si rimanda al manuale, non essendo stato utilizzato nel presente studio).

Il modulo di formazione del deflusso superficiale

Per simulare il comportamento della rete in occasione di eventi pluviometrici intensi sono stati stimati gli idrogrammi relativi alle sezioni di chiusura dei vari sottobacini, individuati secondo la metodologia descritta di seguito, che sono utilizzati come dati di sollecitazione in ingresso alla rete idrografica.

Per la generazione degli idrogrammi dei sottobacini è stato impiegato, come modello di formazione del deflusso superficiale, il modulo Runoff del codice di calcolo SWMM 5.0, che utilizza un approccio basato sulla tecnica dei serbatoi non lineari, previa analisi e schematizzazione del processo di infiltrazione/evaporazione, e fornisce in output gli idrogrammi di input alla rete di drenaggio.

Per quanto riguarda la descrizione del fenomeno di infiltrazione, il codice di calcolo offre diverse possibilità di modellazione: nel caso specifico, dopo attente valutazioni, è stato scelto il modello proposto dal Soil Conservation Service SCS detto SCS-CN, metodo, ad oggi, ampiamente accettato e sfruttato per la sua semplicità e flessibilità nella stima della capacità di immagazzinamento idrico nel suolo.

Come noto, tale procedura consente di calcolare il volume di pioggia defluito nella sezione di chiusura, P_e , sulla base dell'espressione:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

dove P_e in (mm) è il volume specifico complessivamente defluito durante l'evento, S (mm) è il potenziale specifico massimo di assorbimento del terreno, cioè il volume immagazzinabile a saturazione nello stesso, mentre I_a (mm) rappresenta la quota parte del volume affluito che si infiltra prima che il deflusso abbia inizio. Con l'introduzione della perdita iniziale I_a , si intende tenere conto anche di quel complesso di fenomeni, quali l'intercettazione da parte della vegetazione e l'accumulo nelle depressioni superficiali del terreno, che ritardano il verificarsi del deflusso superficiale.

I due parametri che compaiono nell'equazione precedente, S ed I_a , possono essere determinati attraverso operazioni di taratura del modello; in mancanza di adeguate osservazioni utili a questo scopo, tuttavia, per la stima di I_a si può fare ricorso alla seguente relazione:

$$I_a = 0.2 \cdot S$$

che, sulla base di alcune analisi di dati sperimentali condotte dal SCS, risulta verificata con buona approssimazione. La valutazione di S può, invece, essere ricondotta a quella dell'indice CN (Curve Number), cui esso risulta legato dalla relazione:

$$S = 254 \cdot \left(\frac{100}{CN} - 1 \right)$$

Il Curve Number (CN) è un parametro adimensionale decrescente in funzione della permeabilità, intesa come caratteristica globale del tipo e dell'uso del suolo. La sua determinazione è ottenuta in base al grado di umidità del terreno prima dell'evento meteorico esaminato, alla tipologia pedologica e litologica dei suoli ed all'uso del suolo. Il suo valore è compreso tra 0 e 100 ed è diffusamente tabulato specialmente nella letteratura scientifica americana, come frutto dell'analisi di molti esempi applicativi. Nell'applicazione del metodo sono previste tre classi, rispettivamente la I, la II e la III del grado di umidità del terreno, in funzione dell'altezza di pioggia caduta nei 5 giorni precedenti l'evento esaminato (Antecedent Moisture Condition): molto asciutto (< 50 mm), standard (tra 50 e 110 mm) e molto umido (oltre 110 mm). Nello studio sono stati considerati i valori corrispondenti alla condizione standard.

La classificazione dei tipi di suolo è funzione delle caratteristiche di permeabilità secondo la suddivisione proposta dal Soil Conservation Service che prevede quattro classi caratterizzate rispettivamente da potenzialità di deflusso scarsa (A), moderatamente bassa (B), moderatamente alta (C) e alta (D). La suddivisione in base al tipo di copertura del suolo comprende, invece, diverse situazioni di aree caratterizzate da differenti morfologie (pascoli, terrazzamenti, etc), varie coperture vegetali (boschi, praterie, parchi), condizioni di conservazione e destinazione d'uso (coltivazioni, parcheggi, distretti industriali o altro).

