

# COMUNE DI FOLIGNO

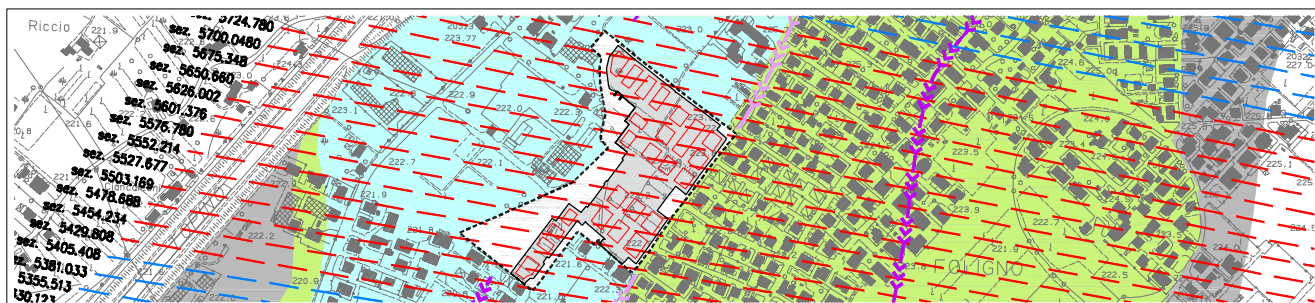
Provincia di PERUGIA

Piano Attuativo dell'Ambito di strutturazione urbana UT/SUDV n. 14 "Marchisielli"

## STUDIO IDRAULICO

ai sensi dell'art. 71 sexies della Variante N. 4 alle N.T.A.

[Delib. n. 80 del 17/07/2006] del PRG '97 del Comune di Foligno



Committente

*Ribes Costruzioni s.n.c. & M.G. Immobiliare s.r.l.*

## RELAZIONE TECNICA

ELABORATO: D01



**iDeA** di A. Bastianacci e L. Castellani

Sede legale : via E. Boni, 19 - 59100 Prato | P.I. e C.F. 01795500972

Studio: viale Plave, 20/c - 59100 PRATO | Tel & Fax 0574 33397 | [www.iDea.it](http://www.iDea.it) | [ide@iDea.it](mailto:ide@iDea.it)

IL PROGETTISTA:

Ing. Lorenzo Castellani

IL CONSULENTE:

Ing. Vincenzo Giovannini

REVISIONE	DESCRIZIONE	DATA
A	PRIMA EMISSIONE	AGOSTO 2007

## ***INDICE***

<b>INDICE .....</b>	<b>1</b>
<b>PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>1 COORDINATE URBANISTICHE ESSENZIALI .....</b>	<b>4</b>
<b>2 PRESCRIZIONI NORMATIVE EX V4_06/NTA .....</b>	<b>4</b>
<b>3 LA DEFINIZIONE DELLA COMPATIBILITÀ IDRAULICA .....</b>	<b>6</b>
3.1 <i>Principi [i.e. sulle fasce fluviali e la sicurezza idraulica] .....</i>	6
3.1.1 Il rischio idraulico indotto verso terzi .....	7
3.1.2 La sicurezza idraulica dell'area di intervento .....	8
3.1.3 Sulla significatività ed accettabilità .....	9
3.1.4 La scala di approccio .....	10
<b>4 METODOLOGIA ADOTTATA .....</b>	<b>10</b>
<b>5 LA MODELLAZIONE IDRAULICA PRE E POST P. A. ....</b>	<b>11</b>
5.1 <i>Caratteristiche essenziali del modello idraulico .....</i>	12
5.1.1 Continuità e quantità di moto .....	12
5.1.2 Correnti miste .....	13
5.1.3 Equazioni di base .....	14
5.1.4 Sezioni ordinarie .....	15
5.2 <i>Settaggi e definizione della geometria .....</i>	16
5.3 <i>Risultati .....</i>	17
<b>6 LA VALUTAZIONE ESPLICITA DEL RISCHIO .....</b>	<b>20</b>
6.1 <i>Definizioni .....</i>	20
6.1.1 Indicatori e standards di letteratura [cenni] .....	20
6.1.2 Eventi di riferimento e metodologia adottata .....	22
6.2 <i>La procedura U.K. Defra/EA (2006) .....</i>	23
6.2.1 Pericolosità .....	24
6.2.2 Vulnerabilità .....	25
6.2.2.1 <i>Dell'area .....</i>	25
6.2.2.2 <i>Delle persone .....</i>	27
6.3 <i>Il rischio per la salute umana .....</i>	27
6.3.1 Individuale .....	27
6.3.2 Sociale .....	29
6.3.3 Crollo arginale .....	30

<b>6.4 Criteri di accettabilità .....</b>	<b>31</b>
6.4.1 Contesto territoriale .....	31
6.4.2 Rischio individuale di morte [ed incidente] .....	31
6.4.3 Rischio sociale di incidente [e morte] .....	35
6.4.4 Limiti di Fascia e topologia di inondazione .....	36
6.4.5 Volume di invaso .....	36
6.4.6 Sicurezza propria .....	37
6.4.7 Preservazione della possibilità di realizzare interventi mitigatori programmati .....	37
<b>6.5 La gestione del rischio residuo .....</b>	<b>37</b>
6.5.1 Uso e manutenzioni .....	37
6.5.2 Viabilità .....	38
6.5.3 Crollo arginale .....	38
6.5.4 Sistema di smaltimento acque meteoriche proprie .....	38
6.5.5 Sistemi specifici di allertamento e Piano di Protezione Civile Comunale .....	38
6.5.6 Cambiamenti climatici .....	38
<b>7 CONCLUSIONI .....</b>	<b>38</b>

## **PREMESSA**

La presente nota tecnica costituisce la relazione idraulica di cui al c.3 dell'art. 71-sexies della Variante n. 4 alle N.T.A. del PRG '97 (V4\_06/NTA) [D.C.C. n. 80 del 17/07/06], a supporto del **Piano Attuativo** di iniziativa privata dell'Ambito di strutturazione urbana, primo impianto a *Dominante Verde UT/SUDV 14 "Marchisielli"*.

L'intervento di cui trattasi ricade interamente in Fascia A delle *Mappe di pericolosità e rischio idraulico nel bacino del F. Topino e del T. Marroggia – I Lotto* [2004]. Trattandosi un P.A., la V4\_06/NTA prevede la possibilità di parziale deroga alle limitazioni di *Fascia* di cui all'art. 71-ter, richiedendo ai sensi del c.3 dell'art. 71-sexies che la "[...] *relazione idraulica dimostri la compatibilità delle previsioni, nella loro interezza, con il rischio idraulico risultante dalle mappe di cui all'art. 71-bis* [...]".

Non essendo in V4\_06/NTA specificatamente normati i criteri di valutazione di tale compatibilità, viene qui applicata una metodologia obiettiva e coerente con le metodiche di definizione delle *Mappe*, facente primario riferimento al rischio per la salute umana. In particolare, sulla base di una breve disamina dello stato dell'arte nazionale ed europeo, vengono *proposti* dei livelli soglia di accettabilità di tale rischio.

La compatibilità di cui all'art. 71-sexies è valutata in base all'accettabilità del rischio suddetto, sia individuale sia collettivo, tenuta presente la declaratoria circa i diritti conformati dal PRG '97 contenuta nelle premesse alla D.C.C. n. 80/06 ("[...] *RITENUTO* *condivisibile l'obiettivo che si vuole raggiungere con la proposta variante normativa di temperare, con ragionevolezza, l'individuazione di un "rischio" potenziale con i diritti edificatori conformati dal PRG '97 atteso che tale piano è stato redatto anche in base a studi idraulici essendo ovviamente nota la potenziale esondazione dei fiumi che interessano il territorio comunale* [...]").

La sicurezza propria di P.A. sarà verificata con riferimento al  $T_r=200$  anni, utilizzando medesime ipotesi di lavoro e modellistica numerica già adottate in *Mappe*.

Al fine di garantire tale compatibilità, conformemente a quanto previsto dall'ultimo periodo del c. 3 dell'art. 71-sexies, si è resa necessaria una variante al P.A. di recepimento delle presenti indicazioni idrauliche.

## 1 COORDINATE URBANISTICHE ESSENZIALI

Si riportano di seguito le caratteristiche urbanistiche essenziali dell'intervento in oggetto, rimandando per i dettagli agli elaborati di *Variante*:

- *Area di sedime*: posta in *sx* F. Topino poco a valle del Ponte San Magno, *esterna* alla fascia di ampiezza 100 m dal fiume tra la briglia di Sportella Marini e Ponte San Magno di cui all'*art. 71 c. 8* delle N.T.A.
- *Rischio idraulico*: area interamente ricadente in *Fascia A* (Elab. 13F – Tav. 4f) delle *Mappe di pericolosità e rischio idraulico nel bacino del F. Topino e del T. Marroggia* – I Lotto [2004] di cui alla *V4\_06/NTA* (17/07/06) (*Fig. 1* e *Fig. 2*). Non direttamente vincolata dal P.A.I., non ricadendo in zone perimetrate *R3/R4*
- *Zonazione urbanistica*: spazio urbano, ambito di strutturazione urbana, primo impianto a *Dominante Verde* UT/SUDV 14 "Marchisielli" (Elab. P3 - Tav. 7/20 del PRG '97)
- *Tipologia intervento*: nuova edificazione (**NE**) in zona omogenea **C** ai sensi del D.M. 1444/68 (*art. 64 c. 2, p. 5*). N. 4 Comparti –  $SUC_T = 11.467 m^2$ , di cui  $4.039 m^2$  residenziale pubblica e  $7.428 m^2$  residenziale privata
- *Modalità di attuazione*: indiretta, con Piano Attuativo di Iniziativa Privata (*art. 62*)
- *Stato procedimento tecnico-amministrativo*: Piano Attuativo presentato antecedentemente all'atto della adozione della *V4\_06/NTA* (17/07/06), ma non già approvato, oggetto della *Variante* di cui al presente lavoro.

## 2 PRESCRIZIONI NORMATIVE EX V4\_06/NTA

Gli articoli di N.T.A. rilevanti ai fini idraulici sono:

- *art. 71- Norme finali e transitorie*, cc. 6, 7, 8 e 9 (previgente alla *V4\_06/NTA*): NON SIGNIFICATIVO per il caso di specie
  - **art. 71-bis-** *Norme transitorie in materia di rischio di esondazione – Disposizioni generali* [*V4\_06/NTA*]: SIGNIFICATIVO in quanto definisce l'applicabilità degli articoli successivi (in particolare *artt. 71-ter* e *sexies*) ai casi ricadenti entro le *Fasce A, B e C* perimetrate nelle citate *Mappe*, con esclusioni non pertinenti al caso di specie
  - **art. 71-ter-** *Norme transitorie in materia di rischio di esondazione – Disposizioni per la fascia "A"* [*V4\_06/NTA*]: SIGNIFICATIVO LIMITATAMENTE ai cc. 1 e 5 per i principi generali ed al c. 7 per la prospettiva vincolistica di subordine, in quanto richiamato dall'*art. 71-sexies*
  - **art. 71-sexies-** *Norme transitorie in materia di rischio di esondazione – Disposizioni per i piani attuativi* [*V4\_06/NTA*]: SIGNIFICATIVO in quanto specificatamente dedicato ai piani attuativi [ricadenti in *Fascia A* e/o *B*], con particolare riferimento al **c. 3** che disciplina i *PP.AA. previsti nel PRG '97 ma non ancora approvati né convenzionati* alla data di adozione delle *V4\_06/NTA*:
3. "I piani attuativi [...] presentati successivamente all'adozione del presente articolo, possono essere istruiti dagli uffici **purché la relazione idraulica dimostri la compatibilità delle previsioni, nella loro interezza, con il rischio idraulico risultante dalle mappe di cui**



**all'art. 71-bis.** Ove necessario possono essere proposte motivate e documentate soluzioni in variante purché non vi sia incremento delle potenzialità insediative consentite dal PRG '97".

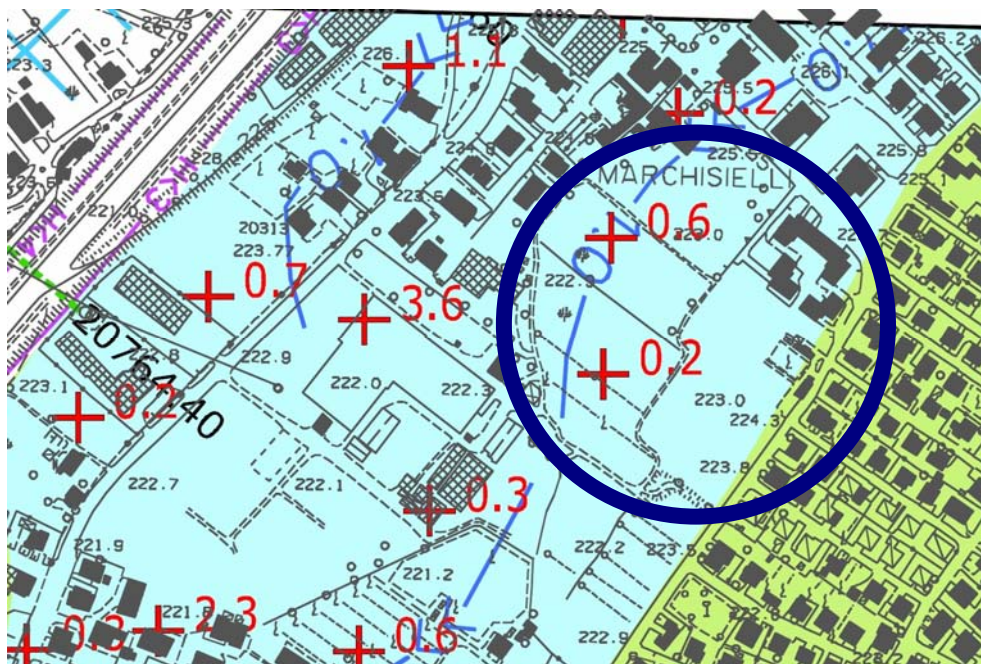


Fig. 1. Estratto di Elab. 12H - Tav. 3h delle Mappe di pericolosità e rischio idraulico nel bacino del F. Topino e del T. Marroggia - I Lotto (2004), nell'intorno del P.A. "Marchisielli" (in celeste/verde l'area allagabile  $T_r=50/200$ ).

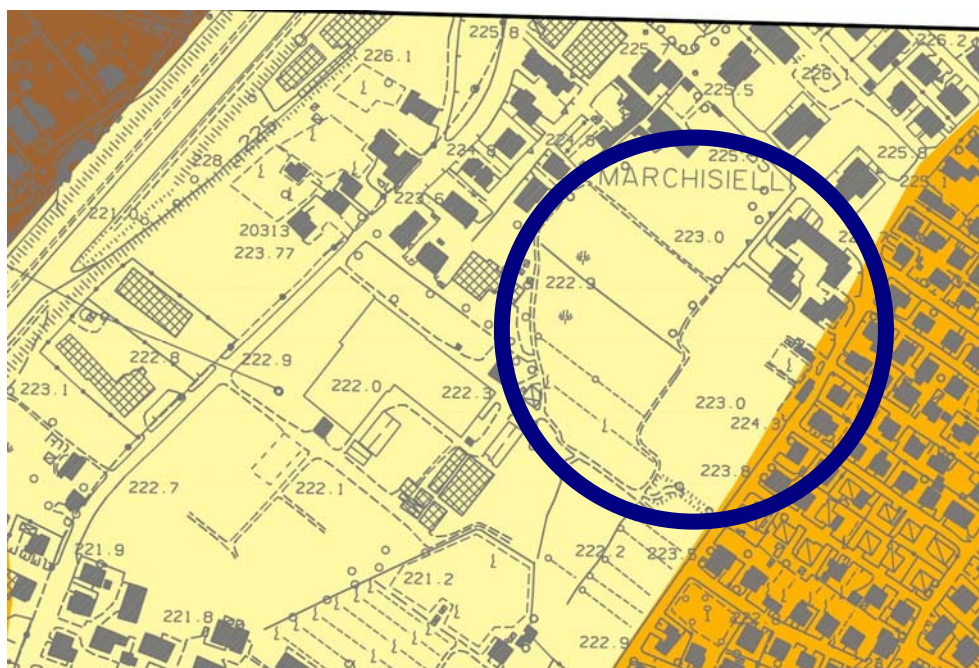


Fig. 2. Estratto di Elab. 13F - Tav. 4f delle Mappe di pericolosità e rischio idraulico nel bacino del F. Topino e del T. Marroggia - I Lotto (2004), nell'intorno del P.A. "Marchisielli" (in giallo/arancio la Fascia Fluviale A/B).

Si noti che –in ragione de "l'obiettivo [...] di contemperare, con ragionevolezza, l'individuazione di un "rischio" potenziale con i diritti edificatori conformati dal PRG '97" di cui in Premessa alla D.C.C. n. 80/2006- non vi è rimando *tout court* all'articolato –e quindi

ai vincoli- di *Fascia* (nella fattispecie l'art. 71-ter, in quanto ricadente in *Fascia A*), ma piuttosto alla "compatibilità [.. con le Mappe n.d.r.] nella loro interezza". Dunque, l'articolato di *Fascia* va ritenuto applicabile nei soli principi generali di cui al punto precedente (e meglio discussi al paragrafo successivo), potendo –nel caso dei P.P.AA.- derogare ad esso, a condizione della citata "compatibilità".

In definitiva, il P.A. "Marchisielli" non risulta precluso *a priori* né condizionato da interventi esterni<sup>1</sup>, ma subordinato alla **DIMOSTRAZIONE** della **COMPATIBILITÀ IDRAULICA** di cui all'art. 71-sexies c. 3.

### **3 LA DEFINIZIONE DELLA COMPATIBILITÀ IDRAULICA**

#### **3.1 PRINCIPI** [*i.e.* sulle fasce fluviali e la sicurezza idraulica]

La normativa di *Fascia* del P.A.I., da cui discende essenzialmente l'articolato delle V4\_06/NTA, fa riferimento concettuale ad una configurazione fluviale "naturale", ove l'area di pertinenza fluviale è morfologicamente identificabile in una fascia (appunto) di qualche ampiezza intorno all'alveo attivo, giustamente obiettivo di salvaguardie non solo idrauliche ma più generalmente ambientali, modulate secondo un *continuum* spaziale ben correlabile all'intensità dell'evento (e dunque al tempo di ritorno).

In effetti, lo stesso P.A.I. [*Relazione di Sintesi*, pagg. 5÷7], nell'ambito di un'articolata gerarchizzazione funzionale del reticolo idrografico, individua per la *Fascia A* i seguenti obiettivi d'assetto: "

- *garantire il libero deflusso della piena di riferimento Tr 50 anni*
- *consentire la divagazione dell'alveo inciso assecondando la naturalità delle dinamiche fluviali*
- *garantire la tutela ed il recupero delle componenti naturali dell'alveo funzionali al contenimento di fenomeni di dissesto (vegetazione ripariale, morfologia)"*

concludendo che "la fascia A è caratterizzata dalla massima pericolosità ed è definita dal limite delle aree di esondazione diretta<sup>2</sup> della piena di riferimento con Tr 50" e che "per la sua vicinanza al corso d'acqua, per le evidenti interconnessioni di tipo idraulico e per la presenza di habitat faunistici e vegetazionali tipici dell'ecosistema fluviale, la fascia A è considerata di pertinenza fluviale [...], in questo senso ulteriori insediamenti [...] non sono considerati compatibili con gli obiettivi di assetto della fascia".

