



# COMUNE DI PESCARA

## REGIONE ABRUZZO

# PORTO DI PESCARA

## PIANO REGOLATORE PORTUALE 2008

Titolo elaborato :

**STUDIO DELLE MODIFICHE AL DEFLUSSO IDRAULICO  
NEL TRATTO TERMINALE DEL FIUME PESCARA INDOTTE DALLA  
CONFIGURAZIONE DI FOCE PREVISTA DAL PRP**

|  |  |  |
|--|--|--|
|  |  |  |
|--|--|--|

|   |   |
|---|---|
| 0 | 8 |
|---|---|

|  |  |  |
|--|--|--|
|  |  |  |
|--|--|--|

|   |
|---|
| R |
|---|

|   |   |   |
|---|---|---|
| - | - | - |
|---|---|---|

|   |
|---|
| 0 |
|---|

Coordinamento generale:

Dott. Ing. Chiara BARILE

Responsabile Unico del Procedimento:

Dott. Ing. Luciano DE BIASE

Coordinatore gruppo di progettazione:

Prof. Ing. Alberto NOLI

Aspetti marittimi e modellistica idraulica:

Prof. Ing. Paolo DE GIROLAMO

Aspetti urbanistici e architettonici:

Prof. Arch. Rosario PAVIA

Prof. Arch. Giuseppe BARBIERI

Dott. Arch. Raffaella MASSACESI

Aspetti trasportistici - Connessioni terrestri:

T.P.S. - Dott. Ing. Guido Francesco MARINO

Aspetti ambientali:

MED Ingegneria s.r.l. - Dott. Ing. Paolo ATZENI

Aspetti geologici:

Dott. Geol. Francesco IEZZI

Aspetti geotecnici:

Prof. Ing. Giuseppe SCARPELLI

Aspetti socio - economici:

ECOSFERA - Dott. Ing. Domenico NEVOSO

|           |           |      |             |                |             |            |
|-----------|-----------|------|-------------|----------------|-------------|------------|
|           |           |      |             |                |             |            |
|           |           |      |             |                |             |            |
|           |           |      |             |                |             |            |
|           | Nov. 2008 |      |             | P. De Girolamo |             |            |
| Rif. Dis. | Data      | Rev. | DESCRIZIONE | Redatto:       | Verificato: | Approvato: |

## INDICE

|   |  |    |
|---|--|----|
| 1 | PREMESSA, OBIETTIVI E METODOLOGIA DI LAVORO.....                           | 2  |
| 2 | DOMINIO DI CALCOLO .....   | 5  |
| 3 | CONDIZIONI AL CONTORNO E COEFFICIENTI DI SCABREZZA ADOTTATI .....          | 10 |
| 4 | DEFLUSSO IN CONFIGURAZIONE ATTUALE .....                                   | 13 |
| 5 | DEFLUSSO IN CONFIGURAZIONE VARIATA .....                                   | 16 |
| 6 | PARAGONE TRA LA SITUAZIONE ATTUALE E QUELLA DI PROGETTO. CONCLUSIONI ..... | 18 |
| 7 | BIBLIOGRAFIA .....   | 21 |
| 8 | APPENDICE: DESCRIZIONE DEL CODICE DI CALCOLO HEC-RAS .....                 | 22 |

## **1 PREMESSA, OBIETTIVI E METODOLOGIA DI LAVORO**

Con riferimento alla redazione del Piano Regolatore Portuale (PRP) del Porto di Pescara, il Comune di Pescara ha incaricato lo scrivente Prof. Ing. Paolo De Girolamo (Prot. N. 502/AT - generale n. 21394) dei servizi tecnici relativi agli “Aspetti Marittimi”. Nell’ambito di tale incarico è stato redatto lo *“Studio delle modifiche al deflusso idraulico nel tratto terminale del fiume Pescara indotte dalla nuova configurazione di foce prevista dal PRP”* di cui il presente documento costituisce la relazione finale.

Per la redazione del presente studio il Prof. Paolo De Girolamo si è avvalso della collaborazione degli Ingegneri Giuseppe Venturini e Gian Mario Beltrami.

Obiettivo del lavoro è stato la verifica delle modifiche che vengono apportate alle condizioni di deflusso idraulico del tratto terminale del Fiume Pescara dalla nuova configurazione di foce prevista dal nuovo PRP (Piano Regolatore Portuale) del Porto di Pescara.

Per la redazione del lavoro si è fatto riferimento al Piano Stralcio Difesa Alluvioni redatto dalla Regione Abruzzo. Al riguardo, la figura 1.1 riporta lo stralcio - relativo al tratto terminale esaminato dell’asta fluviale – estratto dalla carta di pericolosità idraulica nella quale la Regione ha individuato le aree soggette a esondazione, caratterizzandole con differenti livelli di pericolosità. In particolare, la pericolosità è stata classificata in quattro livelli:

- P1 – Pericolosità moderata;
- P2 – Pericolosità media;
- P3 – Pericolosità elevata;
- P4 – Pericolosità molto elevata.

Come si evince dalla figura il tratto terminale del Pescara, di interesse per il presente lavoro, è classificato in zona P4 e pertanto, con riferimento alla portata con tempo di ritorno di 50 anni, è soggetto a esondazioni dell’alveo ordinario caratterizzate da una lama

d'acqua tracimante di altezza superiore a 1,0 m e da velocità superiori ad 1 m/s. Nella figura 1.1 è stato evidenziato, a valle dell'ultimo ponte del Pescara, il limite dell'alveo ordinario.

Sempre con riferimento alla fig. 1.1, il tratto di fiume investigato nel presente lavoro si estende dall'ultimo ponte sul Pescara fino alla foce. L'alveo attuale è stato simulato mediante sezioni desunte da un rilievo di dettaglio esteso non solo all'alveo ordinario ma anche a larghe porzioni delle golene. Il rilievo è stato eseguito dall'Ufficio Opere Marittime del Provveditorato alle Opere Pubbliche del Lazio, Sardegna e Abruzzo.

Per conseguire l'obiettivo sopra esposto, si sono confrontati i profili di moto permanente, corrispondenti a portate con tempi di ritorno note, che si realizzano nelle seguenti due configurazioni della foce fluviale:

- la configurazione attuale invariata (definita 'Attuale');
- la configurazione variata presentata dal nuovo PRP (Piano Regolatore Portuale) del Porto di Pescara (definita 'Variata').

Per condurre lo studio si sono adottate le seguenti ipotesi che in linea di massima possono essere considerate conservative:

- lo studio è stato svolto in condizioni di moto permanente utilizzando il modello monodimensionale HEC-RAS 4.0, sviluppato dal *Hydrologic Engineering Center* (HEC) dello *U.S. Army Corps of Engineers*;
- la portata di moto permanente entrante nella sezione di monte del tratto simulato è stata posta pari alla portata al colmo di piena (con precisato tempo di ritorno) così come valutata nel Piano Stralcio Difesa Alluvioni della Regione Abruzzo alla sezione di S. Teresa. In particolare, si è considerata la portata corrispondente al colmo della piena caratterizzata da un tempo di ritorno di 50 anni ( $Q_{50}=1094 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Si osserva che, essendo la sezione di S.Teresa localizzata a monte del tratto fluviale di interesse (poco a valle della confluenza tra il Nora e il Pescara), si è implicitamente assunta pari a zero la capacità di laminazione delle aree soggette a

esondazione naturale comprese tra la stazione di S. Teresa e il tratto di fiume esaminato;

- per la definizione delle condizioni di valle, si è tenuto conto dei fenomeni di sovrizzo del livello medio marino indotti dalla marea astronomica e dalla marea meteorologica.