B.3 CENNI SUL MODELLO MATEMATICO DI PROPAGAZIONE DELLE PIENE MIKE11

In questa sede vengono richiamati gli aspetti più salienti del modello Mike11, legati soprattutto alla sua applicazione al caso di studio in esame.

Moto in alveo

Il modello risolve il sistema di equazioni differenziali alle derivate parziali di De Saint Venant (bilanci di massa e di quantità di moto) scritte nella forma monodimensionale:

$$\partial Q / \partial x + \partial A / \partial t = q \quad (1)$$

$$\partial Q / \partial t + \partial (\alpha Q^2 / A) / \partial x + g A \partial h / \partial x + (g Q |Q|) / (C^2 A R^*) = 0 \quad (2)$$

ove:

- h è la quota idrica misurata rispetto ad un livello di riferimento,
- A è la sezione idrica bagnata,
- R* è il raggio di resistenza,
- C è il coefficiente di resistenza di Chezy,
- Q è la portata idrica,
- g è il modulo della accelerazione di gravità,
- α è il coefficiente di ragguaglio delle quantità di moto,
- q è l'apporto idrico laterale per unità di lunghezza dell'alveo.

Il coefficiente di ragguaglio delle quantità di moto α è stato posto pari all'unità.

Il coefficiente di resistenza di Chezy (C) è stato valutato, tra le varie opzioni possibili, con l'espressione di Gauckler-Strickler:

$$C = c R^{* 1/6} \quad (3)$$

in cui c è il coefficiente di scabrezza ed R* è il cosiddetto "raggio resistente"; esso non si identifica necessariamente con il raggio idraulico R che, nel caso di sezione compatta (priva di golene) e con scabrezza omogenea, è dato dalla classica espressione:

$$R = A / P \quad (4)$$

con P = A/R perimetro bagnato.

In determinate condizioni, infatti, soprattutto per sezioni non compatte, il raggio idraulico espresso dalla (4) non garantisce che la capacità di portata sia costantemente crescente con la quota idrica, come è ragionevole che sia.

In alternativa si può introdurre, appunto, il raggio resistente R^* valutato attraverso l'espressione:

$$\sqrt{R^*} = 1/A \int_0^B (y^{3/2}) dy \quad (5)$$

dove y è la profondità idrica locale del tratto di sezione trasversale di larghezza elementare dy e B è la larghezza del pelo libero in superficie (Engelund F. 1964).

La (5) nonostante sia rigorosamente valida per correnti uniformi monodimensionali in alveo compatto, è utilizzata invece della (4) anche nel caso di alvei naturali con sezione composita in correnti lentamente e gradualmente variabili. Essa restituisce un coefficiente di resistenza al moto sostanzialmente indipendente dalla profondità idrica (per scabrezza di parete uniforme) e pertanto permette una valutazione degli aspetti idrodinamici che prescindono da eventuali irregolarità geometriche del contorno bagnato.

L'uso della (5) nell'equazione (2) fornisce tra l'altro portate che crescono regolarmente con la profondità idrica.

Le due formulazioni (4) e (5) non sono, neppure per sezioni compatte, equivalenti: ad esempio, per una sezione rettangolare di qualsivoglia larghezza, la seconda restituisce un raggio resistente uguale alla profondità della corrente.

Ciò si ripercuote sulla valutazione del coefficiente di resistenza C che risulta, a parità di caratteristiche della sezione (A , P , c) ed a parità di cadente idraulica (i), maggiore nel secondo caso ovvero $C = c R^{1/6} < c R^*{}^{1/6} = C^*$.

In questo studio si è utilizzata l'espressione (5).

Le equazioni differenziali di De Saint Venant (1), (2) vengono integrate alle differenze finite secondo il metodo implicito di tipo Abbott a sei nodi.