Parallelamente, per la *Fascia B*, gli obiettivi d'assetto sono:

- *garantire il mantenimento delle aree di espansione naturale della piena*
- *controllare la pressione antropica*
- *garantire il recupero e la tutela del patrimonio storico-ambientale"*

concludendo che "il piano stralcio riconosce a queste aree la necessità di conservazione della capacità di laminazione della piena e individua criteri ed indirizzi per la compatibilità delle attività antropiche".

<sup>1</sup> Si rileva che, benché irrilevante ai fini in oggetto, pare tuttavia un'involontaria omissione il richiamo -invece fatto nei cc. 1 e 2- alla salvaguardia ex art. 71.

<sup>2</sup> **Si noti** che in fase di elaborazione e validazione delle Mappe, fu deciso dalle Autorità Idrauliche costituenti il Comitato Tecnico di Controllo di classificare anche le aree allagabili per tracimazione arginale di tipo *diretto*, assumendone l'equivalenza in termini di pericolosità.

I vincoli d'uso del territorio di cui all'articolato delle N.T.A. del P.A.I. derivano da tale definizione di fasce, che però mal si adatta al caso del F. Topino a Foligno<sup>3</sup> il cui attuale assetto – canale artificiale in posizione apicale nella valle e circondato da aree densamente urbanizzate – non determina delle "fasce" ma delle linee di corrente *extra-alveo* (attuale) "indipendenti" dall'alveo stesso e, dunque, senza più [pressoché] alcuna valenza ambientale e funzionale al fiume<sup>4</sup>.

Il **c. 5 dell'art. 71-ter** [ed il c. 1 dell'art. 71-quater], **ricalcando** formalmente l'approccio concettuale P.A.I. (vd. preservazione del *libero deflusso* e della *capacità di invaso* di "aree di pertinenza fluviale") **assume**<sup>5</sup> la equivalenza di *pericolosità e valenza* tra le due tipologie di aree allagabili **e, conseguentemente, pone** vincoli d'uso del territorio più tipicamente propri della fascia di *pertinenza fluviale* anche alle aree *esterne* al F. Topino allagabili con  $T_r=50$  anni.

In realtà, poiché la valenza fluvio-ambientale palesamente non sussiste più, per **Foligno città**, dal punto di vista idraulico si deve parlare di sola *sicurezza* o, più in generale, di *sostenibilità*, allorché si consideri anche la gestione delle acque meteoriche e l'assetto idraulico complessivamente inteso<sup>6</sup>.

L'articolato delle V4\_06/NTA relativo ai PP.AA., di fatto –in considerazione dei diritti edificatori– pone una **deroga** a tale equivalenza, vincolata alla verifica di "*compatibilità [...] con il rischio idraulico risultante dalle mappe*" (c. 3 art. 71-sexies). Si noti che, di fatto, tale deroga riguarda anche il livello di rischio accettabile implicitamente sotteso dal criterio di delimitazione delle *Fasce A, B e C*.

Oggetto della presente analisi è, appunto, la quantificazione esplicita e la discussione dei livelli di rischio *accettabili*. Essa si fonda sugli elementi di pericolosità già definiti, per lo stato attuale, nel lavoro delle *Mappe* e, per lo stato modificato, sulla medesima modellistica idraulica: ciò ne definisce la *compatibilità*.

Più in particolare, vengono discussi i criteri di messa in pratica dei principi di:

1. *accettabilità* del rischio idraulico di zona e *compatibilità* di valutazione con i criteri e gli esiti di *Mappe*
2. *significatività* del non aggravio del rischio idraulico indotto verso terzi
3. *accettabilità* del livello di sicurezza idraulica dell'area di intervento

ove i termini "significatività" e "compatibilità" sono intesi ai sensi del c. 5 dell'art. 71-ter (cfr. il § 3.1.3).

### 3.1.1 Il rischio idraulico indotto verso terzi

Il rischio idraulico verso terzi viene aumentato essenzialmente per induzione di maggiore pericolosità rispetto allo stato attuale. L'aumento, a rigori, avviene praticamente sempre nei normali casi di nuova edificazione. Punti dirimenti sono la definizione della *significatività* di tale [scontato<sup>7</sup>] aumento e, quindi, la *accettabilità* o meno.

Nella pratica, la *significatività* dell'aggravio di rischio indotto da uno stato modificato a terzi è correlata alla raffinatezza e coerenza degli strumenti di analisi (e dalle informazioni sperimentali disponibili per la calibrazione), temperata dal rapporto costi/benefici collettivi (sviluppo

<sup>3</sup> A differenza del tratto a monte della città, ove invece il concetto di fascia è pienamente applicabile.

<sup>4</sup> Cfr. ad es. anche U.S. F.E.M.A., *Guidelines and Specifications for Flood Hazard Mapping Partners* - App. E: *Guidance for Shallow Flooding Analyses and Mapping*, 2003.

<sup>5</sup> Vd. nota 2.

<sup>6</sup> Problematica qui trascurata in quanto non oggetto del presente lavoro.

<sup>7</sup> In realtà, come verrà discusso più avanti, l'adozione di misure specifiche compensative può, in alcuni casi, neutralizzare almeno il rischio individuale.



economico, ..) e, soprattutto, da commisurare –anche per ragioni di perequazione<sup>8</sup>- alle previsioni *comprensoriali* della dinamica urbanistica *e non* limitatamente al *singolo intervento*, il cui singolo impatto potrebbe di per sé solo risultare fuorviante "ininfluente".

Il non aggravio verso terzi implica sia la invarianza (in termini di non significatività della variazione) della pericolosità idraulica in capo a soggetti esterni all'intervento (danni diretti), sia il non aumento del rischio per l'area di intervento nello stato modificato, il cui [eventuale] risarcimento *pubblico* dei danni alluvionali costituirebbe ancora onere collettivo (danni indiretti).

Mentre il secondo aspetto si ricompone essenzialmente entro le misure di automitigazione di cui al paragrafo successivo, per il primo principio si deve dedurre<sup>9</sup> l'invarianza del rischio per la salute e della cinematica/topologia della inondazione ovvero, in sostanza, di:

- I. perimetri allagabili, velocità e tiranti medi<sup>10</sup> [*esterni* all'area di intervento]
- II. capacità di invaso [*interna* all'area di intervento].

Per quanto riguarda la preservazione della capacità d'invaso, va rilevato che, benché la gran parte dell'area allagabile a Foligno sia qualificabile *di transito*<sup>11</sup>, con zone terminali di accumulo principale molto distanti dai punti di esondazione, cionondimeno la moltitudine dei piccoli volumi di invaso, sebbene singolarmente non confrontabili con il volume complessivo dell'evento di riferimento della mappatura, mantiene una propria significatività in termini di mitigazione della pericolosità. Infatti, la pericolosità non è determinata da un singolo evento teorico ma dall'involgimento dell'intero spettro dei diversi eventi temibili con pari tempo di ritorno, determinanti ciascuna esondazioni di varia entità minore.

Avendo a riferimento più eventi esondativi possibili (così nelle *Mappe*) la *significatività* della capacità invaso, in linea di principio, sussiste *indipendentemente* dal rapporto relativo con il volume complessivo di esondazione dell'evento più gravoso utilizzato per perimetrare le aree allagabili e, dunque, come tale, appare corretto preservarla *sempre* (tipicamente per compensazione).

### 3.1.2 La sicurezza idraulica dell'area di intervento

Il non aumento del rischio nell'area di intervento deriva dalla neutralizzazione della *variazione* del prodotto *Pericolosità\*Vulnerabilità\*Esposizione* di NE<sup>12</sup>. In ambito urbano quale quello in oggetto, ciò si realizza essenzialmente per maggiore riduzione della pericolosità [locale] rispetto al [normalmente inevitabile] aumento della *Vulnerabilità\*Esposizione*, ovvero garantendo la *non allagabilità* per un tempo di ritorno adeguato, con franco di sicurezza. Cionondimeno, sono importanti, e devono essere adottate, anche misure complementari -strutturali e non- di minimizzazione della *Vulnerabilità\*Esposizione*, tipicamente riguardanti la *corretta disposizione e gestione di spazi, volumetrie e destinazioni d'uso*.

In definitiva, per la concreta ed omogenea applicazione pratica del principio di non aggravio del rischio locale vanno esplicitati criteri di definizione e valutazione di:

- III. quote di sicurezza (misura primaria passiva)
- IV. interventi protettivi strutturali e non (misure *complementari* attive e/o passive)

<sup>8</sup> Si noti che tale qualifica *collettiva* è caratteristica intrinseca e non marginale del problema delle dinamiche territoriali vincolate.

<sup>9</sup> Potrebbero pensarsi in linea teorica anche misure non strutturali, ma oggettive questioni di perequazione e cautela ne sconsigliano la applicabilità in termini *compensativi* di singolo intervento, avendo esse invece tipico carattere *aggiuntivo* comprensoriale (*Piani di Protezione Civile*). Inoltre, per il caso di Foligno, non appaiono ragionevolmente ipotizzabili scenari di tipo strutturale che possano intervenire sul governo delle acque *già esondate*.

<sup>10</sup> Come vedremo più avanti, i due parametri principali, anche se non unici, di valutazione del rischio.

<sup>11</sup> Sussistono tuttavia anche zone di invaso minore con significatività locale.

<sup>12</sup> Nuova edificazione.

in relazione alle variazioni di carico urbanistico<sup>13</sup> previste.

### 3.1.3 Sulla significatività ed accettabilità

Per sostanziare il riferimento del c. 3 dell'art. 71-sexies alla "[...] *compatibilità delle previsioni, nella loro interezza, con il rischio idraulico risultante dalle mappe* [...]", si deve riferirsi in primo luogo (ma non esclusivamente, poiché il richiamo è più complessivamente riferito al rischio idraulico mappato) alle prescrizioni generali di *Fascia* di cui agli artt. 71-ter e quater.

Nella fattispecie, ricadendo in *Fascia A* il c. 5 dell'art. 71-ter (*Disposizioni per la fascia "A"*) recita:

5. "Gli interventi di cui ai commi precedenti sono consentiti a condizione che non costituiscano significativo ostacolo al libero deflusso e/o significativa riduzione dell'attuale capacità d'invaso, non costituiscano impedimento alla realizzazione di interventi di attenuazione e/o eliminazione delle condizioni di rischio e siano coerenti con la pianificazione degli interventi di protezione civile, ove definiti."

Le suddette prescrizioni rappresentano un elenco analitico (non esaustivo, *vd.* avanti<sup>14</sup>) delle modalità di garanzia dell'**accettabilità** dell'aggravio di rischio indotto a terzi da una NE. Tale accettabilità è definita dal requisito di non **significatività** dell'aggravio rispetto al livello statuito con la definizione della *Fascia A*. Tale legame biunivoco tra accettabilità e significatività della perturbazione, vigente in *Fascia A* in generale, è tuttavia derogato per i PP.AA. per il già citato principio dei diritti edificatori conformati [D.C.C. n. 80/2006]. In tale caso, infatti, ai sensi del c. 3 dell'art. 71-sexies, la accettabilità può essere discussa non solo in termini di variazioni non significative<sup>15</sup> rispetto alla soglia di rischio già definita<sup>16</sup> dai criteri di perimetrazione delle *Fasce A, B e C*, ma anche in valore assoluto, i.e. **potendo variare** (in maniera giustificata, ovviamente) tale livello di rischio accettabile<sup>17</sup>.

La discussione numerica di tale accettabilità sarà oggetto del successivo § 6.

Per quanto invece concerne la significatività del citato c. 5, **si assume** che:

- il *non ostacolo al libero deflusso* (concetto più tipico di una vera fascia di pertinenza fluviale) vada traslato nella più generale *non perturbazione in aggravio verso terzi* e, quindi, complessivamente valutato in termini di rischio individuale e sociale per la salute umana (*vd.* § 6)
- la significatività della *capacità di invaso* debba assumersi sempre e comunque, indipendentemente da confronti con i volumi dell'evento di progetto, in ragione del già discusso concetto del contenuto probabilistico della mappatura, inviluppo di più scenari isoprobabili
- vista la collocazione del *P.A.* e le *previsioni di intervento strutturali* per la mitigazione della pericolosità [C.B.U., 2006 e 2007], l'impedimento agli stessi sia escluso
- circa eventuali interferenze con il *Piano di Protezione Civile Comunale*, sia il Comune stesso a dover procedere circa la verifica.

<sup>13</sup> *Vd.* c. 6 art. 71-bis delle V4\_06/NTA.

<sup>14</sup> A tal proposito *cf.*, ad esempio, anche D.G.R.L. 09/05/03, n. 509.

<sup>15</sup> Ovvero, la NE è accettabile **se e solo se** non induce variazioni significative (caso generale, con unica eccezione i *PP.AA.*).

<sup>16</sup> Il cui valore numerico verrà quantificato più avanti.

<sup>17</sup> Nel caso di Foligno, nella valutazione circa la *accettabilità* del rischio potrebbe tenersi conto anche del breve orizzonte temporale per il quale persisterà ancora la allagabilità con  $T_r=50$  anni, in ragione dei previsti interventi strutturali nel F. Topino. Supponendo, ad esempio, che necessitino 5 anni per la completa realizzazione degli interventi, la probabilità di accadimento nell'arco di vita *standard* dell'opera edile (50 anni) dell'evento idrologico 50-ennale scenderebbe dal 63% al 10%.

### 3.1.4 La scala di approccio

La corretta scala di approccio alle problematiche di gestione del territorio in condizioni [anche] idraulicamente vincolate è ovviamente quella Comunale di P.R.G. Pur essendo inevitabili, anche in un ben definito quadro di riferimento generale, parziali valutazioni "caso per caso", approcci meramente puntuali appaiono, infatti, a rischio di coerenza ed oggettività. Tale esigenza di scala comprensoriale scaturisce essenzialmente dalla necessità di definire la *significatività* di *più* perturbazioni urbanistiche aventi ciascuna -singolarmente e dipendentemente dalle altre- riflessi di aggravio verso *terzi*.

Sia la tollerabilità di tali aggravii sia la ripartizione di diritti ed oneri edificatori tra gli aventi titolo pare debba inevitabilmente risolversi in una pianificazione di interesse pubblico, che ne valuti preventivamente sia la *sostenibilità* idraulica *complessiva* sia la equa ripartizione degli oneri. A differenza delle prescrizioni inerenti la sicurezza *propria* -che [entro certi limiti] si può assumere "indipendente" dalla configurazione urbanistica d'intorno- quelle di salvaguardia dei diritti di terzi -ivi compresi non solo quelli di sicurezza ma anche quelli edificatori- sono invece dipendenti dalla visione complessiva delle modifiche di assetto urbano, in quanto tutte -in linea di principio- interferenti. Evidentemente, una serie di interventi *di per sé* -in base a qualsivoglia criterio- giudicabili non significativi possono tuttavia, *complessivamente*, determinare aggravio -sempre in base al medesimo criterio- significativo verso terzi.

Dunque, dato il carattere socio-politico della determinazione del livello di rischio accettabile (oggi definito per le *Fasce*, ma non per i *PP.AA.*), la sede naturale decisionale non può che rimanere il Comune<sup>18</sup>.

***Tuttavia, in assenza, ad oggi, di tale regolamentazione Comunale anche per i PP.AA., nel presente lavoro vengono autonomamente proposti le metodologie di valutazione ed i criteri di accettabilità descritti di seguito.***

## 4 METODOLOGIA ADOTTATA

Sulla base dei presupposti di cui al § 3, la metodologia di analisi adottata si fonda su:

1. analisi idraulica dello stato modificato (*post P.A.*) con modellistica ed ipotesi omogenee a quelle già adottate nella redazione delle *Mappe*, costituente lo stato attuale di riferimento (*pre P.A.*)
2. definizione dello stato modificato quale dovuto alla sola realizzazione del *P.A.* "Marchisielli", senza considerare ulteriori ipotesi di intervento urbanistico nell'area di influenza<sup>19</sup>
3. discussione analitica del concetto di "significatività", attraverso *a)* la definizione di criteri di coerenza con le *Mappe* e di valutazione concettuale e numerica, *b)* il calcolo esplicito delle variazioni di rischio per la salute<sup>20</sup> (*pre/post P.A.*) e *c)* la discussione e parametrizzazione del concetto di "accettabilità" dello stesso
4. determinazione dei criteri di sicurezza su orizzonte probabilistico 200 *anni*, secondo un'ottica unitaria di *risk management*.

In particolare, si assumono le seguenti ipotesi di lavoro:

<sup>18</sup> Nelle proprie autonomie, di concerto con le *Autorità Idrauliche*.

<sup>19</sup> Non essendo possibile, in questa sede, fare valutazioni complessivamente concernenti l'insieme di tutti i *PP.AA.* previsti dal PRG '97.

<sup>20</sup> Conseguente all'evento di esondazione del F. Topino di cui alle *Mappe*.

- il livello di **rischio accettabile** per i PP.AA. può essere superiore a quello definito dalla corrispondente *Fascia*, purché entro i limiti assoluti di maggiore riferimento nazionale e internazionale
- i limiti di **significatività del differenziale di livello idrico e di velocità** temibili per esondazione del F. Topino, valutati in maniera coerente con i criteri originali della mappatura delle *Fasce*, sono  $\Delta h_w=0.10\text{ m}$  e  $\Delta v_w=0.10\text{ m/s}$  (*norma uniforme*)
- i **volumi di invaso** disponibili allo stato attuale alle acque di esondazione del F. Topino, devono essere integralmente mantenuti e calcolati sui tiranti temibili con  $T_r=200\text{ anni}$ , senza riduzioni di "significatività". Essi dovranno ovviamente essere a cielo aperto e potranno eventualmente essere utilizzati anche per la gestione sostenibile delle acque meteoriche proprie (*norma uniforme*)
- la **sicurezza propria** deve essere garantita prevalentemente per caratteristiche intrinseche (quota e tipologia costruttiva), con previsioni solo complementari di [eventuali] protezioni attive locali (paratoie, muretti, ...), comunque da certificare ed asseverare a servitù idraulica (*norma uniforme*)
- il **franco di sicurezza** sulle quote di calpestio dei primi piani utili viene assunto pari al  $\max\{H_{50}+f_{50}; H_{200}+f_{200}\}$ , essendo  $H_x=h_{wx}+H_t$  ( $H_t$ =quota del terreno in m s.l.m.) e  $h_{wx}, f_x$  ( $f_{50}>f_{200}$ ) tiranti e franchi corrispondenti a  $T_r=x$ , nello stato modificato. In particolare, si assume  $f_{50}=1.00\text{ m}$  e  $f_{200}=0.50\text{ m}$  (*norma uniforme*).
- i **piani interrati** in aree allagabili con  $T_r\leq 50\text{ anni}$  (in generale da evitare) sono ammissibili purché non abitabili, con accesso protetto con  $f_{200}$ , stagni, protetti dai rigurgiti delle reti fognarie bianche e nere e, preferibilmente, con collegamento interno ai piani superiori (*norma uniforme*)
- l'intero **layout progettuale** deve esplicitamente prevedere considerazioni (ed eventuali contromisure) circa la cinematica di inondazione, adeguare coerentemente la disposizione degli elementi più vulnerabili e pericolosi (impianti, unità abitative monopiano terra, locali interrati, ..) e delle vie di fuga/soccorso (*valutazione caso per caso*).
- il **Piano Comunale di Protezione Civile** (parte emergenza idraulica) viene cautelativamente assunto ancora non operativo.

## 5 LA MODELLAZIONE IDRAULICA PRE E POST P.A.

Per la determinazione delle caratteristiche di pericolosità idraulica di stato modificato (*post*) viene utilizzato il medesimo modello idraulico in regime di moto vario delle *Mappe (pre)*.