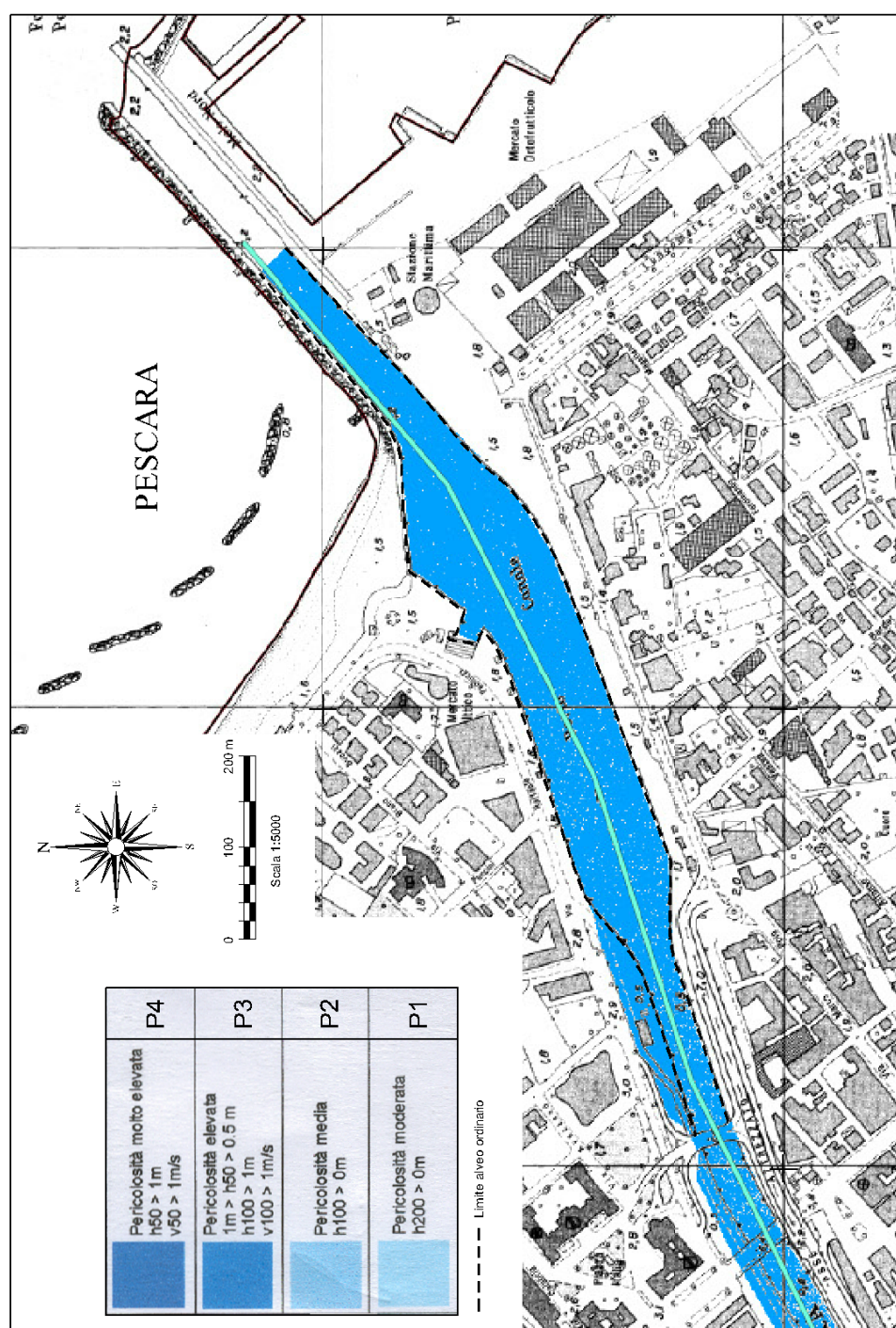


Fig. 1.1: Stralcio della carta della Pericolosità Idraulica tratto dal Piano Stralcio Difesa Alluvioni redatto dalla Regione Abruzzo.

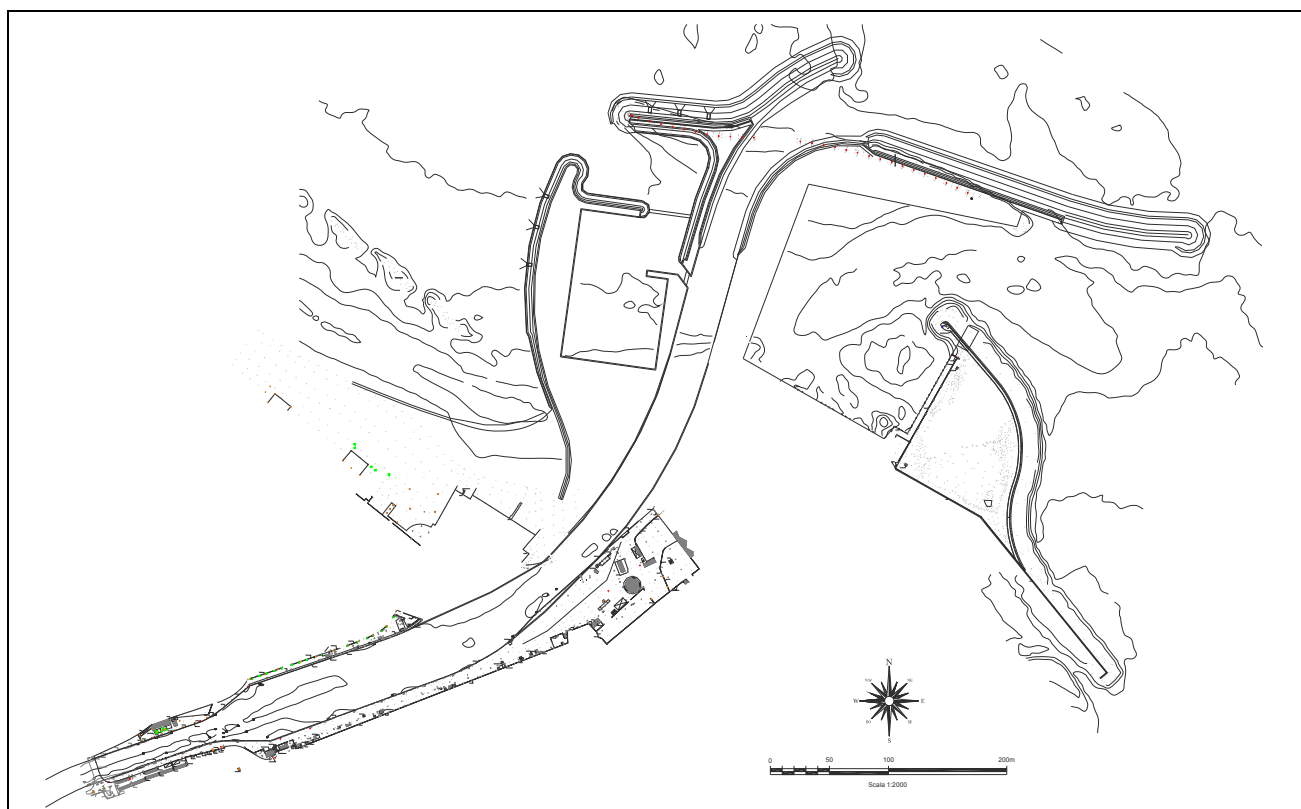
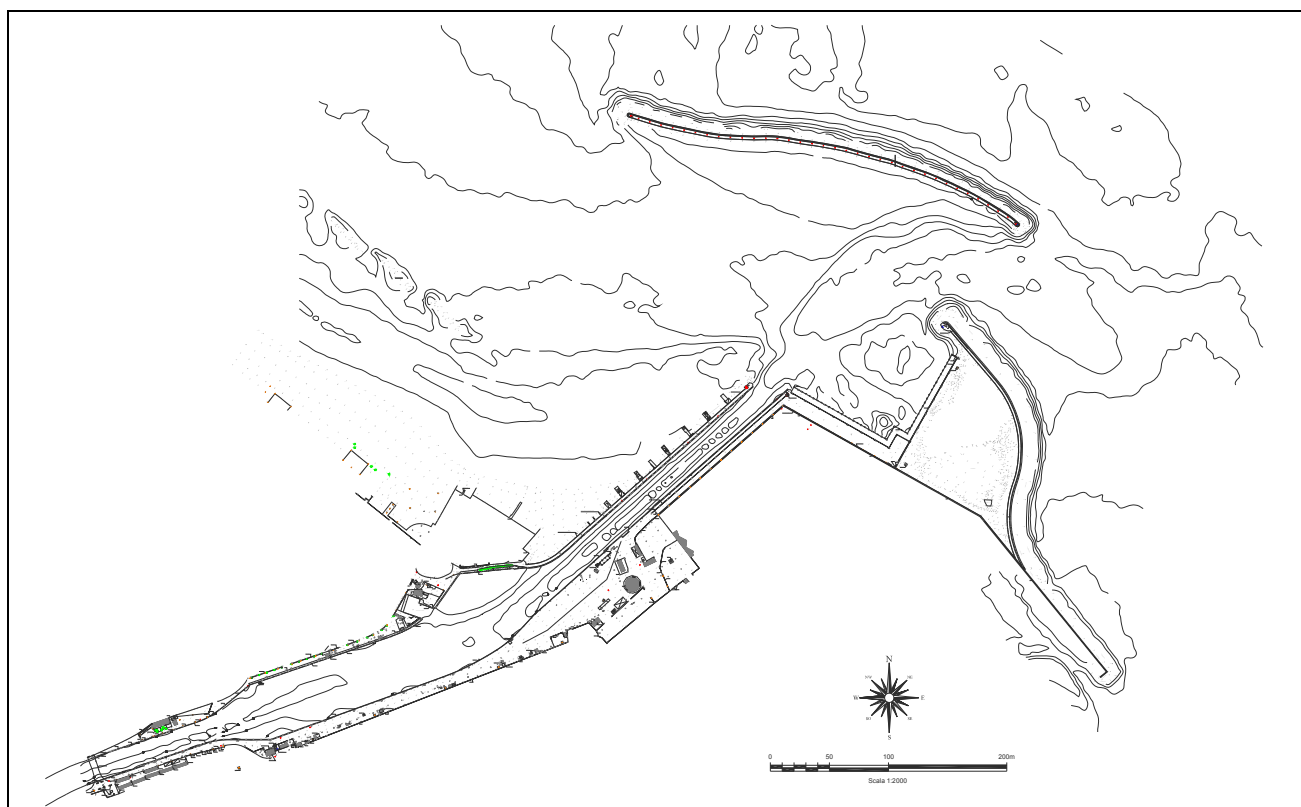
## **2 DOMINIO DI CALCOLO**

Sia per la configurazione attuale che per quella variata, il tratto d'alveo considerato è stato quello che si estende dall'ultimo ponte sul Pescara (circa 50 m a valle dello stesso) fino alla foce del fiume (vedi fig. 1.1). Nel caso della configurazione attuale (Fig. 2.1 sopra) l'estensione dell'asta fluviale simulata (*'thalweg'*) è risultata di circa 1.3 km, mentre nel caso della configurazione variata (Fig. 2.1 sotto) la stessa estensione è risultata pari a circa 1.8 km.

