

# REGIONE ABRUZZO

COMUNE DI PESCARA



"DEVIAZIONE DEL PORTO CANALE DI PESCARA" (CUP D24B16000260001)  
"COMPLETAMENTO DEI NUOVI MOLI GUARDIANI" (CUP D21C18000210001)  
FASE A: REALIZZAZIONE DEL MOLO NORD

FASE B: INTERVENTI DI DEVIAZIONE DEL PORTO CANALE (CUP J24E21001210006)

FASE C: INTERVENTI DI COMPLETAMENTO

## PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

Titolo elaborato :

**STUDIO NUMERICO DELLA MORFODINAMICA  
DELL'INTERFERENZA CON IL PONTE DEL MARE**

Progettazione:

Dott. Ing. Giuseppe Nicola BERNABEO  
Dott. Geol. Mattia IPPOLITO  
Dott. Arch. Lorenzo DI GIROLAMO

Supporto alla progettazione:

**AGiS** Ingegneria

Via Sabotino, 46  
00195 ROMA



Via Monte Zebio 40  
00195 ROMA

Studi specialistici Idraulico-Marittimo:

Prof. Ing. Paolo DE GIROLAMO  
Prof. Ing. Marcello DI RISIO (UNIVAQ – UNIVERSITÀ DELL'AQUILA)

Responsabile Unico Del Procedimento:

Dott. Ing. Tommaso IMPICCIATORE

Scala:

Dimensioni foglio:

Elaborato:

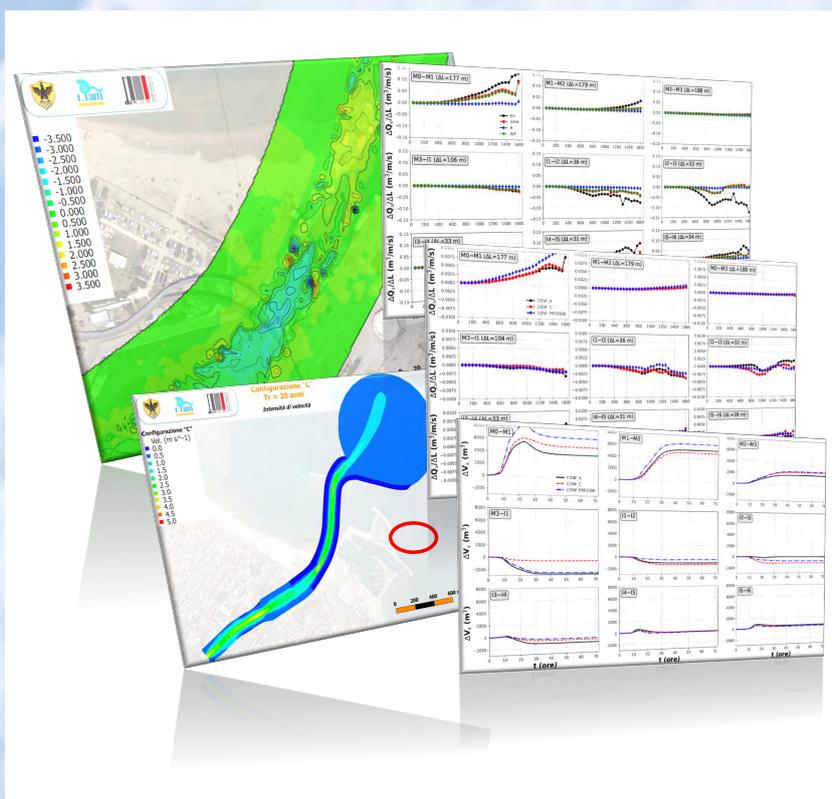
**MC-20-216-A**

Data	Rev.	DESCRIZIONE	Disegnato:	Controllato:	Validato:
Maggio 2024	0	EMISSIONE			

Contratto di Ricerca LIAM CT-29

# Deviazione del Porto Canale di Pescara

*Studio numerico della morfodinamica dell'interferenza con il Ponte del Mare*  
Versione R02



---

## **Committente**

Azienda Regionale Aree Produttive (ARAP)

---

## **Gruppo di Lavoro**

---

**Responsabile Scientifico:** Prof. Ing. Marcello Di Risio, Ph.D.

**Coordinatore Scientifico:** Dott. Ing. Davide Paquali, Ph.D.

**Collaboratori Scientifici:** Dott. Ing. Piera Fischione

Dott. Ing. Daniele Celli, Ph.D.



---

<b><i>Revisione</i></b>	<b><i>Data</i></b>
R01	24 Febbraio 2020
R02	6 Marzo 2020

---

## Indice

<b>1</b>	<b>Premesse</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Finalità dello studio e metodologia</b>	<b>3</b>
2.1	Approccio dello studio	3
2.2	Metodologia	5
2.2.1	Strumenti numerici	5
2.2.2	Analisi dei risultati	11
<b>3</b>	<b>Definizione degli scenari</b>	<b>15</b>
3.1	Implementazione dei domini di calcolo	15
3.1.1	Caratteristiche generali delle configurazioni	15
3.1.2	Fonte dei dati batimetrici	18
3.1.3	Discretizzazione dei domini di calcolo	19
3.2	Condizioni al contorno e parametri di simulazione	19
3.2.1	Fonte dei dati	19
3.2.2	Selezione delle condizioni di deflusso	24
3.2.3	Portate defluenti e livelli idrici di valle	24
3.2.4	Condizione ai contorni laterali	26
3.2.5	Scabrezza idraulica	27
3.2.6	Granulometria del fondo	27
<b>4</b>	<b>Risultati numerici e discussione</b>	<b>28</b>
4.1	Considerazioni generali	28
4.2	Scale di deflusso solido	28
4.3	Stima della bilancio volumetrico medio annuo	30
4.4	Effetto morfodinamico dell'evento ventennale	30
<b>5</b>	<b>Osservazioni conclusive</b>	<b>32</b>

<b>6 Bibliografia</b>	<b>34</b>
<b>A Risultati Numerici: dettagli grafici</b>	<b>37</b>
A.1 Griglie di calcolo	38
A.2 Scale di deflusso solido in corrispondenza delle sezioni significative	45
A.3 Portate solide totali in corrispondenza delle sezioni significative	142
A.4 Scale di deflusso solido in corrispondenza dei punti significativi	146
A.5 Differenze delle portate solide totali tra sezioni consecutive	159
A.6 Tasso medio di variazione della profondità tra sezioni consecutive	165
A.7 Tasso medio di variazione della profondità tra sezioni consecutive	171
A.8 Riproduzione dell'evento ventennale	177

## Elenco delle figure

1-1	Schema del problema. . . . .	2
2-1	Localizzazione delle sezioni di estrazione dei risultati numerici. L'area ombreggiata si riferisce al dominio di calcolo (descritto nel capitolo 4). . . . .	13
2-2	Localizzazione dei punti in cui sono estratti i risultati numerici. L'area ombreggiata si riferisce al dominio di calcolo (descritto nel capitolo 4). . . . .	13
2-3	Localizzazione delle sezioni di estrazione dei risultati numerici. L'area ombreggiata si riferisce al dominio di calcolo (descritto nel capitolo 4). . . . .	14
3-1	Schema della configurazione di riferimento (PRP2008). . . . .	16
3-2	Caratteristiche schematiche delle configurazioni considerate. . . . .	17
3-3	Estensione del dominio di calcolo. . . . .	18
3-4	Dettaglio delle griglie di calcolo in corrispondenza della zona di interesse. Le tabelle nei grafici sintetizzano i parametri che caratterizzano le griglie numeriche. . . . .	20
3-5	Configurazione "PRP2008". Distribuzione batimetrica ( <i>bed elevation</i> , m lmm). . . . .	21
3-6	Configurazione "A". Distribuzione batimetrica ( <i>bed elevation</i> , m lmm). . . . .	22
3-7	Configurazione "C". Distribuzione batimetrica ( <i>bed elevation</i> , m lmm). . . . .	23
3-8	Idrogramma di piena riprodotto per la caratterizzazione della morfodinamica a scala di evento. . . . .	26
A-1	Configurazione PRP2008. Distribuzione spaziale della quota del fondo. . . . .	39
A-2	Configurazione PRP2008. Distribuzione spaziale della quota del fondo. Dettaglio della zona di interesse. . . . .	40
A-3	Configurazione A. Discretizzazione della configurazione del fondo. . . . .	41
A-4	Configurazione A. Distribuzione spaziale della quota del fondo. Dettaglio della zona di interesse. . . . .	42
A-5	Configurazione C. Distribuzione spaziale della quota del fondo. . . . .	43
A-6	Configurazione C. Distribuzione spaziale della quota del fondo. Dettaglio della zona di interesse. . . . .	44
A-7	Configurazione "PRP2008". Portata 50.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	46
A-8	Configurazione "A". Portata 50.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	47
A-9	Configurazione "C". Portata 50.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	48
A-10	Configurazione "PRP2008". Portata 100.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	49

A-11 Configurazione "A". Portata 100.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	50
A-12 Configurazione "C". Portata 100.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	51
A-13 Configurazione "PRP2008". Portata 150.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	52
A-14 Configurazione "A". Portata 150.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	53
A-15 Configurazione "C". Portata 150.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	54
A-16 Configurazione "PRP2008". Portata 200.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	55
A-17 Configurazione "A". Portata 200.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	56
A-18 Configurazione "C". Portata 200.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	57
A-19 Configurazione "PRP2008". Portata 250.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	58
A-20 Configurazione "A". Portata 250.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	59
A-21 Configurazione "C". Portata 250.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	60
A-22 Configurazione "PRP2008". Portata 300.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	61
A-23 Configurazione "A". Portata 300.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	62
A-24 Configurazione "C". Portata 300.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	63
A-25 Configurazione "PRP2008". Portata 350.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	64
A-26 Configurazione "A". Portata 350.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	65
A-27 Configurazione "C". Portata 350.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	66
A-28 Configurazione "PRP2008". Portata 400.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	67

A-29 Configurazione "A". Portata 400.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	68
A-30 Configurazione "C". Portata 400.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	69
A-31 Configurazione "PRP2008". Portata 450.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	70
A-32 Configurazione "A". Portata 450.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	71
A-33 Configurazione "C". Portata 450.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	72
A-34 Configurazione "PRP2008". Portata 500.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	73
A-35 Configurazione "A". Portata 500.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	74
A-36 Configurazione "C". Portata 500.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	75
A-37 Configurazione "PRP2008". Portata 550.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	76
A-38 Configurazione "A". Portata 550.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	77
A-39 Configurazione "C". Portata 550.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	78
A-40 Configurazione "PRP2008". Portata 600.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	79
A-41 Configurazione "A". Portata 600.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	80
A-42 Configurazione "C". Portata 600.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	81
A-43 Configurazione "PRP2008". Portata 650.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	82
A-44 Configurazione "A". Portata 650.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	83
A-45 Configurazione "C". Portata 650.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	84
A-46 Configurazione "PRP2008". Portata 700.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	85

A-47 Configurazione "A". Portata 700.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	86
A-48 Configurazione "C". Portata 700.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	87
A-49 Configurazione "PRP2008". Portata 750.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	88
A-50 Configurazione "A". Portata 750.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	89
A-51 Configurazione "C". Portata 750.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	90
A-52 Configurazione "PRP2008". Portata 800.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	91
A-53 Configurazione "A". Portata 800.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	92
A-54 Configurazione "C". Portata 800.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	93
A-55 Configurazione "PRP2008". Portata 850.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	94
A-56 Configurazione "A". Portata 850.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	95
A-57 Configurazione "C". Portata 850.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	96
A-58 Configurazione "PRP2008". Portata 900.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	97
A-59 Configurazione "A". Portata 900.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	98
A-60 Configurazione "C". Portata 900.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	99
A-61 Configurazione "PRP2008". Portata 950.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	100
A-62 Configurazione "A". Portata 950.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	101
A-63 Configurazione "C". Portata 950.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	102
A-64 Configurazione "PRP2008". Portata 1000.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	103

A-65 Configurazione "A". Portata 1000.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	104
A-66 Configurazione "C". Portata 1000.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	105
A-67 Configurazione "PRP2008". Portata 1050.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	106
A-68 Configurazione "A". Portata 1050.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	107
A-69 Configurazione "C". Portata 1050.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	108
A-70 Configurazione "PRP2008". Portata 1100.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	109
A-71 Configurazione "A". Portata 1100.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	110
A-72 Configurazione "C". Portata 1100.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	111
A-73 Configurazione "PRP2008". Portata 1150.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	112
A-74 Configurazione "A". Portata 1150.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	113
A-75 Configurazione "C". Portata 1150.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	114
A-76 Configurazione "PRP2008". Portata 1200.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	115
A-77 Configurazione "A". Portata 1200.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	116
A-78 Configurazione "C". Portata 1200.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	117
A-79 Configurazione "PRP2008". Portata 1250.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	118
A-80 Configurazione "A". Portata 1250.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	119
A-81 Configurazione "C". Portata 1250.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	120
A-82 Configurazione "PRP2008". Portata 1300.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	121

A-83 Configurazione "A". Portata 1300.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	122
A-84 Configurazione "C". Portata 1300.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	123
A-85 Configurazione "PRP2008". Portata 1350.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	124
A-86 Configurazione "A". Portata 1350.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	125
A-87 Configurazione "C". Portata 1350.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	126
A-88 Configurazione "PRP2008". Portata 1400.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	127
A-89 Configurazione "A". Portata 1400.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	128
A-90 Configurazione "C". Portata 1400.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	129
A-91 Configurazione "PRP2008". Portata 1450.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	130
A-92 Configurazione "A". Portata 1450.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	131
A-93 Configurazione "C". Portata 1450.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	132
A-94 Configurazione "PRP2008". Portata 1500.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	133
A-95 Configurazione "A". Portata 1500.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	134
A-96 Configurazione "C". Portata 1500.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	135
A-97 Configurazione "PRP2008". Portata 1550.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	136
A-98 Configurazione "A". Portata 1550.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	137
A-99 Configurazione "C". Portata 1550.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	138
A-100 Configurazione "PRP2008". Portata 1600.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	139

A-10	Configurazione "A". Portata 1600.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	140
A-10	Configurazione "C". Portata 1600.0 m <sup>3</sup> /s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	141
A-10	Configurazione "PRP2008". Portata solida totale in transito in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	143
A-10	Configurazione "A". Portata solida totale in transito in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	144
A-10	Configurazione "C". Portata solida totale in transito in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1. . . . .	145
A-10	Configurazione "PRP2008". Punti PM. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza dei punti in Figura 2-3. . . . .	147
A-10	Configurazione "A". Punti PM. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza dei punti in Figura 2-3. . . . .	148
A-10	Configurazione "C". Punti PM. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza dei punti in Figura 2-3. . . . .	149
A-10	Configurazione "PRP2008". Punti PC. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza dei punti in Figura 2-2. . . . .	150
A-11	Configurazione "A". Punti PC. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza dei punti in Figura 2-2. . . . .	151
A-11	Configurazione "C". Punti PC. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza dei punti in Figura 2-2. . . . .	152
A-11	Configurazione "PRP2008". Punti PD. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza dei punti in Figura 2-2. . . . .	153
A-11	Configurazione "A". Punti PD. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza dei punti in Figura 2-2. . . . .	154
A-11	Configurazione "C". Punti PD. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza dei punti in Figura 2-2. . . . .	155
A-11	Configurazione "PRP2008". Punti PS. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza dei punti in Figura 2-2. . . . .	156
A-11	Configurazione "A". Punti PS. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza dei punti in Figura 2-2. . . . .	157
A-11	Configurazione "C". Punti PS. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza dei punti in Figura 2-2. . . . .	158
A-11	Configurazione "PRP2008". Differenza della portata solida totale in transito in corrispondenza delle coppie di sezioni consecutive riportate in Figura 2-1. . . . .	160

A-11	Configurazione "A". Differenza della portata solida totale in transito in corrispondenza delle coppie di sezioni consecutive riportate in Figura 2-1. . . . .	161
A-12	Configurazione "C". Differenza della portata solida totale in transito in corrispondenza delle coppie di sezioni consecutive riportate in Figura 2-1. . . . .	162
A-12	Confronto della differenza della portata solida totale in transito in corrispondenza delle coppie di sezioni consecutive riportate in Figura 2-1 stimata con la formulazione EH per tutte le configurazioni considerate. . . . .	163
A-12	Confronto della differenza della portata solida totale in transito in corrispondenza delle coppie di sezioni consecutive riportate in Figura 2-1 stimata con la formulazione WP per tutte le configurazioni considerate. . . . .	164
A-12	Configurazione "PRP2008". Tasso di variazione medio di profondità valutato sulla base della differenza della portata solida totale in transito in corrispondenza delle coppie di sezioni consecutive riportate in Figura 2-1. Per le formulazioni MPM, R e WP le variazioni sono espresse in dm/s. . . . .	172
A-12	Configurazione "A". Tasso di variazione medio di profondità valutato sulla base della differenza della portata solida totale in transito in corrispondenza delle coppie di sezioni consecutive riportate in Figura 2-1. Per le formulazioni MPM, R e WP le variazioni sono espresse in dm/s. . . . .	173
A-13	Configurazione "C". Tasso di variazione medio di profondità valutato sulla base della differenza della portata solida totale in transito in corrispondenza delle coppie di sezioni consecutive riportate in Figura 2-1. Per le formulazioni MPM, R e WP le variazioni sono espresse in dm/s. . . . .	174
A-13	Confronto del tasso di variazione medio di profondità valutato sulla base della differenza della portata solida totale in transito in corrispondenza delle coppie di sezioni consecutive riportate in Figura 2-1 stimata con la formulazione EH per tutte le configurazioni considerate. . . . .	175
A-13	Confronto del tasso di variazione medio di profondità valutato sulla base della differenza della portata solida totale in transito in corrispondenza delle coppie di sezioni consecutive riportate in Figura 2-1 stimata con la formulazione WP per tutte le configurazioni considerate. . . . .	176
A-12	Configurazione "PRP2008". Tasso di variazione medio di profondità valutato sulla base della differenza della portata solida totale in transito in corrispondenza delle coppie di sezioni consecutive riportate in Figura 2-1. Per le formulazioni MPM, R e WP le variazioni sono espresse in dm/s. . . . .	172

A-12	Configurazione "A". Tasso di variazione medio di profondità valutato sulla base della differenza della portata solida totale in transito in corrispondenza delle coppie di sezioni consecutive riportate in Figura 2-1. Per le formulazioni MPM, R e WP le variazioni sono espresse in dm/s. . . . .	173
A-13	Configurazione "C". Tasso di variazione medio di profondità valutato sulla base della differenza della portata solida totale in transito in corrispondenza delle coppie di sezioni consecutive riportate in Figura 2-1. Per le formulazioni MPM, R e WP le variazioni sono espresse in dm/s. . . . .	174
A-13	Confronto del tasso di variazione medio di profondità valutato sulla base della differenza della portata solida totale in transito in corrispondenza delle coppie di sezioni consecutive riportate in Figura 2-1 stimata con la formulazione EH per tutte le configurazioni considerate. . . . .	175
A-13	Confronto del tasso di variazione medio di profondità valutato sulla base della differenza della portata solida totale in transito in corrispondenza delle coppie di sezioni consecutive riportate in Figura 2-1 stimata con la formulazione WP per tutte le configurazioni considerate. . . . .	176
A-13	Differenza della portata solida totale in transito in corrispondenza delle coppie di sezioni consecutive riportate in Figura 2-1 al variare del tempo durante l'evoluzione dell'idrogramma ventennale. . . . .	178
A-13	Variazione del volume depositato (valori positivi) o eroso (valori negativi) in corrispondenza delle coppie di sezioni consecutive riportate in Figura 2-1 al variare del tempo durante l'evoluzione dell'idrogramma ventennale. . . . .	179
A-13	Configurazione "PRP2008". Variazione della quota del fondo in corrispondenza dell'area di interesse al termine dell'evento ventennale. . . . .	180
A-13	Configurazione "A". Variazione della quota del fondo in corrispondenza dell'area di interesse al termine dell'evento ventennale. . . . .	181
A-13	Configurazione "C" (in assenza dell'armatura del fondo). Variazione della quota del fondo in corrispondenza dell'area di interesse al termine dell'evento ventennale. . . . .	182
A-13	Configurazione "C" (in presenza di massi naturali ad armatura del fondo). Variazione della quota del fondo in corrispondenza dell'area di interesse al termine dell'evento ventennale. . . . .	183

## Elenco delle tabelle

3-1	Valori numerici delle portate ( $Q$ ), del livello di marea astronomica ( $\eta_a$ ), del livello della marea meteorologica ( $\eta_m$ ) e del livello totale ( $\eta_{tot}$ ) al variare del tempo di ritorno ( $T_r$ ). I valori di portata tra parentesi sono quelli effettivamente utilizzati per le simulazioni, risultato dell'approssimazione del risultato statistico. . . . .	25
-----	--	----

---

## 1 Premesse

---

L'oggetto dello studio è costituito dall'analisi idrodinamica e morfodinamica di una configurazione fluviale schematizzata in Figura 1-1. Nello schema si riconosce una zona di monte ( $ZM$ ) caratterizzata da una larghezza variabile ( $B_{ZM}$ ) che termina in corrispondenza di una zona di interesse ( $ZI$ ) in cui l'asta fluviale subisce una curva planimetrica e un restringimento che vede una variazione della larghezza dell'alveo ( $B_{ZI}$ ). Procedendo verso valle, si riconosce una zona di valle ( $ZV$ ) caratterizzata da una larghezza ( $B_{ZV}$ ) e da un andamento planimetrico non rettilineo. A valle dell'intero dominio di interesse si colloca il corpo idrico a capacità infinita ( $ZF$ ) in cui l'asta fluviale sfocia in mare. L'intero tratto in esame è delimitato dal contorno di monte ( $CM$ ), dal contorno idrico alla foce ( $CV$ ) e dai contorni in sponda destra ( $CD$ ) e in sponda sinistra ( $CS$ ). In corrispondenza del contorno di monte è definita la portata in ingresso nel dominio di interesse. In corrispondenza del contorno di valle è definito un livello costante ( $z_v$ ) volto a rappresentare il livello idrico marino. Si evidenzia che lo studio non è finalizzato alla riproduzione dettagliata dei fenomeni di esondazione. Tuttavia, il dominio di calcolo comprende una superficie "fuori alveo" delimitata da contorni che permettono l'uscita della portata esondata dal dominio di interesse.

L'obiettivo dello studio è quello di valutare gli effetti, sia sull'idrodinamica, sia sulla morfodinamica, dei parametri che definiscono la configurazione della zona di interesse (es. la larghezza dell'alveo, la profondità, l'andamento planimetrico, etc...).

Più nel dettaglio, lo studio mira a quantificare, con un approccio comparativo tra diverse configurazioni:

- l'entità delle *variazioni di profondità idrica e di velocità del deflusso* in corrispondenza della sezione di interesse e nel tratto immediatamente a monte;
- l'entità delle *modifiche batimetriche* in corrispondenza della zona di interesse.

Da un punto di vista qualitativo, le caratteristiche della geometria analizzata rappresenta la configurazione di progetto della "Deviazione del Porto Canale di Pescara" previsto dal "Masterplan Abruz-

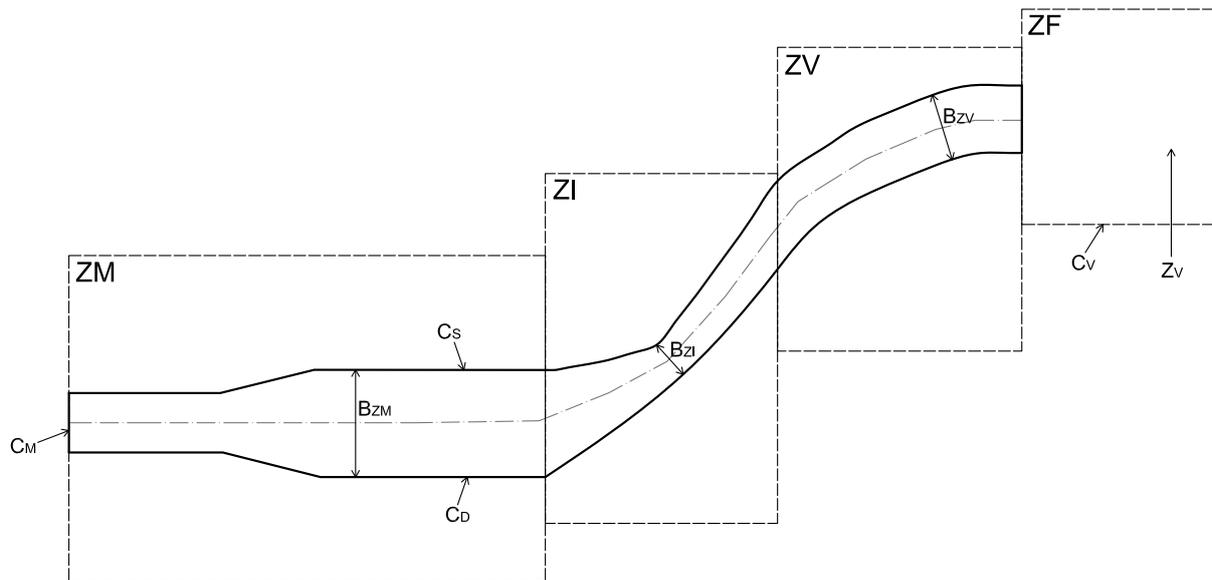


Figura 1-1: Schema del problema.

zo" (intervento PSRA/07). Durante la prima fase progettuale dell'intervento, è emersa la problematica relativa all'interferenza della configurazione planimetrica di progetto del fiume con il ponte ciclopedonale denominato "Ponte del Mare" realizzato, in concomitanza con la presentazione del Piano Regolatore Portuale (PRP2008) del Porto di Pescara, in corrispondenza della zona di interesse (ZI) di Figura 1-1. I risultati dello Studio, pertanto, possono essere utili da un punto di vista quantitativo per la definizione di dettaglio della configurazione della deviazione del Fiume.

Questa relazione ha l'obiettivo di illustrare i risultati dell'**indagine morfodinamica**. In particolare:

- il **Capitolo 2** descrive l'approccio metodologico dello studio, fornendo alcuni dettagli sugli strumenti numerici utilizzati e illustrando le tecniche di analisi e di sintesi dei risultati;
- il **Capitolo 3** descrive gli scenari di simulazione, illustrando nel dettaglio i domini di calcolo considerati e le condizioni al contorno;
- il **Capitolo 4** illustra i risultati ottenuti, sia per le singole configurazioni considerate, sia nell'ambito dell'analisi comparativa;
- il **Capitolo 5** sintetizza le caratteristiche salienti dello Studio e dei risultati tracciando alcune osservazioni conclusive;
- l'**Appendice A** riporta il dettaglio grafico dei risultati numerici.

---

## 2 Finalità dello studio e metodologia

---

### 2.1 Approccio dello studio

Il problema in esame è particolarmente complesso, poichè non può essere analizzato con l'utilizzo di tecniche standard. Infatti si sottolinea come, in questo caso, sia importante rappresentare la variazione delle caratteristiche idrodinamiche (es. l'intensità di velocità) lungo la direzione trasversale e, in misura minore, lungo la direzione verticale al fine di riprodurre l'influenza dei parametri che caratterizzano la curva planimetrica. Pertanto, non è possibile accettare l'ipotesi di monodimensionalità del moto ed è necessario ricorrere a modellazioni in grado di rappresentarne la bidimensionalità (nel piano orizzontale).

Ciò premesso, e alla luce degli obiettivi dello studio secondo quanto descritto nelle Premesse (precedente Capitolo 1) e dei risultati ottenuti nell'ambito dell'analisi idrodinamica (si faccia riferimento al rapporto tecnico *Studio numerico dell'idrodinamica e della morfodinamica di una foce fluviale – Indagine idrodinamica con approccio numerico bidimensionale – Revisione R03*), la riproduzione della morfodinamica secondo un approccio bidimensionale è utile alla quantificazione degli effetti sull'evoluzione del fondo dell'alveo della variazione dei parametri geometrici della foce fluviale. In particolare, con riferimento allo schema di Figura 1-1 del precedente Capitolo 1, lo studio è finalizzato a quantificare l'influenza dei seguenti parametri:

- larghezza dell'alveo ( $B_{ZI}$ ) in corrispondenza della curva planimetrica che caratterizza la zona di interesse ( $ZI$ );
- quota del fondo dell'alveo ( $z_{ZI}$ ) in corrispondenza della curva planimetrica che caratterizza la zona di interesse ( $ZI$ );
- configurazione della curva planimetrica che caratterizza la zona di interesse ( $ZI$ ).

Pertanto, sulla base dei risultati dell'analisi idrodinamica, lo studio morfodinamico a cui questa relazione si riferisce è finalizzato alla caratterizzazione morfodinamica del dominio di interesse e all'influenza della configurazione della zona di interesse.

E' opportuno sottolineare che l'analisi morfodinamica soffre di una forte incertezza denotata dalla numerosità nella letteratura tecnica delle formulazioni finalizzate alla stima quantitativa del trasporto solido. Alla luce di questa osservazione è necessario effettuare una approfondita analisi di sensibilità dei risultati numerici con l'obiettivo di fornirne il grado di incertezza. Pertanto, lo studio è costituito da due fasi distinte:

- stima delle scale di deflusso solido;
- stima dell'evoluzione morfodinamica a scala di evento.

La *stima delle scale di deflusso solido* è effettuata tramite l'analisi dei risultati di alcune brevissime simulazioni che, partendo dalle condizioni idrodinamiche in regime stazionario, permettono di valutare l'entità del trasporto solido (valutate con diverse formulazioni di letteratura) per una configurazione indeformata del fondo. I risultati ottenuti, pertanto, permettono di valutare l'incertezza del risultato numerico e le caratteristiche salienti dei fenomeni di trasporto nell'area in esame.

La *stima dell'evoluzione morfodinamica a scala di evento* è effettuata con l'obiettivo di fornire una stima dell'entità delle modifiche morfodinamiche. In particolare, ancora con approccio bidimensionale, sono valutate le entità delle modifiche batimetriche nell'area di interesse.

Si sottolinea che la valutazione dell'influenza della configurazione della zona di interesse è effettuata ricorrendo ad un approccio comparativo che, identificata una configurazione di riferimento, quantifica le differenze (in termini morfodinamici al variare della portata defluente) indotti dalla variazione dei parametri che caratterizzano le configurazioni considerate.

La geometria del Fiume prevista nel 2008 dal Piano Regolatore Portuale del Porto di Pescara (nel seguito indicata come Configurazione "PRP2008") è stata considerata quale configurazione di riferimento. Vengono inoltre considerate due configurazioni alternative (denominate Configurazione "A" e Configurazione "C", in accordo con la nomenclatura utilizzata nell'ambito del Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica della "Deviazione del Porto Canale di Pescara" previsto dal "Masterplan Abruzzo", intervento PSRA/07), che si differenziano dalla prima per la geometria planimetrica della curva e per le relative larghezza e profondità in corrispondenza della zona di interesse.

Seppur superfluo, si sottolinea che questo studio non ha l'obiettivo di valutare l'efficacia della configurazione prevista dal PRP2008 (peraltro già ampiamente indagata con numerosi studi a supporto della soluzione adottata e approvata), nè tantomeno quella di rappresentare uno studio di in-terrimento dell'asta fluviale finalizzato alla valutazione degli oneri di manutenzione del tratto fociale del Fiume (in quanto oggetto di numerosi studi pregressi). Invece, come anticipato, lo scopo è quello di effettuare un'analisi comparativa in grado di valutare quantitativamente l'influenza della geometria della zona di interesse sull'evoluzione del fondo nell'area di interesse.

I dettagli delle configurazioni considerate sono riportate nel Capitolo 3. Nel seguito di questo capitolo si riportano, invece, alcuni dettagli degli strumenti numerici utilizzati e delle tecniche di analisi (e sintesi) dei risultati.

## 2.2 Metodologia

### 2.2.1 Strumenti numerici

#### 2.2.1.1 Aspetti generali

Per il raggiungimento degli obiettivi dello studio e nel rispetto dell'approccio metodologico discusso al paragrafo precedente, è stato selezionato il modello numerico BASEplain, appartenente all'insieme di modelli denominato BASEMENT (*Basic Simulation Environment for Computation of Environmental Flow and Natural Hazard Simulation*) sviluppato dal Laboratorio di Idraulica, Idrologia e Glaciologia (Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie – VAW) del Politecnico Federale Svizzero (Eidgenössische Technische Hochschule – ETH) di Zurigo.

In estrema sintesi, BASEMENT è un insieme di modelli (BASEchain, BASEplain, BASEsub) votato alla riproduzione numerica del deflusso delle acque in regime stazionario (portata costante) o transitorio (idrogrammi di piena) e alla conseguente modifica morfodinamica dovuta al trasporto solido di fondo e in sospensione, sia con approccio monodimensionale, sia con approccio bidimensionale.

In ambito idrodinamico, il modulo numerico bidimensionale (BASEplain) risolve le equazioni non lineari delle acque basse. Pertanto, è trascurata la deviazione della distribuzione della pressione da quella idrostatica e le componenti verticali delle velocità sono trascurate. Gli effetti della turbolenza possono essere riprodotti soltanto tramite la definizione di una viscosità cosiddetta "di vortice" che ha l'obiettivo di introdurre un'ulteriore resistenza al moto indotta dalle fluttuazioni (turbolente).

In ambito morfodinamico, il modulo numerico bidimensionale risolve l'equazione di continuità del sedimento utilizzando il gradiente del trasporto solido di fondo e una funzione che rappresenta l'equilibrio dinamico relativo al meccanismo di trasporto in sospensione.

#### 2.2.1.2 Le equazioni che governano il problema

##### *Idrodinamica*

Le equazioni risolte dal modello sono valide nel caso in cui le accelerazioni verticali siano ragionevolmente trascurabili (da cui dipende che la pressione è distribuita idrostaticamente e che il profilo verticale delle velocità orizzontale è ragionevolmente costante) e che la pendenza sia ragionevolmente piccola. A questo si aggiunge l'ipotesi che leggi di resistenza al moto valide per moto stazionario siano valide anche per moto transitorio.

Più nel dettaglio, il sistema di equazioni differenziali alle derivate parziali che governano il fenomeno sono le seguenti:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(Uh)}{\partial x} + \frac{\partial(Vh)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} + g \frac{\partial h}{\partial x} = -g \frac{\partial z_b}{\partial x} + \frac{1}{\rho h} \left\{ -\tau_{bx} + \frac{\partial [h(\tau_{xx} + D_{xx})]}{\partial x} + \frac{\partial [h(\tau_{xy} + D_{xy})]}{\partial y} \right\} \quad (2)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + g \frac{\partial h}{\partial y} = -g \frac{\partial z_b}{\partial y} + \frac{1}{\rho h} \left\{ -\tau_{by} + \frac{\partial [h(\tau_{yx} + D_{yx})]}{\partial x} + \frac{\partial [h(\tau_{yy} + D_{yy})]}{\partial y} \right\} \quad (3)$$

L'equazione (1) costituisce l'equazione di conservazione della massa. Le equazioni (2)–(3) esprimono la conservazione della quantità di moto nel piano orizzontale. L'equazione della conservazione di quantità di moto lungo la direzione verticale è costituita dall'ipotesi di pressione distribuita idrostaticamente utilizzata per scrivere le (2)–(3).

Nel sistema di equazioni differenziali alle derivate parziali (1)–(3) i simboli rappresentano le seguenti grandezze:

- $x, y$ : le coordinate spaziali ( $m$ );
- $t$ : il tempo ( $s$ );
- $U, V$ : le componenti del vettore locale di velocità mediata sulla profondità ( $m/s$ );
- $g$ : l'accelerazione di gravità ( $m/s^2$ );
- $h$ : la profondità idrica ( $m$ );
- $z_b$ : l'elevazione del fondo ( $m$ );
- $\rho$ : la densità dell'acqua ( $kg/m^3$ );
- $\tau_{bx}, \tau_{by}$ : le componenti del vettore locale di tensione tangenziale al fondo ( $N/m^2$ );
- $\tau_{xx}, \tau_{yy}, \tau_{xy} (= \tau_{yx})$ : le componenti del tensore degli sforzi viscosi e turbolenti mediati sulla profondità ( $N/m^2$ );
- $D_{xx}, D_{yy}, D_{xy} (= D_{yx})$ : le componenti del tensore di trasferimento laterale di quantità di moto ( $N/m^2$ ).

La soluzione è costituita dalla distribuzione spazio-temporale del vettore locale di velocità mediata sulla profondità ( $U, V$ ) e della relativa profondità idrica ( $h$ ).

### ***Evoluzione batimetrica***

L'evoluzione batimetrica è governata dall'equazione (di continuità) di Exner. Considerando un'unica classe granulometrica, l'equazione può essere scritta come segue:

$$(1 - p) \frac{\partial z_b}{\partial t} + \frac{\partial q_{Bx}}{\partial x} + \frac{\partial q_{By}}{\partial y} + s = 0 \quad (4)$$

nella quale:

- $x, y$ : le coordinate spaziali ( $m$ );
- $t$ : il tempo ( $s$ );
- $p$ : la porosità dell'ammasso sedimentario (-);
- $z_b$ : elevazione del fondo ( $m$ );
- $q_{Bx}, q_{By}$ : le componenti del vettore locale di trasporto solido al fondo per unità di larghezza ( $m^3/m/s$ );
- $s$ : termine sorgente relativo alla messa in sospensione di sedimento, per unità di larghezza ( $m^3/m^2/s$ ).

La stima del trasporto solido di fondo ( $q_{Bx}, q_{By}$ ) richiede l'utilizzo di una formulazione (tipicamente empirica), così come descritto nei seguenti paragrafi.

Analogamente, la stima della risospensione/deposizione legata al processo del trasporto solido in sospensione ( $s$ ), richiede l'utilizzo di una formulazione (tipicamente empirica) che possa essere utilizzata per la risoluzione dell'equazione di diffusione e dispersione, così come descritto nei seguenti paragrafi.

### **Trasporto solido in sospensione**

Il trasporto solido in sospensione è governato dal processo di diffusione e dispersione. Esso può essere descritto dall'equazione differenziale alle derivate parziali che segue:

$$\frac{\partial(Ch)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( ChU + h\Gamma \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( ChV + h\Gamma \frac{\partial C}{\partial y} \right) - s = 0 \quad (5)$$

nella quale:

- $x, y$ : le coordinate spaziali ( $m$ );
- $t$ : il tempo ( $s$ );
- $C$ : concentrazione del sedimento in sospensione (-);
- $h$ : la profondità idrica ( $m$ );
- $U, V$ : le componenti del vettore locale di velocità mediata sulla profondità ( $m/s$ );
- $\Gamma$ : il coefficiente di viscosità di vortice (-);
- $s$ : termine sorgente relativo alla messa in sospensione di sedimento, per unità di larghezza ( $m^3/m^2/s$ ).

Il termine sorgente può essere espresso dalla seguente relazione:

$$s = w(\beta C_e - C_d) \quad (6)$$

che rappresenta la differenza tra la quantità di sedimento risospesa e quella che rideposita sul fondo per unità di tempo. Il termine  $C_d$  è la concentrazione in corrispondenza del fondo e  $C_e$  rappresenta una concentrazione di riferimento. Il termine  $w$  rappresenta la velocità di sedimentazione (funzione della granulometria del sedimento).

Senza entrare nei dettagli, al di fuori dello scopo di questo documento, esistono una serie di relazioni teoriche-empiriche che permettono di ottenere una stima funzionale dei termini  $C_e$  (es. van Rijn, 1984; Zyserman e Fredsoe, 1994) e  $C_d$  (es. Lin, 1984; Xu, 1998). Tali relazioni legano il valore di  $C_e$  e  $C_d$  alle caratteristiche idrodinamiche del deflusso, alla concentrazione in sospensione, alle caratteristiche granulometriche del sedimento. Pertanto, si osserva che il termine  $s$  dipende dalla soluzione dell'equazione (5) e, di conseguenza, il trasporto solido in sospensione influenza, se il sedimento è abbastanza fine in relazione alle fluttuazioni turbolente, l'evoluzione della quota del fondo, poichè il termine  $s$  interviene anche nell'integrazione dell'equazione (4).

### **Trasporto solido di fondo**

In generale, il trasporto solido di fondo  $q_{b-tot}^{(i)}$  diretto lungo la direzione  $i$  ( $i = x, y$ ), per unità di larghezza, può essere espresso dalla seguente relazione:

$$q_{b-tot}^{(i)} = q_b^{(i)} + q_{lat}^{(i)} + q_{curv}^{(i)} + q_{grav}^{(i)} \quad (7)$$

nella quale:

- $q_{b-tot}^{(i)}$ : il trasporto solido di fondo diretto lungo la direzione  $i$  ( $i = x, y$ );
- $q_b^{(i)}$ : componente dovuta all'azione della corrente;
- $q_{lat}^{(i)}$ : componente dovuta alla presenza del trasporto di fondo lungo la direzione trasversale a  $i$ ;
- $q_{curv}^{(i)}$ : componente dovuta alla curvatura;
- $q_{grav}^{(i)}$ : componente dovuta all'azione della gravità.

La componente dovuta all'azione della corrente può essere stimata tramite una delle numerose formulazioni proposte nel caso monodimensionale. In particolare, in questo studio, sono utilizzate alcune formulazioni i cui intervalli di validità possono essere considerati compatibili con le caratteristiche dell'area in esame. In particolare, sono state considerate le seguenti formulazioni:

- **Formula di Meyer-Peter e Muller (MPM)**

Proposta da Meyer-Peter e Muller (1948), la formula esprime il trasporto solido di fondo in

funzione della densità relativa ( $\rho^*$ ), del diametro del sedimento ( $d_g$ ), del valore della tensione tangenziale al fondo ( $\theta_g$ ) e del valore critico della tensione tangenziale ( $\theta_c$ ):

$$q_b = \alpha \sqrt{(\rho^* - 1) g d_g^3} (\theta_g - \theta_c)^m \quad (8)$$

I parametri  $\alpha$  e  $m$  sono stati proposti pari a 8.0 e 0.047 rispettivamente. E' da sottolineare che la formulazione è valida per sabbie grossolane e ghiaie.

- **Formula di Wong e Parker (WP)**

Proposta da Wong e Parker (2006), coincide con la formula di Meyer-Peter e Muller con i valori dei parametri pari a  $\alpha = 4.93$  e  $m = 1.6$ :

$$q_b = 4.93 \sqrt{(\rho^* - 1) g d_g^3} (\theta_g - \theta_c)^{1.6} \quad (9)$$

- **Formula di Engelund e Hansen (EH)**

Proposta da Engelund and Hansen (1972), la formula esprime il trasporto solido di fondo in funzione della densità relativa ( $\rho^*$ ), del diametro del sedimento ( $d_g$ ), del valore della tensione tangenziale di Shields ( $\theta$ ) e del valore del coefficiente di scabrezza adimensionale relativo al fondo ( $c_f$ ):

$$q_b = 0.05 \sqrt{(\rho^* - 1) g d_g^3} \theta^{2.5} c_f^2 \quad (10)$$

Si osserva che tale formulazione non fa diretto uso del valore critico della tensione tangenziale.

- **Rickenmann (R)**

Proposta da Rickenmann (1991) sulla base dell'analisi di diverse campagne sperimentali (Meyer-Peter e Muller, 1948; Smart e Jaeggi, 1983; Rickenmann, 1990), la formula esprime il trasporto di fondo in funzione della densità relativa ( $\rho^*$ ), del diametro caratteristico del sedimento (diametro passante al 90%,  $d_{90}$ , passante al 50%,  $d_{50}$ , e passante al 30%,  $d_{30}$ ), del valore della tensione tangenziale adimensionale di Shields ( $\theta'$ ) e del suo valore critico ( $\theta'_{cr}$ ), e del valore del numero di Froude della corrente ( $Fr$ ):

$$q_b = 3.1 \left( \frac{d_{90}}{d_{30}} \right)^{0.2} \theta'^{0.5} (\theta' - \theta'_{cr}) Fr^{1.1} (\rho^* - 1)^{-0.5} [(\rho^* - 1) g d_{50}^3]^{0.5} \quad (11)$$

E' da notare che gli intervalli sperimentali di tale formulazione sono da riferirsi a materiale grossolano.

Le componenti dovute alla presenza del trasporto solido di fondo lungo la direzione trasversale e la componente dovuta alla curvatura hanno l'obiettivo di correggere la direzione del vettore che rappresenta il trasporto solido di fondo. Infatti, le formule empiriche utilizzate per la stima della componente dovuta alla sola azione della corrente sono state ricavate nel caso particolare in cui la pendenza del fondo è diretta lungo l'asse del deflusso. Le correzioni  $q_{lat}^{(i)}$  e  $q_{curv}^{(i)}$  hanno l'obiettivo di

correggere la direzione del trasporto solido. Tali correzioni, senza entrare nei dettagli al di fuori dello scopo di questa relazione, sono applicate seguendo i metodi proposti da Ikeda (1982), Talmon et al. (1995), Engelund (1974).

La componente dovuta all'azione della gravità ha l'obiettivo di riprodurre gli effetti di un eccesso di pendenza (del fondo) rispetto all'angolo critico di stabilità, dipendente dalla granulometria del sedimento. Nel caso in esame, tale correzione non è stata considerata in quanto le sponde dell'asta fluviale in esame sono costituite da sponde rigide, non soggette a migrazione naturale.

### ***Ipotesi di chiusura e condizioni al contorno***

Al fine di poter risolvere (numericamente) il sistema (1)–(3), sono necessarie alcune ipotesi di chiusura volte alla quantificazione della tensione tangenziale al fondo, del tensore degli sforzi e di trasferimento di quantità di moto. La tensione tangenziale al fondo può essere espressa introducendo il coefficiente di resistenza  $c_f$ :

$$\vec{\tau}_b = \rho \frac{|\vec{v}|}{c_f^2} \vec{v} \quad (12)$$

nella quale  $\vec{v}$  è il vettore locale di velocità mediata sulla profondità di componenti  $\{U, V\}$ , e  $\vec{\tau}_b$  è il vettore di tensione tangenziale al fondo di componenti  $\{\tau_{bx}, \tau_{by}\}$ . Il coefficiente di resistenza  $c_f$  può essere espresso con una delle tante formulazioni di letteratura. A titolo di esempio, esso può essere espresso in funzione del coefficiente di Gauckler-Strickler (o, analogamente, di Manning).

Gli sforzi viscosi e turbolenti vengono espressi tramite i coefficienti di viscosità molecolare ( $\nu_m$ ) e di vortice ( $\nu_t$ ) che permettono di esplicitare le componenti del tensore degli sforzi:

$$\tau_{xx} = 2\rho\nu \frac{\partial U}{\partial x} \quad \tau_{yy} = 2\rho\nu \frac{\partial V}{\partial y} \quad \tau_{xy} = \tau_{yx} = \rho\nu \left( \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial U}{\partial y} \right) \quad (13)$$

nella quale  $\nu = \nu_m + \nu_t$ .

Le condizioni al contorno (laterale) necessarie alla risoluzione del sistema di equazioni differenziali che governano il problema sono sostanzialmente finalizzate a riprodurre l'impermeabilità dei contorni oppure l'ingresso/uscita della portata nel/dal dominio di calcolo. La descrizione rigorosa delle condizioni al contorno va oltre la finalità di questo documento, rimandando a *Vetsch et al. (2018)* per i dettagli teorici.

Per la riproduzione dell'evoluzione morfodinamica sono necessarie ulteriori condizioni al contorno. In particolare, in corrispondenza dei contorni di monte e di valle, si impone un trasporto solido necessario a non far evolvere il fondo in diretta corrispondenza del contorno stesso.

### ***La risoluzione numerica***

Il sistema di equazioni che governano il problema è risolto utilizzando una griglia non strutturata. Essa, in linea generale, è costituita da elementi piani non sovrapposti, di forma tipicamente triangolare, che permettono di rappresentare l'intero dominio di interesse anche nel caso di geometrie complesse. Ogni elemento è definito dalle coordinate dei nodi (tre nel caso di elementi triangolari)

in corrispondenza dei quali è nota l'elevazione del terreno. In corrispondenza di un punto interno al singolo elemento (tipicamente il centro) è calcolata la soluzione; in corrispondenza dello spigolo in comune tra due elementi adiacenti sono definiti i flussi.

Da un punto di vista numerico, le equazioni (di conservazione della massa e della quantità di moto) sono risolte tramite il metodo dei volumi finiti: le equazioni sono integrate su ogni elemento che costituisce la griglia, la soluzione è assunta di forma nota (per ogni elemento) e i valori nodali sono determinati imponendo che essi soddisfino l'equazione che governa il problema minimizzando l'errore (pesato) dovuto all'assunzione della forma della soluzione. Nel caso del metodo dei volumi finiti, l'errore viene pesato con una funzione unitaria (differentemente dal metodo degli "elementi finiti"). L'integrazione temporale è ottenuta con il metodo esplicito di Eulero, che permette di calcolare il valore futuro della soluzione sulla base della sola soluzione al tempo presente.

### 2.2.2 Analisi dei risultati

I risultati principali dell'applicazione del modello numerico descritto al paragrafo precedente consistono nella distribuzione spaziale del vettore locale di trasporto solido e della conseguente modifica della posizione del fondo in corrispondenza di ogni elemento (triangolare) che costituisce la griglia di calcolo nell'ambito dell'approccio numerico ai volumi finiti.

Alla luce degli obiettivi dello Studio (descritti al precedente Capitolo 2), è necessario una sintesi quantitativa dei risultati numerici che ne permettano l'interpretazione.

Nell'ambito della caratterizzazione delle scale di deflusso solido, i risultati numerici sono stati analizzati con l'obiettivo di fornire le seguenti informazioni:

- distribuzione spaziale del trasporto solido per unità di larghezza dell'alveo al variare della portata liquida; tale informazione è stata estratta in corrispondenza di una serie di punti e di sezioni significative;
- distribuzione spaziale del trasporto solido che transita in corrispondenza di una serie di sezioni trasversali al deflusso al variare della portata liquida;
- bilancio solido tra coppie di sezioni trasversali al variare della portata liquida;
- stima del tasso di deposizione/erosione media tra coppie di sezioni trasversali al variare della portata liquida.

Nell'ambito della caratterizzazione dell'evoluzione morfodinamica a scala di evento, i risultati numerici sono stati analizzati con l'obiettivo di fornire le seguenti informazioni:

- bilancio solido tra coppie di sezioni trasversali durante l'evento;
- stima dei volumi in deposizione/erosione tra coppie di sezioni trasversali durante l'evento.

Con l'obiettivo di raggiungere lo scopo dello studio, cioè di valutare gli effetti morfodinamici della configurazione della zona di interesse, i risultati numerici sono oggetto di un'analisi comparativa. In questo ambito, le informazioni morfodinamiche ottenute per le configurazioni "A" e "C" sono confrontate con quelle ottenute per la configurazione "PRP2008" di riferimento.

In particolare, con riferimento agli schemi di Figura 2-1, 2-2 e 2-3, i confronti sono mostrati in corrispondenza di:

- sezioni trasversali al deflusso a monte della zona di interesse (indicati con la sigla "M" nello schema di Figura 2-1);
- sezioni trasversali al deflusso in corrispondenza della zona di interesse (indicati con la sigla "I" nello schema di Figura 2-1);
- sezione longitudinale al deflusso che corre lungo il talweg (indicata con la sigla "T1" nello schema di Figura 2-1);
- punti posti in corrispondenza della zona di interesse (indicati con la sigla "PS" – sponda sinistra – "PD" – sponda destra – e "PC" – al centro – nello schema di Figura 2-2);
- punti posti a monte della zona di interesse (indicati con la sigla "PM" nello schema di Figura 2-3).

Le sezioni e i punti considerati coincidono con quelli già analizzati nell'ambito dello studio idrodinamico a meno delle sezioni "M0", "I5" e "I6".

In particolare, sono state selezionate tre sezioni poste a monte della zona di interesse ("M1", "M2" e "M3" in Figura 2-1) con l'obiettivo di quantificare l'influenza della configurazione della curva in corrispondenza della zona di monte. Rispetto allo studio idrodinamico, è stata considerata anche la sezione "M0", con l'obiettivo di tener conto del trasporto solido che giunge in corrispondenza dell'allargamento. Le quattro sezioni "I1", "I2", "I3" e "I4" di Figura 2-1 mirano all'analisi in diretta corrispondenza della zona di interesse. Rispetto allo studio idrodinamico, sono state considerate ulteriori due sezioni ("I5" e "I6") con l'obiettivo di identificare eventuali aree di erosione/deposizione nella zona immediatamente a valle dell'area di interesse. La sezione che corre lungo il talweg ("T1" in Figura 2-1) ha l'obiettivo di osservare le caratteristiche salienti del fenomeno. Con la stessa strategia, i punti sono stati selezionati in corrispondenza della sponda destra e sponda sinistra (e nella sezione di mezzeria) nella zona di interesse con l'obiettivo di fornire informazioni di dettaglio.

I risultati sono discussi nel Capitolo 4 e sono riportati nelle appendici A.1, A.2, A.3, A.4, A.5, A.6, A.7 e A.8.

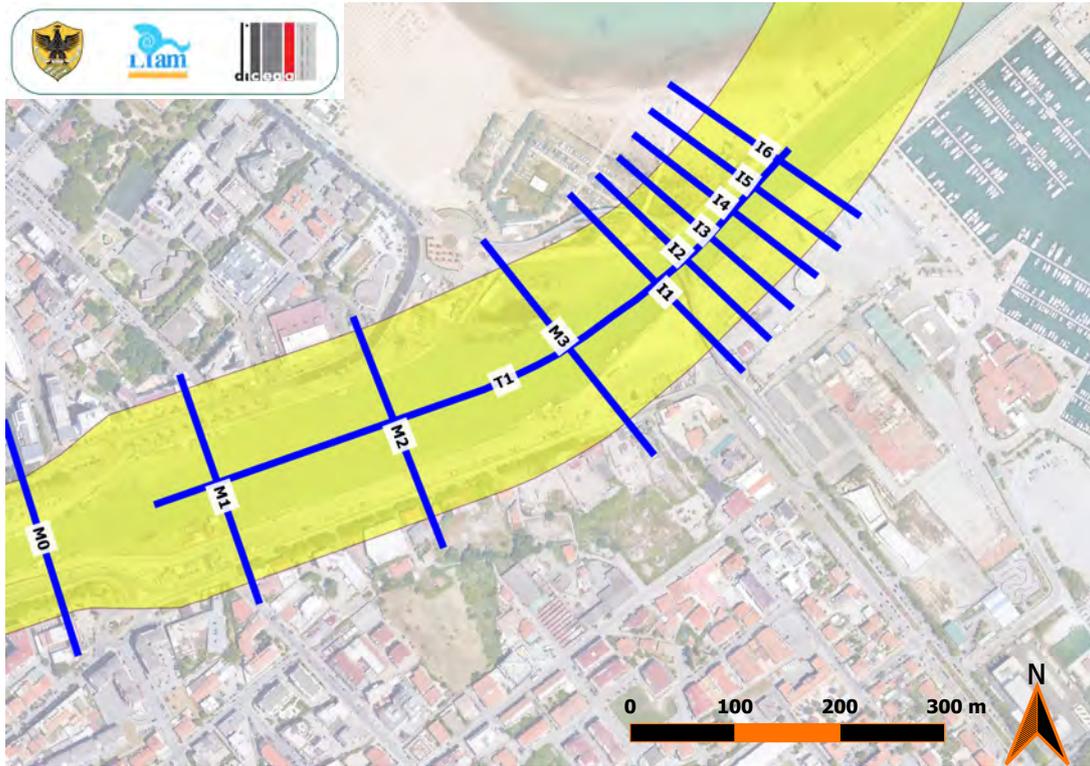


Figura 2-1: Localizzazione delle sezioni di estrazione dei risultati numerici. L'area ombreggiata si riferisce al dominio di calcolo (descritto nel capitolo 4).

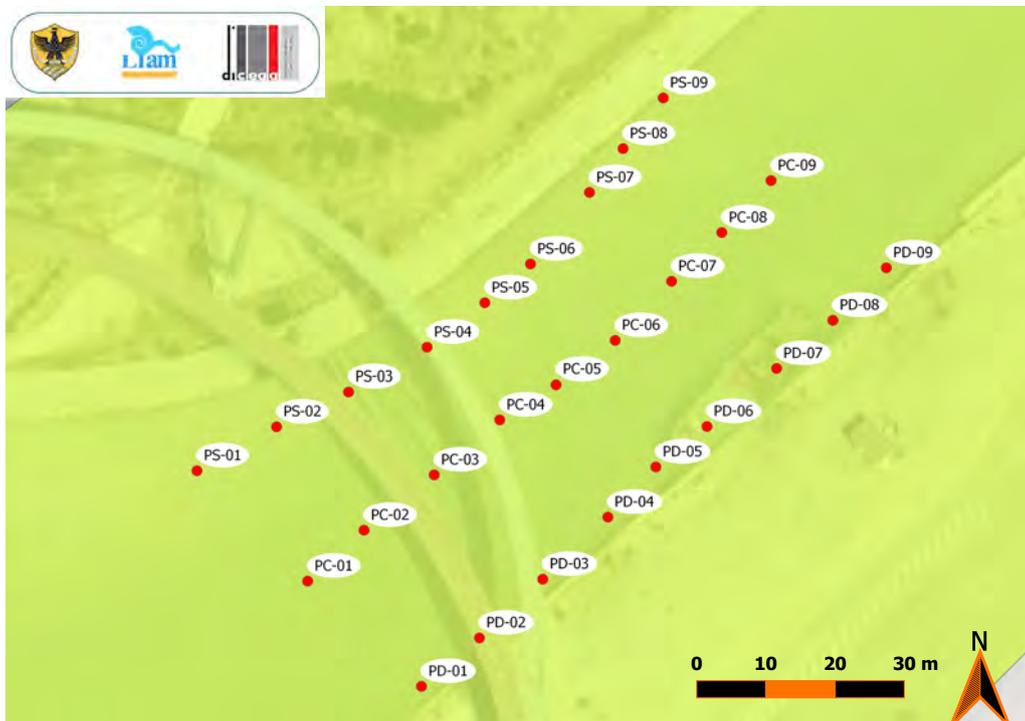


Figura 2-2: Localizzazione dei punti in cui sono estratti i risultati numerici. L'area ombreggiata si riferisce al dominio di calcolo (descritto nel capitolo 4).



Figura 2-3: Localizzazione delle sezioni di estrazione dei risultati numerici. L'area ombreggiata si riferisce al dominio di calcolo (descritto nel capitolo 4).

---

## 3 Definizione degli scenari

---

### 3.1 Implementazione dei domini di calcolo

#### 3.1.1 Caratteristiche generali delle configurazioni

Come diffusamente anticipato, lo studio è finalizzato a quantificare l'influenza morfodinamica della configurazione geometrica della zona di interesse dello schema di Figura 1-1. E' stato altresì anticipato che tale geometria può essere considerata rappresentativa della configurazione di progetto della "Deviazione del Porto Canale di Pescara" previsto dal "Masterplan Abruzzo" (intervento PSRA/07), in particolare per quanto concerne la risoluzione dell'interferenza tra la previsione progettuale e il "Ponte del Mare". Pertanto, nel seguito, per semplificare la lettura del documento, si farà esplicito riferimento alla situazione pratica del progetto di Deviazione del Porto Canale di Pescara.

Nell'ambito dell'approccio comparativo dello studio, la configurazione prevista dal PRP2008 è stata considerata di riferimento. Rispetto all'attuale geometria della Foce del Pescara, essa prevede la deviazione del tratto terminale con conseguente separazione fra Foce fluviale e Porto Commerciale (in destra idraulica della configurazione di progetto). La sezione terminale dell'asta fluviale trova localizzazione in corrispondenza dell'attuale opera foranea, con una profondità che raggiunge i 10 m circa. La deviazione si raccorda con l'attuale percorso del fiume in corrispondenza della sezione di valle dell'attuale darsena del Porto Canale, a partire dalla quale l'alveo devia verso la sinistra idraulica con larghezza della sezione decrescente dai 95 m sino ai 60 m in corrispondenza del "Ponte del Mare". La sezione, procedendo verso la Foce, si allarga gradualmente sino a raggiungere un'estensione trasversale al deflusso pari a 65 m. Il fondo alveo degrada procedendo verso valle, partendo dalla quota -4 m lmm in corrispondenza della sezione di monte della deviazione e del Ponte del Mare, sino alla quota -6 m lmm in corrispondenza della sezione terminale, passando per la quota -5 m lmm in corrispondenza del tratto a valle del Ponte del Mare. La Figura 3-1 riporta uno schema della geometria (e dei simboli utilizzati nel seguito di questo studio) estratto dal Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica dell'intervento.

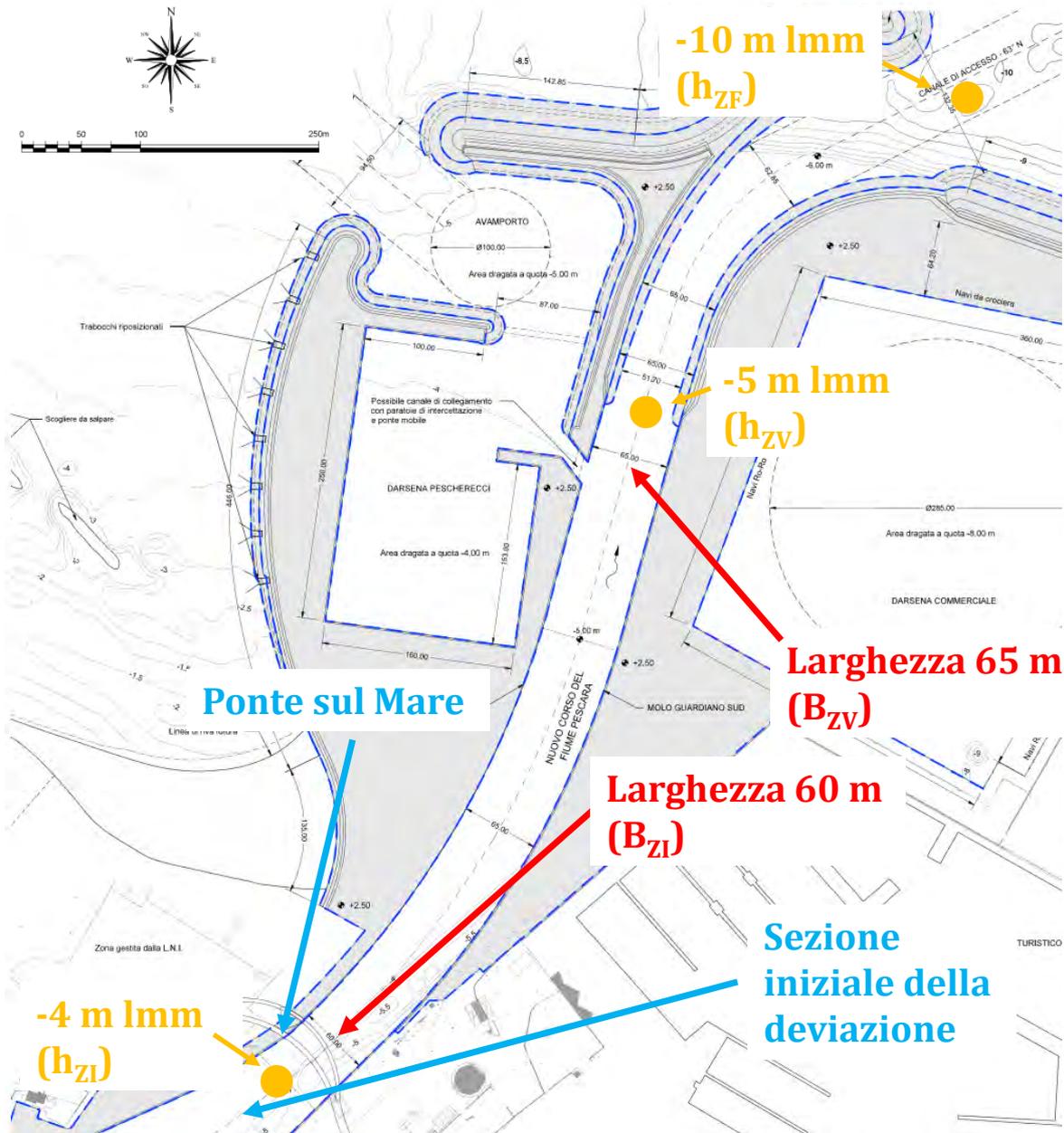


Figura 3-1: Schema della configurazione di riferimento (PRP2008).

Le ulteriori configurazioni considerate si differenziano per la geometria in corrispondenza della zona di interesse, sia in termini di larghezza (e configurazione planimetrica) della sezione, sia in termini di profondità e scabrezza idraulica.

In particolare, la configurazione "A" vede una sezione di larghezza pari a  $55\text{ m}$  in corrispondenza dell'area di interferenza con la fondazione del Ponte del Mare, ove si prevede una protezione del fondo alveo con massi naturali ( $100\text{-}500\text{ kg}$ ). Le quote del fondo alveo, rispetto alla configurazione PRP2008 rimangono invariate.

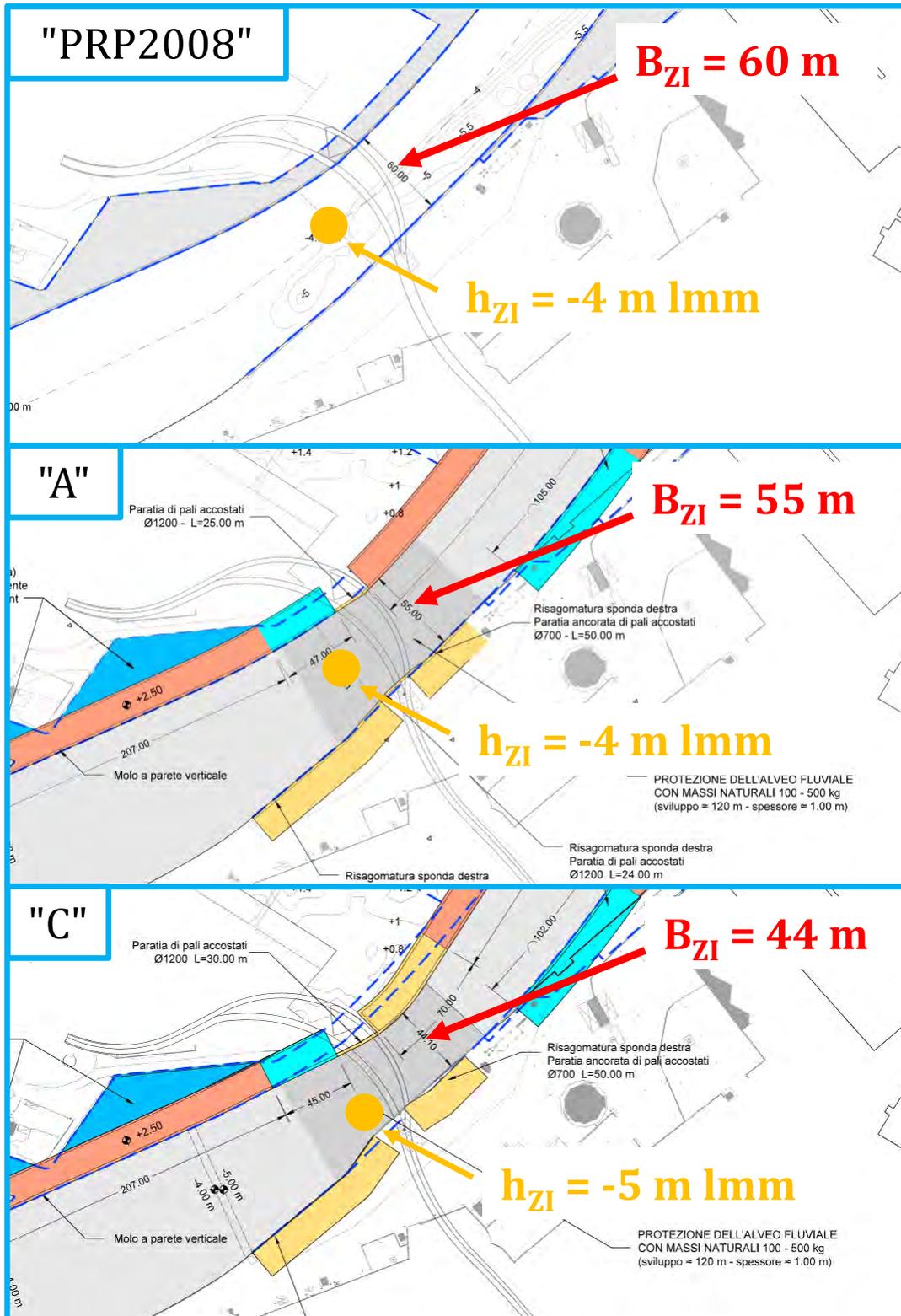


Figura 3-2: Caratteristiche schematiche delle configurazioni considerate.

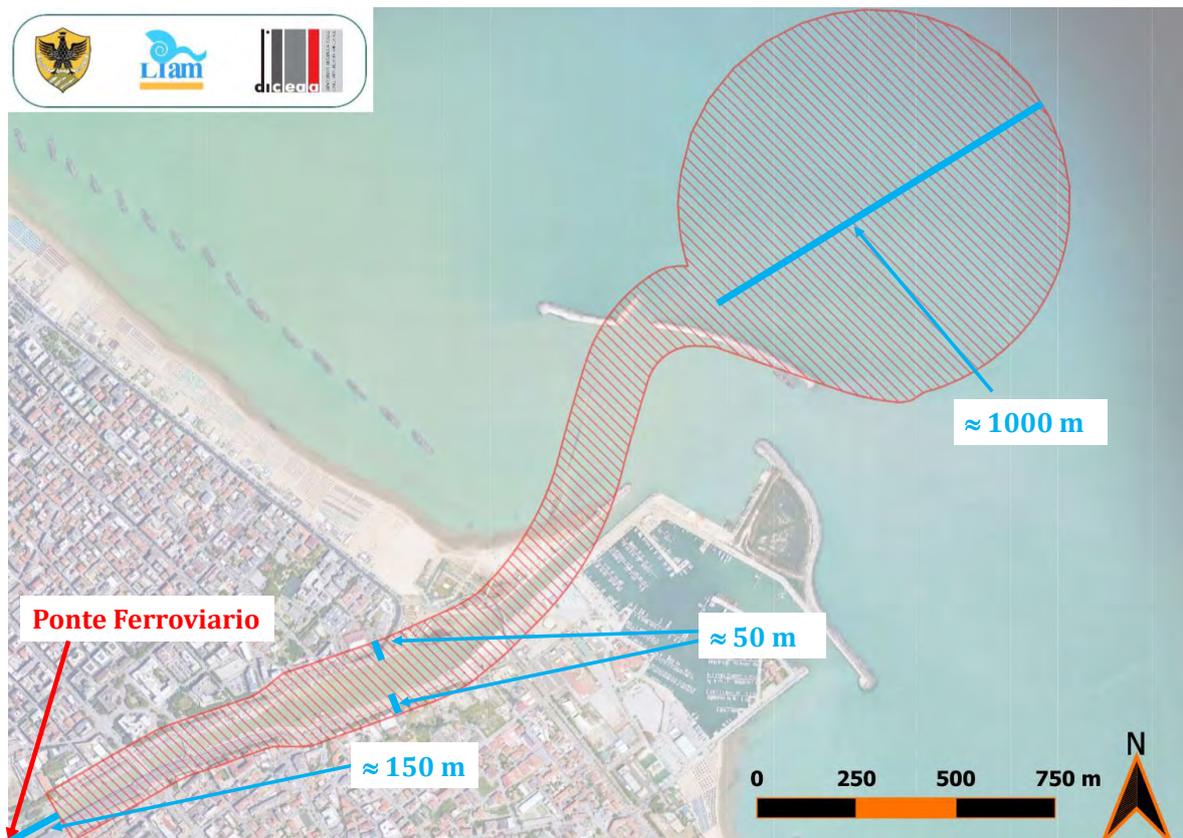


Figura 3-3: Estensione del dominio di calcolo.

La configurazione "C" prevede un'ulteriore riduzione della sezione in corrispondenza della zona di interesse sino al valore pari a 44 m con il fondo alveo depresso sino alla quota -5 m lmm.

La Figura 3-2 schematizza le caratteristiche salienti di tutte le configurazioni considerate.

Ai fini di una corretta riproduzione dell'idrodinamica e della morfodinamica indotta nella zona di interesse (e in quelle poste immediatamente a monte e a valle), il dominio di calcolo deve estendersi a sufficienza per minimizzare gli effetti dei contorni. Sulla base di questa osservazione, il dominio di calcolo è stato delimitato a monte dalla sezione posta ad una distanza di circa 150 m dal ponte ferroviario. Analogamente, la porzione di valle, atta a riprodurre l'effetto del mare, è stata estesa per una distanza pari a circa 1000 m. In ultimo, il dominio occupa una fascia laterale all'alveo del Fiume per una distanza (per ciascun lato) pari a circa 50 m. Si fa osservare che l'estensione del dominio di calcolo rimane invariato per tutte le configurazioni considerate.

La Figura 3-3 riporta sinteticamente la geometria dell'estensione del dominio di calcolo.

### 3.1.2 Fonte dei dati batimetrici

L'implementazione dei domini di calcolo richiede la conoscenza delle profondità (iniziali) in corrispondenza dell'intero dominio di calcolo.

Per quanto riguarda l'alveo fluviale, dal contorno di monte, sino alla zona di interesse, e l'area posta a largo, le profondità sono state desunte dal rilievo batimetrico dell'alveo fluviale fornito da ARAP ed eseguito da ARTA Abruzzo per nel maggio 2017.

Per quanto riguarda le aree oggetto del Progetto, si è fatto diretto riferimento alla configurazione progettuale.

Infine, per quanto riguarda le aree all'esterno di quella di intervento e non comprese nel rilievo batimetrico, si è fatto riferimento alle informazioni altimetriche desunte dal rilievo Lidar effettuato dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, nell'ambito della prima fase (2008-2009) del Piano Straordinario di Telerilevamento Ambientale (PST-A)

### 3.1.3 Discretizzazione dei domini di calcolo

Le informazioni batimetriche (descritte nel paragrafo precedente) sono state utilizzate per la definizione delle profondità in corrispondenza dei nodi di una griglia non strutturata costituita da maglie triangolari. Per ognuna delle configurazioni considerate, è stata costruita una griglia numerica dedicata che copre l'estensione riportata in Figura 3-3.

La Figura 3-4 riporta graficamente il dettaglio delle griglie in corrispondenza della zona di interesse. Nei grafici, sono stati utilizzati colori diversi per differenziare le aree del dominio caratterizzate da scabrezze idrauliche diverse (si veda il successivo paragrafo). In particolare, si riconosce l'area relativa all'alveo fluviale, alla zona protetta in corrispondenza della zona di interesse e, infine, alle aree potenzialmente interessate dal deflusso, ma tipicamente asciutte in condizioni di normale deflusso. La Figura 3-4 contiene, inoltre, informazioni relative al numero di nodi e di elementi che costituiscono le intere griglie e le dimensioni caratteristiche degli elementi. In corrispondenza dell'alveo, gli elementi hanno un'area massima pari a  $30 \text{ m}^2$ ; in corrispondenza delle aree laterali pari a  $50 \text{ m}^2$  e, infine, in corrispondenza dell'area a largo pari a  $75 \text{ m}^2$ .

Le Figure 3-5, 3-6 e 3-7 mostrano la distribuzione spaziale delle quote del terreno utilizzate per le simulazioni numeriche per ognuna delle configurazioni considerate.

## 3.2 Condizioni al contorno e parametri di simulazione

### 3.2.1 Fonte dei dati

Sono numerosi gli studi a supporto del PRP2008 e del progetto delle vasche di laminazione a monte dell'area di studio. A questi si aggiungono studi a scala pianificatoria. I risultati di queste analisi permettono di definire le condizioni al contorno in termini di portate defluenti e dei livelli idrici al contorno di valle. In particolare, sono presi a riferimento i seguenti studi:

- Redazione del Piano Stralcio Difesa Alluvioni (PSDA)- Studio idrologico per la valutazione delle piene, Regione Abruzzo, 2008;

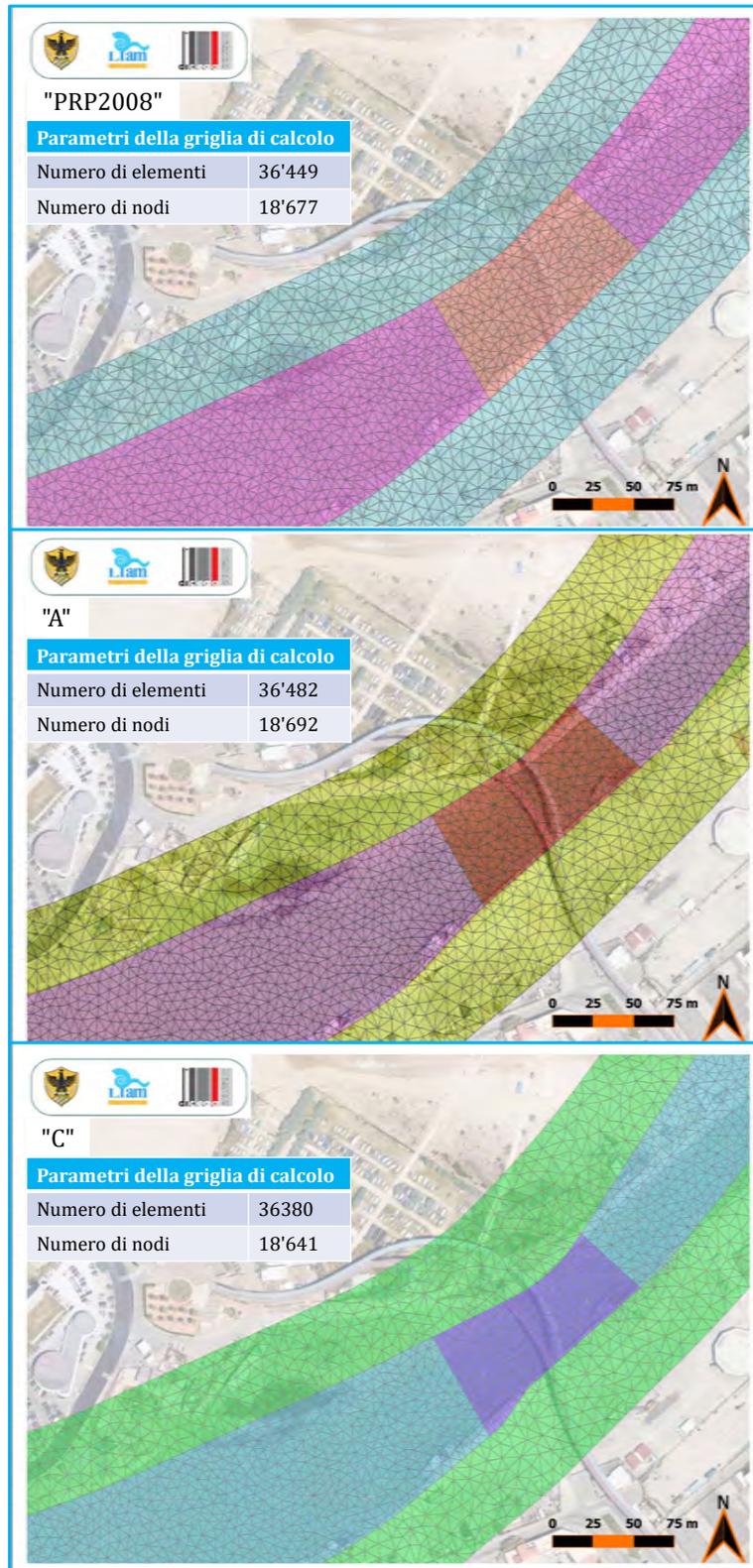


Figura 3-4: Dettaglio delle griglie di calcolo in corrispondenza della zona di interesse. Le tabelle nei grafici sintetizzano i parametri che caratterizzano le griglie numeriche.