La procedura di discretizzazione è effettuata suddividendo l'asta fluviale in una serie di punti nei quali sono calcolate alternativamente la portata Q e la quota idrica h . Queste ultime corrispondono alle sezioni trasversali effettivamente rilevate ed a quelle eventualmente generate per interpolazione dalle precedenti al fine di infittire la griglia spaziale), mentre quelle in cui viene calcolata la portata Q sono intermedie.

Non è quindi determinabile rigorosamente la portata nelle sezioni rilevate ma è possibile dedurla per interpolazione tra quelle adiacenti senza apprezzabili errori fintantoché non si manifestano discontinuità nella superficie libera.

Il sistema di equazioni algebriche che deriva dalla discretizzazione viene linearizzato e risolto con il classico algoritmo della doppia passata ("double sweep").

Il modello è in grado, seppure in forma approssimata, di risolvere anche correnti transcritiche.

Per non dover trattare in maniera esplicita le discontinuità (la qual cosa richiederebbe di individuare, ad ogni istante di calcolo, le zone del dominio in cui la corrente è lenta o veloce e di applicare le condizioni di compatibilità attraverso le discontinuità) il modello riduce progressivamente, all'aumentare del numero di Froude, il termine d'inerzia convettiva (non lineare in portata) nell'equazione (2) fino ad eliminarlo del tutto per $Fr > 1$.

Contemporaneamente, la discretizzazione delle equazioni viene spostata verso monte. In questo modo, la struttura di calcolo rimane identica indipendentemente dalla condizione di moto (formalmente, anzi, non si può parlare di corrente veloce in quanto una delle due caratteristiche del sistema iperbolico (1), (2) rimane sempre rivolta in direzione opposta al senso del moto, al più tendendo a divenire verticale per numeri di Froude molto elevati) ed è pertanto sempre necessario specificare una condizione al contorno a monte ed una a valle.

Possono essere specificati, quali condizioni al contorno, andamenti temporali di quote idriche e di portate o scale di deflusso. Per quanto riguarda le condizioni iniziali, esse possono essere specificate o, in mancanza di una loro precisa conoscenza, calcolate dal modello attraverso il tracciamento preliminare di un profilo di moto permanente relativo al primo valore di portata imposto da monte.

Descrizione della geometria dell'alveo e delle "sezioni singolari"

Per la descrizione geometrica del sistema fisico in esame sono state utilizzate le sezioni trasversali fornite dai rilievi commissionati dal Consorzio. La geometria delle sezioni di raffittimento comprese fra due sezioni di rilievo è calcolata automaticamente dal programma MIKE11.

Per una corretta schematizzazione delle "sezioni singolari" quali ponti e briglie (considerate dal programma di calcolo alla stregua di "condizioni al contorno interne") sono necessarie sia una sezione a monte che una a valle della singolarità (sezioni di infittimento) per delimitarne realisticamente l'effetto nello spazio, sia un'accurata stima per livelli della legge $bS = bS(h)$ ove bS è la larghezza complessiva del pelo libero corrispondente alla quota idrica h .

In corrispondenza delle "sezioni singolari" il flusso può presentarsi libero oppure rigurgitato da valle.

Nel primo caso la portata critica (QC) stabilisce una relazione univoca con il carico totale sulla soglia (HS):

$$QC = 1.705 bS HS^{3/2}$$

Nel secondo caso la portata in transito sulla soglia (QS) è legata ai livelli idrici di monte (h_1) e di valle (h_2) dalla seguente relazione:

$$Qs = 0.385 (h_1 - zC) (h_1 - h_2)$$

ove zC è la quota della gaveta.

La perdita di carico totale (ΔH) tra monte e valle della sezione singolare è valutata nel modo seguente:

$$\Delta H = \xi u^2 S / 2g$$

ove uS è la velocità sulla soglia e $\xi = \xi_1 + \xi_2$ è la somma dei coefficienti di perdite di afflusso ed efflusso rispettivamente:

$$\xi_1 = \xi_{01} (1 - AS/A_1)$$

$$\xi_2 = \xi_{02} (1 - AS/A_2)^2$$

ove $\xi_{01} = 0.5$ e $\xi_{02} = 1$.