In particolare, la valutazione idraulica dello stato modificato viene effettuata sulla base dei profili delle aree di sedime già utilizzati in *Mappe*, escludendo valutazioni esplicite dei corpi fabbrica<sup>21</sup> (la variazione altimetrica del profilo sarà dunque essenzialmente dovuta alle sole esigenze di messa in sicurezza del P.A.).

Rimandando a tale lavoro per tutti i dettagli, si riassumono di seguito le sole caratteristiche essenziali del modello, mentre più estesamente verranno discussi i risultati, riportati in maniera completa in A//. A.

<sup>21</sup> La densità dell'edificato è stata concettualizzata in un unico e costante parametro sintetico, la c.d. scabrezza equivalente (peraltro tenente conto anche di altri fattori), assumendo un DEM interpretativo dei profili medi dell'area di sedime, senza edifici in elevazione [*IIDeA-DIC*, 2004].

## 5.1 CARATTERISTICHE ESSENZIALI DEL MODELLO IDRAULICO

Il programma di calcolo impiegato per la determinazione dei profili della corrente a pelo libero è **HEC-RAS<sup>22</sup> v. 3.1.3**, in regime di moto vario di corrente mista, a fondo fisso.

Lo schema modellistico adottato risolve il problema della individuazione del livello del pelo libero della corrente in moto vario monodimensionale. Si riportano di seguito le principali caratteristiche del programma di calcolo impiegato, le equazioni di base, il metodo di implementazione numerica, ....

Il programma di calcolo è composto da 3 moduli che permettono di eseguire l'analisi in moto vario: un *pre*-processore dei dati di geometria, il motore di calcolo in moto vario ed un *post*-processore per analizzare i dati di *output*.

1. il *pre*-processore *HTab* è utilizzato per definire una serie di tabelle e curve contenenti le caratteristiche idrauliche delle sezioni del corso d'acqua; in questo modo è possibile velocizzare i calcoli in moto vario, evitando di ricalcolare le caratteristiche di *conveyance* delle sezioni ad ogni iterazione di calcolo, ma ricavandole per interpolazione da quelle calcolate precedentemente
2. i calcoli idraulici in moto vario vengono eseguiti con una versione modificata del software *UNET* (*Unsteady NETWORK model*) sviluppata da *Barkau* (1992)
3. il *post*-processore viene utilizzato per calcolare informazioni idrauliche più dettagliate in corrispondenza di determinati istanti temporali. In generale, infatti, il programma *UNET* calcola soltanto le quote del pelo libero e le portate defluenti nelle sezioni trasversali definite dall'utente; queste informazioni vengono trasmesse al programma di calcolo di moto permanente che calcola le corrispondenti caratteristiche idrauliche e le archivia in formato tabelle e grafici.

### 5.1.1 Continuità e quantità di moto

Le equazioni alla base del modello adottato sono le equazioni di De Saint Venant per il moto vario monodimensionale, espresse secondo le variabili dipendenti  $Q$  e  $z$ :

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_t = 0 \quad \text{equazione di continuità}$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial QV}{\partial x} + gA \left( \frac{\partial z}{\partial x} + S_f \right) = 0 \quad \text{equazione della conservazione della quantità di moto}^{23}$$

dove

- $Q$ : portata che all'istante  $t$  defluisce attraverso la sezione di ascissa  $x$   
 $A$ : area della sezione idrica corrispondente all'ascissa  $x$   
 $t$ : istante considerato  
 $S_f$ : gradiente medio delle perdite di carico per attrito  
 $V$ : velocità media della corrente  
 $g$ : accelerazione di gravità  
 $q_t$ : portata laterale in ingresso e/o in uscita  
 $(x, z)$ : sistema di riferimento con ascissa  $x$  parallela al fondo alveo e ordinata  $z$  verticale.

La pendenza  $S_f$  rappresentativa delle perdite di carico per attrito è calcolata secondo la formula di Manning:

$$S_f = \left( \frac{n^2 |Q| Q}{\mu^2 A^2 R^{4/3}} \right)$$

- $n$ : coefficiente di *Manning*  
 $\mu$ : coefficiente di viscosità ( $\mu=1$  nel S.I.,  $\mu=1.49$  nel U.S.).

Il modello appartiene alla classe dei "quasi-bidimensionali" che schematizza il territorio come un insieme di canali per ciascuno dei quali il fenomeno di propagazione è strettamente monodimensionale. In particolare, individua nella sezione trasversale due ambiti (tubi di flusso) distinti: il canale principale e le golene, definendone separatamente le equazioni di *De Saint Venant* (Fig. 3).

<sup>22</sup> *Hydrologic Engineering Center del U.S. Army Corps of Engineers*, 2005.

<sup>23</sup> Equazioni ottenute ipotizzando i coefficienti  $\beta$  (di ragguaglio della quantità di moto) e  $\alpha$  (di ragguaglio della potenza cinetica della corrente) uguali a 1.

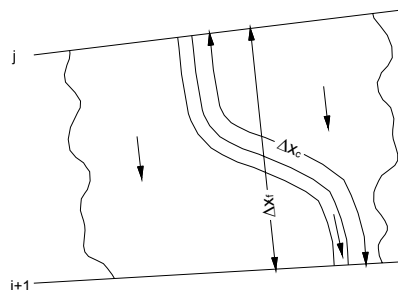


Fig. 3. Schema della discretizzazione spaziale.

Viene assunta orizzontale la superficie dell'acqua nella sezione ortogonale al flusso, così che la differenza del momento della quantità di moto calcolata nel canale principale e nell'area golendale/alveo di esondazione possa essere considerata trascurabile e la portata distribuita secondo la capacità di deflusso delle due porzioni di sezione, valutata secondo il coefficiente  $K$ .

In particolare:

$$Q_c = \phi \cdot Q$$

dove

$Q_c$ : portata che defluisce attraverso il canale centrale

$Q$ : portata totale

e

$$\phi = \frac{K_c}{K_c + K_f}$$

$K_c$ : capacità di deflusso nel canale principale

$K_f$ : capacità di deflusso golene/alveo di esondazione

Con tale assunzione, le equazioni per il moto monodimensionale possono essere scritte come segue:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial(\phi Q)}{\partial x_c} + \frac{\partial[(1-\phi)Q]}{\partial x_f} = 0$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial\left(\phi^2 \frac{Q^2}{A_c}\right)}{\partial x_c} + \frac{\partial\left[(1-\phi)^2 \frac{Q^2}{A_f}\right]}{\partial x_f} + gA_c\left(\frac{\partial z}{\partial x_c} + S_{fc}\right) + gA_f\left(\frac{\partial z}{\partial x_f} + S_{ff}\right) = 0$$

dove i pedici  $c$  e  $f$  si riferiscono rispettivamente al canale principale e golene.

Le equazioni sono quindi approssimate utilizzando uno schema implicito alle differenze finite e risolte numericamente con il metodo di iterazione di *Newton-Raphson*. In particolare, *Barkau* (1992) combina i termini convettivi della velocità  $e$ , definendo un fattore di distribuzione della velocità  $\beta = \beta(V_c, A_c, V_f, A_f, V, A)$ , trasforma le equazioni alle differenze finite per il canale e le golene in un gruppo di equazioni più conveniente dal punto di vista computazionale.

### 5.1.2 Correnti miste

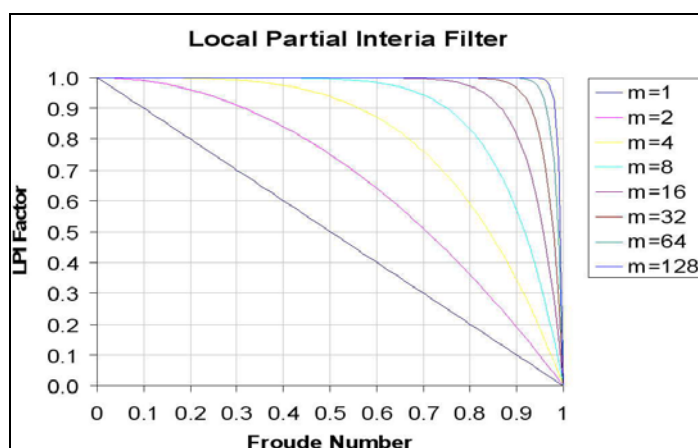
La transizione di stato della corrente da veloce a lenta determina note difficoltà matematiche legate alle condizioni di stabilità degli algoritmi di risoluzione delle equazioni di *De Saint-Venant* in moto vario. In *HEC-RAS*, viene adottato il metodo denominato della "Local Partial Inertia" (LPI), secondo il quale viene applicato un fattore di smorzamento  $\sigma$  riduttivo dei due termini inerziali dell'equazione della quantità di moto, via via crescente secondo l'esponente  $m$  all'aumentare del numero di *Froude* oltre un prescelto valore di soglia  $F_T$  (def=1.0), i.e. (Fig. 4):

$$\sigma \left( \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial\left(\frac{\beta Q^2}{A}\right)}{\partial x} \right) + gA \left( \frac{\partial h}{\partial x} + S_f \right) = 0$$

$$\sigma = F_T - F_r^m \quad \text{se} \quad F_r \leq F_T ; m \geq 1$$

$$\sigma = 0 \quad \text{se} \quad F_r \geq F_T$$



Fig. 4. LPI Factor al variare di  $m$  e  $F_r$ .

### 5.1.3 Equazioni di base

L'unità elementare del sistema fisico, composta da un volume idrico di controllo posto tra 2 generiche sezioni trasversali del corso d'acqua, schematicamente riportata in Fig. 5, è governata dal principio della *conservazione dell'energia*, assunto descrivibile tramite le seguenti due equazioni semplificate:

$$WS_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = WS_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

$$h_e = L \bar{S}_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right|$$

dove (i pedici 1 e 2 indicano le corrispondenti sezioni):

$WS_2, WS_1$  livelli del pelo libero alle estremità del tratto [ $m$ ]

$V_2^2, V_1^2$  velocità quadratiche medie [ $m^2/s^2$ ]

$\alpha_1, \alpha_2$  coefficienti ponderali dei termini cinetici []

$g$  accelerazione di gravità [ $m/s^2$ ]

$h_e$  perdite di carico totali [ $m$ ]

$L$  distanza media pesata sulle portate tra le due sezioni [ $m$ ], *i.e.*

$$L = \frac{L_{lo} \cdot \bar{Q}_{lo} + L_{mch} \cdot \bar{Q}_{mch} + L_{ro} \cdot \bar{Q}_{ro}}{\bar{Q}_{lo} + \bar{Q}_{mch} + \bar{Q}_{ro}}$$

$\bar{Q}_{ij}$  portata media nel tratto elementare defluente nei tratti golenali e di *thalweg* [ $m^3/s$ ]

$\bar{S}_f$  gradiente medio delle perdite di carico per attrito [ $m/m$ ];

$C$  coefficiente di dissipazione energetica per espansione o contrazione [].

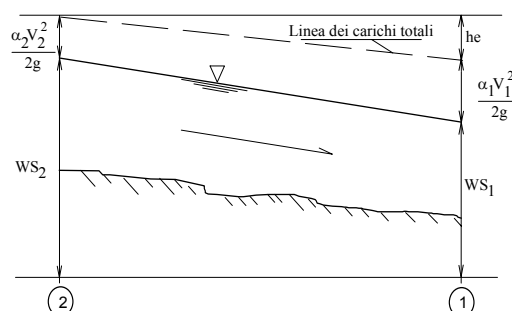


Fig. 5. Rappresentazione in termini energetici dell'equilibrio di volume idrico elementare.

La sezione di deflusso è supposta suddivisibile in 3 ambiti primari in cui sia applicabile l'ipotesi di distribuzione uniforme delle velocità, *i.e.* l'alveo principale o *thalweg* e 2 zone golenali.

I termini di perdita di carico media per ciascun tratto elementare, sia concentrata ( $\alpha$ ) sia distribuita ( $S_f$ ), vengono calcolati utilizzando la seguente definizione della capacità di deflusso (portata per unità di pendenza motrice<sup>1/2</sup>) - indipendentemente per ciascun ambito della sezione- (si omettono per brevità i pedici):

$$K = \frac{A \cdot R^{\frac{2}{3}}}{n}$$

dove:

- $K$  capacità di deflusso nell'ambito [ $m^3/s$ ];
- $n$  coefficiente di scabrezza di Manning [ $s/m^{1/3}$ ]
- $R$  raggio idraulico dell'ambito [ $m$ ]
- $A$  area della sezione bagnata dell'ambito [ $m^2$ ].

Dipendentemente dal regime della corrente, vengono utilizzate diverse stime del gradiente di carico per attriti medio sul tratto (media aritmetica, geometrica, armonica, ..). In particolare, per i profili di corrente lenta è stato prevalentemente utilizzata la media semplice ponderata sulla capacità di deflusso, *i.e.*:

$$\bar{S}_f = \left( \frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2} \right)^2$$

Per i carichi cinetici vale invece la seguente espressione (il pedice  $t$  indica la totalità della sezione):

$$\alpha = \frac{A_t^2 \cdot \left[ \frac{K_{lb}^3}{A_{lb}^2} + \frac{K_{mch}^3}{A_{mch}^2} + \frac{K_{rb}^3}{A_{rb}^2} \right]}{K_t^3}$$

I coefficienti di contrazione  $C$  sono stati assunti generalmente pari a 0.1-0.3 per le sezioni a variazioni ordinarie e 0.3-0.5 per le maggiori discontinuità geometriche, per le contrazioni e le espansioni, rispettivamente. Le scabrezze equivalenti sono computate per media ponderata su perimetro bagnato, sia per quelle di ambito che di intera sezione di deflusso.

Le transizioni attraverso lo stato critico della corrente, nel caso dei risalti idraulici e del passaggio attraverso ponti, vengono assunte governate dall'equazione semplificata della quantità di moto applicata al tratto elementare di canale, *i.e.* ( $X$  è la direzione di deflusso, 1 e 2 sono le sezioni di estremità):

$$P_1 - P_2 + W_x - F_f = Q \cdot \rho \cdot \Delta V_x$$

dove:

- $P$  forza idrostatica [ $M$ ]
- $W_x$  forza peso della massa idrica compresa nel tratto [ $M$ ]
- $F_f$  forza di attrito complessivamente agente sul tratto [ $M$ ]
- $Q$  portata in transito [ $m^3/s$ ]
- $\rho$  densità dell'acqua [ $Ns^2/m^4$ ]
- $\Delta V_x$  variazione di velocità media tra le sezioni, in direzione  $X$  [ $m/s$ ]

Gli sforzi tangenziali sul perimetro bagnato vengono calcolati secondo la formulazione di moto uniforme e la quantità di moto corretta con coefficienti empirici di letteratura.

### 5.1.4 Sezioni ordinarie

La geometria delle sezioni è descritta per punti ed è, quindi, non vincolata nella forma. Per sezioni ordinarie si intendono quelle in cui non è presente un manufatto che interferisca con la corrente alterandone "localmente" in maniera significativa lo stato energetico (*ad es.* ponti, traverse, salti di fondo, tombini, bruschi restringimenti, ...).

I principali attributi delle sezioni sono limiti del canale principale, scabrezza, argini, limiti delle aree "inefficaci". La definizione del *canale principale* dalle aree golenali e di espansione, determina la discretizzazione primaria all'interno della sezione, poiché essa è quella direttamente impiegata nella modellistica adottata. Il tratto fluviale è dunque suddiviso in 3 canalizzazioni ideali principali, cui corrispondono dissipazioni energetiche semi-indipendenti. La *scabrezza* è variabile nella sezione, diversificata secondo la copertura prevalente del suolo e i livelli idrici raggiunti dalla corrente.

## 5.2 SETTAGGI E DEFINIZIONE DELLA GEOMETRIA

Per tutti i dettagli circa settaggi del modello (E\_FMTFN1\_SX1), definizione della geometria di base<sup>24</sup>, ... si rimanda direttamente al § 3. della *Relazione Idraulica* (E04) delle *Mappe*.

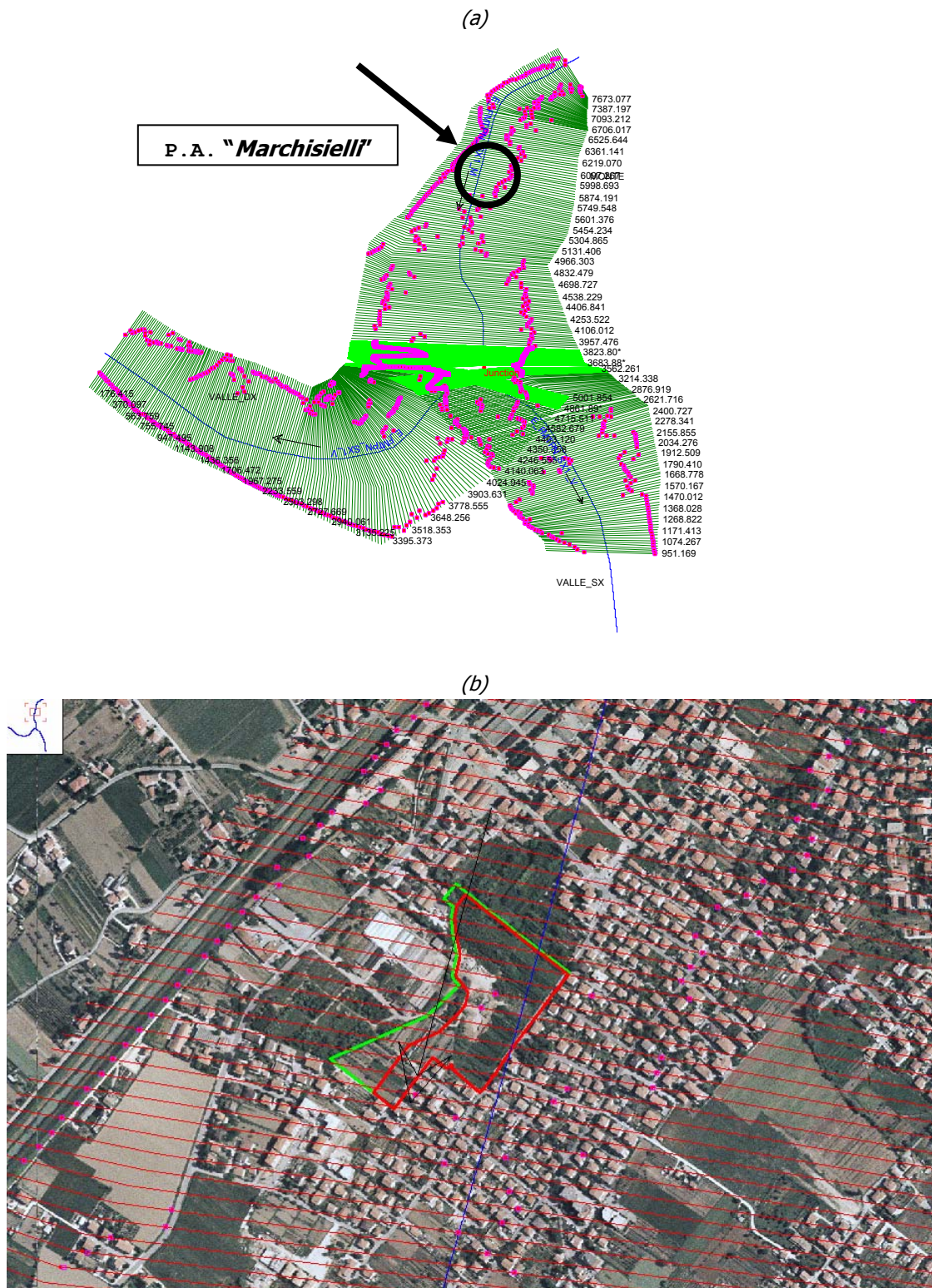


Fig. 6. Planimetria schematica del modello geometrico E\_FMTFN1\_SX1 utilizzato per l'analisi delle perturbazione indotte dal P.A. "Marchisielli".