Figura 3-5: Configurazione "PRP2008". Distribuzione batimetrica (*bed elevation*, m lmm).



Figura 3-6: Configurazione "A". Distribuzione batimetrica (*bed elevation*, m lmm).



Figura 3-7: Configurazione "C". Distribuzione batimetrica (*bed elevation*, m lmm).

- Attività di approfondimento tecnico svolta nell'ambito delle verifiche di sicurezza idraulica nel tratto terminale del fiume Pescara, Commissario liquidatore dell'Autorità dei bacini di rilievo regionale abruzzesi ed interregionale del fiume Sangro, 2015;
- Verifica di compatibilità idraulica della proposta di PRP della città di Pescara, DHI S.r.l., 2015;
- Approfondimenti e implementazioni degli studi idraulici e di morfodinamica fluviale e costiera a corredo del P.R.P. di Pescara, Beta Studio s.r.l., 2016;
- Intervento di riduzione del rischio idraulico nel Bacino Idrografico del Fiume Aterno – Pescara. Opere di laminazione delle piene del fiume Pescara. Beta Studio s.r.l., 2016;
- Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica della Deviazione del Porto Canale di Pescara. Studio Meteomarino. ARAP, 2017.

### 3.2.2 Selezione delle condizioni di deflusso

Rispetto allo studio idrodinamico, l'evoluzione morfodinamica del dominio di interesse non può essere valutata rispetto a valori estremi del deflusso. Infatti, l'evoluzione morfodinamica è legata sia alla frequenza di accadimento, sia alla capacità di trasporto. Da un lato, le portate liquide molto rare, cioè con alti tempi di ritorno, seppur con grande capacità di trasporto non possono essere considerate rappresentative per valutare l'evoluzione morfodinamica pluriennale. Dall'altro lato, portate liquide molto frequenti sono caratterizzate da capacità di trasporto così limitato che non possono essere considerate significative da un punto di vista morfodinamico. In sostanza, esiste un (intervallo di valori di) deflusso liquido moderatamente frequente e intenso in grado di governare l'evoluzione morfodinamica.

Pertanto, diversamente dall'analisi idrodinamica, è stato considerato un intervallo di variazione della portata liquida notevolmente più ampio (compreso tra  $50 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $1600 \text{ m}^3/\text{s}$ ). L'intervallo considerato è stato selezionato anche in funzione della caratterizzazione statistica delle portate e dei livelli idrici di valle, che ne costituiscono la condizione al contorno (idrodinamica).

### 3.2.3 Portate defluenti e livelli idrici di valle

La Tabella 3-1 contiene i valori numerici delle portate ( $Q$ ), del livello di marea astronomica ( $\eta_a$ ), del livello della marea meteorologica ( $\eta_m$ ) e del livello totale ( $\eta_{tot}$ ) al variare del tempo di ritorno ( $T_r$ ).

I valori di portata sono quelli relativi alla presenza delle vasche di laminazione. I valori di portata contrassegnati da un asterisco (\*), poichè non presenti negli studi relativi alle vasche di laminazione, sono stati desunti applicando il coefficiente riduttivo medio relativo agli altri tempi di ritorno.

Il livello di marea astronomica riportato corrisponde alla media delle alte maree sizigiali (*Mean High Water Spring*, MHWS).

$T_r$ (anni)	20	50	100	200	500
$Q$ ( $m^3/s$ )	701* (700)	941 (950)	1138 (1200)	1330 (1350)	1572* (1600)
$\eta_a$ (m)	0.15				
$\eta_m$ (m)	0.73	0.80	0.86	0.95**	1.04
$\eta_{tot}$ (m)	0.88	0.95	1.01	1.10	1.19

Tabella 3-1: Valori numerici delle portate ( $Q$ ), del livello di marea astronomica ( $\eta_a$ ), del livello della marea meteorologica ( $\eta_m$ ) e del livello totale ( $\eta_{tot}$ ) al variare del tempo di ritorno ( $T_r$ ). I valori di portata tra parentesi sono quelli effettivamente utilizzati per le simulazioni, risultato dell'approssimazione del risultato statistico.

Il livello di marea meteorologica non contiene il contributo dovuto al moto ondoso, ritenendo ragionevolmente trascurabile l'influenza del fenomeno di frangimento a profondità così elevate (pari a circa 10 m in corrispondenza dell'area di foce). Il valore della marea meteorologica contrassegnato da due asterischi (\*\*) è stato desunto per interpolazione lineare tra i dati disponibili, non essendo dichiarato esplicitamente nello studio a supporto del Progetto della Deviazione del Porto Canale di Pescara.

Alla luce delle informazioni statistiche, l'intervallo di portate liquide considerate (da  $50 m^3/s$  sino a  $1600 m^3/s$ , con passo pari a  $50 m^3/s$  per un totale di **32 condizioni idrodinamiche**) riporta alla riproduzione di portate liquide molto frequenti ( $50 m^3/s$ ) sino a portate liquide molto rare ( $1600 m^3/s$ ) con tempo di ritorno massimo dell'ordine dei 500 anni.

Si sottolinea che ognuna delle portate è stata utilizzata per la stima delle scale di deflusso solido con l'applicazione di quattro formulazioni di letteratura (si veda il paragrafo 2.2.1) per un numero di 128 simulazioni numeriche per ognuna delle tre configurazioni considerate. Pertanto, sono state effettuate **384 simulazioni numeriche**.

Per quanto riguarda la caratterizzazione dell'evoluzione morfodinamica a scala di evento, è stato considerato l'idrogramma di piena riportato in Figura 3-8 con una portata al colmo pari a  $700 m^3/s$  corrispondente ad un tempo di ritorno pari a 20 anni. L'idrogramma considerato, di durata pari a 72 ore, desunto dal PSDA, è relativo alla presenza delle vasche di laminazione a monte dell'area di interesse. Si fa osservare la caratteristica peculiare dell'evoluzione della portata in presenza di vasche di laminazione in derivazione, per cui si osserva un valore approssimativamente costante per un intervallo di tempo considerevole (la cosiddetta "decapitazione" dell'idrogramma di piena).

Le simulazioni a scala di evento sono state effettuate per tutte le configurazioni considerate ("PRP2008", "A" e "C") in totale assenza di "armature" del fondo. In questo modo è possibile avere in-

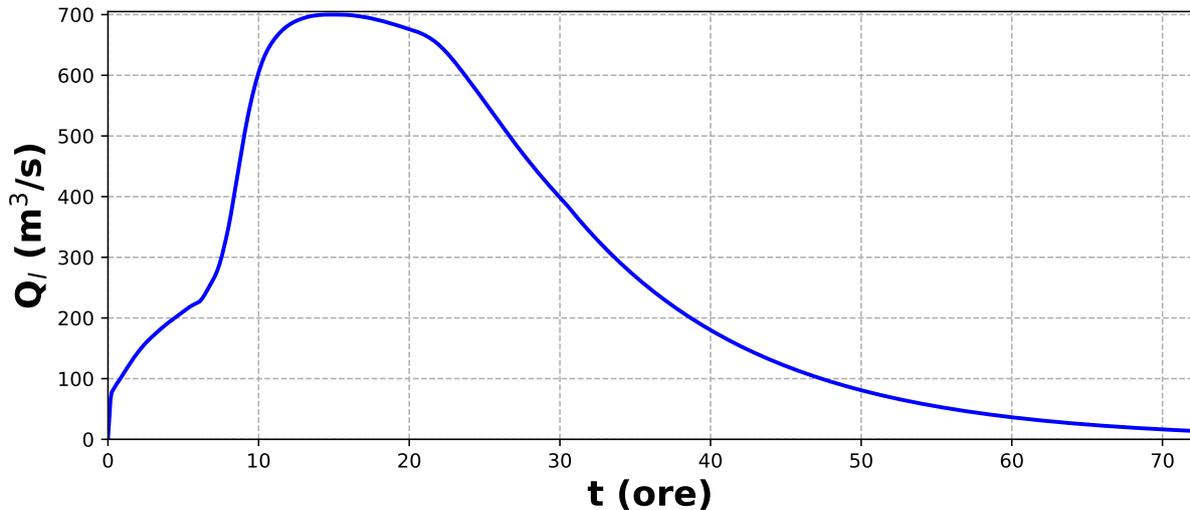


Figura 3-8: Idrogramma di piena riprodotto per la caratterizzazione della morfodinamica a scala di evento.

formazioni sull’evoluzione potenziale delle profondità in alveo. Per la sola “Configurazione C” è stata effettuata un’ulteriore simulazione in presenza dell’armatura del fondo (cioè con il fondo protetto da massi naturali) in diretta corrispondenza dell’area di interesse.

Al fine di rendere possibile e significativa l’analisi comparativa, il livello di valle è stato posto pari a 0.70 m per tutte le simulazioni effettuate.

La stima delle modifiche batimetriche medie annue è stata effettuata con l’utilizzo della curva delle durate reperita dagli annali idrologici (in relazione alla stazione idrometrica di Santa Teresa).

### 3.2.4 Condizione ai contorni laterali

In corrispondenza dei contorni laterali sono state applicate due tipologie di condizioni. Nel tratto di monte è stata imposta la condizione di impermeabilità. Nel tratto dell’allargamento è stata imposta la condizione che permette alla portata di abbandonare il dominio. In corrispondenza della deviazione, e fino alla foce, è stata imposta la condizione di impermeabilità.

La condizione al contorno laterale per il tratto a valle dell’allargamento è stata selezionata per fornire valori a favore di sicurezza, potenzialmente utili per il progetto della soluzione dell’interferenza della deviazione con le pile del Ponte sul Mare.

Da un punto di vista idrodinamico, si coglie l’occasione nuovamente per sottolineare che questo studio non è finalizzato a valutare l’inondazione delle aree limitrofe al dominio di calcolo. Pertanto, non è stato riprodotto il processo di esondazione, ma soltanto la fuoriuscita di una parte della portata defluente dai contorni laterali in corrispondenza dell’allargamento.

### 3.2.5 Scabrezza idraulica

I valori della scabrezza idraulica sono stati desunti da dati di letteratura (e.g. ven Te Chow, 1959). In particolare, è stato utilizzato un valore del coefficiente di Manning pari a:

- $0.035 \text{ s}^{1/3}/\text{m}$  per l'alveo (coefficiente di Gauckler-Strikler circa pari a  $30 \text{ m}/\text{s}^{1/3}$ );
- $0.040 \text{ s}^{1/3}/\text{m}$  per le aree golenali (coefficiente di Gauckler-Strikler circa pari a  $25 \text{ m}/\text{s}^{1/3}$ );
- $0.050 \text{ s}^{1/3}/\text{m}$  per la porzione di alveo in corrispondenza della zona di interesse protetto con massi naturali (coefficiente di Gauckler-Strikler pari a  $20 \text{ m}/\text{s}^{1/3}$ ).

### 3.2.6 Granulometria del fondo

Sulla base della caratterizzazione granulometrica fornita da ARAP, la granulometria del fondo è piuttosto eterogenea lungo l'asta fluviale. A favore di sicurezza, è stato considerato un diametro caratteristico ( $d_{50}$ ) pari a 0.20 mm.

---

## 4 Risultati numerici e discussione

---

## 4

### 4.1 Considerazioni generali

Questo capitolo ha l'obiettivo di discutere i risultati ottenuti per ognuna delle configurazioni considerate e per ognuno degli scenari di simulazione (che si differenziano per i valori di portata liquida e per la formulazione di letteratura utilizzata per la stima del trasporto solido).

Oltre alla descrizione dei risultati, per comodità di lettura, si riporta parzialmente e si dettaglia quanto già descritto nel Capitolo 2.

### 4.2 Scale di deflusso solido

I risultati riportati in Appendice A.2 rappresentano il valore della portata solida in corrispondenza delle sezioni riportate nello schema di Figura 2-1. In particolare, sono riportati i risultati ottenuti per ognuna delle configurazioni considerate (3 configurazioni), per ognuna delle portate riprodotte (32 valori) e per ognuna delle formulazioni considerate (4 formulazioni). Ogni tavola grafica riporta i risultati per tutte le sezioni considerate (11 sezioni).

L'analisi dei risultati, in linea generale, mostra che il valor massimo del trasporto solido in corrispondenza delle sezioni trasversali si verifica approssimativamente in corrispondenza della mezzeria di ogni sezione. La formulazione EH fornisce i valori più elevati, mentre la formula R quelli più ridotti. Le formulazioni MPM e WP forniscono stime simili e intermedie alle precedenti. Tuttavia, da un punto di vista qualitativo, tutte le formulazioni forniscono una distribuzione congruente. Si ricorda che la formulazione EH non prevede l'utilizzo di una tensione tangenziale critica oltre la quale inizia il trasporto solido e che la formulazione R è indicata per materiale grossolano.

Prendendo in considerazione la variazione del trasporto solido lungo la sezione trasversale ("T1") si osserva che, partendo da monte, il trasporto solido tende a diminuire in corrispondenza dell'allargamento della sezione. Successivamente si osserva un incremento del trasporto solido seguito da una nuova diminuzione. Si ricorda che le modifiche del fondo (erosione/deposizione) dipendono dal gradiente del trasporto solido: una diminuzione del trasporto solido è sintomo di deposizione,

un suo aumento è sintomo di erosione. Pertanto, da un punto di vista qualitativo, si verifica una deposizione in corrispondenza dell'allargamento, un'erosione in corrispondenza dell'area di interesse e una nuova deposizione nella zona immediatamente a valle.

I risultati riportati in Appendice A.3 rappresentano una sintesi di quanto già esposto. E' riportata, per ognuna delle configurazioni considerate e per ognuna delle sezioni trasversali, la variazione del trasporto solido totale (integrato sull'intera sezione) in funzione della portata liquida e della formulazione utilizzata.

I risultati riportati in Appendice A.4 sono riferiti ai punti delle Figure 2-2 e 2-3. Anche in questo caso, le stime confermano quanto già discusso in corrispondenza delle sezioni. I risultati estratti in corrispondenza dei punti in sponda destra e sinistra risentono sensibilmente della modifica delle configurazioni.

Come già sottolineato, l'evoluzione morfodinamica del fondo dell'alveo dipende dalla variazione spaziale del trasporto solido. In Appendice A.5 sono riportate la differenza del trasporto solido totale che transita in corrispondenza di due sezioni consecutive, adimensionalizzato rispetto alla loro mutua distanza. In linea generale, si osserva una tendenza al deposito tra le sezioni "M0" e "M3". Tra le sezioni "M3" e "I3" si osserva una tendenza all'erosione che cambia nuovamente in una tendenza al deposito tra le sezioni "I3" e "I6".

In Appendice A.6 è riportato il tasso di variazione medio della profondità, valutato sulla base della differenza del trasporto solido totale che transita in corrispondenza di due sezioni consecutive.

Le Appendici A.3, A.4 e A.5 riportano, inoltre, per le formulazioni R e WP, l'influenza della geometria della configurazione sul trasporto solido. In particolare: l'Appendice A.3 riporta il trasporto solido che transita attraverso le sezioni significative considerate in funzione della portata liquida; l'Appendice A.4 riporta la differenza del trasporto solido totale che transita in corrispondenza di due sezioni consecutive, adimensionalizzato rispetto alla loro mutua distanza; l'Appendice A.5 riporta il tasso di variazione medio della profondità, valutato sulla base della differenza del trasporto solido totale che transita in corrispondenza di due sezioni consecutive.

In linea generale, il trasporto solido stimato per la configurazione di riferimento è superiore a quello relativo alle configurazioni "A" e "C" sino alla sezione I1. Procedendo verso valle, il trasporto solido valutato per la configurazione di riferimento risulta inferiore a quello delle configurazioni modificate. Ciò si traduce in un diverso tasso di deposizione/erosione. Infatti, sino alla sezione "M3", il deposito relativo alla configurazione di riferimento risulta superiore rispetto a quello delle configurazioni "A" e "C". Tra le sezioni "I1" e "I3" il tasso erosione relativo alla Configurazione "C" risulta il più grande tra le configurazioni testate. Si osserva che tale aspetto giustifica l'armatura del fondo prevista nel progetto.

### 4.3 Stima della bilancio volumetrico medio annuo

Le informazioni ottenute sono utili per la stima dei volumi depositati/erosi tra sezioni consecutive. Infatti, utilizzando la scala delle durate delle portate è possibile valutare il valore medio annuo del volume di sedimenti depositato/eroso tra le coppie di sezioni considerate. In relazione alla formulazione WP è possibile fornire la stima seguente:

- tra la sezione “M0” e la sezione “M3” si stima un deposito sedimentario per tutte le configurazioni:
  - Configurazione “PRP2008”: +20’750 m<sup>3</sup>/anno;
  - Configurazione “A”: +12’120 m<sup>3</sup>/anno;
  - Configurazione “C”: +11’775 m<sup>3</sup>/anno;
- tra la sezione “M3” e la sezione “I2” si stima un’erosione per tutte le configurazioni:
  - Configurazione “PRP2008”: –930 m<sup>3</sup>/anno;
  - Configurazione “A”: –1’275 m<sup>3</sup>/anno;
  - Configurazione “C”: –1’350 m<sup>3</sup>/anno;
- tra la sezione “I2” e la sezione “I6” si stima una deposizione per tutte le configurazioni:
  - Configurazione “PRP2008”: +760 m<sup>3</sup>/anno;
  - Configurazione “A”: +1’100 m<sup>3</sup>/anno;
  - Configurazione “C”: +760 m<sup>3</sup>/anno;

Rispetto alla configurazione di riferimento, i risultati numerici suggeriscono che per entrambe le configurazioni modificate (“A” e “C”) il deposito in corrispondenza della zona di monte tenda a diminuire passando da circa 20’000 m<sup>3</sup>/annui a circa 12’000 m<sup>3</sup>/annui. Tale aspetto era da attendersi a causa dell’aumento della velocità del deflusso indotto dalla presenza del restringimento nella zona di interesse. Alla stessa modifica sull’idrodinamica è da imputarsi l’incremento del volume sedimentario rimosso nella zona in diretta corrispondenza della zona di interesse e all’incremento del deposito in corrispondenza della zona immediatamente a valle.

### 4.4 Effetto morfodinamico dell’evento ventennale

Come anticipato, l’effetto a scala di evento è stato stimato tramite la riproduzione dell’idrogramma con tempo di ritorno pari a 20 anni, utilizzando la formulazione WP. L’Appendice A.8 riporta:

- la differenza della portata solida totale in transito in corrispondenza delle coppie di sezioni consecutive riportate in Figura 2-1 al variare del tempo durante l’evoluzione dell’idrogramma ventennale;

- la variazione del volume depositato o eroso nell'area compresa tra le coppie di sezioni consecutive riportate in Figura 2-1 al variare del tempo durante l'evoluzione dell'idrogramma ventennale;
- le mappe di erosione/deposizione valutate al termine dell'evento.

Si può osservare che tra le sezioni M0-M3 il deposito raggiunge circa 15'500 m<sup>3</sup> per la configurazione di riferimento, valore che diminuisce a 11'000 m<sup>3</sup> per la configurazione "A" e a 12'400 m<sup>3</sup> per la configurazione "C". Durante l'evento ventennale, si osserva uno scavo nell'intero tratto compreso tra la sezione "I1" e la sezione "I5" che, pari a 4'500 m<sup>3</sup> per la configurazione di riferimento, aumenta a circa 5'300 m<sup>3</sup> per la configurazione "A" e a circa 4'000 m<sup>3</sup> per la configurazione "C".

In relazione alla riproduzione dell'armatura del fondo in corrispondenza dell'area in esame, si osserva, come atteso, che lo scavo si localizza immediatamente a valle dell'armatura.

---

## 5 Osservazioni Conclusive

---

Gli obiettivi dello studio illustrato in questa relazione possono essere sintetizzati come segue:

- lo studio è finalizzato alla stima delle scale di deflusso solido e alla stima dell'evoluzione del fondo a seguito del verificarsi dell'evento ventennale;
- lo studio **non** ha l'obiettivo di valutare l'efficacia della configurazione prevista dal PRP2008 (peraltro già ampiamente indagata con numerosi studi a supporto della soluzione adottata e approvata), nè tanto meno quella di rappresentare uno studio di interrimento dell'asta fluviale finalizzato alla valutazione degli oneri di manutenzione del tratto focale del Fiume (in quanto oggetto di numerosi studi pregressi);
- lo scopo dello studio è di effettuare un'analisi comparativa in grado di valutare quantitativamente l'influenza della geometria della zona di interesse sull'evoluzione del fondo nell'area di interesse;
- la configurazione prevista dal Piano Regolatore Portuale (PRP2008) è presa a riferimento per l'analisi comparativa;
- oltre alla configurazione di riferimento, sono considerate le due configurazioni "A" e "C", così come denominate nel progetto.

I risultati dello studio, in termini morfologici medi annui, possono essere sintetizzati come segue:

- l'analisi delle scale di deflusso solido evidenziano una zona di deposito in corrispondenza dell'allargamento e una zona di erosione in diretta corrispondenza dell'area di interesse;
- in generale, il trasporto solido stimato per la configurazione di riferimento (PRP2008) è superiore a quello relativo alle configurazioni "A" e "C" sino alla sezione immediatamente a monte dell'area di interesse;

- in diretta corrispondenza dell'area di interesse, il trasporto solido valutato per la configurazione di riferimento risulta inferiore a quello delle configurazioni modificate;
- sino alla sezione immediatamente a monte dell'area di interesse, il deposito relativo alla configurazione di riferimento risulta superiore rispetto a quello delle configurazioni "A" e "C".
- nell'area di interesse il tasso erosione relativo alla Configurazione "C" risulta il più grande tra le configurazioni testate, a causa dell'elevato valore delle velocità. Tale aspetto giustifica l'armatura del fondo prevista nel progetto;
- a causa dell'aumento della velocità del deflusso indotto dalla presenza del restringimento nella zona di interesse, rispetto alla configurazione di riferimento, i risultati numerici suggeriscono che, per entrambe le configurazioni modificate ("A" e "C"), il deposito in corrispondenza della zona di monte tenda a diminuire passando da circa 20'000 m<sup>3</sup>/annui a circa 12'000 m<sup>3</sup>/annui;
- in corrispondenza della zona di interesse, si osserva un'erosione con valori massimi stimati per la configurazione "C" (ottenuti trascurando l'effetto dell'armatura del fondo).

In relazione agli effetti morfodinamici dell'evento ventennale, i risultati dello studio possono essere sintetizzati come segue:

- continua ad osservarsi un deposito nella zona di monte, che raggiunge un valore di 15'500 m<sup>3</sup> per la configurazione di riferimento, e che diminuisce a 11'000 m<sup>3</sup> per la configurazione "A" e a 12'400 m<sup>3</sup> per la configurazione "C";
- in assenza di armatura del fondale, si osserva uno scavo nell'area di interesse che, pari a 4'500 m<sup>3</sup> per la configurazione di riferimento, aumenta a circa 5'300 m<sup>3</sup> per la configurazione "A" e a circa 4'000 m<sup>3</sup> per la configurazione "C";
- riproducendo l'effetto dell'armatura del fondale, come atteso, si verifica uno scavo immediatamente a valle della protezione.

---

## 6 Bibliografia

---

- Vetsch D., Siviglia A., Caponi F., Ehrbar D., Gerke E., Kammerer S., Koch A., Peter S., Vanzo D., Vonwiller L., Facchini M., Gerber M., Volz C., Farshi D., Mueller R., Rousselot P., Veprek R., Faeh R. System Manuals of BASEMENT, Version 2.8. Laboratory of Hydraulics, Glaciology and Hydrology (VAW). ETH Zurich. 2018.
- Redazione del Piano Stralcio Difesa Alluvioni (PSDA)- Studio idrologico per la valutazione delle piene, Regione Abruzzo, 2008.
- Attività di approfondimento tecnico svolta nell'ambito delle verifiche di sicurezza idraulica nel tratto terminale del fiume Pescara, Commissario liquidatore dell'Autorità dei bacini di rilievo regionale abruzzesi ed interregionale del fiume Sangro, 2015.
- Verifica di compatibilità idraulica della proposta di PRP della città di Pescara, DHI S.r.l., 2015;
- Approfondimenti e implementazioni degli studi idraulici e di morfodinamica fluviale e costiera a corredo del P.R.P. di Pescara, Beta Studio s.r.l., 2016.
- Intervento di riduzione del rischio idraulico nel Bacino Idrografico del Fiume Aterno – Pescara. Opere di laminazione delle piene del fiume Pescara. Beta Studio s.r.l., 2016.
- Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica della Deviazione del Porto Canale di Pescara. Studio Meteomarino. ARAP, 2017.
- Rapporto tecnico sulla piena del fiume Pescara verificatasi dall'1 al 6 dicembre 2013 – Osservazioni preliminari. Rev. 2 del 26 febbraio 2014 (ARTA Abruzzo, Febbraio 2014).
- Autorità dei bacini di rilievo regionale abruzzesi ed interregionali del fiume Sangro e Genio Civile di Pescara, "Attività di approfondimento tecnico svolta nell'ambito delle verifiche di sicurezza idraulica nel tratto terminale del fiume Pescara" (12 maggio 2015 prot. RA/125629 e 03 luglio 2015 prot. RA/177196)

- DHI S.r.l.: "Verifica di compatibilità idraulica della proposta di P.R.P. della città di Pescara" (2015);
- Beta Studio s.r.l.: "Approfondimenti e implementazioni degli studi idraulici e di morfodinamica fluviale e costiera a corredo del P.R.P. di Pescara" (27 giugno 2016).
- van Rijn, L.C. (1984b). Sediment Transport, Part II: Suspended Load Transport. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 110(11): 1613–1641.
- Zyserman, J. and Fredsøe, J. (1994). Data Analysis of Bed Concentration of Suspended Sediment. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 120(9): 1021–1042.
- Xu, Y. (1998). Numerical Modeling of Suspended Sediment Transport in Rivers, PhD thesis, Mitteilung 98, Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart.
- Lin, B. (1984). Current Study of Unsteady Transport of Sediment in China. *Proceedings of Japan-China Bilateral Seminar on River Hydraulics and Engineering Experiences*, *Proceedings of Japan-China Bilateral Seminar on River Hydraulics; Engineering Experiences*, Tokyo-Kyoto –Sapporo., Tokyo-Kyoto-Sapporo.
- Meyer-Peter, E. and Müller, R. (1948). Formulas for Bed-Load Transport, 2nd Meeting IAHR, Stockholm, Sweden.
- Wong, M. and Parker, G. (2006). Reanalysis and correction of bed-load relation of Meyer-Peter and Muller using their own database. *Journal of Hydraulic Engineering*, 132(11): 1159–1168.
- Engelund, F. and Hansen, E. (1972). A monograph on sediment transport in alluvial streams. Teknisk Forlag, Copenhagen,
- Rickenmann, D. (1991). Hyperconcentrated Flow and Sediment Transport at Steep Slopes. *Journal of Hydraulic Engineering*, 117(11): 1419–1439.
- Smart, G. and Jaeggi, M. (1983). Sediment Transport on Steep Slopes. VAW-Mitteilung 64, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW). Zürich, ETH Zürich.
- Rickenmann, D. (1990). Bedload transport capacity of slurry flows at steep slopes. PhD thesis: Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), ETH Zürich.
- Ikeda, S. (1982). Lateral Bed-Load Transport on Side Slopes. *Journal of the Hydraulics Division-Asce*, 108(11): 1369–1373.
- Talmon, A., Struiksmá, N. and van Mierlo, M. (1995). Laboratory measurements of the direction of sediment transport on transverse alluvial-bed slopes. *Journal of Hydraulic Research*, 33(4): 495–517.

- Englund, E. (1974). Flow and bed topography in channel bends. *Journal of the Hydraulics Division ASCE*, 100(11): 1631–1648.

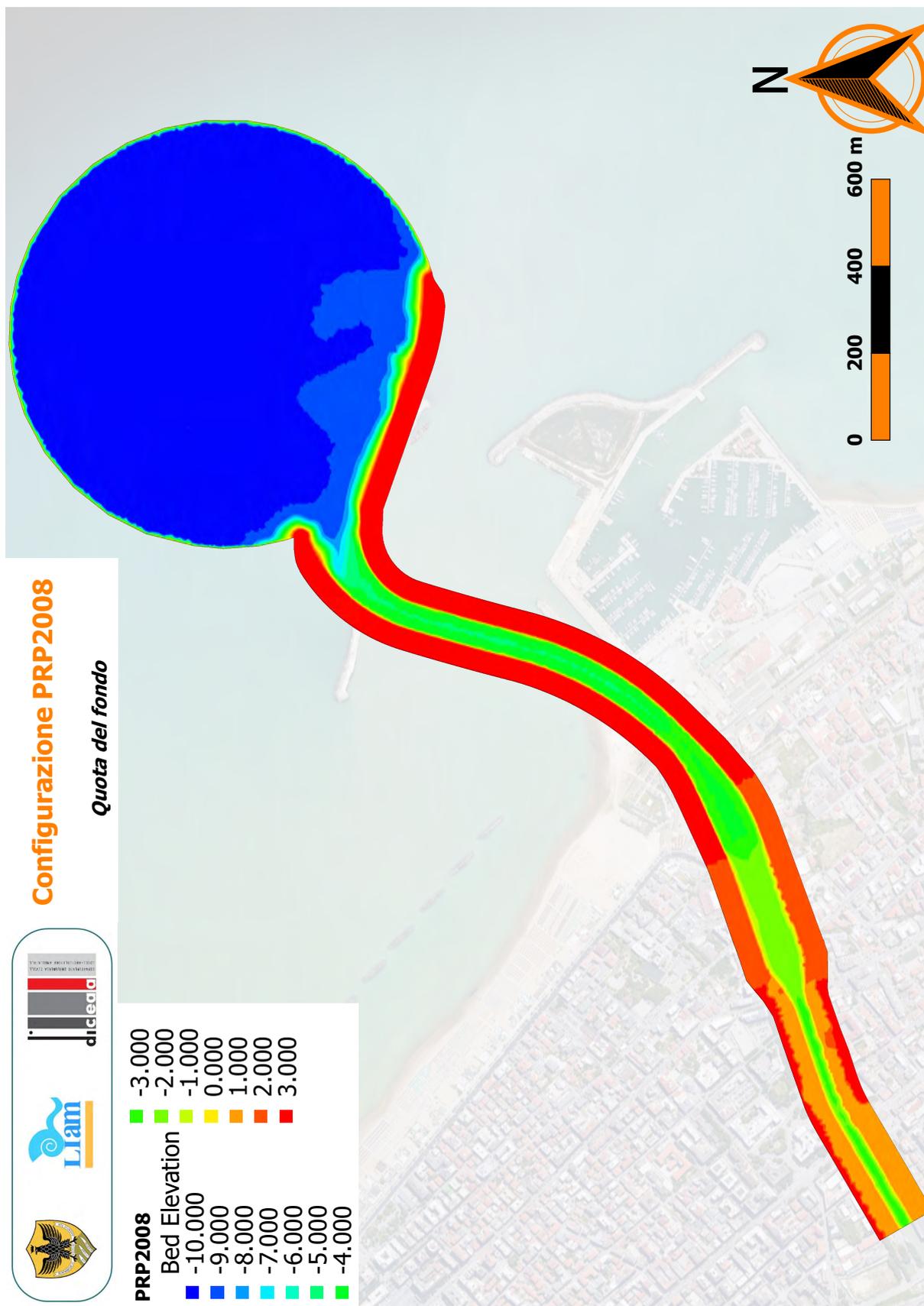
---

## A Risultati Numerici: dettagli grafici

---

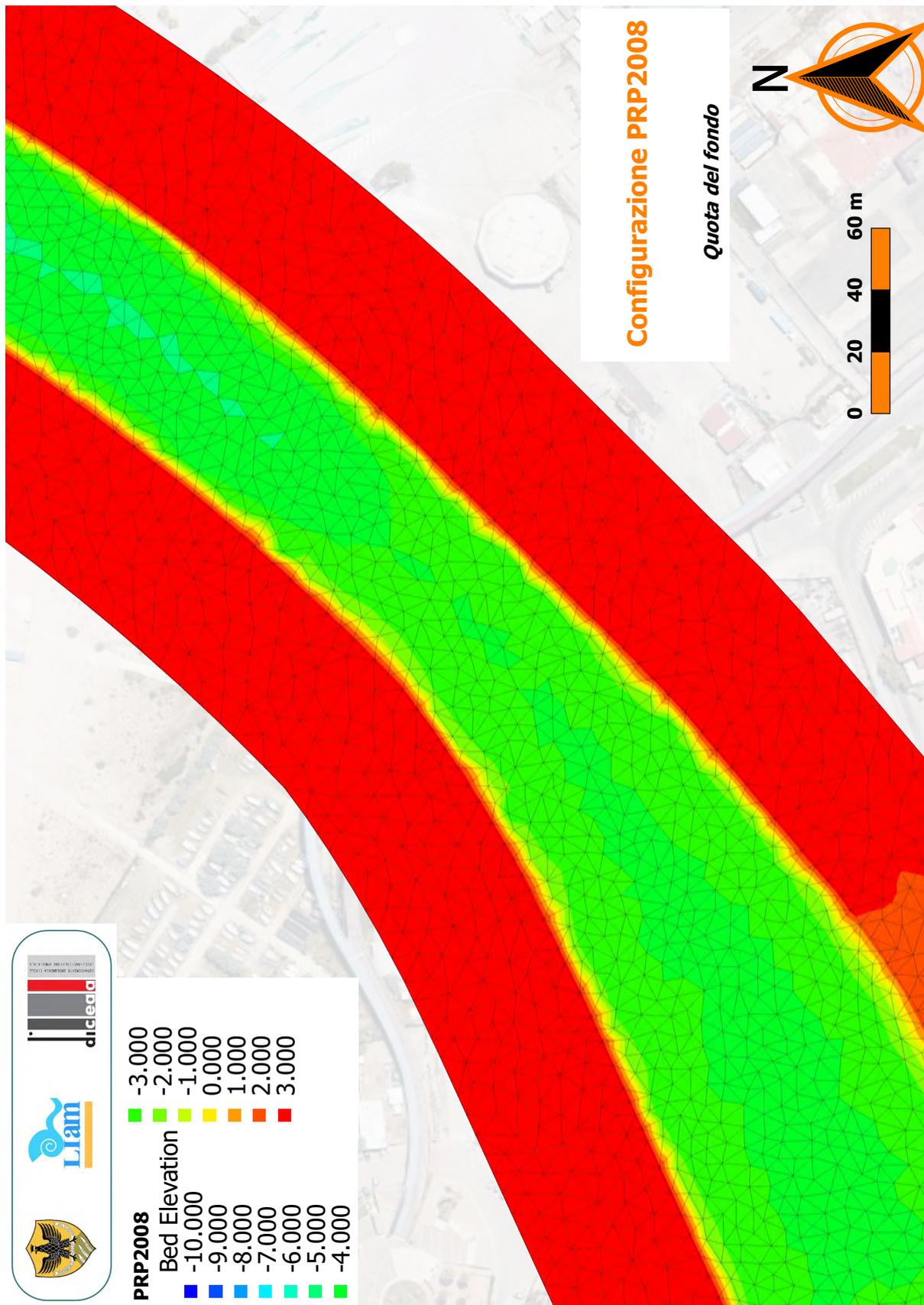
---

## A.1 Griglie di calcolo



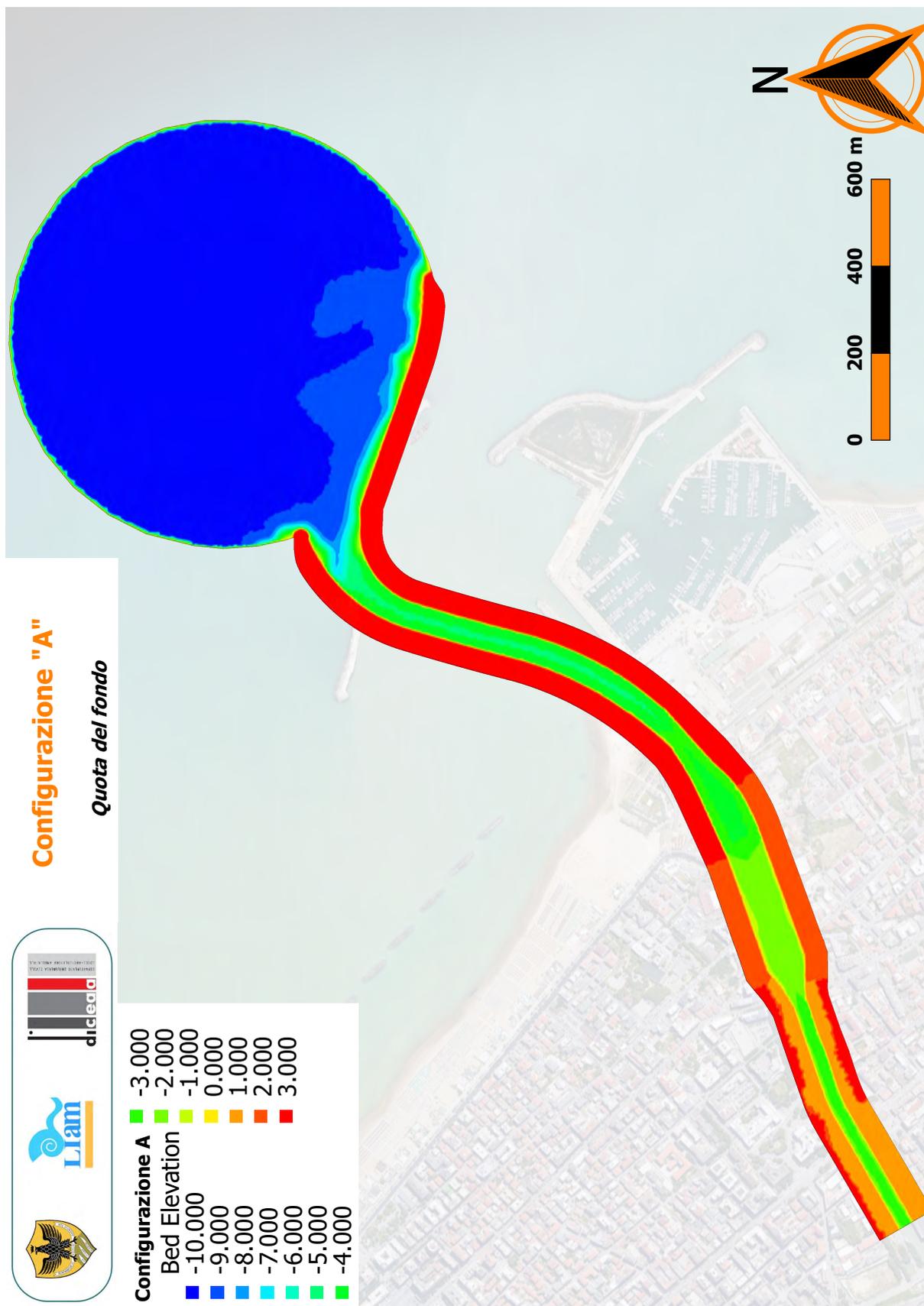
A.1

Figura A-1: Configurazione PRP2008. Distribuzione spaziale della quota del fondo.



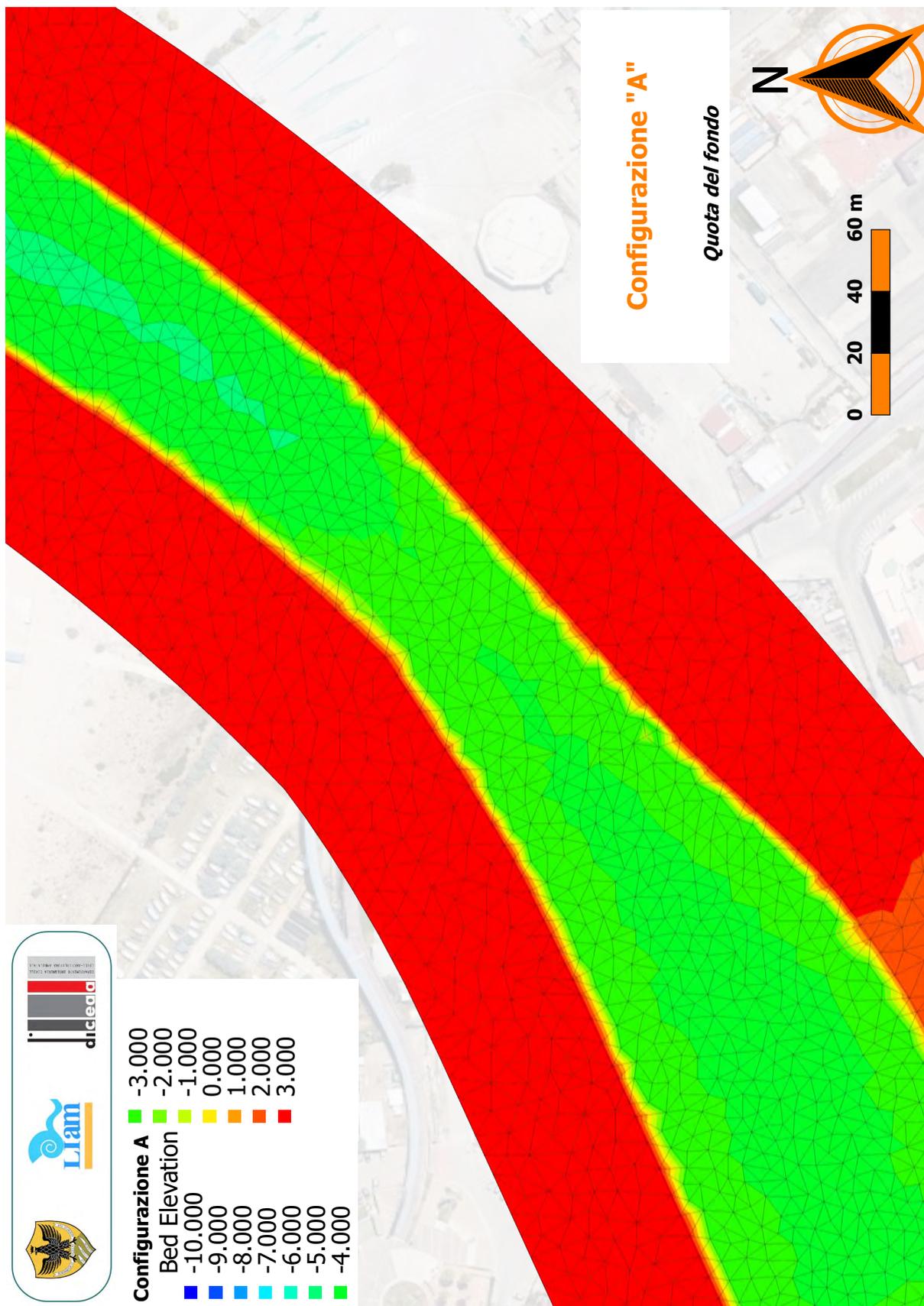
A.1

Figura A-2: Configurazione PRP2008. Distribuzione spaziale della quota del fondo. Dettaglio della zona di interesse.



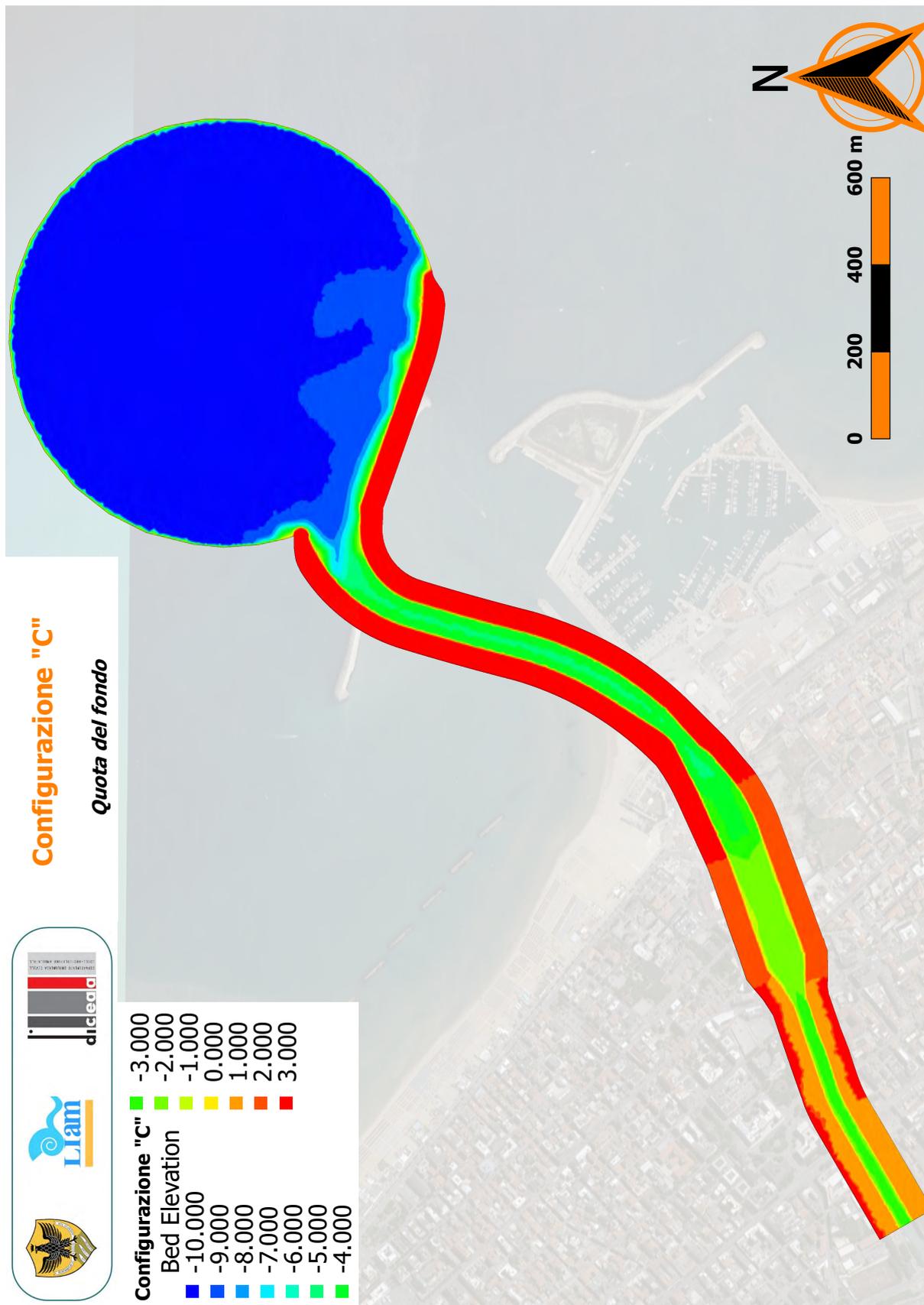
A.1

Figura A-3: Configurazione A. Discretizzazione della configurazione del fondo.



A.1

Figura A-4: Configurazione A. Distribuzione spaziale della quota del fondo. Dettaglio della zona di interesse.



A.1

Figura A-5: Configurazione C. Distribuzione spaziale della quota del fondo.



A.1

Figura A-6: Configurazione C. Distribuzione spaziale della quota del fondo. Dettaglio della zona di interesse.

---

**A.2 Scale di deflusso solido in corrispondenza delle sezioni significative**

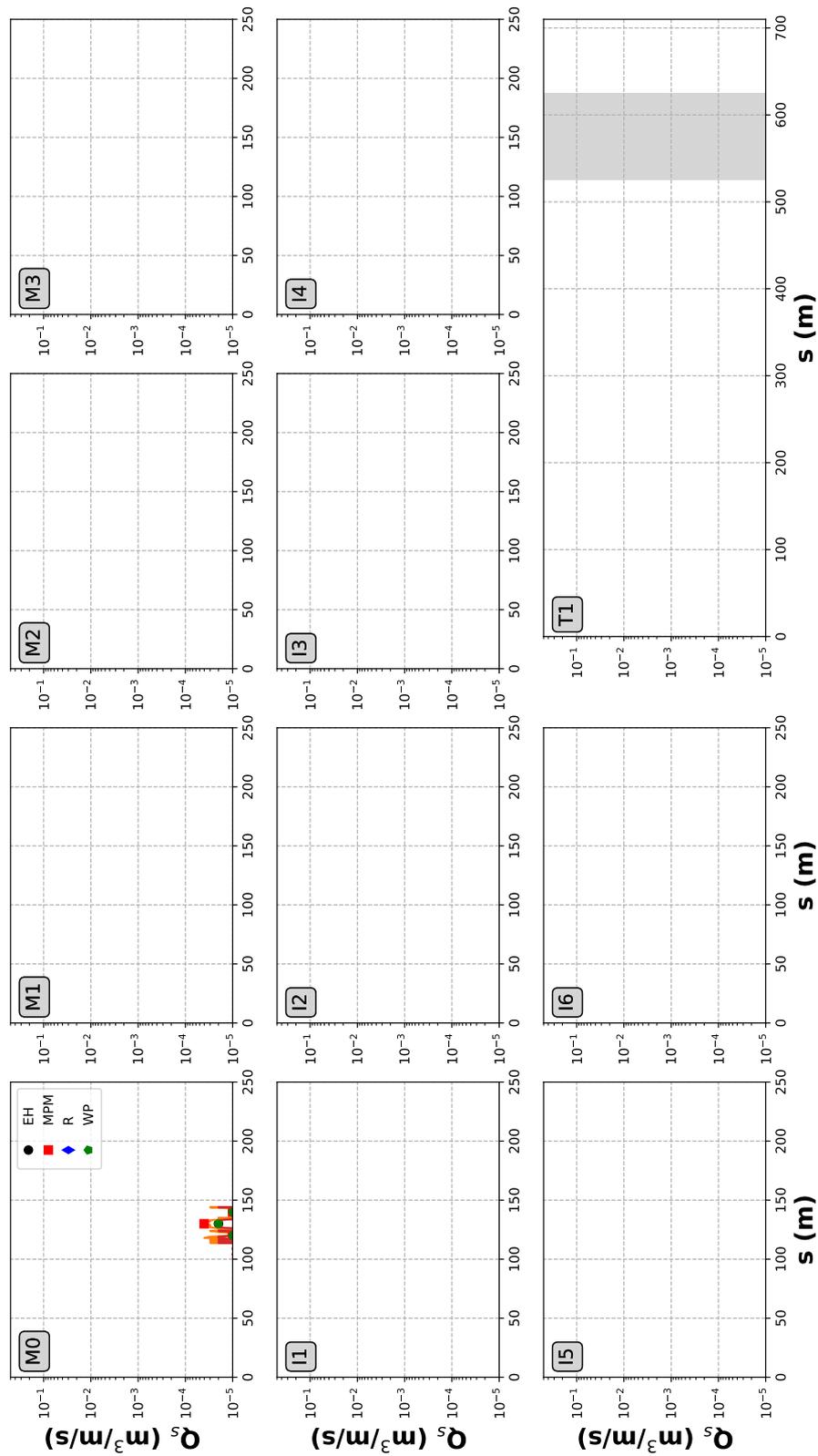
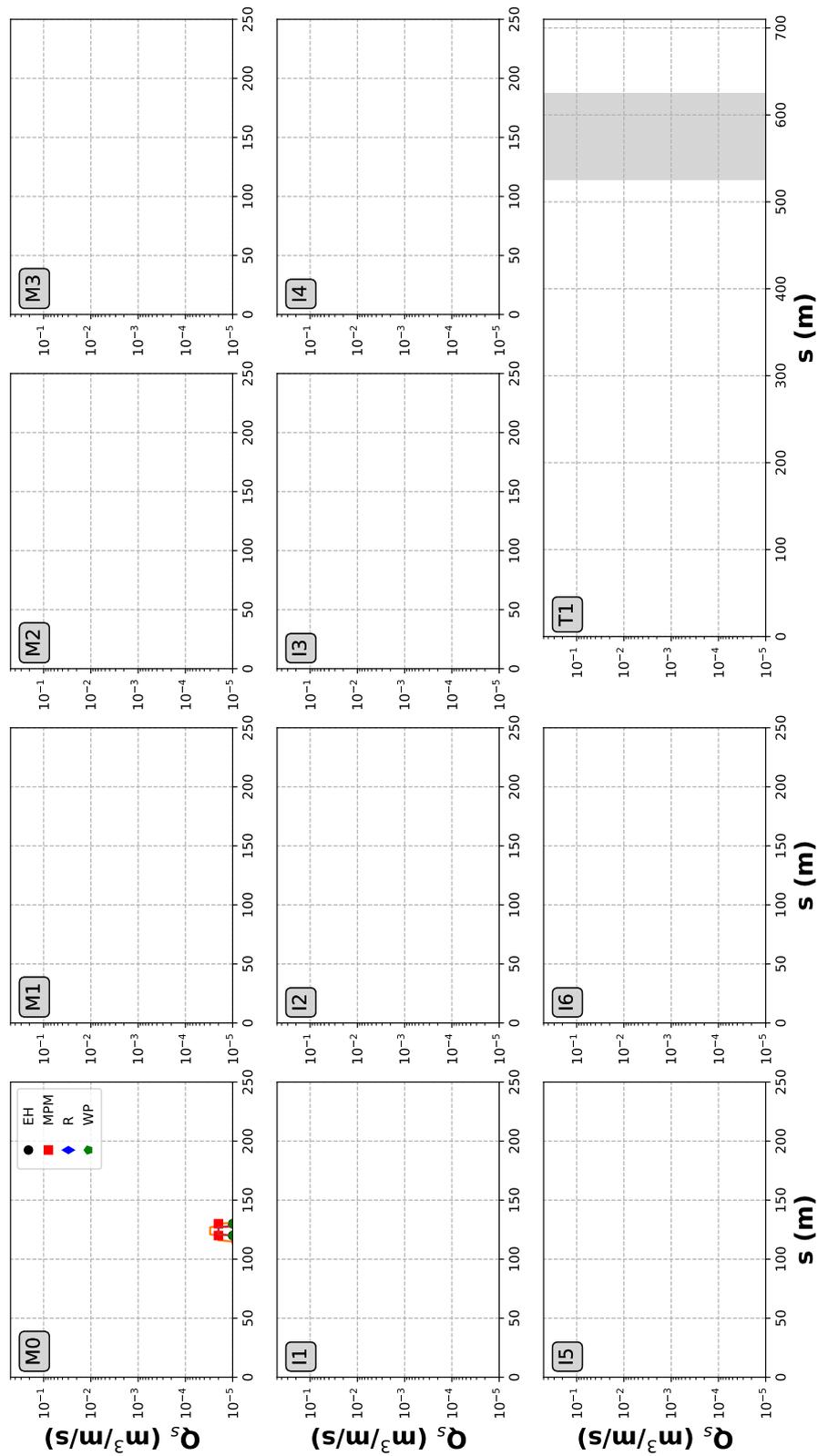
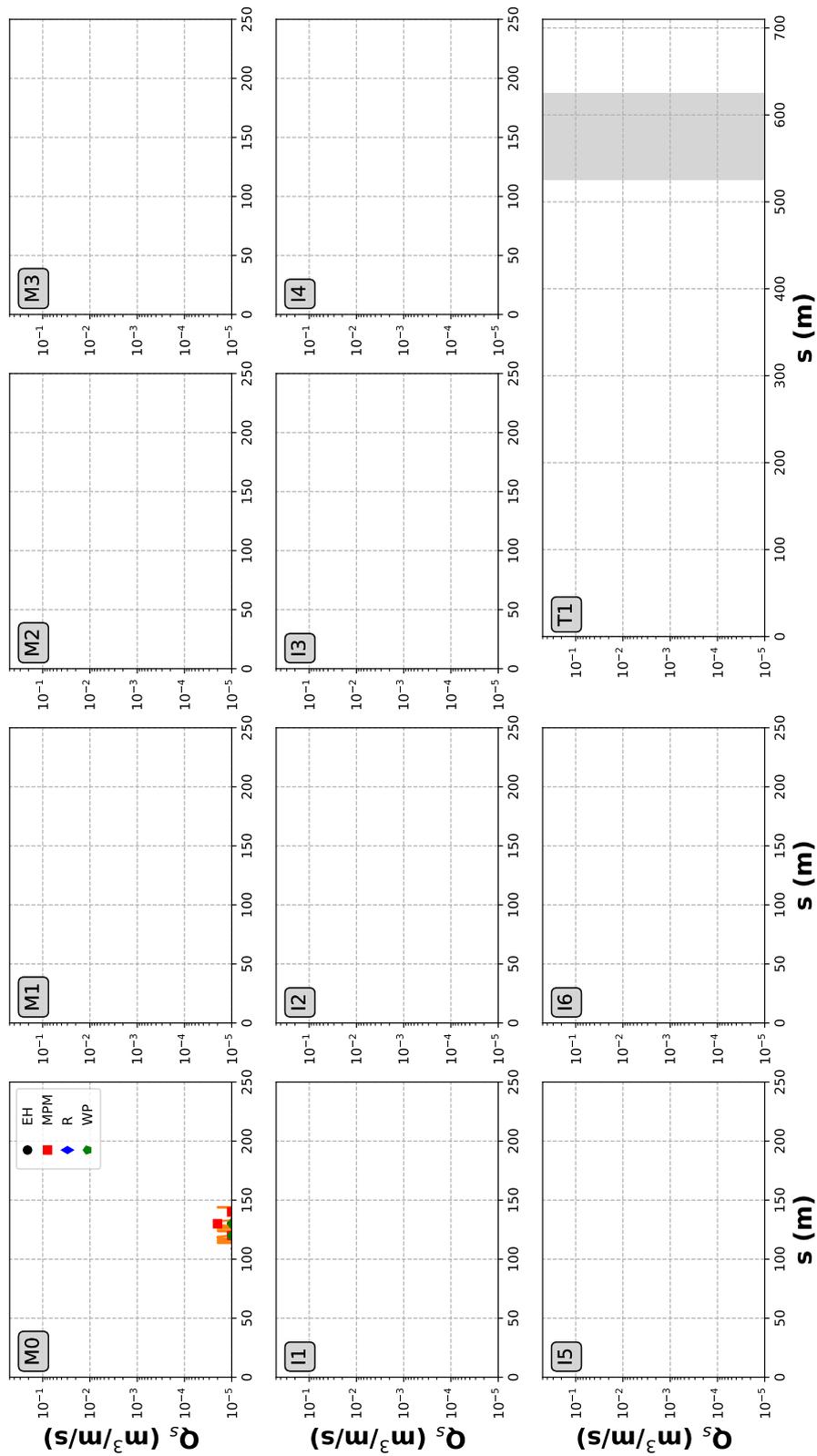


Figura A-7: Configurazione "PRP2008". Portata  $50.0 m^3/s$ . Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.



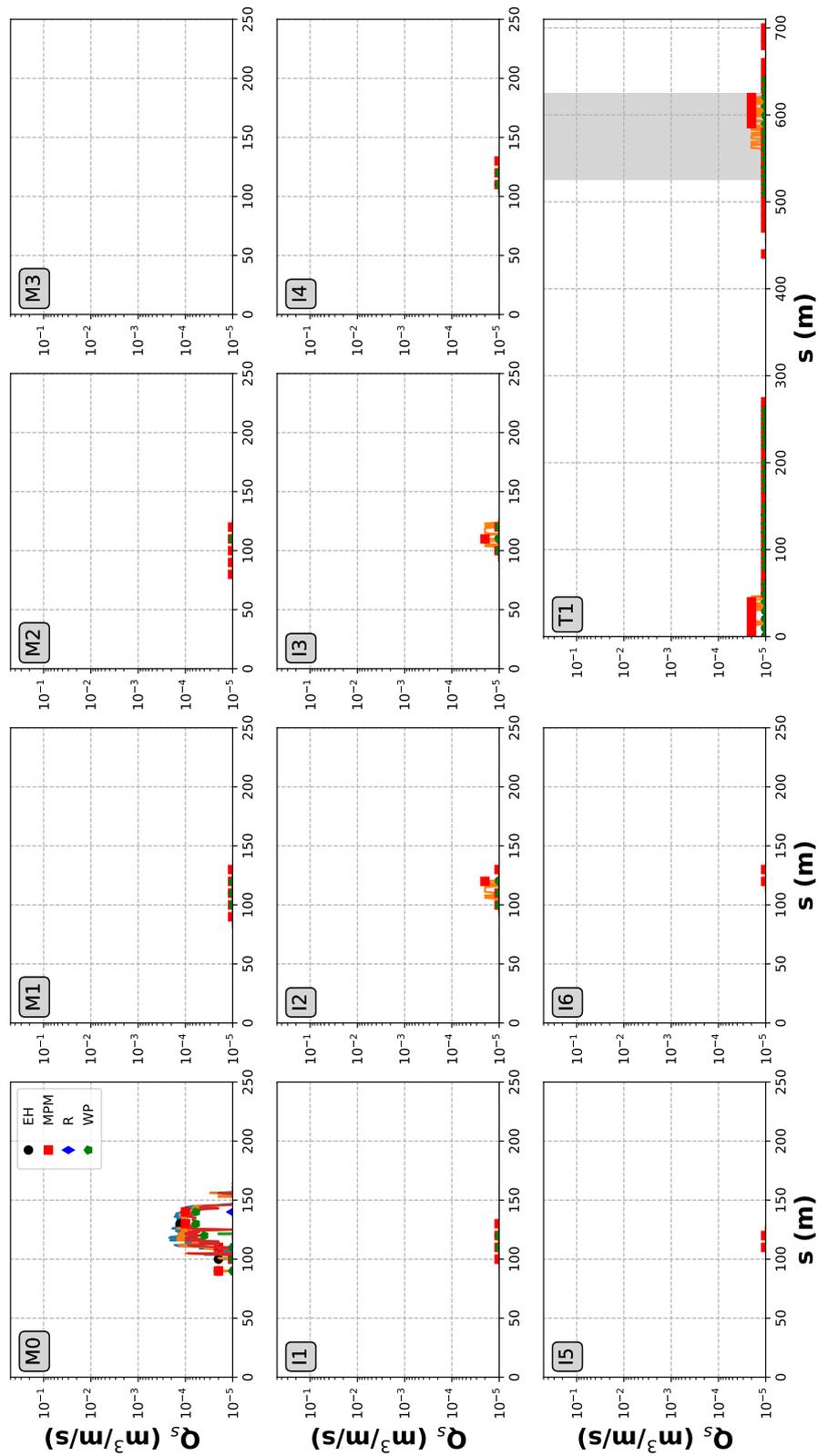
A.2

Figura A-8: Configurazione "A". Portata  $50.0 \text{ m}^3/\text{s}$ . Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.



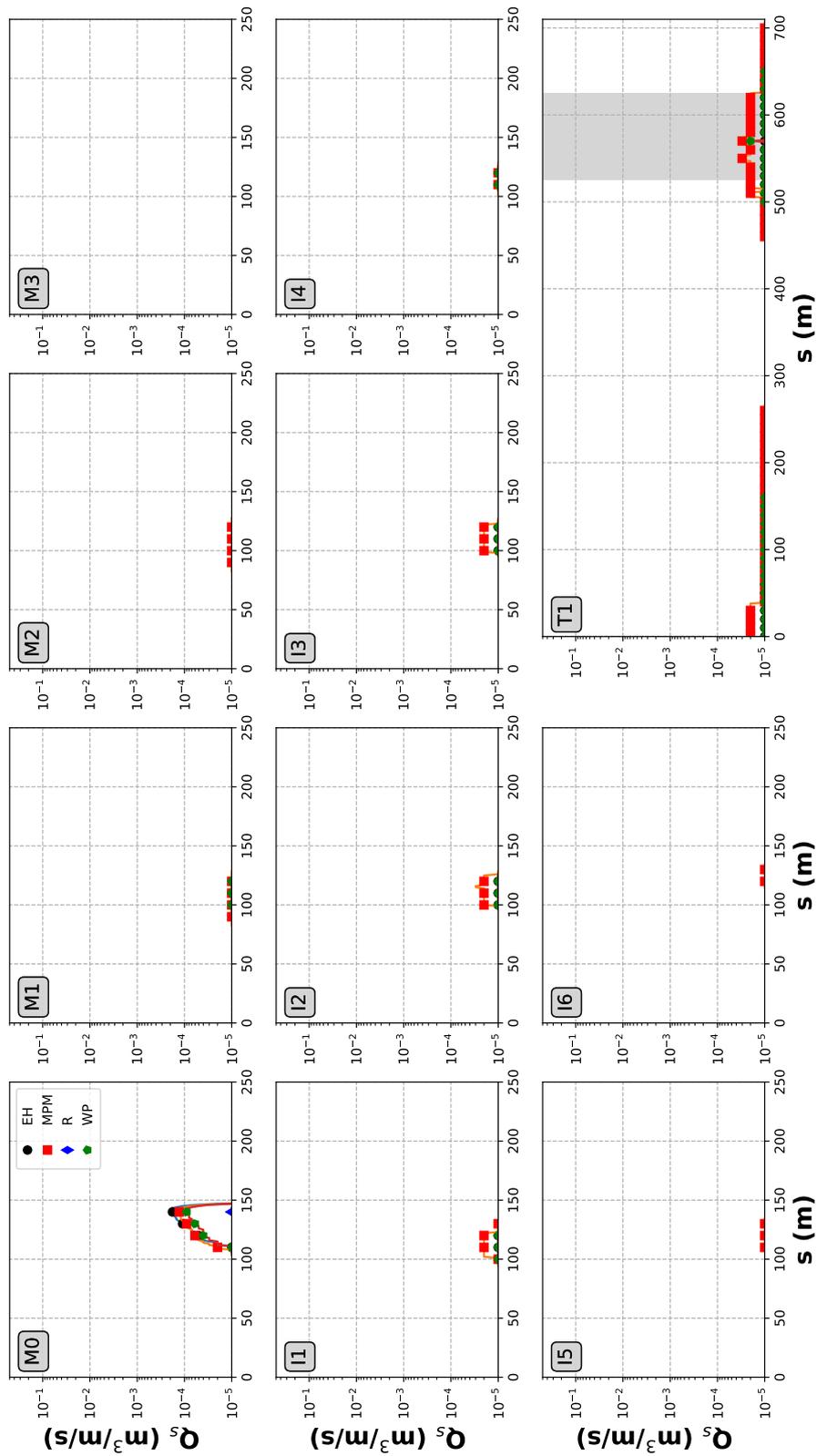
A.2

Figura A-9: Configurazione "C". Portata 50.0 m<sup>3</sup>/s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.



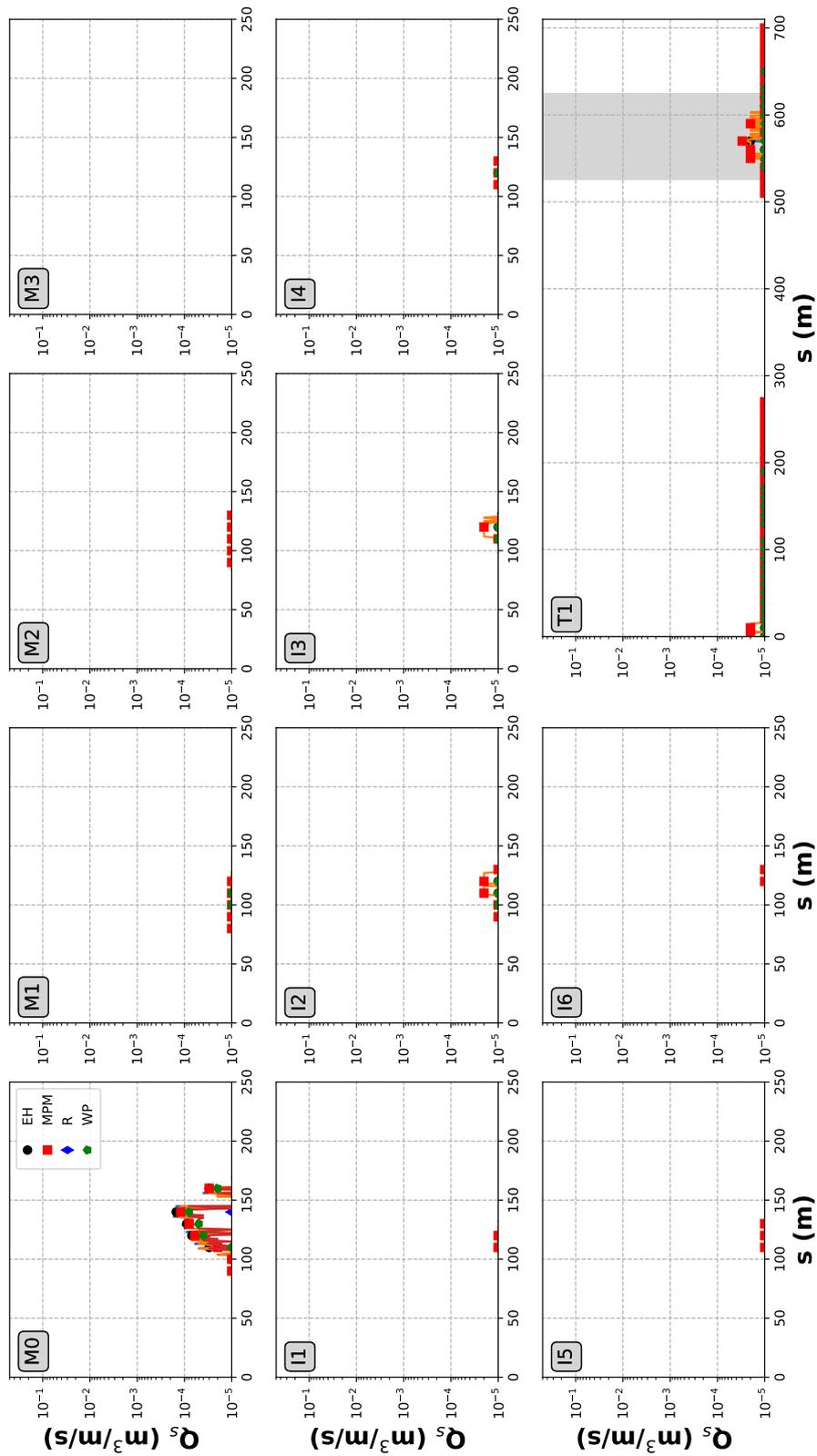
A.2

Figura A-10: Configurazione "PRP2008". Portata 100.0 m<sup>3</sup>/s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.



A.2

Figura A-11: Configurazione "A". Portata 100.0 m<sup>3</sup>/s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.



A.2

Figura A-12: Configurazione "C". Portata 100.0 m<sup>3</sup>/s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.

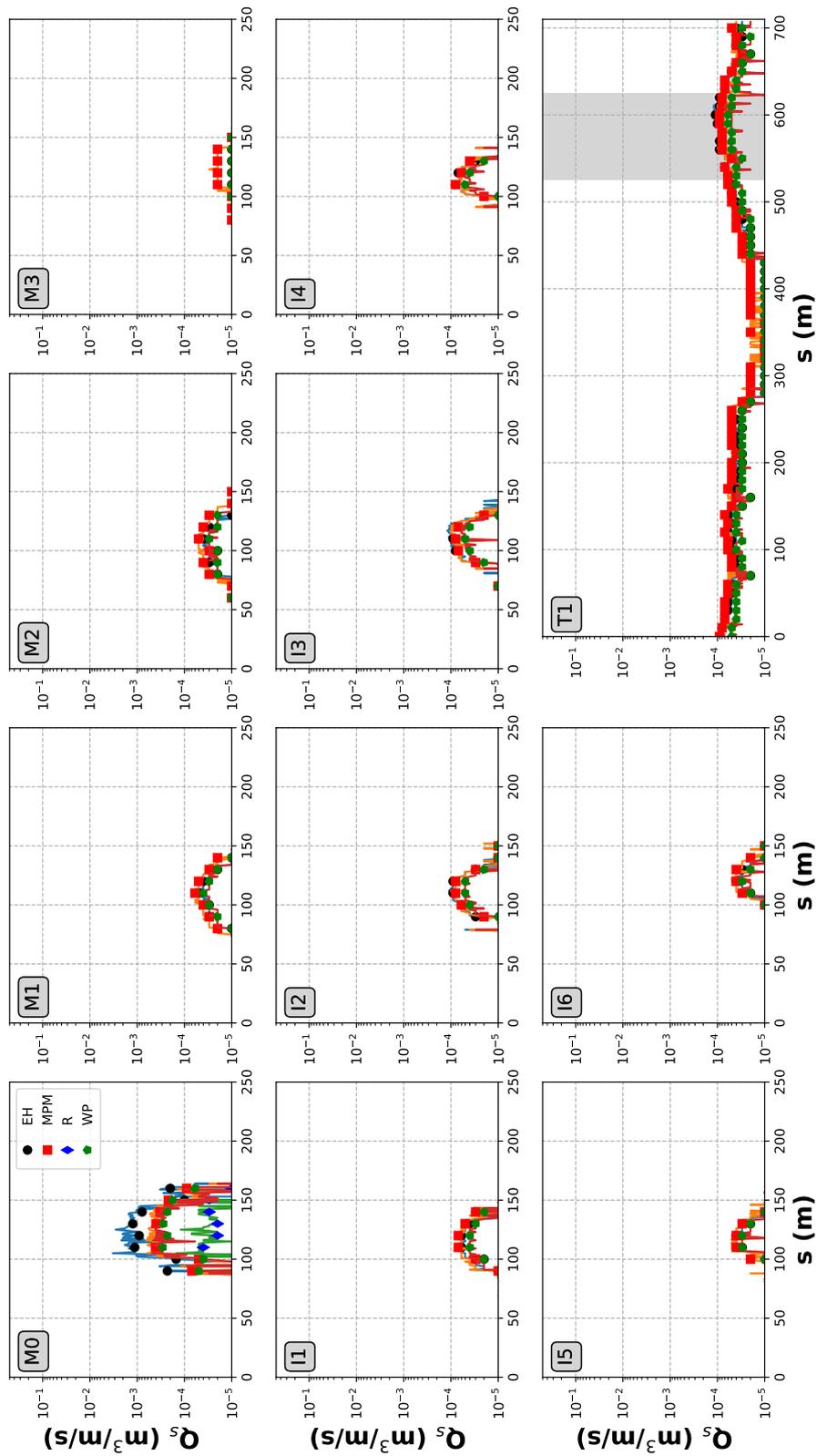
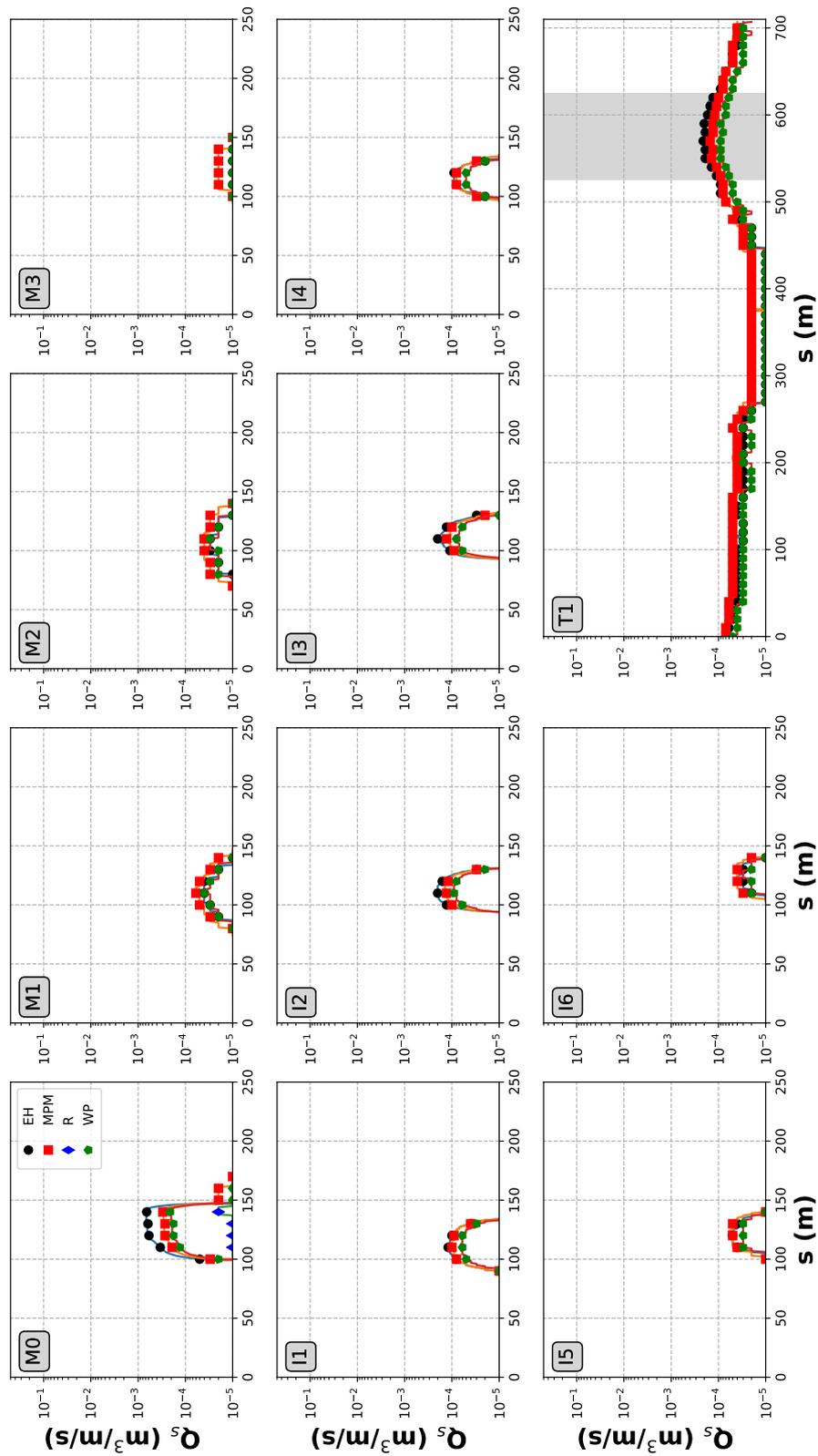
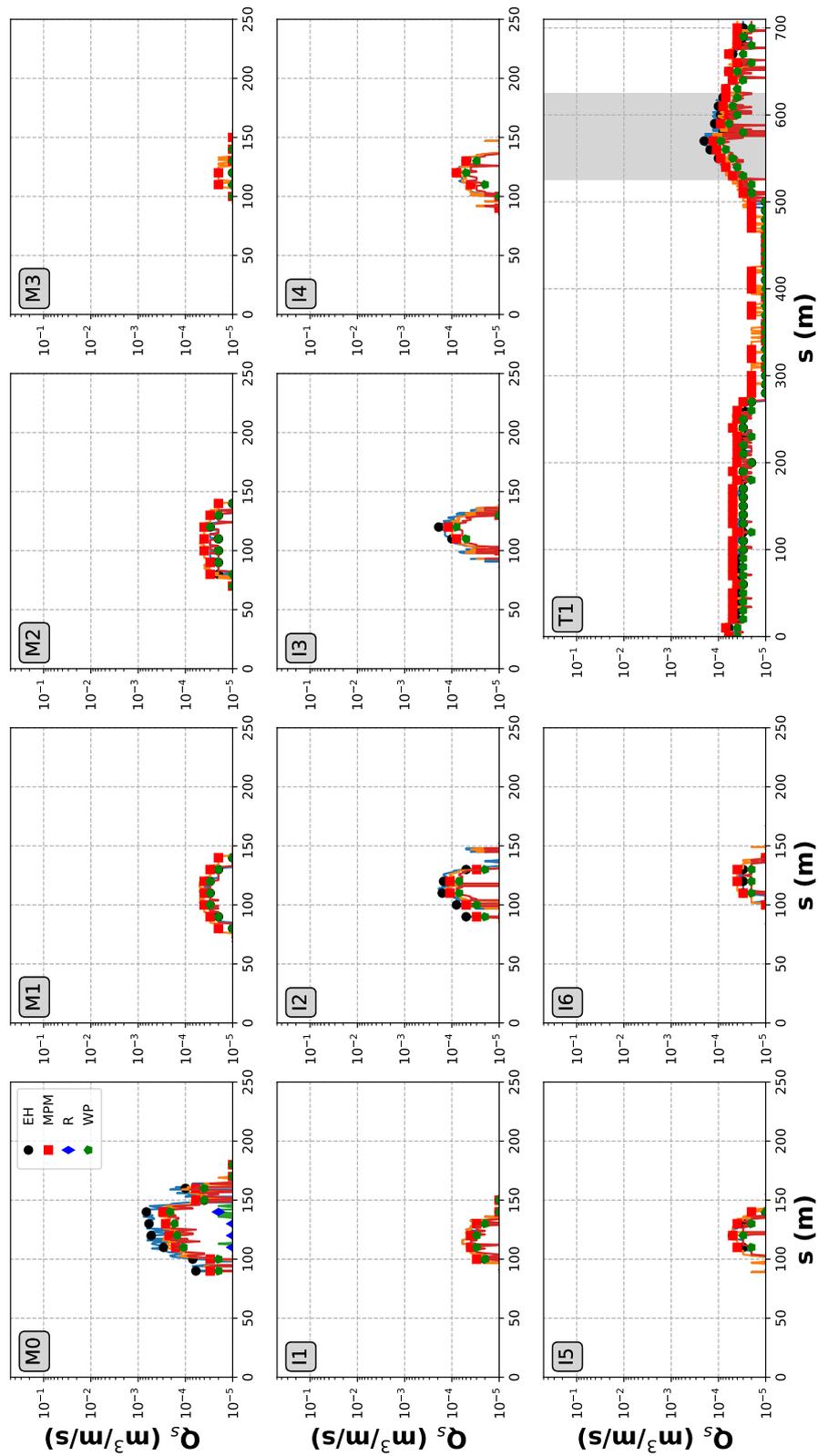


Figura A-13: Configurazione "PRP2008". Portata 150.0 m<sup>3</sup>/s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.