Si ritiene utile mostrare ora un esempio di schematizzazione delle strutture esistenti sul Fosso Vecchio, consistenti, come precedentemente descritto, in ponti e tombinamenti.

Il modello Mike 11 richiede che la struttura vera e propria sia delimitata fra due sezioni immediatamente a ridosso di essa. In questo caso, il rilievo topografico a disposizione per il Fosso Vecchio e i suoi principali affluenti fornisce una sezione trasversale a monte del manufatto, a breve distanza da esso, mentre la prima sezione di rilievo di valle è piuttosto lontana. Si rende necessario, dunque, creare una sezione "fittizia" a pochi metri (almeno 10 m) dal paramento di valle del ponte, riproducendo la sezione disponibile a monte.

Ad esempio, il ponte ferroviario della linea Faenza - Bologna alla progressiva 12.199 km è delimitato a monte e a valle rispettivamente da sezioni "fittizie" localizzate a monte (progressiva 12.207 km) e a valle (progressiva 12.197 km) del manufatto. Di fatto, nel modello, è stato utilizzato un semplice schema, ripetendo a monte e a valle del ponte la sezione fittizia, ad una distanza di circa 10 m l'una dall'altra (Tabella).

| SEZIONE | PROGRESSIVA (m) |
|---------------|-----------------|
| Fit m pnte FS | 12197.02 |
| PONTE FS | 12199.02 |
| Fit v pnte FS | 12207.52 |

Tabella – Distanza progressiva tra sezione di rilievo, struttura trasversale e sezione fittizia

La struttura "ponte" (anch'essa rilevata, seppure con un metodo piuttosto speditivo) viene, invece, descritta come una sezione di alveo ristretta (per la presenza di spalle, pile, impalcato, archi, etc, a seconda dei casi) ed è localizzata appena 2 metri più avanti della sezione rilevata; la geometria al di sotto dell'impalcato viene descritta in Mike11 nel modulo "culvert" dalla lunghezza, larghezza e altezza della sezione trasversale, etc, oltre che dalla relazione Q-h.

APPENDICE C: TAVOLE ESTRATTE DAL SISTEMA INFORMATIVO TERRITORIALE DEL CONSORZIO DI BONIFICA DELLA ROMAGNA OCCIDENTALE PER LOCALIZZAZIONE CASSE

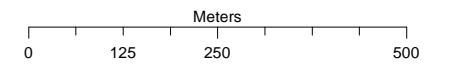
Di seguito si riportano in scala 1:10000, su base CTR, tre stralci del SIT (Sistema Informativo Territoriale) del Consorzio di Bonifica della Romagna Occidentale, distretto Pianura, relativi alle aree interessate dalla possibile localizzazione delle tre casse; in particolare:

- CASSA 1: in località Faenza, a monte della A14;
- CASSA 2: in località Granarolo Faentino;
- CASSA 3: in località Alfonsine, a monte della linea ferroviaria Bologna- Ferrara - Ravenna - Rimini.

























La localizzazione delle casse è stata individuata dal Consorzio di Bonifica, in base alla natura dei luoghi ed alla possibilità di acquisire le aree per la realizzazione dei dispositivi di laminazione, considerando anche le note criticità del Fosso Vecchio in questa zona. Tali tavole sono state utilizzate al fine di definir l'estensione delle singole casse e quindi per la determinazione della legge di invaso da assegnare ad ognuna di esse in fase di simulazione con il codice di calcolo MIKE 11.