<sup>24</sup> Sulla quale sono state apportate solo lievi modifiche di maggior affinamento per l'area in esame.

In Fig. 6 si riportano la planimetria schematica complessiva (a) e di dettaglio intorno al P.A. (b) delle sezioni utilizzate nel modello di moto vario. La geometria di stato *post* P.A. è stata ottenuta per semplice sovrapposizione di ostruzioni al profilo trasversale delle sezioni intersecanti l'area "Marchisielli".

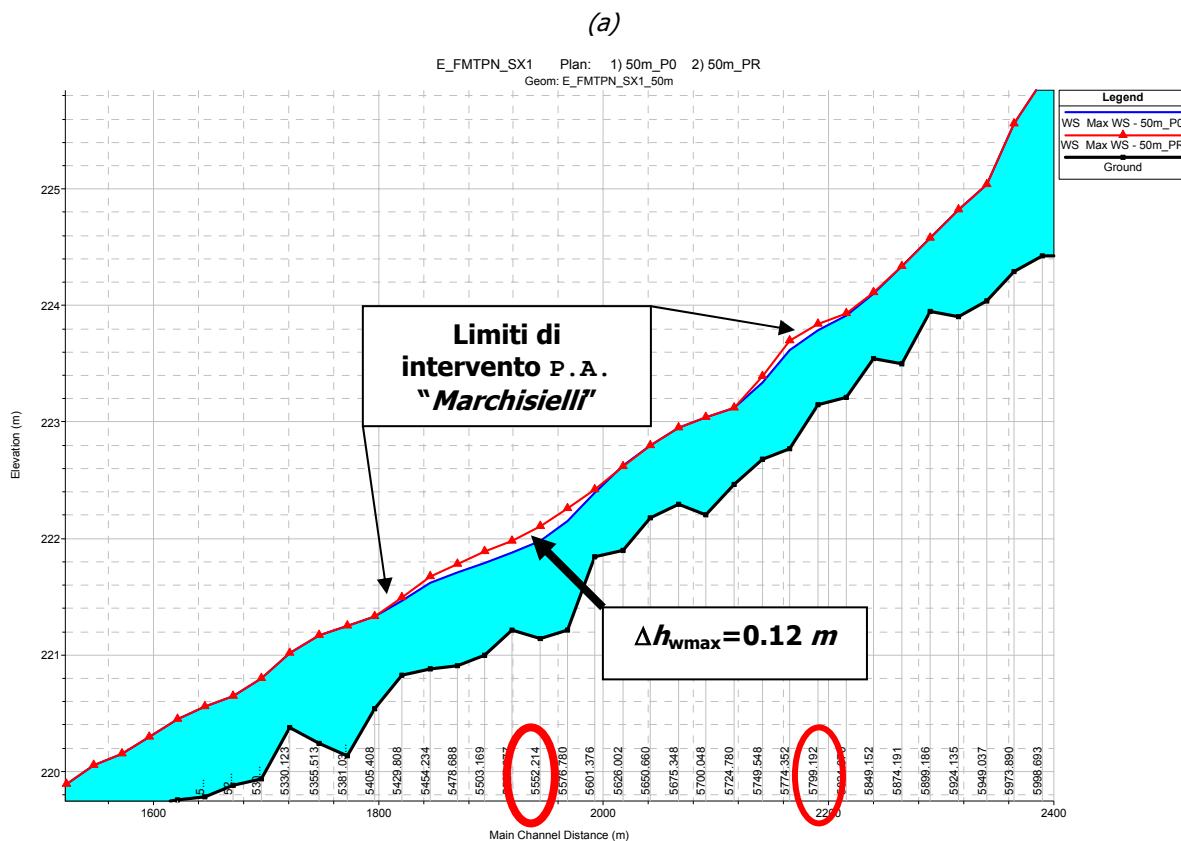
### 5.3 RISULTATI

Per il resoconto analitico dei risultati della modellazione idraulica si rimanda all'Al. A, mentre in Fig. 7 sono riportati i profili longitudinali dei livelli idrici di inondazione nell'area di influenza del P.A. per  $T_r=50$  e  $200$  anni, dai quali si nota come le massime perturbazioni siano localizzate alle sezz. 5552.214 e 5799.192 (Fig. 8), con incrementi di tirante  $\Delta h_w^{max}_{50/200}=0.12/0.10 \text{ m}^{25}$ . La zona di influenza è estesa ca.  $450 \text{ m}$  ( $\cong$  sezz. 5400÷5850), con rapide attenuazioni sia a monte sia a valle delle sezioni di massima perturbazione.

Analogamente ridotte sono le variazioni di velocità medie di sezione tra stato attuale e modificato  $-\Delta v_w^{max}_{50/200}=0.10/0.15 \text{ m/s}^{26}$ , i cui profili longitudinali sono riportati in Fig. 9.

Dunque, le variazioni di tirante e velocità indotte dalla realizzazione del P.A. sono classificabili localmente **significative**, in quanto  $\geq 0.10 \text{ m}$  e  $\geq 0.10 \text{ m/s}$  (cfr. §4).

Infine, in Fig. 10 sono riportati i profili longitudinali dei valori *medi di sezione* dei tiranti nello stato attuale e modificato per  $T_r=50$  e  $200$  anni, i cui valori massimi nella zona perturbata dal P.A. (sezz. 5552.214 e 5799.192) saranno utilizzati nella valutazione del rischio per la salute (vd. §6).



<sup>25</sup>  $0.12 \text{ m}$  per  $T_r=500$  anni.

<sup>26</sup>  $0.15 \text{ m/s}$  per  $T_r=500$  anni.

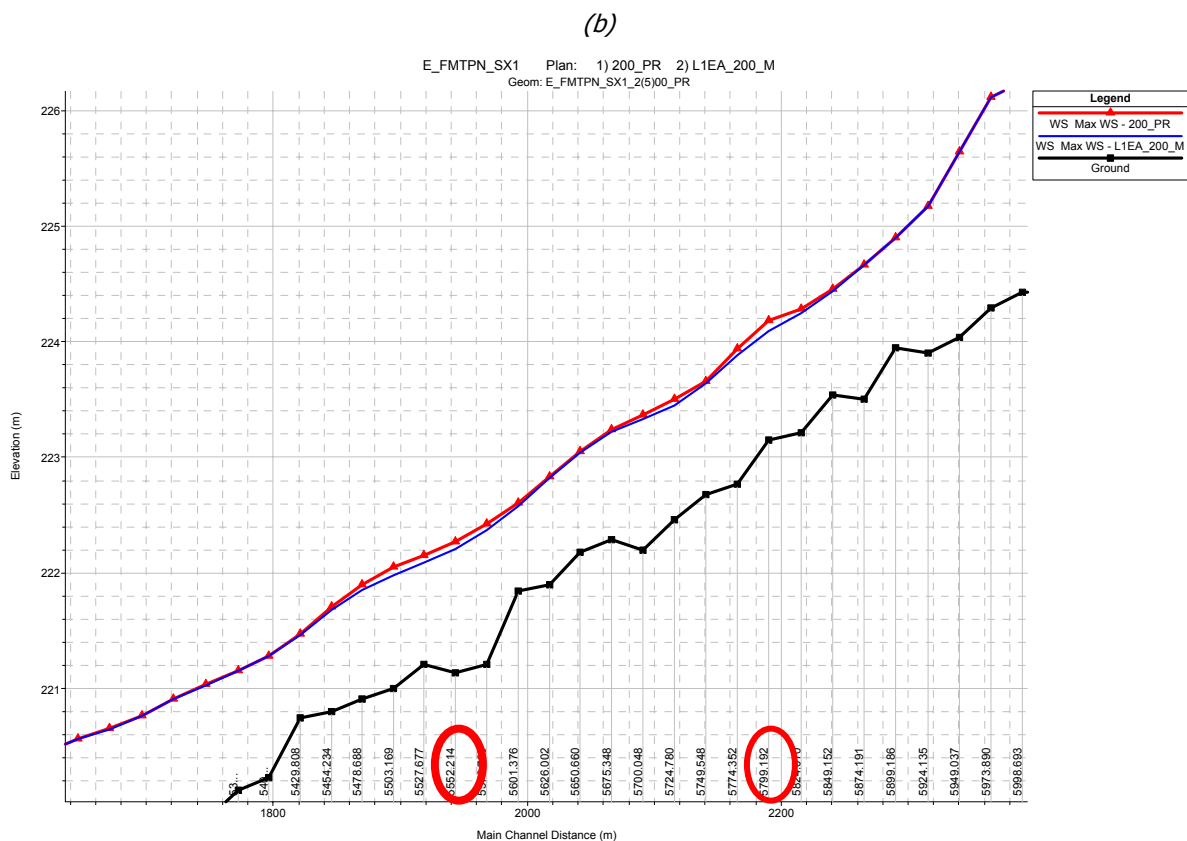
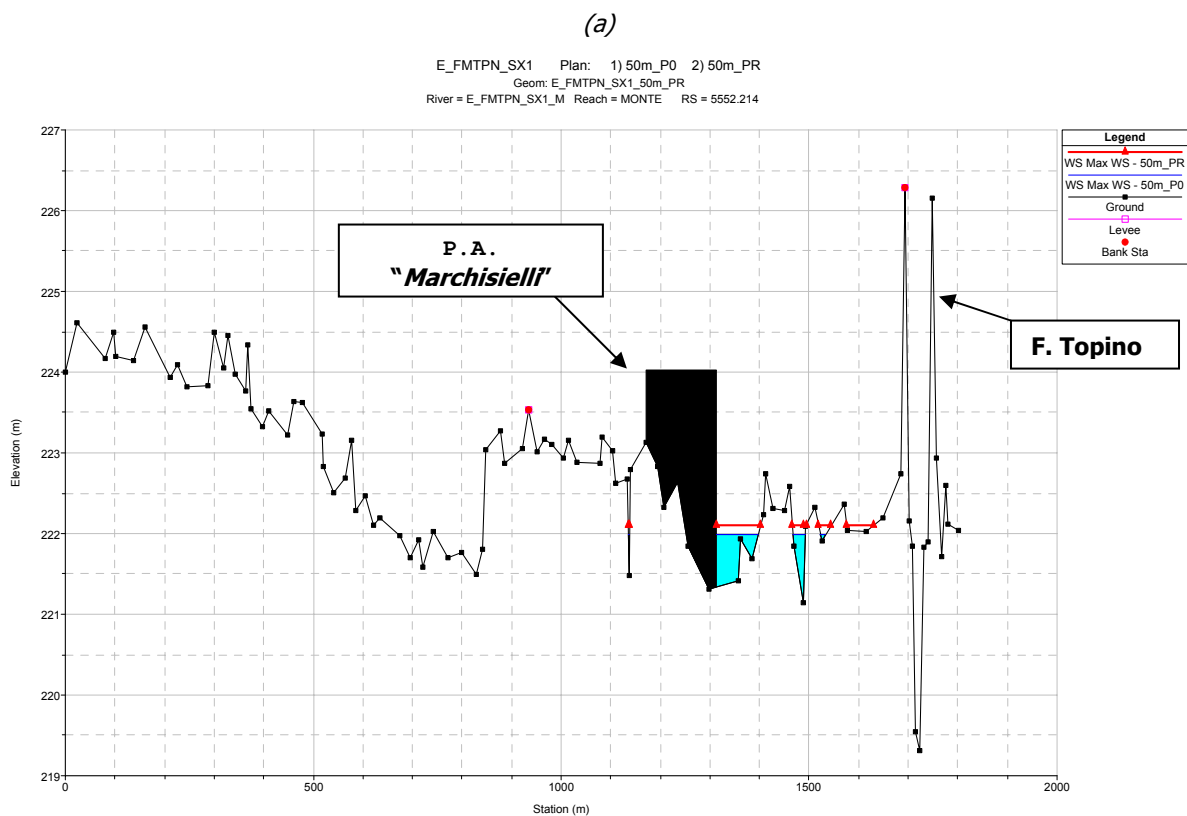


Fig. 7. Profili longitudinali dei peli liberi nella zona d'influenza del P.A. "Marchisielli" nello stato attuale (50m\_P0 e L1EA\_200\_M) e modificato (50m\_PR e 200\_PR), per  $T_r=50$  (a) e 200 (b) anni.





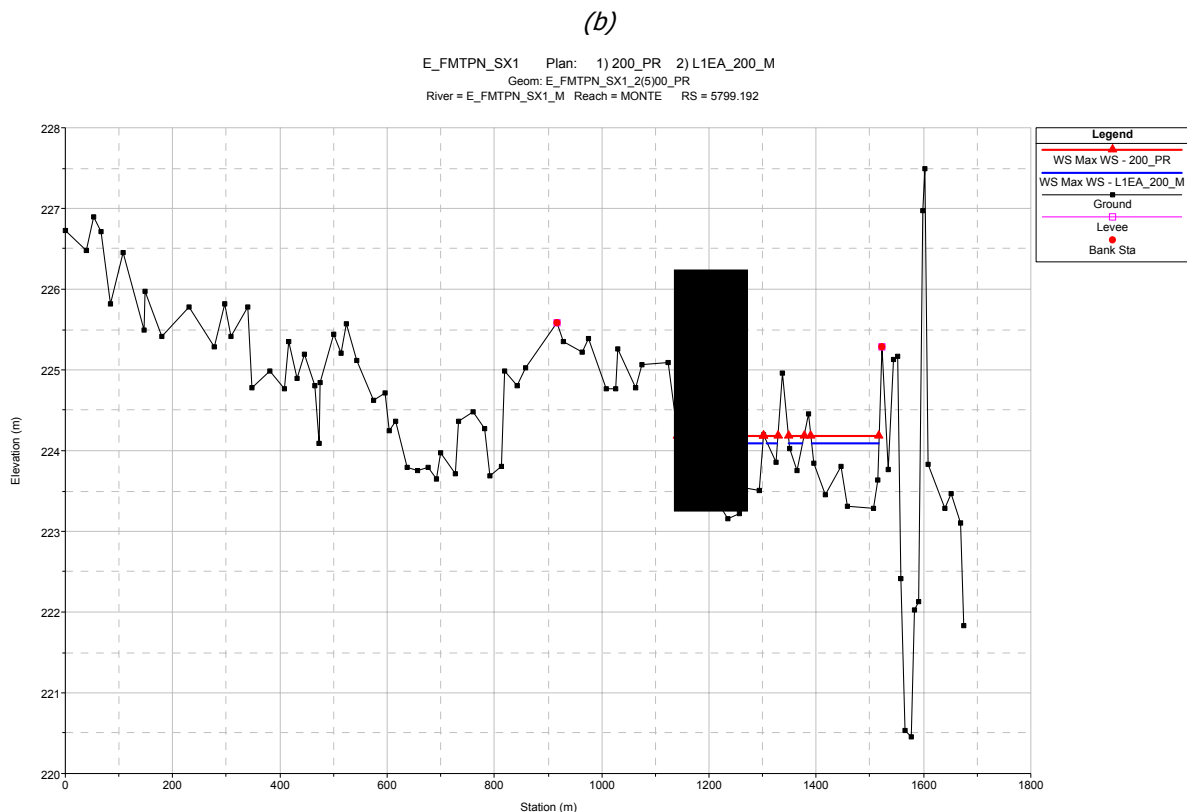


Fig. 8. Livelli idrici alle sezz. 5552.214 e 5799.192 di massima perturbazione dovuta al P.A. "Marchisielli" (50m\_P0 e L1EA\_200\_M=stato attuale; 50m\_PR e 200\_PR=stato modificato), per  $T_r=50$  (a), 200 e 500 (b) anni.

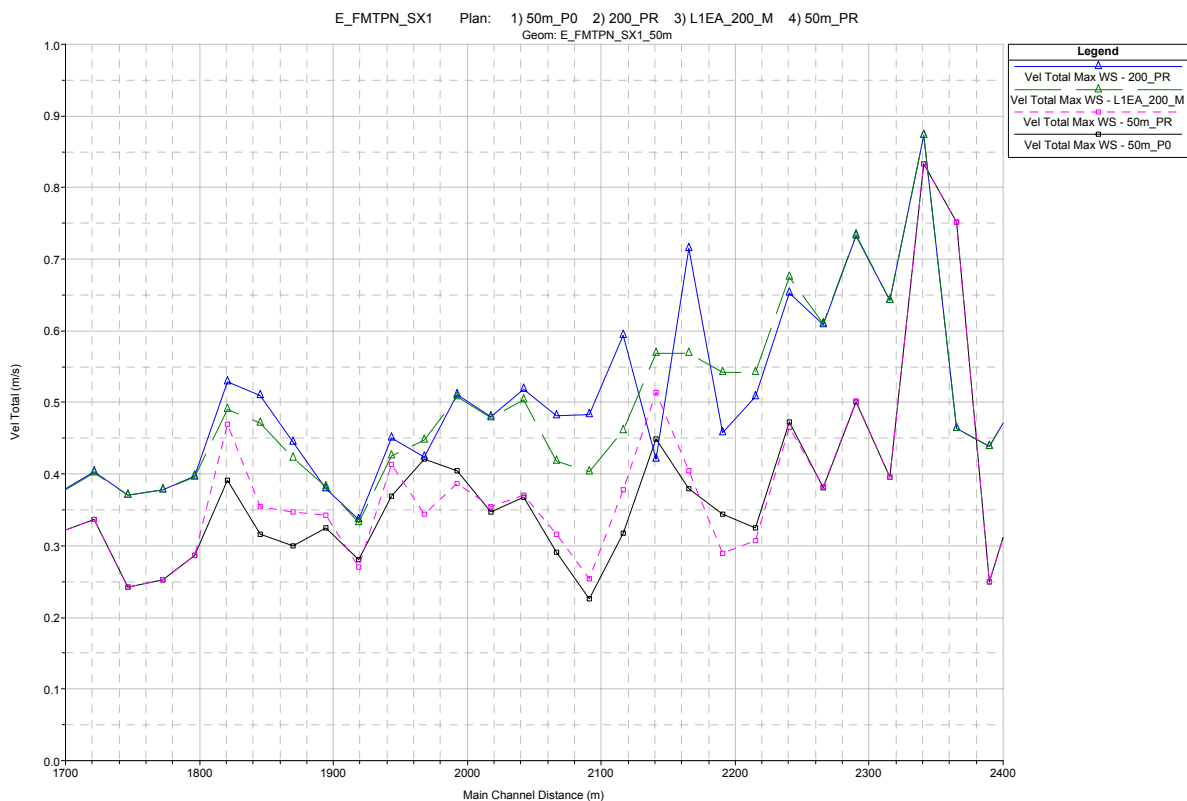


Fig. 9. Profili longitudinali delle velocità medie di sezione nell'intorno del P.A. "Marchisielli" nello stato attuale (50m\_P0 e L1EA\_200\_M) e modificato (50m\_PR e 200\_PR), per  $T_r=50$  e 200 anni.