L'alveo attuale è stato simulato mediante 15 sezioni disposte a un interasse medio di circa 85 m desunte da un rilievo di dettaglio esteso non solo all'alveo di magra ma anche a larghe porzioni delle golene (Fig. 2.2 e 2.3). Il rilievo è stato fatto eseguire dall'Ufficio Opere Marittime del Provveditorato alle Opere Pubbliche del Lazio, Sardegna e Abruzzo.

La configurazione variata è stata invece ricostruita mediante 20 sezioni disposte a un interasse medio di circa 90 m di cui, le prime 6 (a partire da monte) coincidenti con quelle considerate nella configurazione attuale, mentre le restanti 14 definite sulla base del nuovo Piano Regolatore Portuale (Fig. 2.2 e 2.4).

La figura 2.5 riporta un esempio di sezione così come modellata dal codice di calcolo HEC-RAS.



**Fig. 2.1: Configurazioni considerate: attuale (sopra) e variata (sotto).**

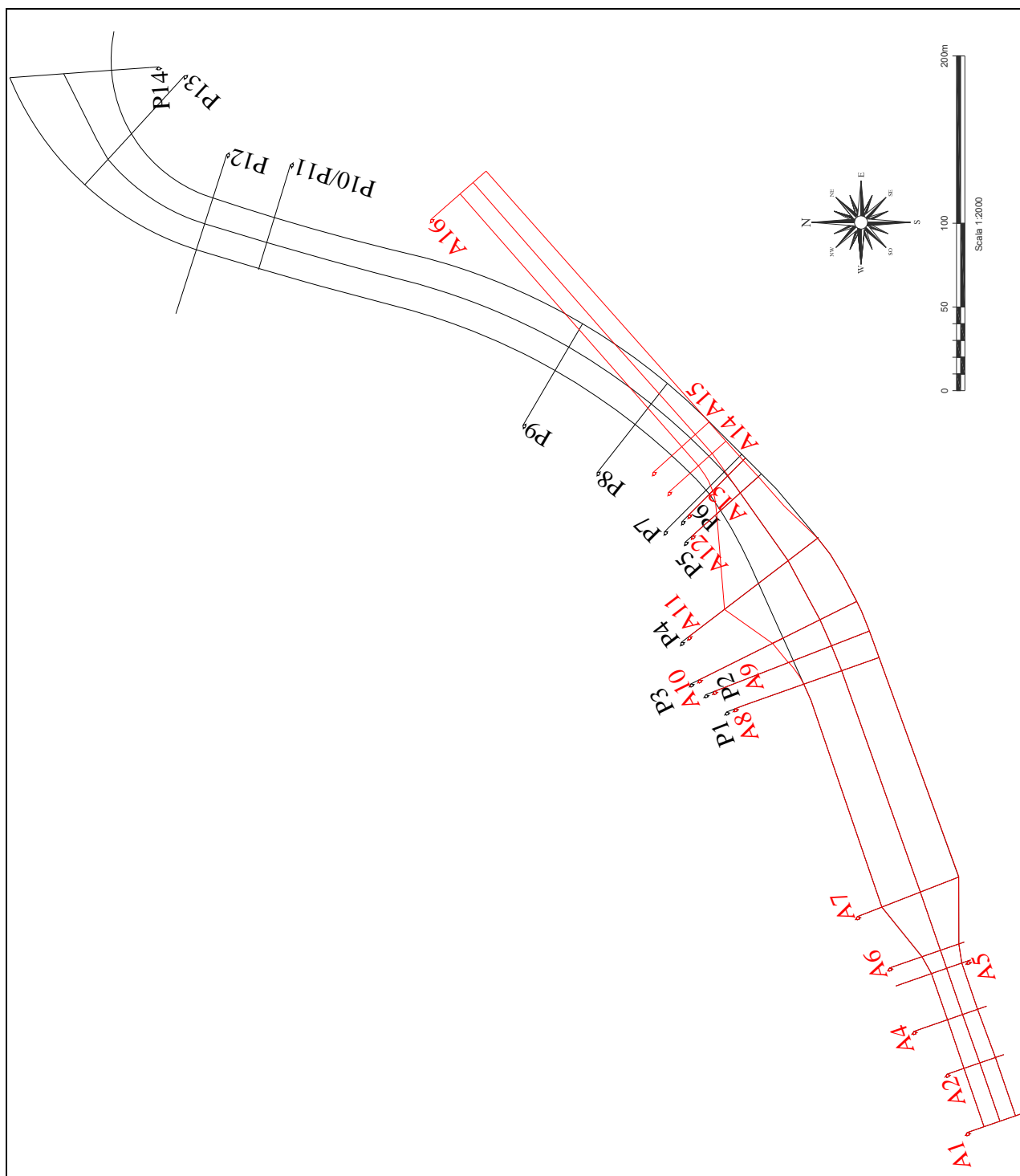


Fig. 2.2: Localizzazione delle sezioni utilizzate per le configurazioni attuale (rosso) e variata (nero)



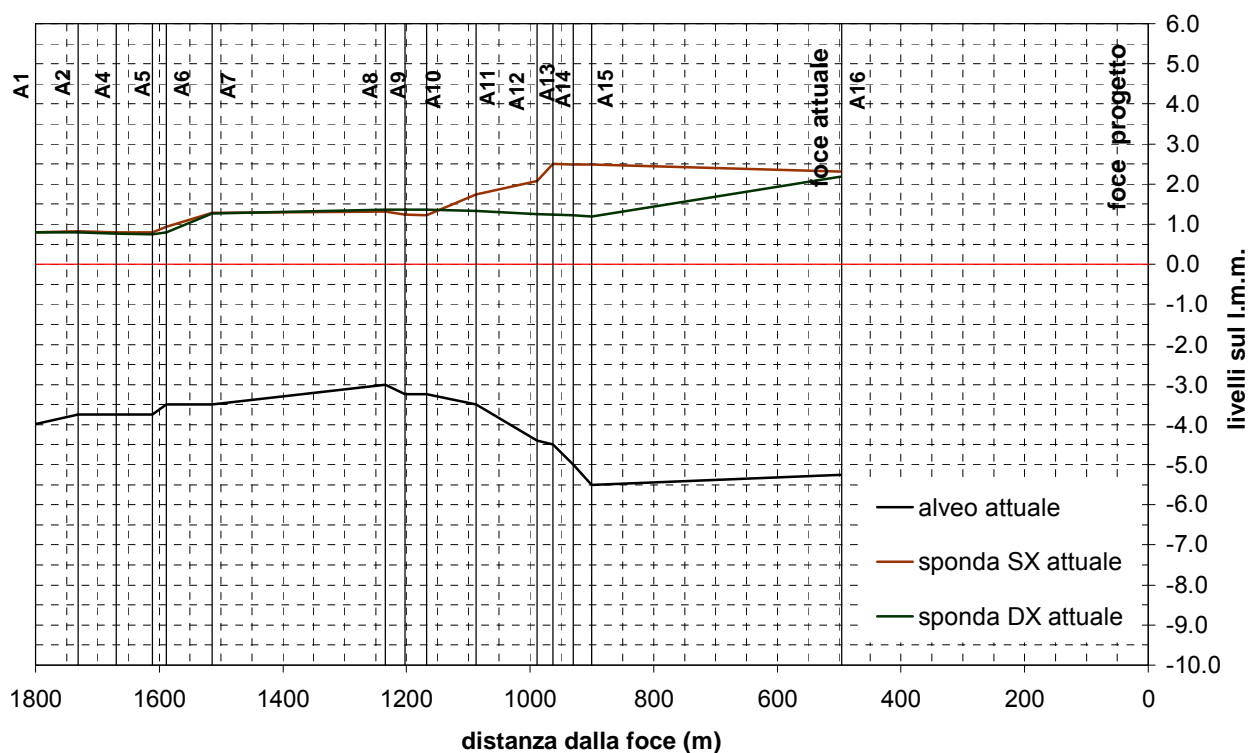


Fig. 2.3: Thalweg attuale e localizzazione delle sezioni utilizzate.