A.2

Figura A-14: Configurazione "A". Portata 150.0 m<sup>3</sup>/s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.



A.2

Figura A-15: Configurazione "C". Portata 150.0 m<sup>3</sup>/s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.

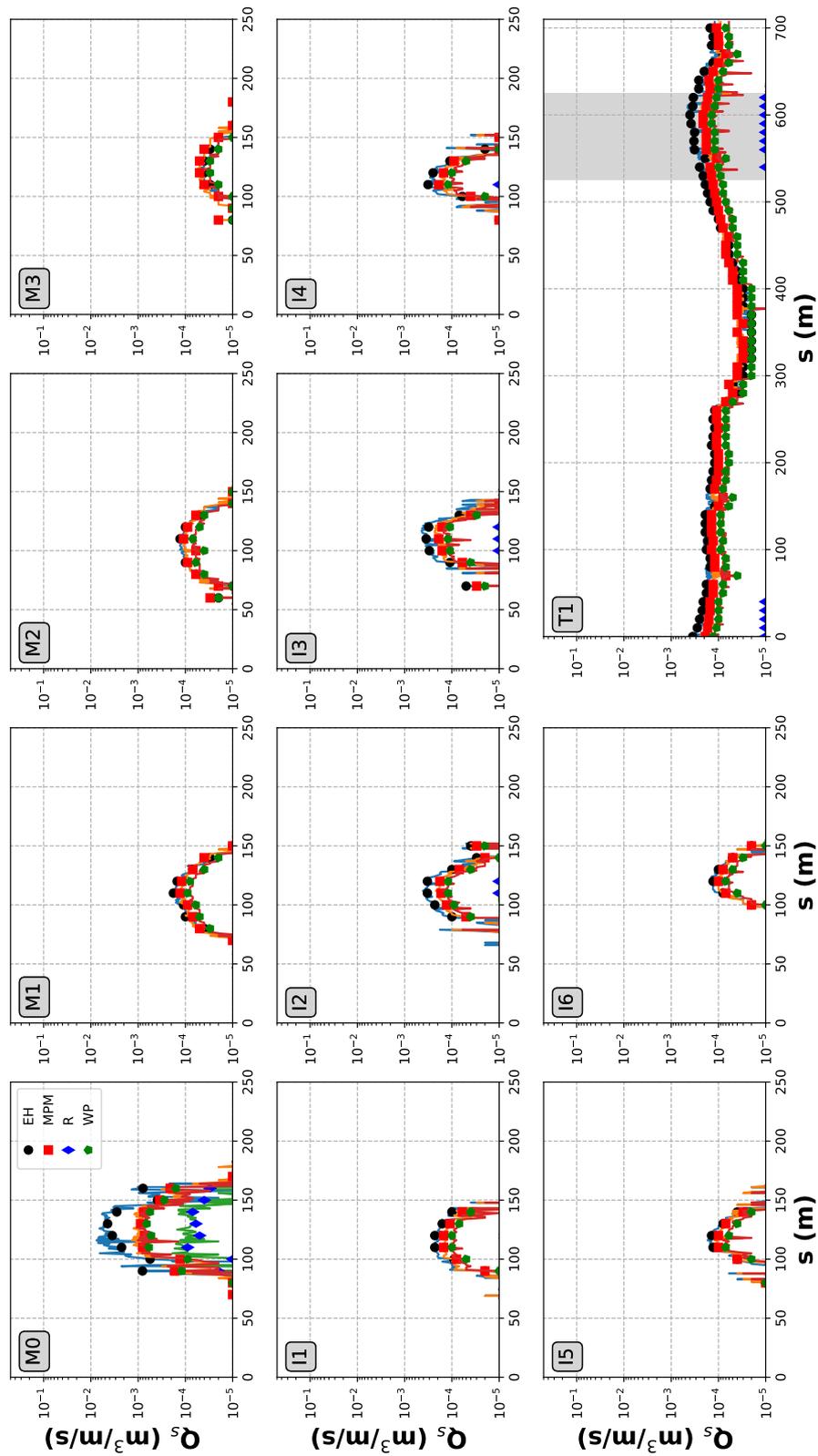
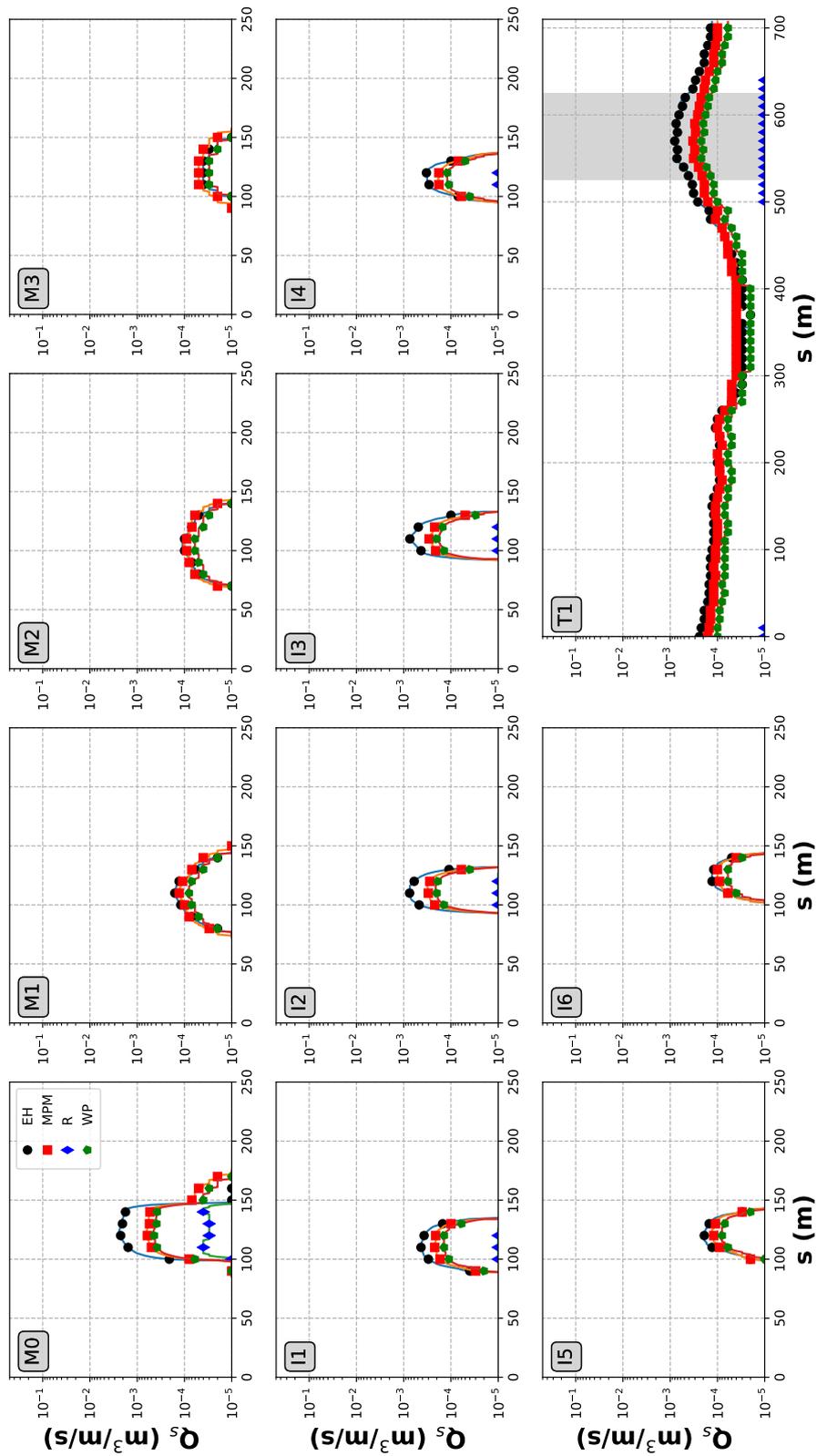
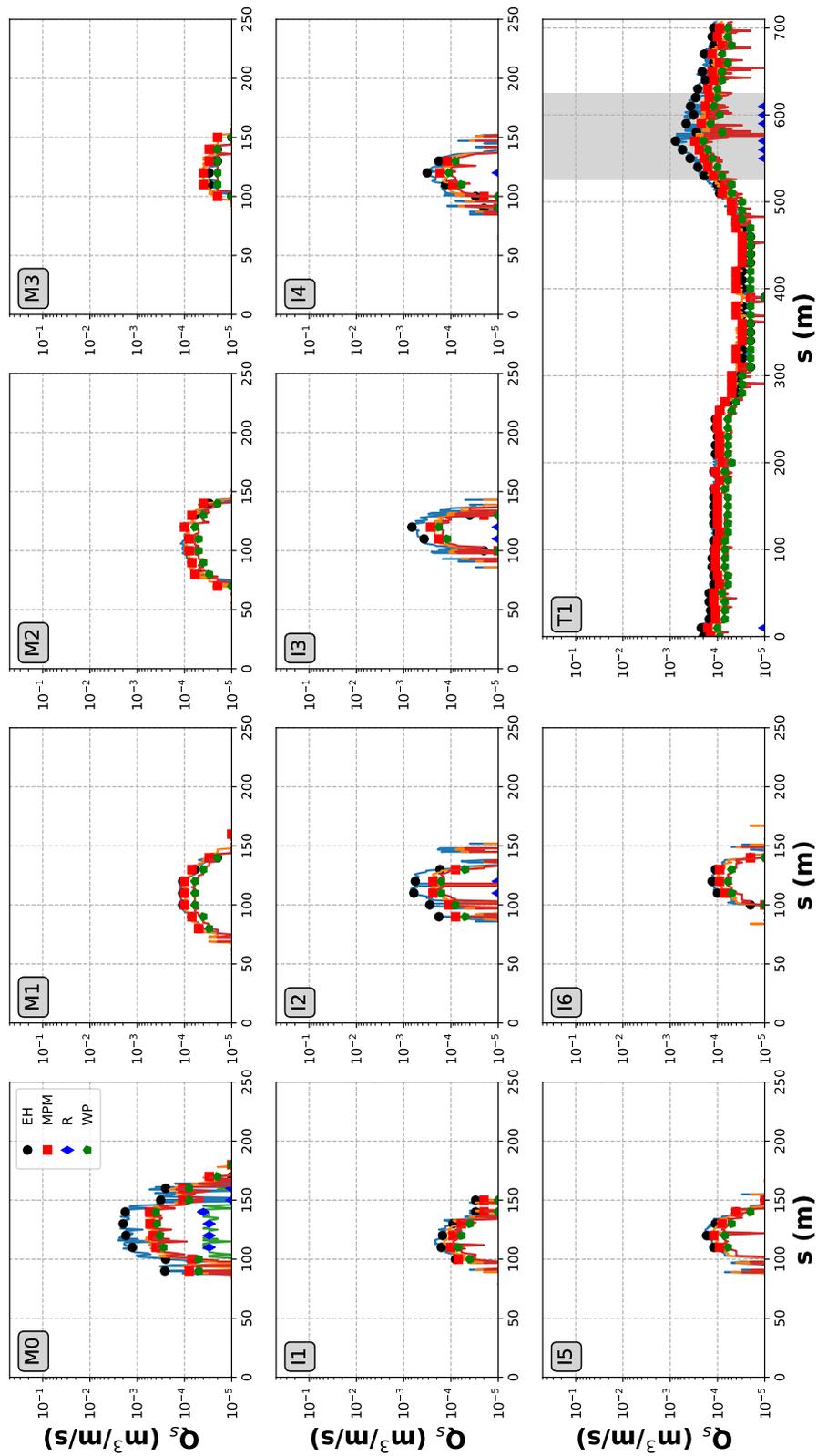


Figura A-16: Configurazione "PRP2008". Portata 200.0 m<sup>3</sup>/s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.



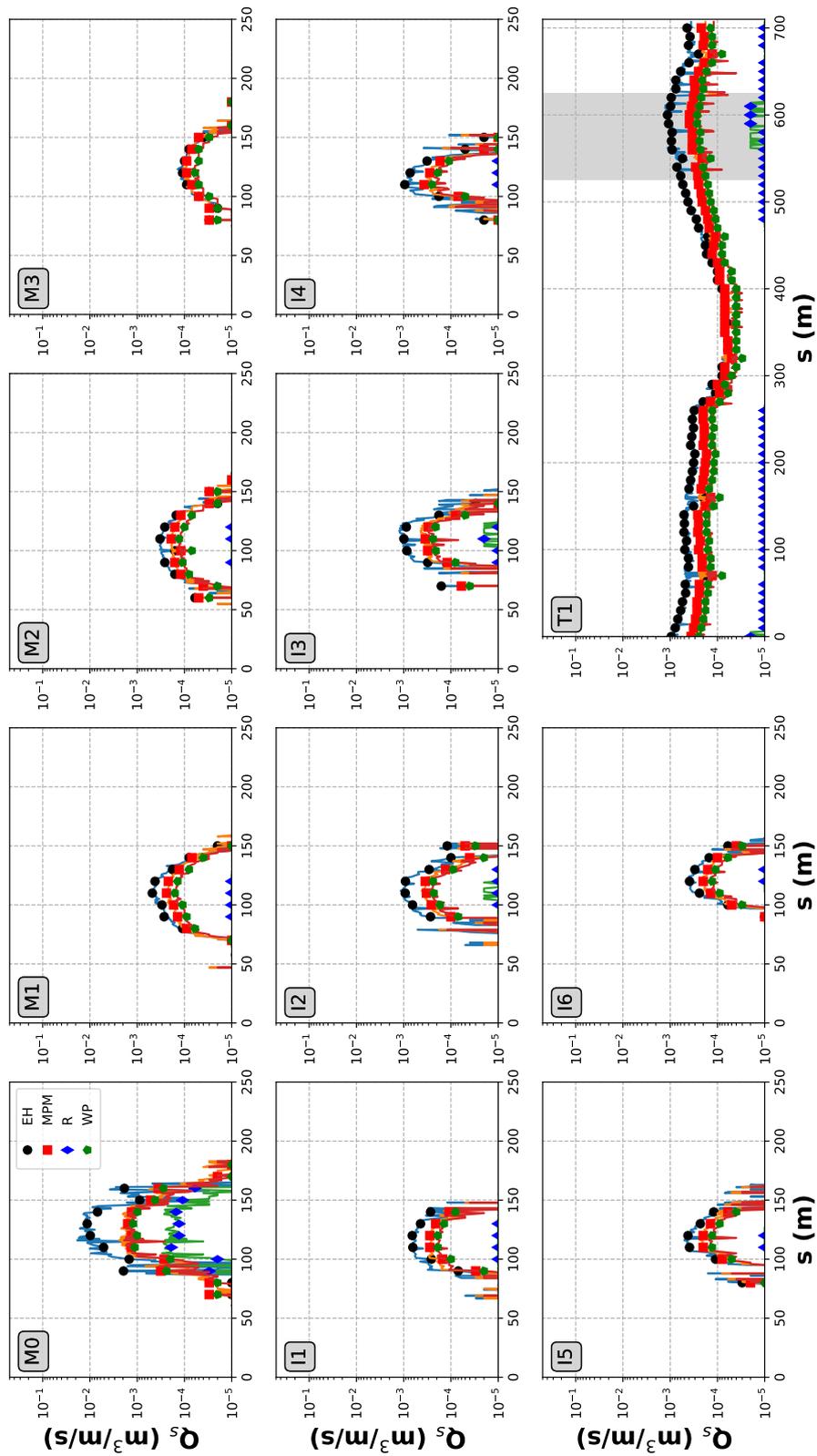
A.2

Figura A-17: Configurazione "A". Portata  $200.0 \text{ m}^3/\text{s}$ . Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.



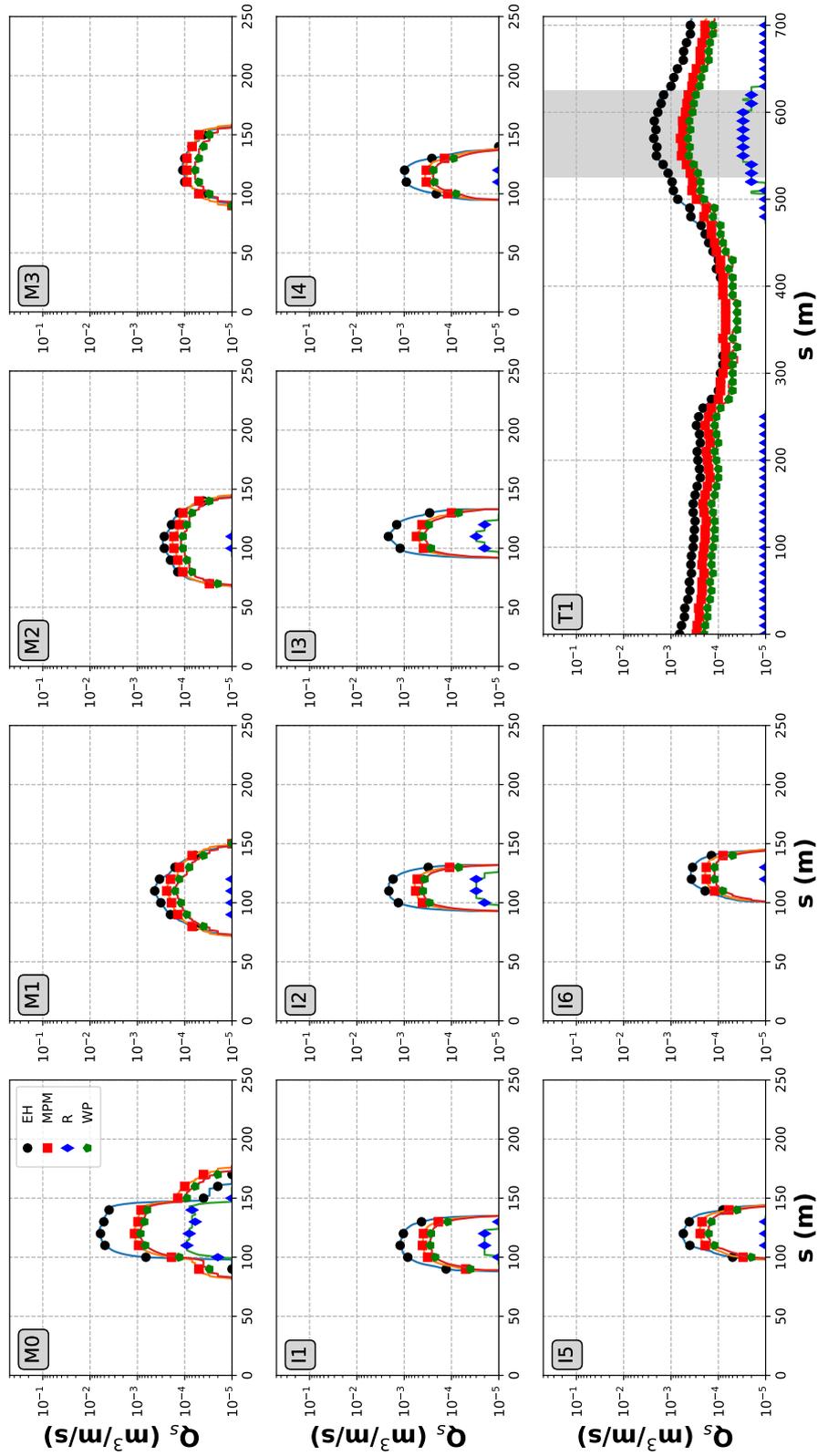
A.2

Figura A-18: Configurazione "C". Portata  $200.0 m^3/s$ . Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.



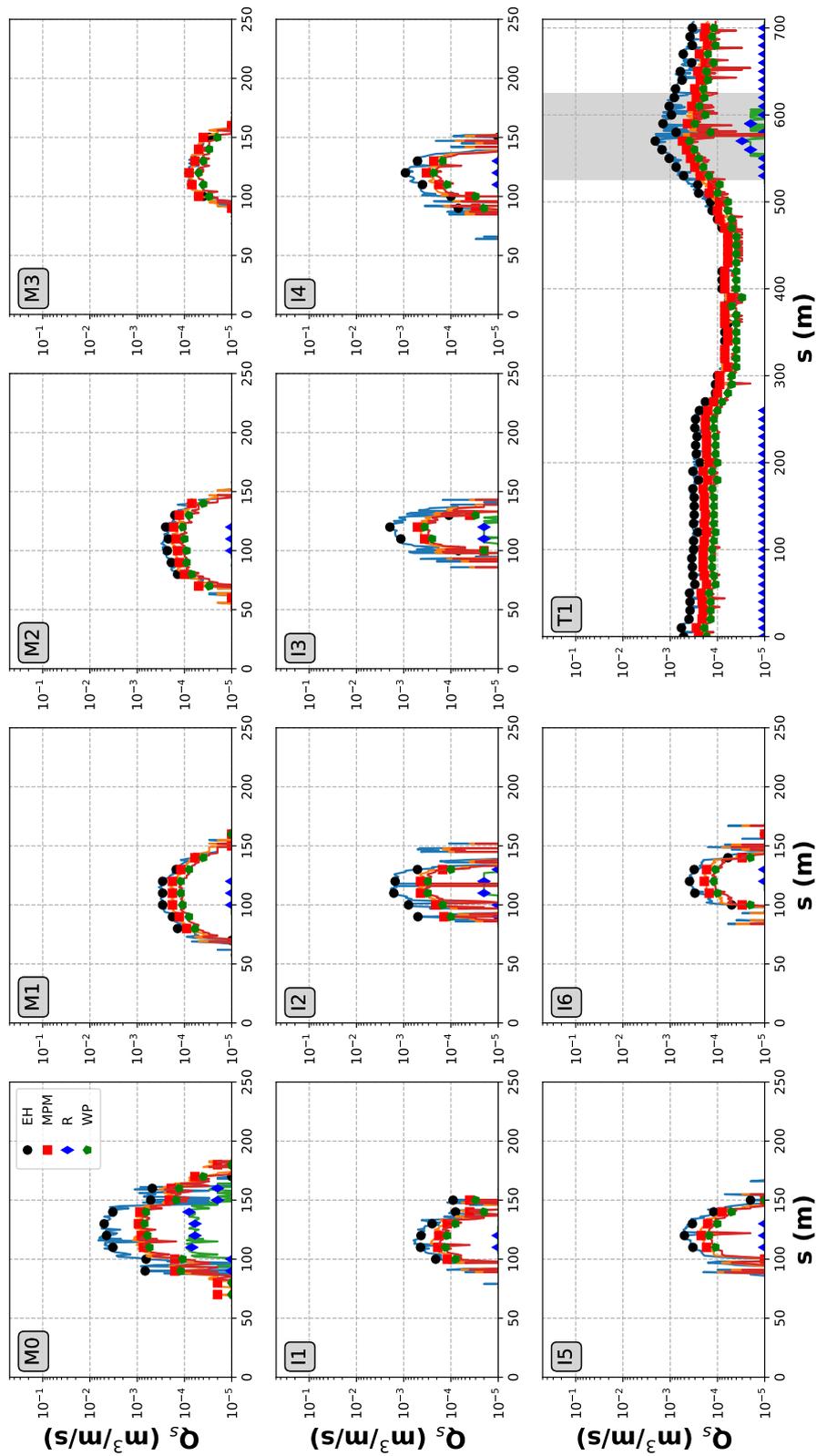
A.2

Figura A-19: Configurazione "PRP2008". Portata  $250.0 \text{ m}^3/\text{s}$ . Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.



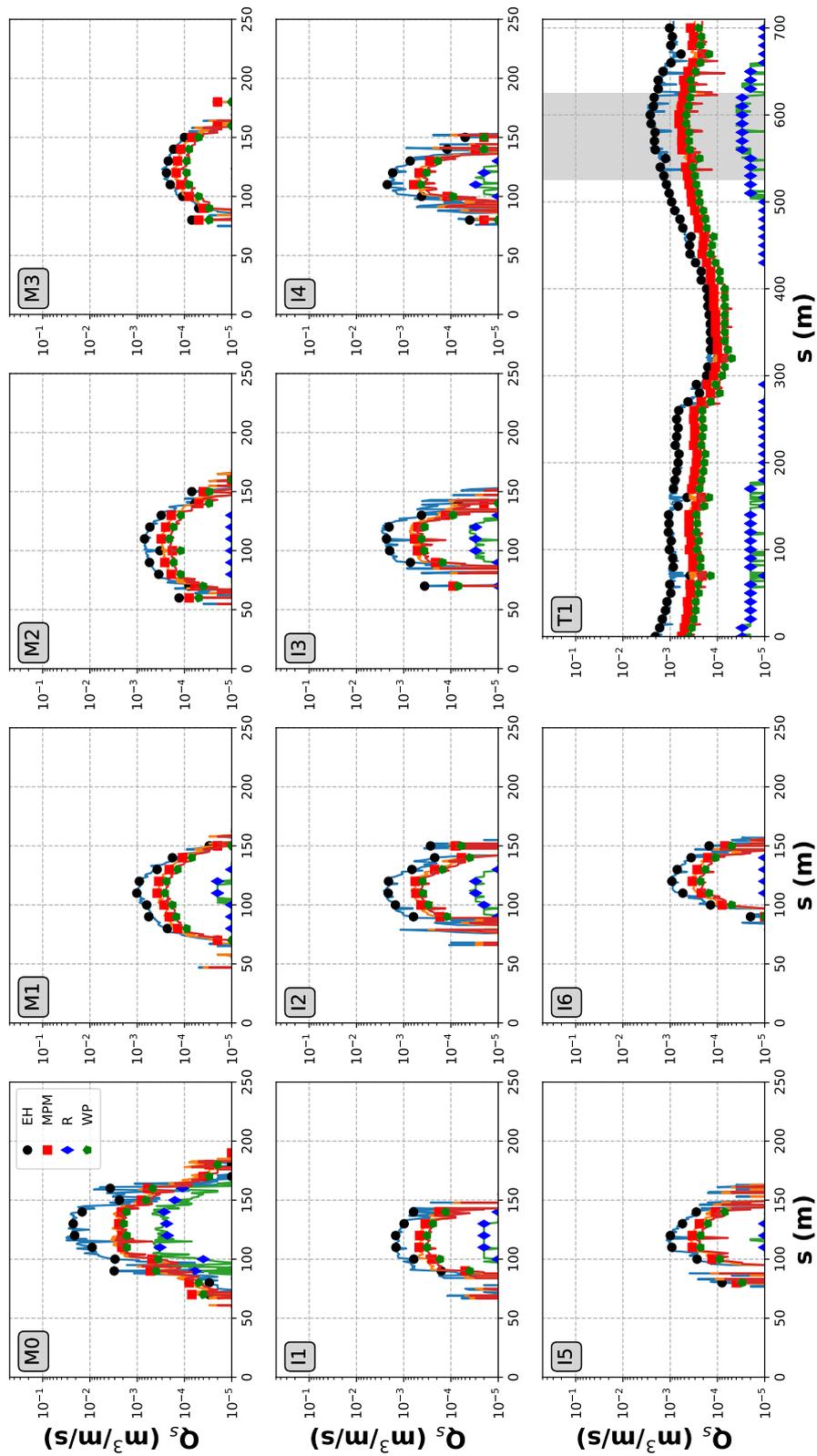
A.2

Figura A-20: Configurazione "A". Portata 250.0 m<sup>3</sup>/s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.



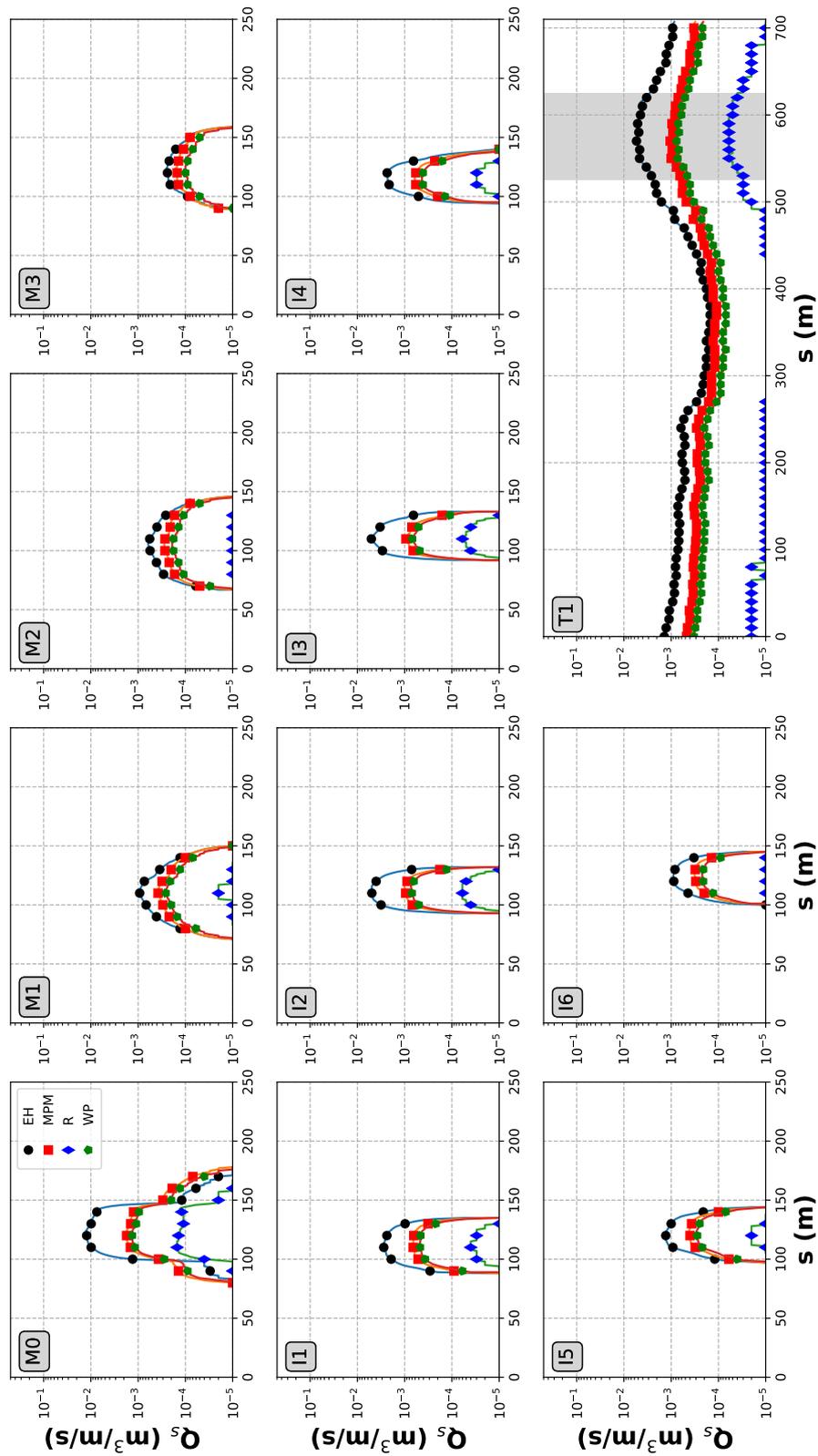
A.2

Figura A-21: Configurazione "C". Portata  $250.0 m^3/s$ . Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.



A.2

Figura A-22: Configurazione "PRP2008". Portata  $300.0 \text{ m}^3/\text{s}$ . Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.



A.2

Figura A-23: Configurazione "A". Portata 300.0 m<sup>3</sup>/s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.

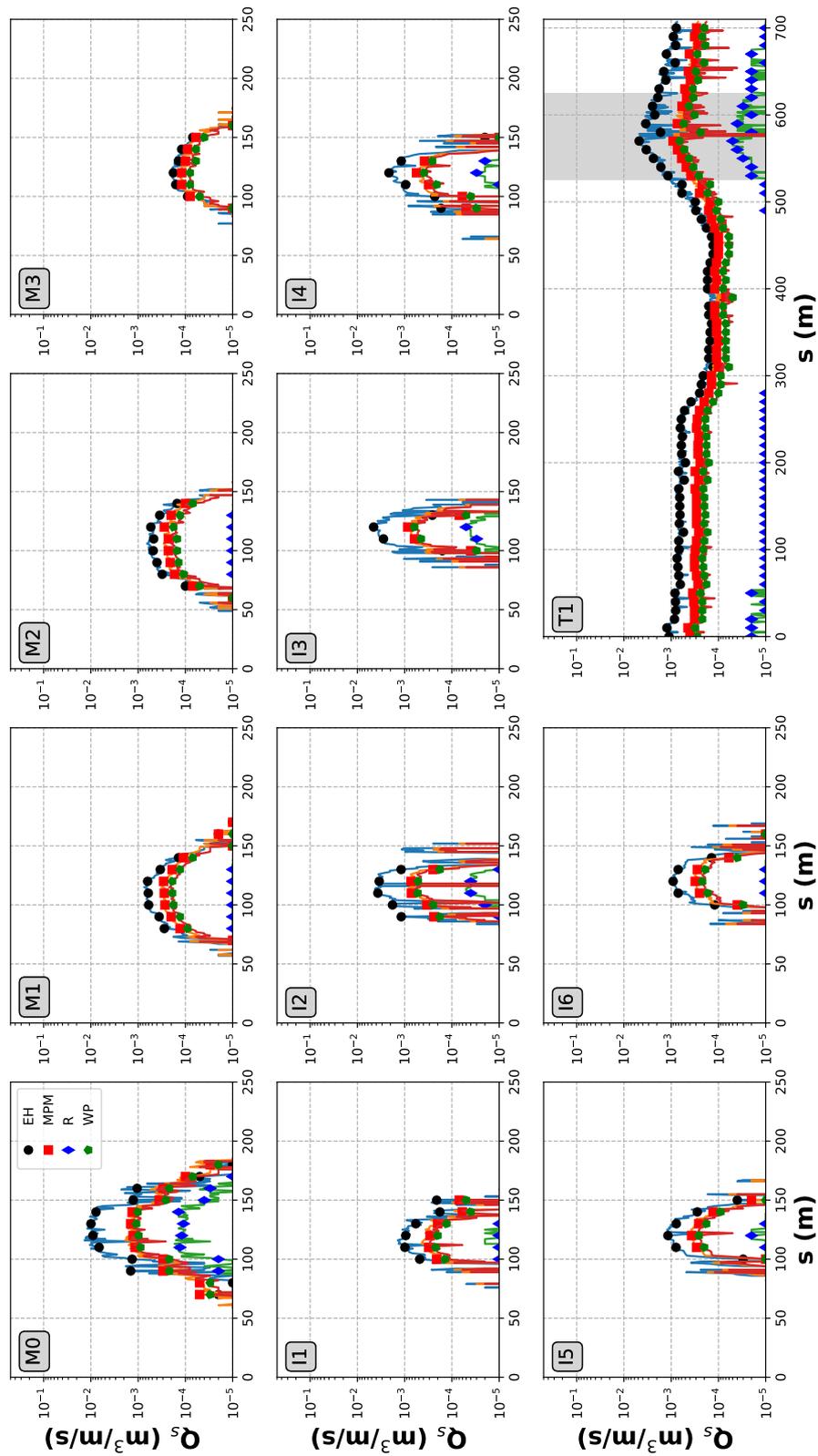


Figura A-24: Configurazione "C". Portata  $300.0 \text{ m}^3/\text{s}$ . Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.

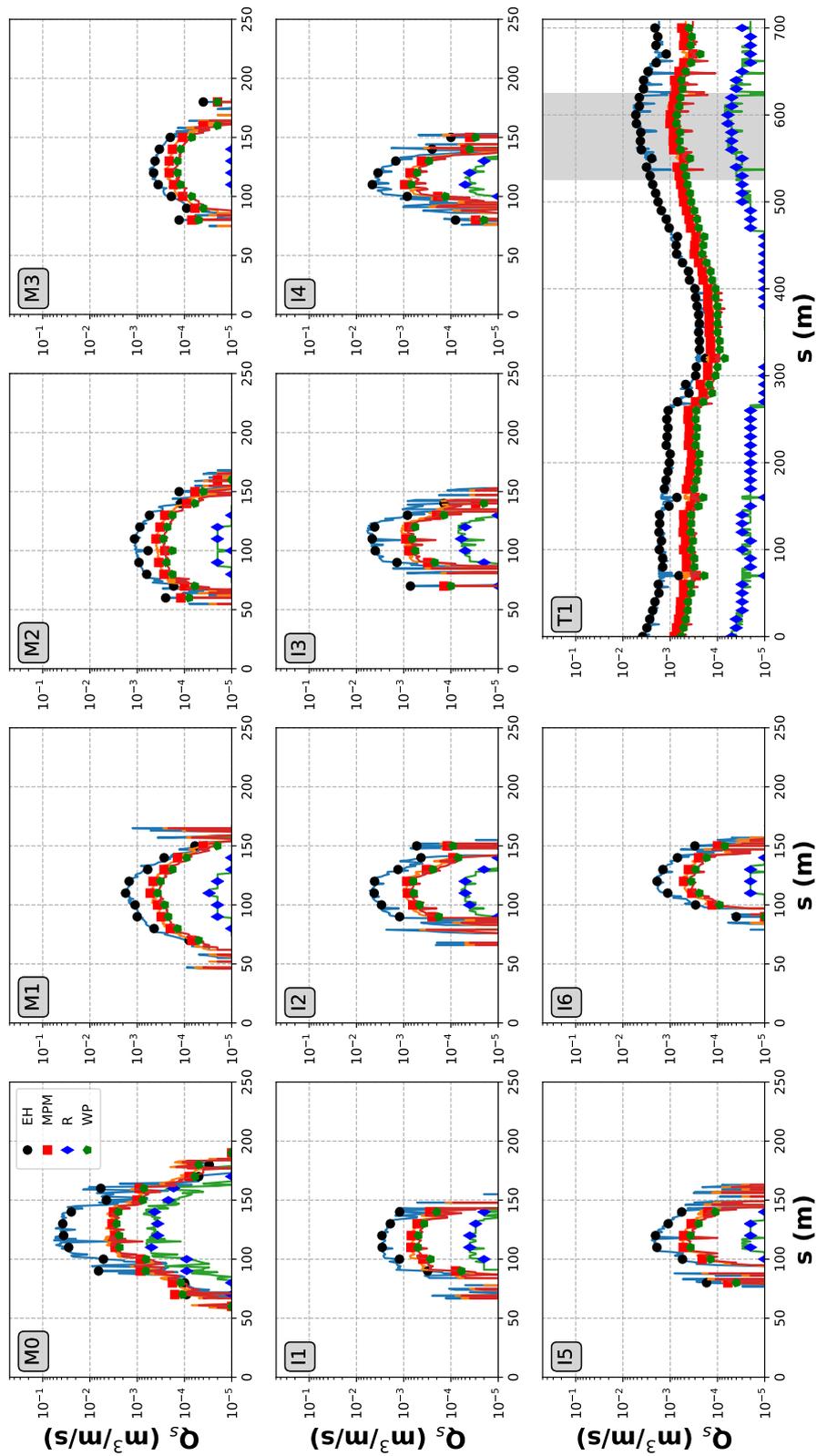
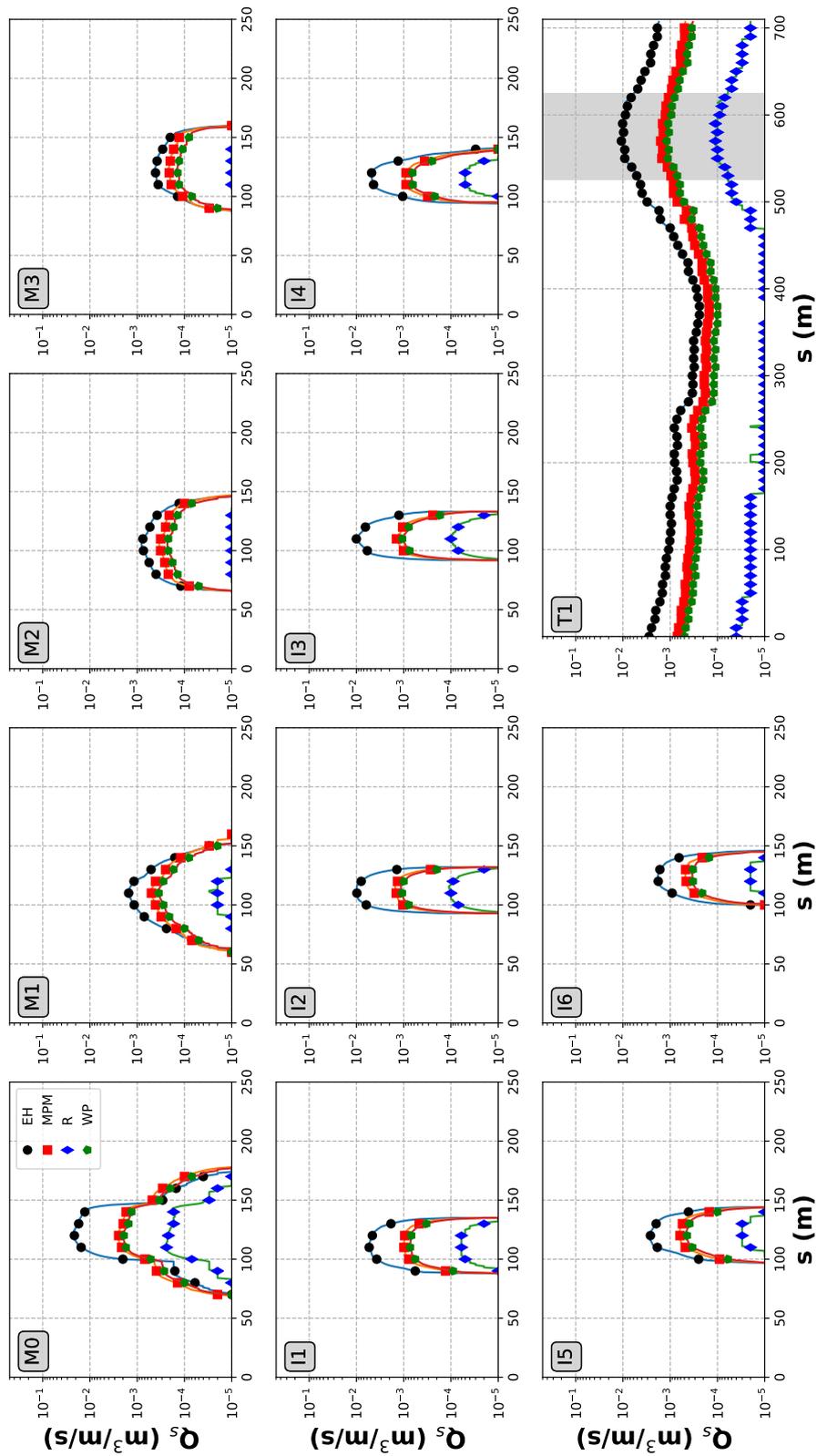


Figura A-25: Configurazione "PRP2008". Portata  $350.0 \text{ m}^3/\text{s}$ . Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.



A.2

Figura A-26: Configurazione "A". Portata 350.0 m<sup>3</sup>/s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.

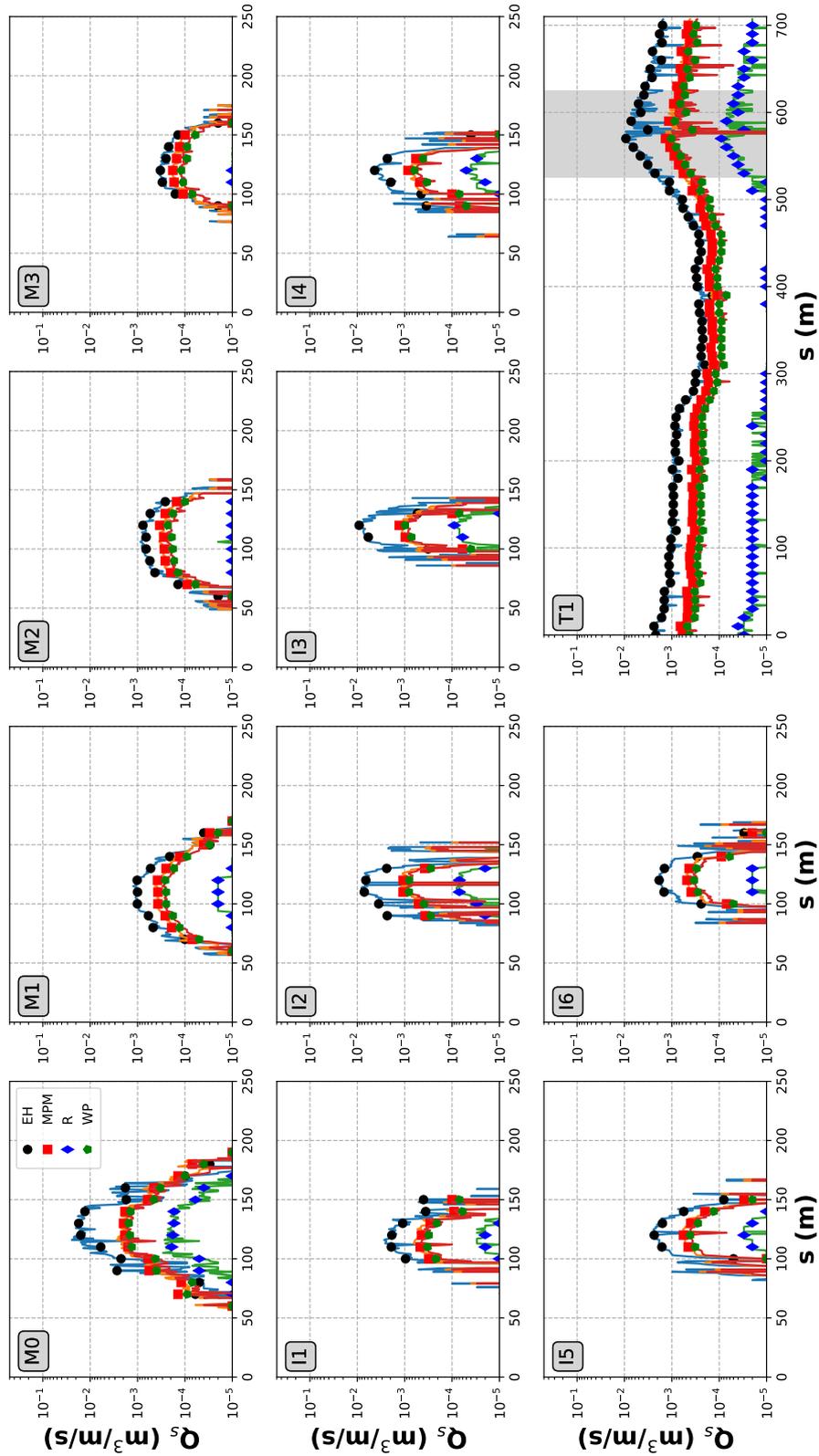
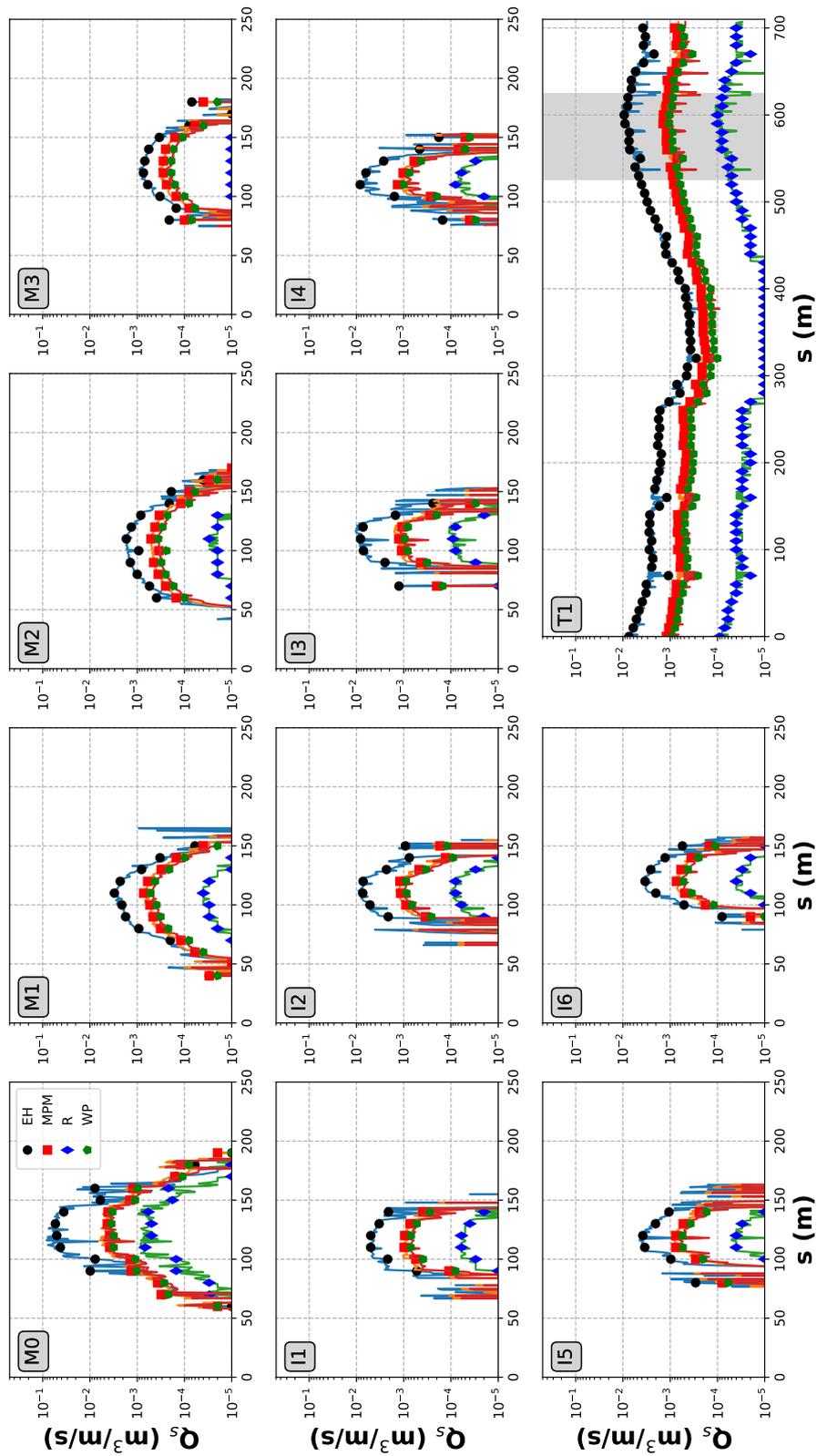
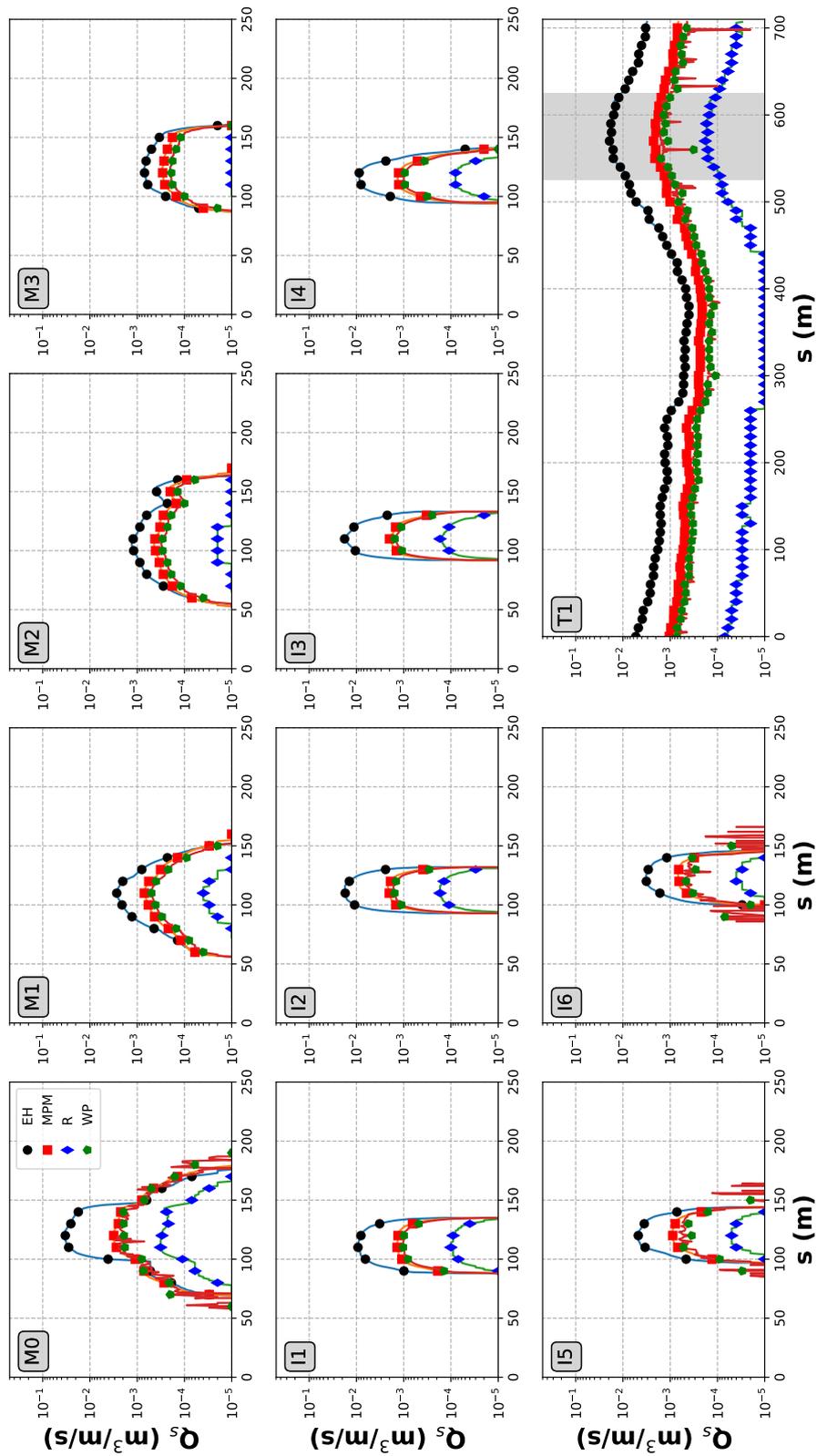


Figura A-27: Configurazione "C". Portata  $350.0 \text{ m}^3/\text{s}$ . Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.



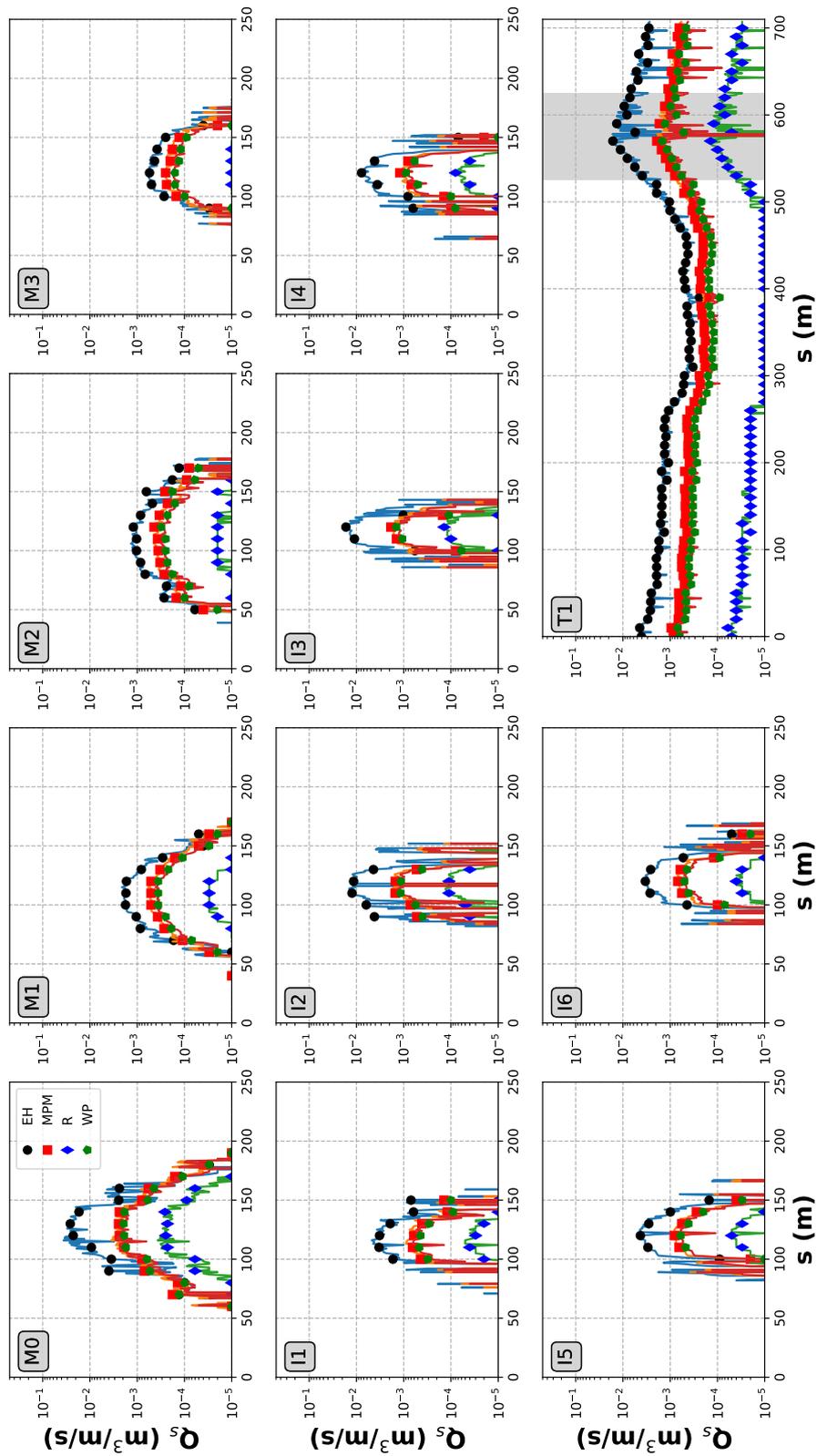
A.2

Figura A-28: Configurazione "PRP2008". Portata  $400.0 \text{ m}^3/\text{s}$ . Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.



A.2

Figura A-29: Configurazione "A". Portata 400.0 m<sup>3</sup>/s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.



A.2

Figura A-30: Configurazione "C". Portata 400.0 m<sup>3</sup>/s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.

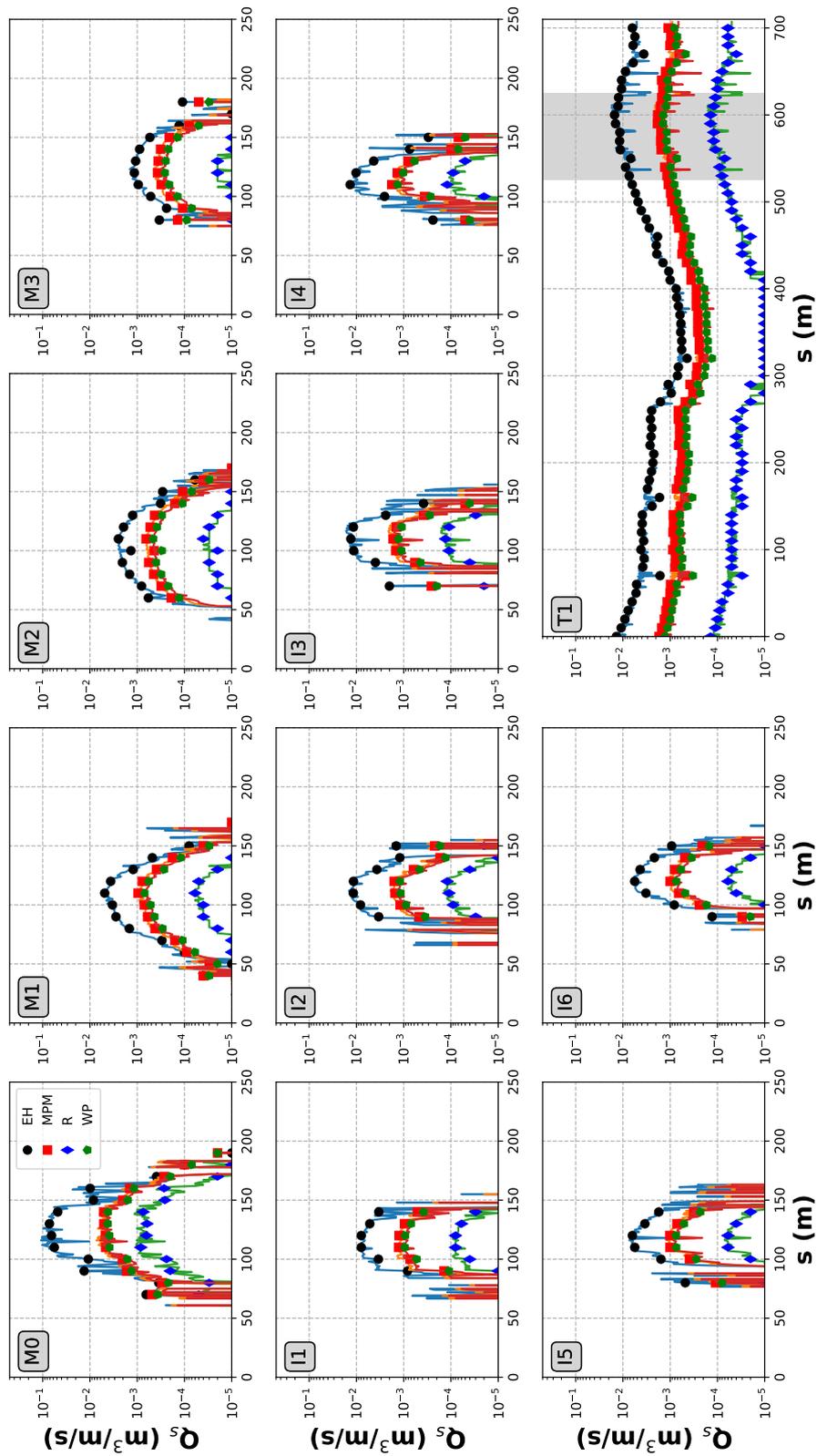
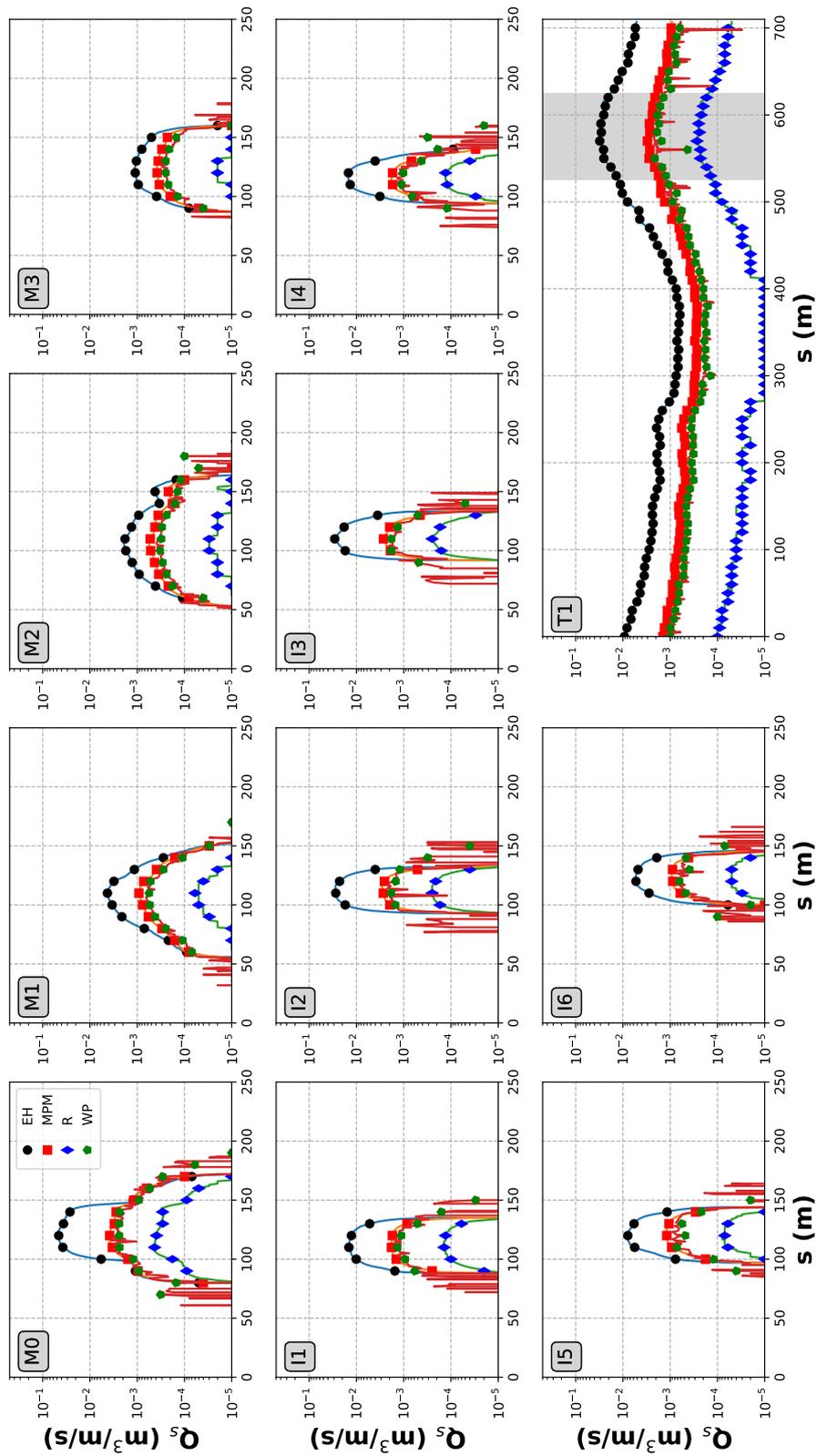
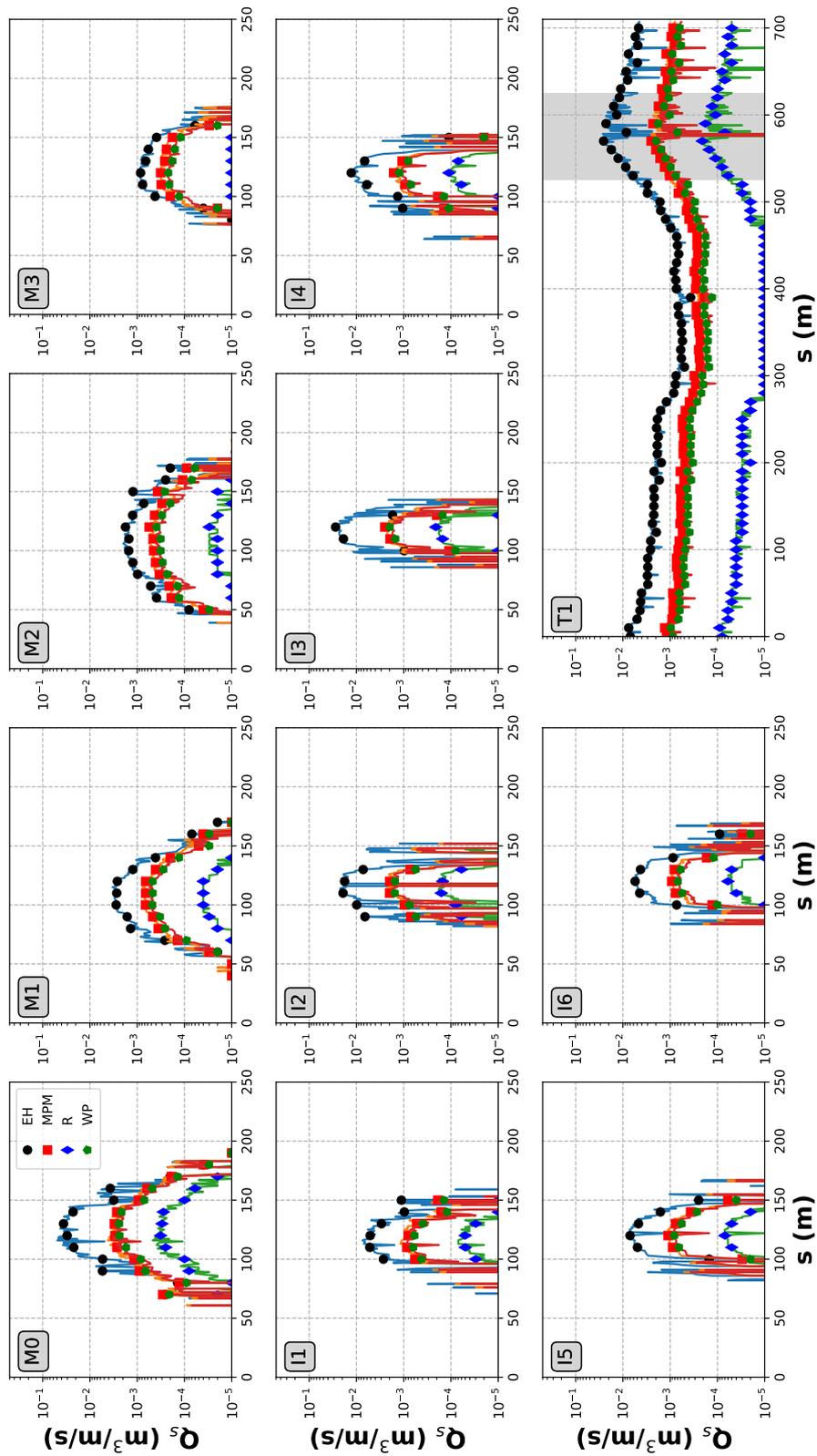


Figura A-31: Configurazione "PRP2008". Portata  $450.0 \text{ m}^3/\text{s}$ . Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.



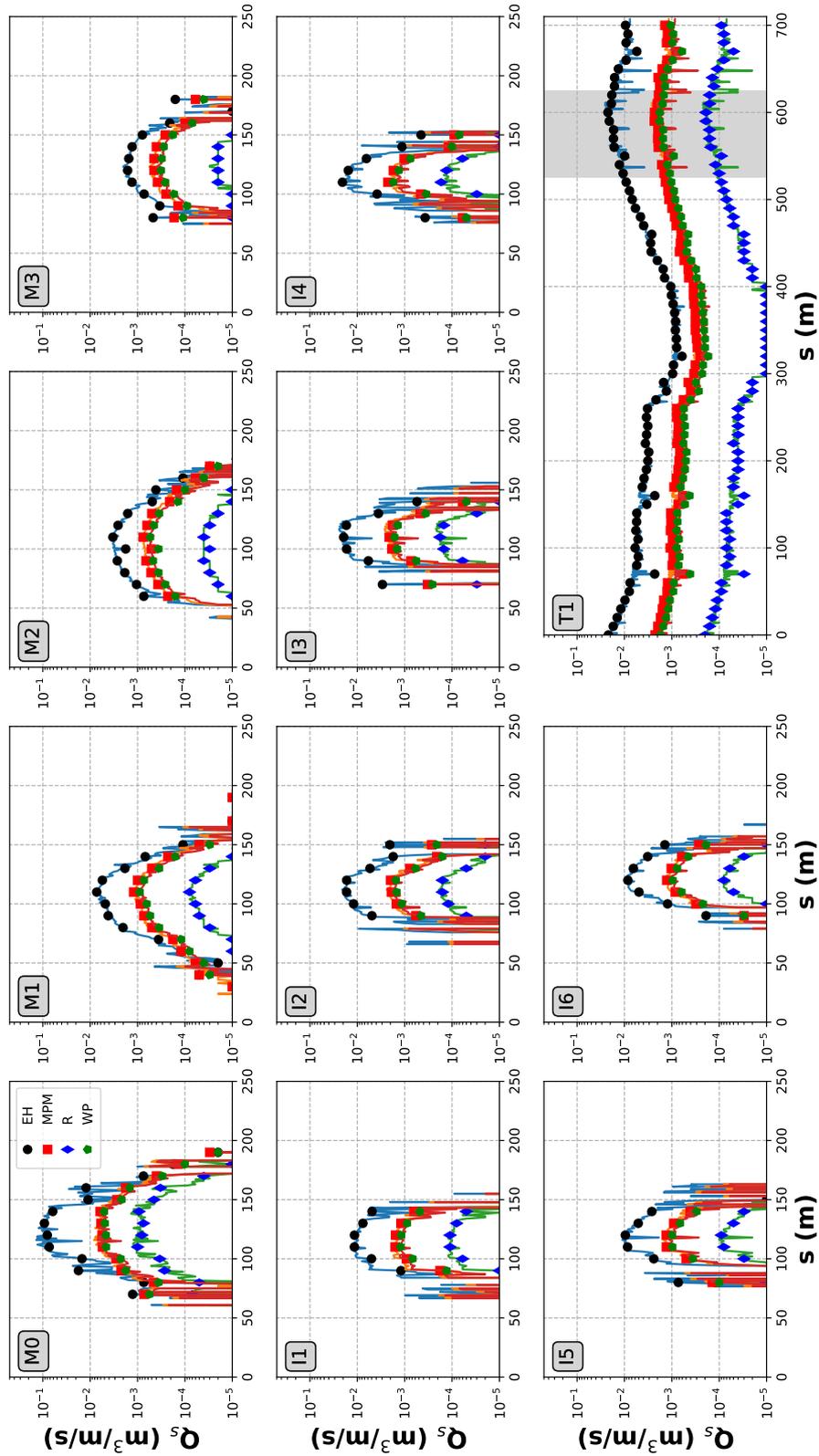
A.2

Figura A-32: Configurazione "A". Portata 450.0 m<sup>3</sup>/s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.



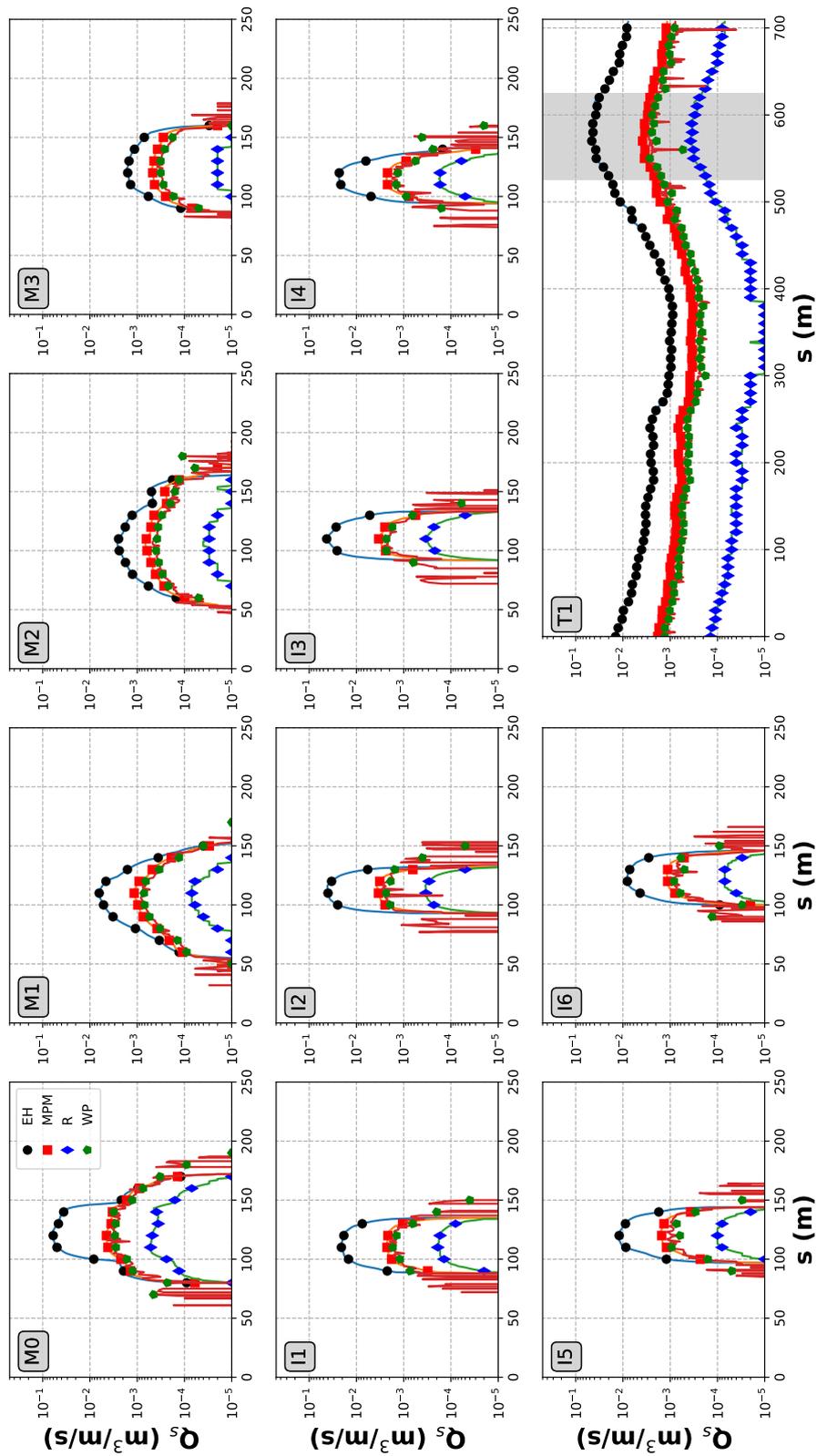
A.2

Figura A-33: Configurazione "C". Portata 450.0 m<sup>3</sup>/s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.