SISTEMA INFORMATIVO TERRITORIALE DEL CONSORZIO DI BONIFICA DELLA ROMAGNA OCCIDENTALE DISTRETTO DI PIANURA

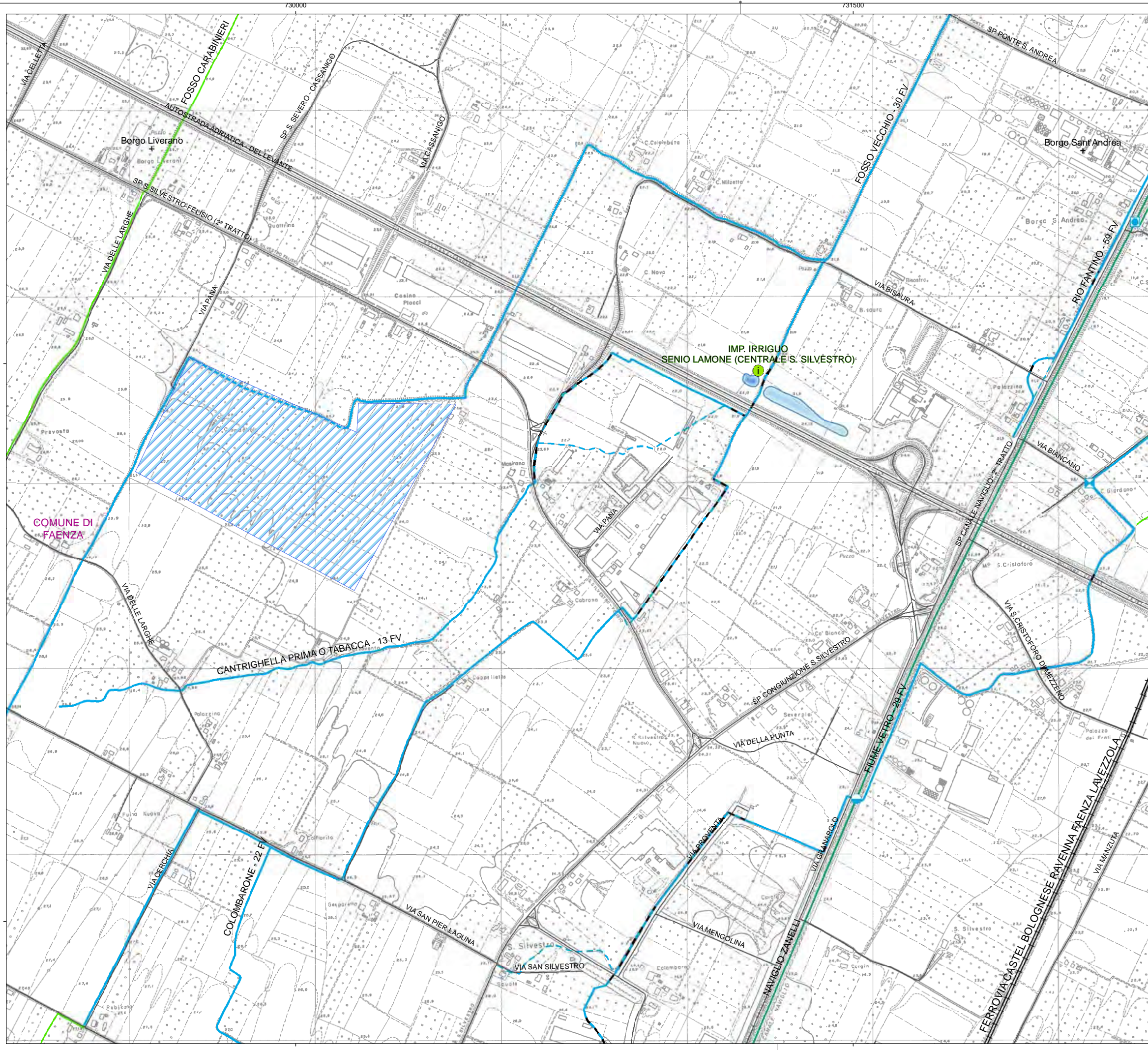
SCALA 1:10.000



LEGENDA

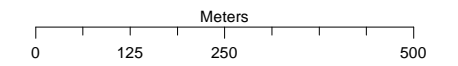
-  Limite dei distretti consorziali
-  Impianti idrovori di pompaggio
-  Impianti irrigui di pompaggio
-  Paratoie elettromeccaniche di intercettazione e regolazione
-  Opera di regimazione/sbarramento consorziale
-  Presidio di sbocco/chivica consorziale
-  Sottopasso/Botte a sifone consorziale
-  Opera di derivazione consorziale
-  Opera di attraversamento consorziale
-  Altro tipo di opera consorziale
-  Fabbricati consorziali