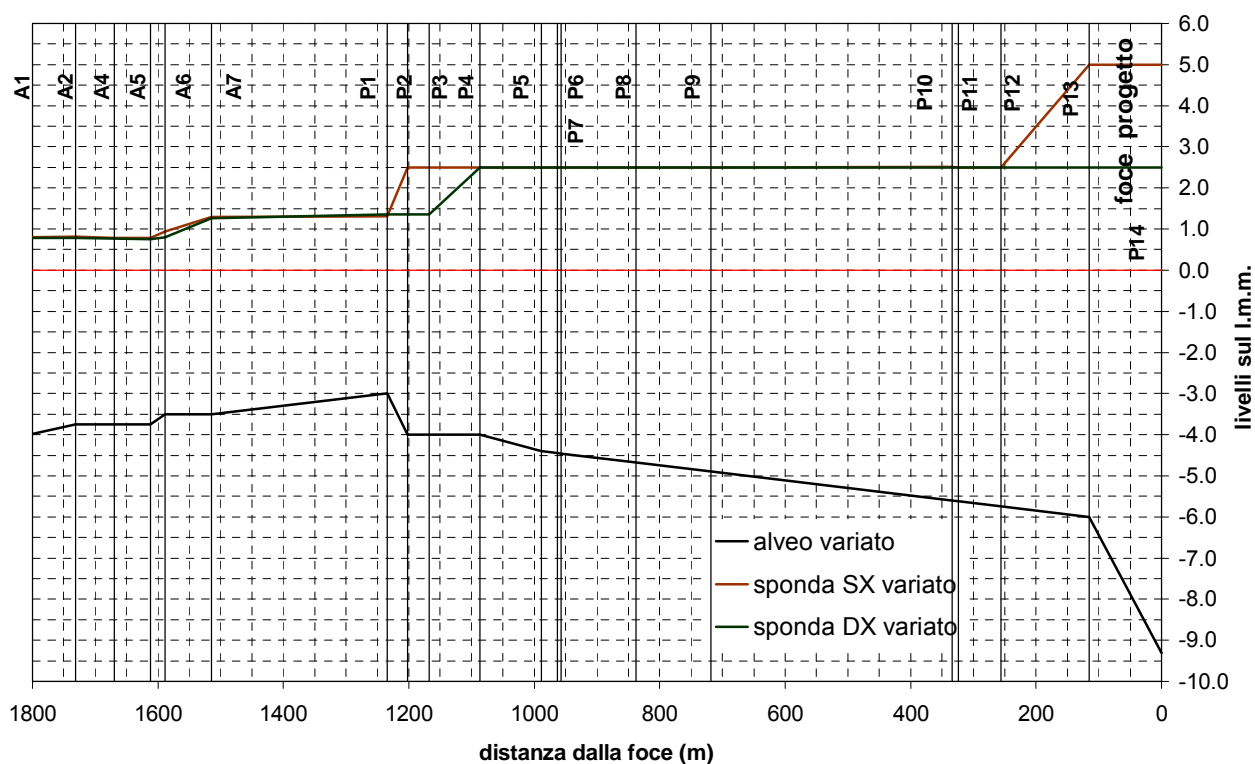
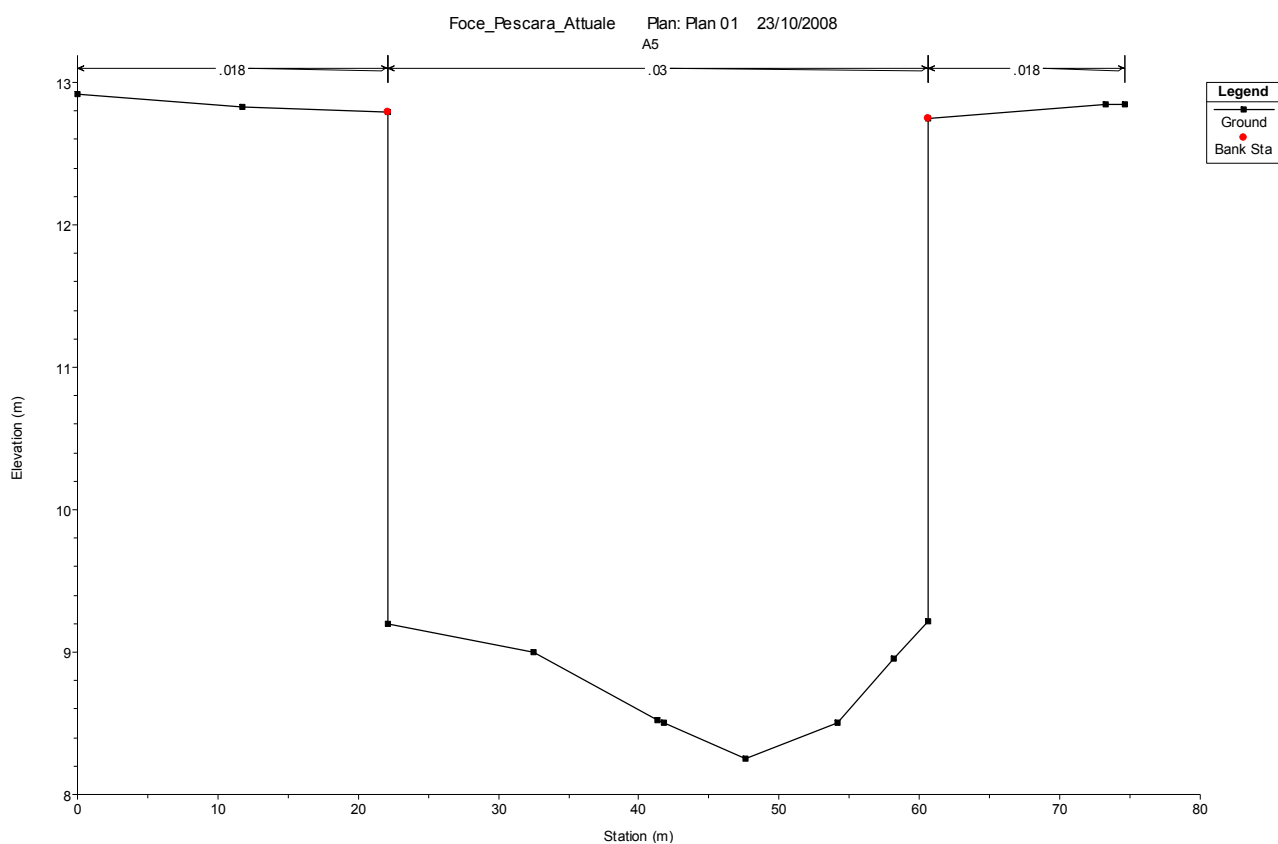


Fig. 2.4: Thalweg variata e localizzazione delle sezioni utilizzate.

Piano Regolatore Portuale del Porto di Pescara  
“Studio delle modifiche al deflusso idraulico nel tratto terminale del fiume Pescara indotte dalla  
nuova configurazione di foce prevista dal nuovo PRP”

---



**Fig. 2.5: Esempio di sezione modellata dal codice di calcolo HEC-RAS**

### 3 CONDIZIONI AL CONTORNO E COEFFICIENTI DI SCABREZZA ADOTTATI

Le simulazioni sono state condotte in condizioni di moto permanente subcritiche. Le condizioni di monte hanno quindi riguardato i valori da simulare della portata di deflusso. Al riguardo, si è assunta la portata al colmo dell'evento di piena associata al tempo di ritorno di 50 anni (vedi Tab. 3.1) valutata in corrispondenza alla sezione di Santa Teresa e riportata nello studio idrologico allegato al citato Piano Stralcio Difesa Alluvioni della Regione Abruzzo, dal titolo: *‘Studi idraulici per la mappatura delle aree esondabili - Relazione illustrativa delle elaborazioni condotte’*. Nella tabella 3.1 sono inoltre riportate per la stessa sezione anche le portate relative ai tempi di ritorno di 20, 100 e 200 anni.

La stazione di Santa Teresa, posta poco a valle della confluenza tra il Nora e il Pescara e a monte del tratto studiato, dista dalla sezione di monte del tratto di fiume in esame, in linea d'aria circa 6,5 km e lungo l'asse del talweg fluviale circa 10 km. Si è verificato che, *allo stato attuale*, la laminazione delle piene operata dalle aree di esondazione naturale poste, lungo l'asta fluviale, a valle della sezione di Santa Teresa e a monte del tratto esaminato nel presente lavoro, non sono tali da ridurre in maniera significativa le portate considerate.

Con riferimento alla tab. 3.1, la portata caratterizzata dal tempo di ritorno 50 anni (nel seguito indicata con  $Q_{50}$ ) viene indicata dal Piano Stralcio Difesa delle Alluvioni come quella caratterizzata dalla maggiore pericolosità. Pertanto nel seguito si è fatto riferimento solamente a questa portata.

| Tempo di ritorno - $T_r$ | $Q_c$ ( $m^3s^{-1}$ ) |
|--------------------------|-----------------------|
| 20                       | 815                   |
| 50                       | 1094                  |
| 100                      | 1305                  |
| 200                      | 1518                  |

Tab.3.1 – Portate alla sezione di Santa Teresa per diversi tempi di ritorno.

Come noto, in condizioni di moto permanente subcritiche le condizioni di valle sono poste dai livelli d'acqua del corpo recettore. In prossimità della foce di un corso d'acqua i livelli idrici dipendono dalle variazioni del livello del mare originate dalle onde lunghe di marea sia astronomica che meteorologica. A rigore quindi, le condizioni di moto risultano del tipo vario. Nel caso in esame, si sono assunte le seguenti due condizioni:

- portata fluente pari a quella massima al colmo di piena e livello alla foce pari al medio mare;
- portata fluente pari a quella massima al colmo di piena e livello alla foce pari al massimo sovrizzo di marea.