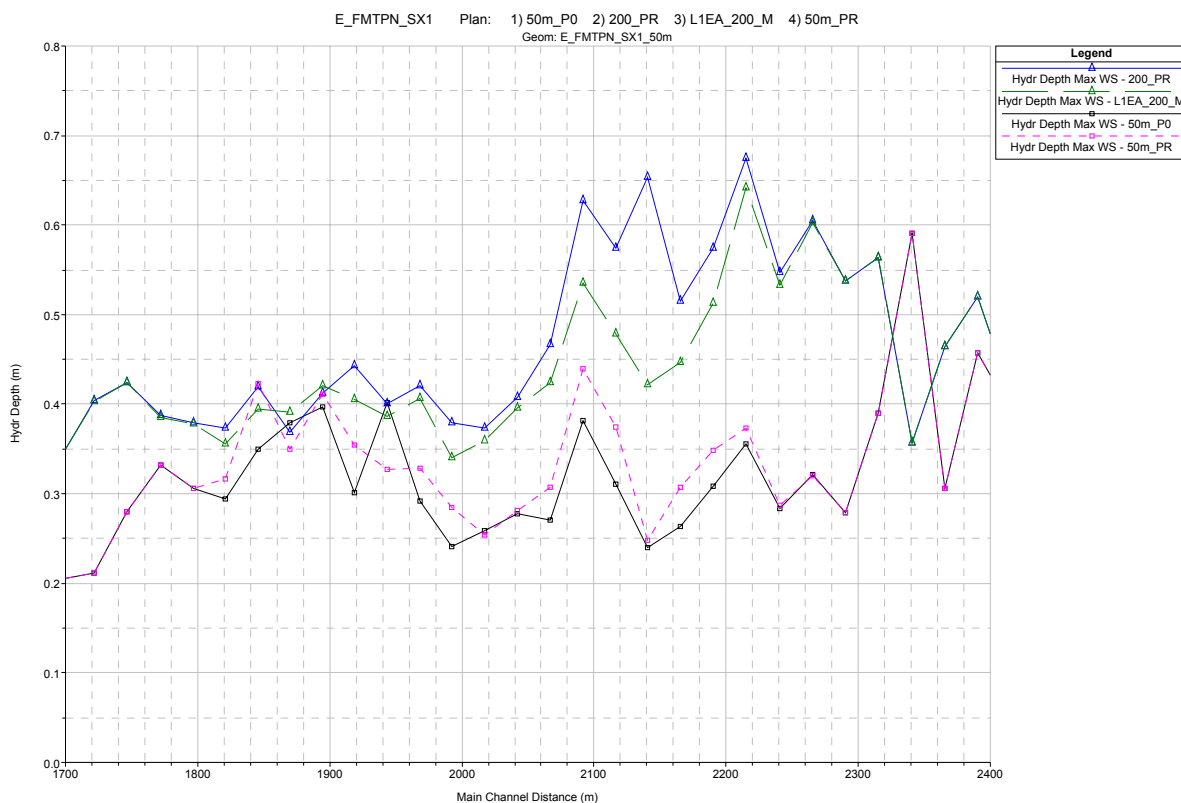


Fig. 10. Profili longitudinali dei tiranti medi di sezione (Area bagnata/Larghezza di p.l.) di stato attuale (50m\_P0 e L1EA\_200\_M) e modificato (50m\_PR e 200\_PR) in conseguenza della realizzazione del P.A. "Marchiselli", per  $T_r=50$  e 200 anni.

## 6 LA VALUTAZIONE ESPLICITA DEL RISCHIO

La valutazione esplicita del rischio è effettuata limitatamente alla **salute pubblica** (incidenti e morti), in quanto l'unica di interesse nel caso specifico.

### 6.1 DEFINIZIONI

Con la locuzione "analisi di rischio" (*risk analysis*) si intende in generale un'analisi empirico-probabilistica, basata su un complesso di metodologie di valutazione e calcolo, con la quale si tenda a stimare quantitativamente le possibilità di *danno*, in conseguenza dell'accadimento di eventi sfavorevoli (*pericolosi*), alla salute umana ed al tessuto socio-economico di una determinata zona di influenza degli eventi stessi.

Tale analisi è di fatto finalizzata alla "gestione del rischio" (*risk management*), intesa sia come previsione, valutazione e prevenzione degli eventi potenzialmente dannosi, sia come mitigazione delle conseguenze di un loro eventuale verificarsi, sino ad un livello "socialmente accettabile" (di compromesso costi/benefici). Evidentemente, essa si interfaccia, da una parte, con le aspettative – anche emotivo-psicologiche – della *collettività* (percezione del rischio) e, dall'altra, con la programmazione e l'attuazione di una gestione integrata di risorse e vincoli territoriali, mirata alla *sostenibilità* dello sviluppo.

#### 6.1.1 Indicatori e standards di letteratura [cenni]

La discussione intorno alla definizione ed il calcolo del rischio da alluvione, così come circa i

livelli obiettivo e socialmente accettabili nella pianificazione territoriale e degli interventi di mitigazione, è nell'ultimo decennio cresciuta particolarmente, soprattutto in ambito europeo (Svizzera [es. *Flood risk assessment based on security deficit analysis*, Beck *et al.*, 2007], Regno Unito [Defra/EA, 2005-2006], Olanda [es. *Flood risk calculated with different risk measures*, Jonkman *et al.*, 2004], ma anche Stati Uniti [U.S.A.C.E., F.E.M.A., 1999-2007], e Australia [es. *Effects of disclosure of flood-liability on residential property values*, Yeo, 2002]).

Le misure del rischio utilizzate in letteratura quali strumenti di pianificazione, fattibilità e gestione sono molteplici, con differenziazioni teoriche, formali e di complessità a seconda del settore tipico di utilizzo [opp. *citt.*]. Senza alcuna pretesa di effettuare disamine dello stato dell'arte e limitandosi alle misure più comunemente adottate in ambito idraulico<sup>27</sup> nella pratica normativa e/o di indirizzo in Europa e U.S.A., se ne distinguono 3 tipologie principali, afferenti la salute pubblica [umana] (2) ed il costo economico<sup>28</sup> (1).

### Salute pubblica

#### ➤ *Rischio individuale* (IR)

il rischio individuale definisce la probabilità media annua di subire un danno (tipicamente un incidente [*inj*] o la morte [*fat*]) dall'evento alluvionale, formalizzabile in [Bottelberghs, 2000]

$$IR = P_f \cdot P_{d|f}$$

ove  $P_f$  è la probabilità di accadimento dell'evento pericoloso [ $yr^{-1}$ ] e  $P_{d|f}$  la associata probabilità marginale di subirne un danno. Trascurando i dettagli delle diverse definizioni matematiche proposte in letteratura (esposizione permanente, definizione degli eventi nefasti attribuibili, ...) per tali probabilità, basti qui ricordare i valori limite riportati in Tab. 1, posto

$$IR < \beta \cdot 10^{-4}$$

$\beta$	VOLUNTARINESS	BENEFIT	EXAMPLE
100	Completely voluntary	Direct benefit	Mountaineering
10	voluntary	Direct benefit	Motorbiking
1	Neutral	Direct benefit	Car driving
<b>0.1</b>	<i>Involuntary</i>	<i>Some benefit</i>	Factory
<b>0.01</b>	<i>Involuntary</i>	<i>No benefit</i>	Living nearby an LPG station

Tab. 1. Valori guida del fattore  $\beta$  di accettabilità del rischio in funzione della volontarietà e del beneficio [Vrjling, 1998].

Si noti che l'accettabilità di un rischio involontario cambia di un ordine di grandezza ( $10^{-5}$ - $10^{-6}$ ) a seconda che contestualmente esso apporti o meno un qualche beneficio<sup>29</sup>

#### ➤ *Rischio sociale* (SR)

Il rischio sociale secondo Ichem (1985) è definibile come "la relazione tra frequenza di accadimento e numero di persone, all'interno di una data popolazione, passibili di un certo livello di danno in conseguenza del verificarsi di uno specifico evento pericoloso". La differenza tra rischio individuale e rischio sociale è rappresentata in Fig. 11, in cui le isolinee rappresentano i livelli di rischio individuale ("indipendenti" dalla presenza o meno di persone).

<sup>27</sup> Eventi di inondazione, settore dighe escluso (per le quali cfr. ad es. "Analisi di Rischio", ITCOLD-C2, 2004).

<sup>28</sup> Le alluvioni in generale non vengono ritenute foriere di danni *ambientali*, a meno di "interferenze" con usi umani impropri del territorio (depositi di sostanze inquinanti, discariche, ...).

<sup>29</sup> È dibattuto se, ad es. in casi come quello in oggetto, debba considerarsi l'uno o l'altro caso.

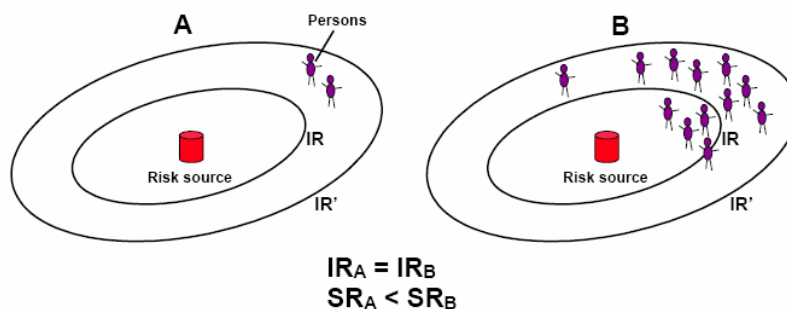


Fig. 11. Schema rappresentativo della differenza tra rischio individuale IR e sociale SR [Stallen, 1996].

Di tale grandezza integrale esistono in letteratura numerose misure; per dare un ordine di grandezza dei livelli accettabili si può assumere, in termini di numero di morti/anno [fat/yr]

$$SR < \beta \cdot 100$$

ove  $\beta$  è ancora definito dalla Tab. 1.

### Costo economico

#### ➤ Rischio economico ( $C_{TOT}$ )

Si omette ogni discussione sulle misure di rischio economico, non essendo applicabile nel presente contesto. Infatti, mentre la pianificazione territoriale generale viene normalmente basata su un qualche indice inerente la salute umana (principalmente il rischio individuale), indicatori economici di costo vengono più tipicamente utilizzati per analisi di fattibilità relative a singole opere.

La quantificazione dei temibili danni economici alle proprietà è, infatti, di minore rilevanza in ambito di pianificazione locale (PRG) di nuovi insediamenti, *posto che* ne sia verificato il non aumento per gli orizzonti probabilistici di responsabilità civile collettiva (tipicamente  $T_r=50$  anni). Per i soggetti già esposti (edifici esistenti, ...) la accettabilità o meno dei danni temibili con probabilità annua  $P>2\%$  (costi/benefici e misure di riduzione dell'esposizione) rientra tra le pertinenze classiche del singolo portatore d'interessi (singolo privato). Viceversa, la sostenibilità dell'incremento di rischio indotto sull'*economia collettiva* (interesse pubblico) dal nuovo P.A. si intenderà automaticamente verificata con l'accettabilità del rischio relativo alla salute umana.

### 6.1.2 Eventi di riferimento e metodologia adottata

Vengono considerate le seguenti tipologie di allagamento:

1. **esondazione del F. Topino** [primaria, valutata in maniera analitica]
2. crollo arginale [secondaria, demandata al *Piano Comunale di Protezione Civile*<sup>30</sup>]
3. insufficienza del sistema urbano di raccolta e collettamento delle acque meteoriche [secondaria, qui non valutata]

Si trascura perché non significativo il rischio di allagamento da acque sotterranee.

L'allagabilità per esondazione del F. Topino [tipo 1.] è valutata in configurazione di difese arginali integre [op. cit., 2004; P.A.I. A.b.T., 2006].

<sup>30</sup> Il P.A. "Marchisielli" non rientra nella fascia di 100 m dal F. Topino di cui al c. 8 dell'art. 71 della V4\_6/NTA.

Data la mancanza di normative e/o linee guida nazionali si adottano qui quelle del **UK-Defra/Environment Agency**, con particolare riferimento al *Flood Risk Assessment Guidance for New Development – Phase 2* [R&D Technical Report FD2320/TR2, October 2005] e *R&D Outputs: Flood Risks to People – Phase 2* [FD2321/TR1, March 2006], cui si rimanda per i dettagli. Il tipo di analisi di rischio è classificabile LOCALE ( $LRA$ ) a livello DI DETTAGLIO [op. cit, 2006].

## 6.2 LA PROCEDURA U.K. DEFRA/EA (2006)

Gli "indicatori di rischio" (in senso lato) sono da Defra/EA classificati in inerenti:

- la *pericolosità* di inondazione
- il grado di *esposizione* dell'insediamento alla inondazione
- la *vulnerabilità* " " "
- **il rischio** propriamente detto

Nella valutazione esplicita si farà qui riferimento all'ultima fattispecie, nella formulazione di seguito riportata, valida limitatamente al rischio per la salute umana:

<b>Eq. n. 1a</b>	$N_{inj}^{P\%} = 2 \cdot N_z \cdot HR^{P\%} \cdot AV / 100 \cdot PV / 100$	[Defra/EA, FD2321/TR1 e FD2320/TR2]
<b>Eq. n. 1b</b>	$N_{fat}^{P\%} = 2 \cdot N_{inj}^{P\%} HR^{P\%} / 100$	[Defra/EA, FD2321/TR1 e FD2320/TR2]

ove:

$N_{inj}^{P\%}$ =numero medio annuo di **incidenti** nell'area soggetta ad inondazione con probabilità  $P\%$  []

$N_{fat}^{P\%}$ =numero medio annuo di **morti** nell'area soggetta ad inondazione con probabilità  $P\%$  []

$N_z$ =numero complessivo di persone fruitrici dell'area soggetta ad inondazione []

$HR^{P\%}$ =indicatore del livello di **pericolosità** idraulica complessiva per inondazione []

$AV$ =indicatore del livello di vulnerabilità dell'area soggetta ad inondazione []

$PV$ =indicatore del livello di vulnerabilità delle persone fruitrici dell'area soggetta ad inondazione []

la cui descrizione è riportata nei paragrafi successivi.

Ad inquadramento generale dello stato di rischio idraulico dell'area si riportano in *Tab. 2* i principali indicatori in termini di pericolosità ( $H$ ), area ( $A$ ) e popolazione ( $P$ ), utilizzati in letteratura.

Tab. 2. Indicatori descrittivi tipici del rischio idraulico, con i principali valori numerici relativi all'area di P.A. UT/SUDV 14 "Marchisielli" a Foligno.

CATEGORIA	INDICATORE	U.D.M.	VALORE
H	Area di intervento e percentuale sul totale di A.A. $T_r=50$ anni <sup>31</sup>	ha - %	4.6 – 4.0
H	Area di intervento e percentuale sul totale di A.A. $T_r=50$ anni già urbanizzata	ha - %	4.6 – 4.0
H	Area totale di PRG di nuova edificazione in A.A. $T_r=50$ anni	ha	-
H	Area e percentuale di A.A. $T_r=50$ anni difesa da opere idrauliche	ha - %	118 – 100
H	Probabilità annua di inondazione con le difese attuali	%	2.0
H	Probabilità annua di inondazione con le difese di progetto <sup>32</sup>	%	0.5
H	Riduzione percentuale della fascia di funzionalità fluviale	%	0.0
H	Area e percentuale sul totale di intervento con limitazioni sul sistema di drenaggio acque meteoriche <sup>33</sup>	ha - %	4.6 – 100
H	Livello probabilistico <i>standard</i> di crisi del sistema di drenaggio acque meteoriche	anni - %	5 – 20
H	Variazione dello scarico meteorico a valle	$m^3/s$ - %	-
H	Variazione del livello idrico di inondazione nell'intorno per $P=2.0\%$	m - %	0.12 – 20.0
H	Variazione del livello idrico di inondazione nell'intorno per $P=0.5\%$	m - %	0.10 – 11.0
H	Variazione del livello idrico di inondazione nell'intorno per $P=0.2\%$	m - %	0.12 – 12.0
H	Rapidità di inondazione fluviale per tracimazione e rottura d'argine	h	<1
H	<b>Livello di pericolosità complessiva per inondazione [HR]</b>	[]	

<sup>31</sup> In sx F. Topino.

<sup>32</sup> Interventi sul F. Topino di cui alle v4\_06/N. T. A.

<sup>33</sup> Non ristagni locali ma a difficoltà di scolo del sistema ricettore.

A	Numero di proprietà esistenti e nuove a rischio di inondazione fluviale	#	-
A	Numero di proprietà esistenti e nuove a rischio di allagamento fognario	#	-
A	Numero di proprietà esistenti e nuove a rischio di allagamento per crollo arginale	#	-
A	Densità abitativa residenziale	ab/ha	60
A	Danno annuale atteso per usi residenziali e commerciali di stato attuale e di nuovo insediamento	€	
A	Variazione del danno economico temibile esternamente al nuovo insediamento	€	
A	Numero di edifici ad alta vulnerabilità	#	0
A	Condizione di efficienza ed affidabilità delle difese idrauliche allo stato attuale	-	Media
A	Investimenti previsti per la difesa idraulica	€	
A	Percentuale di proprietà in A.A. $T_r=50$ anni servita da sistema di allertamento	%	0.0
P	Numero di abitanti attuali, di nuovo insediamento e previsione <sup>34</sup> PRG in Fascia A	#	1500/1500/-
P	Numero di abitanti attuali, di nuovo insediamento e previsione PRG in Fascia B	#	3600/3600/-
P	Percentuale di persone inferme e/o disabili in A.A. $T_r=50$ anni allo stato attuale e di progetto	%	5.0+5.0
P	Percentuale di persone con età >75 anni e <7 anni in A.A. $T_r=50$ anni allo stato attuale e di progetto	%	11.0+6.0
P	<b>Indice di vulnerabilità sociale per inondazione [SFVI]</b>	[]	

### 6.2.1 Pericolosità

Si assumono i seguenti elementi di pericolosità:

PE1. *battente idrico* sul piano campagna:  $h_w$  [m]

PE2. *velocità di deflusso* della corrente di inondazione:  $v_w$  [m/s]

PE3. *tempo di allagamento* a partire dall'inizio della tracimazione di esondazione e distanza dalla stessa:  $t_{wo}$  [h],  $d_{wo}$  [m]

PE4. *tempo di permanenza* dell'acqua di inondazione:  $t_{wp}$  [h]

PE5. distanze minima dagli argini di altezza sul p.c.  $h_l$  [m] con massimo battente di tracimazione  $h_{wl}$  [m]:  $d$  [m]

cui corrispondono gli indicatori relativi a fenomenologie di allagamento per esondazione [Eq. n. 2] e per rottura arginale [Eq. A] ( $P\%$ =assegnato livello di probabilità di accadimento):

<b>Eq. n. 2</b>	$HR^{P\%} = h_w^{P\%} \cdot (v_w^{P\%} + 0.5) + DF$	[Defra/EA, FD2321/TR1 e FD2320/TR2]
-----------------	---	-------------------------------------

ove:

$HR^{P\%}$ =indicatore del livello di pericolosità idraulica complessiva per inondazione []

$DF$ =fattore di detrito<sup>35</sup> [] (Tab. 3)

Tab. 3. Valori guida del fattore di detrito **DF** in funzione di battente idrico, velocità ed uso del suolo [Defra/EA, FD2321/TR1, 2006].

TIRANTI/VELOCITÀ	ZONE AGRICOLE	BOSCHI	AREE URBANE
$0 \leq h_w \leq 0.25$ m	0.0	0.0	<b>0.0</b>
$0.25 < h_w \leq 0.75$ m	0.0	0.5	<b>1.0</b>
$0.75$ m < $h_w$ e/o $v_w > 2.0$ m/s	0.5	1.0	<b>1.0</b>

I citati **tiranti e velocità** sono intesi come valori **rappresentativi** dell'areale di analisi. Ai fini della valutazione del rischio individuale essi dovrebbero rappresentare la configurazione peggiore ("puntuale"), mentre per il rischio sociale (integrale) quella media. Date però, da una parte, le non rilevanti variazioni trasversali di morfologia ed uso del territorio e, dall'altra, la modellistica idraulica 1-D, per il calcolo (Eq. n. 2) si assumono unicamente i valori medi sulla sezione di maggiore pericolosità.