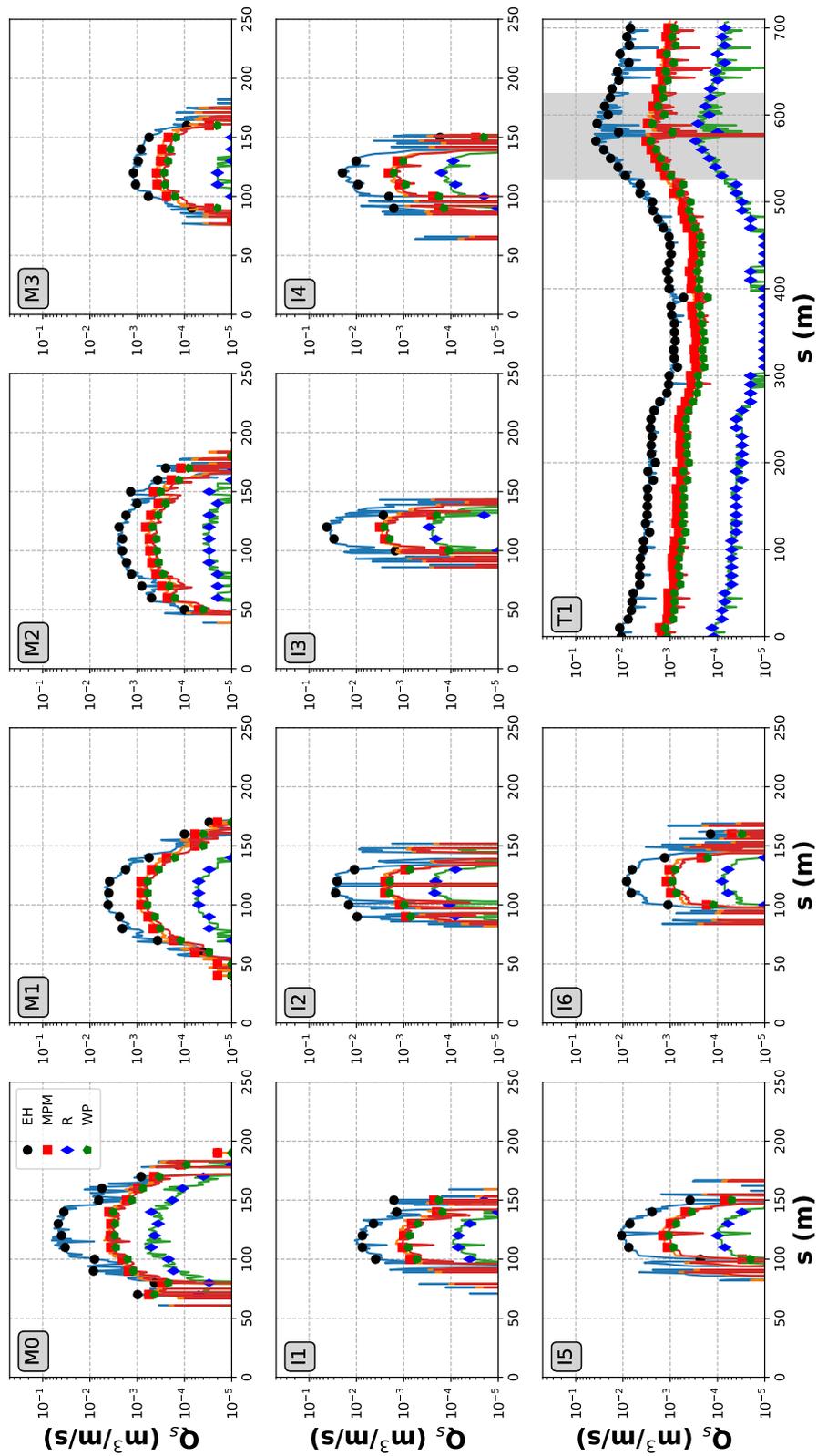
A.2

Figura A-34: Configurazione "PRP2008". Portata  $500.0 m^3/s$ . Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.



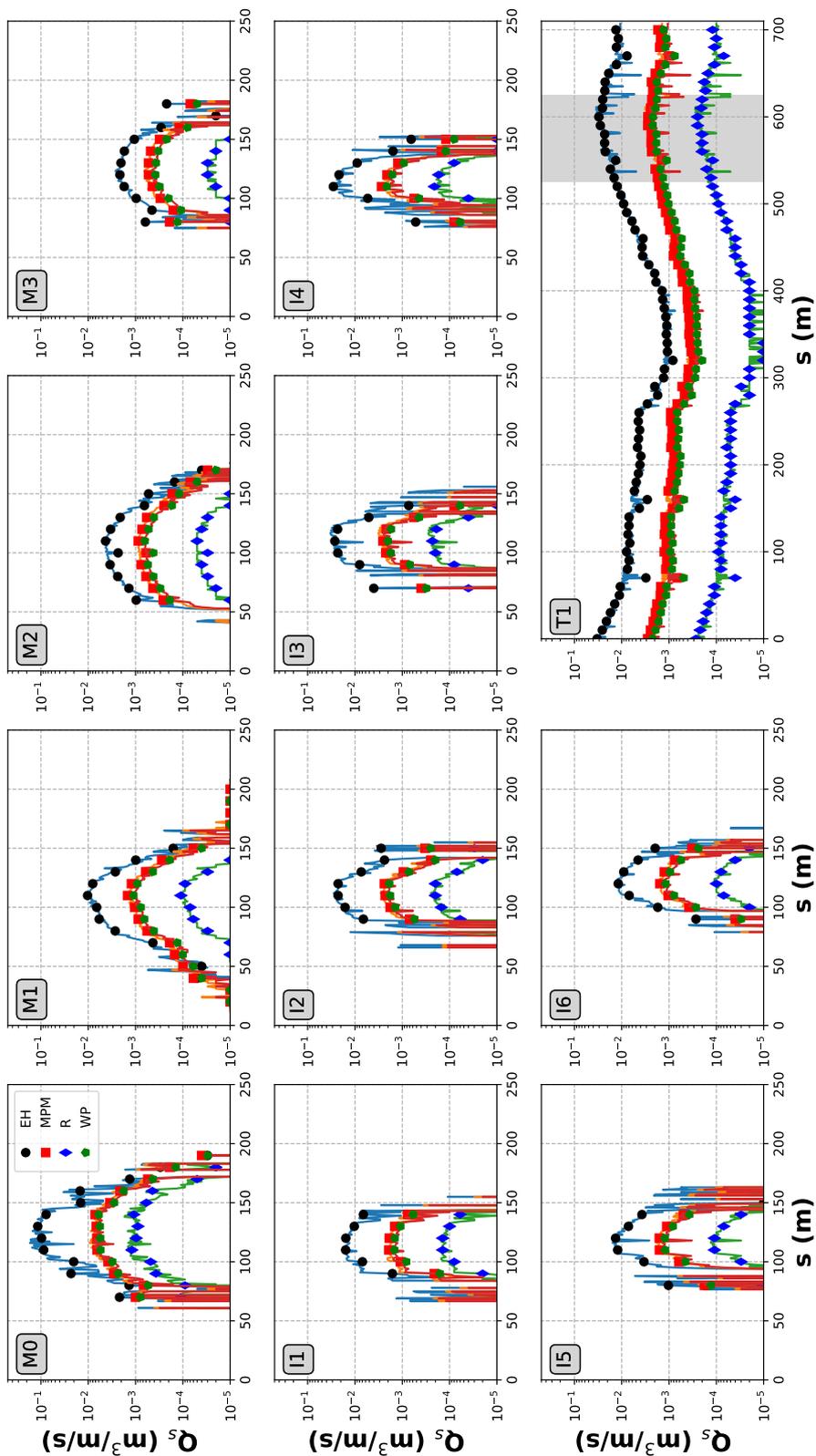
A.2

Figura A-35: Configurazione "A". Portata 500.0 m<sup>3</sup>/s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.



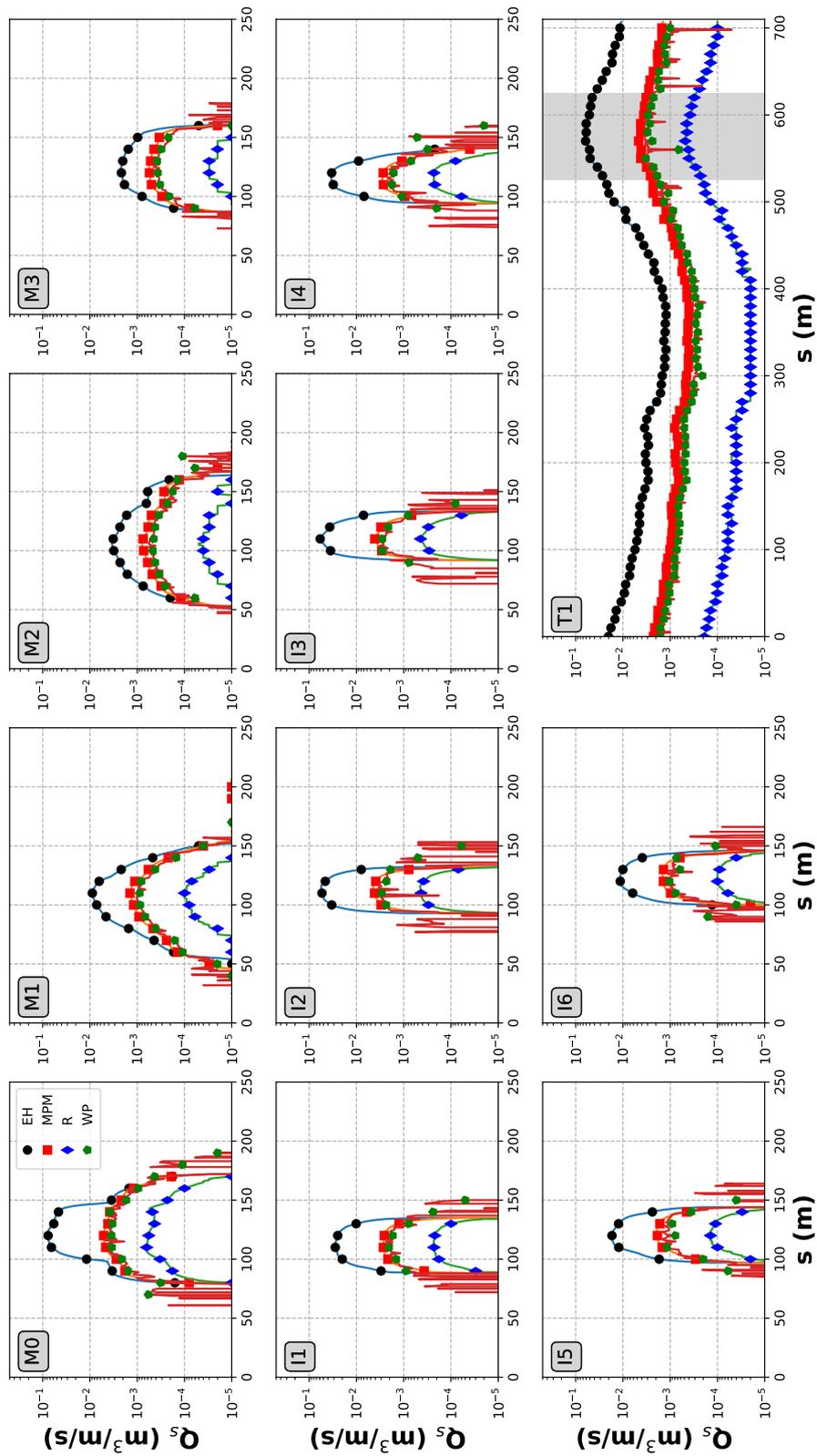
A.2

Figura A-36: Configurazione "C". Portata 500.0 m<sup>3</sup>/s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.



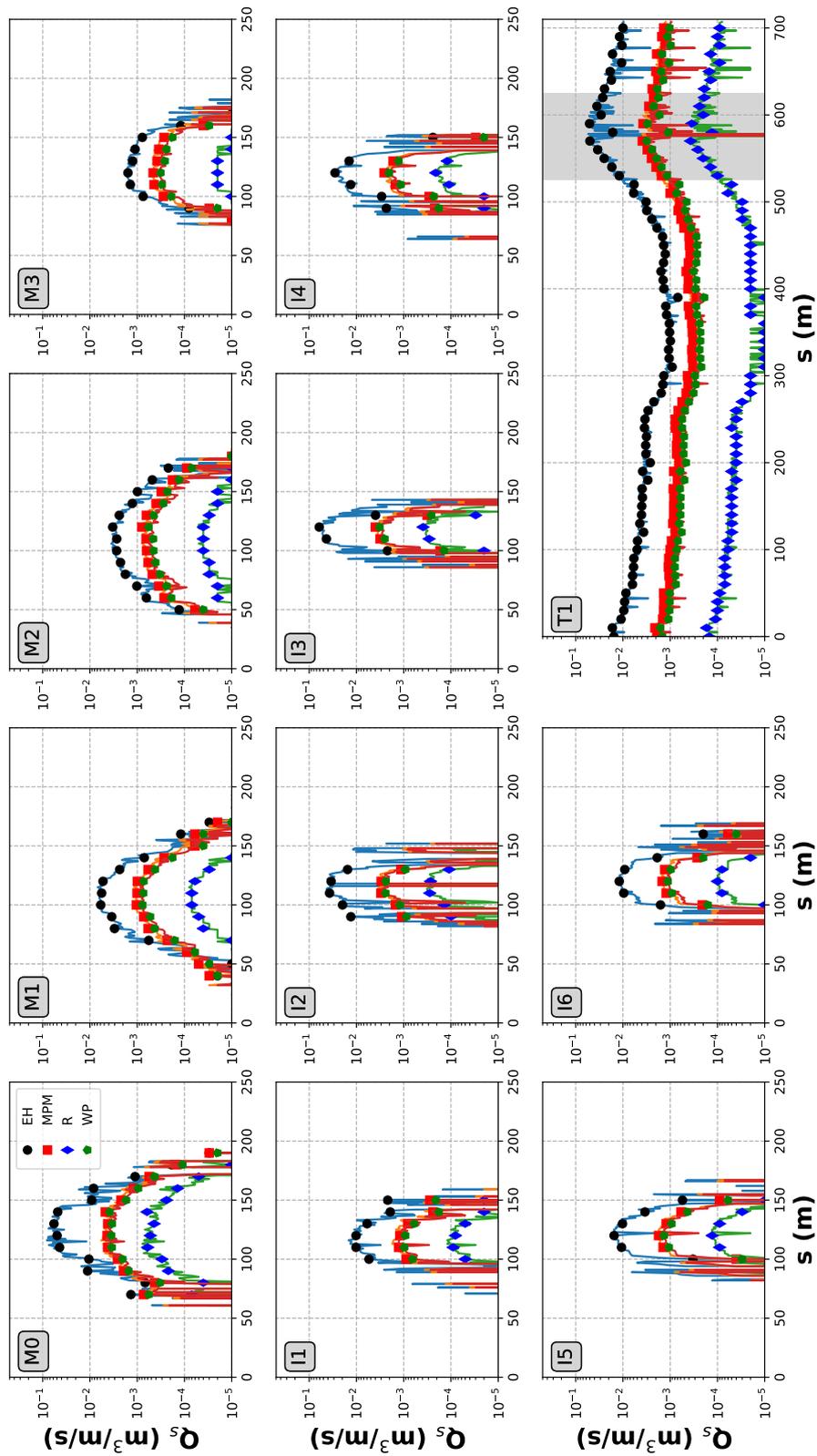
A.2

Figura A-37: Configurazione "PRP2008". Portata 550.0 m<sup>3</sup>/s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.



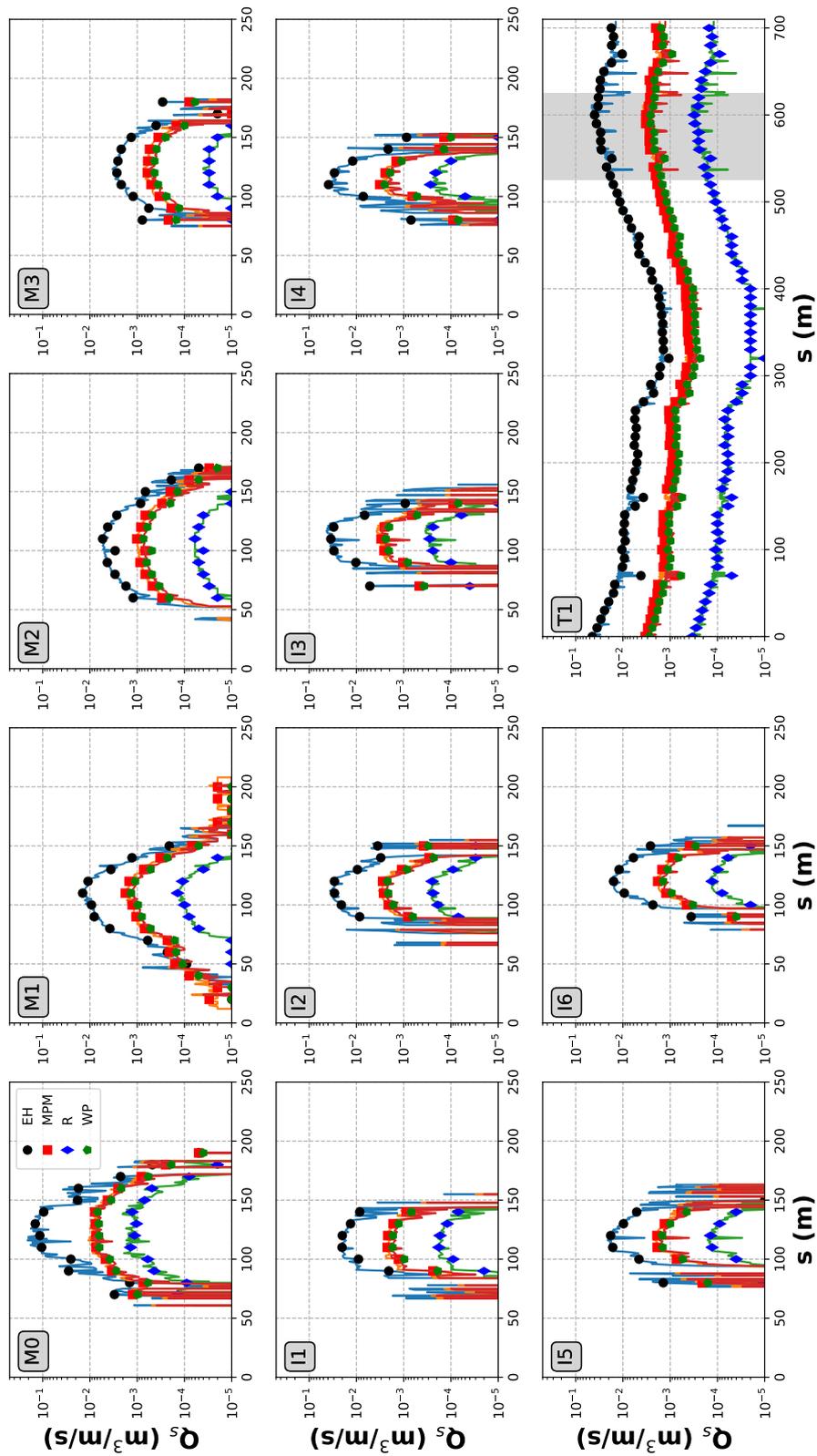
A.2

Figura A-38: Configurazione "A". Portata  $550.0 \text{ m}^3/\text{s}$ . Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.



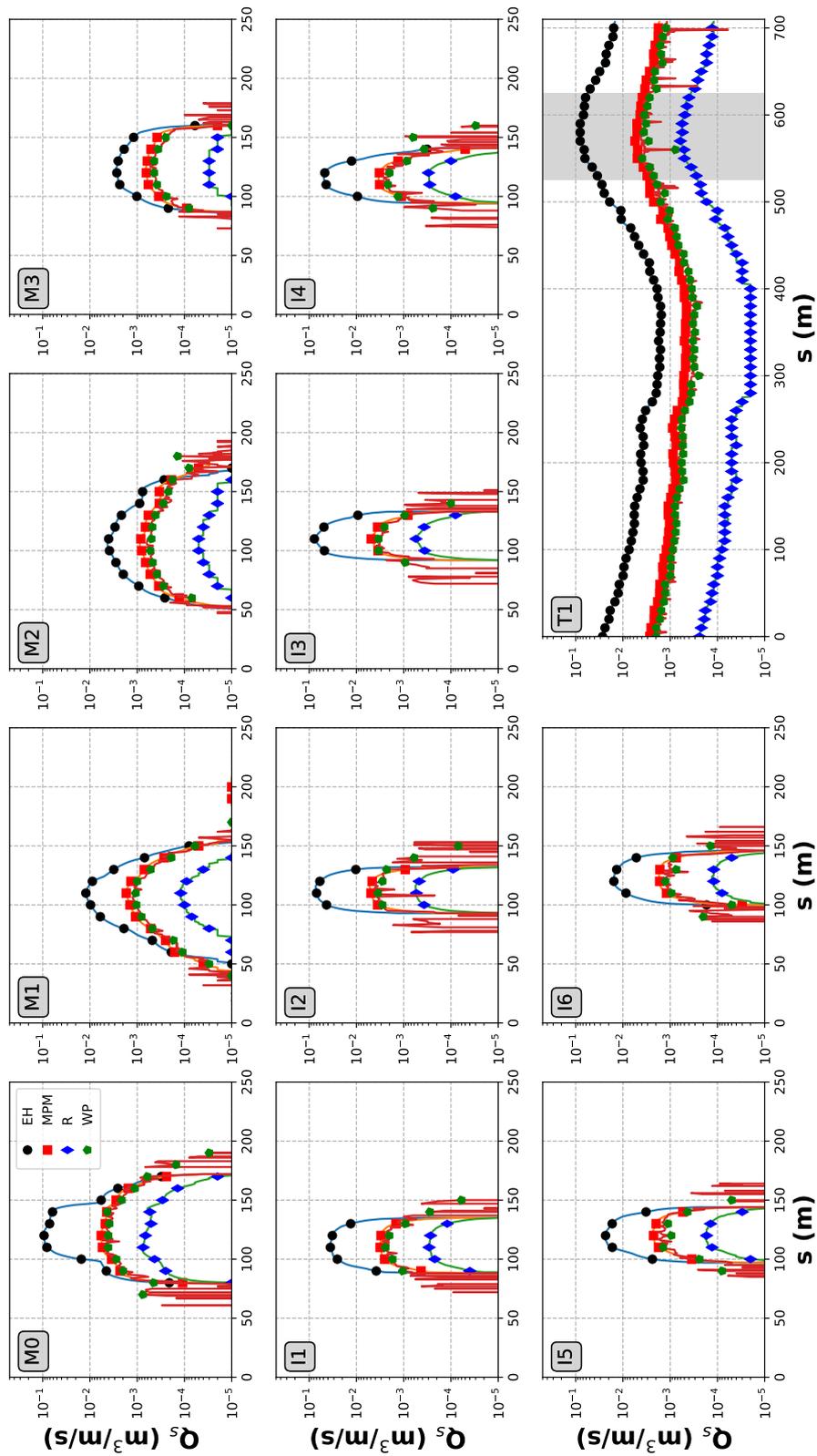
A.2

Figura A-39: Configurazione "C". Portata 550.0 m<sup>3</sup>/s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.



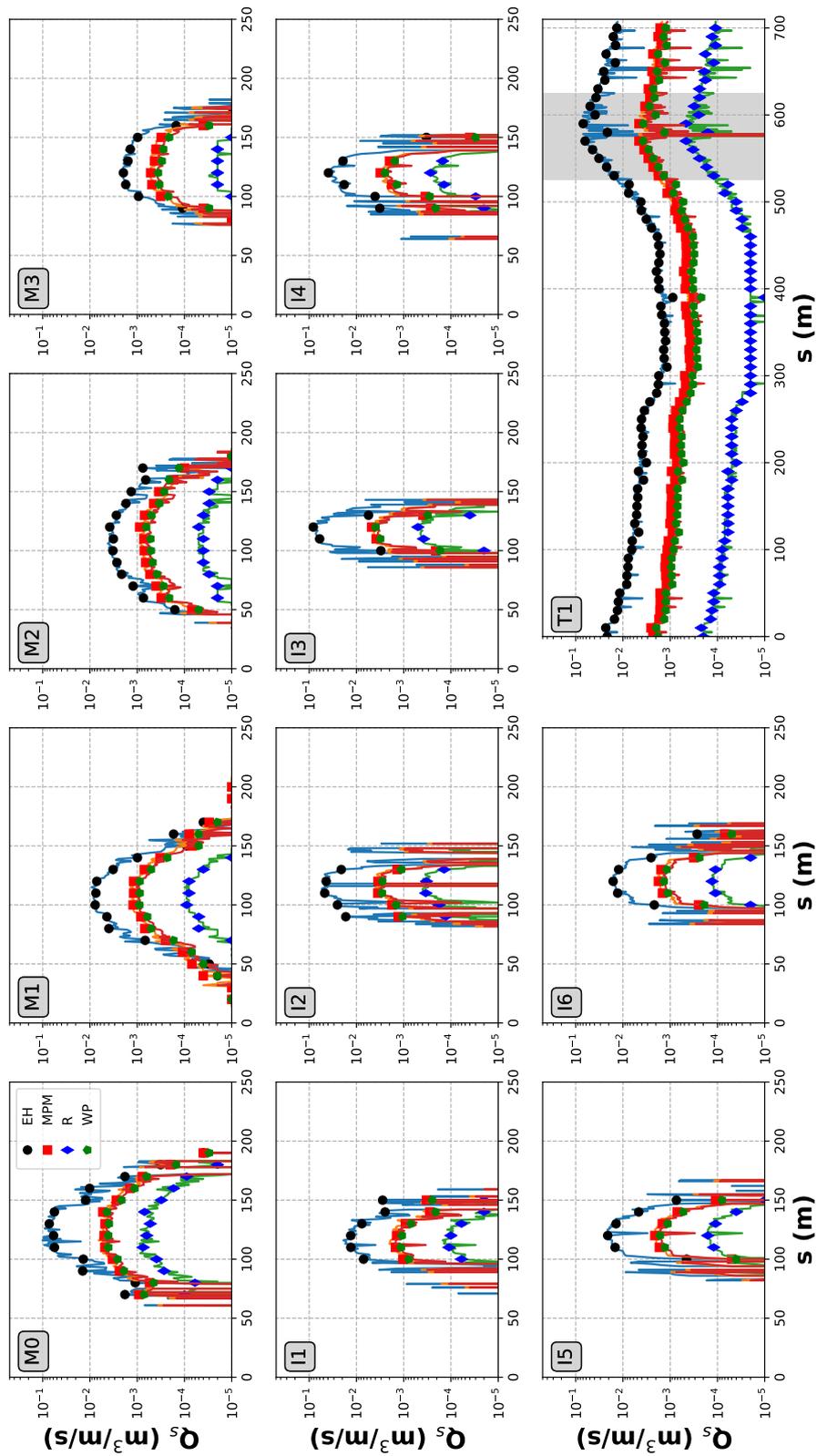
A.2

Figura A-40: Configurazione "PRP2008". Portata  $600.0 \text{ m}^3/\text{s}$ . Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.



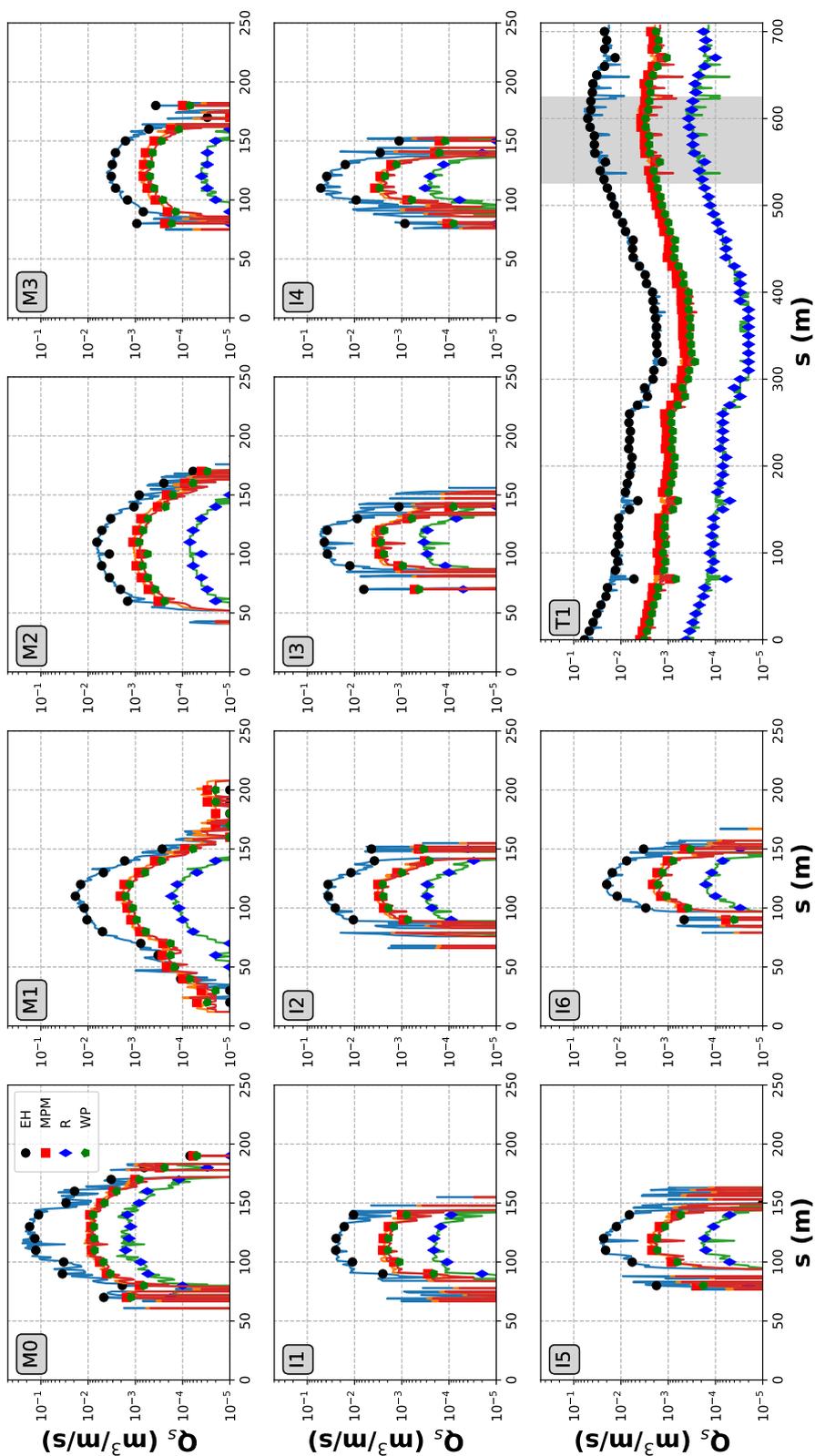
A.2

Figura A-41: Configurazione "A". Portata 600.0 m<sup>3</sup>/s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.



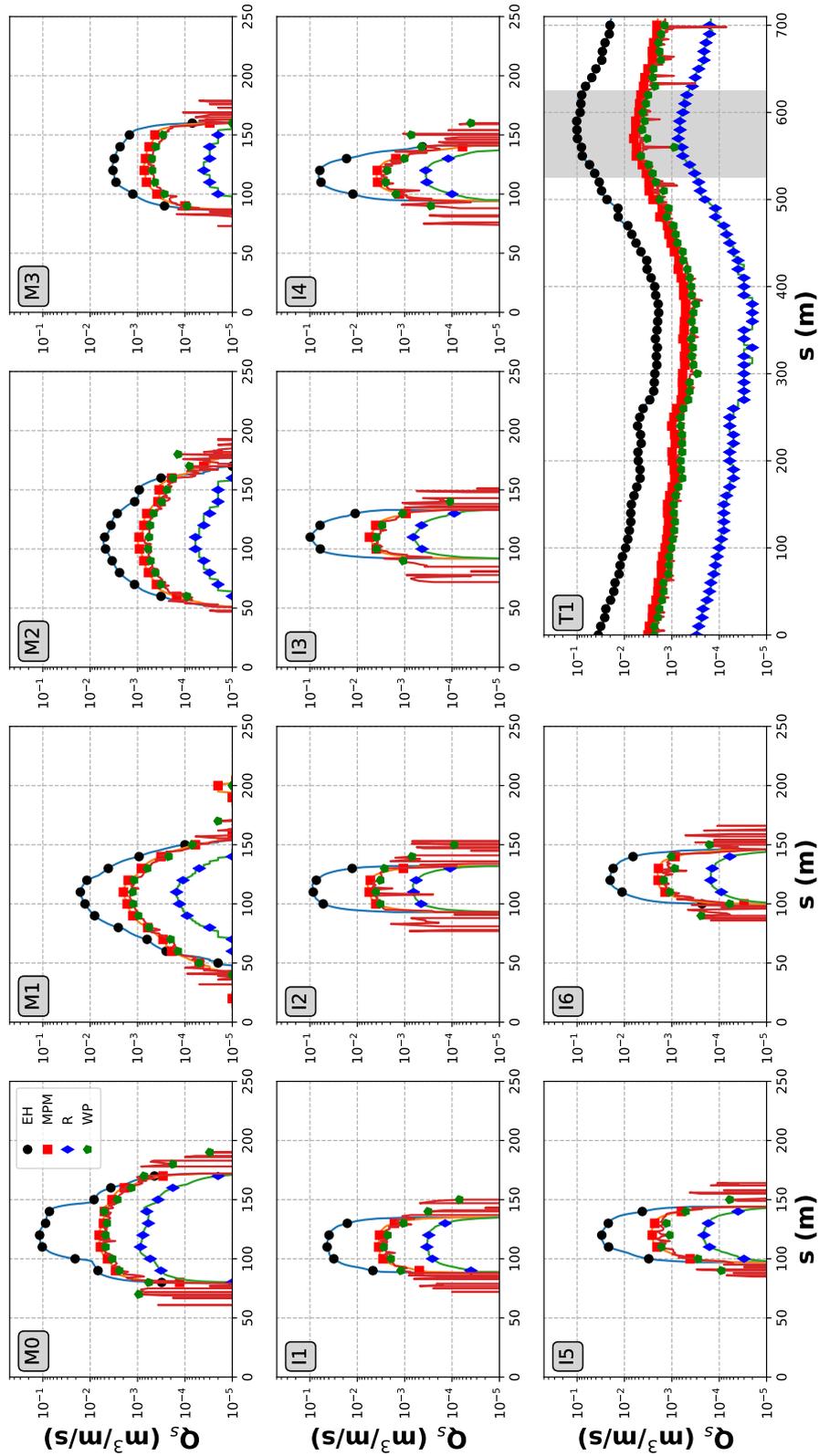
A.2

Figura A-42: Configurazione "C". Portata 600.0 m<sup>3</sup>/s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.



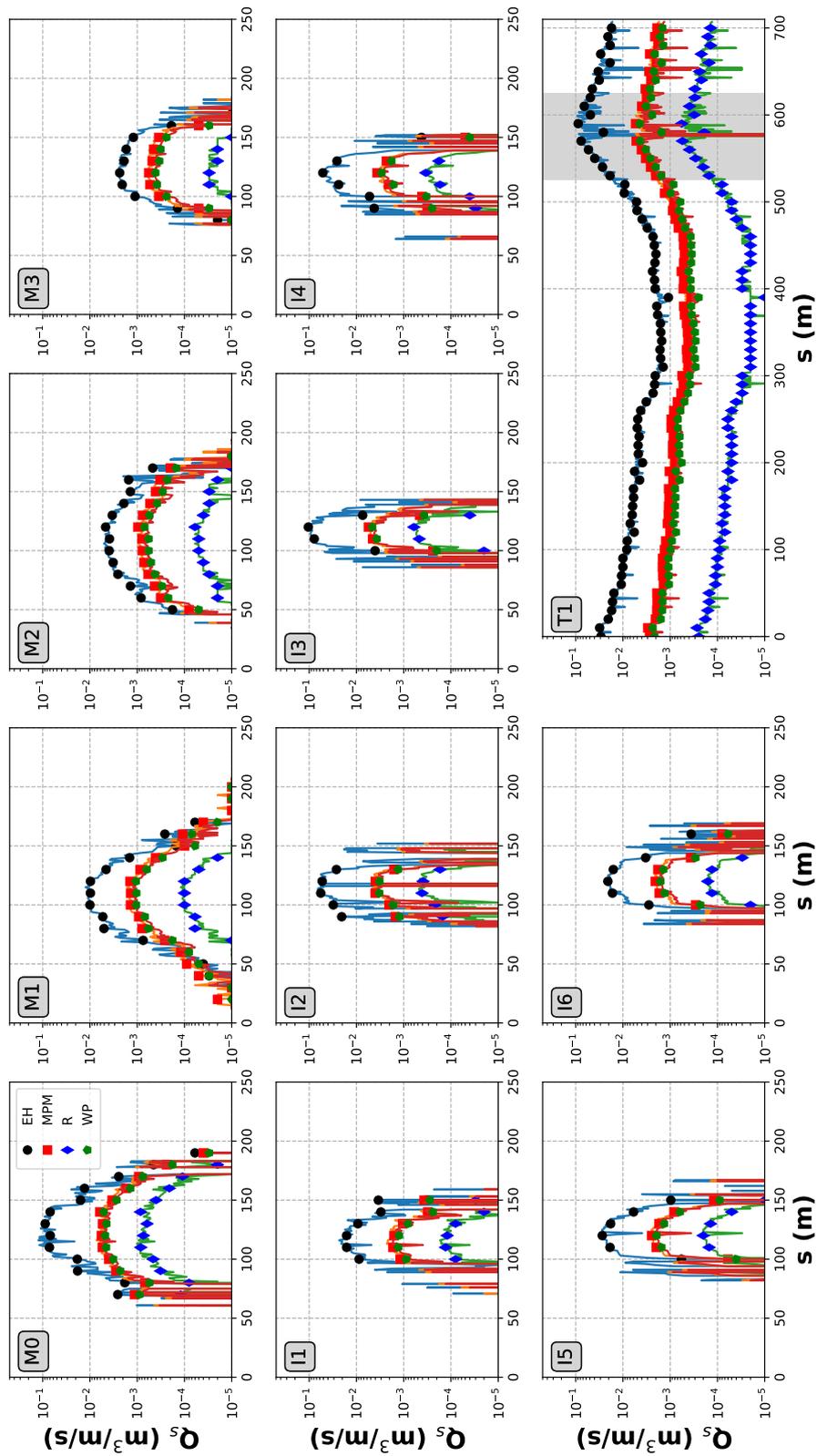
A.2

Figura A-43: Configurazione "PRP2008". Portata  $650.0 \text{ m}^3/\text{s}$ . Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.



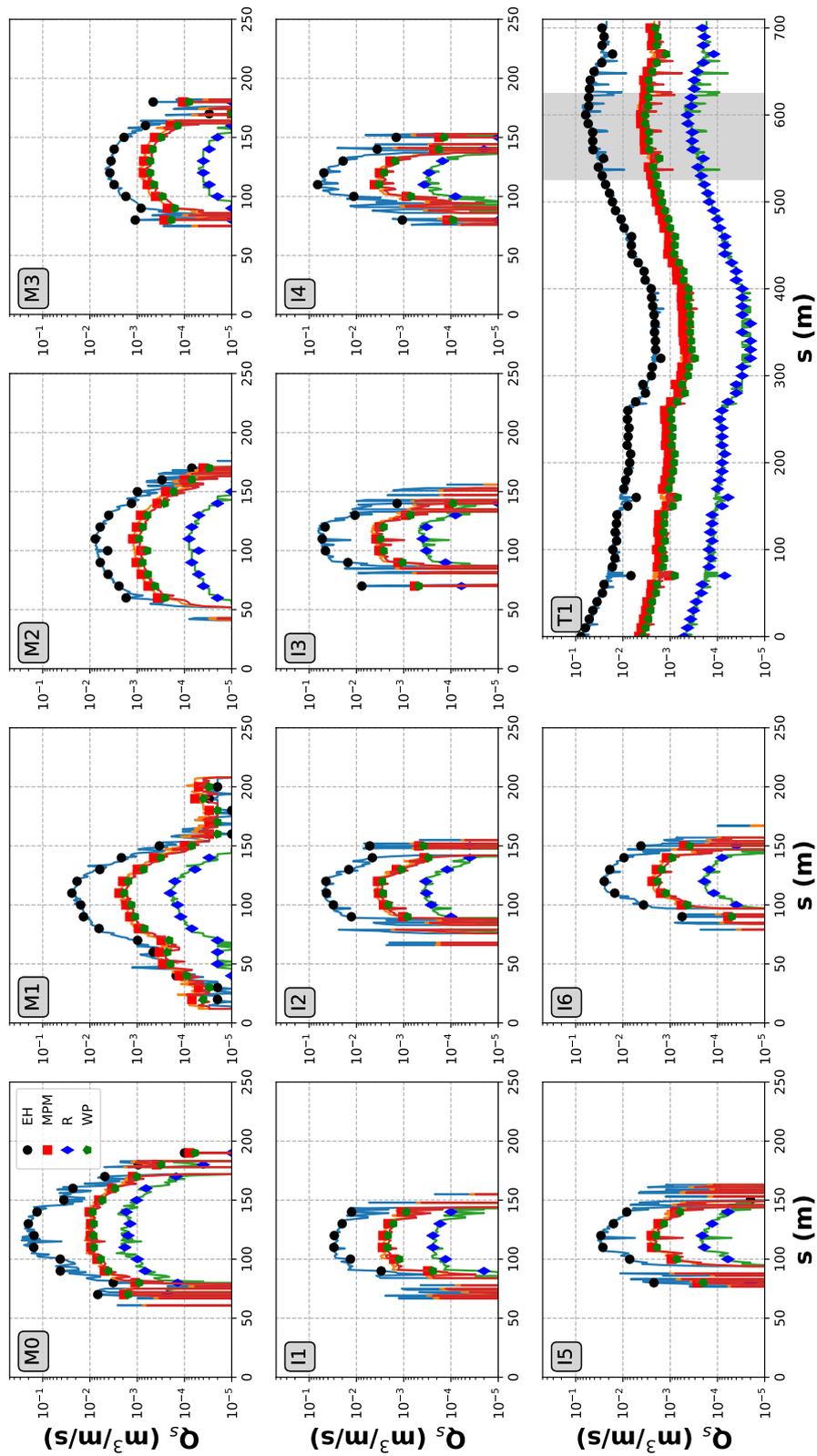
A.2

Figura A-44: Configurazione "A". Portata  $650.0 \text{ m}^3/\text{s}$ . Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.



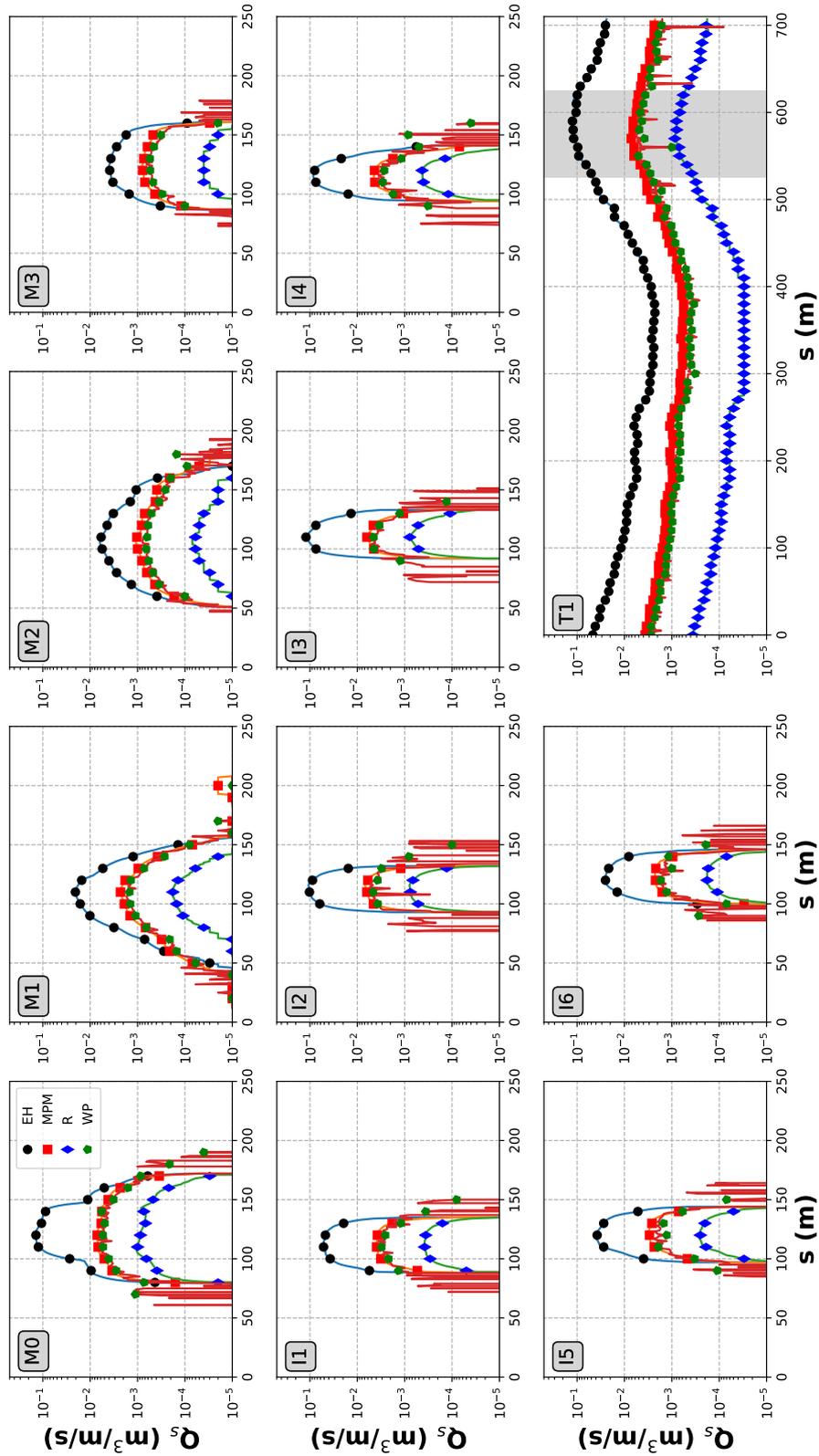
A.2

Figura A-45: Configurazione "C". Portata 650.0 m<sup>3</sup>/s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.



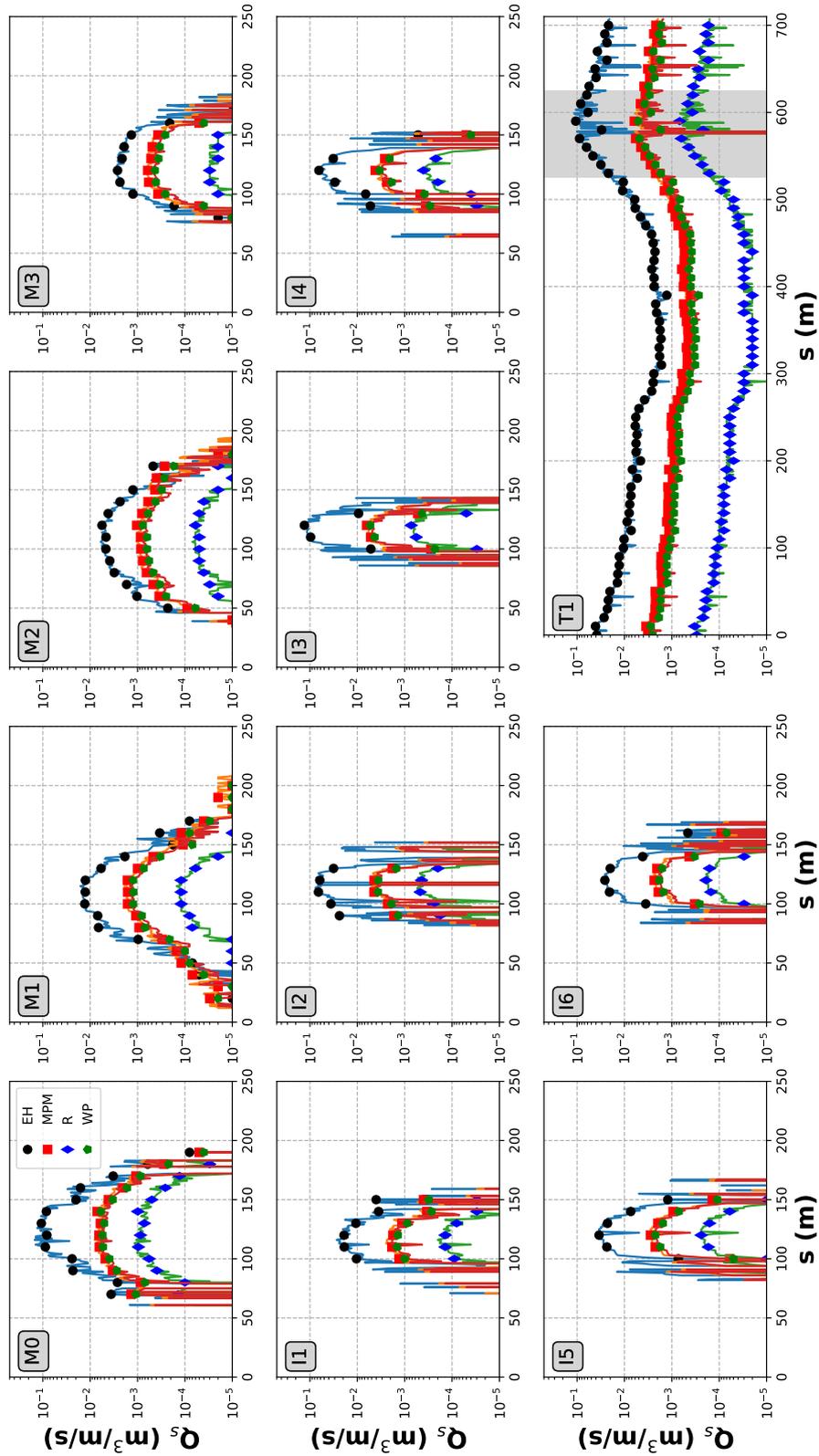
A.2

Figura A-46: Configurazione "PRP2008". Portata  $700.0 \text{ m}^3/\text{s}$ . Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.



A.2

Figura A-47: Configurazione "A". Portata 700.0 m<sup>3</sup>/s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.



A.2

Figura A-48: Configurazione "C". Portata  $700.0 m^3/s$ . Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.

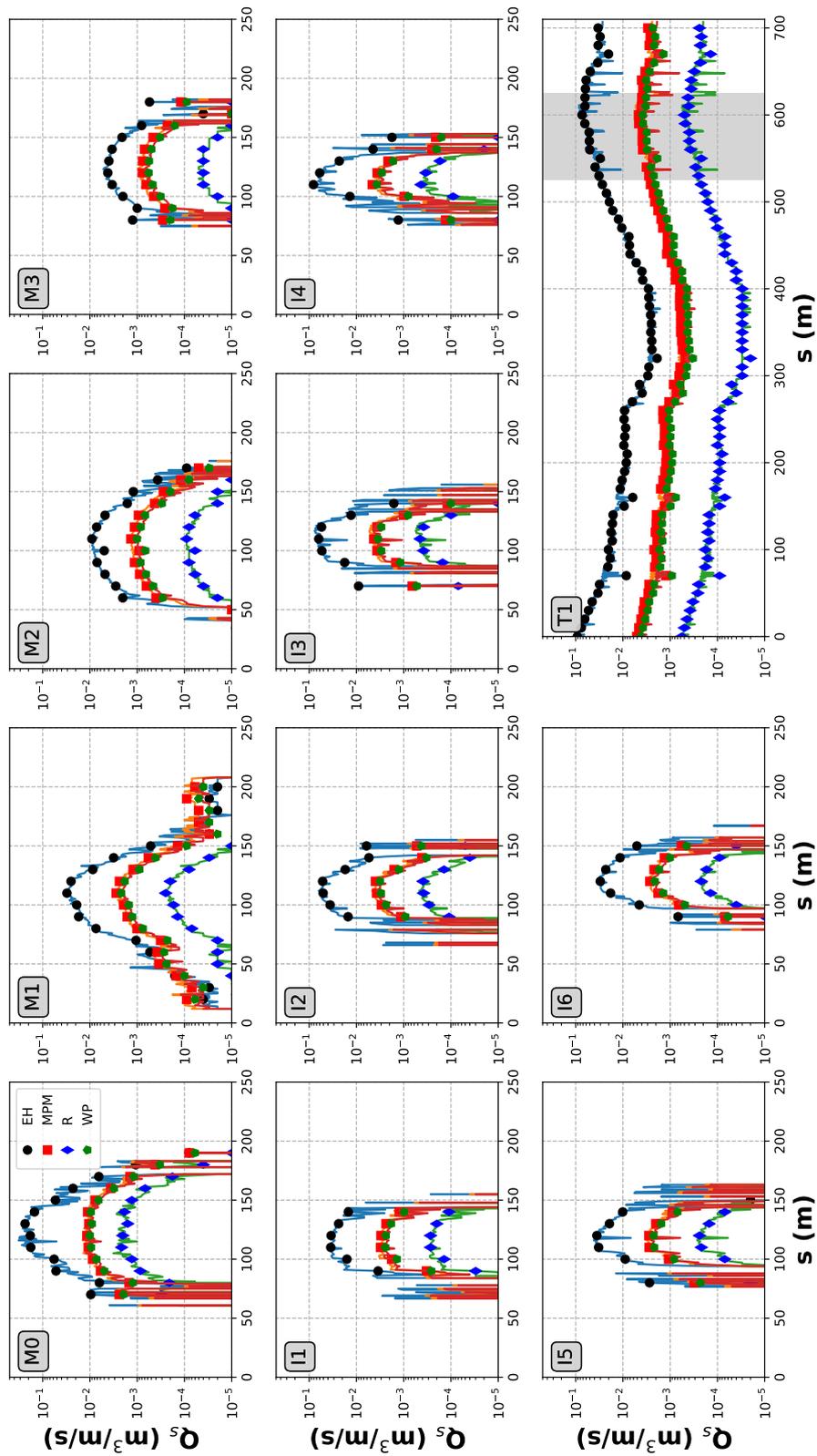
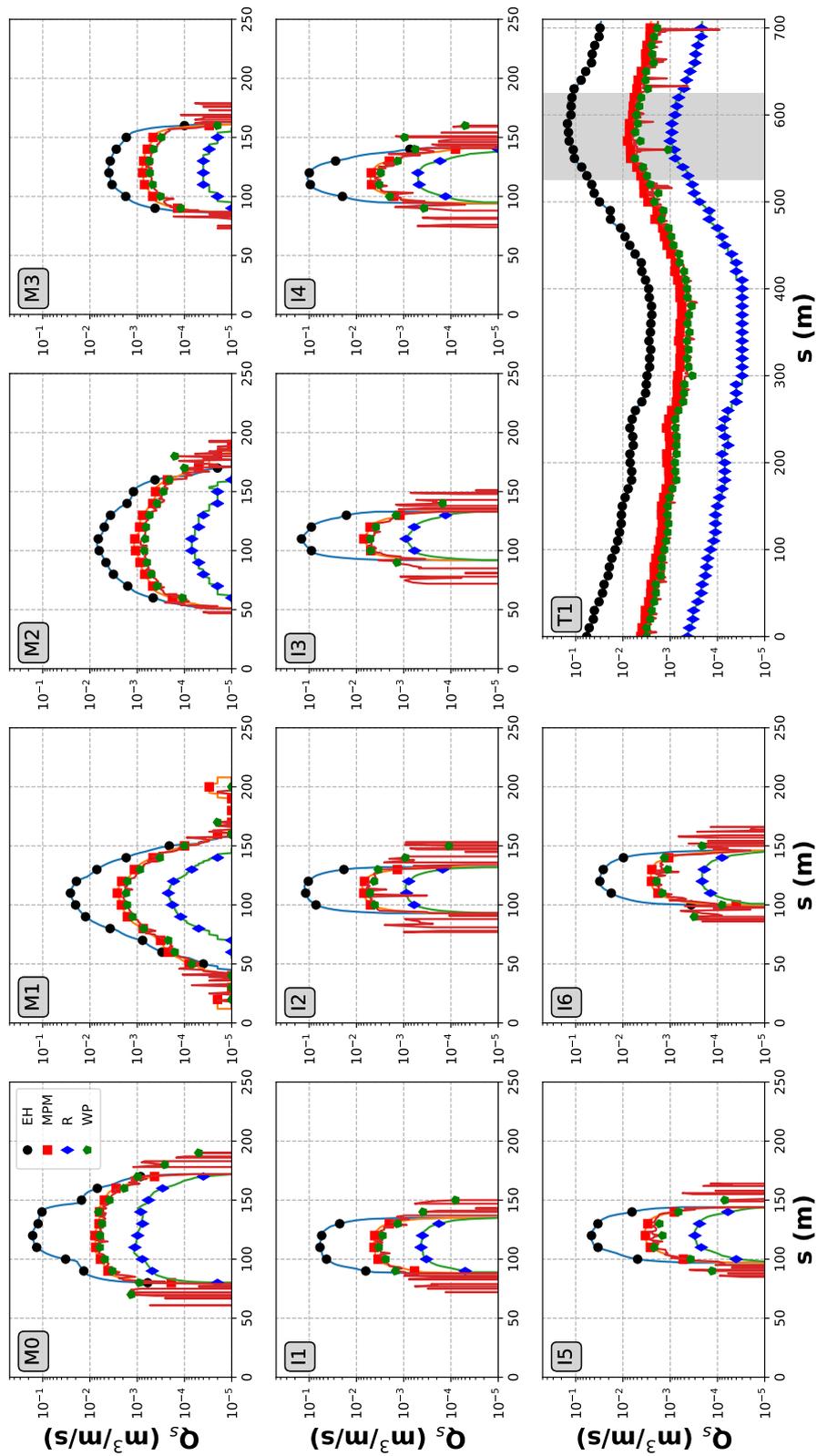
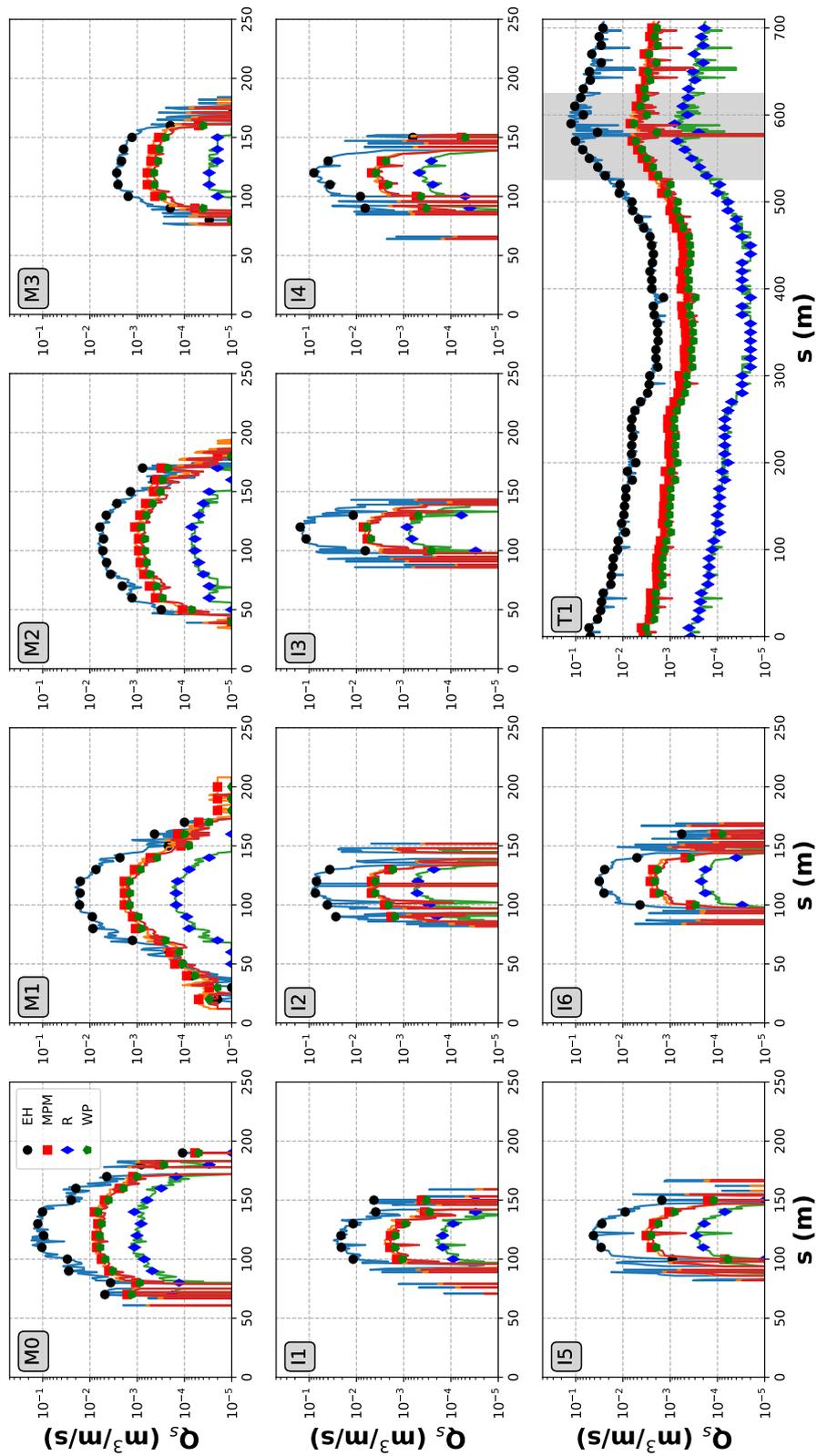


Figura A-49: Configurazione "PRP2008". Portata  $750.0 \text{ m}^3/\text{s}$ . Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.



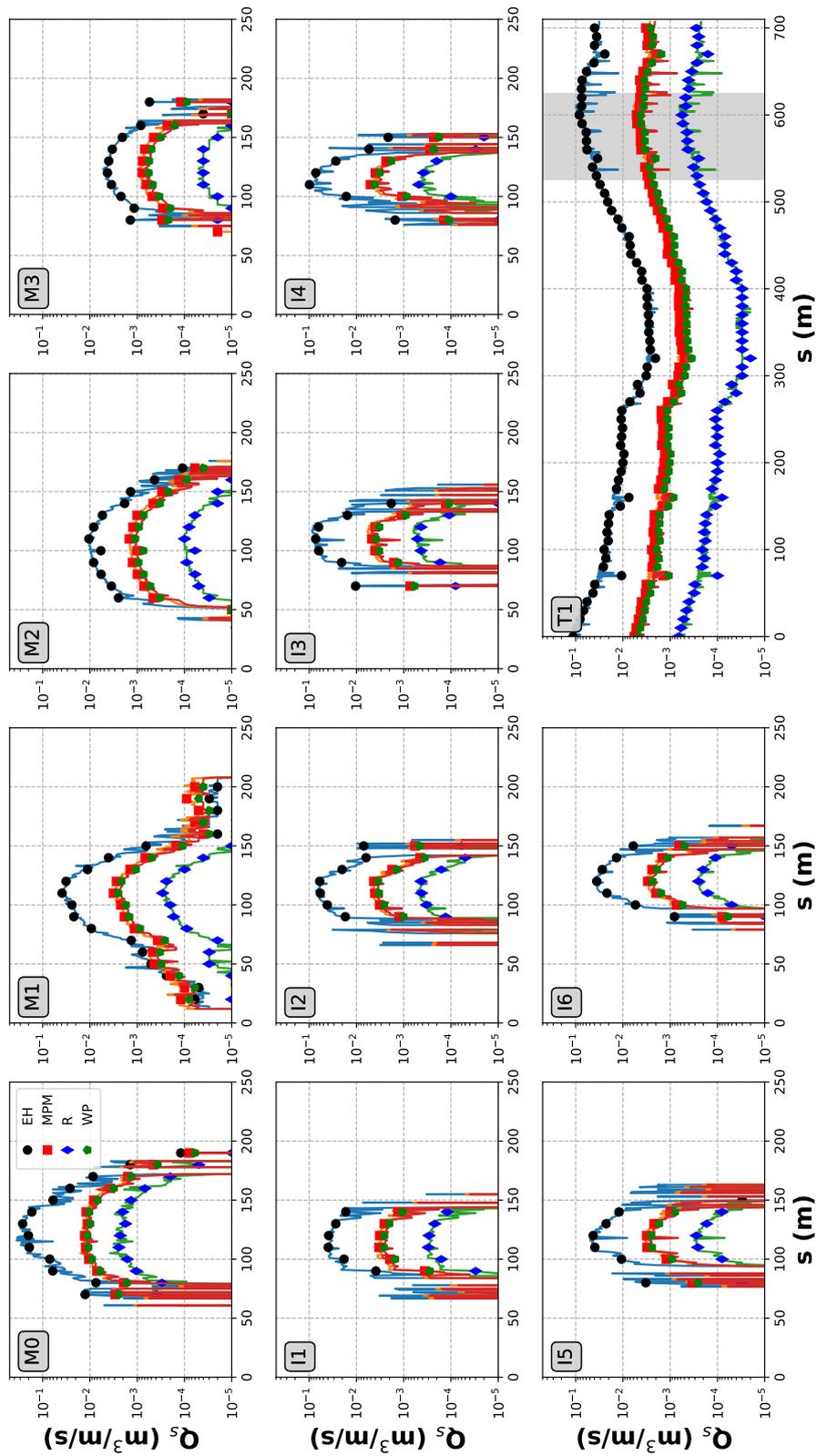
A.2

Figura A-50: Configurazione "A". Portata 750.0 m<sup>3</sup>/s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.



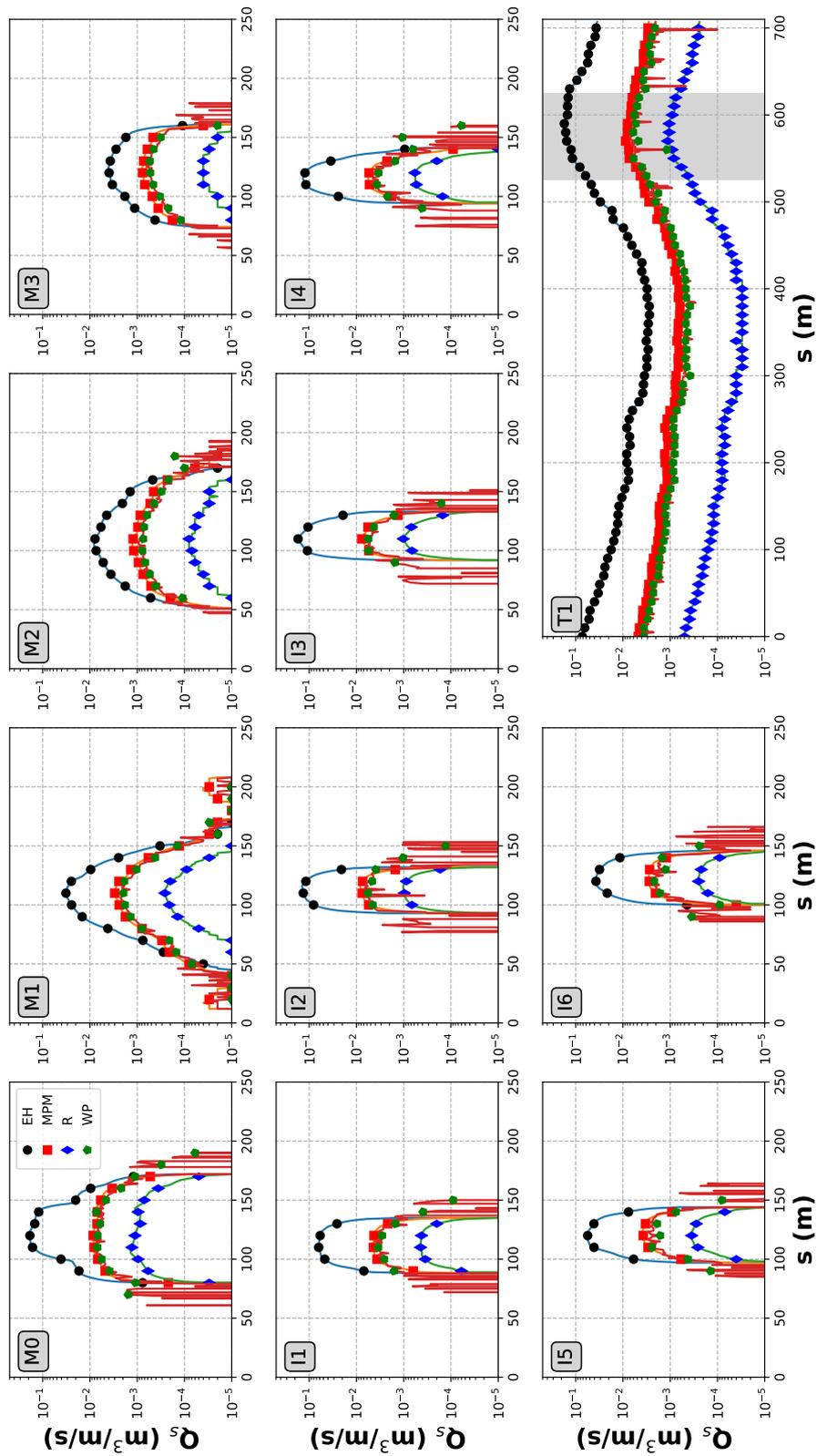
A.2

Figura A-51: Configurazione "C". Portata  $750.0 \text{ m}^3/\text{s}$ . Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.



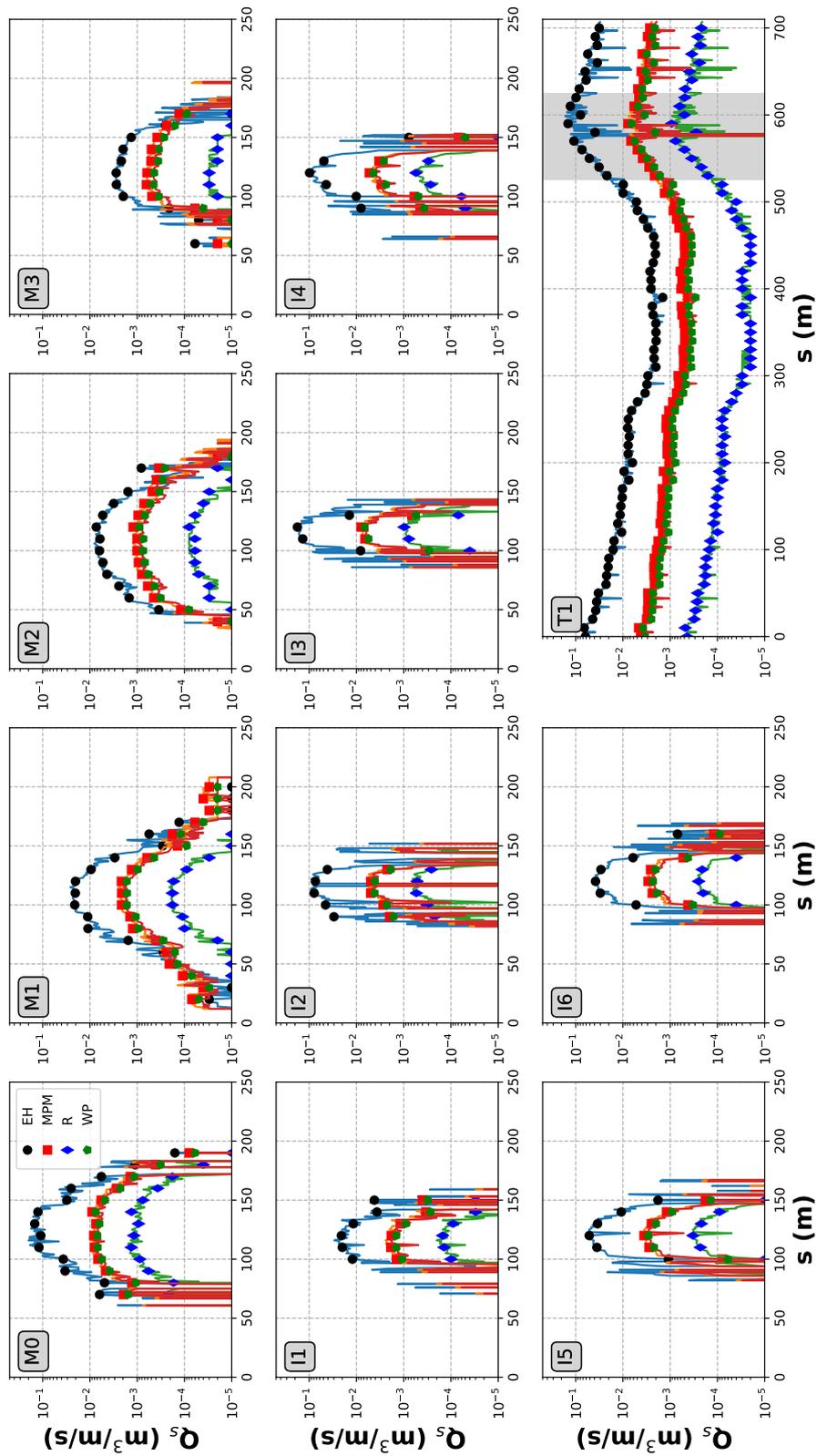
A.2

Figura A-52: Configurazione "PRP2008". Portata 800.0 m<sup>3</sup>/s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.



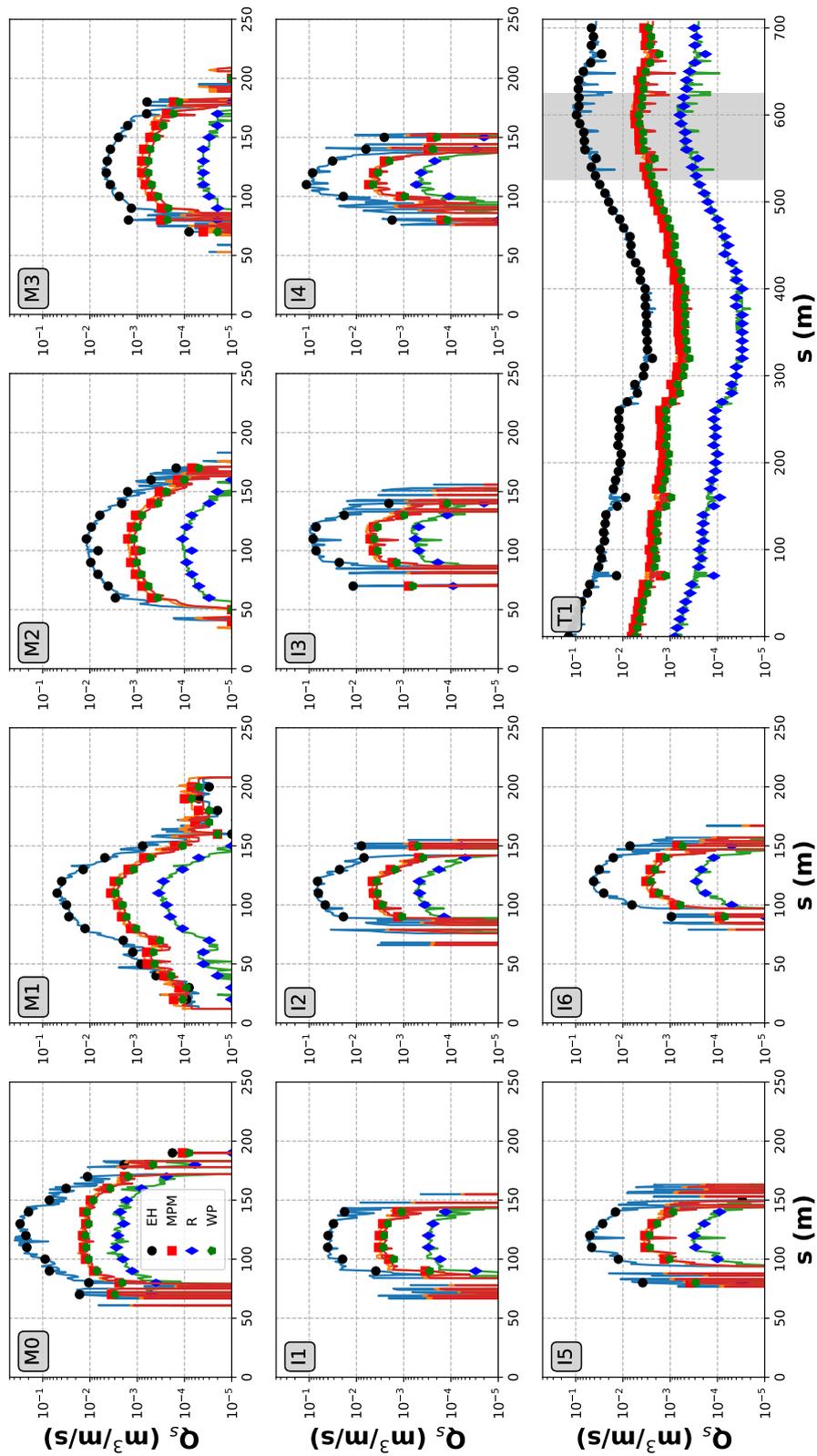
A.2

Figura A-53: Configurazione "A". Portata 800.0 m<sup>3</sup>/s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.



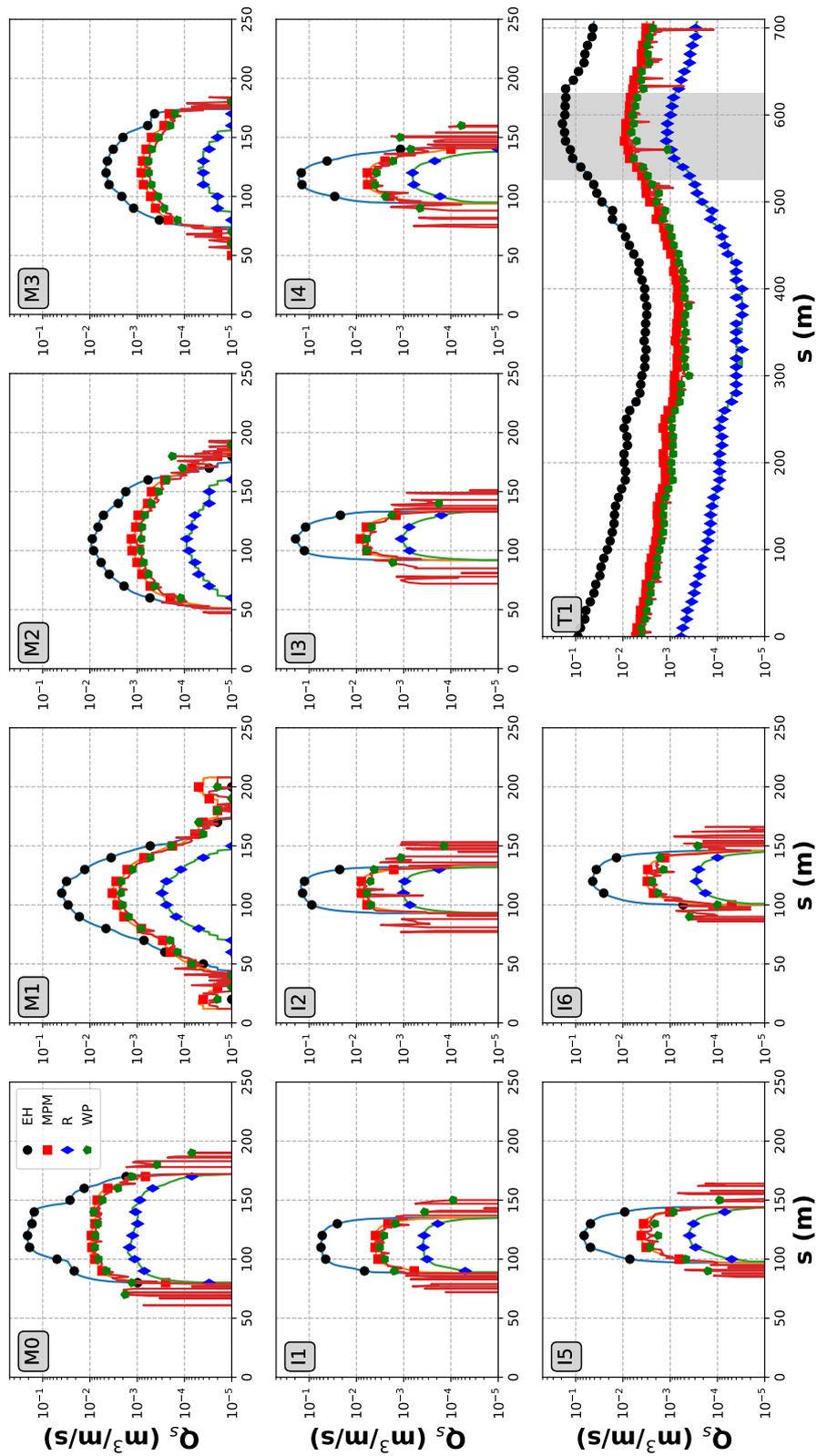
A.2

Figura A-54: Configurazione "C". Portata 800.0 m<sup>3</sup>/s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.