Si osserva come questa seconda condizione origini dall'assunzione che la combinazione della portata al colmo con il massimo livello di marea costituisca l'involuppo superiore dei possibili profili a moto vario. In particolare, per questa seconda condizione, nel caso di configurazione attuale si è considerato un livello alla foce pari a +1.00 m sul l.m.m., corrispondente a un sovrizzo dovuto a marea astronomica pari a +0.30 m sul l.m.m. e un sovrizzo dovuto a marea meteorologica e al sovrizzo d'onda ('wave set-up') pari a +0.70 m sul l.m.m.. Tali valori sono stati desunti dalla mappatura del rischio di inondazione costiera riportata nel documento dal titolo 'Analisi di rischio morfologico e socioeconomico della fascia costiera abruzzese', redatto dal LIAM-DISAT, della Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi dell'Aquila per conto della Regione Abruzzo nell'ambito del Progetto Sicora. Nel caso di configurazione variata, tenuto conto che la foce del fiume viene traslata su tiranti idrici pari a - 9.0 m sul l.m.m., si è invece considerato un livello alla foce pari a +0.50 m sul l.m.m., corrispondente a un sovrizzo dovuto a marea astronomica pari a +0.30 m sul l.m.m. e un sovrizzo dovuto a marea meteorologica pari a +0.20 m sul l.m.m. Su tali fondali è infatti da escludere un effetto di sovrizzo dovuto a frangimento del moto ondoso incidente.

Per quanto attiene i coefficienti di scabrezza, questi sono stati definiti, tratto per tratto, in base alle caratteristiche del fiume e del materiale costituente il fondo dell'alveo. Al riguardo, sulla base delle indicazioni riportate nel citato studio idrologico allegato al Piano Stralcio Difesa Alluvioni della Regione Abruzzo, è stata fatta distinzione tra alveo principale e zone golenali le quali, nel tratto considerato prevalentemente asfaltate,

portano a una riduzione delle dissipazioni di energia. In particolare, se all'alveo principale è stato assegnato un coefficiente di scabrezza (Manning) costante pari a  $0.03 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$  ( $K_s = 33.33 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ ), alle zone golenali, come già osservato prevalentemente asfaltate, si sono attribuiti coefficienti di scabrezza variabile tra  $0.018$  e  $0.023 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$  ( $K_s = 55.55$  e  $43.48 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ ). Le perdite di carico concentrate sono state valutate utilizzando per il coefficiente di perdita di carico  $\xi$  i valori  $0,1$  nel caso di restringimento e  $0,3$  nel caso di allargamento.

## 4 DEFLUSSO IN CONFIGURAZIONE ATTUALE

Nelle figure 4.1 e 4.2 sono riportati i profili di moto permanente calcolati per la portata  $Q_{50} = 1094 \text{ m}^3/\text{s}$  (corrispondente al tempo di ritorno  $TR=50$  anni) e per il livello del mare alla foce rispettivamente pari al livello medio marino (+0.0 m sul l.m.m.) e al massimo sovrалzo dovuto alla concomitanza della marea astronomica e della marea meteorologica (+1.0 m).

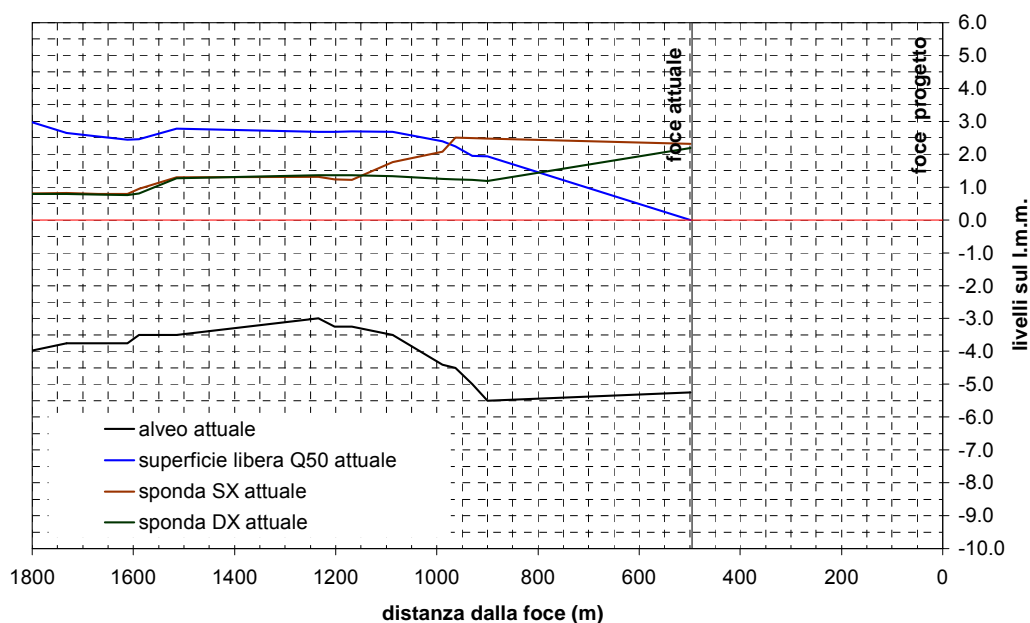


Fig. 4.1: Profilo di moto permanente per la configurazione attuale (+0.0 m sul l.m.m.)

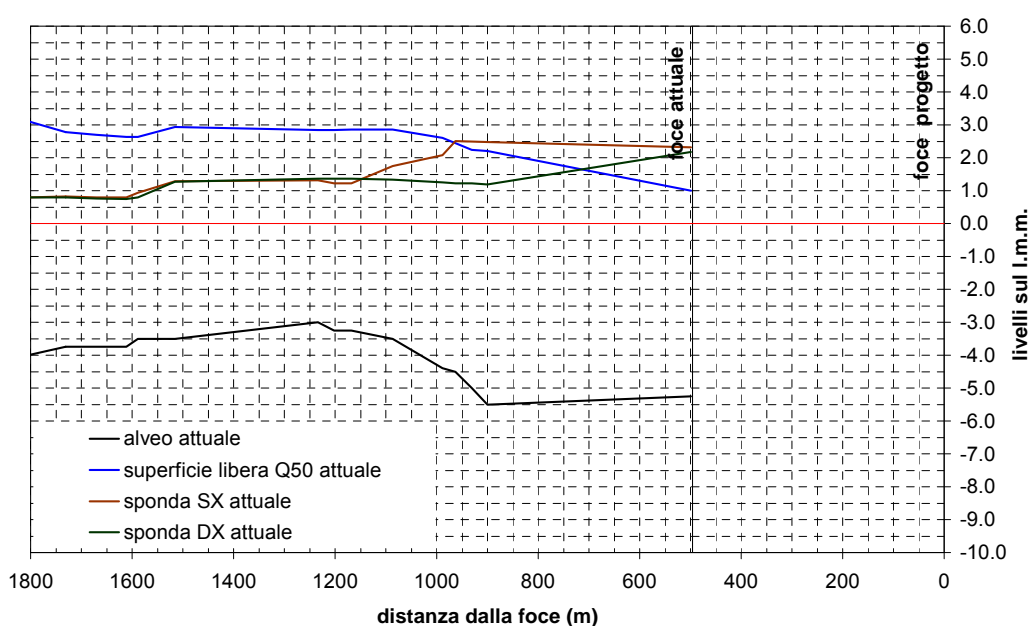


Fig. 4.2: Profilo di moto permanente per la configurazione attuale (+1.0 m sul l.m.m.)

Nelle figure sono riportati oltre ai profili di moto permanente, anche il profilo longitudinale del fondo fluviale attuale (thalweg) e l'andamento delle quote delle sponde sinistra e destra riferite all'alveo ordinario. Nella tab. 4.1 sono riportate per le sezioni idrauliche individuate nella fig. 2.3, i valori del livello idrico (LV), delle velocità (U) e del numero di Froude (Fr).

Come già accennato, si osserva che la portata Q50 corrisponde, con riferimento alle carte di rischio idraulico riportate da Piano Stralcio Difesa Alluvioni della Regione Abruzzo, alla condizioni di maggiore pericolosità.

Come è possibile osservare nelle figure citate e dalla tabella 4.1, la modellazione monodimensionale della configurazione attuale, mostra un pressoché continuo sovrizzo superiore a + 2.0 m della superficie libera sulle sponde dell'alveo ordinario del tratto terminale del Pescara.

In particolare, i profili risultano contenuti nell'alveo ordinario solo per gli ultimi 500 m, superando la quota delle sponde che delimitano l'alveo per i primi 800 m.