Dunque, i valori numerici dei fattori di pericolosità insistenti sull'area UT/SUDV 14 "Marchisielli" sono quelli di seguito riportati<sup>36</sup> [CBU-iDeA-DIC, 2004]:

<sup>34</sup> 0 ad interventi sul F. Topino avvenuti.

<sup>35</sup> Tiene conto della pericolosità aggiuntiva dovuta alla presenza di detriti/rifiuti flottanti in corso di piena.

<sup>36</sup> Valori tutti ricavati con la medesima modellistica delle Mappe e di cui al § 5.

**$P\%=2.9\%$  ( $T_r=35$  anni)<sup>37</sup>**

$$h_w^{A2.9} = 0.0 \text{ m}$$

$$h_w^{P2.9} = 0.0 \text{ m}$$

$$v_w^{A2.9} = 0.0 \text{ m/s}$$

$$v_w^{P2.9} = 0.0 \text{ m/s}$$

$$t_{wo}^{2.9} = 0.0 \text{ h}$$

$$t_{wp}^{2.9} = 0.0 \text{ h}$$

$$h_{wl}^{2.9} = 0.0 \text{ m}$$

 **$P\%=2.0\%$  ( $T_r=50$  anni)<sup>38</sup>**

$$h_w^{A2.0} = 0.40 \text{ m}$$

$$h_w^{P2.0} = 0.52 \text{ m}$$

$$v_w^{A2.0} = 0.35 \text{ m/s}$$

$$v_w^{P2.0} = 0.45 \text{ m/s}$$

$$t_{wo}^{2.0} = 1.5 \text{ h}$$

$$t_{wp}^{2.0} = 5.0 \text{ h}$$

$$h_{wl}^{2.0} = 3.0 \text{ m}$$

 **$P\%=0.5\%$  ( $T_r=200$  anni)<sup>39</sup>**

$$h_w^{A0.5} = 0.50 \text{ m}$$

$$h_w^{P0.5} = 0.60 \text{ m}$$

$$v_w^{A0.5} = 0.50 \text{ m/s}$$

$$v_w^{P0.5} = 0.50 \text{ m/s}$$

$$t_{wo}^{0.5} = 1.5 \text{ h}$$

$$t_{wp}^{0.5} = 8.0 \text{ h}$$

$$h_{wl}^{0.5} = 3.5 \text{ m}$$

 **$P\%=0.2\%$  ( $T_r=500$  anni)<sup>40</sup>**

$$h_w^{A0.2} = 0.70 \text{ m}$$

$$h_w^{P0.2} = 0.80 \text{ m}$$

$$v_w^{A0.2} = 0.65 \text{ m/s}$$

$$v_w^{P0.2} = 0.65 \text{ m/s}$$

$$t_{wo}^{0.2} = 1.5 \text{ h}$$

$$t_{wp}^{0.2} = 8.5 \text{ h}$$

$$h_{wl}^{0.2} = 3.5 \text{ m}$$

 **$P\%=0.1\%$  ( $T_r=1000$  anni)<sup>41</sup>**

$$h_w^{A0.2} = 1.00 \text{ m}$$

$$h_w^{P0.2} = 1.10 \text{ m}$$

$$v_w^{A0.2} = 0.85 \text{ m/s}$$

$$v_w^{P0.2} = 0.85 \text{ m/s}$$

$$t_{wo}^{0.2} = 1.5 \text{ h}$$

$$t_{wp}^{0.2} = 8.5 \text{ h}$$

$$h_{wl}^{0.2} = 3.5 \text{ m}$$

Le caratteristiche statiche dell'arginatura di maggiore pericolosità per l'area "Marchisielli" sono  $h_f=3.0$  m e  $d_f=200$  m.

**6.2.2 Vulnerabilità****6.2.2.1 Dell'area**

Il numero di persone esposte a rischio è stimato in base a 3 categorie di fattori:

- il sistema di *allertamento* → *FWS*
- la *rapidità* di inondazione → *SOS*
- la *natura* dell'area (destinazione d'uso, tipologia edilizia, ..) → *NAS*

Si trascura la variabilità temporale della vulnerabilità (a rigori sussistente).

<sup>37</sup> Limite inferiore di non esondazione del F. Topino, *i.e.* di non allagabilità dell'area.

<sup>38</sup> Sezione *prog.* 5552.214.

<sup>39</sup> Sezione *prog.* 5799.192.

<sup>40</sup> Sezione *prog.* 5799.192.

<sup>41</sup> Valori stimati euristici, senza modellazione idraulica esplicita.



Facendo riferimento alla sola inondazione per esondazione (velocità di propagazione ed allertabilità sono molto diverse in caso di rottura d'argine), si adottano i seguenti indicatori:

**Eq. n. 3a**

$$FWS = 3 - [P_1 \cdot (P_2 + P_3)]$$

[Defra/EA, FD2321/TR1 e FD2320/TR2]

ove:

$FWS$ =indicatore del livello di efficienza del sistema di allertamento []

$P_1$ =percentuale di copertura areale nominale (obiettivo<sup>42</sup>) del sistema di allertamento (%)

$P_2$ =percentuale di soddisfacimento dei limiti temporali nominali (obiettivo<sup>43</sup>) del sistema di allertamento (%)

$P_3$ =percentuale degli obiettivi nominali effettivamente raggiunti allo stato attuale (%).

Nel caso specifico, si assume cautelativamente non esista ancora a Foligno un sistema di allertamento di piena incluso nel *Piano di Protezione Civile Comunale* e, dunque,  **$FWS=3.0$** . Nel caso invece esistesse, ad esempio, un sistema di allertamento a copertura totale dell'area ( $P_1=100\%$ ), ma ancora in fase di completamento e sperimentazione ( $P_2=P_3=50\%$ ), si potrebbe assumere  $FWS=2.0$ .

Gli indicatori di rapidità di inondazione e natura dell'area vengono definiti sinteticamente secondo i seguenti punteggi:

**Eq. n. 3b**

$$SOS = \{1,2,3\}$$

[Defra/EA, FD2321/TR1 e FD2320/TR2]

ove:

$SOS$ =indicatore della rapidità di inondazione [], a valori discreti:

1=area a basso rischio con inondazione lenta ( $>>1 h$ )

2=area a medio rischio con inondazione graduale ( $\approx 1 h$ )

3=area ad alto rischio con inondazione rapida ( $<<1 h$ )

Nel caso in oggetto si assume  **$SOS=2$** , essendo  $t_{wo} \approx 1.5 h$ .

L'indicatore relativo alla natura dell'area vuole essenzialmente tenere conto della possibilità, per l'uomo, di accedere ad un rifugio sicuro (stabile e al di sopra del livello idrico) in caso di inondazione. Nel caso specifico si considera trascurabile il rischio di incidente in corso di allagamento associato a depositi pericolosi (discariche, serbatoi, ...).

In definitiva:

**Eq. n. 3c**

$$NAS = \{1,2,3\}$$

[Defra/EA, FD2321/TR1 e FD2320/TR2]

ove:

$NAS$ =indicatore della natura dell'area [], a valori discreti:

1=area a basso rischio: unità abitative distribuite su più di 2 piani

2=area a medio rischio: unità abitative distribuite su 2 piani, commerciali ed industriali ordinarie

3=area ad alto rischio: edifici monopiano e sotterranei, scuole, ospedali, parcheggi<sup>44</sup>, strade principali, campeggi, attività industriali pericolose, ...

Dato il carattere residenziale con unità mono/bifamiliari del P.A. "Marchisielli" si assume qui  **$NAS=2$** .

Si ricava dunque l'indicatore complessivo di vulnerabilità dell'area ( $AV \in [3,9]$ )

<sup>42</sup> Es. 80% entro il 2010, ...

<sup>43</sup> Es. 75% della popolazione allertata con almeno 2 h di preavviso entro il 2010, ...

<sup>44</sup> Si noti che la elevata vulnerabilità associata ai parcheggi non comporta in generale elevati rischi, dato il modesto

**Eq. n. 4**

$$AV = NWS + SOS + NAS$$

[Defra/EA, FD2321/TR1 e FD2320/TR2]

che nel caso in oggetto vale **AV=7.0**.

#### 6.2.2.2 Delle persone

La vulnerabilità delle persone è primariamente legata alla età ed allo stato di salute. Di minore significatività media, qui trascurati, sono lingua ed etnia, *status* sociale, frequentazione, .. Si adotta dunque il seguente indice:

**Eq. n. 6**

$$PV = LTI + O75$$

[Defra/EA, FD2321/TR1 e FD2320/TR2]

ove:

*LTI*=percentuale di residenti/impiegati affetti da malattie croniche/gravi e/o *handicap* (%)

*O75*=percentuale di residenti/impiegati di età  $\geq 75$  anni (%).

Nel caso specifico, essendo<sup>45</sup> *LTI*=5+5%, *O75*=11% e *U07*<sup>46</sup>=6%, si assumono *LTI*=10% e *O75*=15%, derivando **PV=25%**.

### 6.3 IL RISCHIO PER LA SALUTE UMANA

La valutazione del rischio complessivo medio annuo dovrebbe essere effettuato per integrazione sull'intero spazio probabilistico. Per praticità –e cautelativamente– si calcola (Eq. n. 1) su un numero limitato di tempi di ritorno [*def*=5<sup>47</sup>]. Nel caso specifico, in coerenza con le informazioni disponibili, vengono utilizzati i [1+]<sup>48</sup>4 tempi di ritorno *T<sub>r</sub>*=[35<sup>48</sup>,] 50, 200, 500 e 1000<sup>49</sup> *anni*.

**Si assume**, inoltre, l'area di impatto quale unica zona omogenea, ad uso tipicamente residenziale (sia lo stato attuale, sia insediamento di progetto), a distanze minime dall'argine (più vicino, non necessariamente tracimato) e dal punto di esondazione fluviale, di 200 e 1.900 *m*, rispettivamente. Per la verifica della variazione di rischio indotta verso terzi dal nuovo insediamento, si prende a riferimento la zona, oggetto di perturbazione, riportata nella Fig. 12. Tale delimitazione discende direttamente dall'analisi idraulica, di cui in All. A, assumendo variazioni minime di pelo libero  $>1$  *cm* e/o di velocità  $>0.05$  *m/s*.

Come si è già chiarito, la determinazione dell'areale di influenza inciderà sulla quantificazione del rischio *c.d.* sociale, ma *non* su quello individuale.

#### 6.3.1 Individuale

I rischi individuali medi annui di incidente [*inj*] e morte [*fat*] (per le persone nelle aree a rischio) in caso di inondazione sono definiti dalle seguenti espressioni:

**Eq. n. 10**

$$AAIR_{inj} = \sum_{i=2}^n df \cdot N_{inj}^{P\%(i)} / N$$

[Defra/EA, FD2321/TR1 e FD2320/TR2]

**Eq. n. 11**

$$AAIR_{fat} = \sum_{i=2}^n df \cdot N_{fat}^{P\%(i)} / N$$

[Defra/EA, FD2321/TR1 e FD2320/TR2]

affollamento normalmente ipotizzabile.

<sup>45</sup> Fonte: Censimento ISTAT 2005. Si trascura il fatto che una certa percentuale di persone ricada contemporaneamente nelle due categorie [Defra/EA, 2006].

<sup>46</sup> Bambini di età inferiore a 7 *anni* (ulteriore fasce ad elevata vulnerabilità).

<sup>47</sup> Secondo Defra/EA (2006) 100, 200, 300, 500 e 1000 *anni*, per aree urbane prevalentemente residenziali difese da opere idrauliche fino a *T<sub>r</sub>*=75 *anni* ca.

<sup>48</sup> Valore limite inferiore di non esondazione.

<sup>49</sup> Valori per *T<sub>r</sub>*=1000 *anni* valutati euristicamente.

ove:

$AAIR_{inf}$  = rischio individuale medio annuo di incidente per inondazione []

$AAIR_{fat}$  = rischio individuale medio annuo di morte per inondazione []

$n$  = numero di eventi ( $T_r$ ) considerati (min=3; def=5)

$df$  = intervallo di frequenza, differenza tra due eventi<sup>50</sup> []

$N$  = numero totale di persone fruitrici dell'area soggetta a rischio []

Essi, più dei rischi sociali, sono sensibili ai fattori di vulnerabilità di area e popolazione, per le quali hanno dunque particolare efficacia le misure non strutturali di *Protezione Civile*.

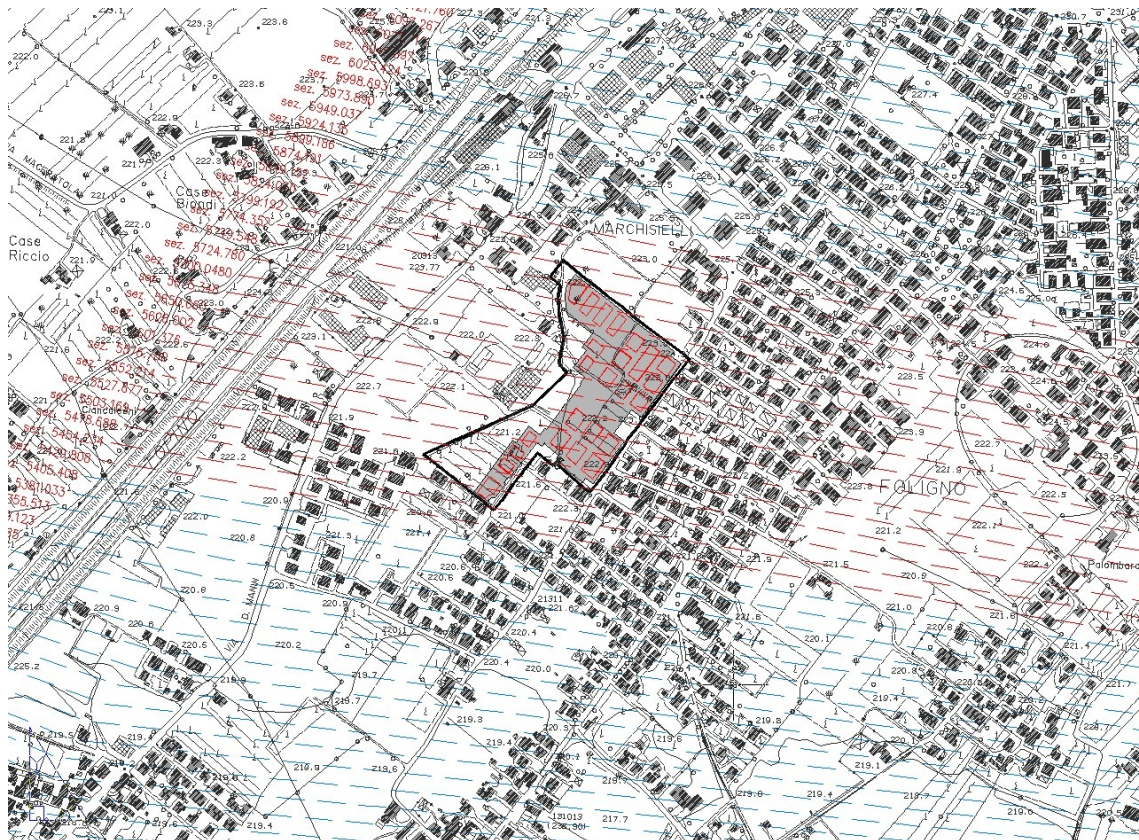


Fig. 12. Delimitazione dell'area di influenza idraulica (tracce in rosso) del P.A. "Marchisielli" a Foligno.

In Tab. 4 sono riportati i valori numerici calcolati per l'areale oggetto di perturbazione ( $A14$ ) dal P.A. "Marchisielli" 14 ( $M14$ ), sia nello stato attuale ( $A14_A$ ) che in quello *post* realizzazione del P.A. ( $A14_P$ ).

Fondamentalmente, si osserva che:

- allo **stato attuale**, il livello di rischio individuale di **morte** [ $fat$ ] medio annuo è  $2.9 \cdot 10^{-5}$ , superiore a  $1 \cdot 10^{-5}$  (limite inferiore di riferimento) ma inferiore a  $5 \cdot 10^{-5}$  (limite superiore di riferimento)<sup>51</sup>; il numero di morti complessivamente temibile nell'area per  $T_r=50$  anni è  $1 > 0$ . Analogamente, il livello di rischio di incidente [ $inj$ ] è superiore al limite inferiore normalmente ritenuto accettabile ( $1.0 \cdot 10^{-4}$ ), con tasso annuale per unità di area circa doppio, *i.e.*  $5.6 > 3$   $inj/yr/km^2$ , diretta conseguenza della densità abitativa urbana (*vd. Tab. 5*)

<sup>50</sup> Es. la differenza di frequenza  $df$  tra eventi con  $T_r=250$  e  $1000$  anni è  $4 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-3} = 3 \cdot 10^{-3}$ .

<sup>51</sup> Cfr. § 6.4.

Tab. 4. Livelli di rischio individuale per l'area di maggiore influenza del P.A. "Marchisielli" a Foligno, allo stato attuale (A14\_A) e post intervento (A14\_P) ( $T_r$ =tempo di ritorno,  $h_w/v_w$ =tirante/velocità di inondazione medi sulla sezione di maggiore influenza,  $HR$ =indice di pericolosità complessiva,  $N_z$ =numero di persone a rischio,  $N_{inj/fat}$ =numero di incidenti/morti temibili a causa dell'inondazione,  $AAIR_{inj/fat}$ =rischio individuale medio di incidente/morte per inondazione,  $IRF_{inj/fat}$ =fattori di rischio individuale di incidente/morte, rapporto tra indicatori omologhi di stato modificato ed attuale) [Defra/EA, FD2321/TR1, 2006].

$T_r$ [yr]	$h_w$ [m]	$v_w$ [m/s]	$HR$ []	$N_z$ []	$N_{inj}$ []	$N_{fat}$ []	$AAIR_{inj}$ []	$AAIR_{fat}$ []	$IRF_{inj}$ []	$IRF_{fat}$ []
<b>A14_A</b>										
<b>35</b>	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0.0E+00	0.0E+00	-	-
<b>50</b>	0.40	0.35	1.34	1500	45	1	2.6E-04	6.9E-06	-	-
<b>200</b>	0.50	0.50	1.50	3600	121	4	5.0E-04	1.5E-05	-	-
<b>500</b>	0.70	0.65	1.81	4200	170	6	1.2E-04	4.4E-06	-	-
<b>1000</b>	1.00	0.85	2.35	6000	316	15	5.3E-05	2.5E-06	-	-
<b>TOTALE</b>							<b>9.4E-04</b>	<b>2.9E-05</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
<b>A14_P</b>										
<b>35</b>	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0.0E+00	0.0E+00	1.00	1.00
<b>50</b>	0.55	0.45	1.52	1500	51	2	2.9E-04	8.9E-06	1.14	1.29
<b>200</b>	0.60	0.50	1.60	3600	129	4	5.4E-04	1.7E-05	1.07	1.14
<b>500</b>	0.80	0.65	1.92	4570	197	8	1.3E-04	5.0E-06	1.06	1.13
<b>1000</b>	1.10	0.85	2.49	6370	355	18	5.6E-05	2.8E-06	1.06	1.12
<b>TOTALE</b>							<b>1.0E-03</b>	<b>3.4E-05</b>	<b>1.08</b>	<b>1.17</b>

- nello **stato modificato**, l'incremento di rischio individuale di morte nell'area di influenza del P.A. è del 17%, ovvero in valore assoluto  $5 \cdot 10^{-6}$  non superiore al valore limite (50% del limite di accettabilità che, nei casi più restrittivi, è  $1 \cdot 10^{-5}$ ) generale riferimento di letteratura [op. cit., 2006]. Il valore di  $HR^0 = HR - DF = HR - 1$  rimane inferiore a 0.75 sia per  $T_r = 50$  anni che  $T_r = 200$  anni (cfr. Tab. 6). L'incremento di rischio individuale medio annuo di incidente aumenta di meno del 10% in conseguenza del P.A.<sup>52</sup>

È interessante poi rilevare che –pur rimanendo gli incrementi *pre/post* P.A. percentualmente invariati- il livello di rischio individuale di morte si ridurrebbe, allo stato attuale, a valori  $< 2.5 \cdot 10^{-5}$  (ovvero -15%) se si potesse assumere l'esistenza di un sistema di allertamento con anche solo il 50% di efficienza nominale. Viceversa, se tale sistema di *Protezione Civile* fosse realizzato contestualmente al P.A. quale specifica misura mitigatoria non strutturale, si compenserebbe totalmente l'incremento di rischio di morte e si ridurrebbe quello di incidenti a 0.93.