-  Condotte a bassa pressione/a pelo libero
-  Canaletta di Mandriole
-  Invasi di laminazione
-  Invasi di compenso
-  Aree destinate alla laminazione/espansione delle piene
-  Fiumi e torrenti
-  Canale Emiliano Romagnolo
-  Fossi di guardia del Canale Emiliano Romagnolo
-  Rete scolante consorziale a cielo aperto
-  Rete scolante consorziale tombinata
-  Rete scolante consorziale dismessa
-  Rete scolante non consorziale in gestione al Consorzio
-  Rete scolante non consorziale

CARTA TECNICA REGIONALE 5.000



























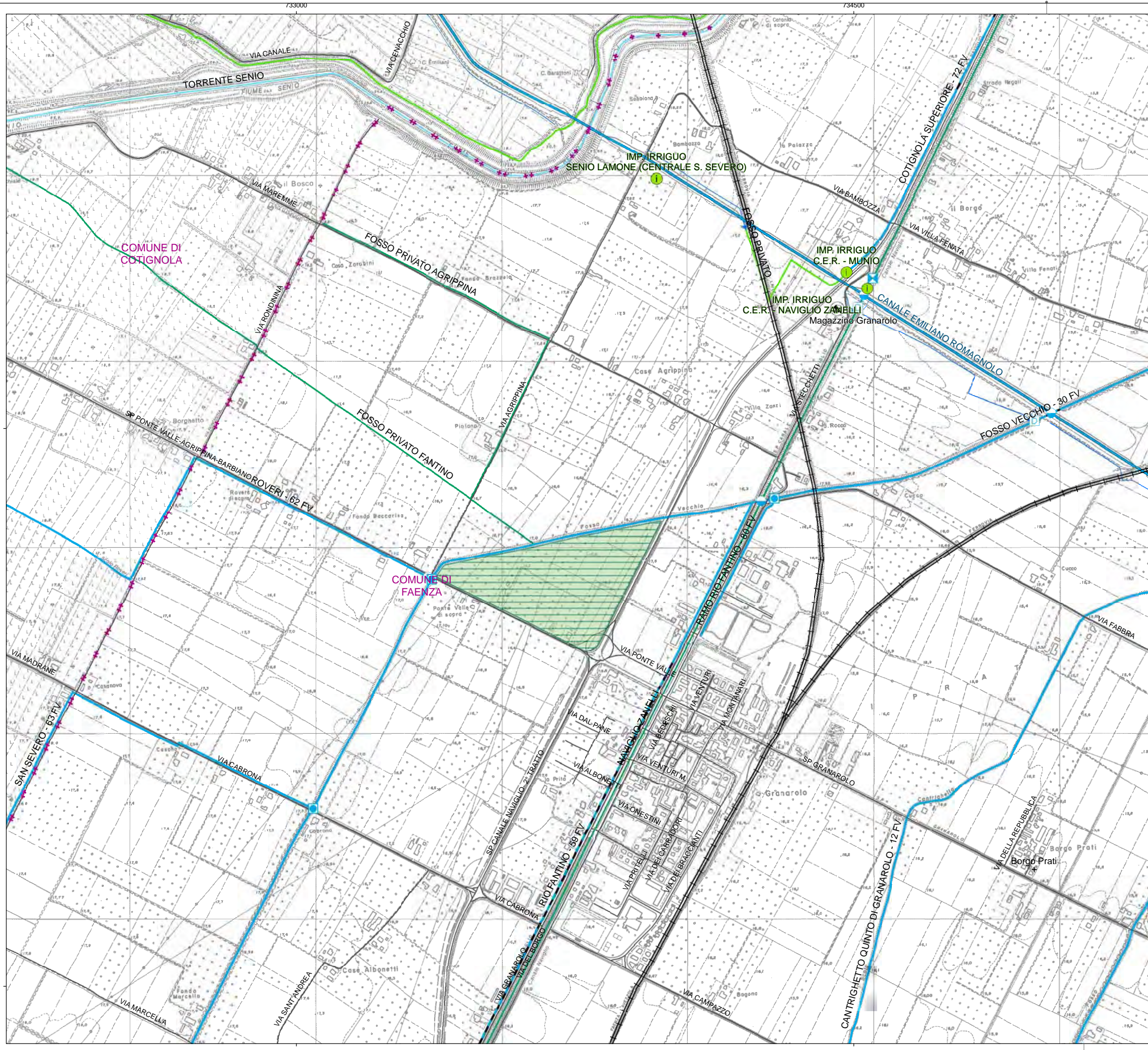
SISTEMA INFORMATIVO TERRITORIALE DEL CONSORZIO DI BONIFICA DELLA ROMAGNA OCCIDENTALE DISTRETTO DI PIANURA