A.2

Figura A-55: Configurazione "PRP2008". Portata 850.0 m<sup>3</sup>/s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.



A.2

Figura A-56: Configurazione "A". Portata 850.0 m<sup>3</sup>/s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.

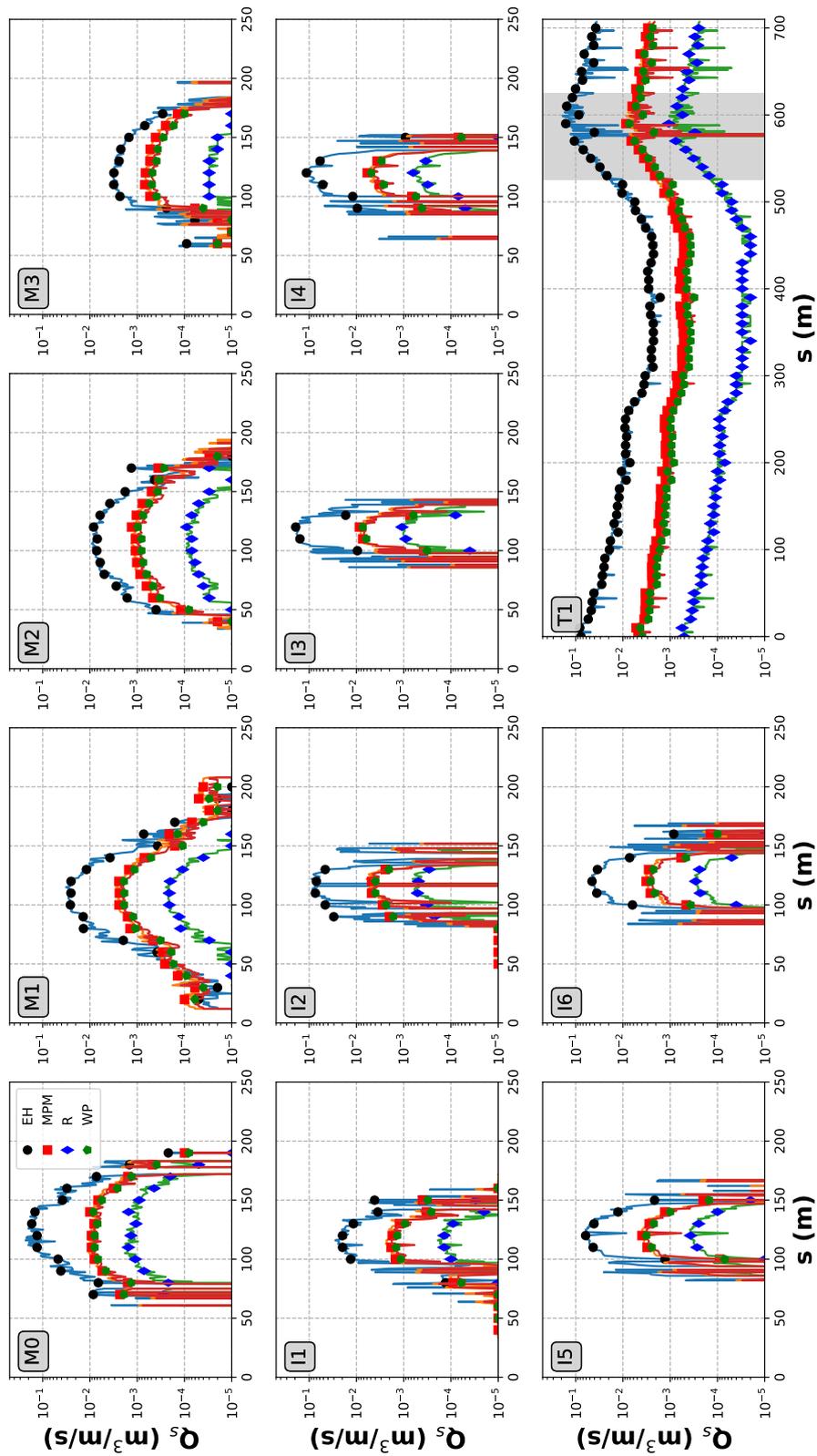


Figura A-57: Configurazione "C". Portata 850.0 m<sup>3</sup>/s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.

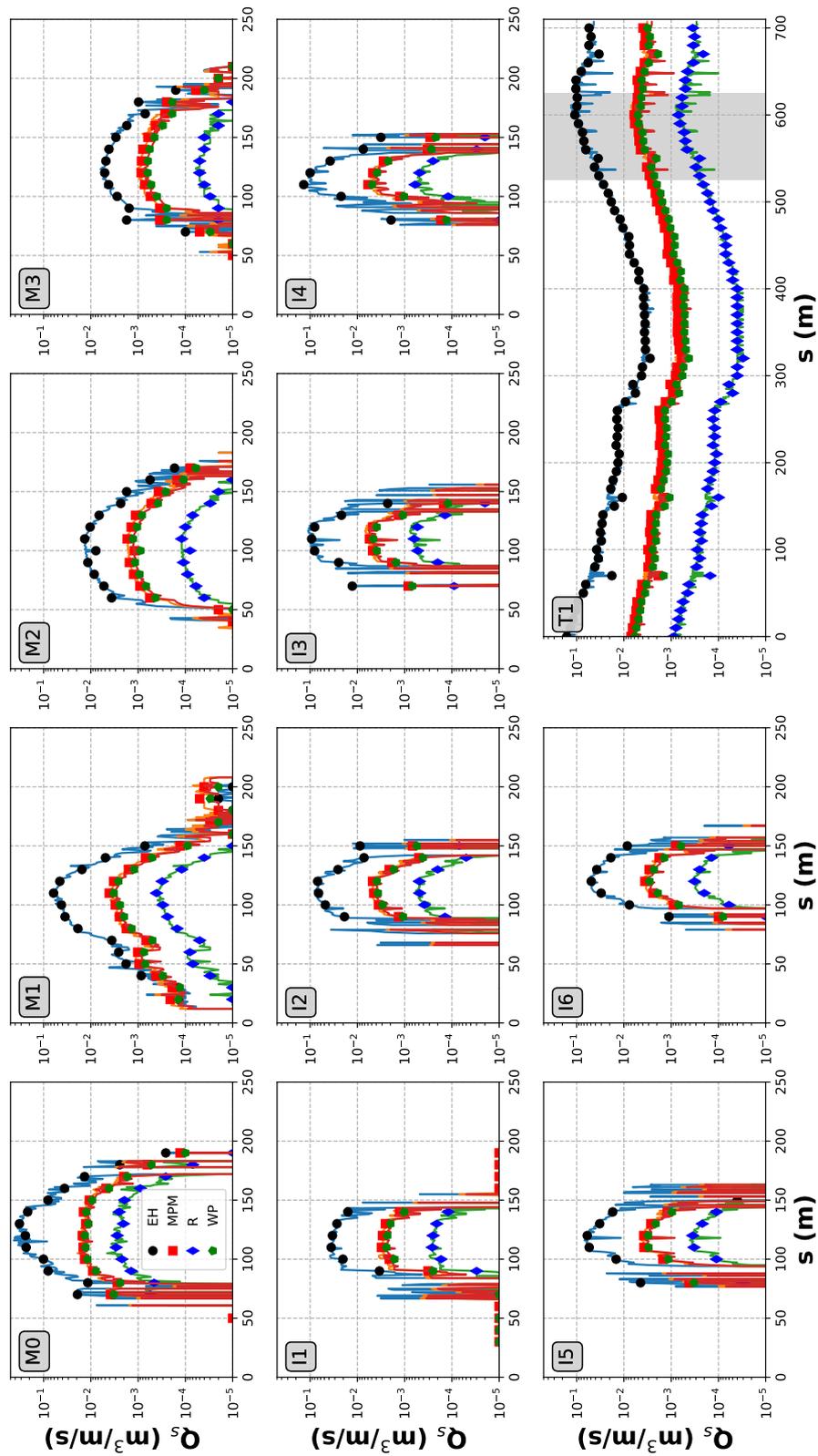
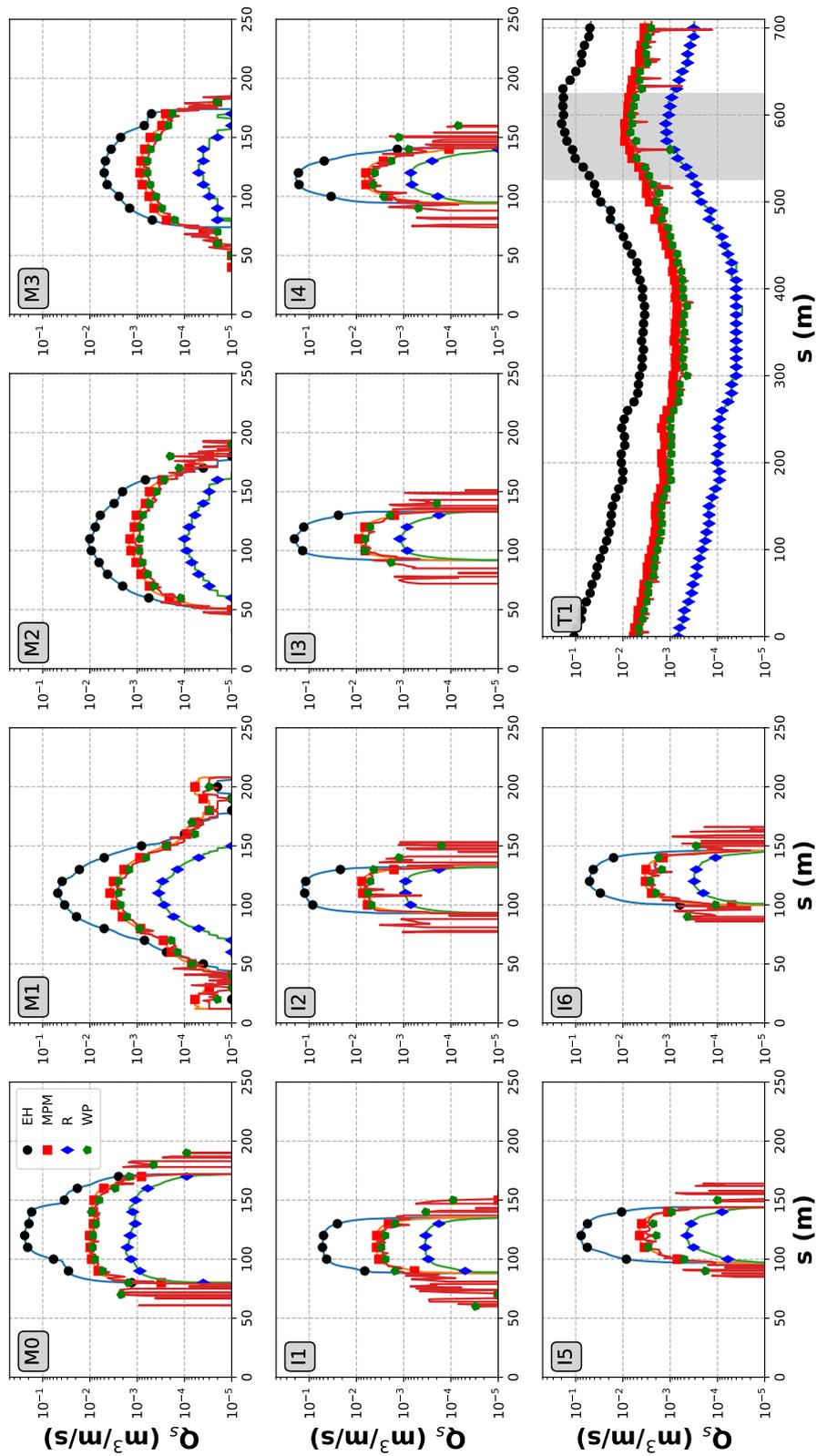


Figura A-58: Configurazione "PRP2008". Portata  $900.0 m^3/s$ . Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.



A.2

Figura A-59: Configurazione "A". Portata 900.0 m<sup>3</sup>/s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.

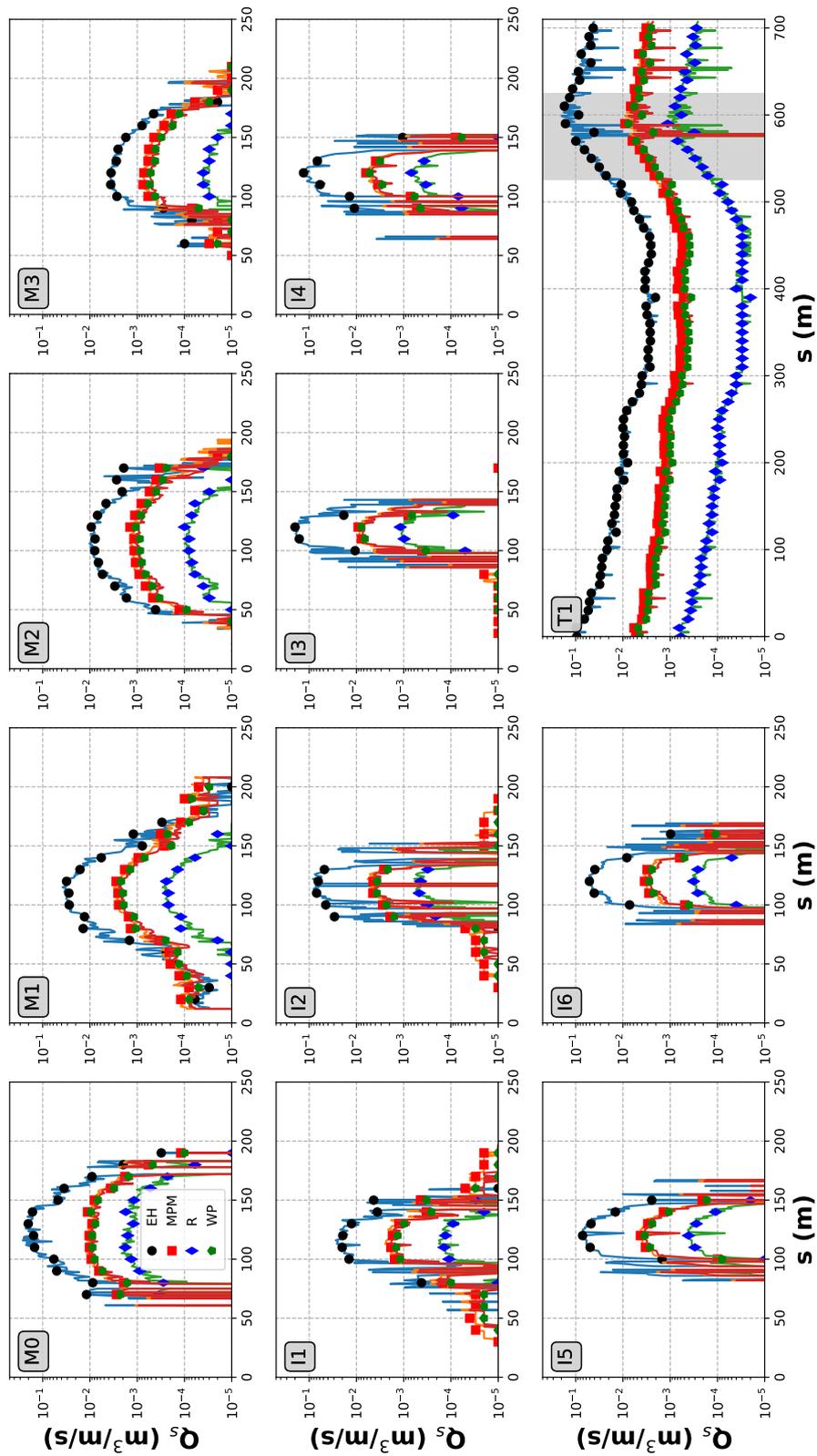


Figura A-60: Configurazione "C". Portata  $900.0 m^3/s$ . Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.

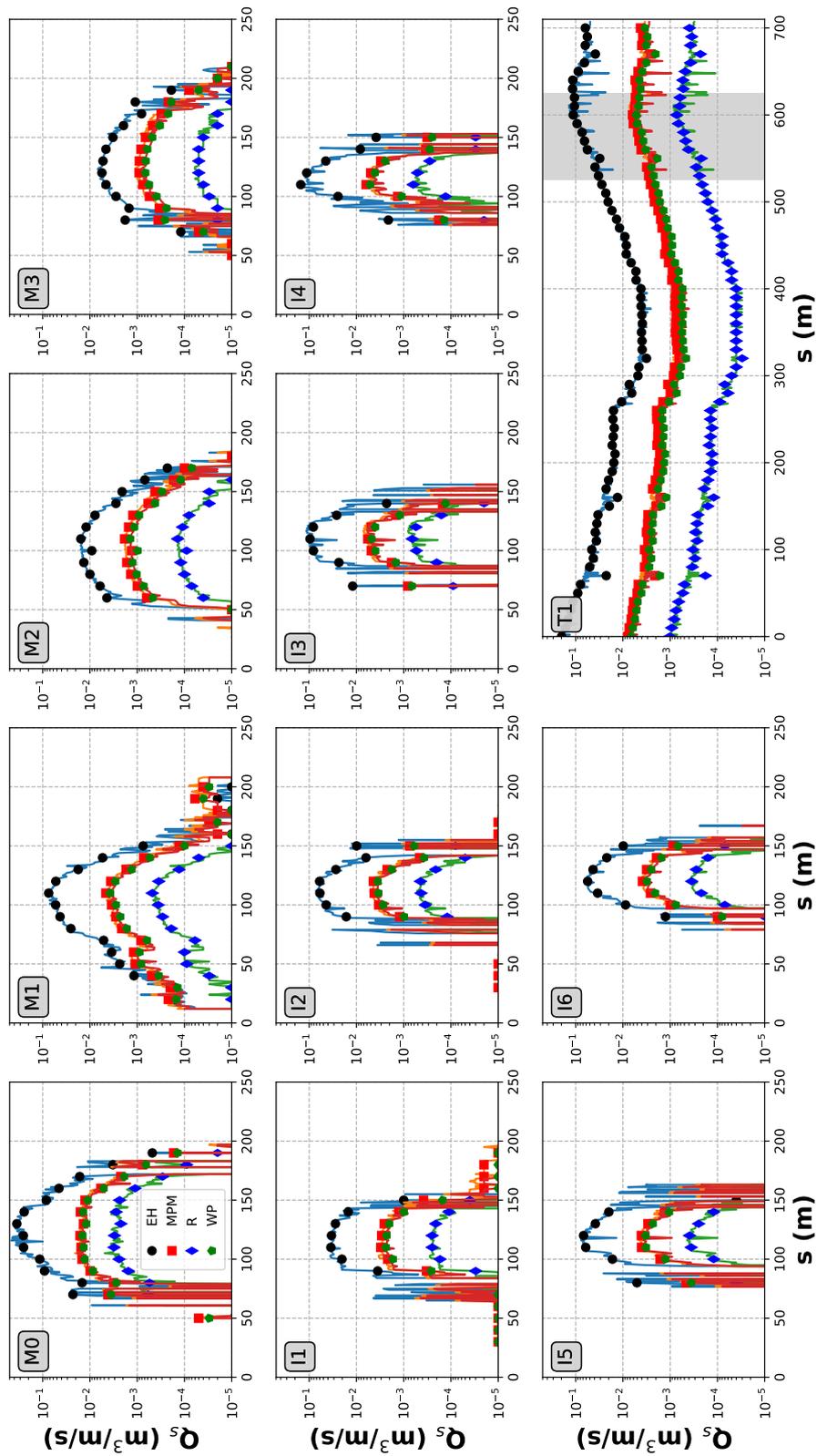
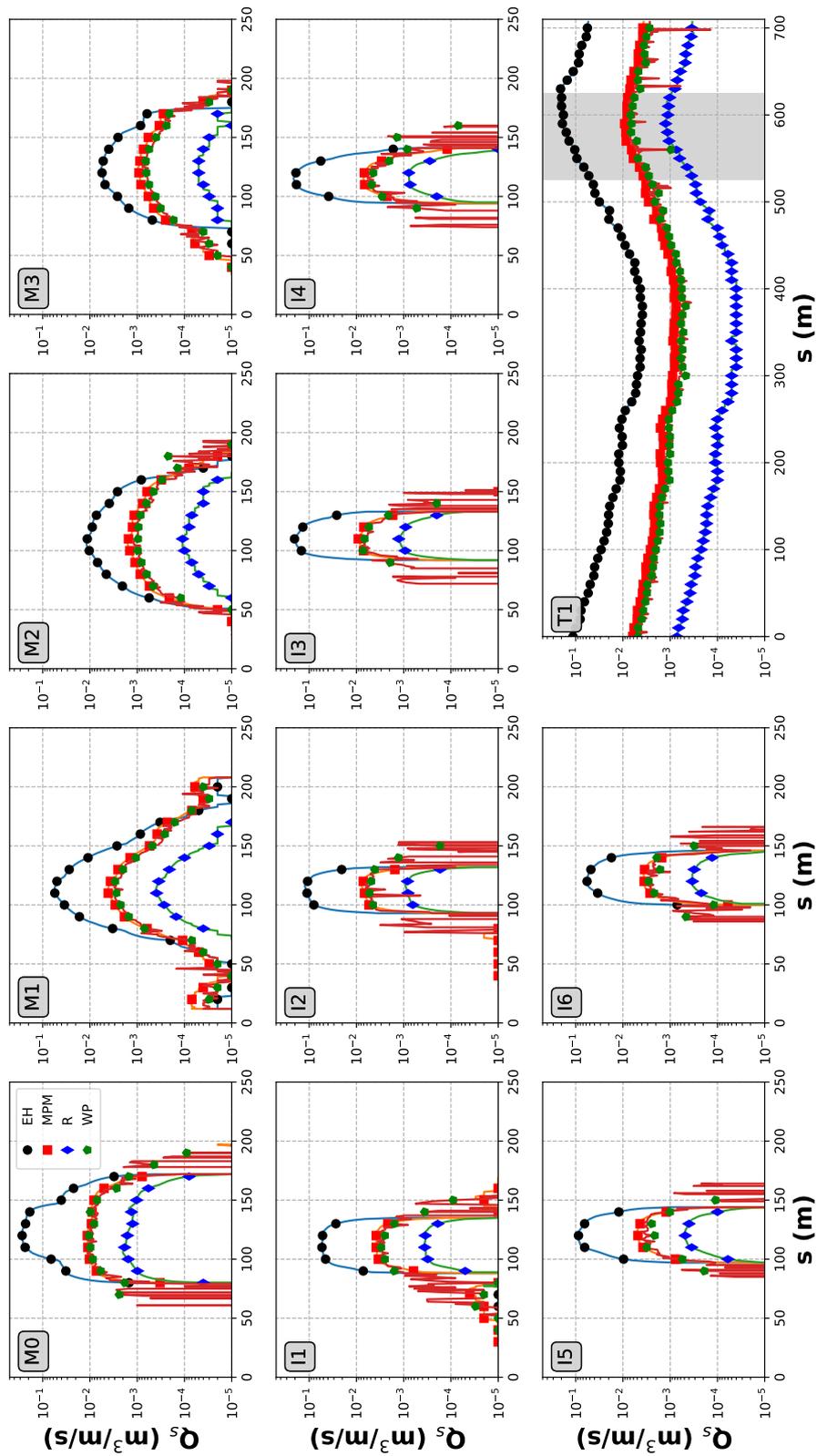
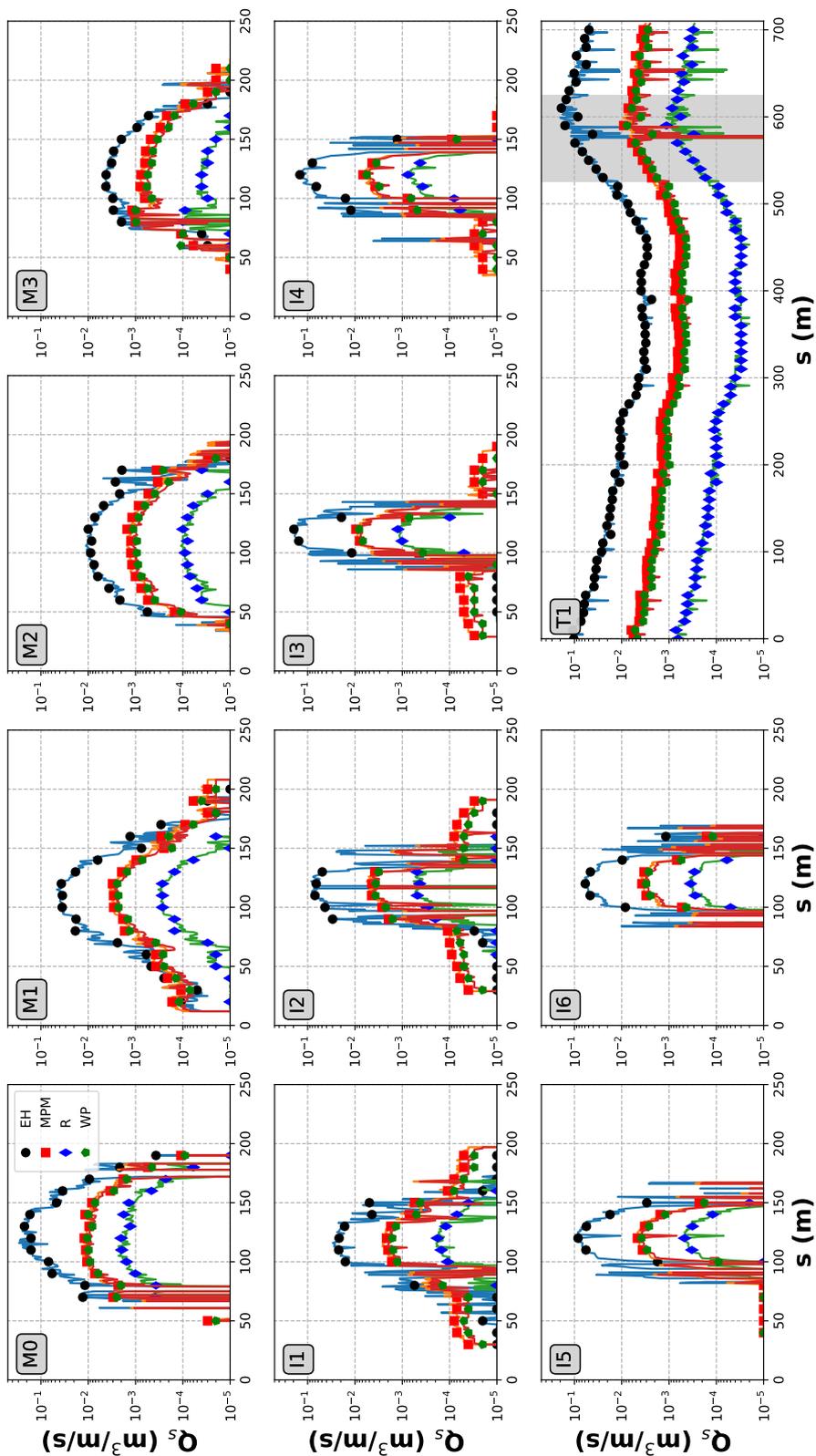


Figura A-61: Configurazione "PRP2008". Portata  $950.0 \text{ m}^3/\text{s}$ . Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.



A.2

Figura A-62: Configurazione "A". Portata 950.0 m<sup>3</sup>/s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.



A.2

Figura A-63: Configurazione "C". Portata 950.0  $m^3/s$ . Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.

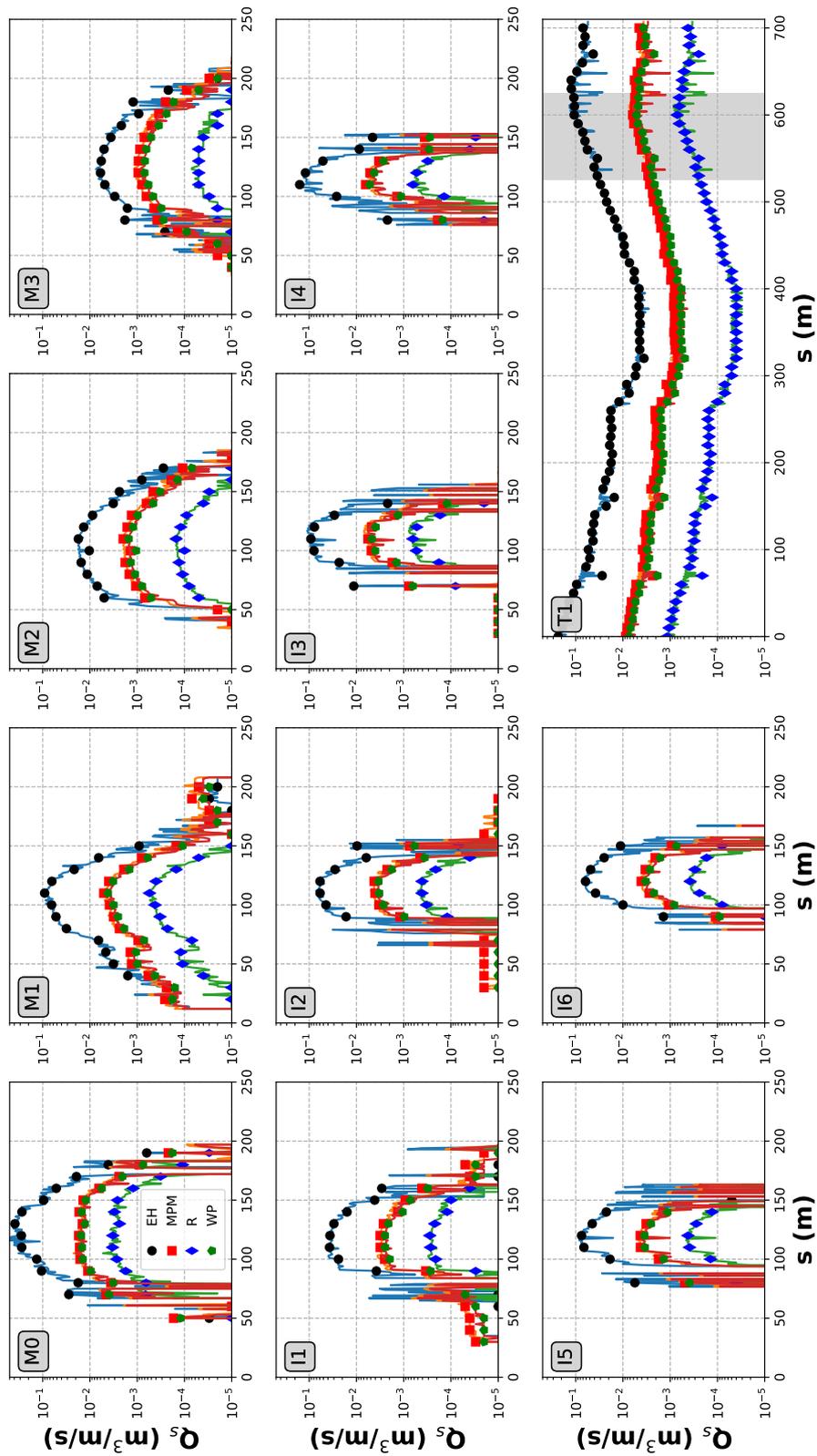
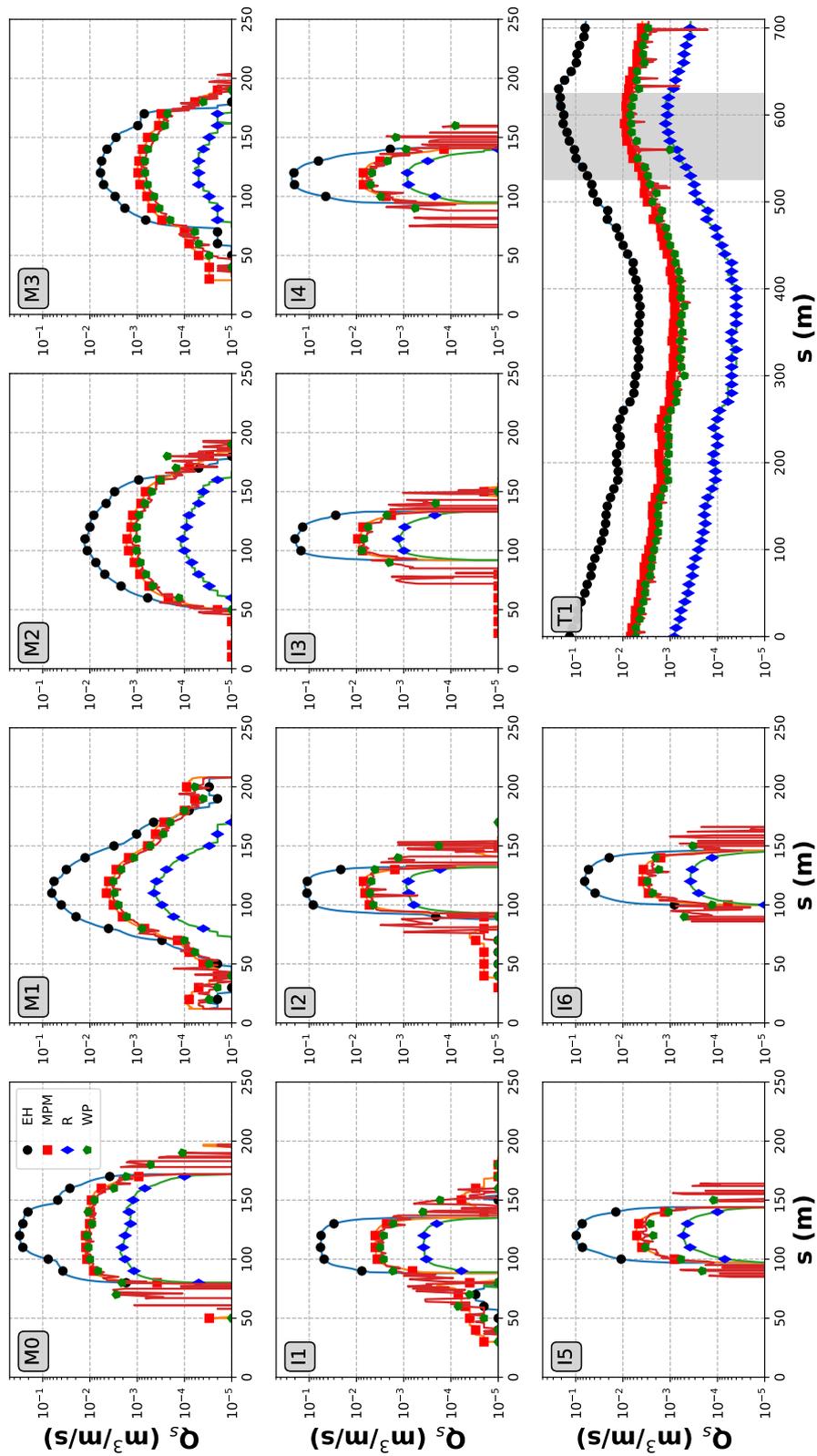


Figura A-64: Configurazione "PRP2008". Portata  $1000.0 m^3/s$ . Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.



A.2

Figura A-65: Configurazione "A". Portata 1000.0 m<sup>3</sup>/s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.

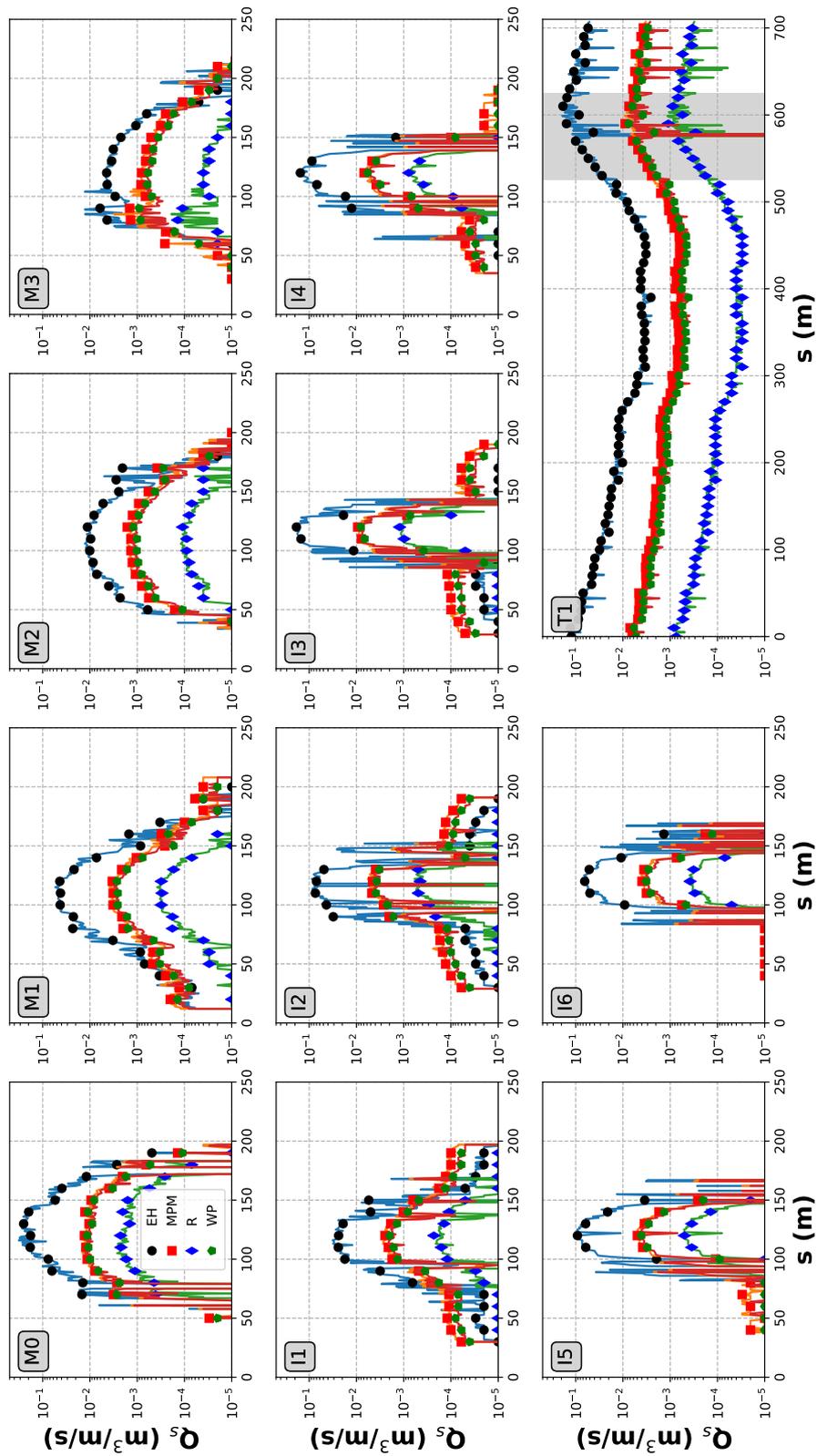


Figura A-66: Configurazione "C". Portata  $1000.0 \text{ m}^3/\text{s}$ . Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.

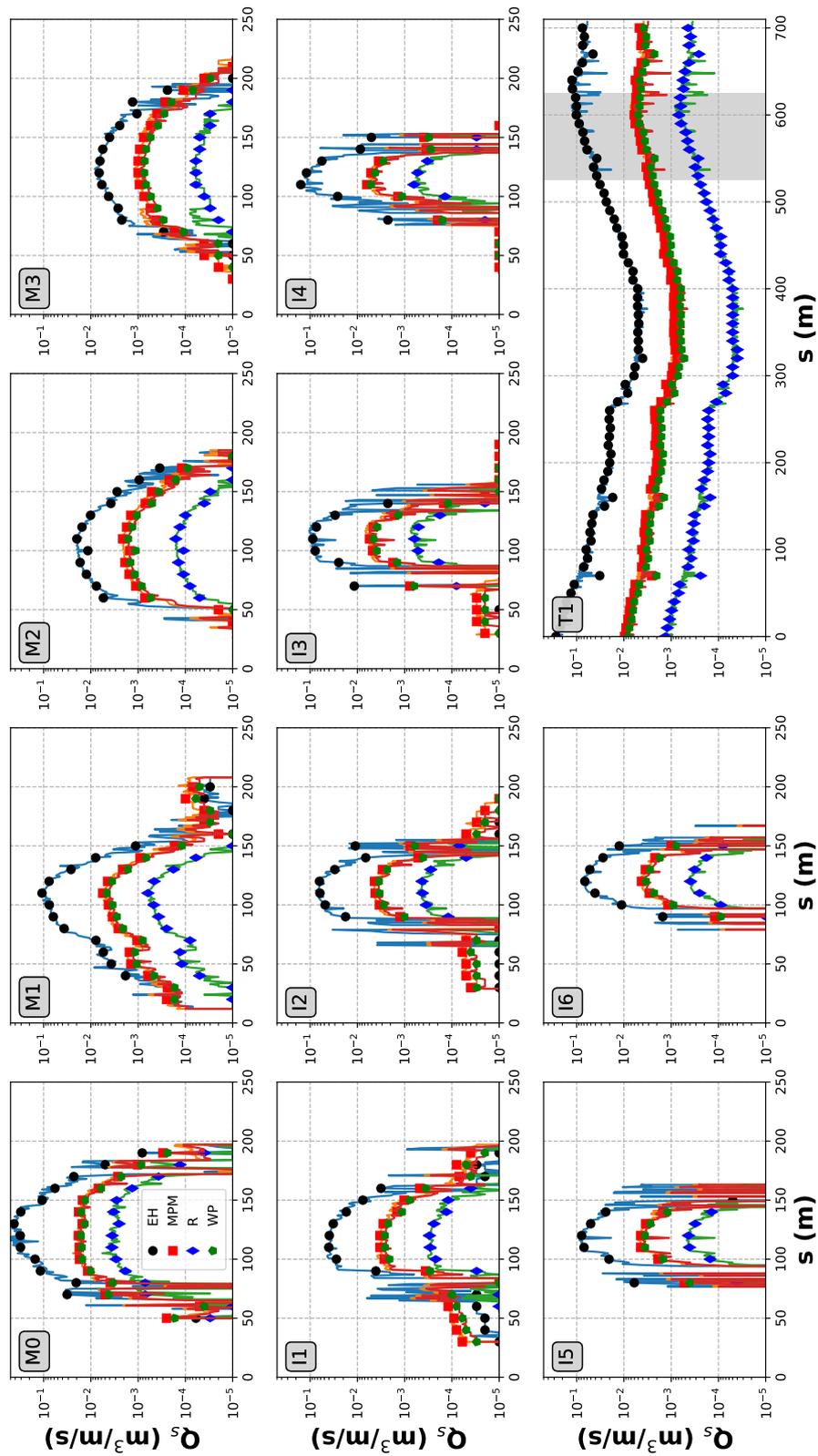


Figura A-67: Configurazione "PRP2008". Portata  $1050.0 \text{ m}^3/\text{s}$ . Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.

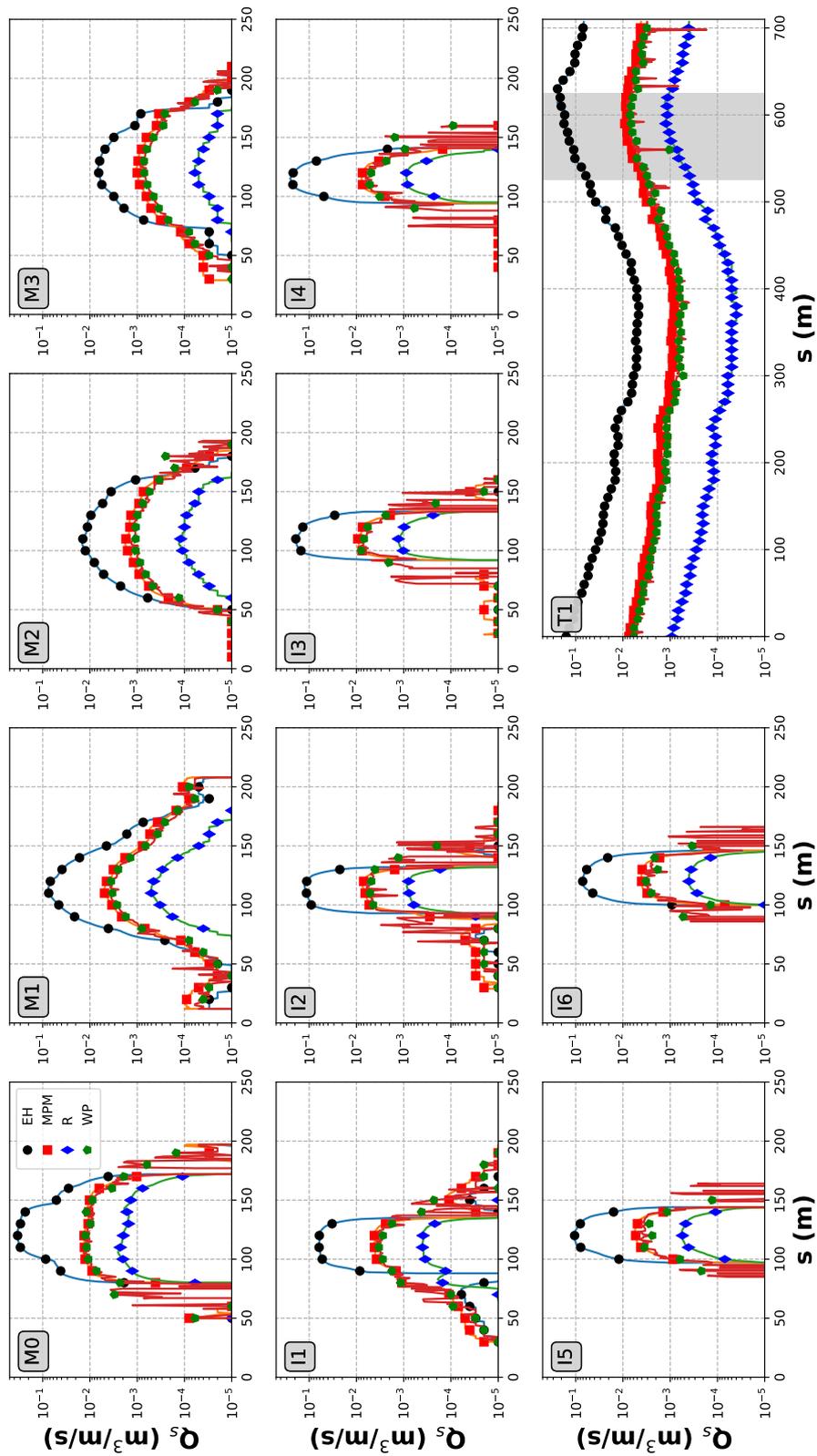


Figura A-68: Configurazione "A". Portata  $1050.0 \text{ m}^3/\text{s}$ . Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.

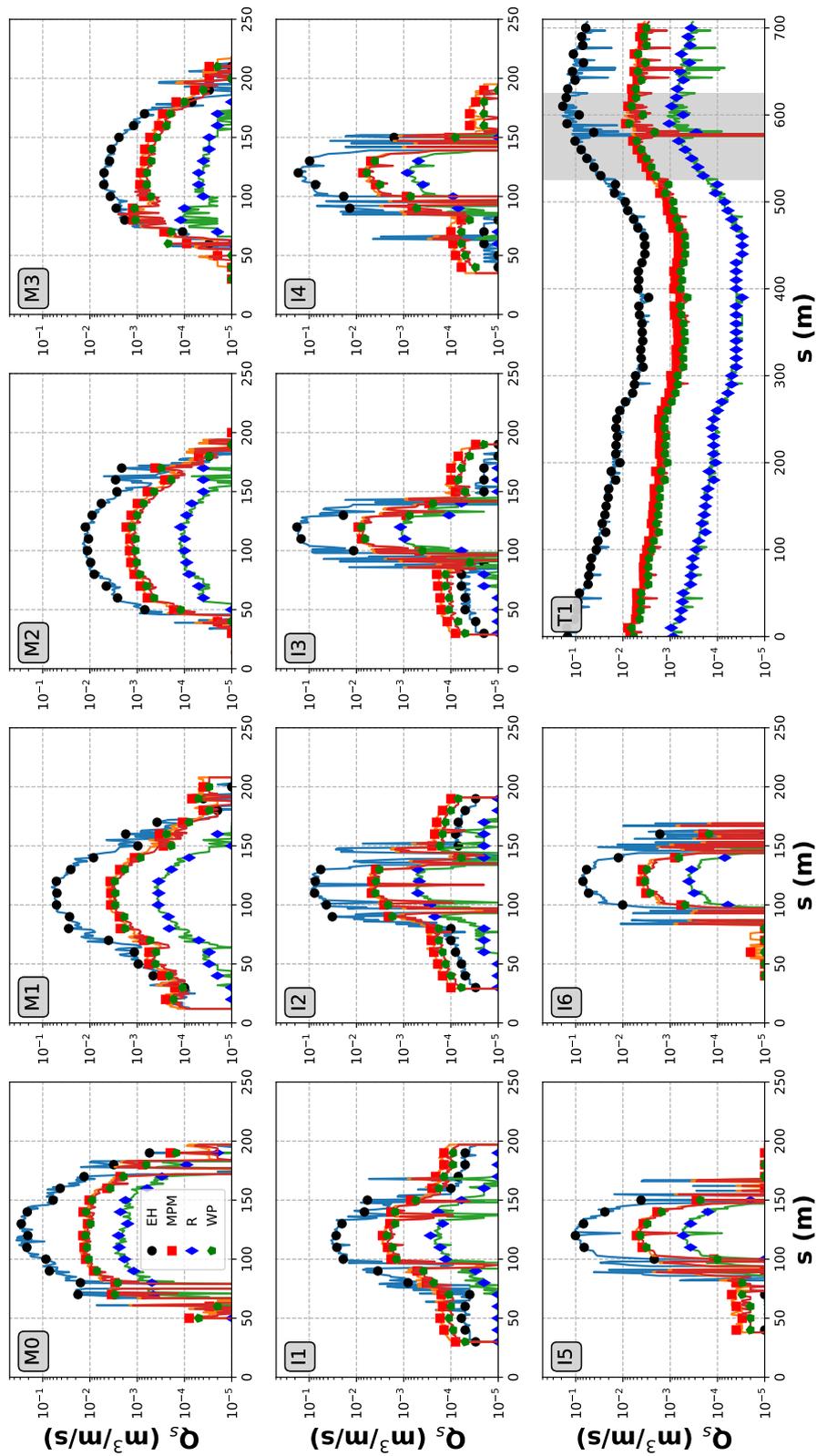
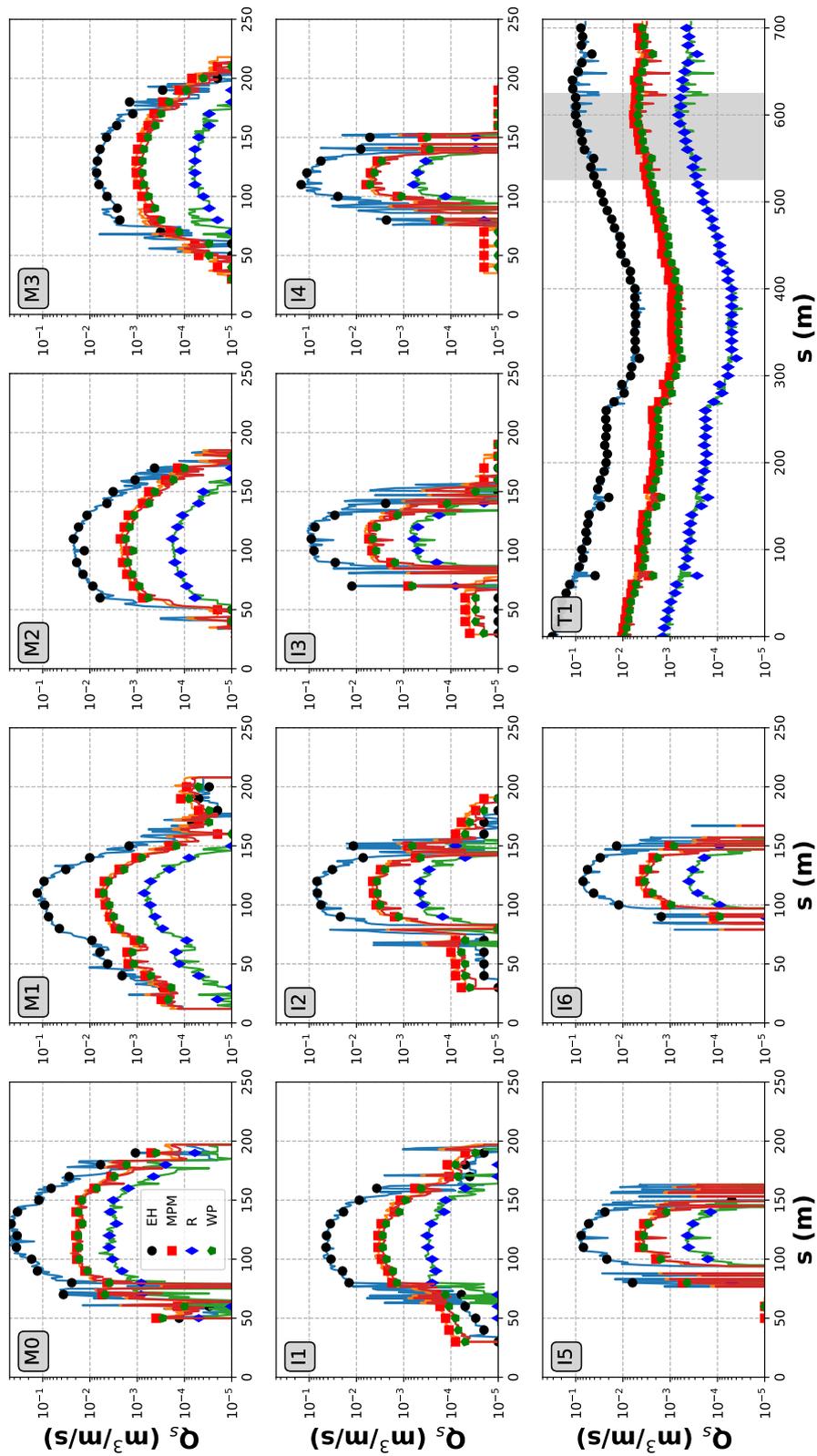
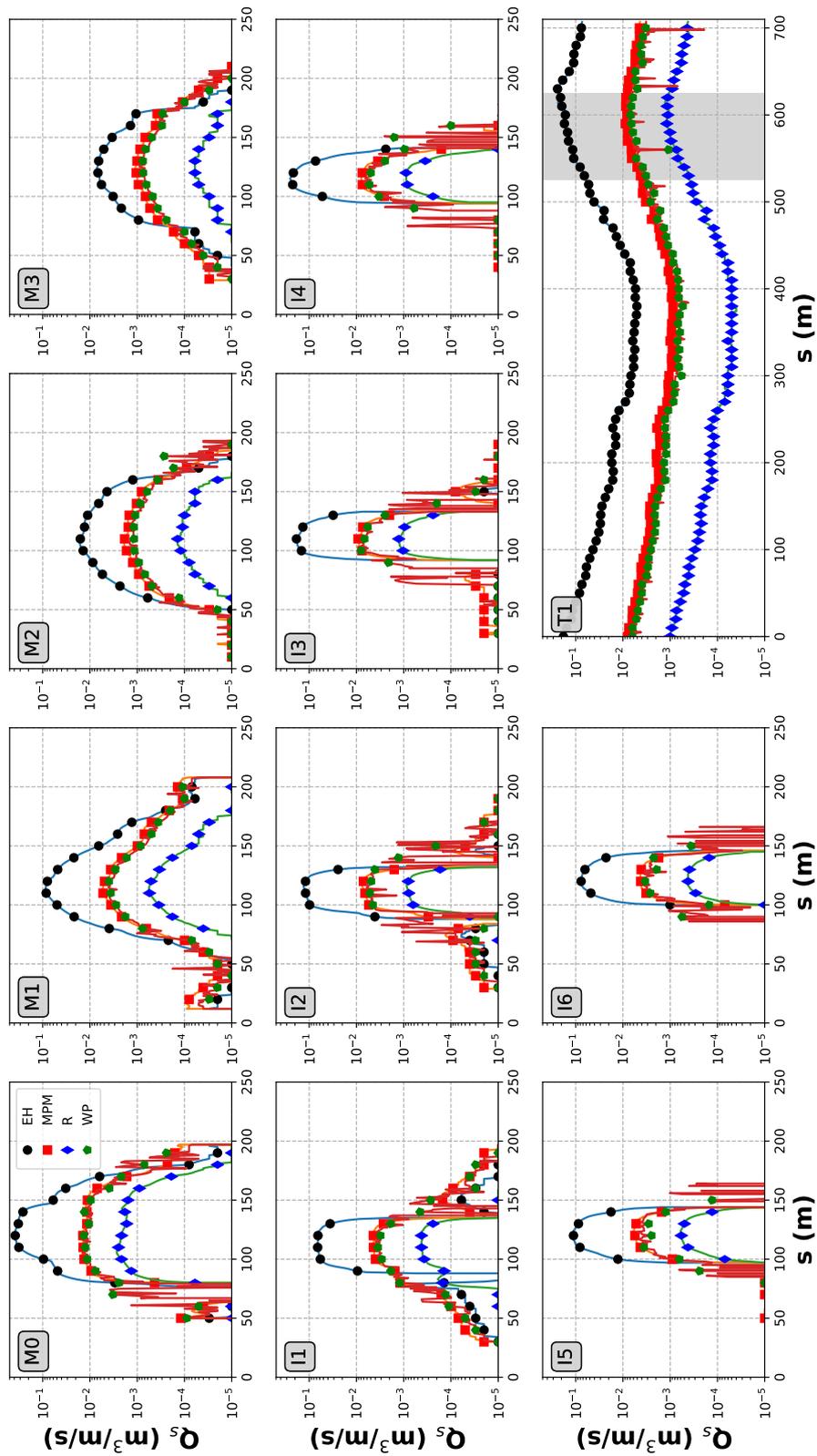


Figura A-69: Configurazione "C". Portata  $1050.0 m^3/s$ . Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.



A.2

Figura A-70: Configurazione "PRP2008". Portata 1100.0 m<sup>3</sup>/s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.



A.2

Figura A-71: Configurazione "A". Portata 1100.0 m<sup>3</sup>/s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.

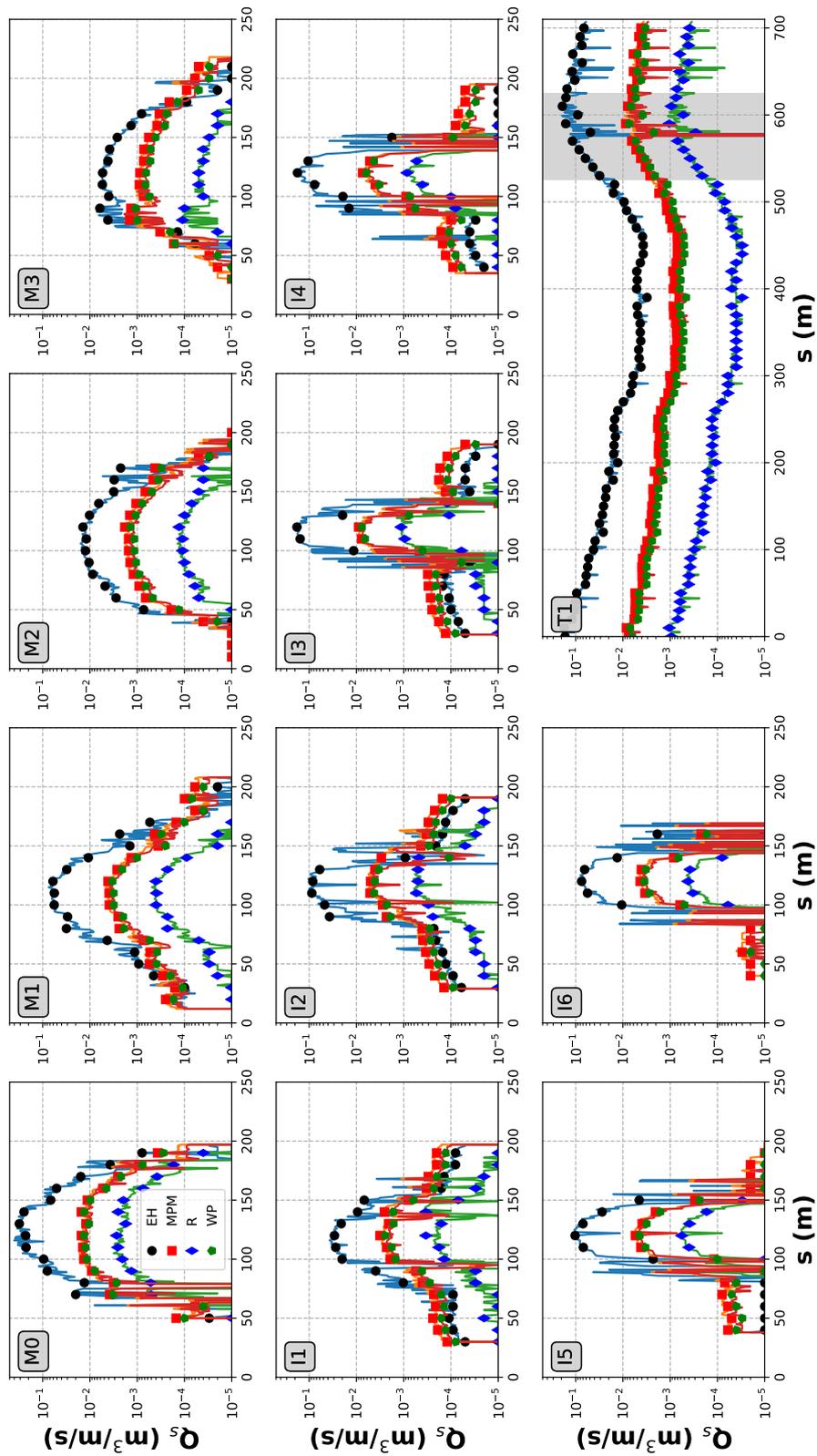
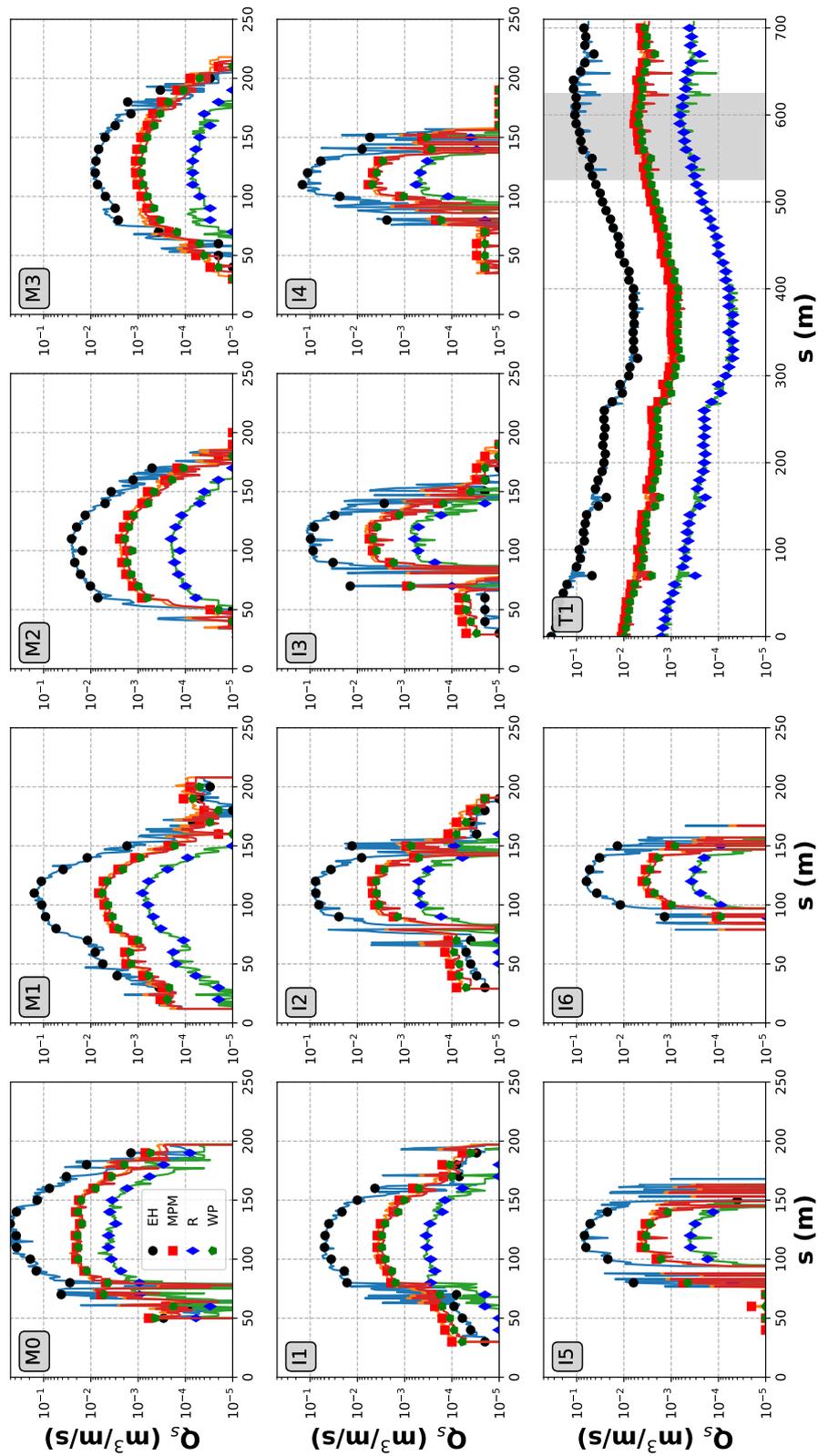


Figura A-72: Configurazione "C". Portata  $1100.0 m^3/s$ . Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.



A.2

Figura A-73: Configurazione "PRP2008". Portata 1150.0 m<sup>3</sup>/s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.

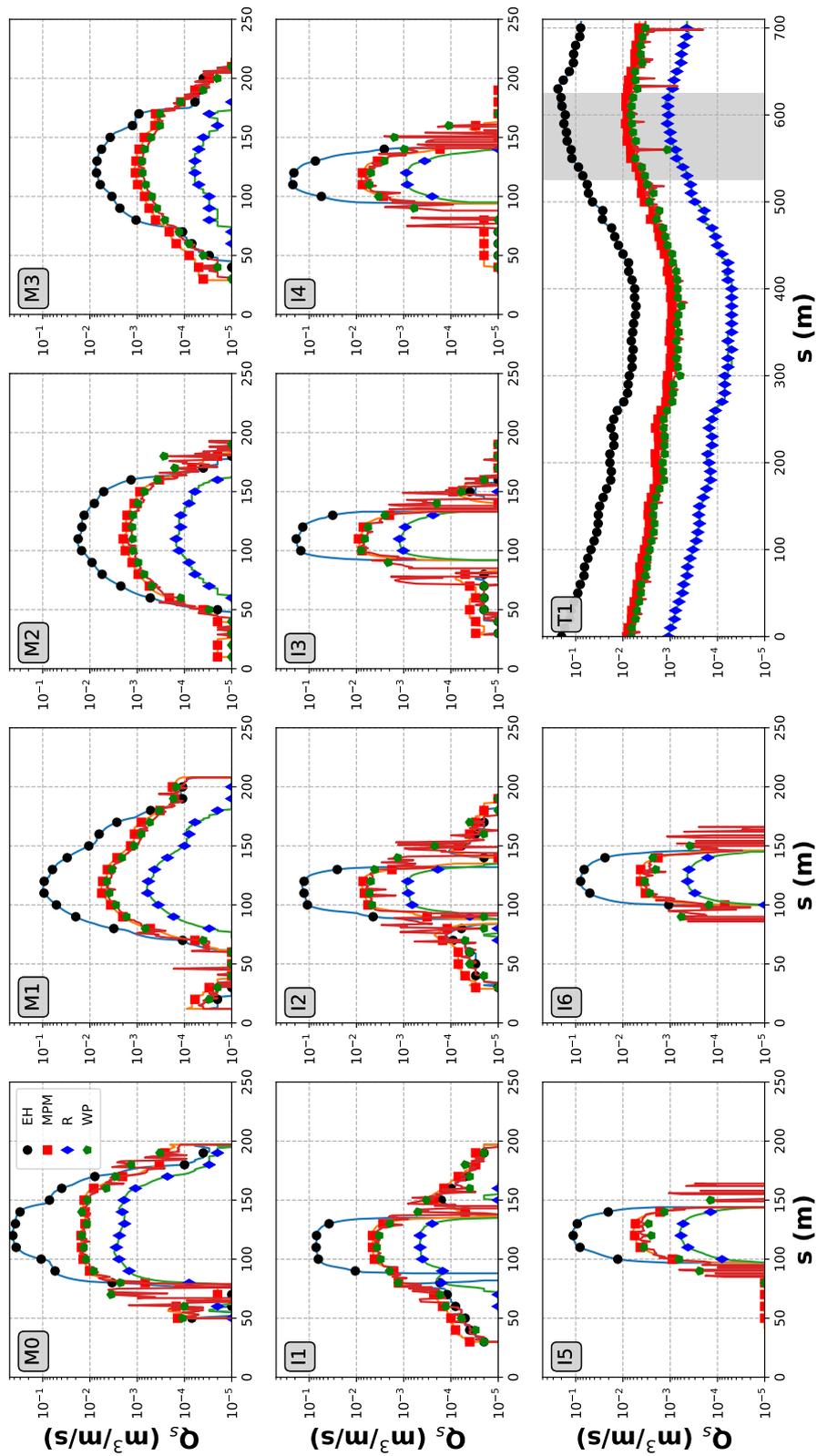


Figura A-74: Configurazione "A". Portata  $1150.0 m^3/s$ . Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.

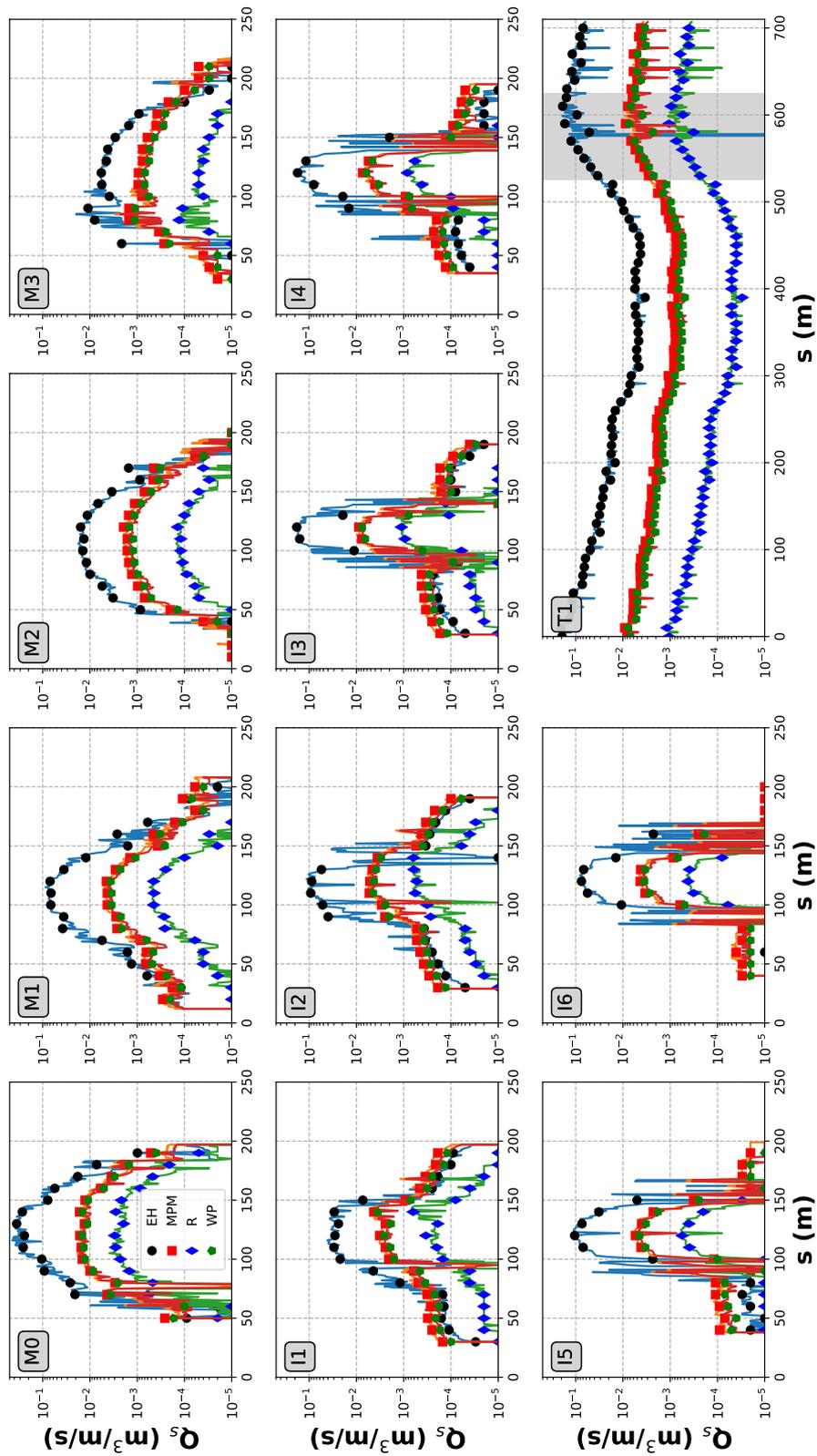
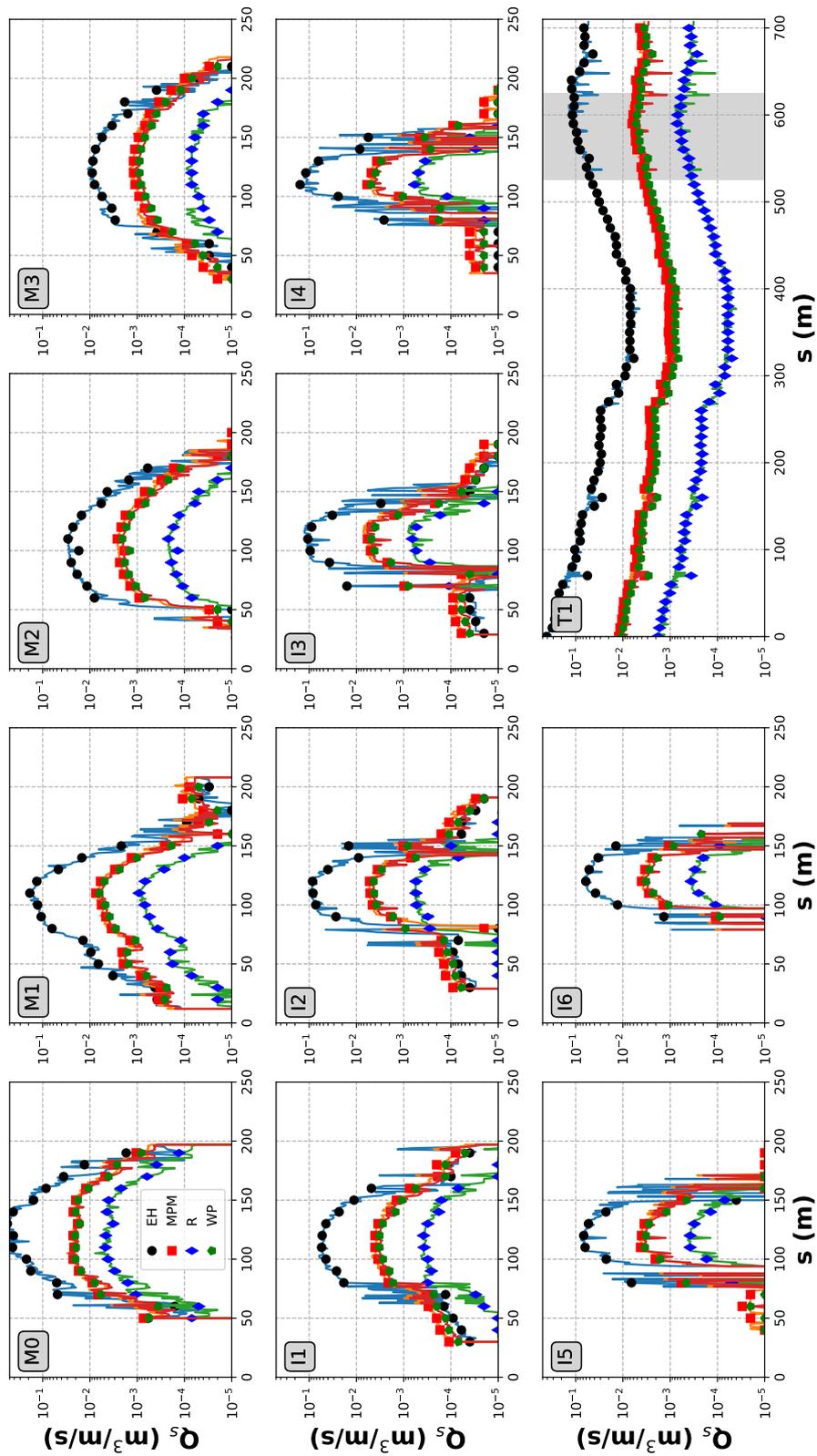
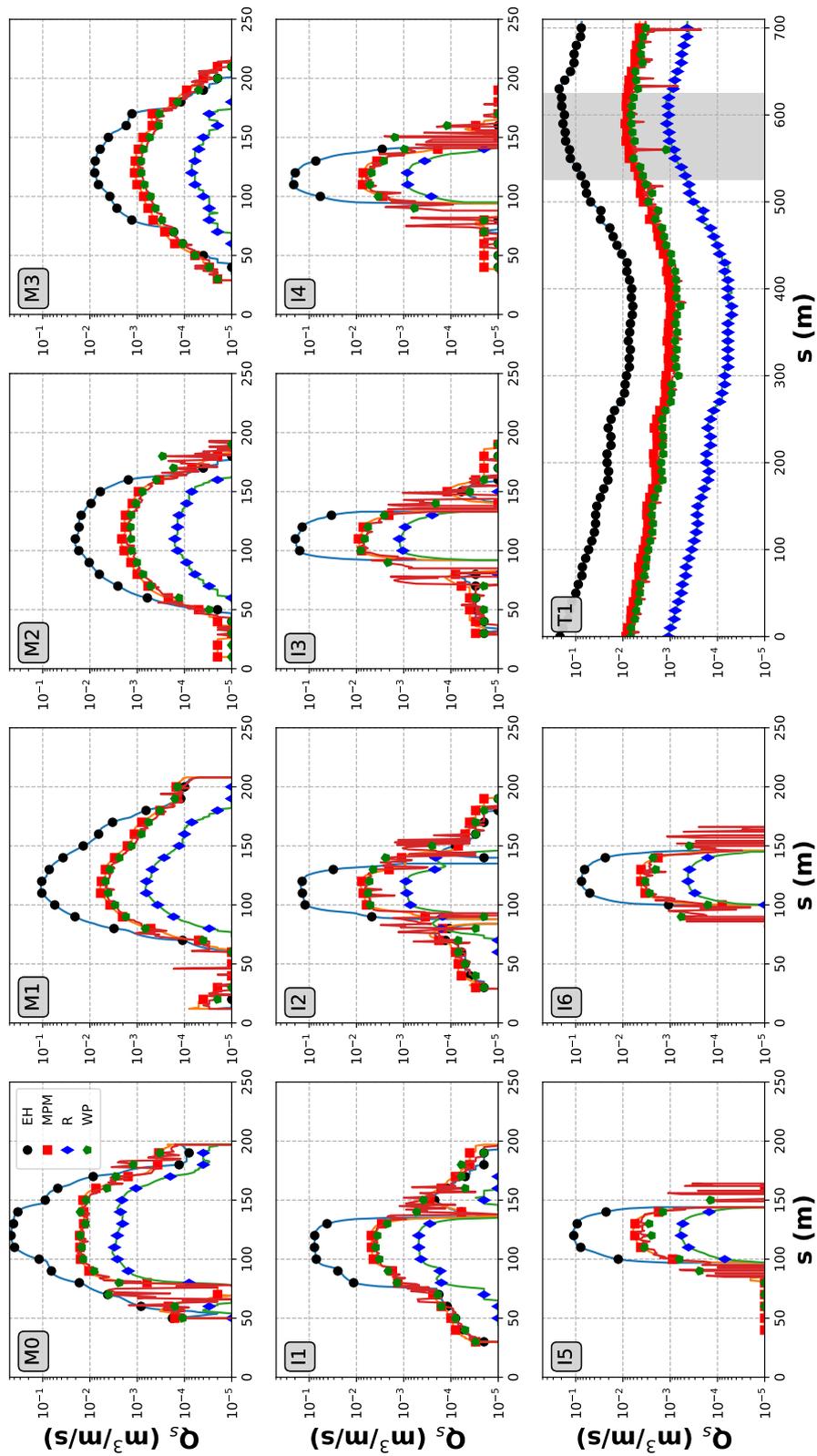


Figura A-75: Configurazione "C". Portata  $1150.0 m^3/s$ . Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.