Con riferimento alle quote di thalweg riportate nelle figure 4.1 e 4.2 (vedi anche fig. 2.3 e per la localizzazione planimetrica delle sezioni fig. 2.2), si evidenzia che esse presentano per un lungo tratto (corrispondente alla zona di allargamento dell'alveo fluviale) un profilo in contropendenza rispetto alla pendenza media del fondo del fiume che va decrescendo da monte verso valle. Tale profilo denuncia una evidente tendenza alla sedimentazione provocata probabilmente dallo stesso allargamento della sezione idraulica. Ovviamente la contropendenza delle quote di fondo tendono a peggiorare sensibilmente le condizioni di deflusso del fiume causando un aumento dei relativi livelli e quindi una maggiore probabilità di esondazione.

| Sezione | Q<br>m <sup>3</sup> /s | LV valle 0.0 m sul l.m.m. |          |      | LV valle 1.0 m sul l.m.m. |          |      |
|---------|------------------------|---------------------------|----------|------|---------------------------|----------|------|
|         |                        | LV<br>m                   | U<br>m/s | Fr   | LV<br>m                   | U<br>m/s | Fr   |
| A1      | 1094                   | 3.00                      | 3.64     | 0.47 | 3.11                      | 3.54     | 0.45 |
| A2      | 1094                   | 2.64                      | 4.21     | 0.56 | 2.78                      | 4.07     | 0.53 |
| A4      | 1094                   | 2.54                      | 4.21     | 0.56 | 2.70                      | 4.02     | 0.53 |
| A5      | 1094                   | 2.44                      | 4.15     | 0.55 | 2.63                      | 3.93     | 0.52 |
| A6      | 1094                   | 2.46                      | 3.90     | 0.54 | 2.64                      | 3.72     | 0.51 |
| A7      | 1094                   | 2.78                      | 2.00     | 0.28 | 2.93                      | 1.94     | 0.27 |
| A8      | 1094                   | 2.68                      | 1.91     | 0.26 | 2.84                      | 1.84     | 0.24 |
| A9      | 1094                   | 2.68                      | 1.79     | 0.24 | 2.84                      | 1.73     | 0.23 |
| A10     | 1094                   | 2.69                      | 1.68     | 0.23 | 2.85                      | 1.62     | 0.22 |
| A11     | 1094                   | 2.68                      | 1.53     | 0.22 | 2.85                      | 1.46     | 0.21 |
| A12     | 1094                   | 2.40                      | 2.63     | 0.35 | 2.60                      | 2.49     | 0.33 |
| A13     | 1094                   | 2.23                      | 3.15     | 0.41 | 2.45                      | 2.97     | 0.38 |
| A14     | 1094                   | 1.95                      | 3.76     | 0.48 | 2.24                      | 3.48     | 0.44 |
| A15     | 1094                   | 1.93                      | 3.67     | 0.46 | 2.21                      | 3.43     | 0.42 |
| A16     | 1094                   | 0.00                      | 5.60     | 0.82 | 1.00                      | 4.62     | 0.62 |

**Tab. 4.1: Livello di m.p., velocità e numero di Froude alle sezioni della configurazione attuale.**



## 5 DEFLUSSO IN CONFIGURAZIONE VARIATA

Nelle figure 5.1 e 5.2 e nella tab. 5.1 sono riportati i risultati ottenuti ed in particolare i profili di moto permanente calcolati per la configurazione variata proposta nel nuovo PRP del Porto di Pescara considerando un’analoga portata  $Q_{50} = 1094 \text{ m}^3/\text{s}$  (corrispondente al tempo di ritorno  $TR=50$  anni) e livelli alla foce rispettivamente pari  $+0.0 \text{ m}$  sul l.m.m. e a  $+0.5 \text{ m}$  sul l.m.m.

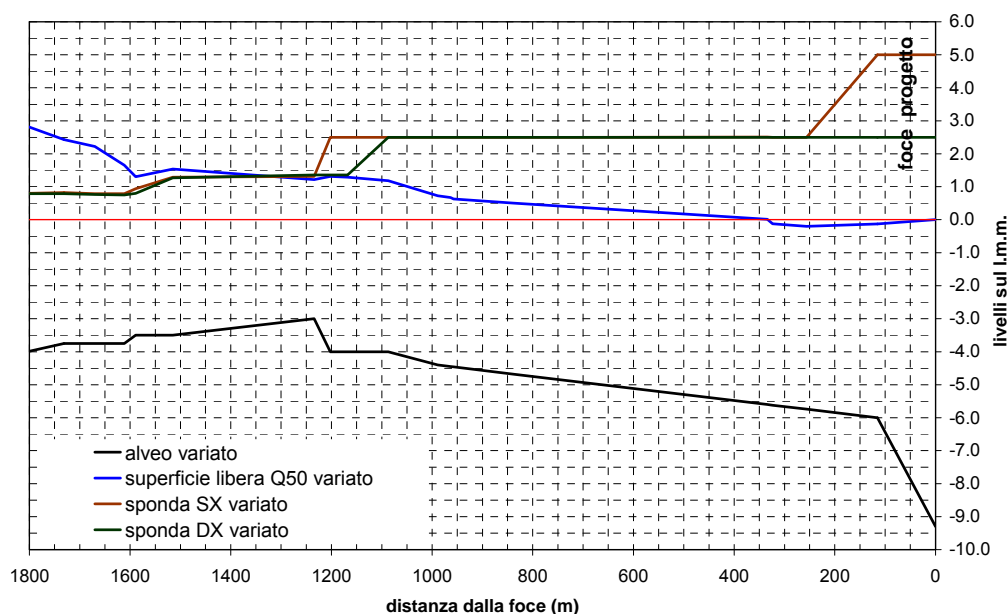


Fig. 5.1: Profilo di moto permanente per la configurazione variata ( $+0.0 \text{ m}$  sul l.m.m.)

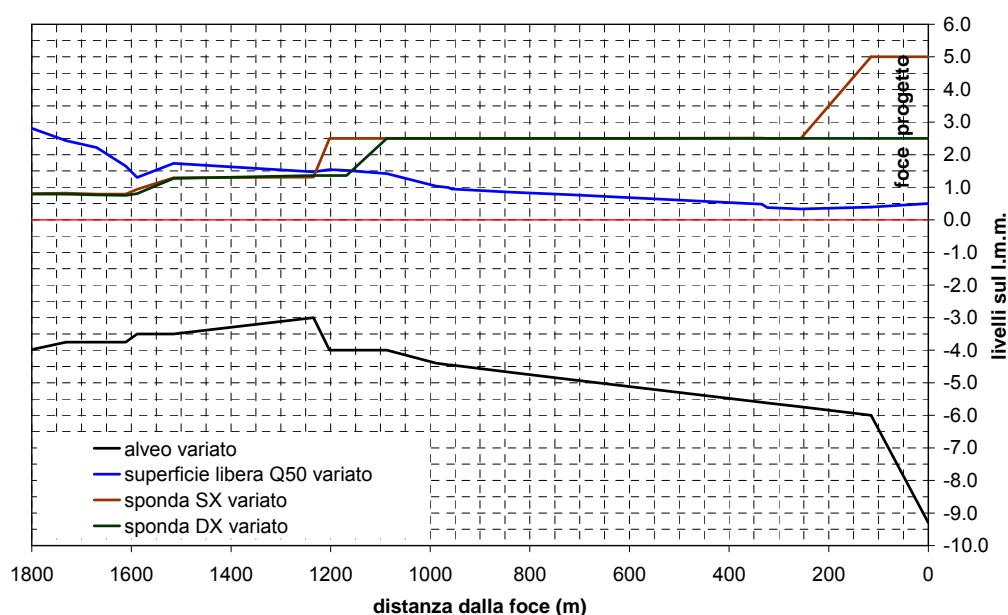


Fig. 5.2: Profilo di moto permanente per la configurazione variata ( $+0.5 \text{ m}$  sul l.m.m.)

Con riferimento alle figure citate, si osserva che la configurazione variata da luogo a profili di moto permanente costantemente più bassi (di circa 1.0-2.0 m) rispetto ai corrispondenti profili calcolati per la configurazione attuale.

In particolare, tali profili risultano contenuti nell'alveo ordinario di tutto il tratto terminale ridisegnato della foce fluviale (circa 1200 m) e mostrano una tendenza all'esondazione nel solo tratto iniziale (circa 400 metri in condizioni di sovrалzo alla foce nullo rispetto al medio mare e circa 550 m in condizioni di sovrалzo alla foce massimo pari a + 0.5 m sul l.m.m.). Inoltre la zona soggetta ad elevata esondazione (lama tracimante di altezza superiore al metro) è limitata ai soli primi 200 m del tratto simulato.

Con riferimento alle fig. 2.3 e 2.4, dove sono riportati i profili del talweg in condizioni attuali e in condizioni variate (per la localizzazione planimetrica delle sezioni indicate nelle figure si veda la fig. 2.2), si evidenzia che in condizioni di progetto è stata prevista una risagomatura del fondo fluviale che in parte elimina la barra esistente provocata dall'allargamento dell'alveo localizzato prima della foce. Ovviamente ciò contribuisce a migliorare sostanzialmente il deflusso fluviale nel tratto esaminato.