SCALA 1:10.000



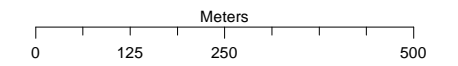
LEGENDA

-  Limite dei distretti consorziali
 -  Impianti idrovori di pompaggio
 -  Impianti irrigui di pompaggio
 -  Paratoie elettromeccaniche di intercettazione e regolazione
 -  Opera di regimazione/sbarramento consorziale
 -  Presidio di sbocco/chivica consorziale
 -  Sottopasso/Botte a sifone consorziale
 -  Opera di derivazione consorziale
 -  Opera di attraversamento consorziale
 -  Altro tipo di opera consorziale
 -  Fabbricati consorziali
 -  Condotte a bassa pressione/a pelo libero
 -  Canaletta di Mandriole
 -  Invasi di laminazione
 -  Invasi di compenso
 -  Aree destinate alla laminazione/espansione delle piene
 -  Fiumi e torrenti
 -  Canale Emiliano Romagnolo
 -  Fossi di guardia del Canale Emiliano Romagnolo
 -  Rete scolante consorziale a cielo aperto
 -  Rete scolante consorziale tombinata
 -  Rete scolante consorziale dismessa
 -  Rete scolante non consorziale in gestione al Consorzio
 -  Rete scolante non consorziale
- CARTA TECNICA REGIONALE 5.000

































SISTEMA INFORMATIVO TERRITORIALE DEL CONSORZIO DI BONIFICA DELLA ROMAGNA OCCIDENTALE DISTRETTO DI PIANURA

SCALA 1:10.000



LEGENDA

-  Limite dei distretti consorziali
 -  Impianti idrovori di pompaggio
 -  Impianti irrigui di pompaggio
 -  Paratoie elettromeccaniche di intercettazione e regolazione
 -  Opera di regimazione/sbarramento consorziale
 -  Presidio di sbocco/chivica consorziale
 -  Sottopasso/Botte a sifone consorziale
 -  Opera di derivazione consorziale
 -  Opera di attraversamento consorziale
 -  Altro tipo di opera consorziale
 -  Fabbricati consorziali
 -  Condotte a bassa pressione/a pelo libero
 -  Canaletta di Mandriole
 -  Gruppo di consegna
 -  Pozzetto
 -  Scarico
 -  Sfiato
 -  Valvola
 -  Reticolo consorziale di adduzione e distribuzione in pressione
 -  Invasi di laminazione
 -  Invasi di compenso
 -  Aree destinate alla laminazione/espansione delle piene
 -  Fiumi e torrenti
 -  Canale Emiliano Romagnolo
 -  Fossi di guardia del Canale Emiliano Romagnolo
 -  Rete scolante consorziale a cielo aperto
 -  Rete scolante consorziale tombinata
 -  Rete scolante consorziale dismessa
 -  Rete scolante non consorziale in gestione al Consorzio
 -  Rete scolante non consorziale
- CARTA TECNICA REGIONALE 5.000