A.2

Figura A-76: Configurazione "PRP2008". Portata  $1200.0 \text{ m}^3/\text{s}$ . Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.



A.2

Figura A-77: Configurazione "A". Portata 1200.0 m<sup>3</sup>/s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.

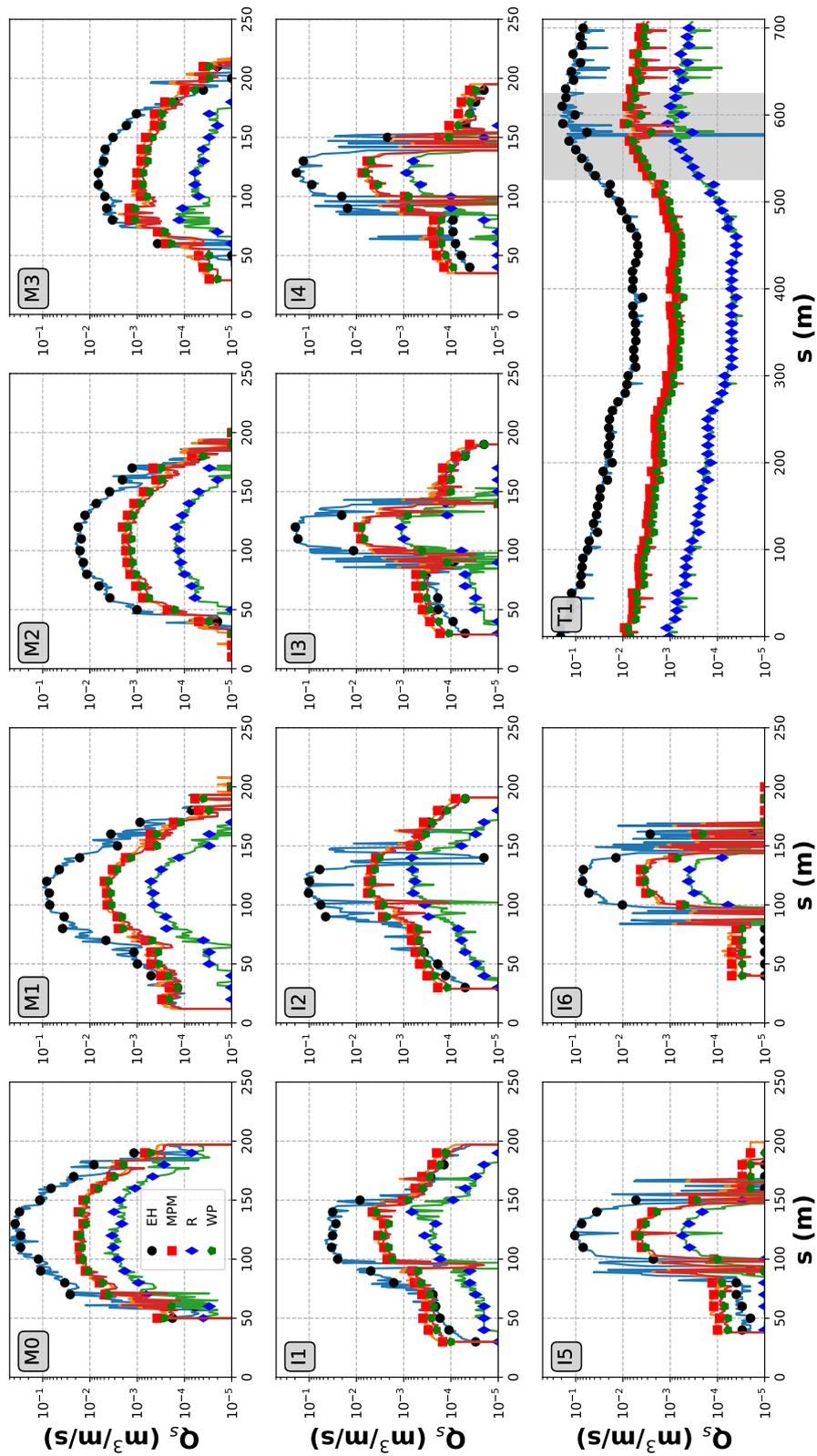


Figura A-78: Configurazione "C". Portata  $1200.0 m^3/s$ . Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.

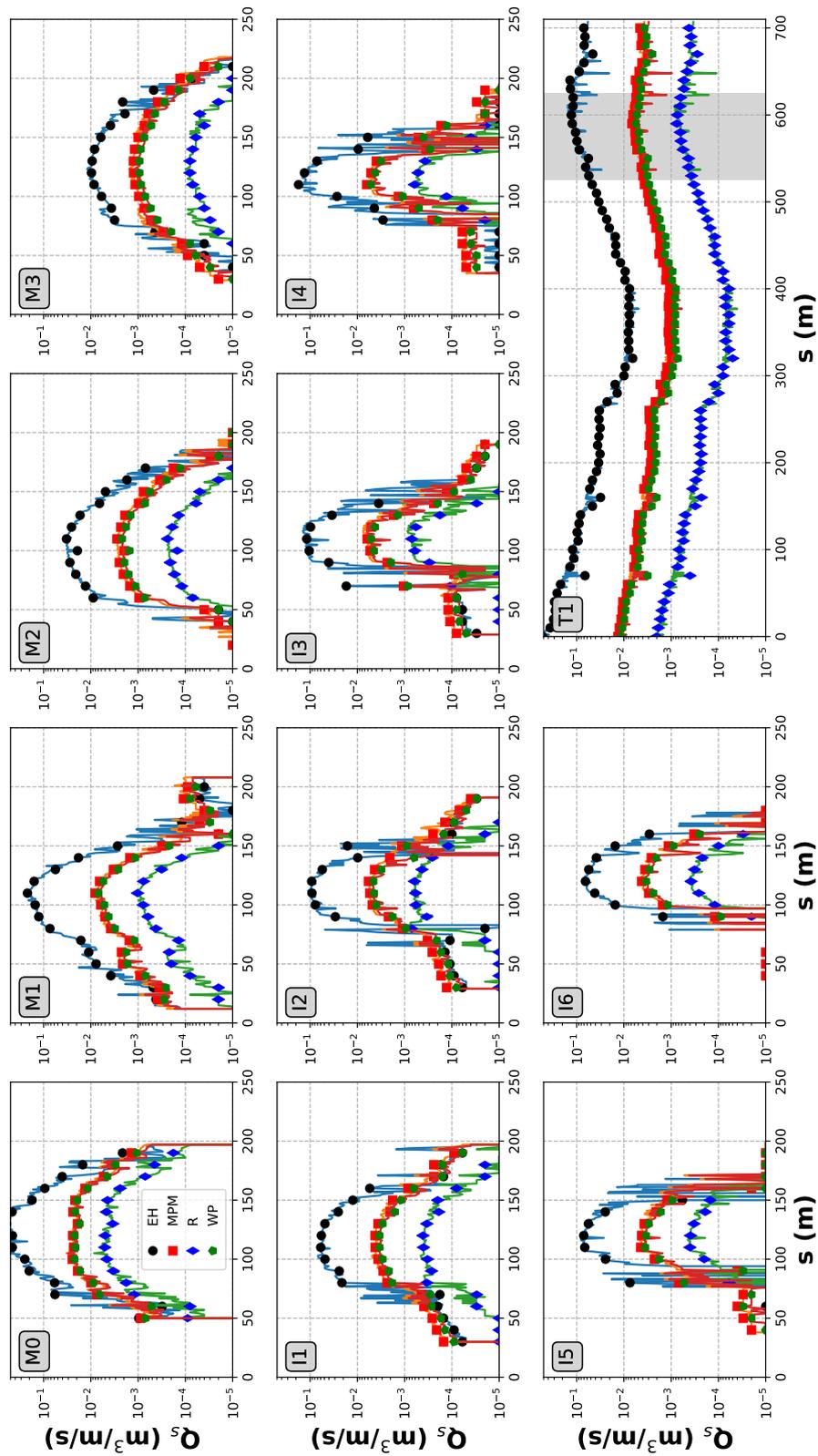


Figura A-79: Configurazione "PRP2008". Portata  $1250.0 m^3/s$ . Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.

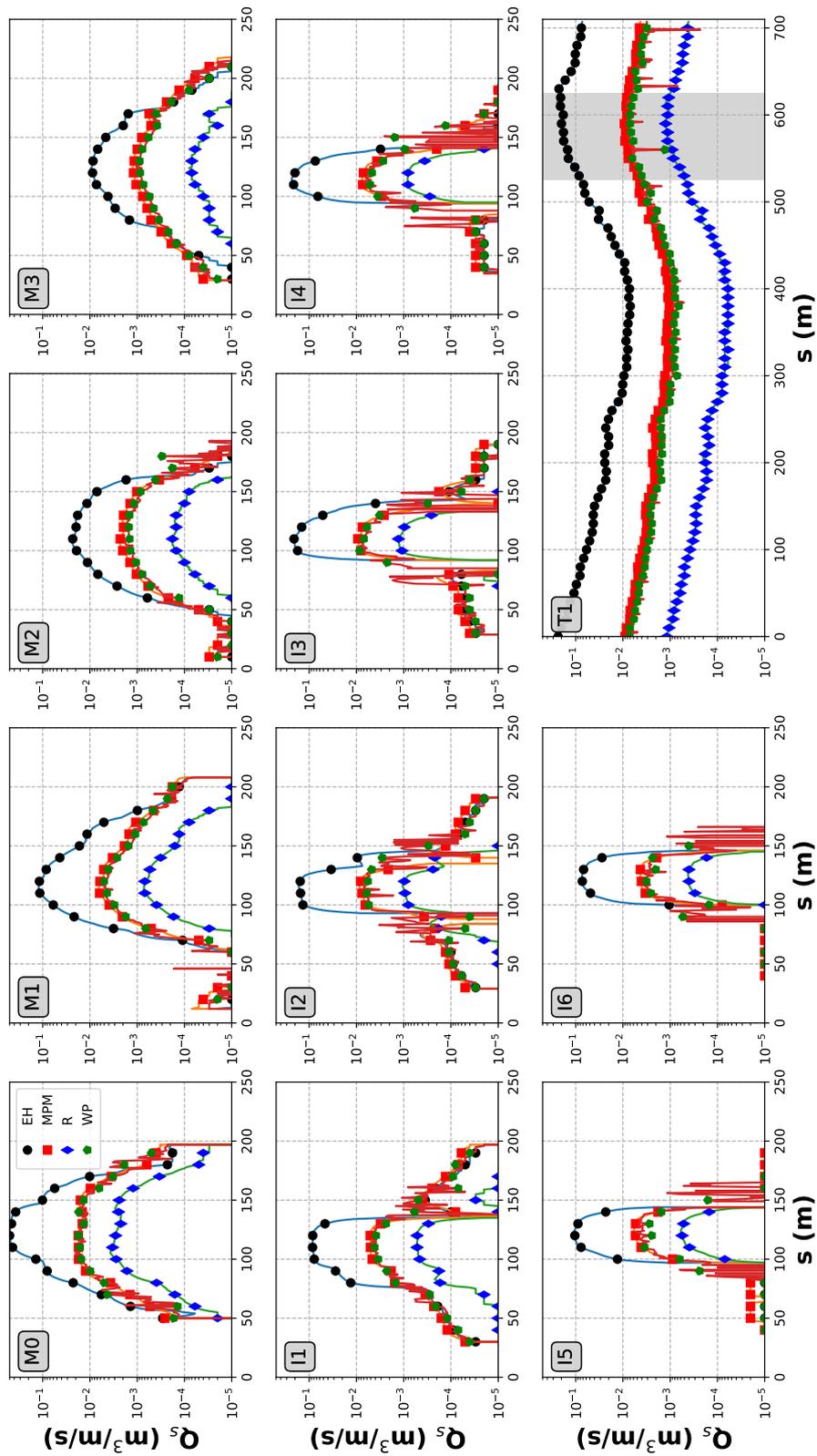


Figura A-80: Configurazione "A". Portata  $1250.0 \text{ m}^3/\text{s}$ . Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.

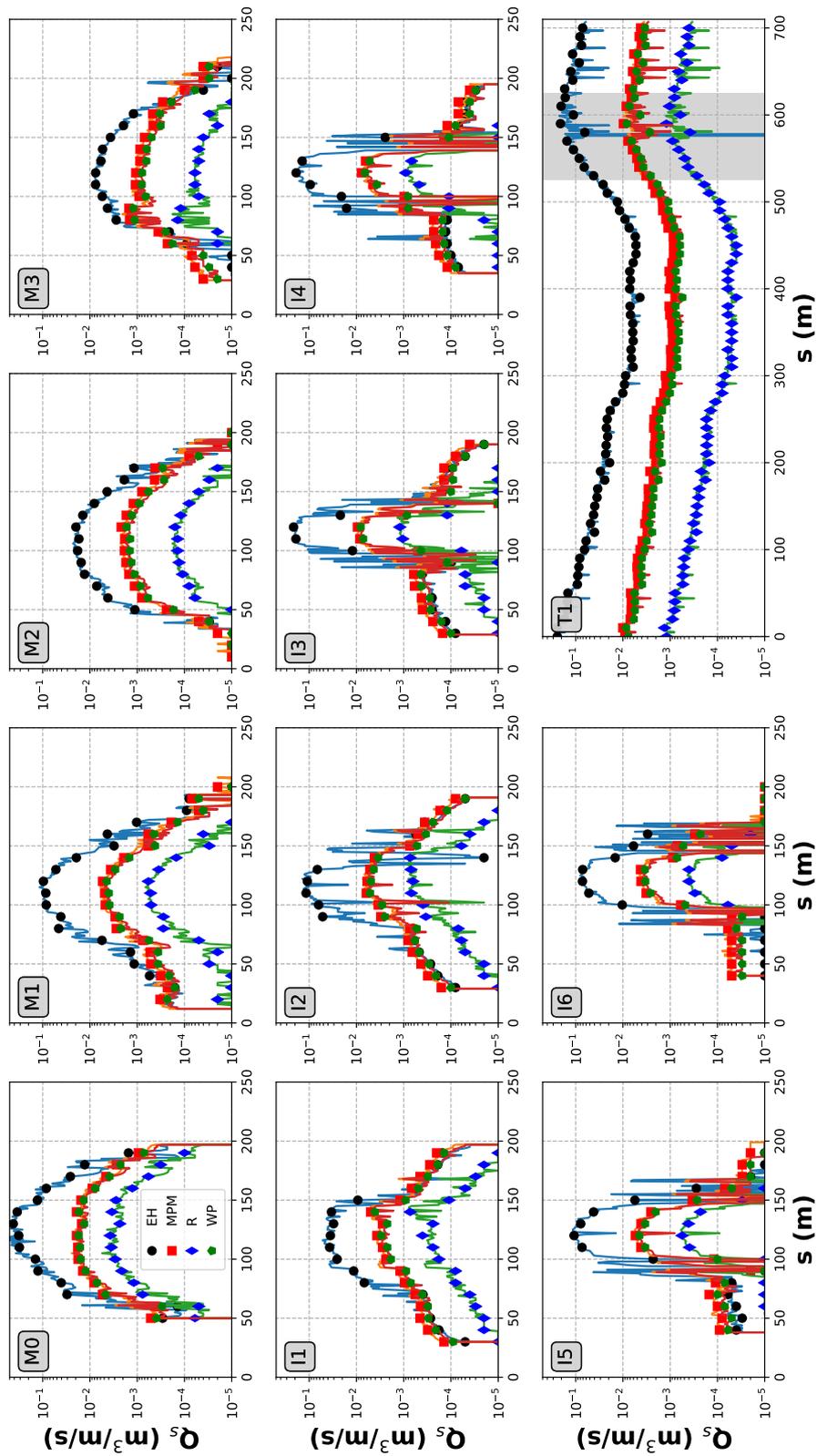
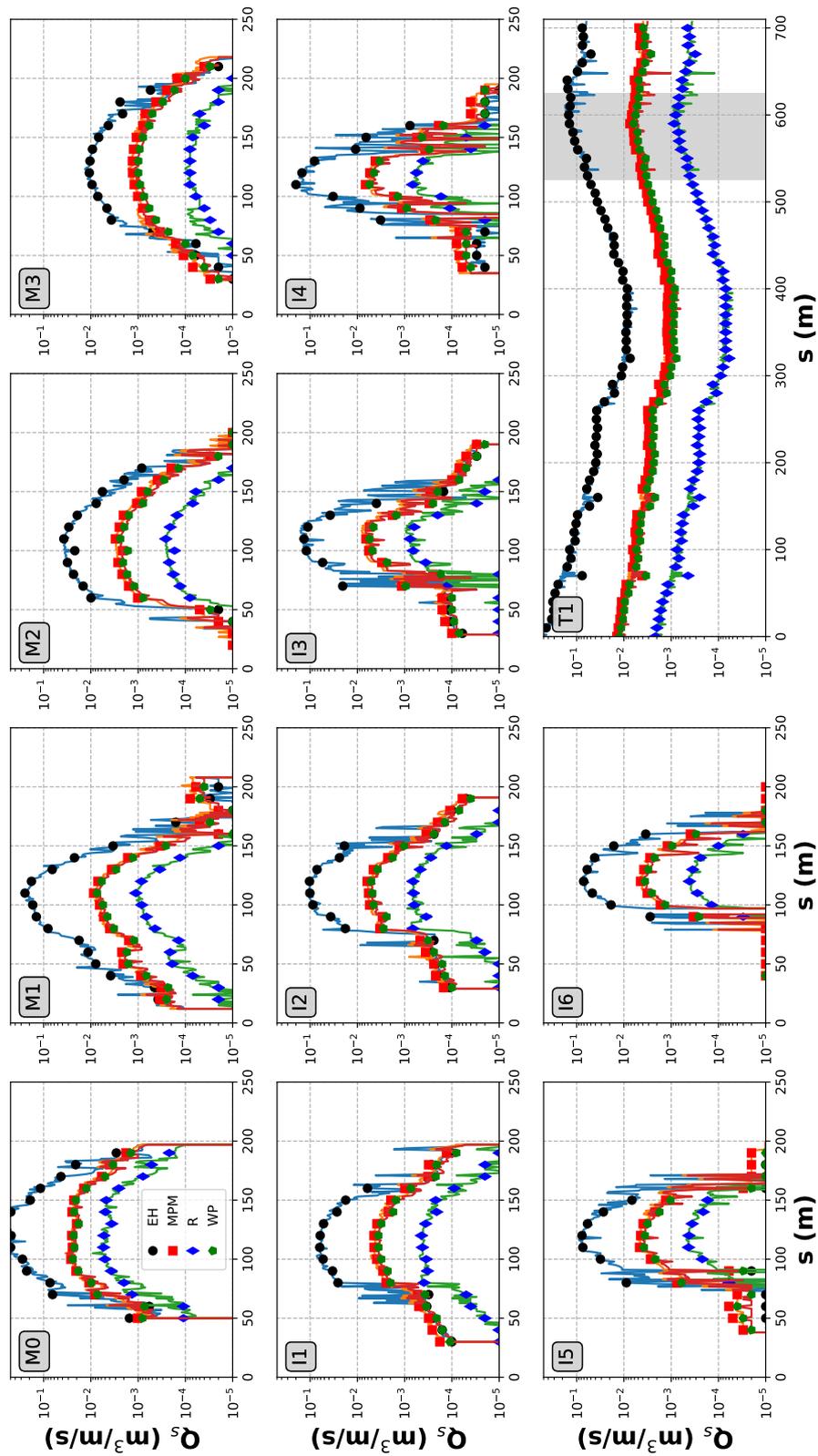


Figura A-81: Configurazione "C". Portata  $1250.0 m^3/s$ . Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.



A.2

Figura A-82: Configurazione "PRP2008". Portata 1300.0 m<sup>3</sup>/s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.

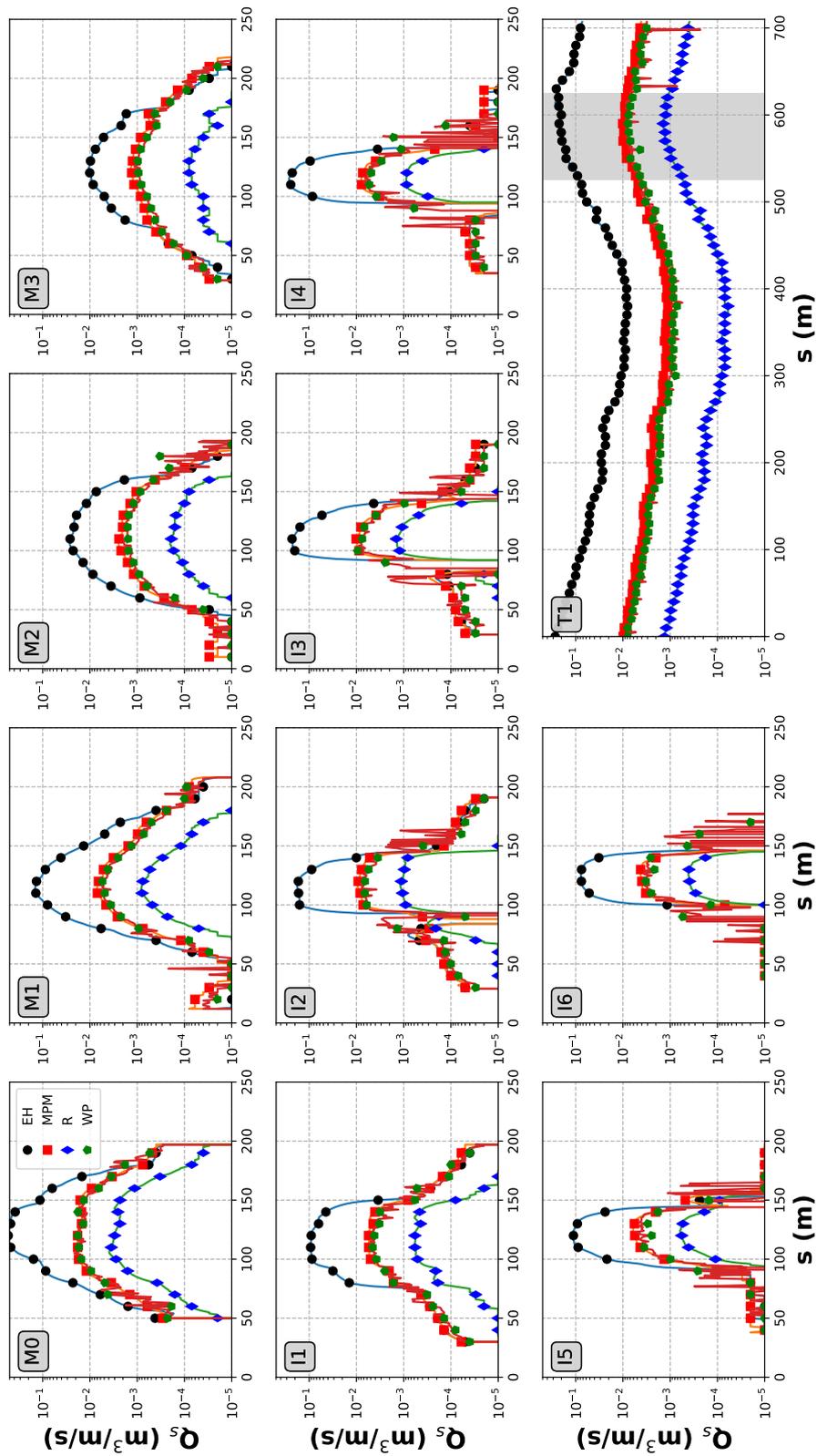


Figura A-83: Configurazione "A". Portata 1300.0 m<sup>3</sup>/s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.

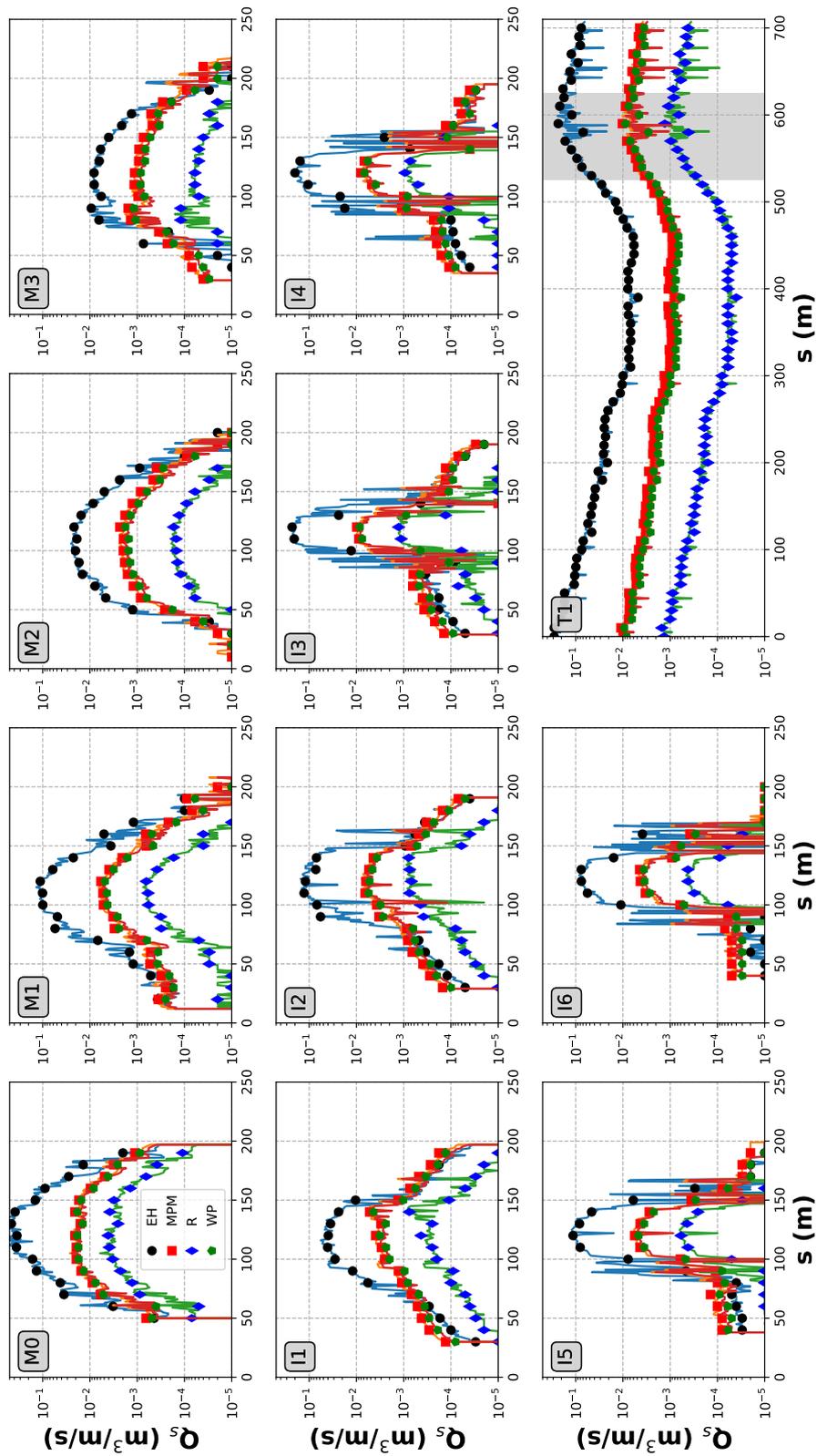


Figura A-84: Configurazione "C". Portata 1300.0  $m^3/s$ . Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.

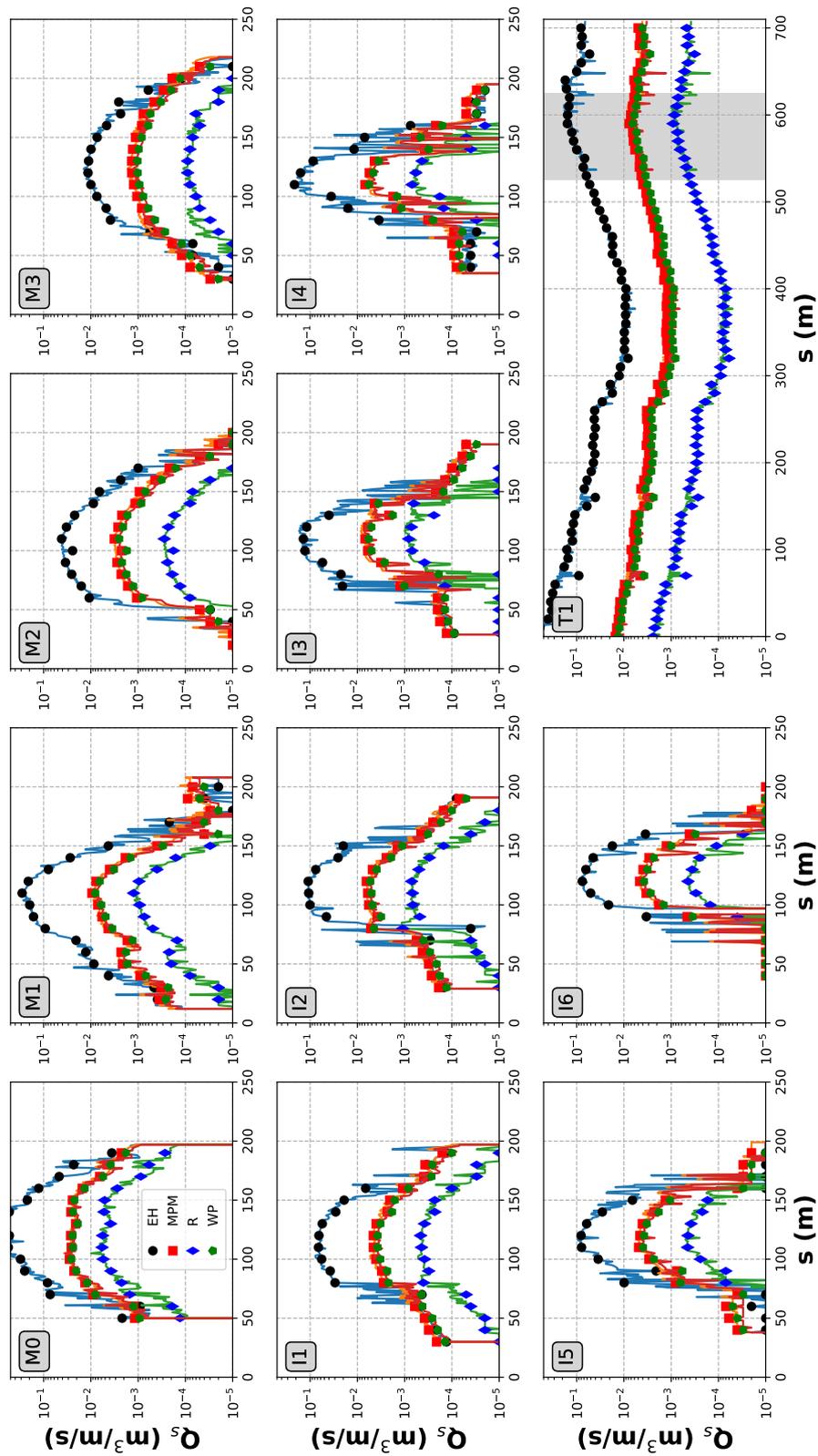
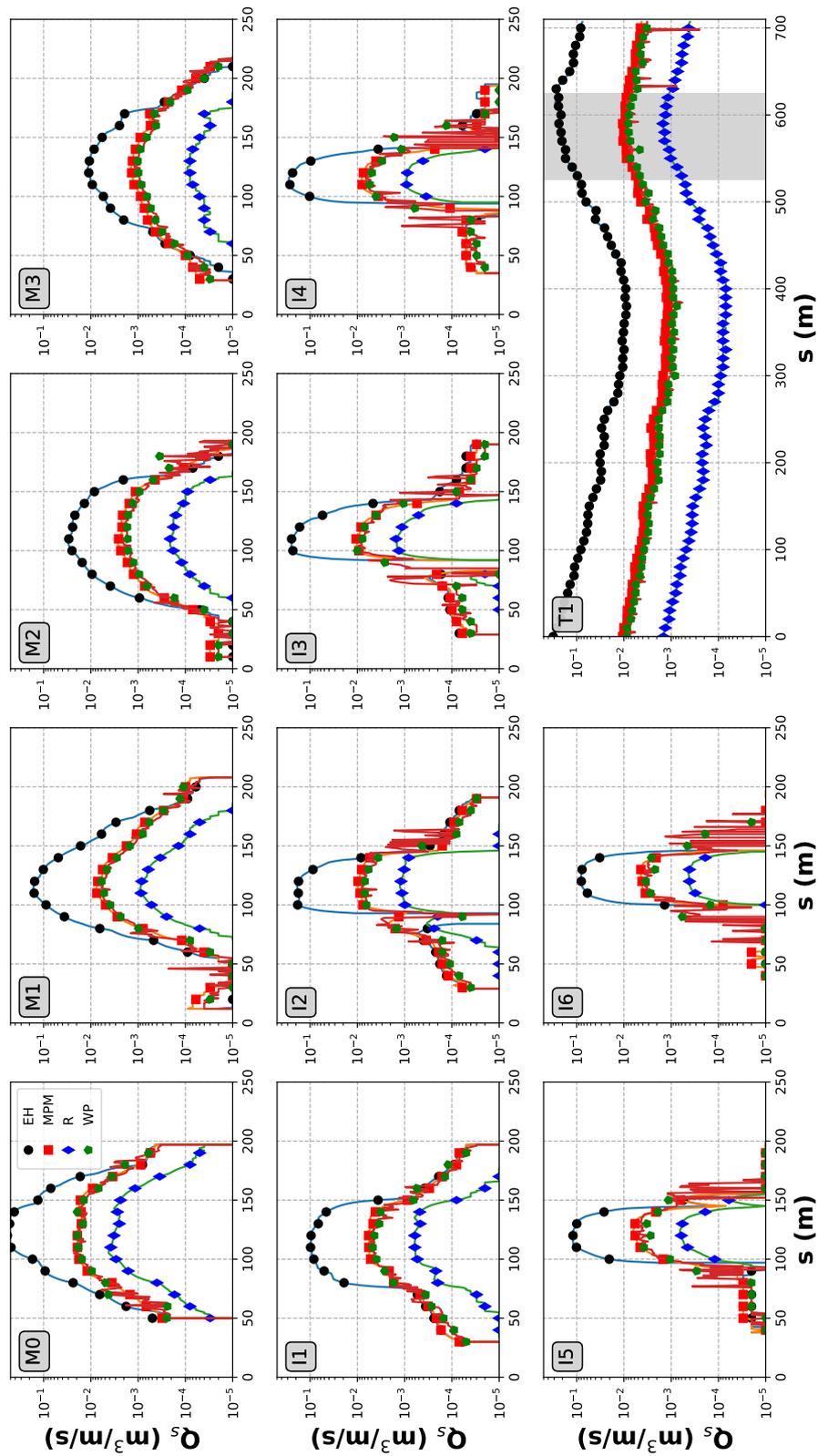
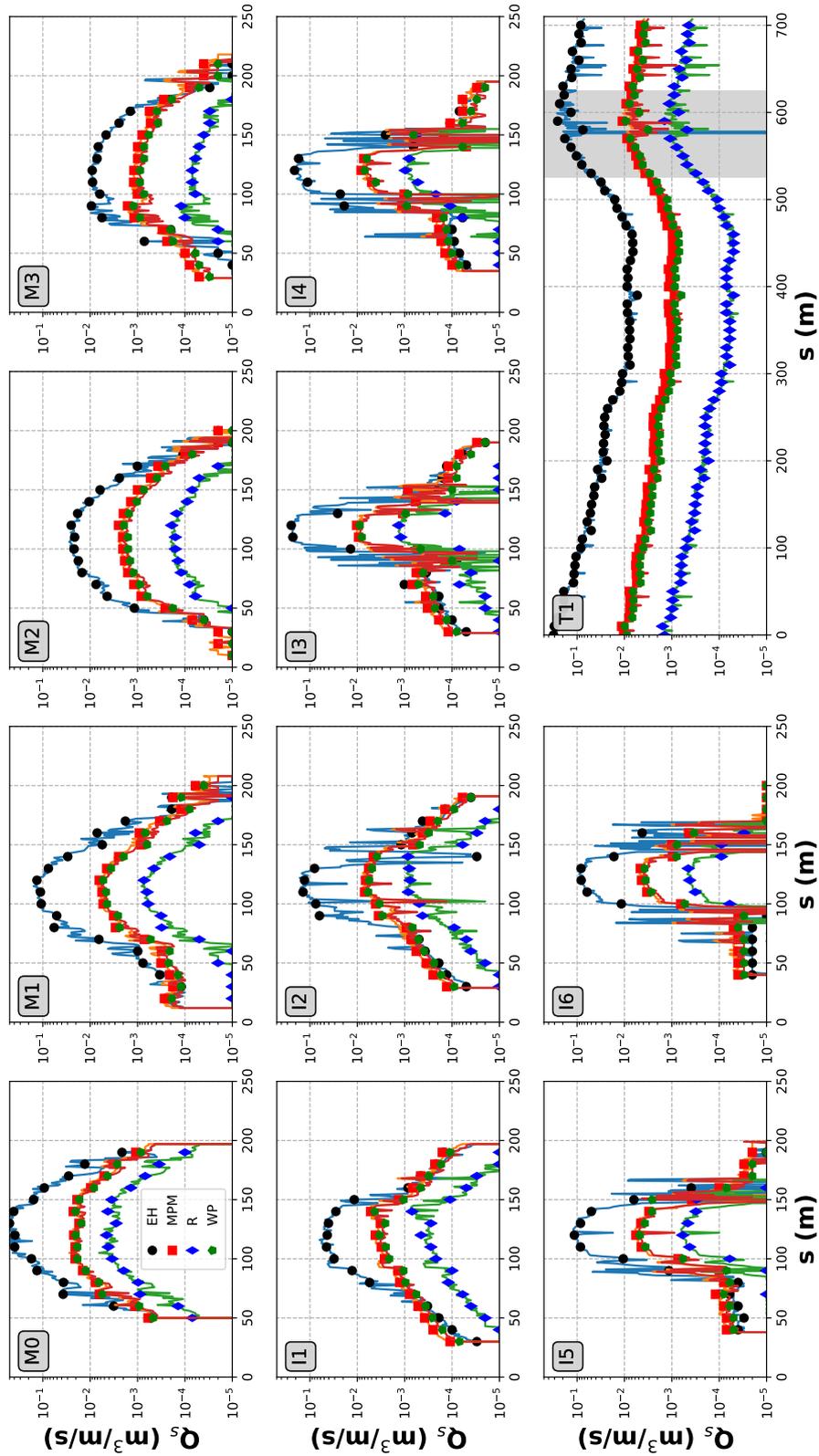


Figura A-85: Configurazione "PRP2008". Portata  $1350.0 \text{ m}^3/\text{s}$ . Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.



A.2

Figura A-86: Configurazione "A". Portata  $1350.0 m^3/s$ . Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.



A.2

Figura A-87: Configurazione "C". Portata  $1350.0 m^3/s$ . Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.

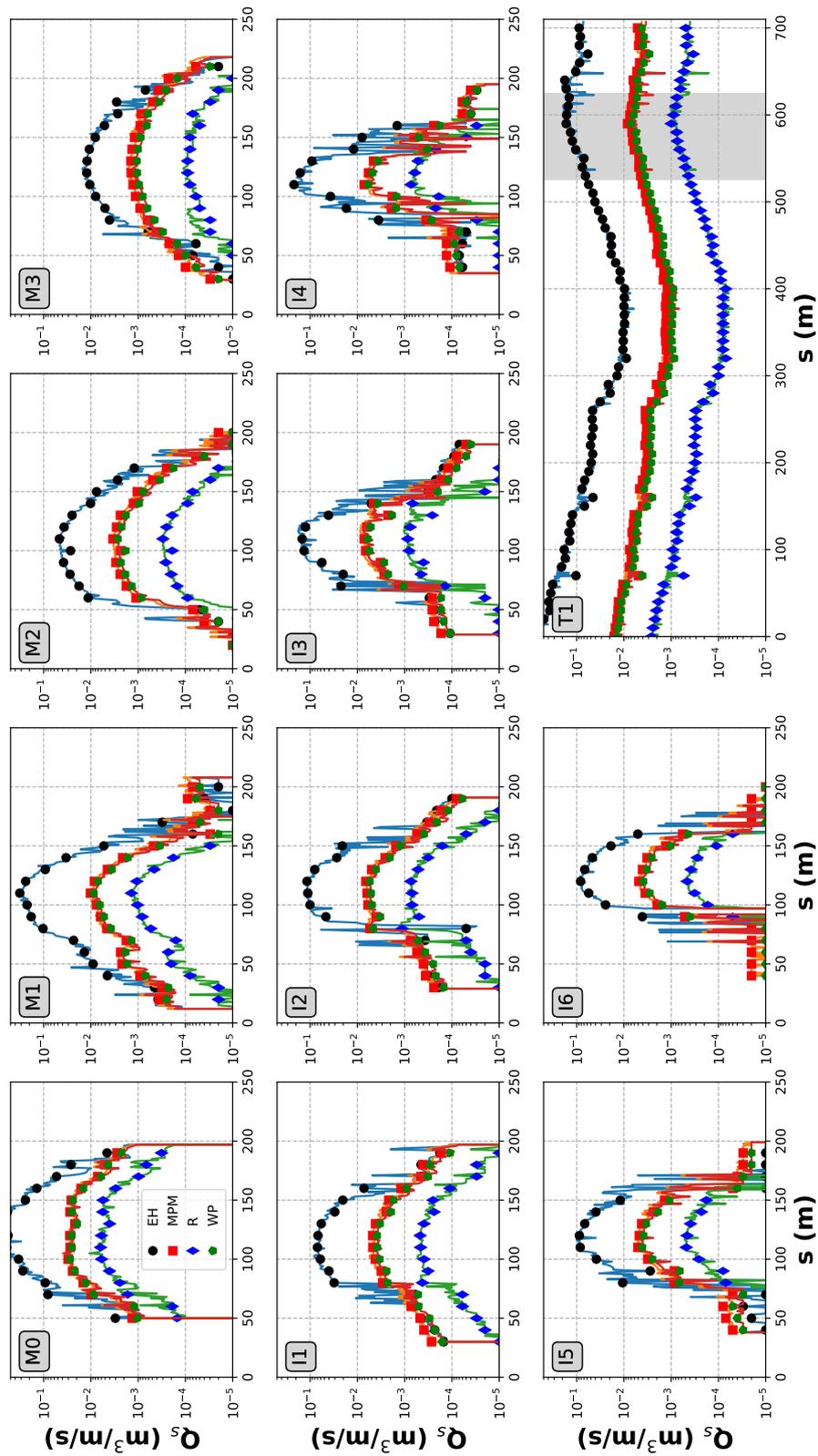


Figura A-88: Configurazione "PRP2008". Portata  $1400.0 \text{ m}^3/\text{s}$ . Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.

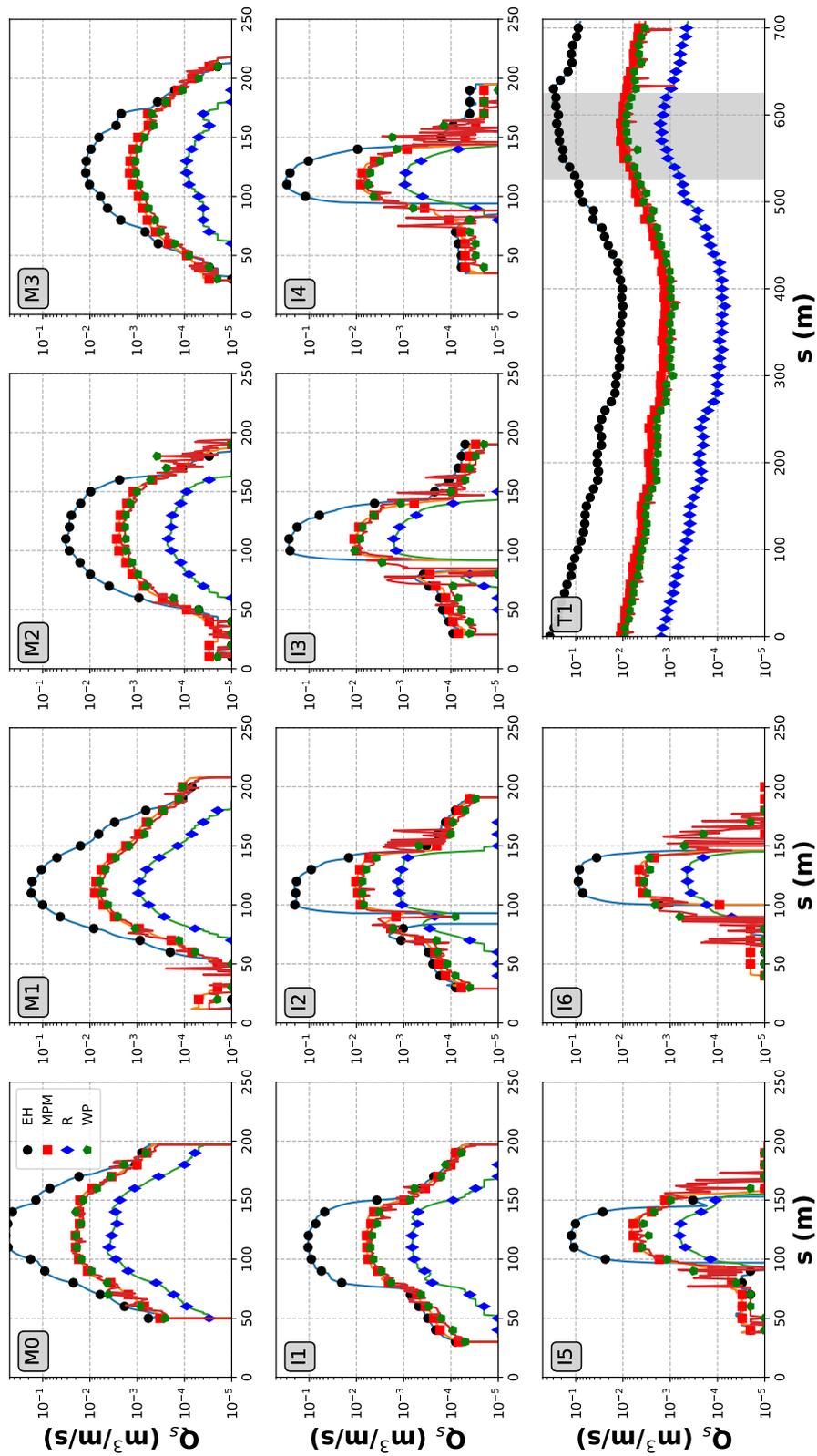
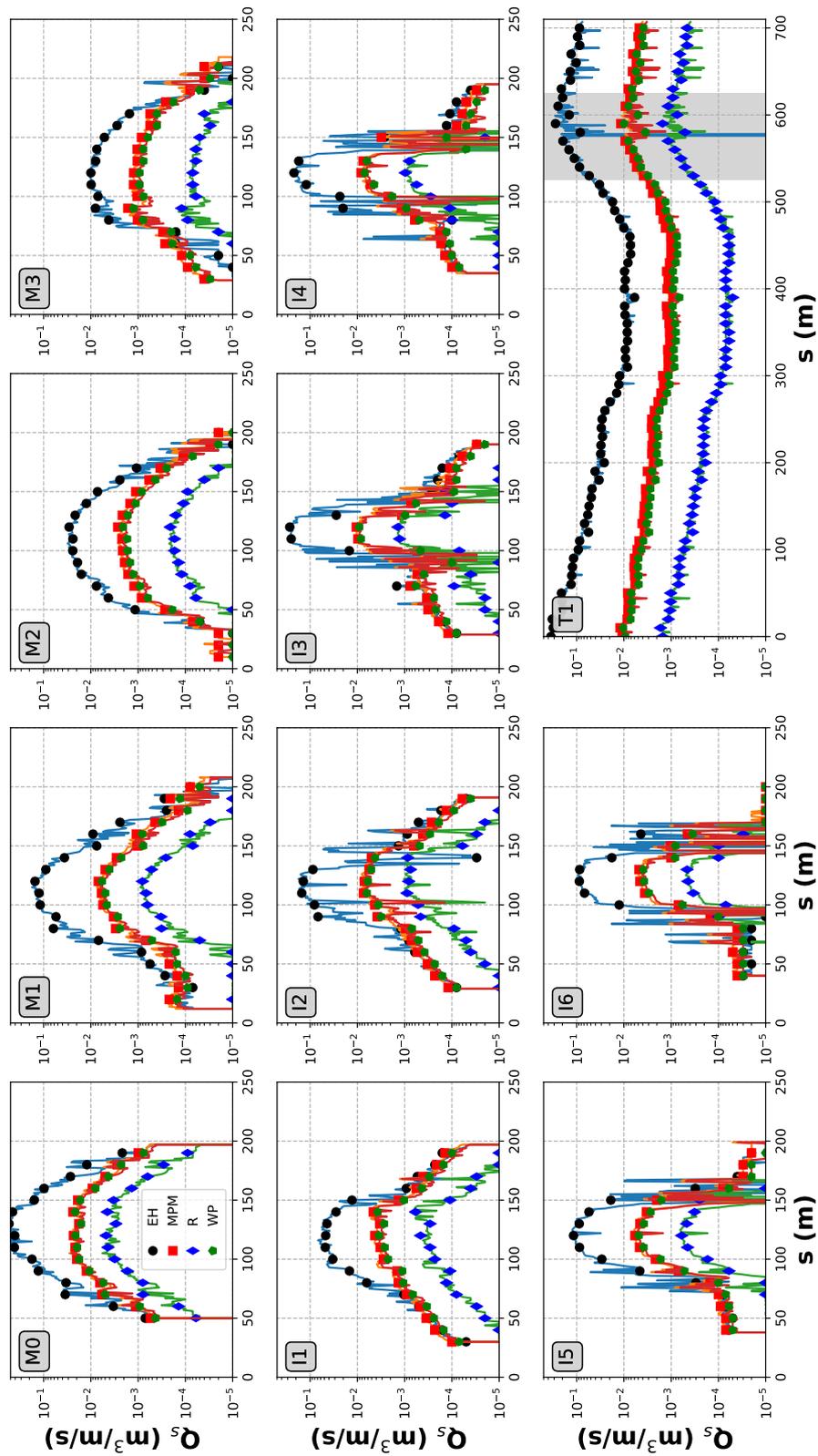


Figura A-89: Configurazione "A". Portata  $1400.0 \text{ m}^3/\text{s}$ . Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.



A.2

Figura A-90: Configurazione "C". Portata 1400.0 m<sup>3</sup>/s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.

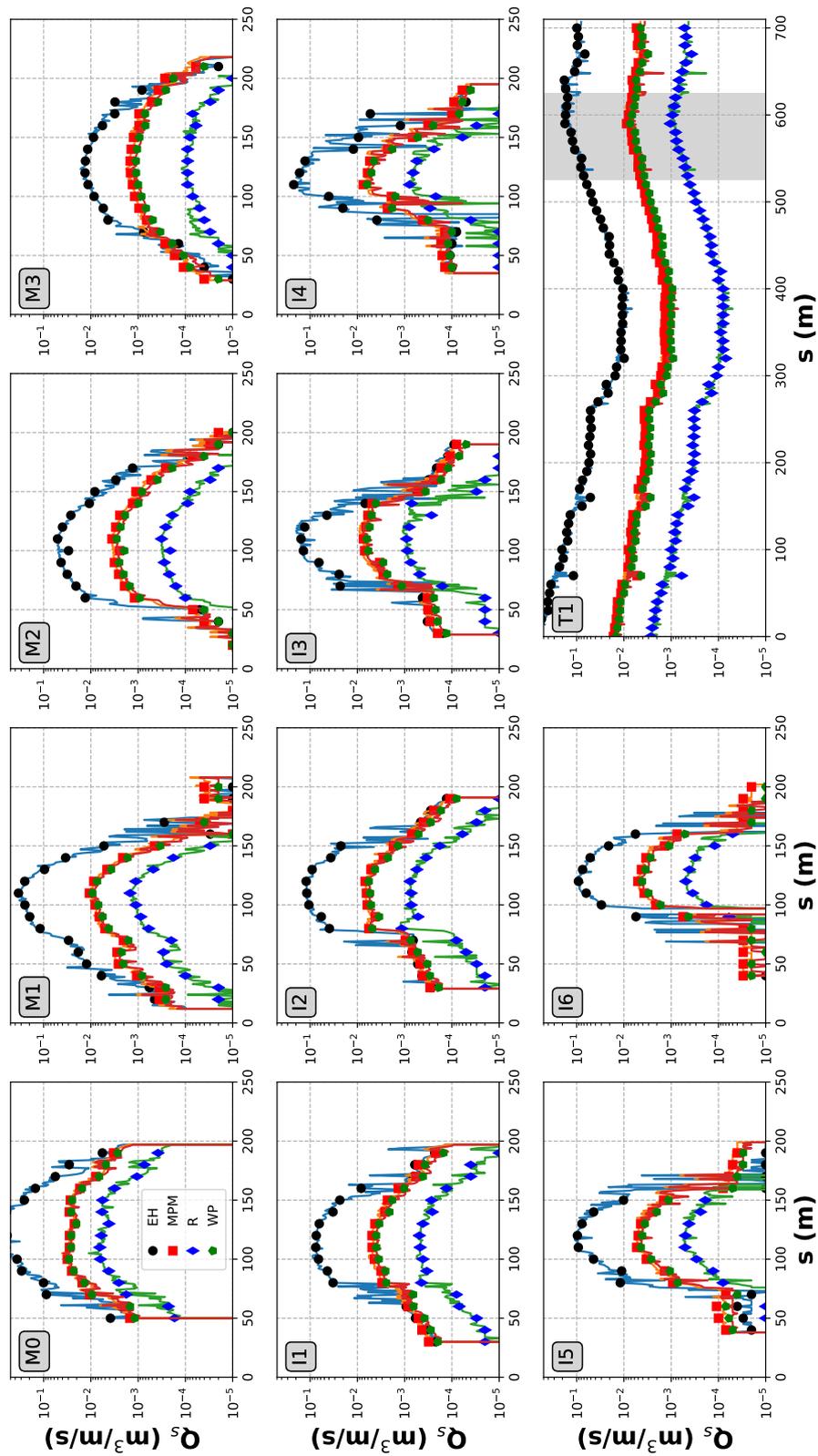
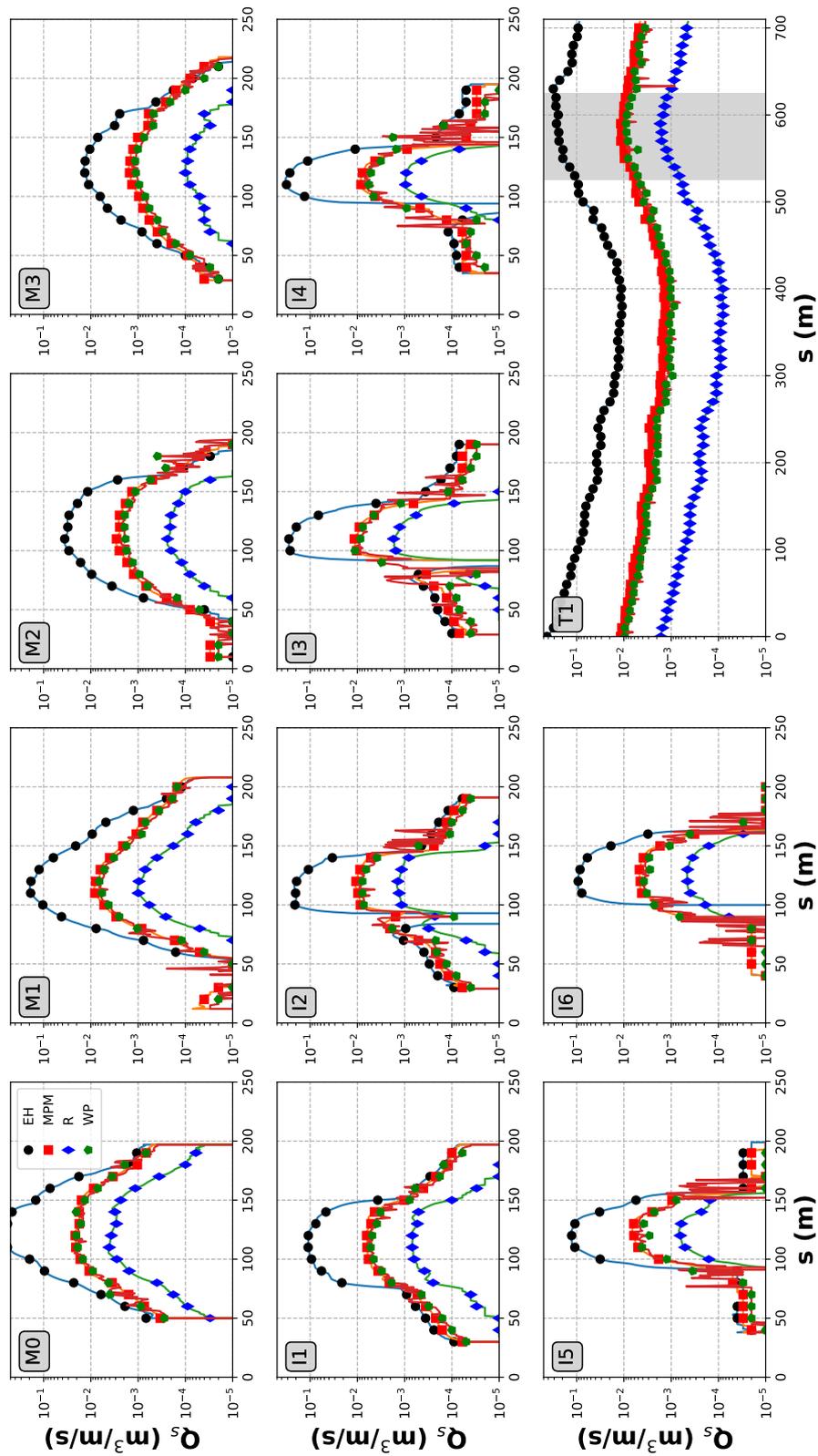


Figura A-91: Configurazione "PRP2008". Portata  $1450.0 \text{ m}^3/s$ . Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.



A.2

Figura A-92: Configurazione "A". Portata  $1450.0 \text{ m}^3/\text{s}$ . Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.

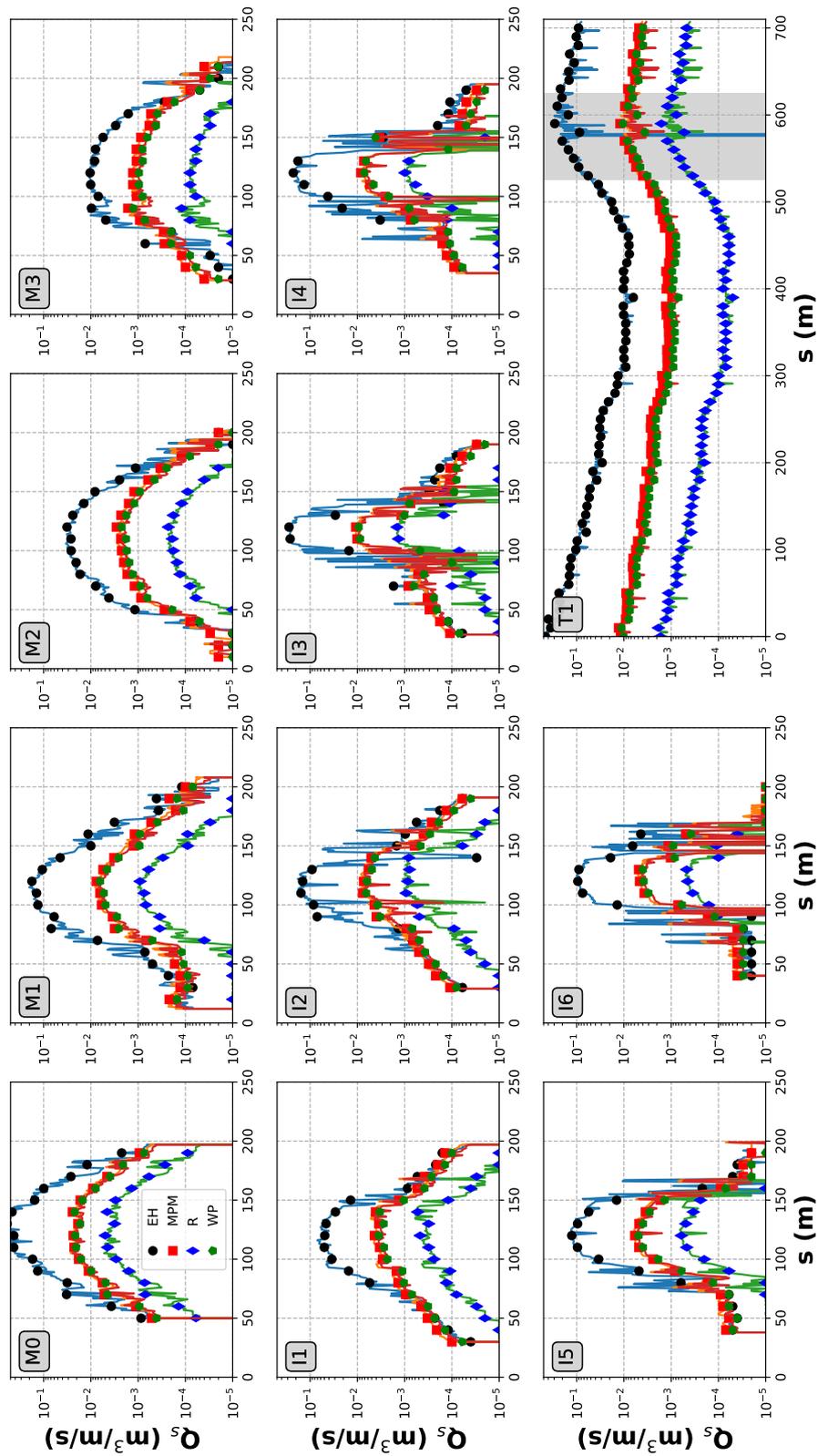
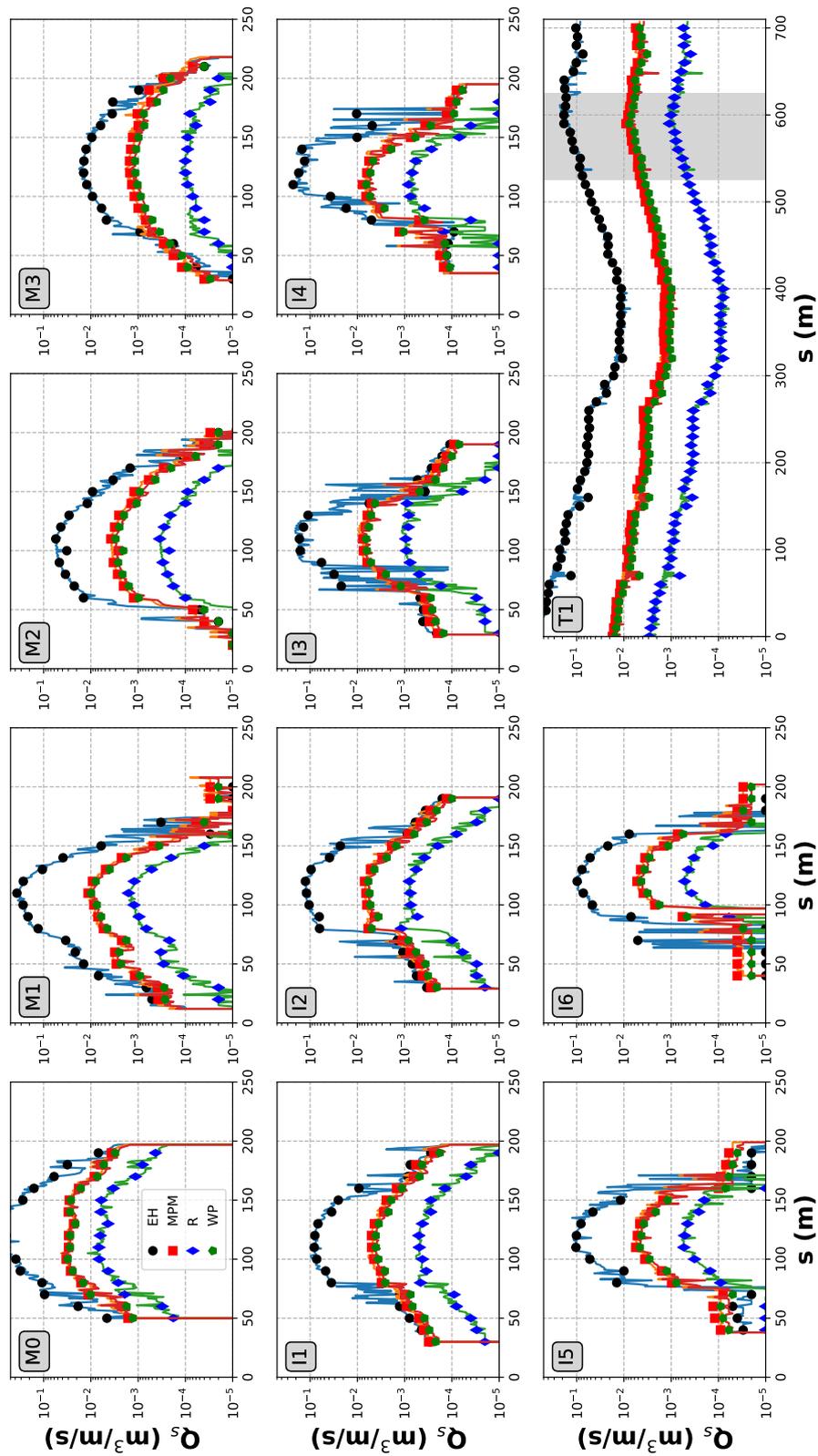


Figura A-93: Configurazione "C". Portata 1450.0  $m^3/s$ . Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.



A.2

Figura A-94: Configurazione "PRP2008". Portata  $1500.0 \text{ m}^3/s$ . Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.

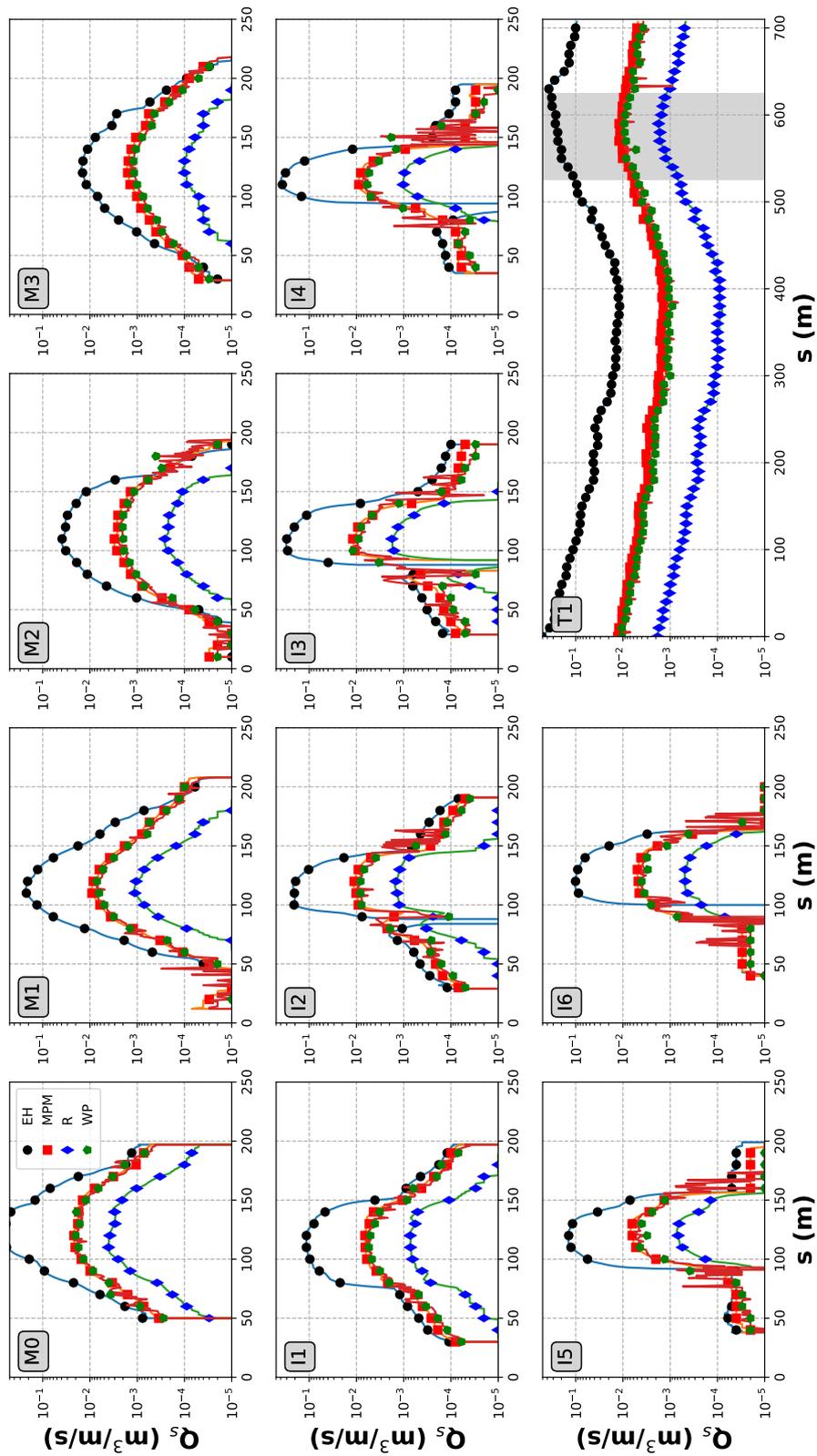


Figura A-95: Configurazione "A". Portata  $1500.0 \text{ m}^3/\text{s}$ . Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.

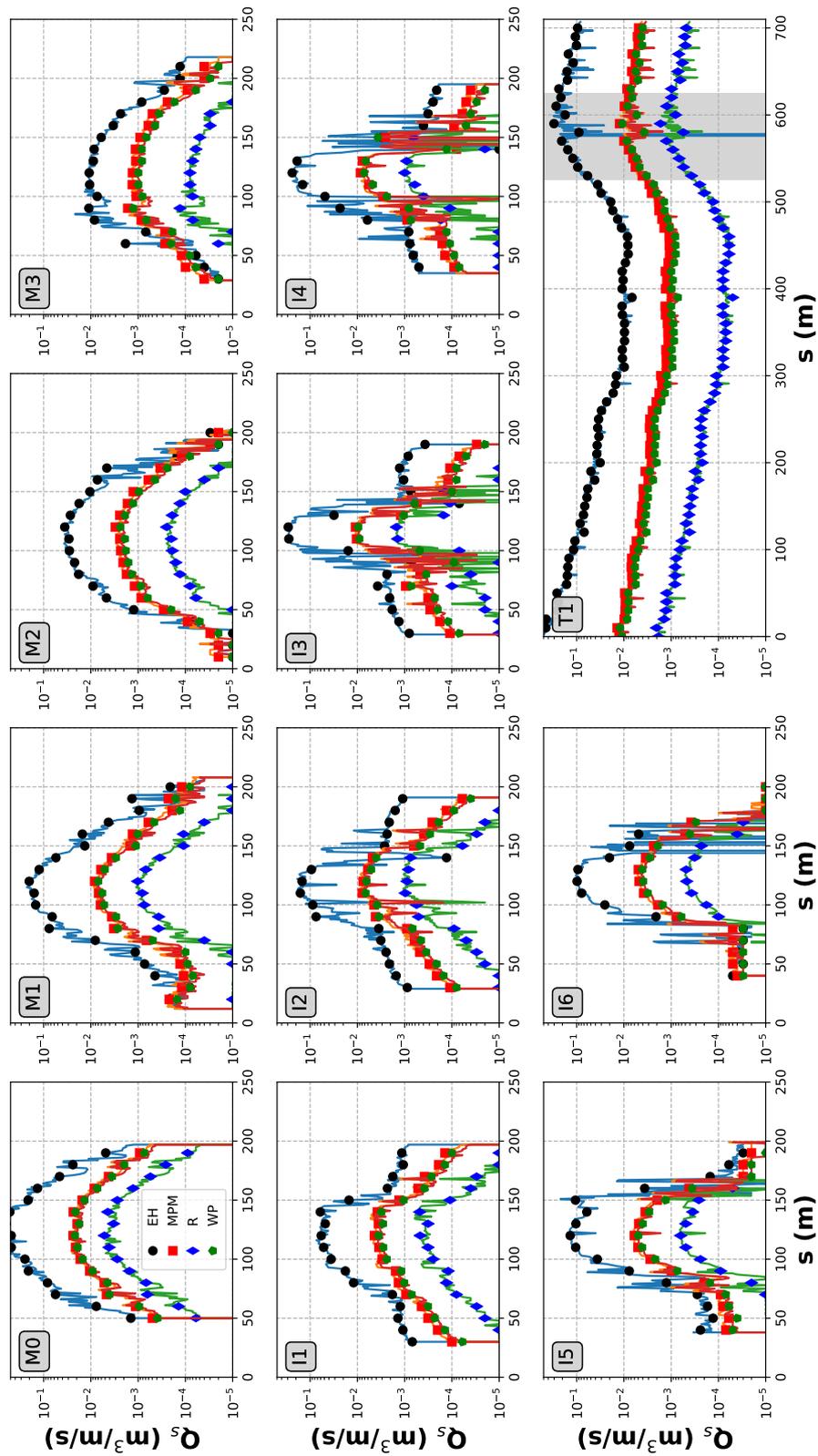
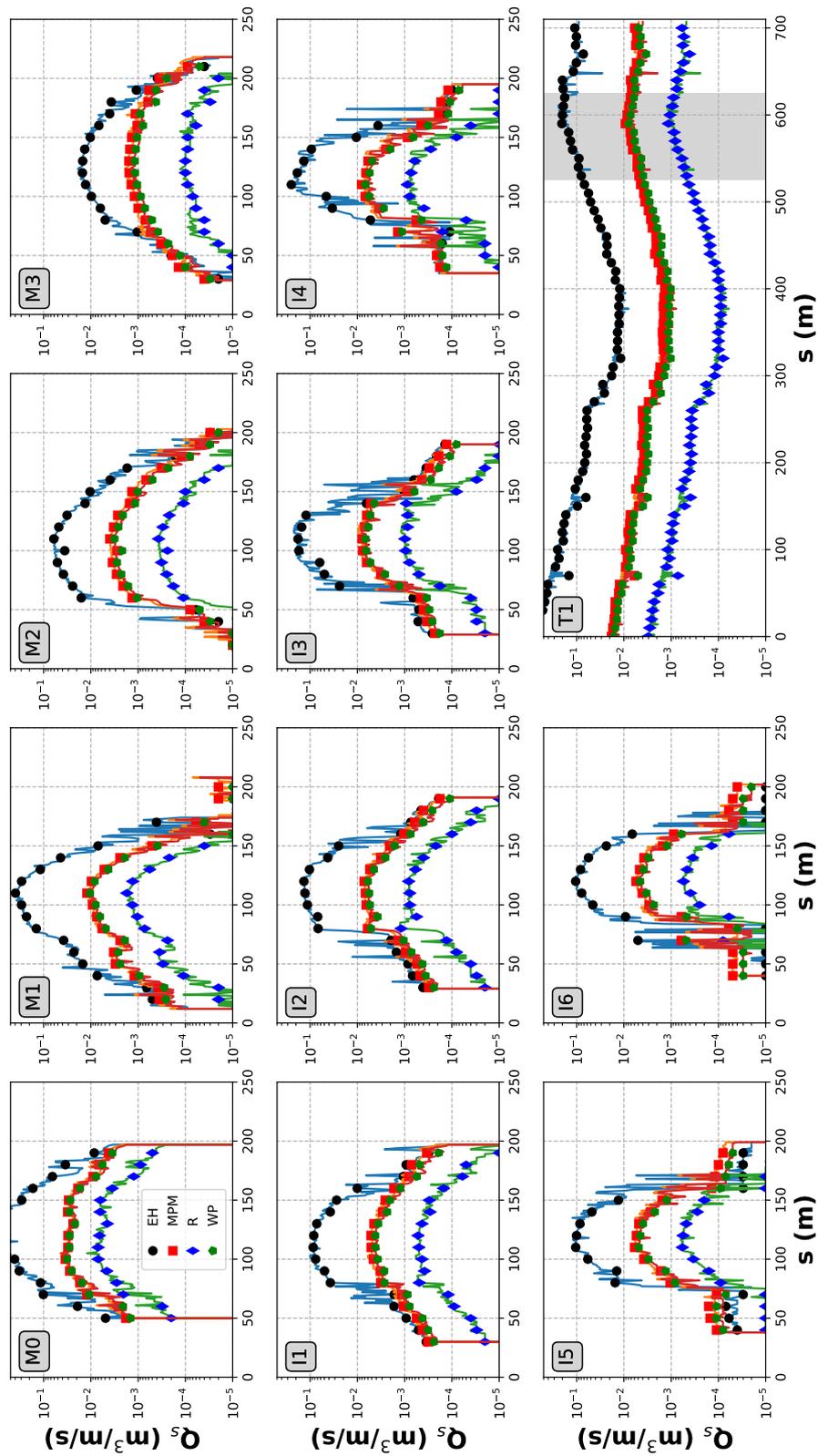
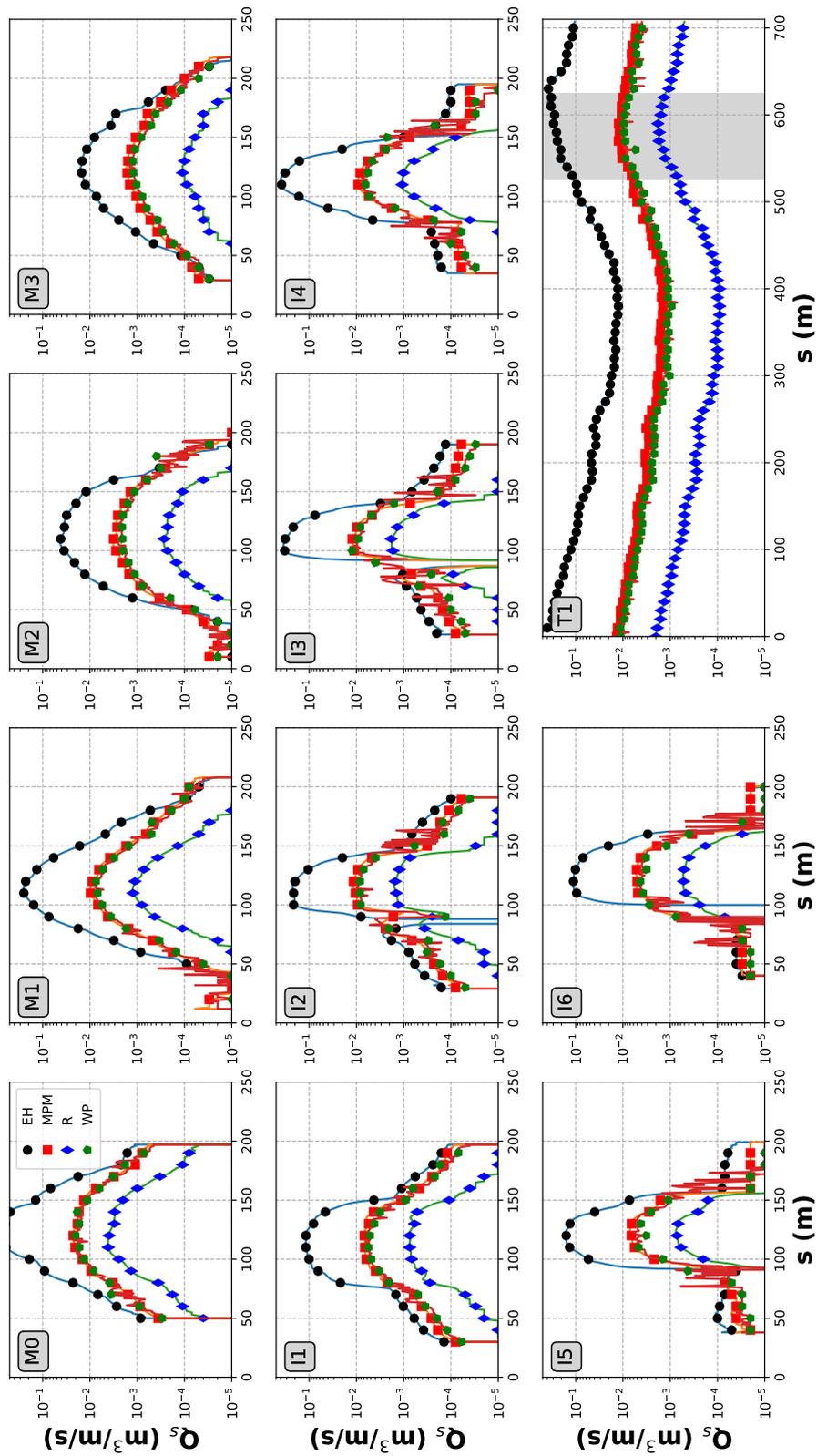


Figura A-96: Configurazione "C". Portata  $1500.0 m^3/s$ . Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.