| Sezione | Q<br>m <sup>3</sup> /s | LV valle 0.0 m sul l.m.m. |          |      | LV valle 0.5 m sul l.m.m. |          |      |
|---------|------------------------|---------------------------|----------|------|---------------------------|----------|------|
|         |                        | LV<br>m                   | U<br>m/s | Fr   | LV<br>m                   | U<br>m/s | Fr   |
| A1      | 1094                   | 2.84                      | 3.87     | 0.51 | 2.84                      | 3.87     | 0.51 |
| A2      | 1094                   | 2.43                      | 4.43     | 0.60 | 2.43                      | 4.43     | 0.60 |
| A4      | 1094                   | 2.22                      | 4.61     | 0.63 | 2.22                      | 4.61     | 0.63 |
| A5      | 1094                   | 1.65                      | 5.34     | 0.77 | 1.65                      | 5.34     | 0.77 |
| A6      | 1094                   | 1.30                      | 5.45     | 0.85 | 1.30                      | 5.45     | 0.85 |
| A7      | 1094                   | 1.54                      | 2.72     | 0.43 | 1.73                      | 2.59     | 0.37 |
| P1      | 1094                   | 1.22                      | 2.73     | 0.43 | 1.47                      | 2.58     | 0.35 |
| P2      | 1094                   | 1.31                      | 2.11     | 0.29 | 1.54                      | 2.02     | 0.25 |
| P3      | 1094                   | 1.29                      | 2.10     | 0.29 | 1.52                      | 2.01     | 0.25 |
| P4      | 1094                   | 1.18                      | 2.37     | 0.33 | 1.42                      | 2.26     | 0.29 |
| P5      | 1094                   | 0.73                      | 3.46     | 0.50 | 1.04                      | 3.25     | 0.41 |
| P6      | 1094                   | 0.67                      | 3.50     | 0.49 | 0.99                      | 3.30     | 0.41 |
| P7      | 1094                   | 0.63                      | 3.58     | 0.51 | 0.95                      | 3.37     | 0.42 |
| P8      | 1094                   | 0.50                      | 3.38     | 0.47 | 0.85                      | 3.17     | 0.39 |
| P9      | 1094                   | 0.39                      | 3.18     | 0.44 | 0.77                      | 2.97     | 0.36 |
| P10     | 1094                   | 0.01                      | 3.00     | 0.40 | 0.48                      | 2.77     | 0.32 |
| P11     | 1094                   | -0.12                     | 3.34     | 0.48 | 0.38                      | 3.03     | 0.37 |
| P12     | 1094                   | -0.20                     | 3.32     | 0.47 | 0.33                      | 3.00     | 0.36 |
| P13     | 1094                   | -0.13                     | 2.40     | 0.33 | 0.39                      | 2.18     | 0.26 |
| P14     | 1094                   | 0.00                      | 1.18     | 0.14 | 0.50                      | 1.11     | 0.12 |

Tab. 5.1: Livello di m.p., velocità e numero di Froude alle sezioni della configurazione variata.

## **6 PARAGONE TRA LA SITUAZIONE ATTUALE E QUELLA DI PROGETTO. CONCLUSIONI**

Nelle figure 6.1 e 6.2 è riportato il confronto tra i profili di moto permanente calcolati per la portata  $Q_{50} = 1094 \text{ m}^3/\text{s}$  (alla quale corrisponde la condizione di maggiore pericolosità idraulica) e per un livello alla foce rispettivamente pari al medio mare (+0.0 m sul l.m.m.) e al massimo sovrалzo del livello medio marino nel caso di configurazione attuale (+1.0 m sul l.m.m.) e variata (+0.5 m sul l.m.m.).

Sulla base del lavoro svolto e del confronto tra i profili di moto permanente relativi alla situazione attuale e a quella prevista dal nuovo Piano Regolatore Portuale, si possono trarre le seguenti conclusioni:

- l'attuale tratto terminale del Fiume Pescara posto in corrispondenza alla zona di allargamento dell'alveo fluviale, presenta un profilo di fondo in contropendenza rispetto alla pendenza media del fondo del fiume (che va decrescendo da monte verso valle). Tale profilo denuncia una evidente tendenza alla sedimentazione provocata probabilmente dallo stesso allargamento della sezione idraulica. Ovviamente la contropendenza delle quote di fondo tende a peggiorare sensibilmente le condizioni di deflusso del fiume causando l'aumento dei relativi livelli e quindi una maggiore probabilità di esondazione. L'allargamento dell'alveo fluviale venne realizzato per scopi marittimi al fine di consentire l'evoluzione delle navi che frequentavano il porto canale;
- la modellazione monodimensionale della configurazione attuale, mostra per i primi 800 m del tratto di fiume simulato un pressoché continuo sovrалzo della superficie libera rispetto alle quote delle sponde dell'alveo ordinario compreso tra + 1,0 e + 2,0 m. In particolare nel caso di livello alla foce pari a +0.0 m sul l.m.m., tale sovrалzo risulta compreso tra +1.0 e +2.2 m. Nel caso di livello alla foce pari a +1.0 m sul l.m.m., tale sovrалzo risulta compreso tra + 1.2 e +2.3 m;
- la configurazione variata, proposta nell'ambito del nuovo Piano Regolatore Portuale, mostra un deciso miglioramento delle condizioni di deflusso idraulico del

fiume rispetto alla situazione attuale. Infatti la zona di esondazione elevata (lama tracimante di altezza superiore al metro) viene limitata ai soli primi 200 m del tratto di monte dell' alveo simulato. Inoltre in questo caso si ottiene che la variazione delle condizioni del livello di valle, costituita dal sovrizzo indotto dalle maree (meteorologica ed astronomica), influisce molto poco sulle condizioni di deflusso del fiume.

- tale miglioramento è da imputare all'aumento della sezione idraulica adottata nella configurazione di PRP rispetto a quella attuale, il quale prevale rispetto all'aumento delle perdite di carico dovute all'allungamento dell'asta fluviale.

Si osserva che la proposta di PRP che prevede l'eliminazione della portualità dall'asta fluviale, potrà consentire di eliminare l'attuale allargamento localizzato nel tratto terminale con evidenti benefici dal punto di vista dei problemi di sedimentazione e del conseguente deflusso idraulico.

Una ultima osservazione riguarda lo studio in corso di esecuzione da parte della Regione Abruzzo che sta valutando la possibilità di realizzare delle vasche destinate alla laminazione delle portate di piena. Ovviamente nel caso in cui venissero adottate soluzioni di questo genere ciò provocherebbe una riduzione delle portate al colmo di piena nel tratto analizzato nel presente lavoro con ovvi benefici dal punto di vista del deflusso idraulico.

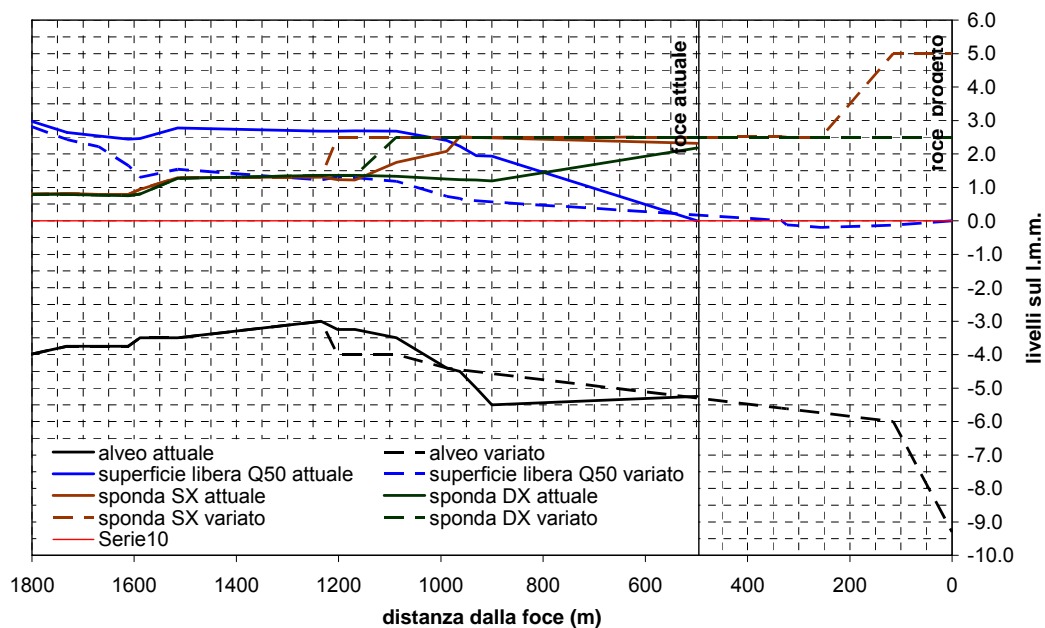


Fig. 6.1: Confronto dei profili di moto permanente (+0.0 m s.m.m.)

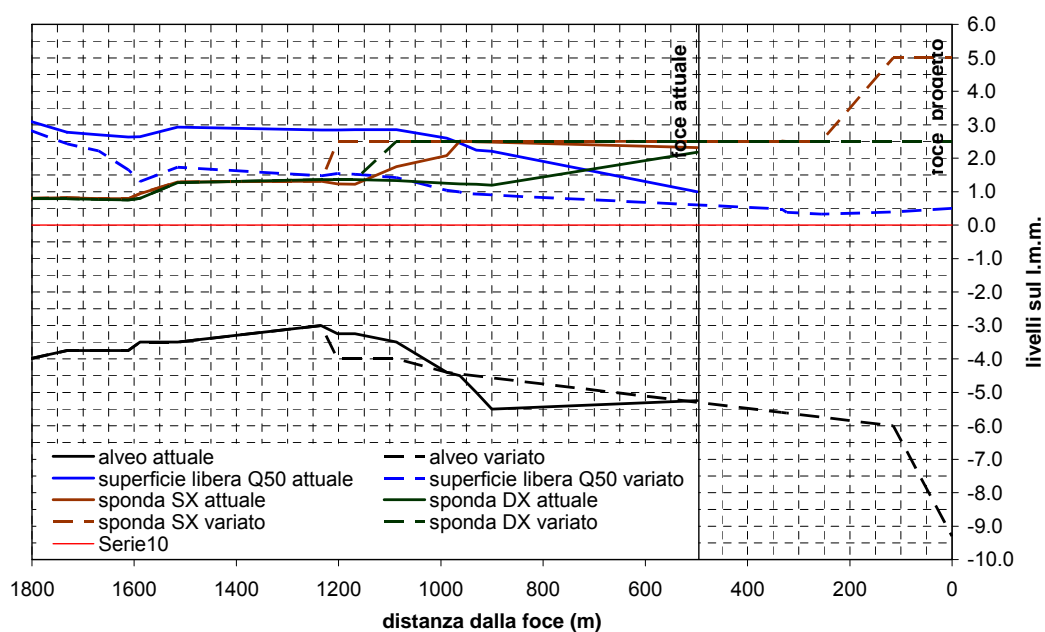


Fig. 6.2: Confronto dei profili di moto permanente (+1.0 m s.m.m.)