In conseguenza, invece degli interventi previsti sul F. Topino per la eliminazione (con franco) delle esondazioni temibili per  $T_r = 50$  anni, anche *post* P.A. i livelli di rischio individuale di morte ed incidente si ridurrebbero a  $1.4 \cdot 10^{-5}$  e  $3.6 \cdot 10^{-4}$ , rispettivamente<sup>53</sup>, riducendo anche la densità di incidenti annuali per  $km^2$  a valori inferiori a  $3 \text{ inj/yr km}^2$  ( $< 2 \text{ inj/yr km}^2$  con un idoneo sistema di allertamento).

*I limiti di accettabilità dei livelli di rischio verranno discussi al § 6.4.*

### 6.3.2 Sociale

Il rischio sociale (o collettivo) dipende particolarmente dal numero ( $N_z$ ) di persone insediate nell'area a rischio e *inevitabilmente cresce* per qualunque tipologia di nuovo insediamento. Come tale è un indicatore di accettabilità tipicamente utilizzato in ambiti di pianificazione generale quali i PRG (dislocazione e tipologia usi residenziali/commerciali/industriali, ..) e di definizione di *Piani di*

<sup>52</sup> Se, invece della pericolosità media sulla sezione di modellazione idraulica di maggior cimento, si assumessero, *cautelativamente*, i valori massimi puntuali, si otterrebbero allo stato attuale  $AAIR_{fat} = 3.7 \cdot 10^{-5}$  e  $AAIR_{inj} = 1.1 \cdot 10^{-3}$  e, nello stato modificato,  $AAIR_{fat} = 4.7 \cdot 10^{-5}$  e  $AAIR_{inj} = 1.2 \cdot 10^{-3}$ , con incrementi del 28% e 13%.

*Protezione Civile.*

Esso è semplicemente descritto dalla relazione

$$\text{Eq. n. 12} \quad AASR_{inj} = \sum_{i=2}^n df \cdot N_{inj}^{P\%(i)} \quad [Defra/EA, FD2321/TR1 e FD2320/TR2]$$

$$\text{Eq. n. 13} \quad AASR_{fat} = \sum_{i=2}^n df \cdot N_{fat}^{P\%(i)} \quad [Defra/EA, FD2321/TR1 e FD2320/TR2]$$

ove:

$AASR_{inj}$ =rischio sociale medio annuo di incidente per inondazione []

$AASR_{fat}$ =rischio sociale medio annuo di morte per inondazione []

Un ulteriore indice di rischio collettivo è la densità (Eq. n. 9), *i.e.* il numero medio di incidenti/morti per anno per  $km^2$  di area ( $A [km^2]$ ) a rischio di inondazione- ottenibile dalle Eqq. 12 e 13 divise per  $A$ .

In Tab. 5 sono riportati i valori numerici *pre* e *post* P.A. "Marchisielli".

Tab. 5. Livelli di rischio **sociale** per l'area di maggiore influenza del P.A. "Marchisielli" a Foligno, allo stato attuale (A14\_A) e post intervento (A14\_P) ( $T_r$ =tempo di ritorno,  $N_{inj/fat} [yr/km^2]$ =numero di incidenti/morti temibili a causa dell'inondazione per anno e  $km^2$ ,  $AASR_{inj/fat}$ =rischio collettivo medio di incidente/morte per inondazione,  $SRF_{inj/fat}$ =fattori di rischio collettivo di incidente/morte, rapporto tra indicatori omologhi di stato modificato ed attuale) [Defra/EA, FD2321/TR1, 2006].

$T_r$ [yr]	$N_{inj} [yr/km^2]$ []	$N_{fat} [yr/km^2]$ []	$AASR_{inj}$ [inj/yr]	$AASR_{fat}$ [fat/yr]	$SRF_{inj}$ []	$SRF_{fat}$ []
<b>A14_A</b>						
<b>35</b>	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	-	-
<b>50</b>	1.5E+00	4.1E-02	3.9E-01	1.0E-02	-	-
<b>200</b>	3.0E+00	9.1E-02	1.8E+00	5.4E-02	-	-
<b>500</b>	7.3E-01	2.6E-02	5.1E-01	1.8E-02	-	-
<b>1000</b>	3.2E-01	1.5E-02	3.2E-01	1.5E-02	-	-
<b>TOTALE</b>	<b>5.6E+00</b>	<b>1.7E-01</b>	<b>3.0E+00</b>	<b>9.8E-02</b>	-	-
<b>A14_P</b>						
<b>35</b>	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	1.00	1.00
<b>50</b>	1.8E+00	5.3E-02	4.4E-01	1.3E-02	1.14	1.29
<b>200</b>	3.2E+00	1.0E-01	1.9E+00	6.2E-02	1.07	1.14
<b>500</b>	8.4E-01	3.2E-02	5.9E-01	2.3E-02	1.16	1.23
<b>1000</b>	3.5E-01	1.8E-02	3.5E-01	1.8E-02	1.12	1.19
<b>TOTALE</b>	<b>6.2E+00</b>	<b>2.1E-01</b>	<b>3.3E+00</b>	<b>1.2E-01</b>	<b>1.10</b>	<b>1.18</b>

In sintesi, si rileva che –dato il ridotto incremento percentuale del numero di persone soggette a rischio (370 unità solo per  $T_r > 200$  anni)-, i fattori di rischio collettivo ( $SRF_{inj}$  e  $SRF_{fat}$ ) non differiscono significativamente da quelli individuali, rimanendo contenuti entro 1.10/1.20. Siccome la variazione di rischio dipende anche dall'areale di influenza della perturbazione indotta dal nuovo P.A., ciò significa che la densità di rischio sociale nello stato modificato rimane sostanzialmente analoga a quella di stato attuale (completamento urbano ad uso omogeneo).

### 6.3.3 Crollo arginale

L'area di P.A., come tutta la parte SO di Foligno, è idraulicamente difesa dall'arginatura *sx* del F. Topino. In base agli studi idraulici di *Mappe*, le tracimazioni risultano avvenire soltanto in punti molto distanti da essa, peraltro su configurazioni strutturali per le quali è verosimile ipotizzare il non

<sup>53</sup> Supponendo il limite di non esondazione a  $T_r=100$  anni.

crollo delle difese tracimate.

Viceversa, il rischio di crollo anche in assenza di tracimazione sussiste comunque per l'intera arginatura adiacente il P.A. Data la non rilevanza ai fini in oggetto in quanto non normato dalla V4\_6/NTA, per quanto riguarda l'influenza del nuovo P.A., ci si limita a rilevare che, vista la direzionalità preferenziale delle linee di flusso in senso tangenziale all'intervento e la preservazione lato F. Topino del principale corridoio di flusso, è ragionevole supporre che il rischio individuale non vari significativamente.

*In definitiva, considerato anche che il P.A. "Marchisielli" si colloca esternamente alla fascia di cui al c. 8 dell'art. 71 della V4\_6/NTA, si assume che la gestione del rischio da crollo d'argine sia affidata a misure di Protezione Civile (P.C.P.C.).*

## 6.4 CRITERI DI ACCETTABILITÀ

La definizione dei livelli di accettabilità del rischio individuale (soprattutto) e sociale è la questione principale tra tutte, essendo essa –implicitamente o esplicitamente– a determinare le norme regolamentari l'uso del territorio<sup>54</sup>.

*Nel presente paragrafo, verranno dapprima **confrontati** -sulla base omogenea degli indicatori Defra/EA- i livelli di rischio individuale limite (i.e. accettabili) sottesi dalla normativa di **Fascia** oggi vigenti a Foligno ex V4\_06/NTA con quelli adottati in altre realtà italiane ed europee e, quindi, **proposti** i valori adottabili per i **PP.AA.** ai sensi del c. 3 dell'art. 71-sexies della medesima V4\_06/NTA e delle Premesse della D.C.C. n. 80/06.*

*Infine, verrà puntualmente verificata per il P.A. "Marchisielli" l'ottemperanza a tutti gli ulteriori requisiti sostanzianti la accettabilità complessiva dell'intervento stesso.*

### 6.4.1 Contesto territoriale

L'elemento di contesto qui rilevante –*anche ai sensi del P.A.I. del F. Tevere*– è il riconoscimento della estraneità dell'area di P.A. alle pertinenze fluviali del F. Topino. Infatti, come già detto al § 3.1, trattasi di aree urbane ormai definitivamente sottratte al corso d'acqua, allagabili per diversione arginale dall'alveo e che, dunque, non rivestono più alcuna valenza fluviale. La distanza minima dall'argine sx del F. Topino è ca. 200 m, con altezza sul p.c. dello stesso compresa tra 2 e 3 m.

*L'intervento di P.A. non interferisce dunque in alcuna maniera né con la fascia fluviale né con previsioni di Piani di intervento idraulici.*

### 6.4.2 Rischio individuale di morte [ed incidente]

A titolo comparativo si riportano alcuni livelli di rischio individuale annuo di morte nei Paesi industrializzati<sup>55</sup>:

- $10^{-2}$ : cause naturali all'età di 60 anni
- $10^{-3}$ : cause naturali all'età di 40 anni
- $10^{-3}$ : morte per infortunio sul lavoro in attività ad alto rischio
- $10^{-4}$ : morte per incidente in automobile e infortunio sul lavoro in attività edilizia
- $10^{-4}$ : morte per leucemia [EN]
- $5 \cdot 10^{-5}$ : morte per incidente domestico

<sup>54</sup> A titolo esemplificativo si richiamano le N.T.A. dei P.A.I. F. Tevere e F. Arno e la D.G.R.L. 09/05/03, n. 509.



- $10^{-5}$ : morte per assassinio e per investimento da automobile
- $5 \cdot 10^{-6}$ : morte per incidente ferroviario
- $10^{-6}$ : morte uragano/terremoto [EN]
- $10^{-6}$ : morte per malattia neurovegetativa
- $10^{-7}$ : morte per fulminazione [EN]

**La letteratura internazionale, per rischi da alluvione, indica valori obiettivo dell'ordine di  $10^{-5}$  (cfr. § 6.1.1)<sup>56</sup>.**

Si può riconoscere<sup>57</sup> che pressoché tutte le norme P.A.I. –seppur in maniera diversificata tra loro– si rifanno essenzialmente a livelli di rischio individuale compresi nel *range*  $1 \cdot 10^{-5} \div 5 \cdot 10^{-5}$  (qui definiti limite inferiore e superiore, rispettivamente). L'articolazione interna delle N.T.A. (fasce, zone, ..) è tuttavia definita tenendo conto anche del –più o meno esplicito– riconoscimento che (a parità di rischio) il livello di accettabilità dipenda anche da fattori socio-economici complementari (es. interesse pubblico o privato, nuove edificazioni o ristrutturazioni, aree urbane di nuova espansione o completamento, non delocalizzabilità, ...).

In particolare, con la sopra descritta procedura Defra/EA (2006) (escludendo il crollo d'argine), assumere il limite di  $1 \cdot 10^{-5}$  implica, sostanzialmente, per zone residenziali tipo quella in oggetto la non allagabilità per  $T_r=200$  anni. Tale obiettivo corrisponde a quello normalmente adottato anche in Italia per le nuove costruzioni in nuovi ambiti territoriali di urbanizzazione. Ad esempio, il P.A.I. dell'A.b.T. (2002 e segg.) definisce la Fascia C (di "libera" nuova strutturazione urbana) con la condizione che non siano allagabili per  $T_r \leq 200$  anni o solo marginalmente per  $T_r=200$  anni, la cui marginalità è definita dalla relazione  $\{h_w, v_w\}$  riportata in Fig. 13.

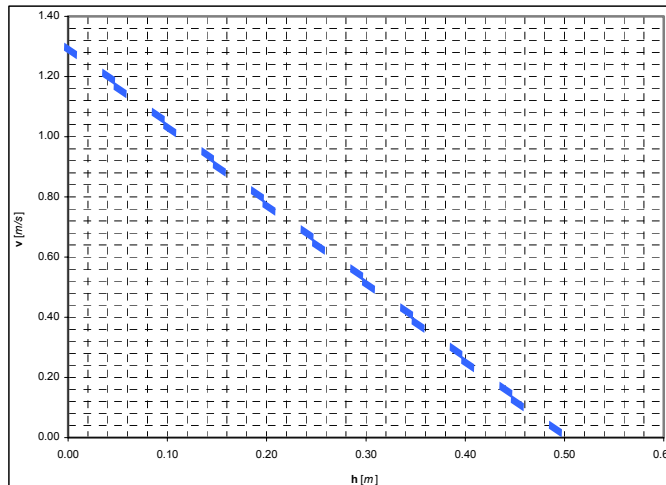


Fig. 13. Relazione velocità-tirante di delimitazione aree marginali ex P.A.I. A.b.T. (2002 e segg.).

Tuttavia, proprio in applicazione del concetto di accettabilità sociale, il riferimento meramente tecnico del livello di rischio viene usualmente contemperato dalle ulteriori esigenze socio-economiche, giungendo ad "accettare" –temporaneamente<sup>58</sup> ed in condizioni specifiche (es. zone allagabili già densamente urbanizzate dotate di misure non strutturali, ...) – nuove edificazioni

<sup>55</sup> Defra/EA, 2006; ILO, 1999.

<sup>56</sup> Ovvero del medesimo ordine di grandezza del rischio non volontario da traffico e da attività domestica.

<sup>57</sup> Più o meno *indipendentemente* da quale particolare procedura di valutazione del rischio si prenda a riferimento.

<sup>58</sup> Nel senso che gli obiettivi di sicurezza di *prospettiva* (pianificazione interventi) in Italia sono uniformemente fissati sull'orizzonte probabilistico duecentennale.

(comunque di per sé stesse in sicurezza per  $T_r=200$  anni)<sup>59</sup> anche in aree ove il livello di rischio nominale di morte è già più elevato, tipicamente  $\in(1 \cdot 10^{-5} \div 5 \cdot 10^{-5})$ .

È su tale aspetto, sostanzialmente, che si determinano le principali diversificazioni nelle N.T.A. in Italia che, nel caso di Foligno, sono sostanziate dagli artt. 71-ter e quater della V4\_06/NTA relativi alle Fasce A e B.

In gran parte dei casi, il criterio di normazione della accettabilità è per semplicità sintetizzato da un solo parametro di pericolosità, funzione di tirante e velocità. Per confrontare le diverse determinazioni possibili, è comodo fare riferimento all'indicatore di pericolosità  $HR^0 = HR \cdot DF$  (ovvero  $HR$  con  $DF=0$ ) adottato da Defra/EA (2006) di cui alla Eq. n. 2 del § 6.2.1 ed in funzione del quale si riporta in Tab. 6 il corrispondente ranking di pericolosità (derivato dalle sperimentazioni riassunte in Fig. 14)<sup>60</sup>.

Tab. 6. Livelli di pericolosità da inondazione secondo l'indicatore  $HR^0 = d \cdot x(v+0.5)$  [Defra/EA, FD2321/TR1, 2006] ( $d$  e  $v$ =battente idrico [m] e velocità [m/s]).

$d \cdot x(v+0.5)$	Degree of Flood Hazard	Description
<0.75	Low	Caution "Flood zone with shallow flowing water or deep standing water"
0.75 - 1.25	Moderate	Dangerous for some (i.e. children) "Danger: Flood zone with deep or fast flowing water"
1.25 - 2.5	Significant	Dangerous for most people "Danger: flood zone with deep fast flowing water"
>2.5	Extreme	Dangerous for all "Extreme danger: flood zone with deep fast flowing water"

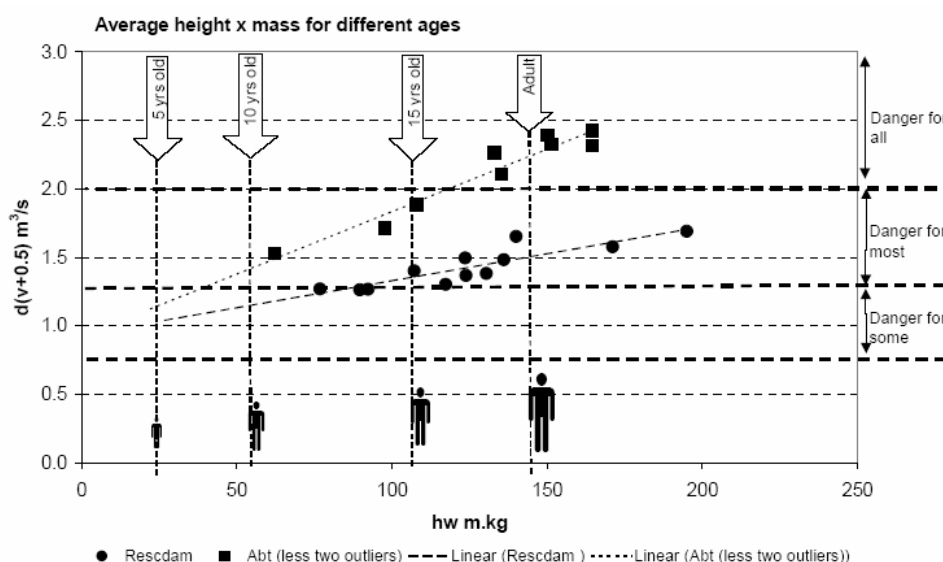


Fig. 14. Alcune relazioni sperimentali tra  $HR^0$  ed il fattore  $hw$  uomo (massa x altezza) [Defra/EA, FD2321/TR1, 2006].

<sup>59</sup> Il rischio cui è soggetta, nello svolgere le proprie attività quotidiane, una persona residente in una zona alluvionabile è infatti fondamentalmente determinato anche da tale contesto d'intorno, non bastando in generale abitare in un edificio di per sé in sicurezza.

<sup>60</sup> In Italia si fa più spesso riferimento alla c.d. *spinta idrodinamica ammissibile* (condizionata all'energia specifica) normalmente compresa tra 1.500 e 2.500 N/m.

Si può notare come il criterio adottato da *A.b.T.* per identificare le aree marginali (Fig. 13), in termini di  $HR^0$  corrisponda a valori  $\cong 0.30 < 0.75$  (di cui in Tab. 6). Essendo tale criterio unico ed identico<sup>61</sup> sia per la declassazione da *Fascia A* (50 anni) a *B* (200 anni) sia per quella da *Fascia B* a *C* (500 anni), ciò conduce in *A.b.T.* ad una normativa più fortemente fondata sul solo tempo di ritorno dell'allagabilità piuttosto che su una modulazione della pericolosità. Infatti, i livelli di rischio individuale di morte di *Fascia B* (nuove costruzioni ammissibili con limitazioni) –potendo variare finanche di un ordine di grandezza, i.e.  $1.5 \cdot 10^{-5} \div 9.0 \cdot 10^{-5}$ – possono risultare superiori a quelli riscontrabili in altre *Fasce A*.