A.2

Figura A-97: Configurazione "PRP2008". Portata 1550.0 m<sup>3</sup>/s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.



A.2

Figura A-98: Configurazione "A". Portata  $1550.0 m^3/s$ . Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.

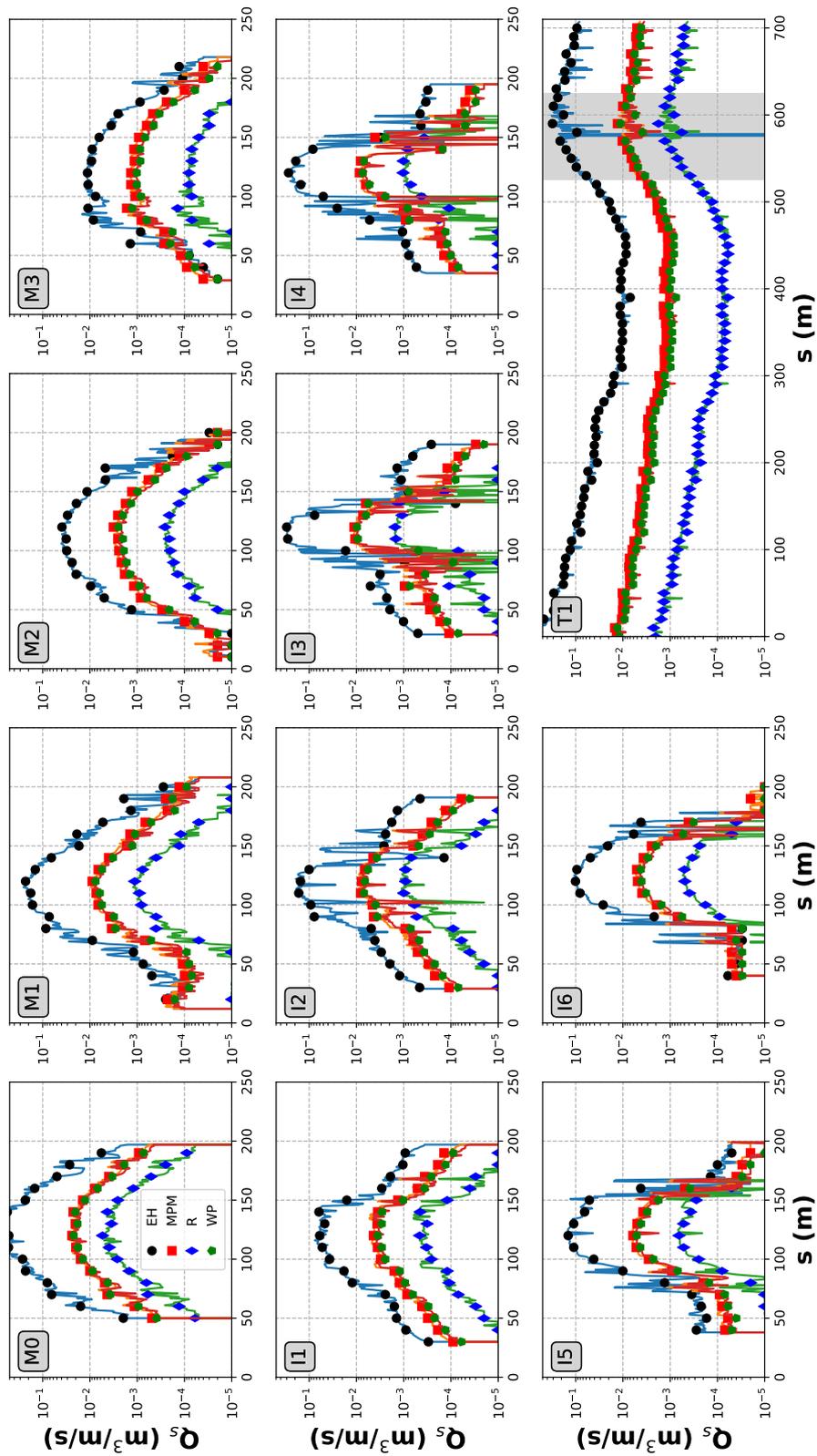
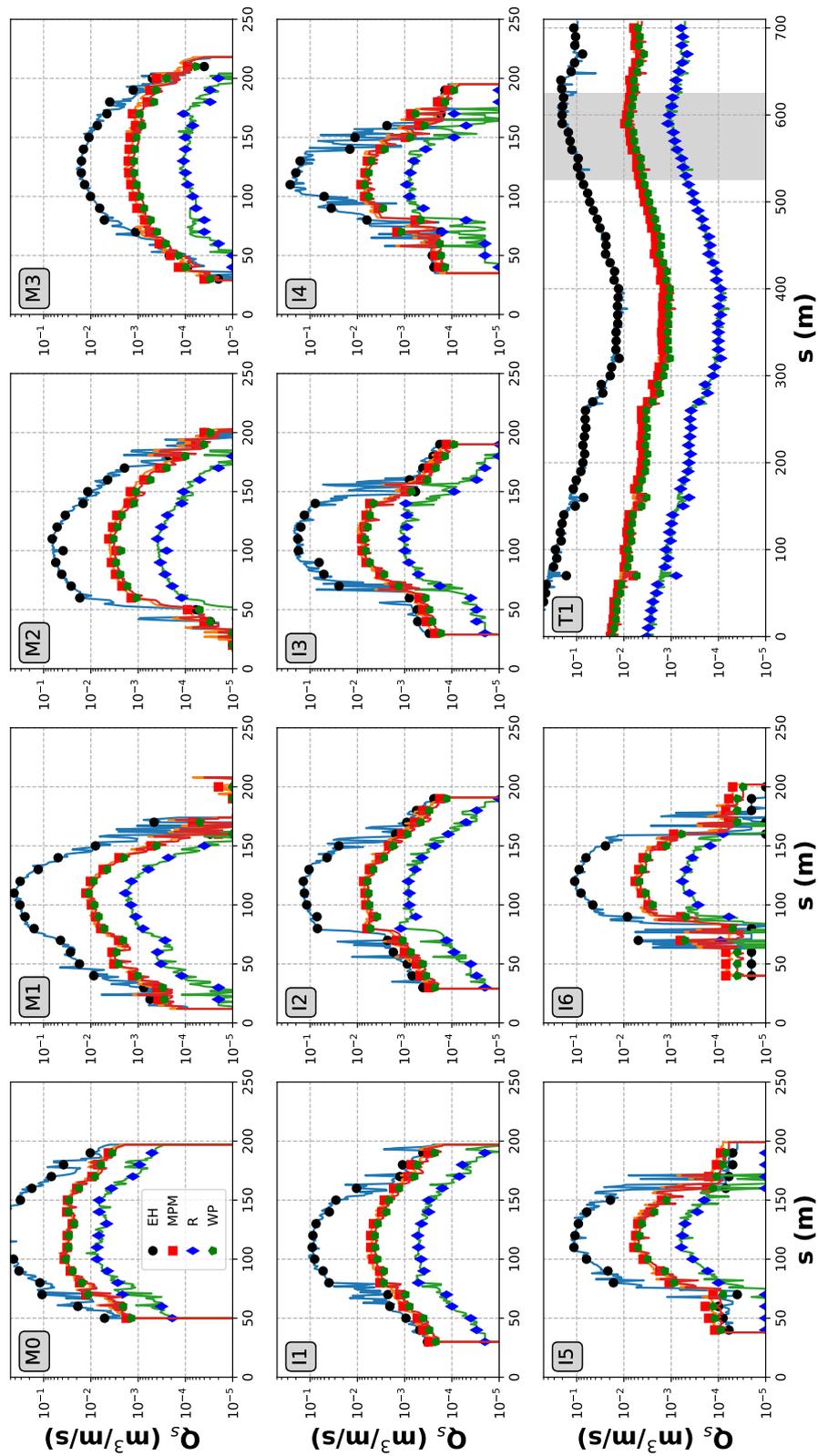
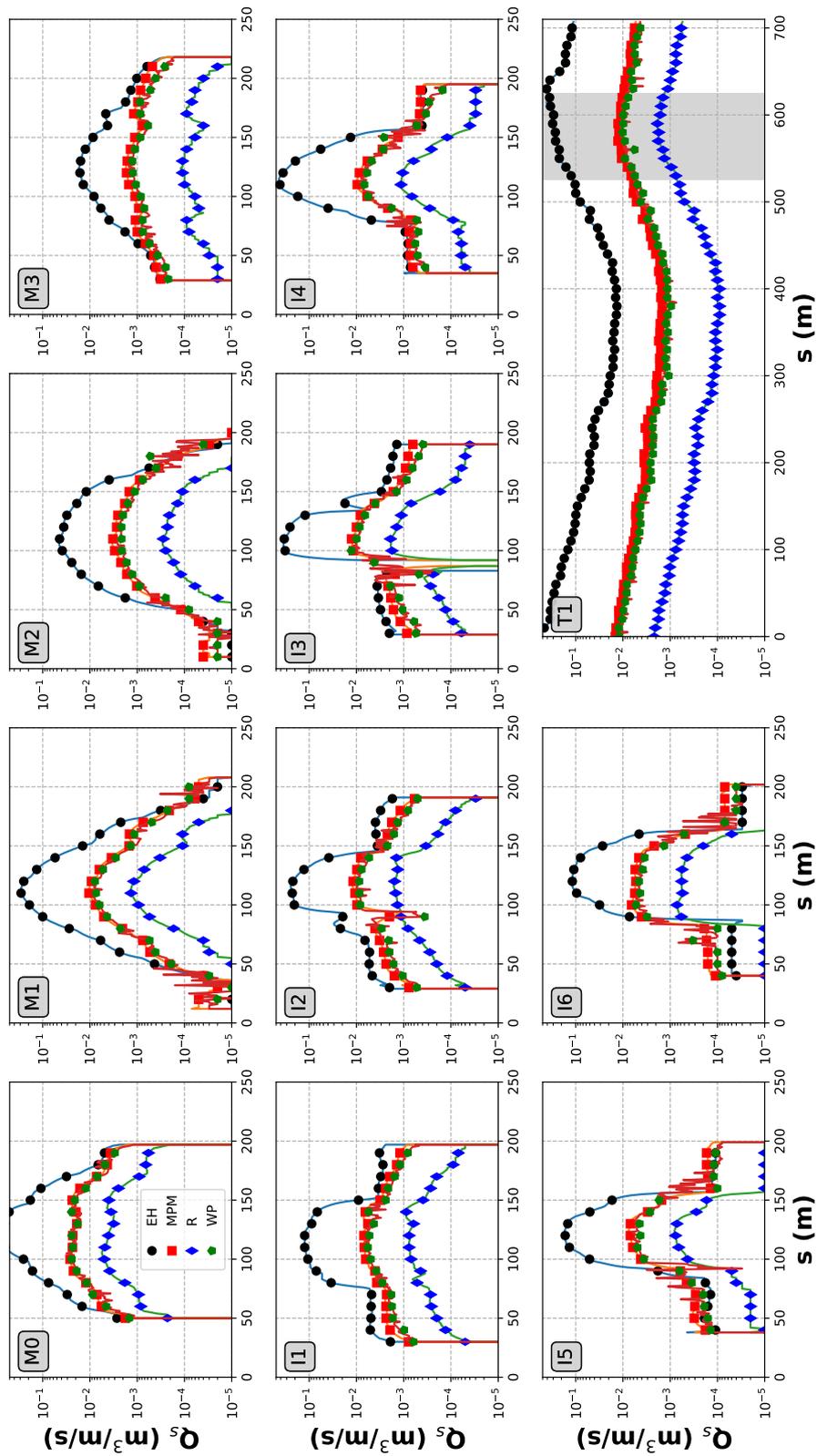


Figura A-99: Configurazione "C". Portata  $1550.0 \text{ m}^3/\text{s}$ . Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.



A.2

Figura A-100: Configurazione "PRP2008". Portata 1600.0 m<sup>3</sup>/s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.



A.2

Figura A-101: Configurazione "A". Portata 1600.0 m<sup>3</sup>/s. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.

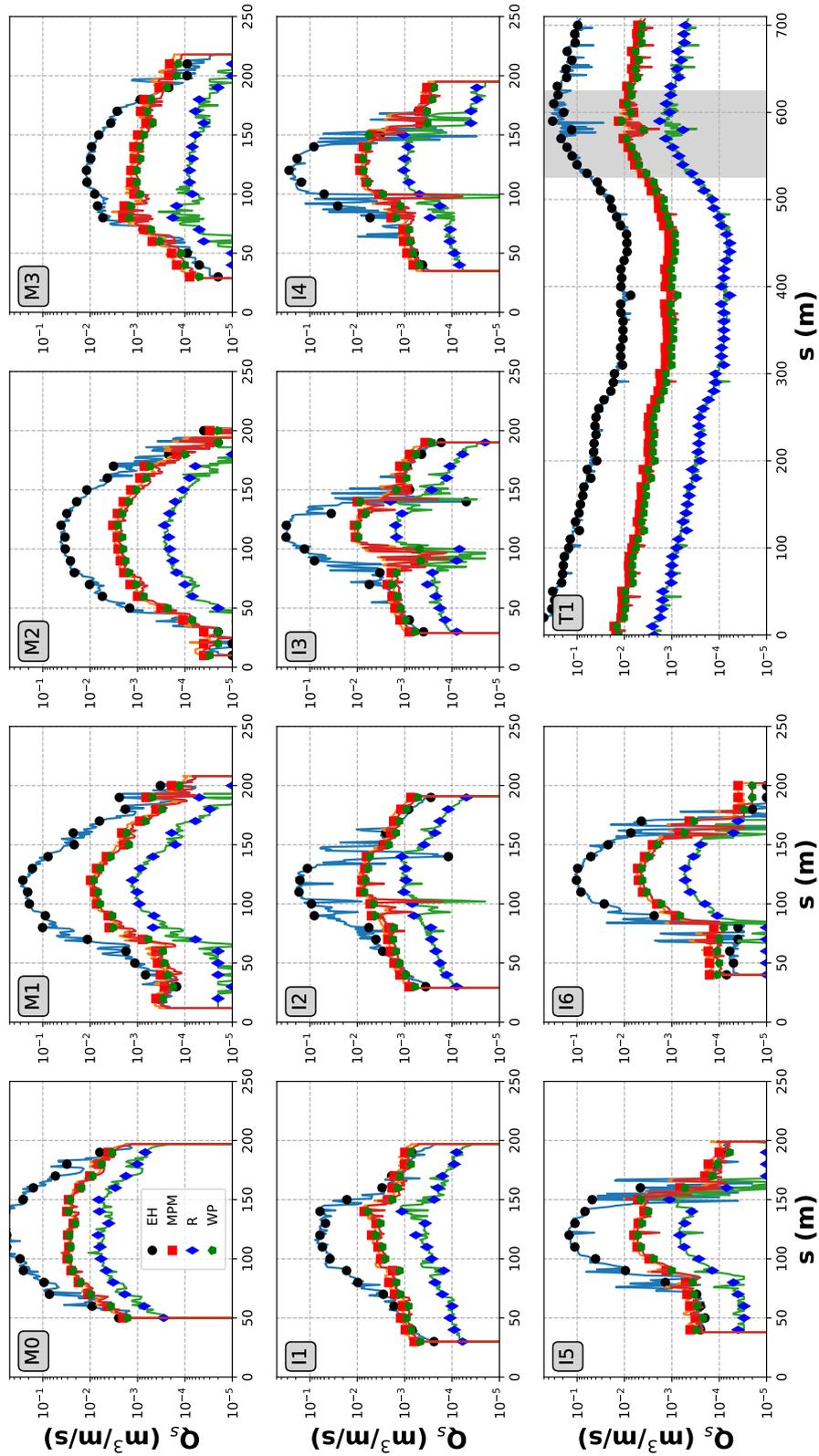


Figura A-102: Configurazione "C". Portata 1600.0  $m^3/s$ . Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.

---

### **A.3 Portate solide totali in corrispondenza delle sezioni significative**

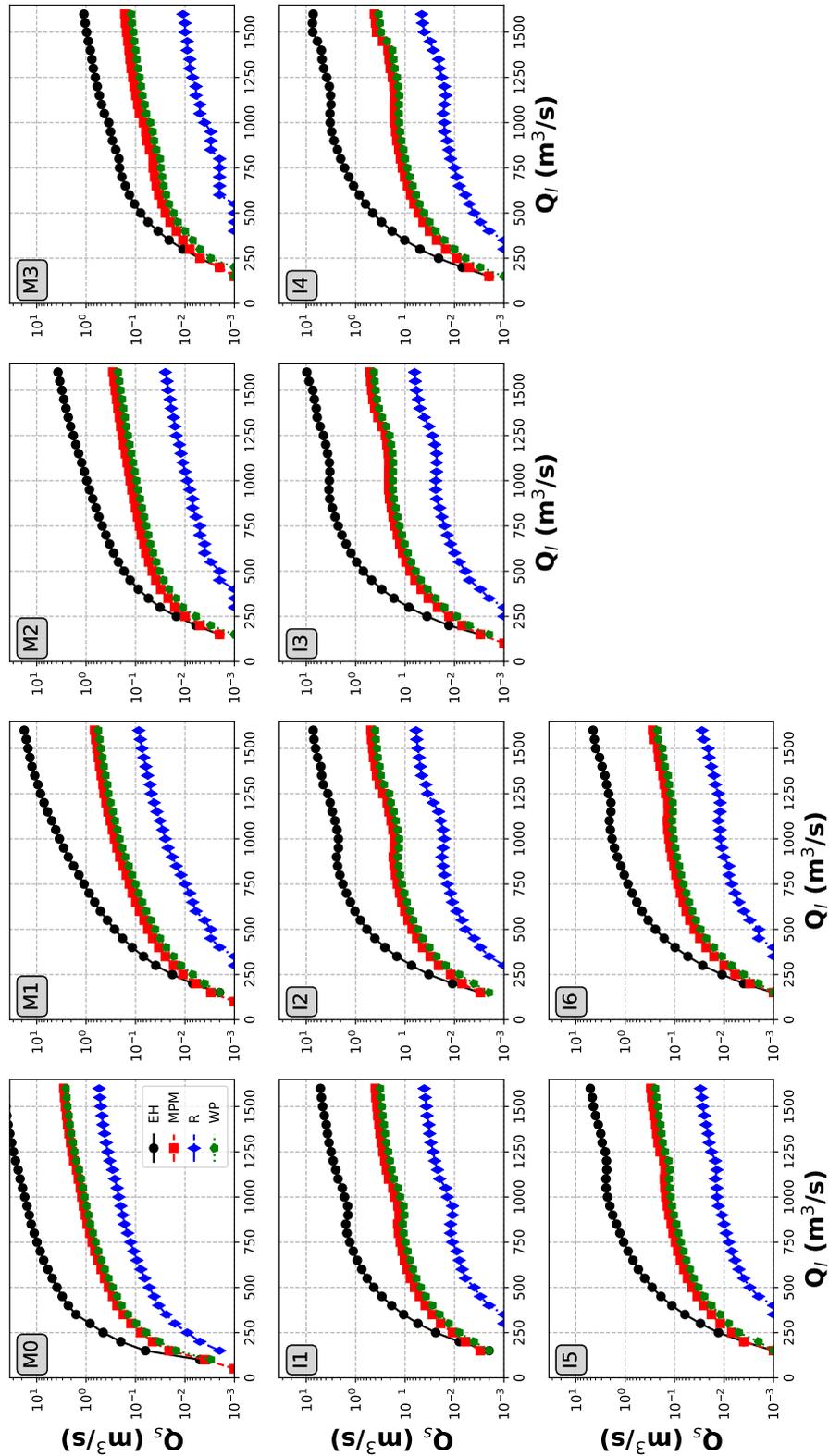
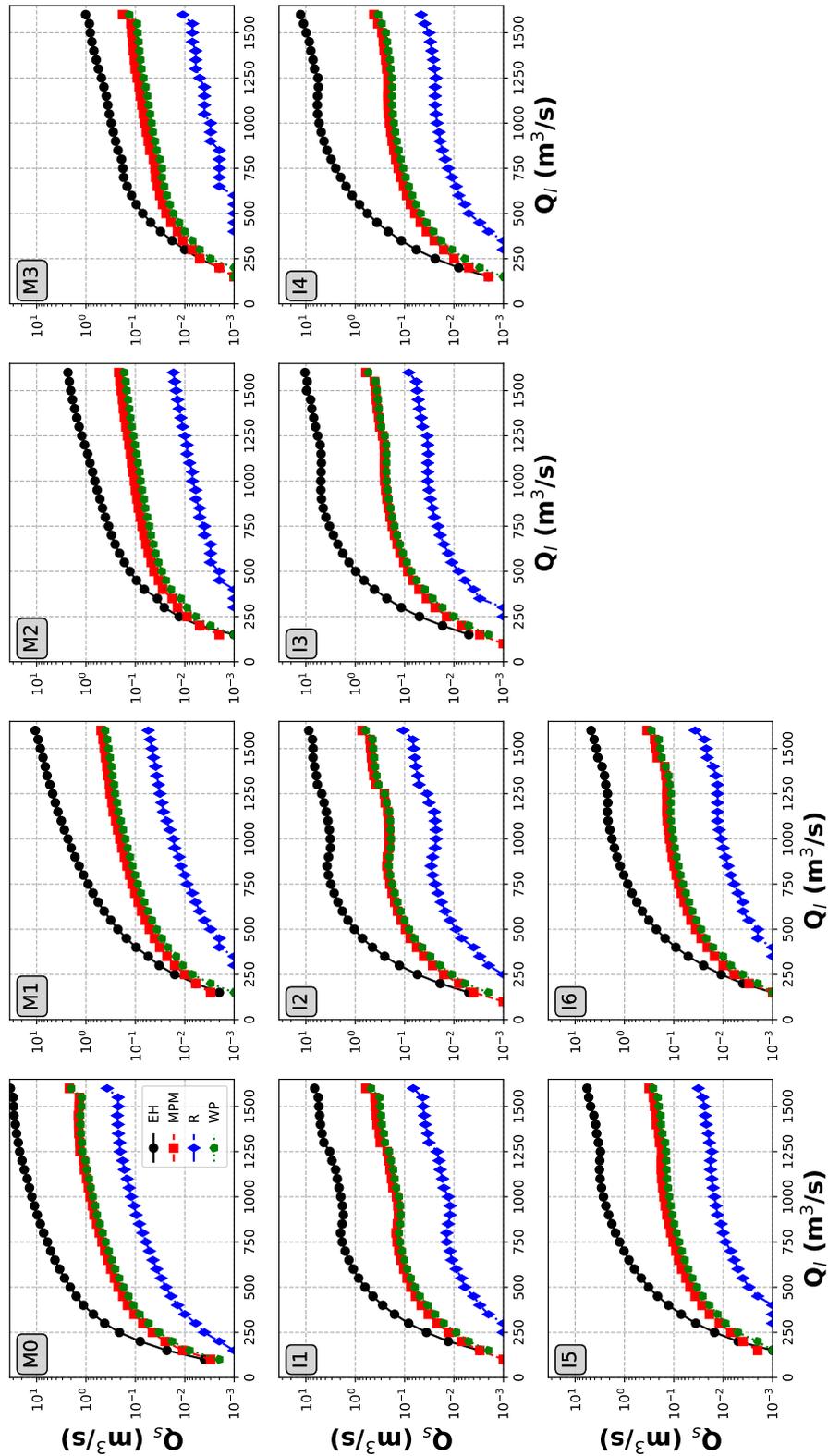
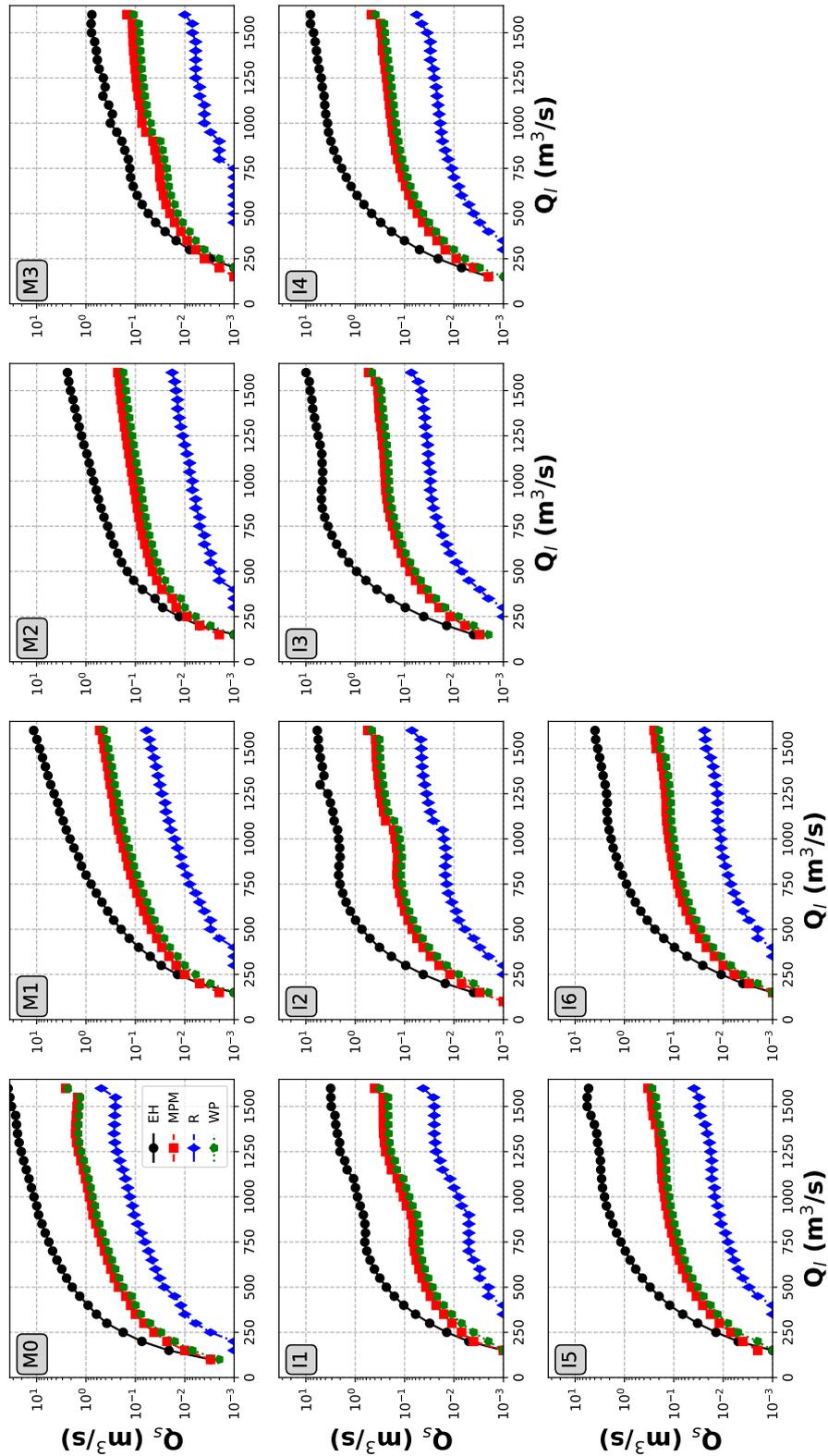


Figura A-103: Configurazione "PRP2008". Portata solida totale in transito in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.



A.3

Figura A-104: Configurazione "A". Portata solida totale in transito in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.



A.3

Figura A-105: Configurazione "C". Portata solida totale in transito in corrispondenza delle sezioni riportate in Figura 2-1.

---

#### A.4 Scale di deflusso solido in corrispondenza dei punti significativi

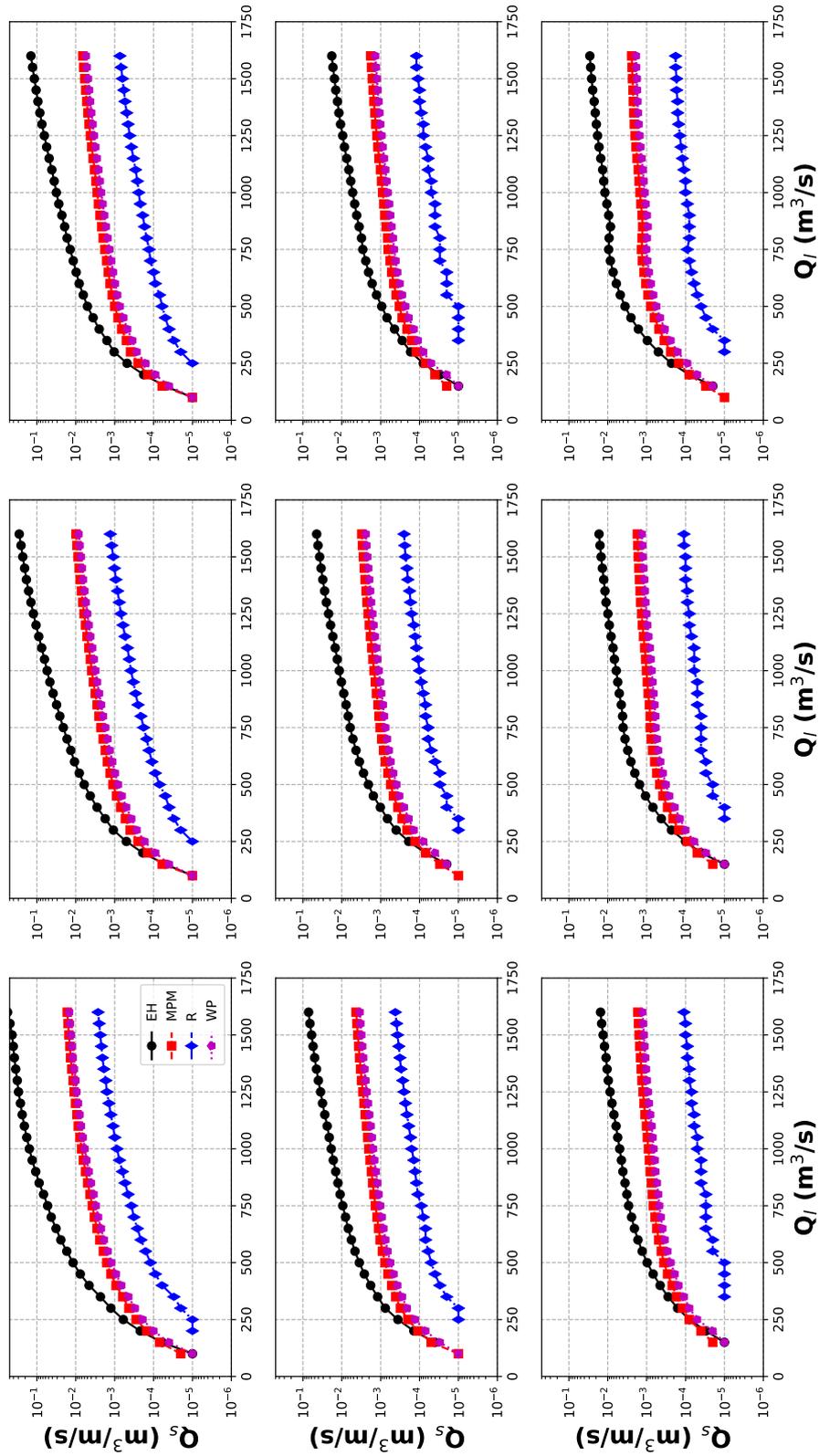


Figura A-106: Configurazione "PRP2008". Punti PM. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza dei punti in Figura 2-3.

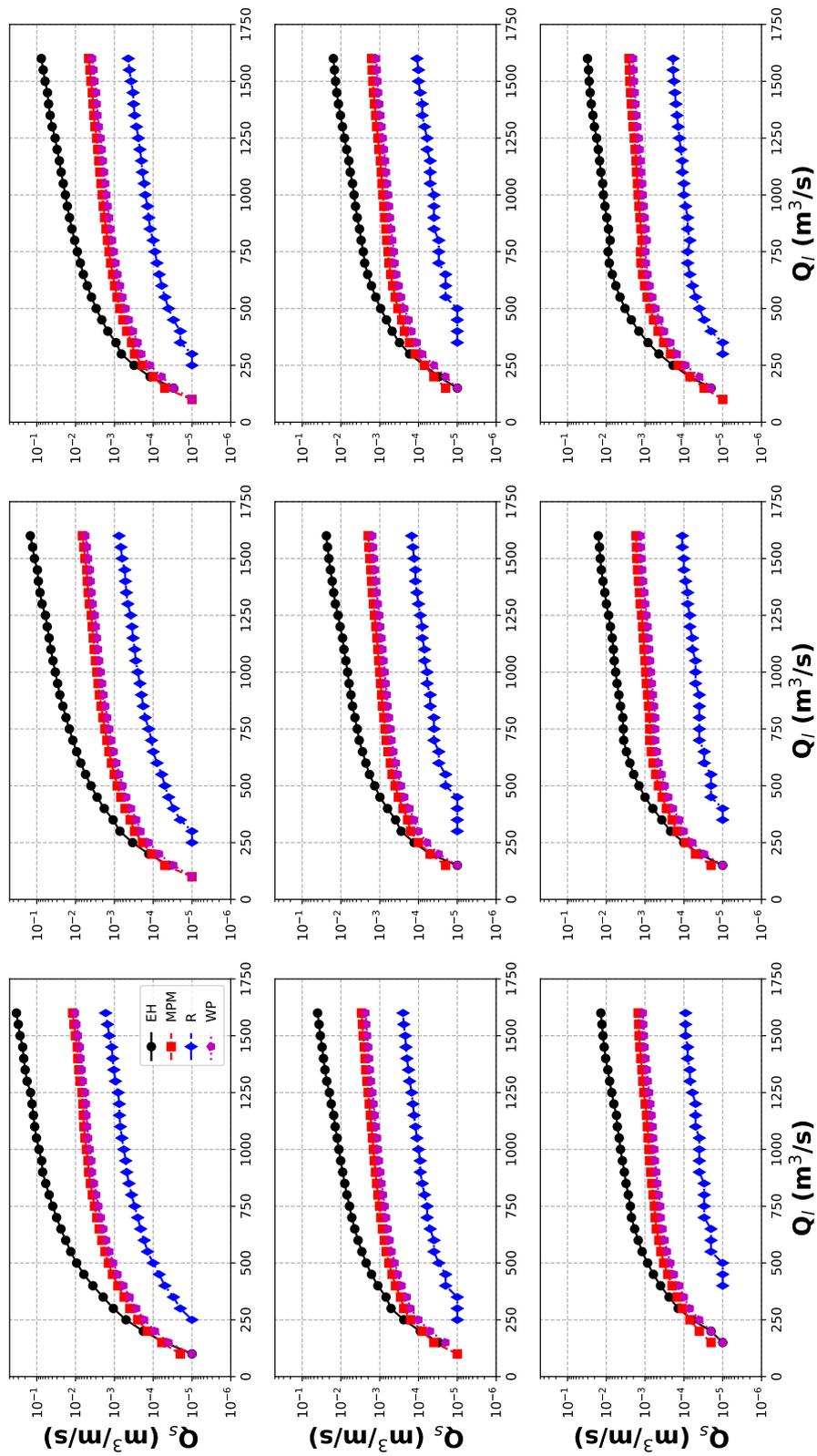


Figura A-107: Configurazione "A". Punti PM. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza dei punti in Figura 2-3.

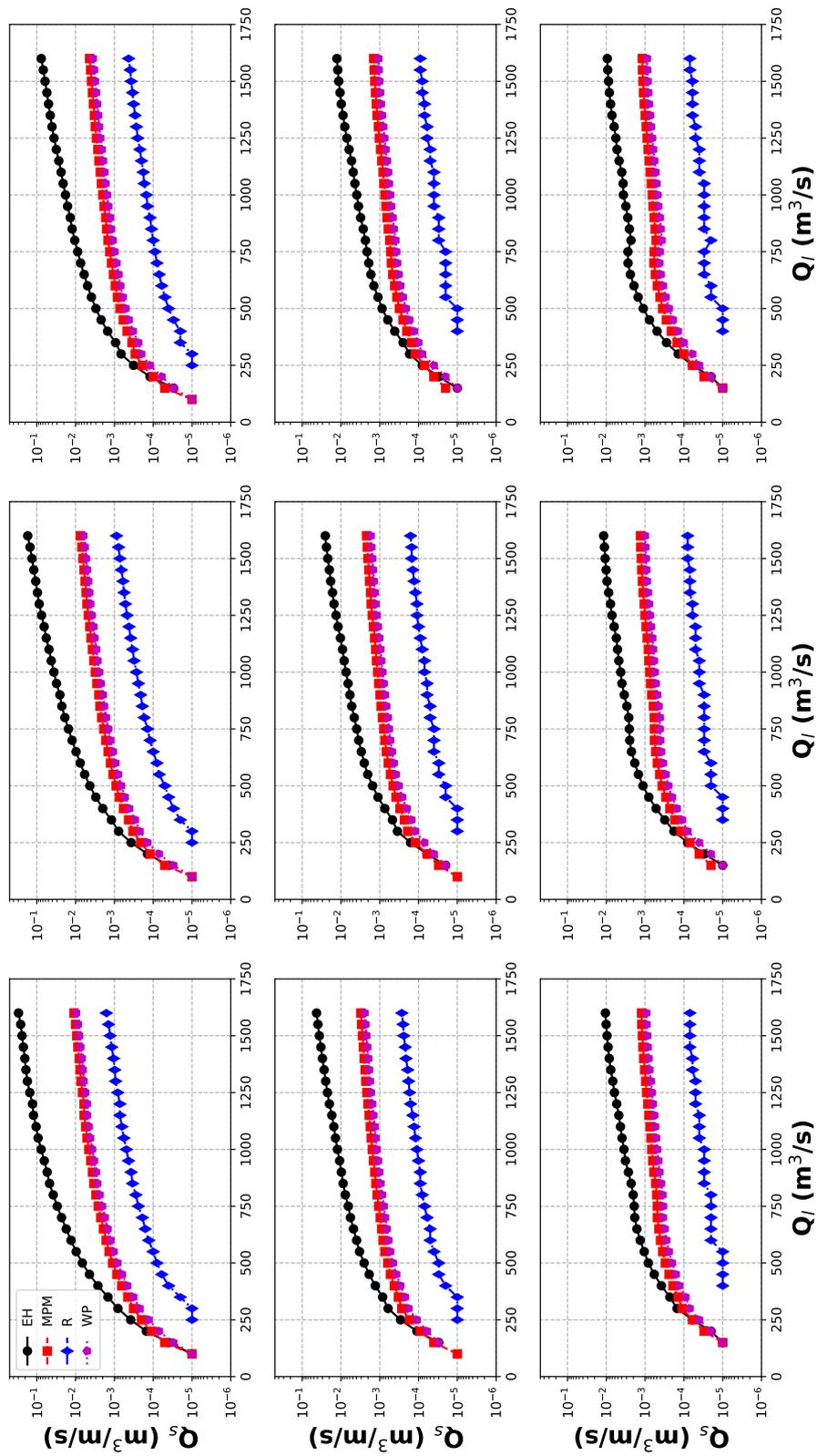


Figura A-108: Configurazione "C". Punti PM. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza dei punti in Figura 2-3.

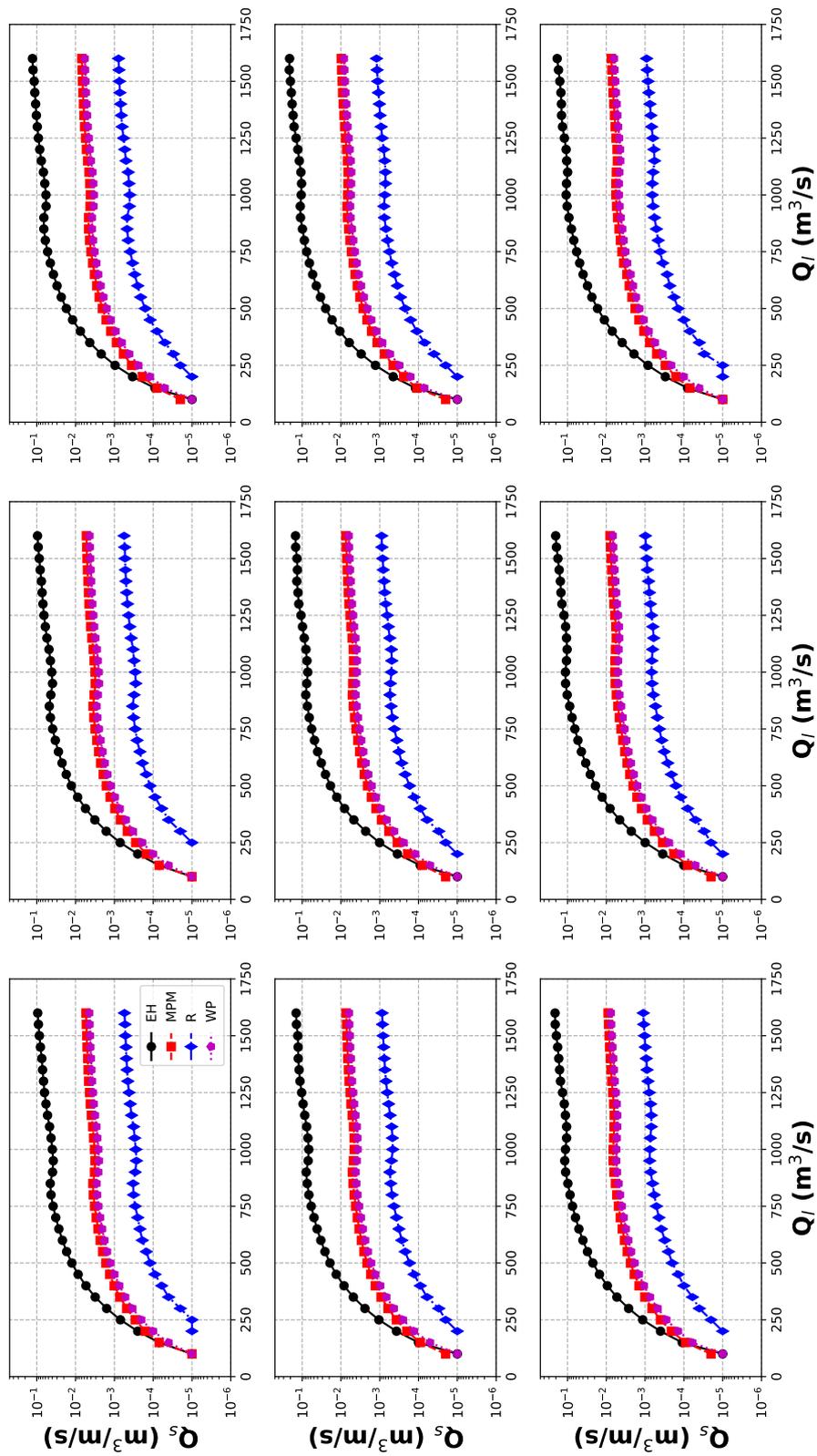


Figura A-109: Configurazione "PRP2008". Punti PC. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza dei punti in Figura 2-2.

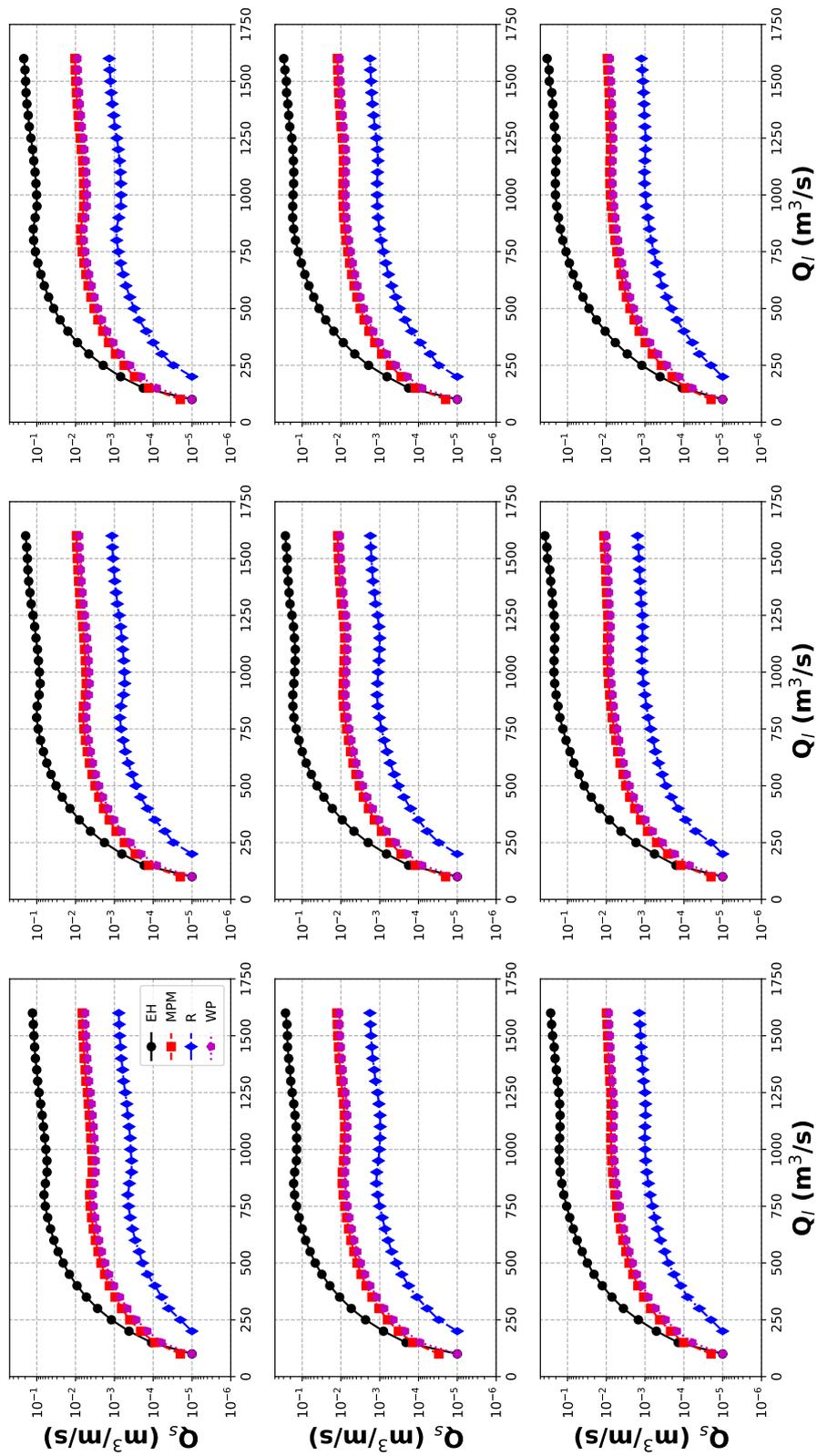


Figura A-110: Configurazione "A". Punti PC. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza dei punti in Figura 2-2.

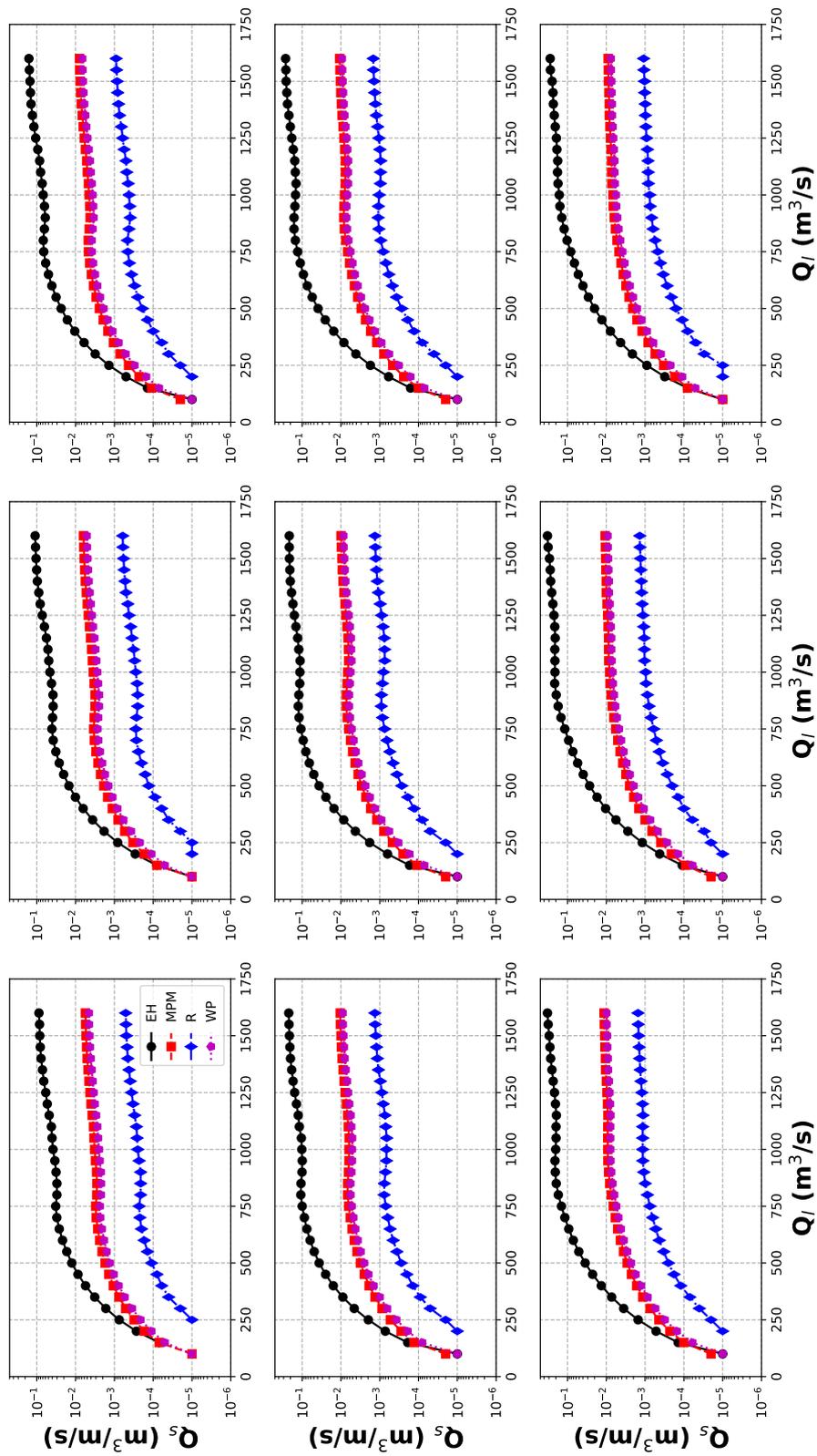


Figura A-111: Configurazione "C". Punti PC. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza dei punti in Figura 2-2.

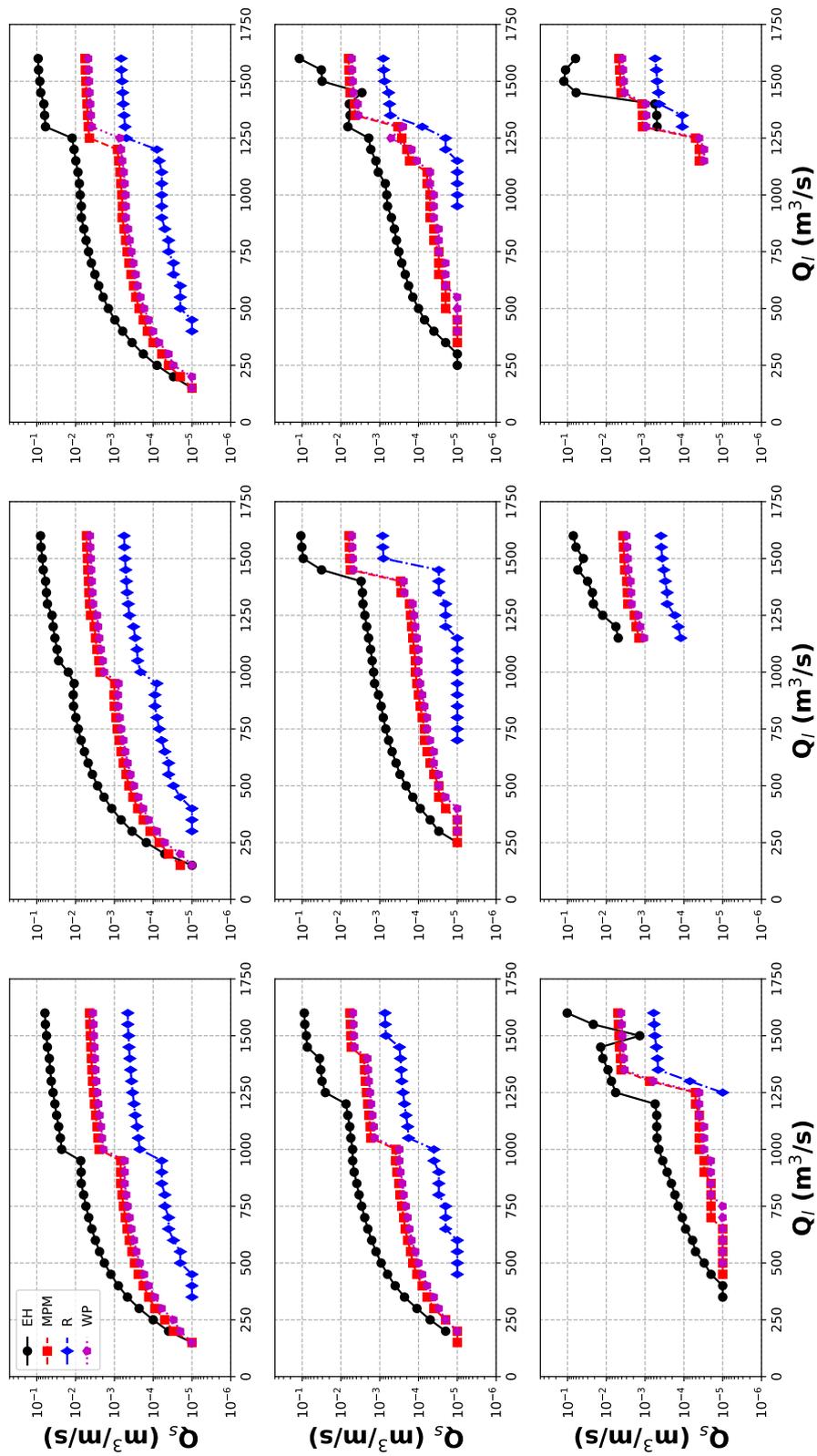


Figura A-112: Configurazione "PRP2008". Punti PD. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza dei punti in Figura 2-2.

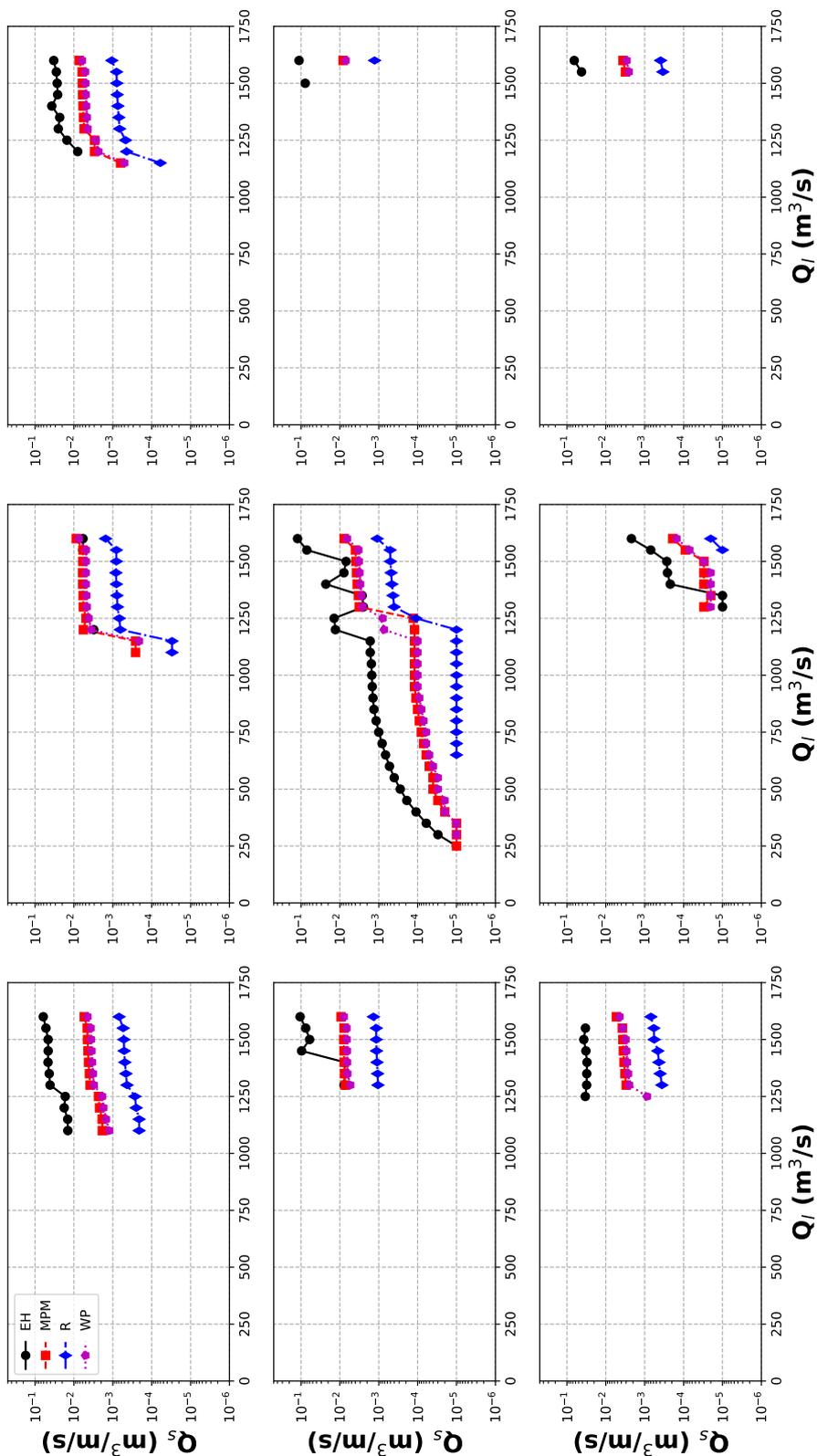


Figura A-113: Configurazione "A". Punti PD. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza dei punti in Figura 2-2.

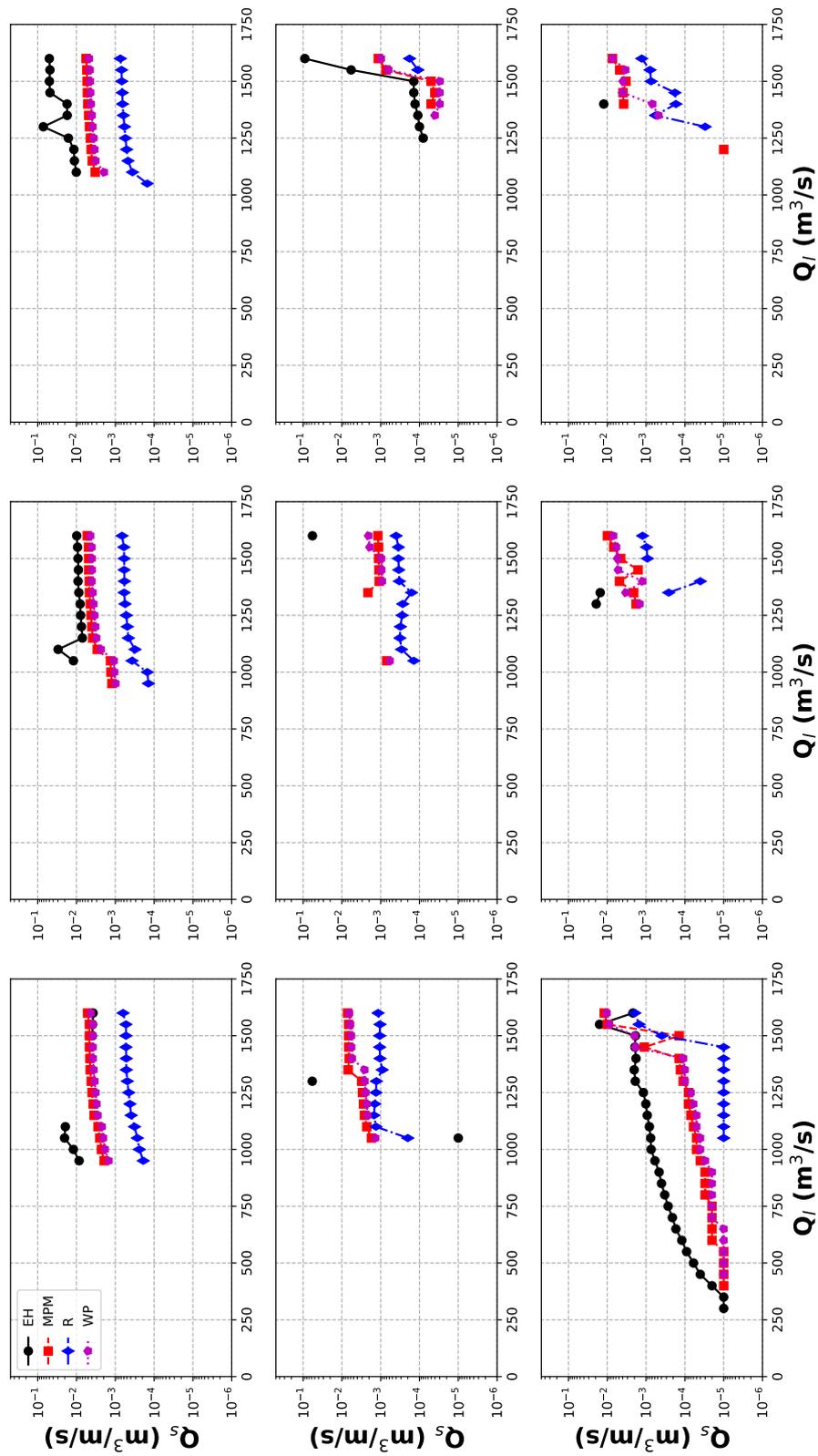


Figura A-114: Configurazione "C". Punti PD. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza dei punti in Figura 2-2.

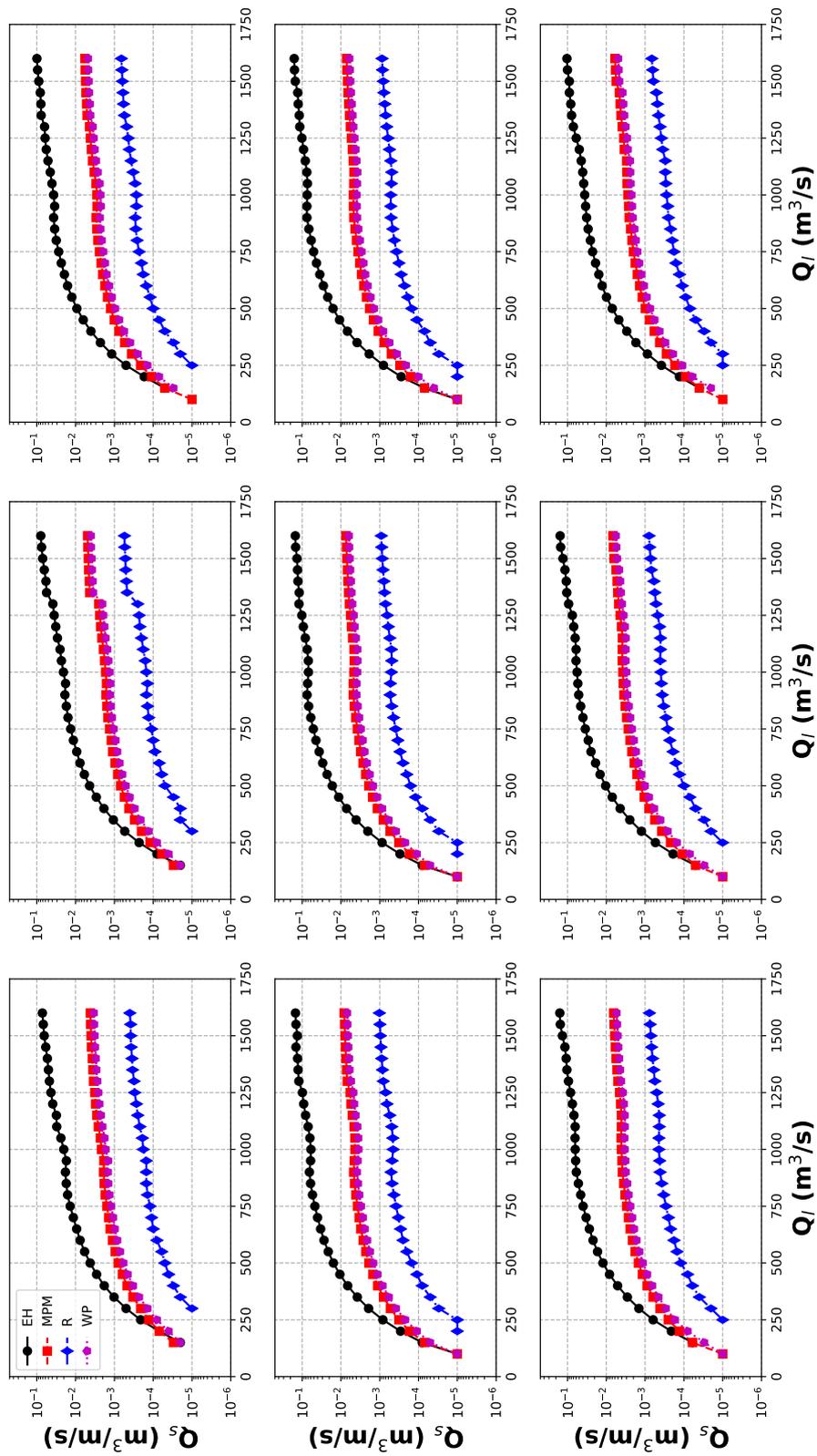


Figura A-115: Configurazione "PRP2008". Punti PS. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza dei punti in Figura 2-2.

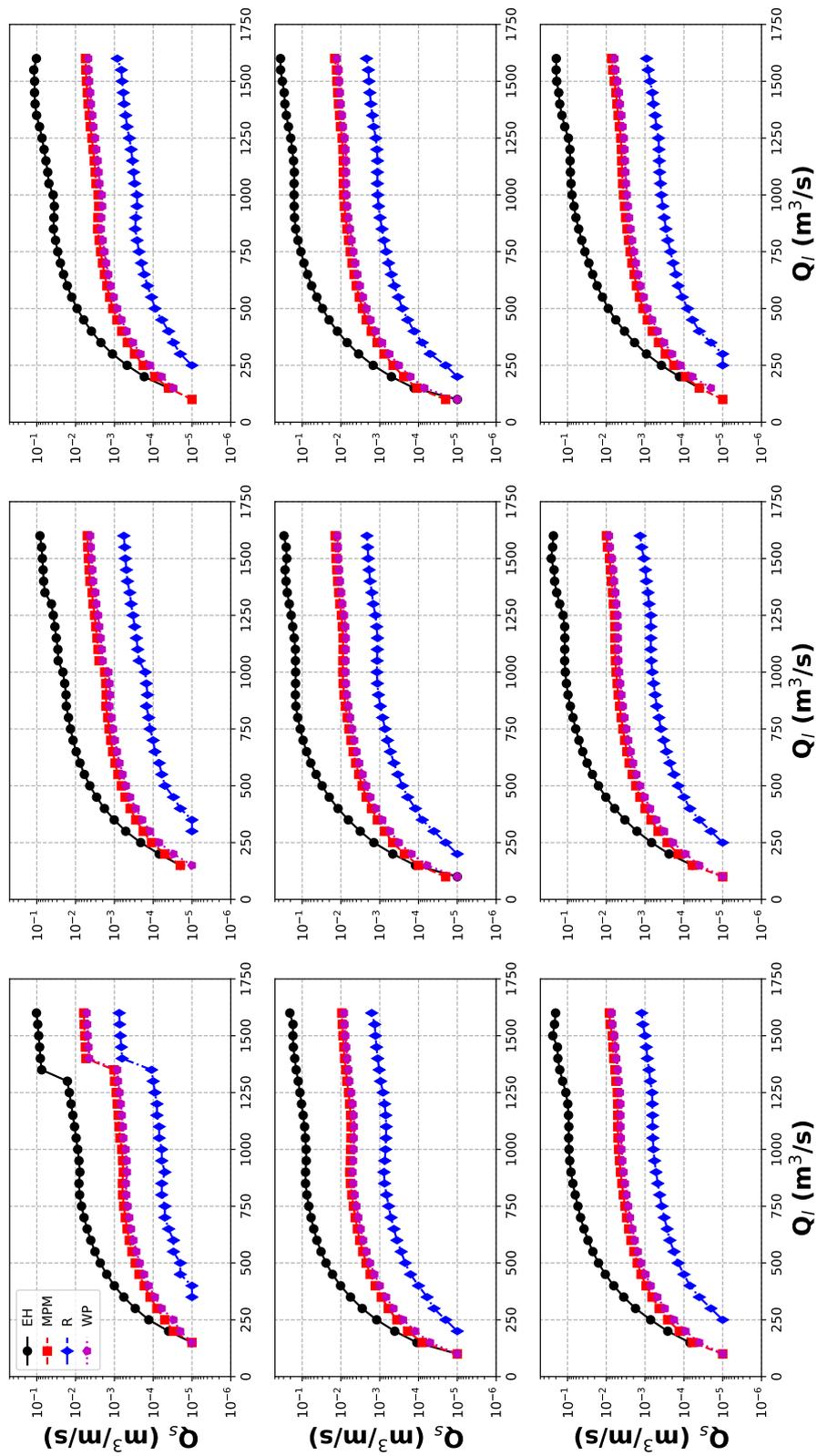


Figura A-116: Configurazione "A". Punti PS. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza dei punti in Figura 2-2.

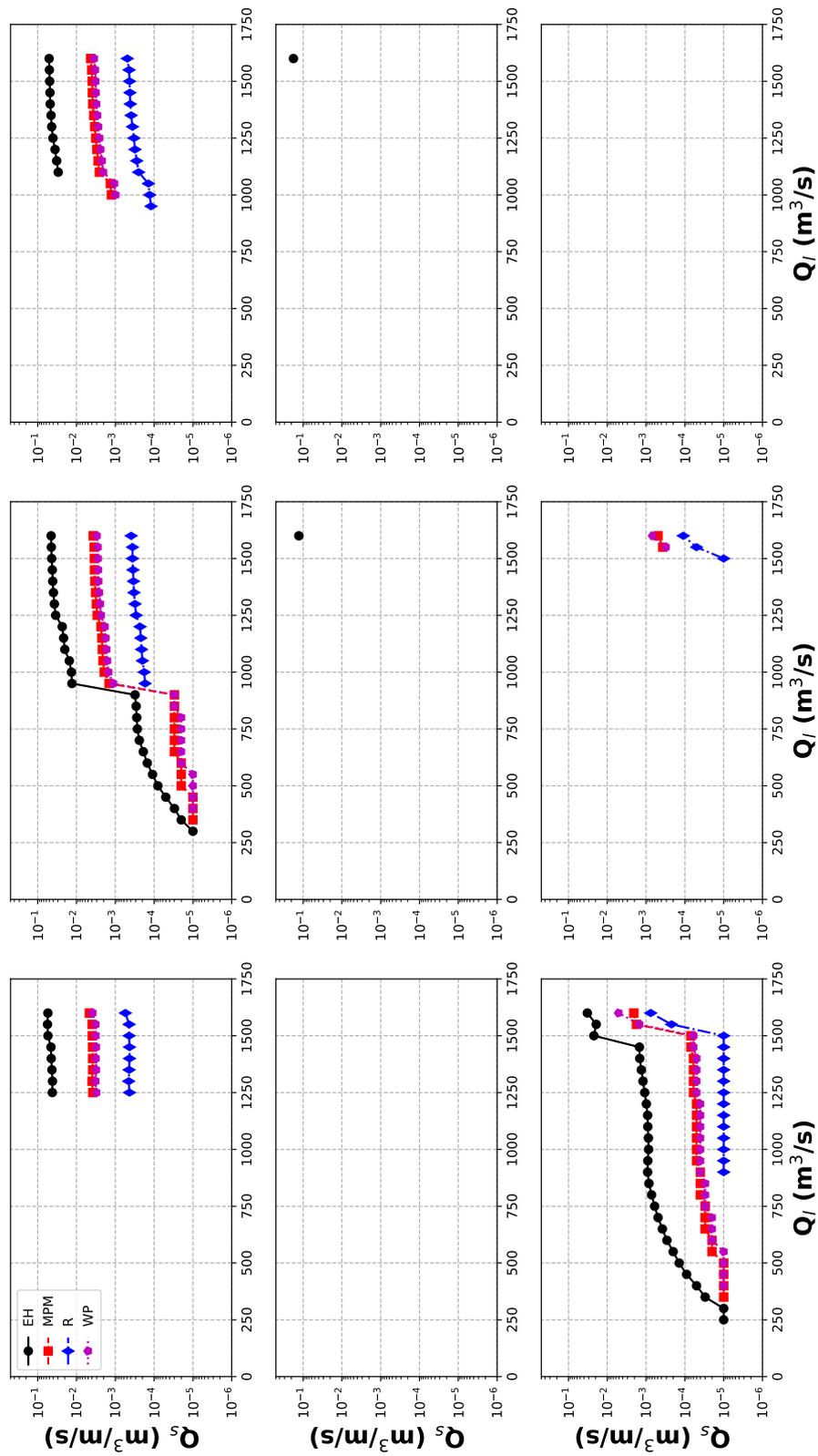


Figura A-117: Configurazione "C". Punti PS. Trasporto solido (per unità di larghezza) in corrispondenza dei punti in Figura 2-2.

---

## A.5 Differenze delle portate solide totali tra sezioni consecutive

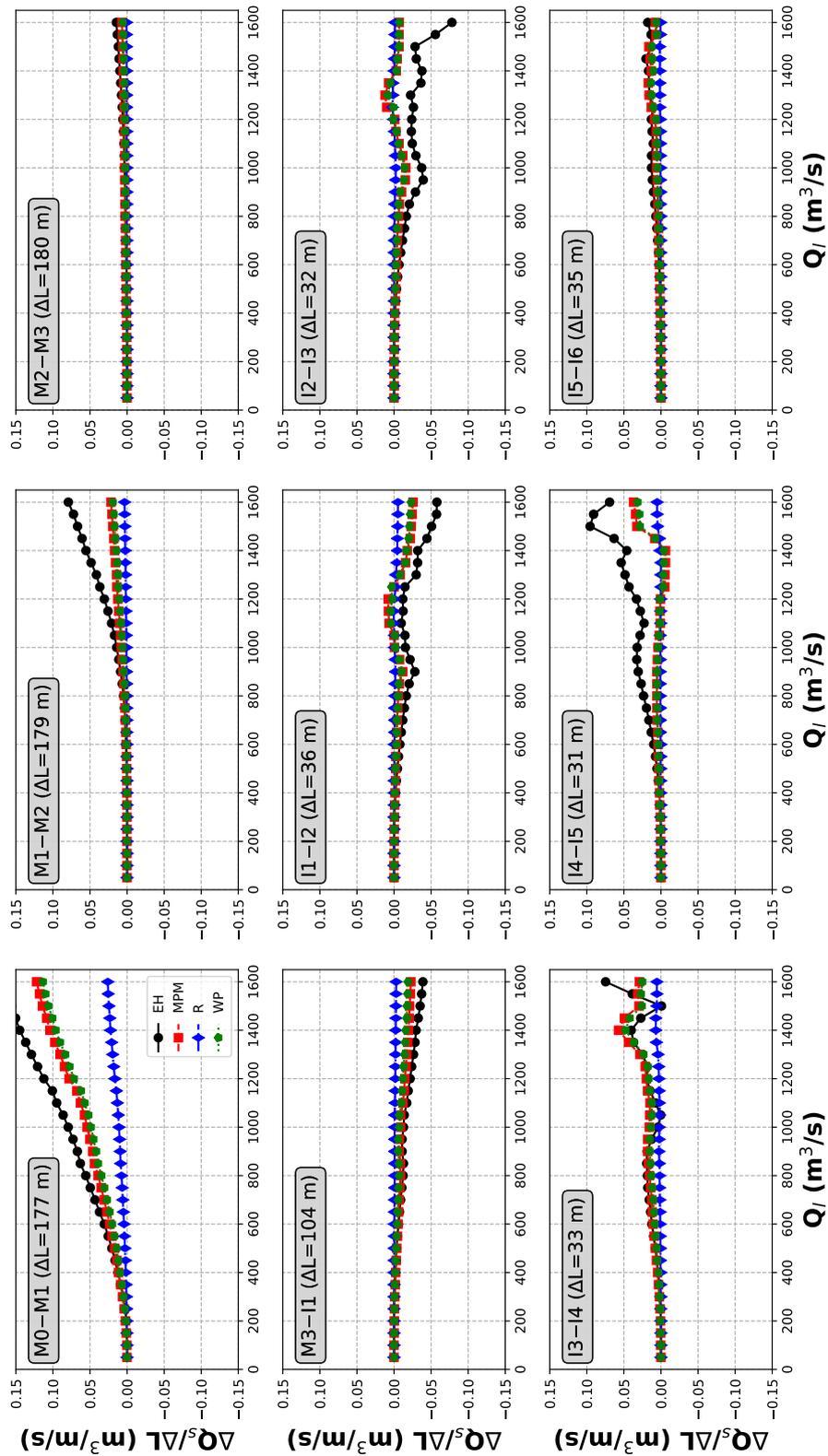


Figura A-118: Configurazione "PRP2008". Differenza della portata solida totale in transito in corrispondenza delle coppie di sezioni consecutive riportate in Figura 2-1.