## **7 BIBLIOGRAFIA**

AA.VV. (2002): Piano stralcio difesa alluvioni della regione abruzzo. Direzione Territorio, Urbanistica, Beni Ambientali, Parchi, Politiche e Gestione dei Bacini Idrografici - Servizio Gestione e Tutela della Risorsa Acqua Superficiale e Sotterranea.

AA.VV. (2006): Analisi di rischio morfologico e socio-economico della fascia costiera abruzzese. Abruzzo Cronache, Numero Speciale, settembre 2006.

USACE (2008): HEC-RAS 4.0 - user's manual, marzo 2008.

USACE (2008): HEC-RAS 4.0 - hydraulic reference manual, marzo 2008.

## **8 APPENDICE: DESCRIZIONE DEL CODICE DI CALCOLO HEC-RAS**

Il codice di calcolo HEC-RAS, sviluppato dall' *Hydrologic Engineering Center* (HEC) del *U.S. Army Corps of Engineers* (USACE) è un sistema integrato di software, allestito per l'utilizzo interattivo in multy-tasking, in grado di effettuare l'analisi idrodinamica monodimensionale di corsi d'acqua naturali o artificiali in condizioni di moto stazionario e vario; il software è, inoltre, dotato di un modulo per l'analisi del trasporto solido in alveo. La versione corrente del modello consente di simulare regimi di moto subcritico e supercritico e di valutare gli effetti di ostacoli al flusso quali ponti, tubazioni, sbarramenti, costruzioni edificate nelle zone golenali e gli effetti delle confluenze tra i corsi d'acqua.

Il modulo per l'analisi a moto stazionario è basato sulla soluzione dell'equazione monodimensionale dell'energia. Il metodo numerico di integrazione utilizzato dal modello è chiamato “*Standard Step Method*”, il quale risolve in modo sequenziale l'equazione dell'energia fra due sezioni adiacenti, trasversali al moto. In altre parole il modello calcola le variazioni del livello idrometrico tra sezioni trasversali adiacenti sulla base del calcolo delle perdite di energia. In HEC-RAS le perdite di energia vengono considerate composte da due termini: una componente di attrito, dovuta alla scabrezza di fondo, calcolata per mezzo dell'equazione di Manning e una componente che rappresenta le perdite dovute a contrazioni ed espansioni della vena fluida, calcolata come frazione del carico cinetico.

Il funzionamento del modulo per l'analisi a moto stazionario si basa su alcune semplificazioni nell'equazione dell'energia:

moto permanente o moto gradualmente vario;

moto monodimensionale, con correzione della distribuzione orizzontale della velocità;

piccola pendenza del fondo;

perdite di fondo mediamente costanti fra due sezioni trasversali adiacenti;

arginature fisse.

Nei tratti localizzati ove il profilo idrico è rapidamente variabile (moto di transizione, ponti, confluenze, ecc.) viene utilizzata l'equazione della quantità di moto. L'elaborazione inizia ad un'estremità del tronco d'alveo indagato e procede passo-passo sino all'altra estremità; il verso dell'indagine è da valle verso monte per il moto subcritico e da monte verso valle per il moto supercritico. L'equazione dell'energia fra due sezioni trasversali, considerate perpendicolari al flusso, è la base per il calcolo del profilo idraulico. Essa si scrive:

$$E_1 - E_2 = h_e$$

dove  $E_1$  e  $E_2$  rappresentano l'energia totale, in termini di quota, delle sezioni considerate e  $h_e$  la perdita di energia che si verifica tra una sezione e quella adiacente.

L'energia totale  $E$ , è uguale alla somma dei contributi dovuti alla quota, alla pressione e al termine cinetico. Se  $\theta$  rappresenta la pendenza del fondo si ha che:

$$E = z + d \cos \theta + \frac{\alpha V^2}{2g}$$

il termine  $\cos \theta$  è comunemente assunto uguale a 1 per canali naturali. Si può comprendere come comunque si compia un errore molto basso imponendo questa semplificazione considerando che per una pendenza di fondo di 1:10, molto elevata,  $\cos \theta$  è uguale a 0.99. L'errore compiuto in questo caso è del 1%, e quindi, nel complesso, trascurabile.

L'equazione dell'energia tra due sezioni adiacenti assume, allora, la forma:

$$z_1 + y_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + y_2 + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + h_e$$

In HEC-RAS la perdita totale di energia  $h_e$  è considerata composta da due termini: una componente di attrito,  $h_f$ , dovuta alla scabrezza di fondo e una componente,  $h_o$ , che rappresenta le perdite dovute a contrazioni ed espansioni della vena fluida. Le perdite per attrito,  $h_f$ , vengono valutate moltiplicando la pendenza specifica della linea dell'energia  $S_f$  per la lunghezza  $L$  del tronco compreso tra due sezioni adiacenti; tale grandezza è definita dalla seguente espressione:

$$\int_2^1 S_f dx = \overline{S_f} L$$

dove  $S_f$  è la pendenza della linea dell'energia determinata con l'equazione di Manning in funzione della quota del pelo libero, della portata, del coefficiente di scabrezza  $n$  e della geometria della sezione.

In HEC-RAS vi sono quattro equazioni che forniscono il valore approssimato di  $S_f$  tra le due sezioni considerate nel passo di calcolo:

Trasporto medio:

$$S_f = \frac{(Q_1 + Q_2)^2}{(K_1 + K_2)^2}$$



Attrito specifico medio:

$$S_f = \frac{S_{f1} + S_{f2}}{2}$$

Media geometrica attrito specifico:

$$S_f = \sqrt{S_{f1} S_{f2}}$$

Media armonica attrito specifico:

$$S_f = \frac{2S_{f1}S_{f2}}{S_{f1} + S_{f2}}$$

Se nessuna di queste viene espressamente scelta in fase di setup dell'applicazione, il modello utilizza la prima delle quattro.

Le perdite,  $h_o$ , vengono calcolate dalla seguente espressione:

$$h_o = \xi \frac{V^2}{2g}$$

essendo  $\xi$  il coefficiente di perdita di carico, diverso a seconda si abbia contrazione o espansione della corrente. Il programma determina se il flusso è nell'una o nell'altra condizione sottraendo il termine cinetico  $V^2/2g$ , calcolato nella sezione di monte dal corrispondente termine valutato nella sezione di valle; se la differenza risulta un numero negativo, il moto è di contrazione, se positivo è di espansione. Per illustrare il metodo d'integrazione “*Standard Step Method*” utilizzato dal programma si possono descrivere i passi necessari per il calcolo del profilo relativo a condizioni di moto sub-critico con l'equazione dell'energia. Si suppongano quindi due sezioni di cui si conosca la quota della superficie della sezione di valle; il problema che si vuole risolvere è la conoscenza della quota corrispondente alla sezione di monte.

Si può quindi scrivere il bilancio dell'energia fra le sezioni  $M$  di monte e  $V$  di valle:

$$WS_M + \alpha_M \frac{V_M^2}{2g} = WS_V + \alpha_V \frac{V_V^2}{2g} + h_e$$

$$WS_M = z_M + y_M$$

$$WS_V = z_V + y_V$$

Assumendo che la geometria delle sezioni sia nota, i termini incogniti dell'equazione sono  $WS_M$ ,  $W_M$  e  $h_e$ .  $W_M$  è desumibile direttamente dal valore di  $WS_M$ , per cui le incognite possono essere ridotte a due.

Con due incognite è necessaria una seconda equazione, riguardante le perdite di energia ed espressa da  $h_e = h_f + h_o$ , per poter ottenere una soluzione. L'irregolarità dei canali naturali

richiede una ricerca della soluzione di tipo “*trail and error*”, per successivi tentativi. I passi attraverso cui avviene il calcolo sono i seguenti:

- viene supposta una quota di pelo libero per la sezione di monte. Un primo tentativo può essere fatto imponendo la pendenza della linea dell'energia pari alla pendenza del tronco d'alveo; quindi,  $\Delta WS = (Q/L)^2$ , dove  $\Delta WS$  rappresenta la variazione nella quota del pelo libero,  $Q$  è la portata,  $K$  il termine di trasporto e  $L$  la distanza dalla sezione a monte;
- sulla base della quota di pelo libero assunta e della geometria della sezione, vengono determinati i termini cinetico e il trasporto totale per la sezione a monte;
- con i valori calcolati del termine cinetico e di trasporto del passo 2, viene calcolato il valore di  $h_e$ ;
- con il valore calcolato di  $h_e$ , viene calcolata l'altezza di pelo libero della sezione a monte utilizzando l'equazione dell'energia;
- viene fatto un confronto fra il valore calcolato al passo 4 e il valore impostato al passo 1. Se la differenza non è inferiore a una prefissata tolleranza, il ciclo riprende cambiando il valore al passo 1.