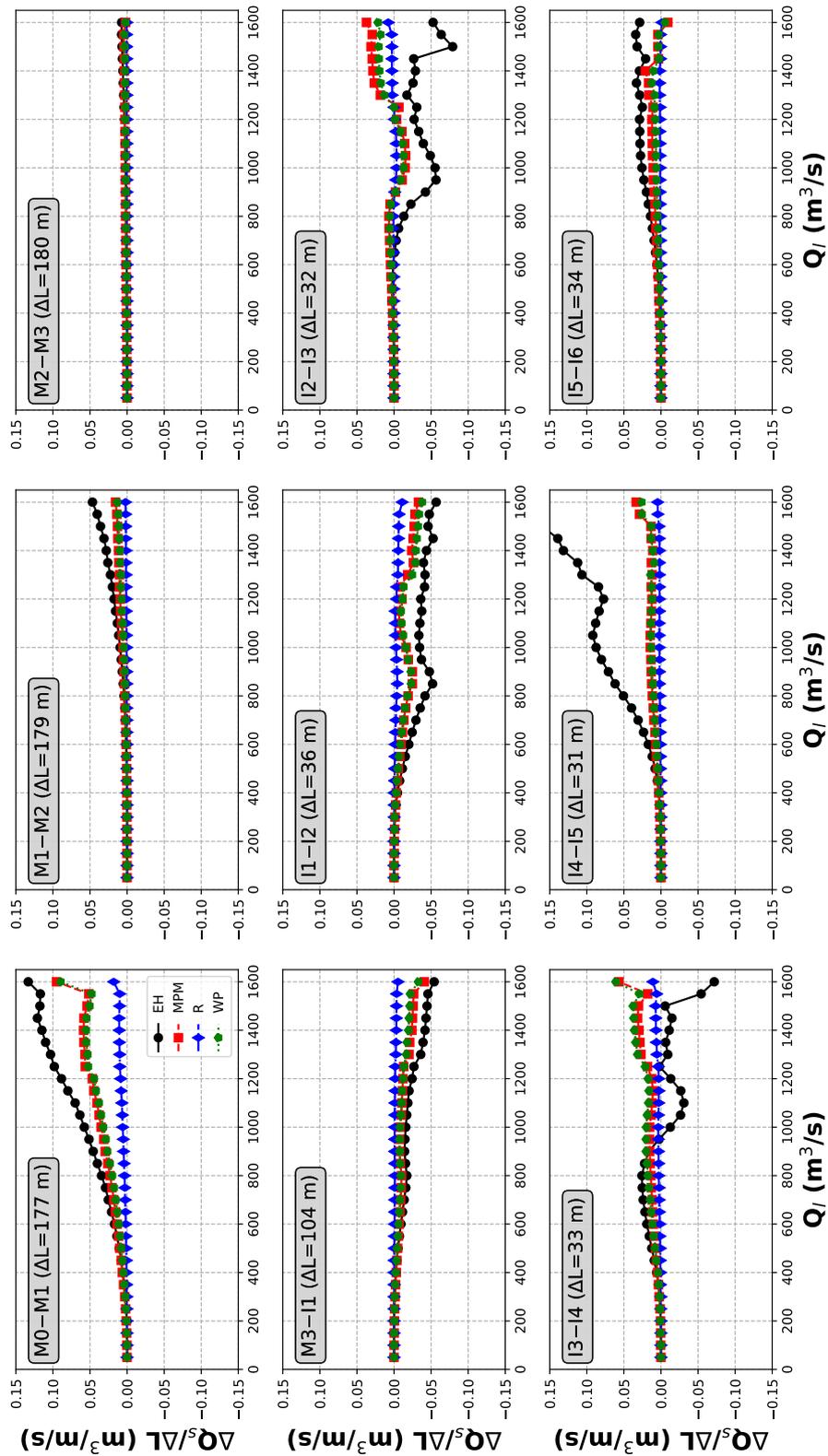


Figura A-119: Configurazione "A". Differenza della portata solida totale in transito in corrispondenza delle coppie di sezioni consecutive riportate in Figura 2-1.

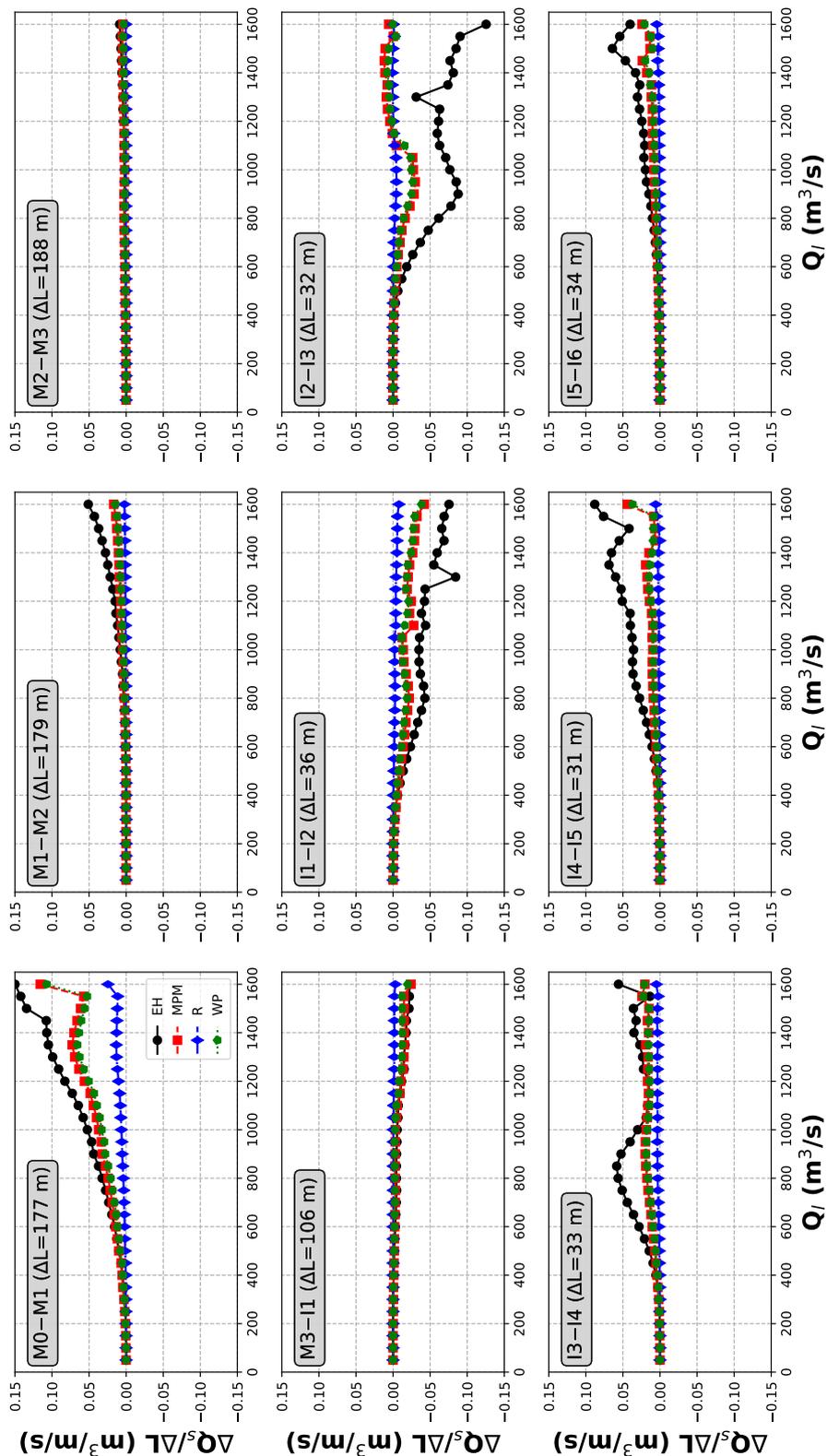


Figura A-120: Configurazione "C". Differenza della portata solida totale in transito in corrispondenza delle coppie di sezioni consecutive riportate in Figura 2-1.

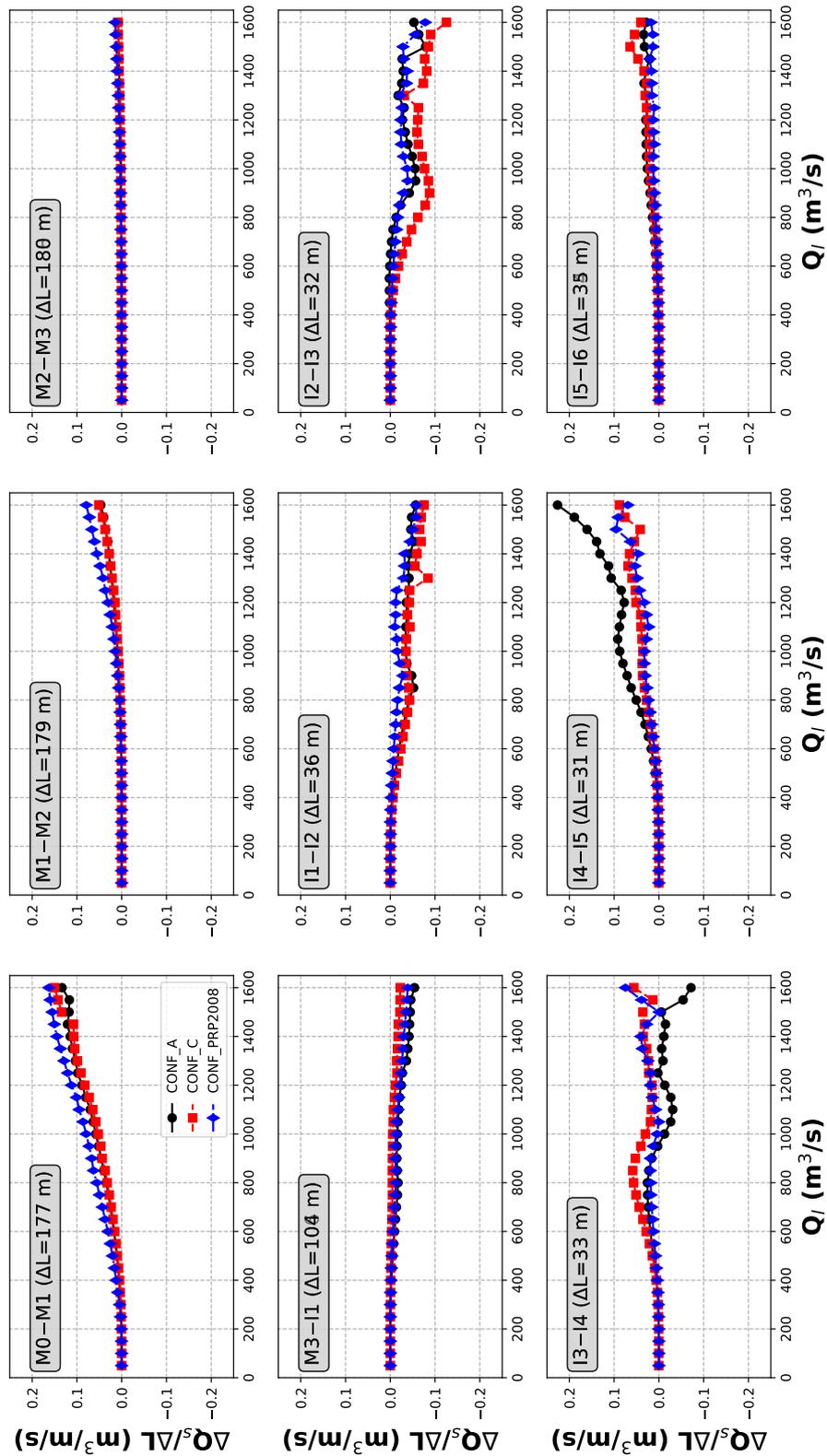


Figura A-121: Confronto della differenza della portata solida totale in transito in corrispondenza delle coppie di sezioni consecutive riportate in Figura 2-1 stimata con la formulazione EH per tutte le configurazioni considerate.

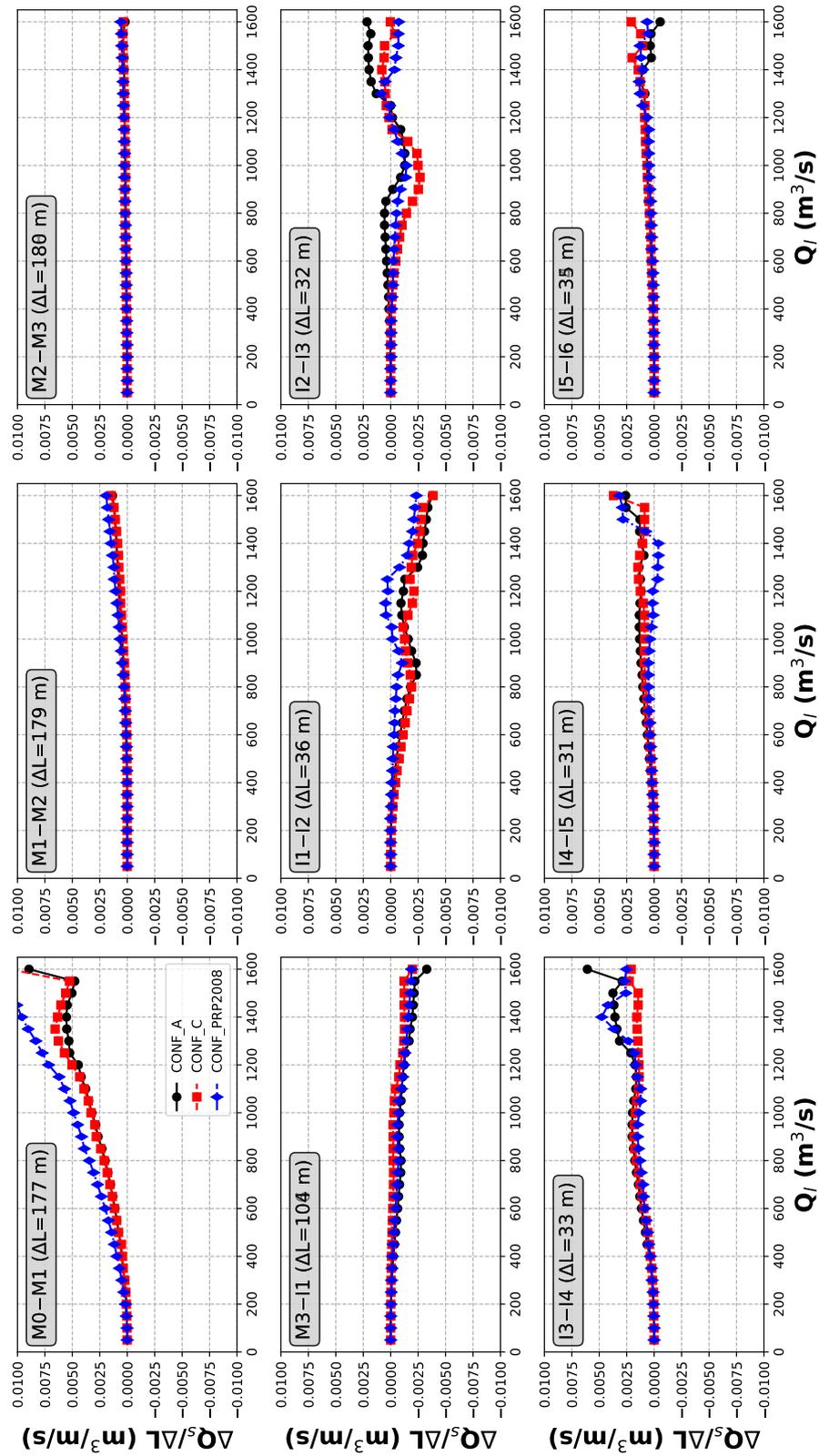


Figura A-122: Confronto della differenza della portata solida totale in transito in corrispondenza delle coppie di sezioni consecutive riportate in Figura 2-1 stimata con la formulazione WP per tutte le configurazioni considerate.

---

**A.6 Tasso medio di variazione della profondità tra sezioni consecutive**

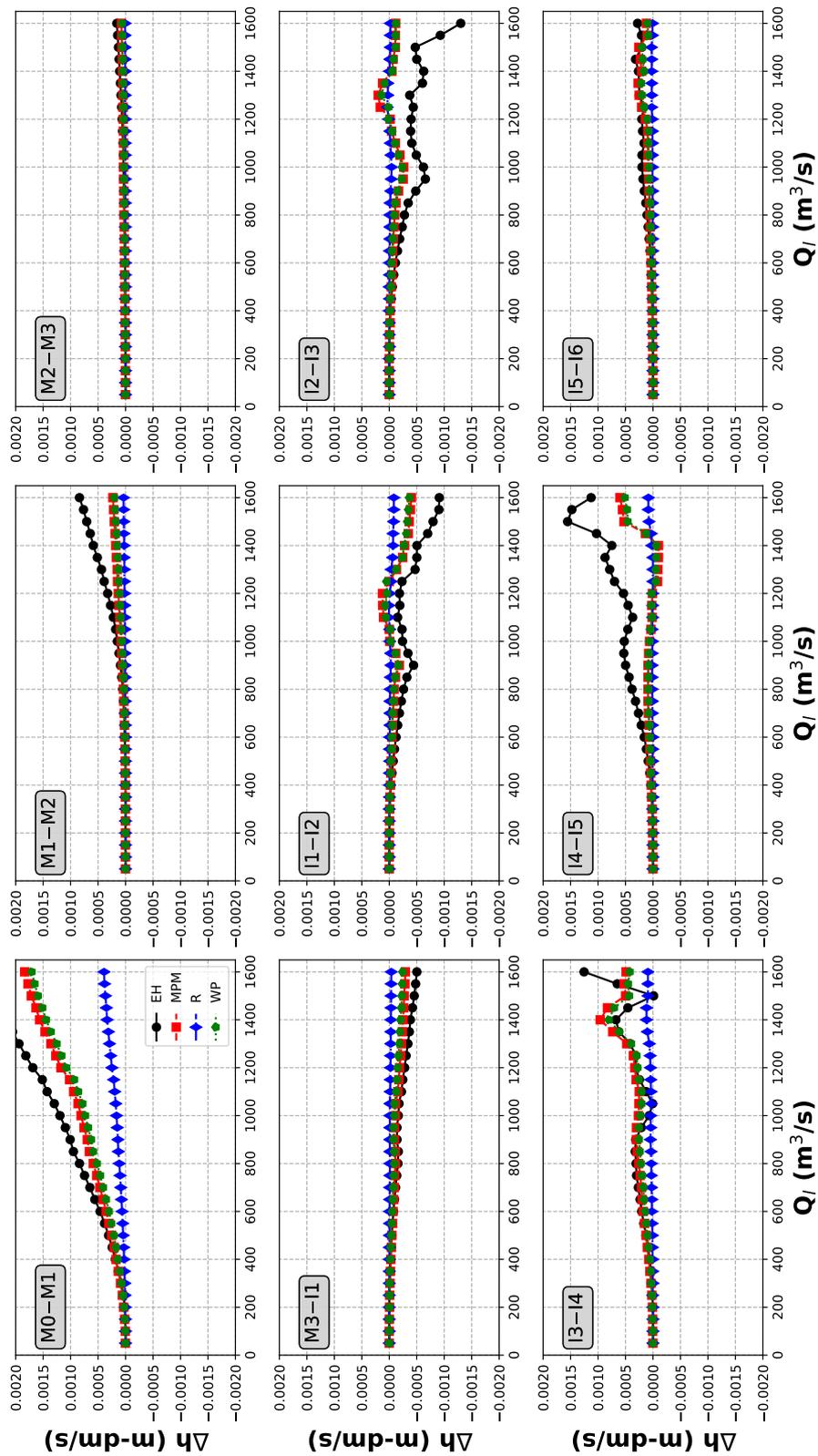


Figura A-123: Configurazione "PRP2008". Tasso di variazione medio di profondità valutato sulla base della differenza della portata solida totale in transito in corrispondenza delle coppie di sezioni consecutive riportate in Figura 2-1. Per le formulazioni MPM, R e WP le variazioni sono espresse in dm/s.

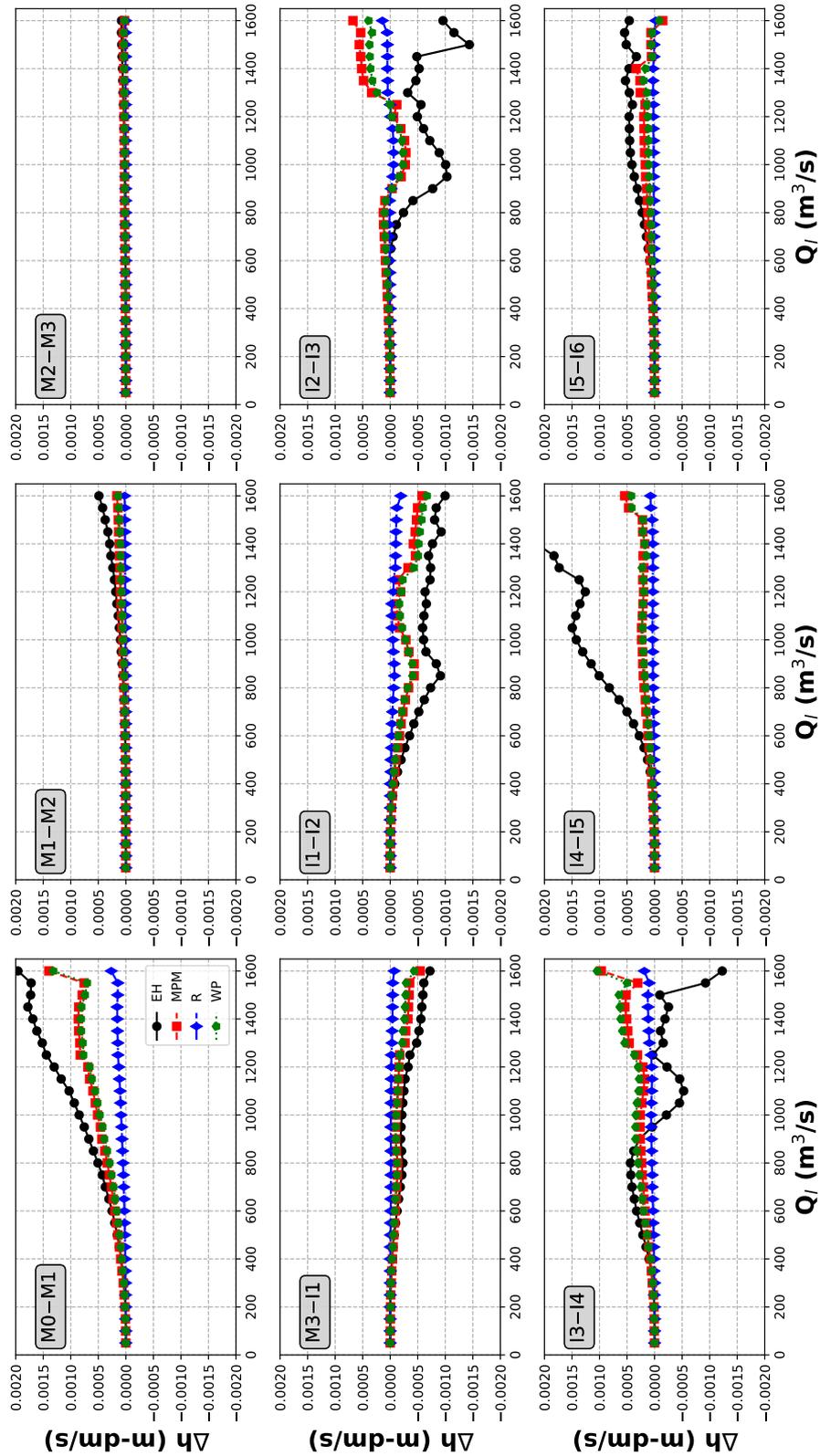


Figura A-124: Configurazione "A". Tasso di variazione medio di profondità valutato sulla base della differenza della portata solida totale in transito in corrispondenza delle coppie di sezioni consecutive riportate in Figura 2-1. Per le formulazioni MPM, R e WP le variazioni sono espresse in dm/s.

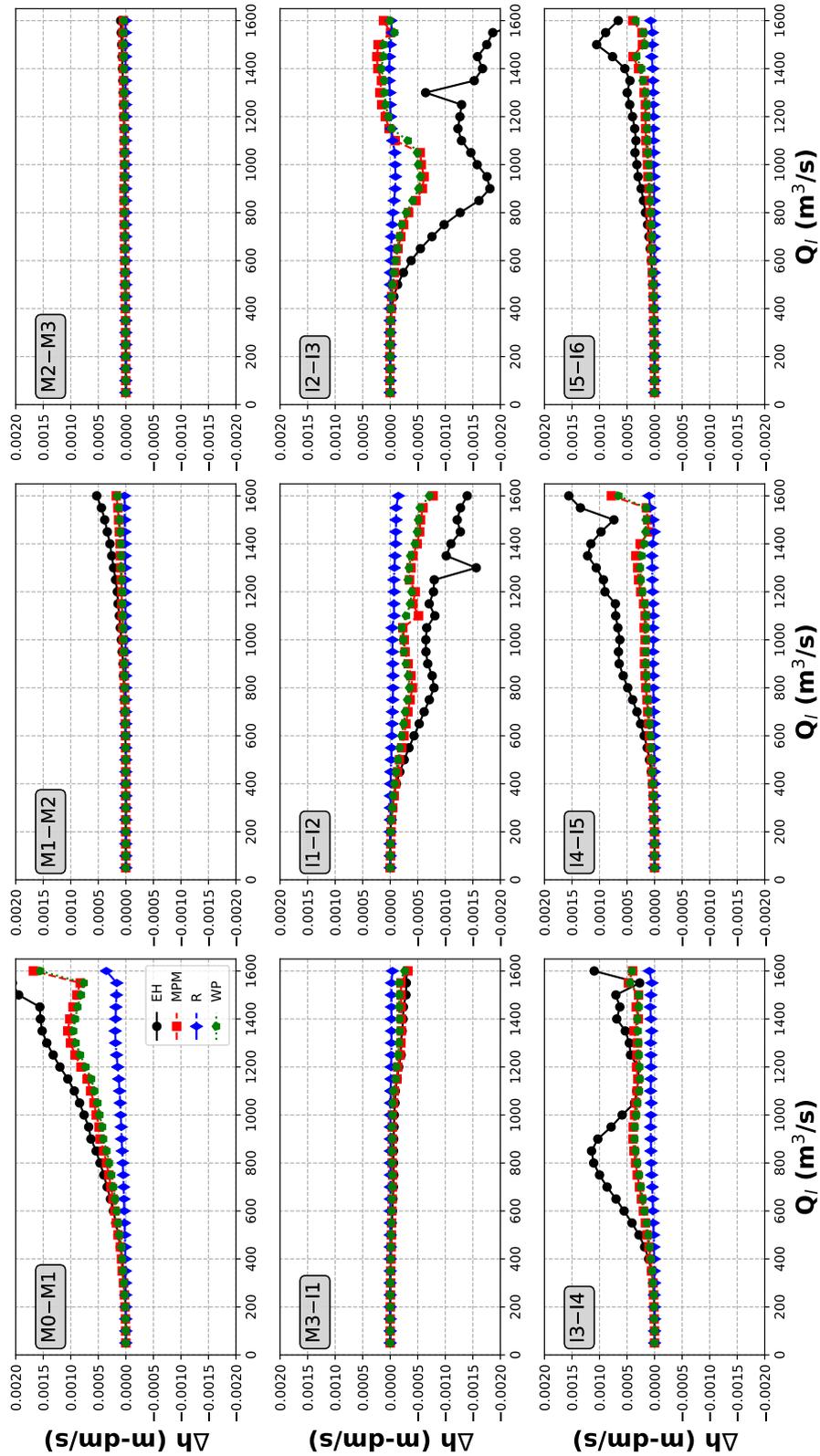


Figura A-125: Configurazione "C". Tasso di variazione medio di profondità valutato sulla base della differenza della portata solida totale in transito in corrispondenza delle coppie di sezioni consecutive riportate in Figura 2-1. Per le formulazioni MPM, R e WP le variazioni sono espresse in dm/s.

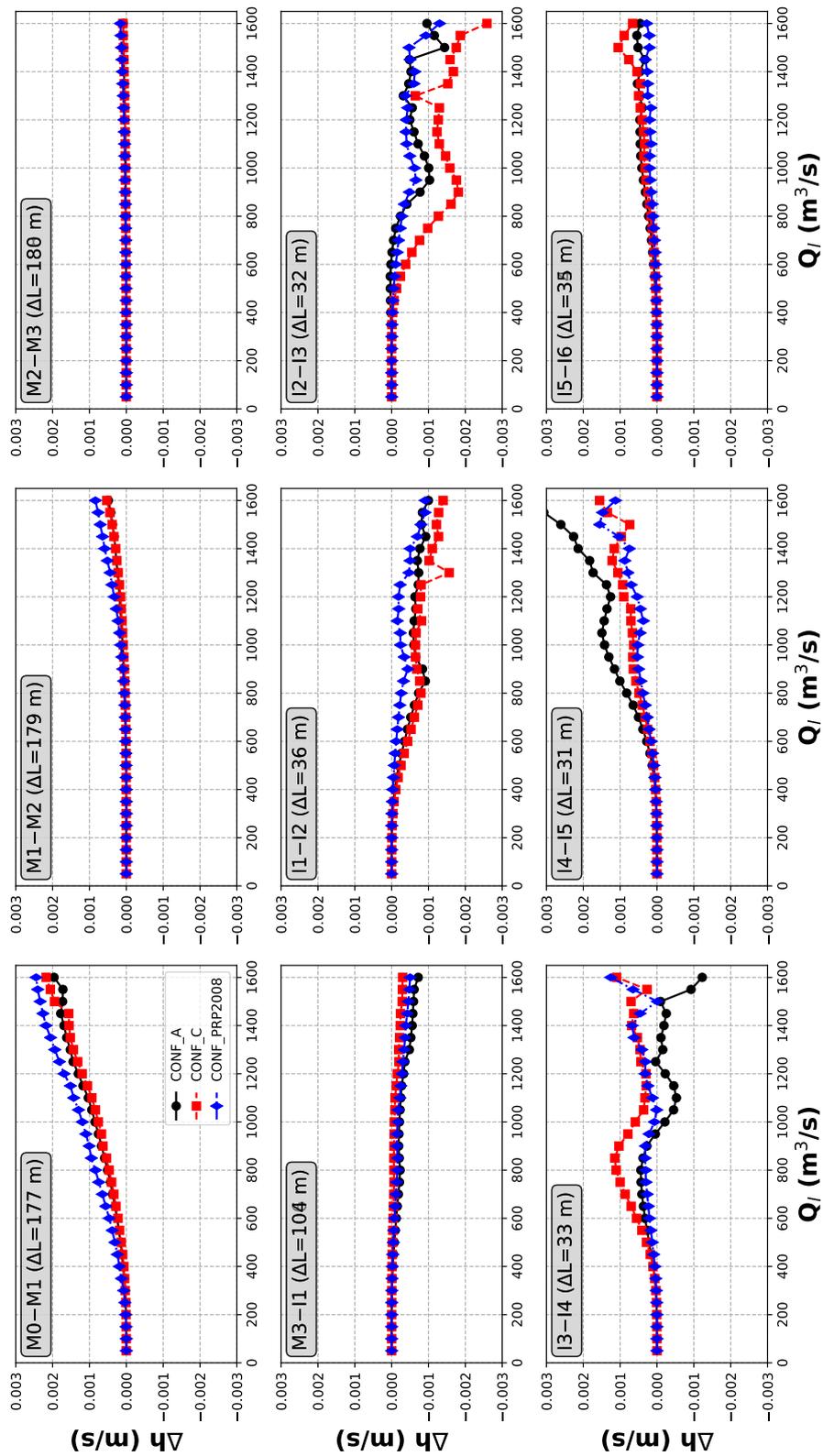


Figura A-126: Confronto del tasso di variazione medio di profondità valutato sulla base della differenza della portata solida totale in transito in corrispondenza delle coppie di sezioni consecutive riportate in Figura 2-1 stimata con la formulazione EH per tutte le configurazioni considerate.

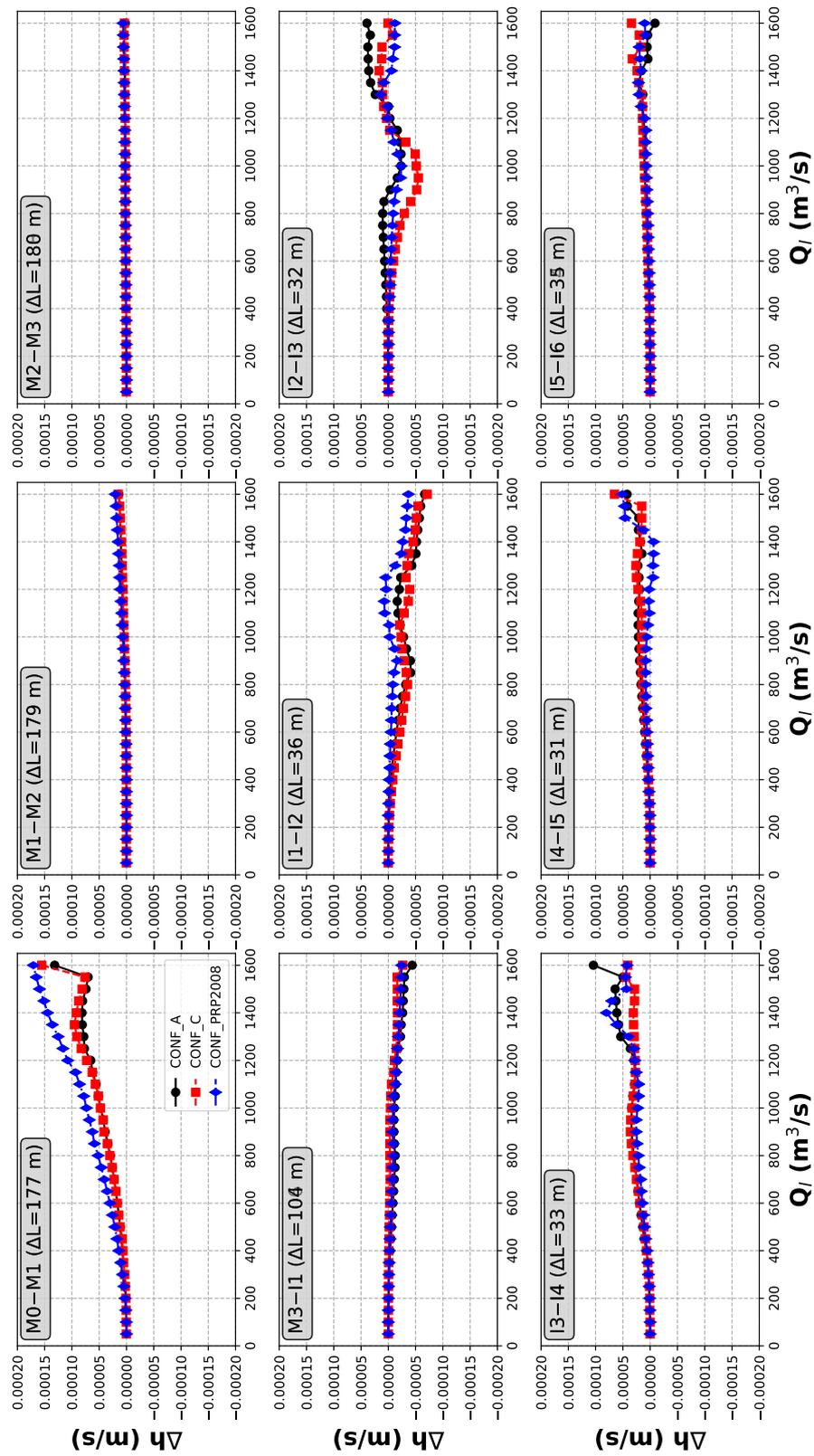


Figura A-127: Confronto del tasso di variazione medio di profondità valutato sulla base della differenza della portata solida totale in transito in corrispondenza delle coppie di sezioni consecutive riportate in Figura 2-1 stimata con la formulazione WP per tutte le configurazioni considerate.

---

**A.7 Tasso medio di variazione della profondità tra sezioni consecutive**

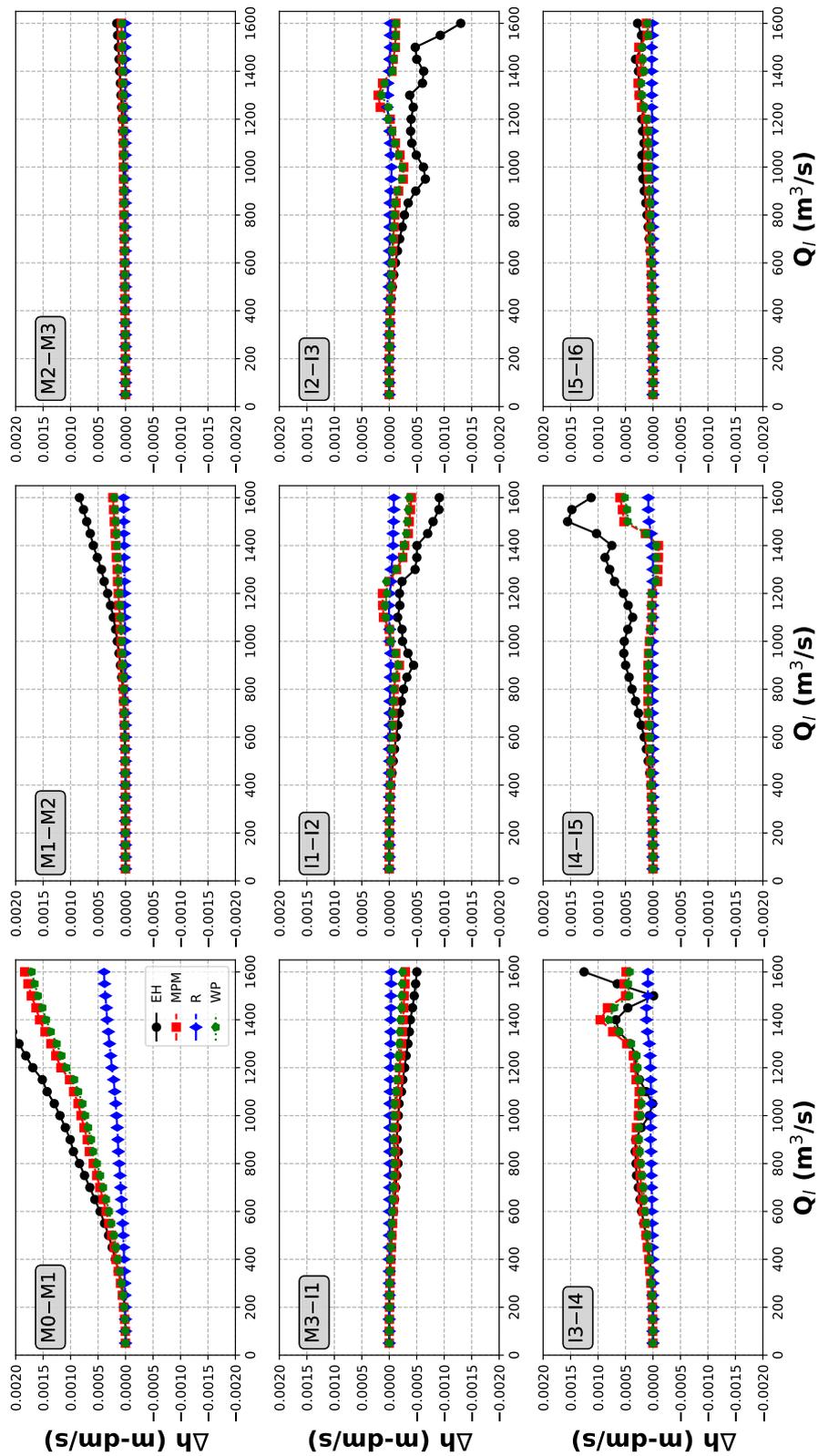


Figura A-128: Configurazione "PRP2008". Tasso di variazione medio di profondit  valutato sulla base della differenza della portata solida totale in transito in corrispondenza delle coppie di sezioni consecutive riportate in Figura 2-1. Per le formulazioni MPM, R e WP le variazioni sono espresse in dm/s.

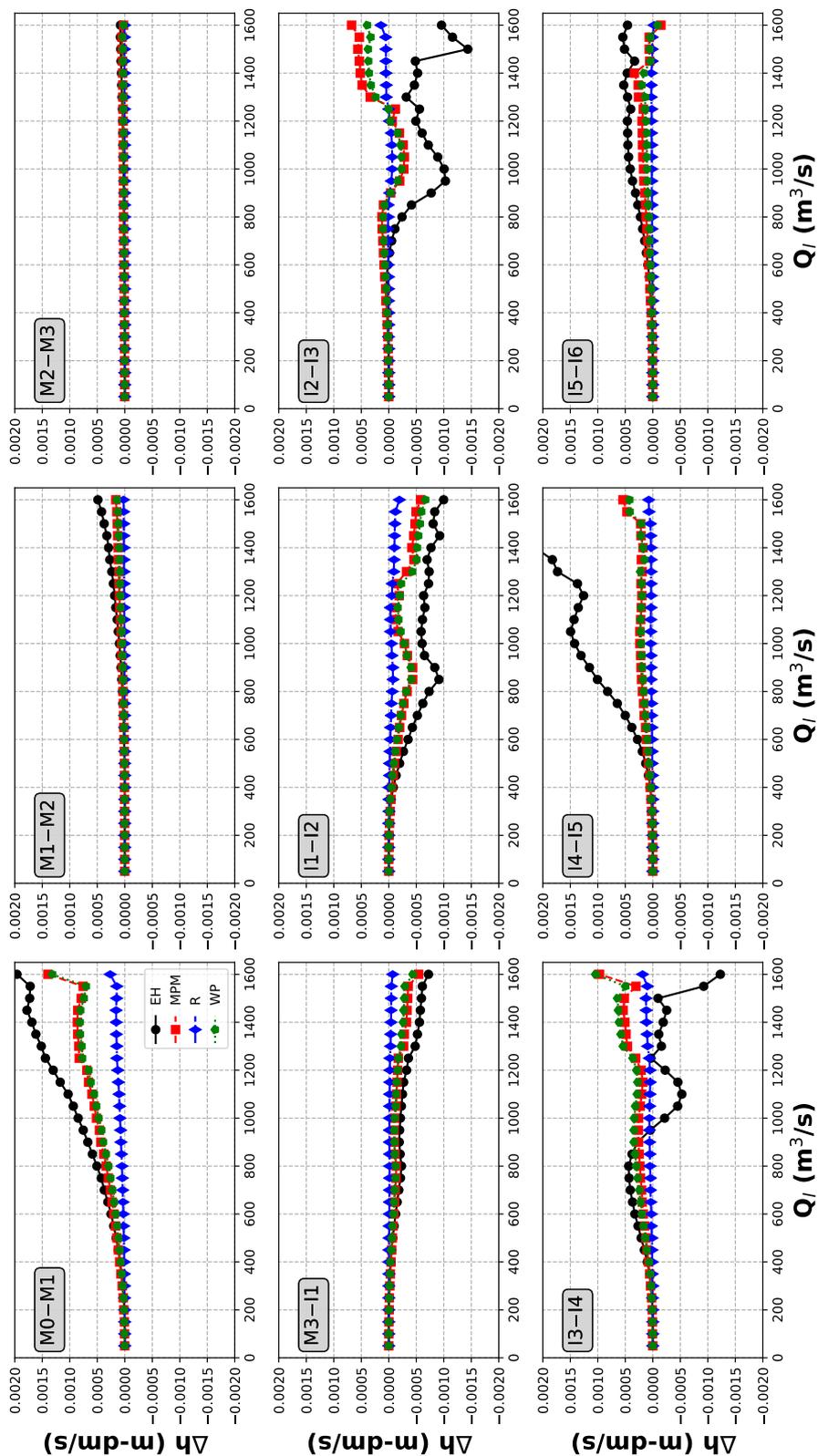


Figura A-129: Configurazione "A". Tasso di variazione medio di profondità valutato sulla base della differenza della portata solida totale in transito in corrispondenza delle coppie di sezioni consecutive riportate in Figura 2-1. Per le formulazioni MPM, R e WP le variazioni sono espresse in dm/s.

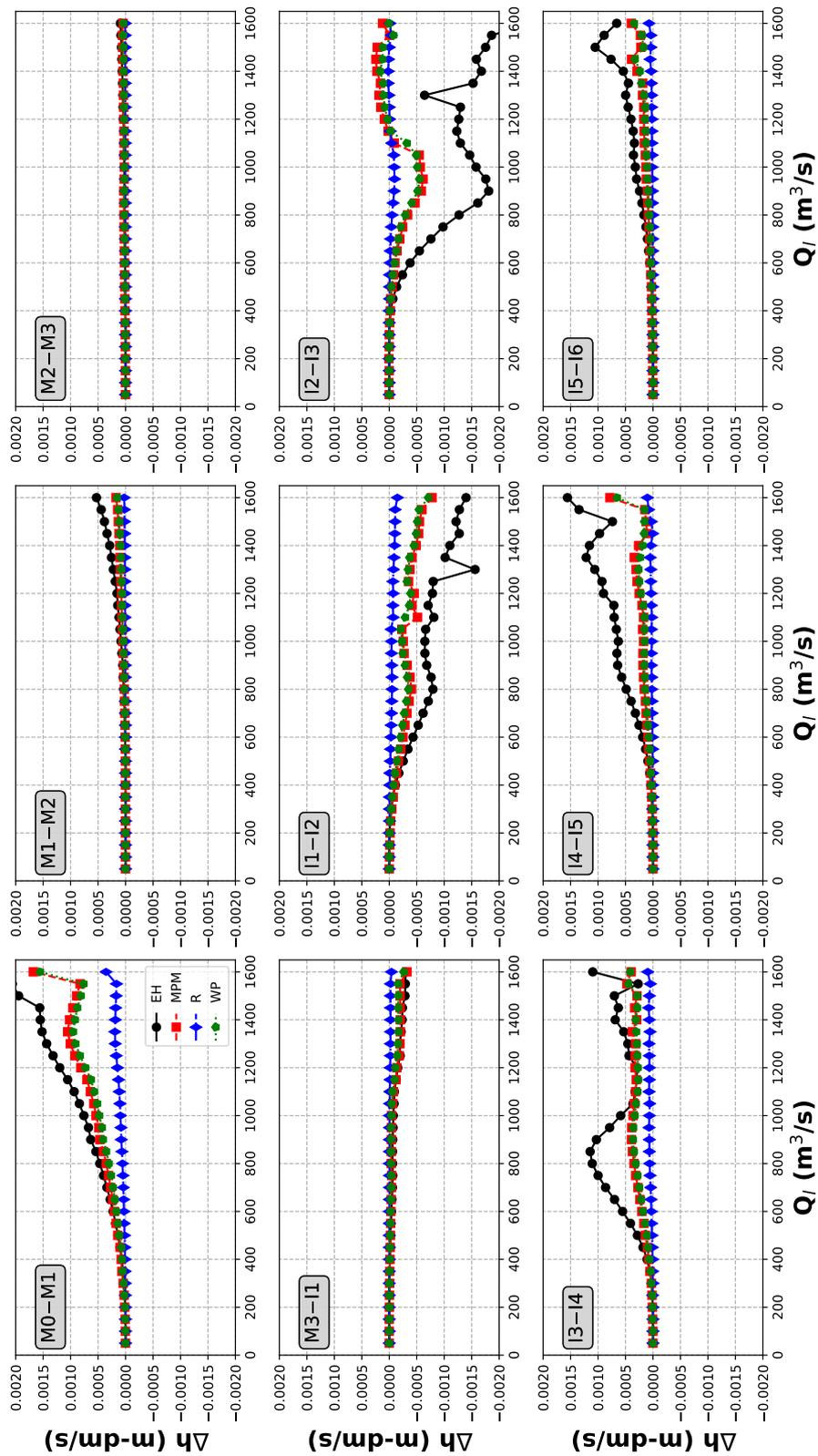


Figura A-130: Configurazione "C". Tasso di variazione medio di profondità valutato sulla base della differenza della portata solida totale in transito in corrispondenza delle coppie di sezioni consecutive riportate in Figura 2-1. Per le formulazioni MPM, R e WP le variazioni sono espresse in dm/s.

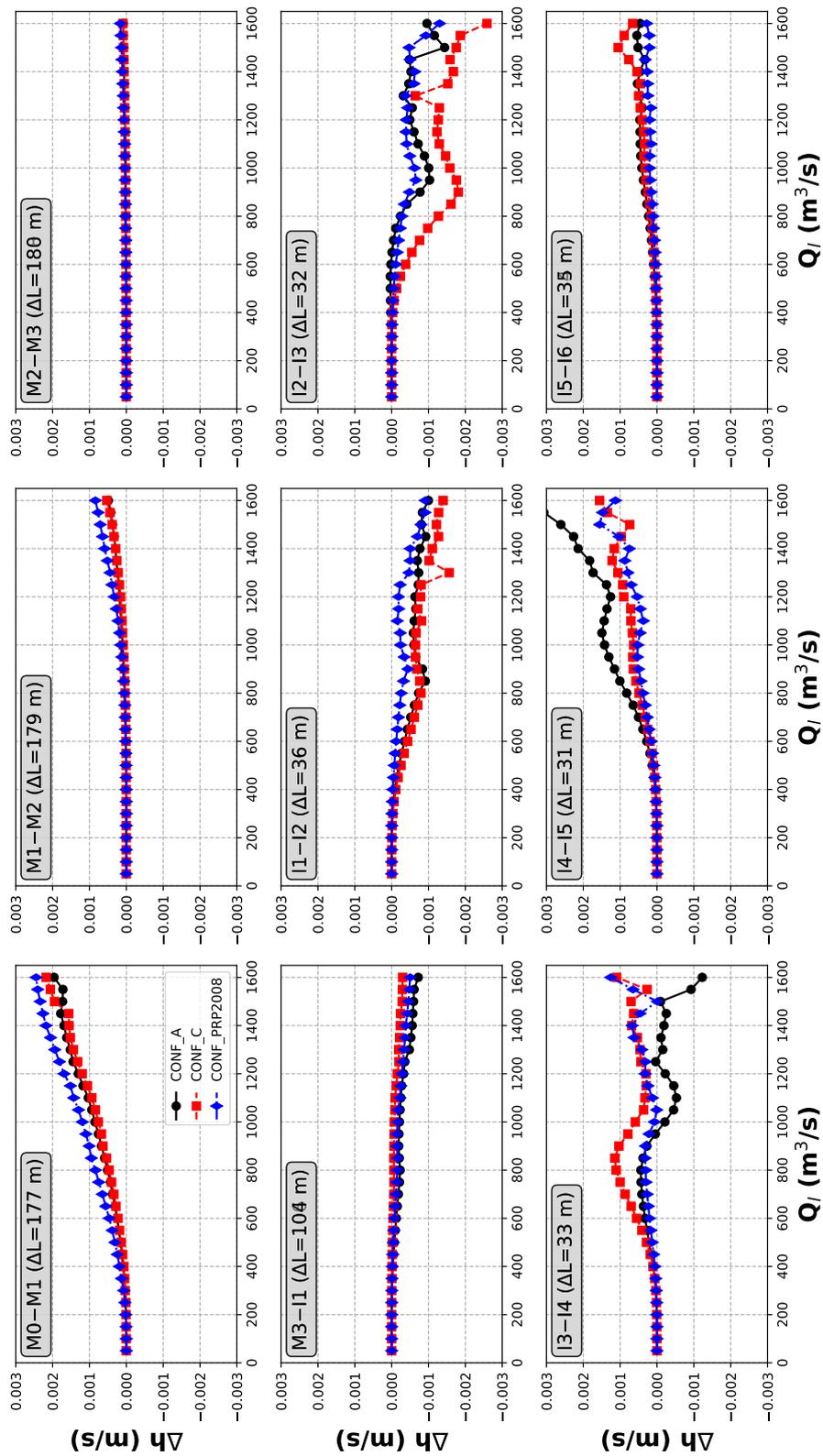


Figura A-131: Confronto del tasso di variazione medio di profondità valutato sulla base della differenza della portata solida totale in transito in corrispondenza delle coppie di sezioni consecutive riportate in Figura 2-1 stimata con la formulazione EH per tutte le configurazioni considerate.

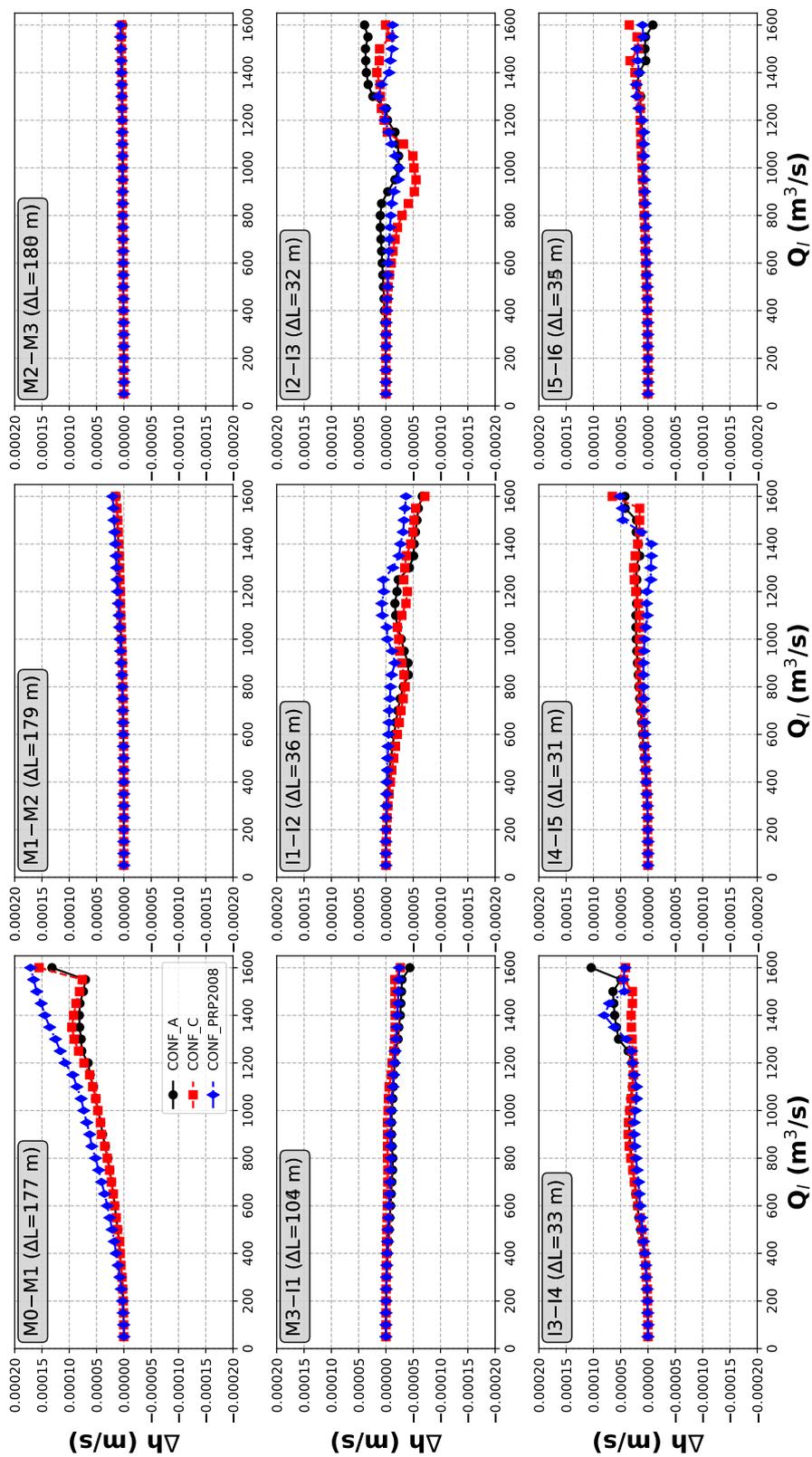


Figura A-132: Confronto del tasso di variazione medio di profondit  valutato sulla base della differenza della portata solida totale in transito in corrispondenza delle coppie di sezioni consecutive riportate in Figura 2-1 stimata con la formulazione WP per tutte le configurazioni considerate.

---

## A.8 Riproduzione dell'evento ventennale

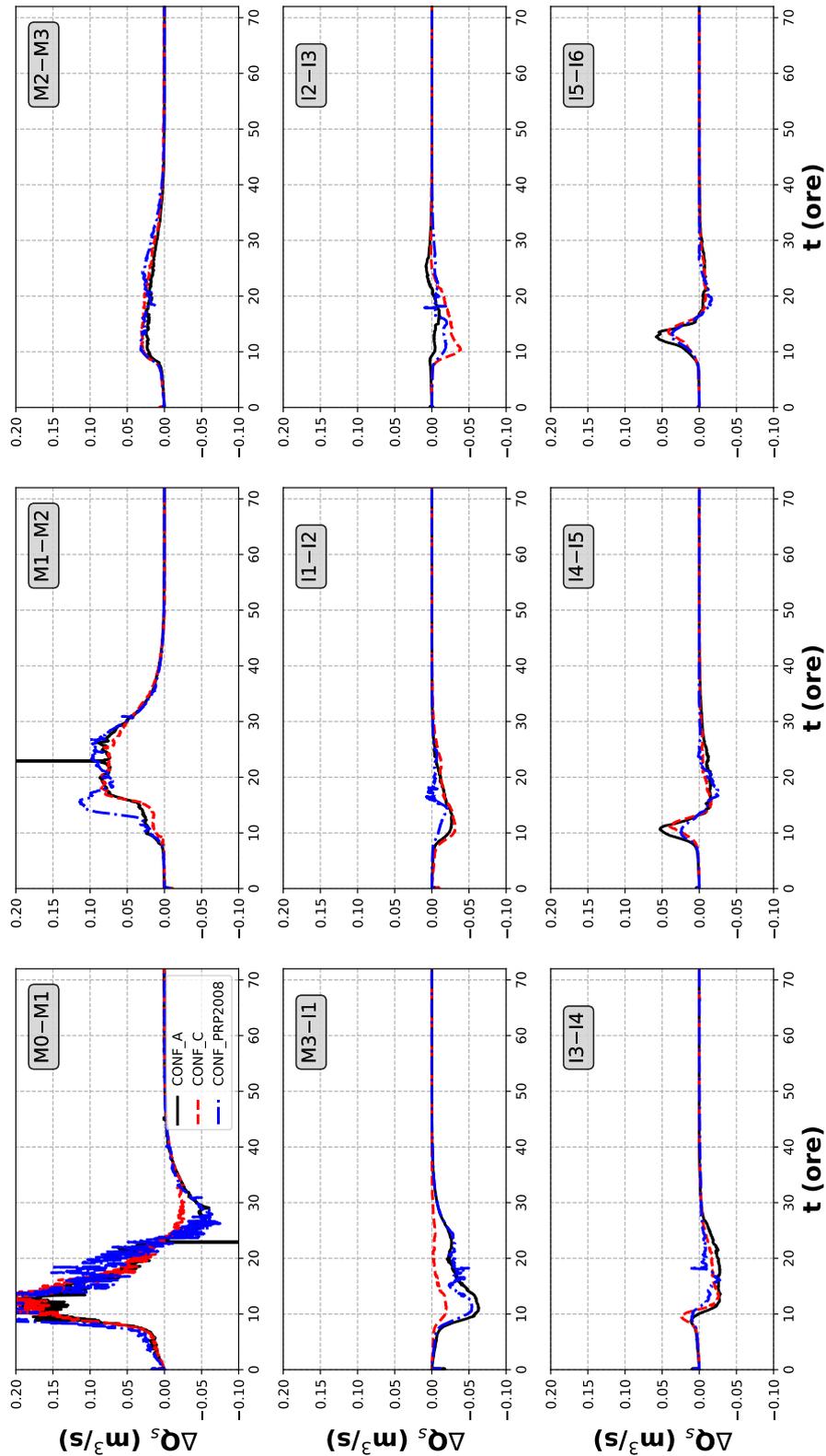


Figura A-133: Differenza della portata solida totale in transito in corrispondenza delle coppie di sezioni consecutive riportate in Figura 2-1 al variare del tempo durante l'evoluzione dell'idrogramma ventennale.

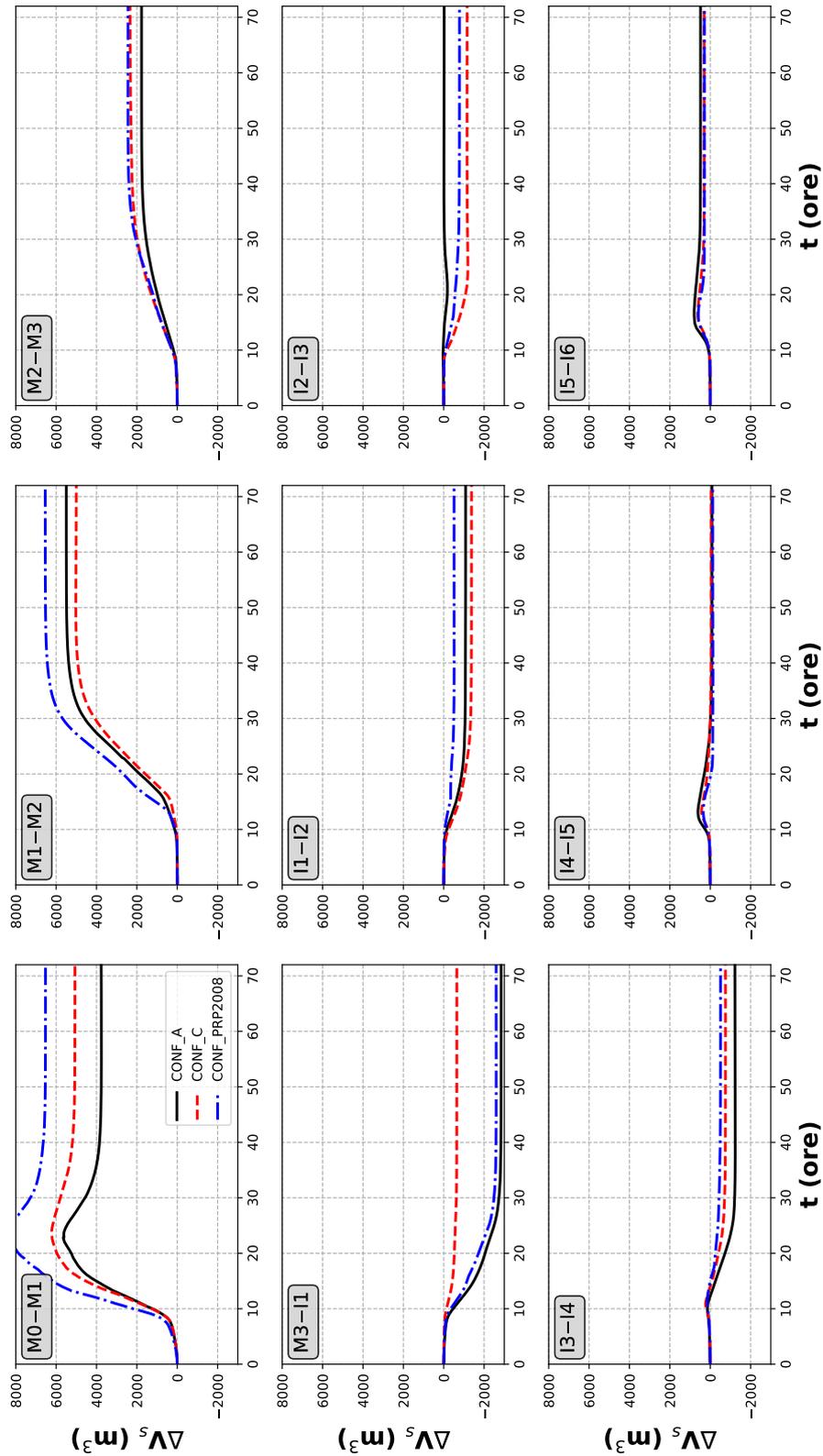


Figura A-134: Variazione del volume depositato (valori positivi) o eroso (valori negativi) in corrispondenza delle coppie di sezioni consecutive riportate in Figura 2-1 al variare del tempo durante l'evoluzione dell'idrogramma ventennale.

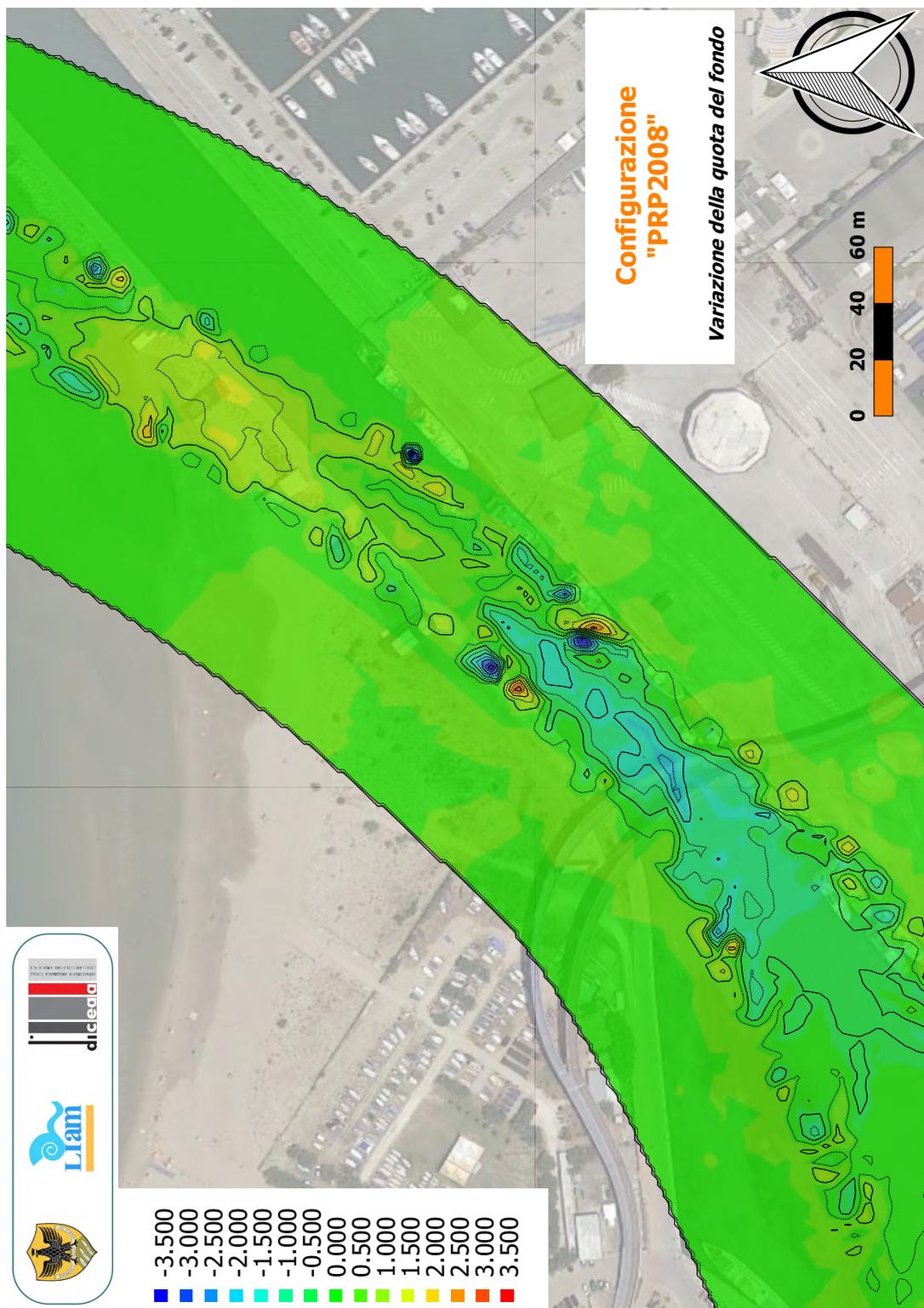


Figura A-135: Configurazione "PRP2008". Variazione della quota del fondo in corrispondenza dell'area di interesse al termine dell'evento ventennale.

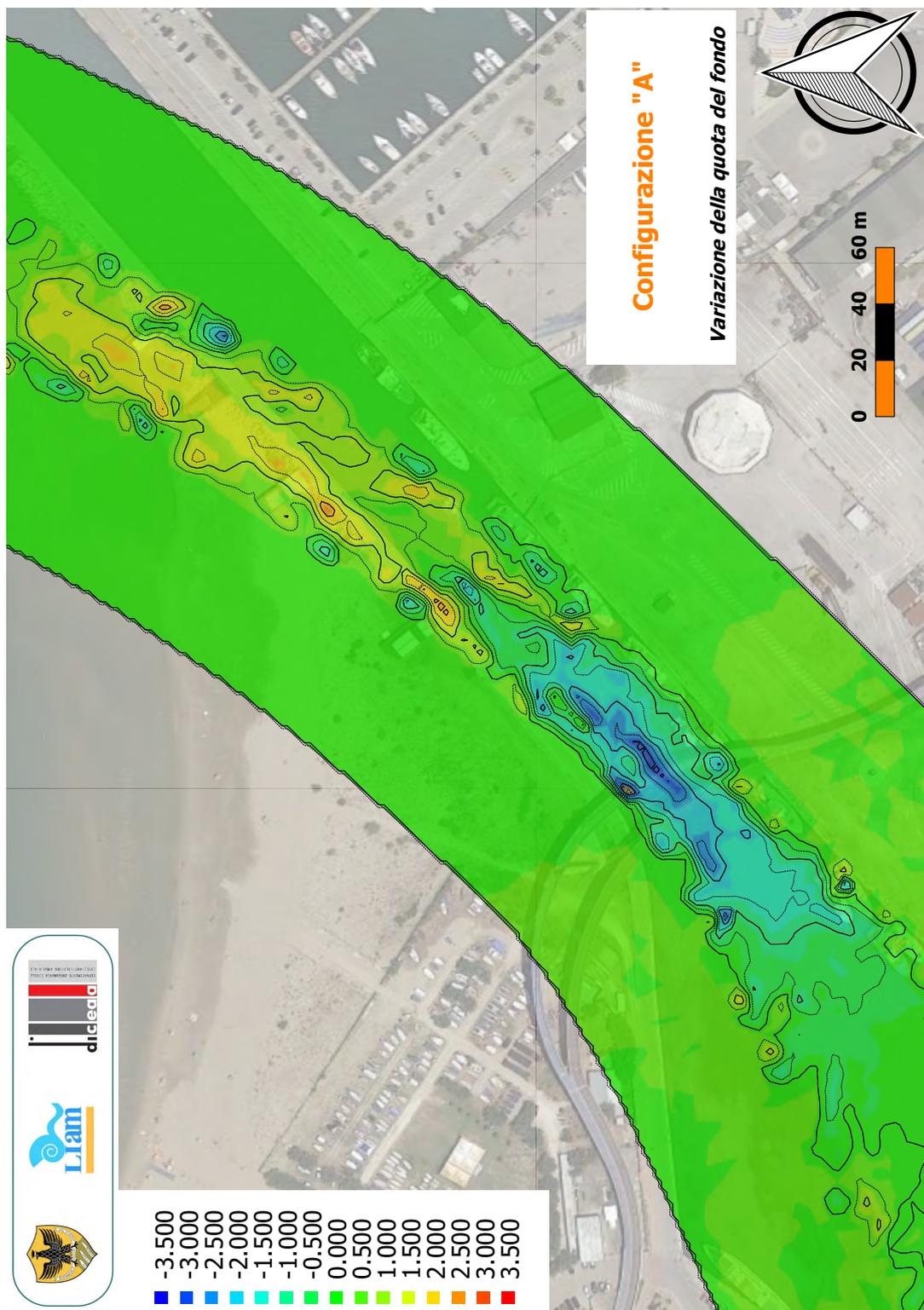


Figura A-136: Configurazione "A". Variazione della quota del fondo in corrispondenza dell'area di interesse al termine dell'evento ventennale.

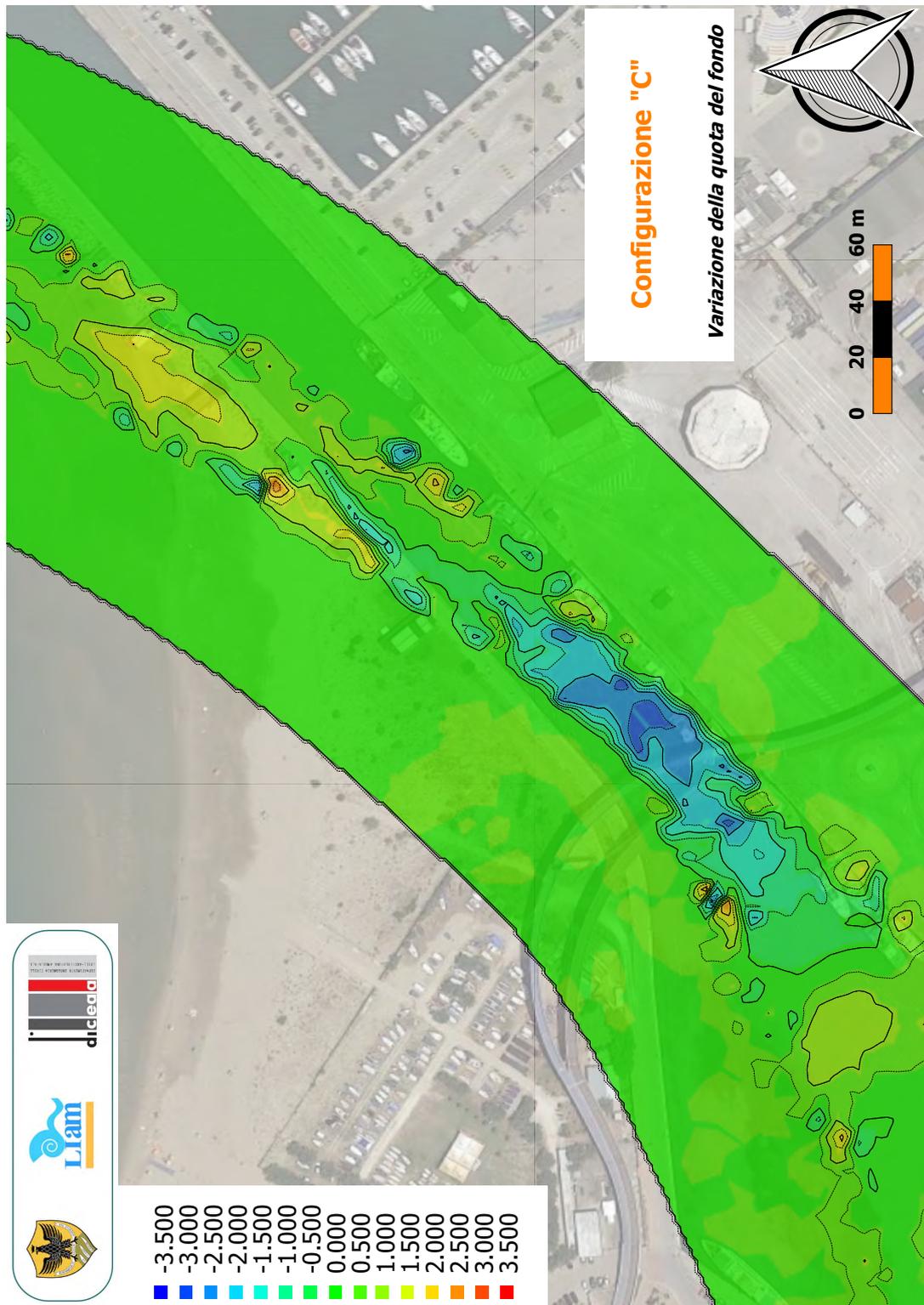


Figura A-137: Configurazione "C" (in assenza dell'armatura del fondo). Variazione della quota del fondo in corrispondenza dell'area di interesse al termine dell'evento ventennale.

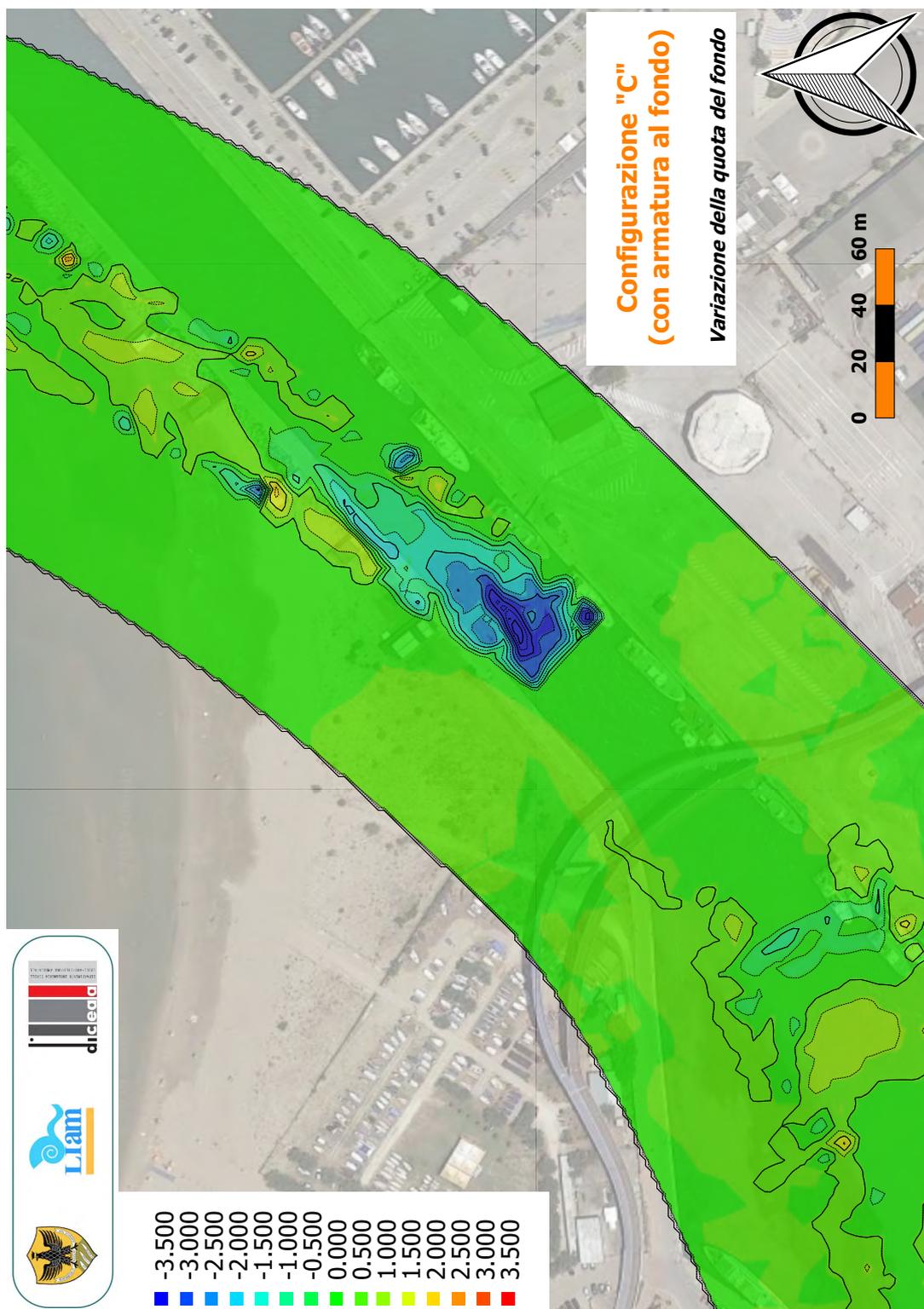


Figura A-138: Configurazione "C" (in presenza di massi naturali ad armatura del fondo). Variazione della quota del fondo in corrispondenza dell'area di interesse al termine dell'evento ventennale.