Viceversa, la D.G.R. Liguria n. 250/05 e segg., ad esempio, interpreta diversamente tale compromesso tecnico-socio-economico-ambientale. Infatti, partendo dal riconoscimento di limiti analoghi a quelli *Defra/EA* di Tab. 6 (Fig. 15), fissa soglie normative di aree a minore pericolosità relativa corrispondenti a  $HR^0 = 0.75$ , per  $T_r = 50$  anni, e  $HR^0 = 1.05 \div 0.75$ , per  $T_r = 200$  anni (Fig. 16 e Fig. 17), giungendo a determinare –per le nuove edificazioni di completamento– livelli accettabili di rischio individuale di morte  $\cong (2.0 \div 5.0) \cdot 10^{-5}$ , in maniera più omogenea sui due tempi di ritorno.

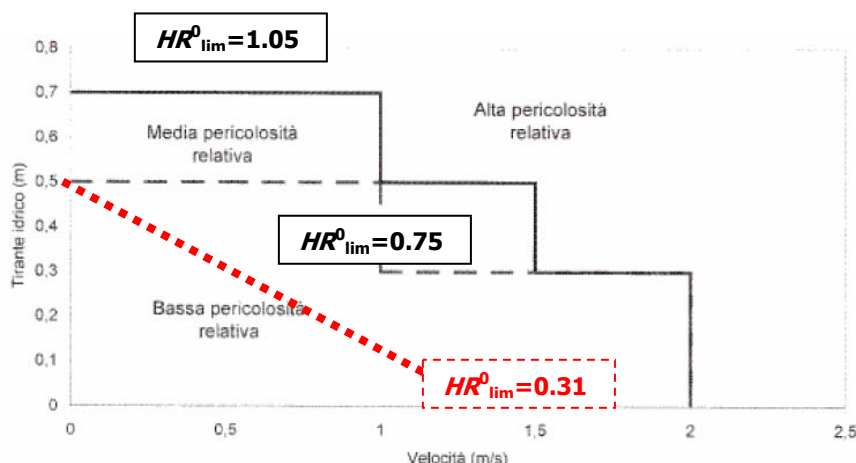


Fig. 15. Soglie di pericolosità relativa in termini di tirante idrico condizionato alla velocità della corrente [Fig. 1 ex D.G.R.L. 15/02/05, n. 250] (tratteggiata, delimitazione e  $HR^0_{lim}$  delle aree marginali ex *A.b.T.*).

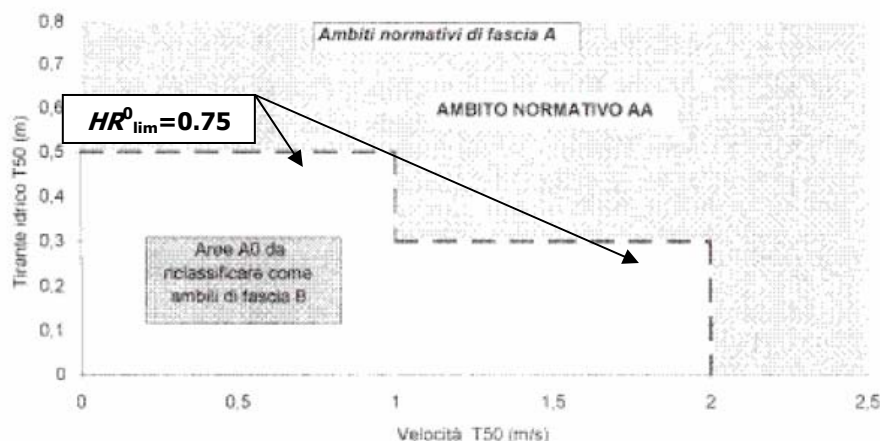


Fig. 16. Soglie di pericolosità relativa in termini di tirante idrico locale  $h_{50}$  condizionato alla velocità della corrente locale  $v_{50}$  ai fini della definizione degli ambiti normativi di fascia A ligure<sup>62</sup> ( $T_r = 50$  anni) [Fig. 2 ex D.G.R.L. 15/02/05, n. 250].

<sup>61</sup> Sulla questione delle allagabilità *indirette* si è già discusso (vd. Nota 2).

<sup>62</sup> Sostanzialmente analoga alla *Fascia A* del P.A.I. *A.b.T.*

Dunque, rispetto a quelli vigenti nel bacino del F. Tevere ed a parità di interventi ammissibili, valori meno penalizzanti per le frequenze di allagamento 50-*nnali* e più modulati per le 200-*nnali*.

In sintesi, mentre per le nuove espansioni i limiti di fattibilità sono essenzialmente omogenei (non allagabilità per  $T_r=200$  anni), le soglie di accettabilità del rischio per interventi di nuova edificazione di completamento (*i.e.* in zone già urbanizzate) variano significativamente all'interno del panorama italiano, in ragione della diversa percezione sociale. La delimitazione della *Fascia A* di *A.b.T.* associata alla  $v_{4\_06}/NTA$  si colloca tra i casi più cautelativi.

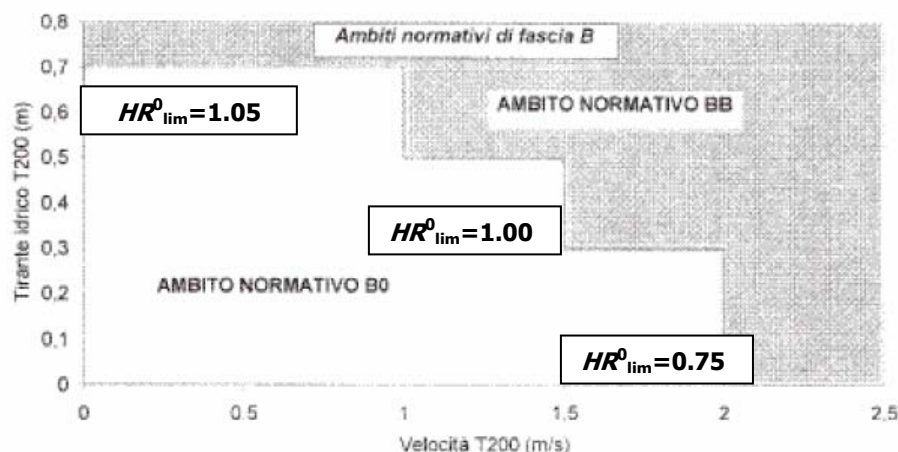


Fig. 17. Soglie di pericolosità relativa in termini di tirante idrico locale  $h_{200}$  condizionato alla velocità della corrente locale  $v_{200}$  ai fini della definizione degli ambiti normativi di fascia B [Fig 3 - D.G.R.L. 15/02/05, n. 250].

**In definitiva**, considerandone anche il carattere esterno alla fascia fluviale (nella configurazione odierna), il rischio individuale di morte nell'area di influenza del P.A. "Marchisielli", per quanto certamente non ottimale, sia nello stato attuale ( $2.9 \cdot 10^{-5}$ ) sia in quello di progetto ( $3.4 \cdot 10^{-5}$ ) appare rientrare nei limiti di accettabilità riscontrabili in vari contesti nazionali e, per certi aspetti, anche nel P.A.I. *A.b.T.* Anche in termini di impatto, l'attuazione del P.A. determina incrementi contenuti entro  $5 \cdot 10^{-6}$  e **1.5 volte** il livello di stato pre-progettuale [*Defra/EA, op. cit., 2006*] (*cfr. Tab. 4*).

Per quanto infine riguarda il *rischio da breccia arginale*, si rileva soltanto la ragionevole insussistenza di elementi significativamente aggravanti il rischio individuale attribuibili al P.A. Relativamente, invece, alla accettabilità di tale rischio, essa viene qui semplicemente assunta *a priori* visti il PRG '97 e le relative N.T.A. (*Protezione Civile*).

#### 6.4.3 **Rischio sociale di incidente** [e morte]

Il livello di rischio collettivo di incidente e danno, all'aumentare del numero delle persone insediate in aree soggette a pericolosità, non può che crescere *significativamente*, aumentando il numero di persone (ovvero il *c.d.* carico urbanistico) soggette a pericolosità per  $T_r > 200$  anni. Nel caso del P.A. "Marchisielli" (*cfr. Tab. 5*) gli incrementi di rischio sono contenuti entro il **medesimo ordine di grandezza di quelli individuali**, distribuiti sull'area di influenza in maniera **omogenea** rispetto **allo stato attuale**.

Pur non essendo possibile rimanere sotto la soglia di  $3 \text{ inj/yr/km}^2$  (*incidenti/anno/km*<sup>2</sup>) essendo già allo stato attuale circa il doppio ( $5.6 \text{ inj/yr/km}^2$ ), la accettabilità in valore assoluto di tale rischio sociale appare implicita nelle previsioni stesse del PRG '97. Dunque, il livello di rischio

sociale (parametro secondario) *post* P.A. appare accettabile in conseguenza dell'accettabilità del livello di rischio individuale (parametro primario).

#### 6.4.4 Limiti di Fascia e topologia di inondazione

I limiti di *Fascia* A e B non vengono significativamente alterati dalla realizzazione del P.A., poiché:

- le variazioni di pelo libero sono contenute intorno a  $\Delta h_w \approx +10$  cm, ovvero il limite di significatività altimetrica nelle perimetrazioni di cui alle *Mappe* (evidentemente per la *Fascia* B, data l'ampiezza della stessa), con una morfologia territoriale a gradienti trasversali elevati rispetto al  $\Delta h_w$  stimato (*i.e.* differenziale areale non cartografabile in scala 1:10.000). In particolare, la *Fascia* A è confinata, in *dx*, dall'argine del F. Topino e, in *sx*, dal lieve alto morfologico che si colloca tra il limite della *Fascia* (via G. Ferrero) ed il F.so degli Orti. L'inserimento di tale alto in *Fascia* A è infatti dovuto ad un diverso filone di corrente proveniente da Passeggiata dei Canape', sulla cui variazione di tirante il P.A. non incide
- la topologia di inondazione per  $T_r=50$  e 200 *anni* dell'area "Marchisielli" non cambia, essendo le perturbazioni circoscritte in un ridotto intorno dell'intervento e non sufficienti a produrre variazioni di percorso (*cf.* All. A)
- viceversa, il sovrizzo del piano di sedime del P.A., necessario per la propria messa in sicurezza per  $T_r=200$  *anni*, costituisce impedimento allo scolo del piccolo battente idrico ivi temibile ( $\approx 10-25$  cm); tale alterazione è tuttavia neutralizzata dal fosso di guardia appositamente previsto a monte dell'insediamento di P.A., riconducendo le acque al corridoio idraulico su cui è impostata l'area a verde (*cf.* Tav. 1).

#### 6.4.5 Volume di invaso

Il volume di invaso disponibile allo stato attuale alle acque di esondazione dal F. Topino viene integralmente preservato per compensazione, fino a  $T_r=200$  *anni*.

Il volume sottratto dal P.A. per esigenza di messa in sicurezza propria (fabbricati e strade di accesso), in base alla modellazione idraulica di stato attuale (All. A), è stato stimato in complessivi **13.100 m<sup>3</sup>**, dei quali *ca.* 10.000 m<sup>3</sup> per il filone di corrente a maggiore pericolosità (*sezz.* 5799.192÷5454.234) e *ca.* 3.100 m<sup>3</sup> per l'impedito scorrimento del filone secondario in adiacenza a via G. Ferrero<sup>63</sup> (tale suddivisione, benchè attenuata, permane infatti anche nella cinematica di inondazione per  $T_r=200$  *anni*).

Tale volume è compensato integralmente dall'abbassamento del piano campagna delle zone a verde (mediamente  $-1.80$  m x 5500 m<sup>2</sup>=9900 m<sup>3</sup>), dalla allagabilità per  $T_r=200$  *anni* di parte delle aree a parcheggio<sup>64</sup> (0.25 m x 1500 m<sup>2</sup>=380 m<sup>3</sup>) e dai residui volumi minori ancora a verde (*ca.* 2820 m<sup>3</sup>). Il quadro riassuntivo del bilancio di volume è riportato in Tab. 7, mentre per i dettagli distributivi si rimanda alle Tavv. 1 e 2.

Tab. 7. Quadro riassuntivo dei volumi di compensazione dell'invaso sottratto dal P.A. alle acque di inondazione del F. Topino per  $T_r=200$  *anni* (A=stato Attuale, M=Modificato).

$V_{A200}$ [m <sup>3</sup> ]	$V_{M200}^{VERDEPRIM}$ [m <sup>3</sup> ]	$V_{M200}^{VERDESEC}$ [m <sup>3</sup> ]	$V_{M200}^{PARCHSEC}$ [m <sup>3</sup> ]	$V_{M200}^{TOT}$ [m <sup>3</sup> ]
<b>13.100</b>	9.900	2.820	380	<b>13.100</b>

<sup>63</sup> Cautelativamente stimato con tirante medio 0.25 m.

<sup>64</sup> *Vd.* §§ 6.4.6 e 6.5.

#### 6.4.6 **Sicurezza propria**

La **sicurezza propria** è fondamentalmente **garantita in maniera intrinseca** da:

- a) il porre i piani terra di qualunque vano utile dei nuovi edifici, gli accessi agli interrati e le strade di lottizzazione a **quote non inferiori a +1.0 m ( $f_{50}$ ) e +0.5 m ( $f_{200}$ ) rispetto ai livelli idrici temibili con  $T_r=50$  e 200 anni**, rispettivamente, nello stato modificato *post P.A.*; nel caso specifico, data la poca variazione di livello tra  $h_{w50}$  e  $h_{w200}$ , il franco minimo sulla duecentennale risulta di +0.80 m (vd. Tav. 1)
- b) la strutturazione dei percorsi di scolo delle acque di inondazione del F. Topino.

Misure complementari riguardano le condizioni d'uso e costruttive dei locali interrati (vd. avanti), mentre dal punto di vista non strutturale si fa affidamento al *Piano di Protezione Civile Comunale*.

#### 6.4.7 **Preservazione della possibilità di realizzare interventi mitigatori programmati**

La realizzazione delle previsioni di P.A. "Marchisielli" non incide, evidentemente, sulle possibilità di realizzazione degli interventi mitigatori della pericolosità idraulica del F. Topino, essendo esso distante sia dagli assi arginali di contenimento, sia dagli ambiti destinati a laminazione controllata, sia dalle aree di imposta di nuovi attraversamenti eventualmente sostitutivi di quelli inadeguati.

Dei previsti interventi strutturali per la messa in sicurezza del F. Topino fino a  $T_r=50$  anni non è stato, cautelativamente, tenuto conto nella valutazione di accettabilità del rischio assoluto per la salute umana. La fondata aspettativa di esecuzione degli stessi nell'arco di 5 anni tende tuttavia a ridurre il valore di tale rischio –ed anche di quello residuo- in maniera significativa.

### 6.5 LA GESTIONE DEL RISCHIO RESIDUO

I principali rischi residui sono legati alle alee di valutazione della dinamica di inondazione –sia ad argine integro che per crollo dello stesso (evento indipendente)-, agli eventi con  $T_r>200$  anni, al drenaggio delle acque meteoriche ed ai rigurgiti delle fognature.

Le misure principali di corretta gestione del rischio residuo riguardano il *Piano Comunale di Protezione Civile*, la idonea fruizione dei locali interrati e la corretta manutenzione delle funzionalità idrauliche previste.

#### 6.5.1 **Uso e manutenzioni**

I *locali interrati*, ove presenti, avranno destinazioni d'uso che non ne prevedano la permanenza delle persone. Gli accessi saranno comunque posti a + 0.80 m sul livello duecentennale. I locali saranno stagni e non collegati direttamente con la rete di smaltimento delle acque bianche e nere. Ove possibile sarà realizzato un collegamento interno con i piani superiori.

I *parcheggi* lato NO sono in massima parte allagabili con basso battente (0.30 m) per  $T_r=200$  anni (e non per  $T_r=50$  anni); il loro utilizzo terrà conto di tale destinazione, evitando il deposito permanente di materiali pericolosi trasportabili dalle acque di inondazione e la realizzazione di barriere di discontinuità con l'area verde.

L'*area a verde* è fondamentalmente destinata al recupero del volume di invaso ed a garantire la continuità della via di scolo e lo scarico nel sistema di smaltimento delle acque meteoriche, la cui compatibilità sarà preventivamente verificata.

### **6.5.2 Viabilità**

Il *layout*, così come modificato rispetto alla versione originaria, contiene in sé la valutazione della sicurezza degli accessi e delle vie di fuga (fino a via G. Ferrero, naturalmente ancora allagabile per  $T_r=200$  anni), realizzata attraverso la definizione delle quote di impianto.

Tutti gli edifici sono dotati di via di accesso sicura su via G. Ferrero (allagabile con  $T_r=200$  anni), con franchi su  $T_r=200$  anni di +0.80 m, a meno del tratto vallivo (*Lotti* 16, 17, 18 e 20), ove i franchi sulle strade sono ridotti a +0.30 m per esigenze di raccordo con la viabilità esistente.

### **6.5.3 Crollo arginale**

È forse il principale rischio residuo, data la non elevata distanza dall'argine (200 m). Ai sensi della V4\_6/NTA, non essendo il P.A. ricompreso entro la fascia di cui al c. 8 art. 71, tale problematica è tuttavia pertinente il P.C.P.C.

### **6.5.4 Sistema di smaltimento acque meteoriche proprie**

Non è oggetto del presente lavoro la progettazione del sistema di smaltimento delle acque meteoriche proprie.

### **6.5.5 Sistemi specifici di allertamento e Piano di Protezione Civile Comunale**

Sistemi di allertamento di singolo P.A., nel caso specifico "Marchisielli", residenziale, non paiono realisticamente prevedibili né necessarie. L'intero sistema di misure protettive non strutturali ed emergenziali è demandato al P.C.P.C.

### **6.5.6 Cambiamenti climatici**

Non sono allo stato attuale definibili con sufficiente affidabilità gli effetti del cambiamento climatico sul regime delle piene nel F. Topino a Foligno.

Appare, viceversa, temibile un accentuarsi dell'intensità media dei fenomeni brevi, cimentanti il sistema di drenaggio urbano delle acque meteoriche. Tale problematica esula, tuttavia, dagli obiettivi del presente lavoro.

## **7 CONCLUSIONI**

Il presente lavoro è svolto ai sensi degli artt. 71-bis e ter e del c. 3 dell'art. 71-sexies della V4\_06/NTA del Comune di Foligno, che stabilisce che:

*"I piani attuativi [...] presentati successivamente all'adozione del presente articolo, possono essere istruiti dagli uffici purché la relazione idraulica dimostri la **compatibilità** delle previsioni, nella loro interezza, con il rischio idraulico risultante dalle mappe di cui all'art. 71-bis. Ove necessario possono essere proposte motivate e documentate soluzioni in variante purché non vi sia incremento delle potenzialità insediative consentite dal PRG '97".*

Per i PP.AA. la V4\_06/NTA prevede, infatti, la possibilità di andare in parziale deroga alle norme di *Fascia*, sulla base del riconoscimento dei legittimi diritti precostituiti e degli interessi pubblici di cui in premessa alla D.C.C. n. 80/2006 ("[...] *RITENUTO* condivisibile l'obiettivo che si vuole raggiungere con la proposta variante normativa di contemperare, con ragionevolezza, l'individuazione di un "rischio" potenziale con i diritti edificatori conformati dal PRG '97 atteso che tale piano è stato redatto anche in base a studi idraulici essendo ovviamente nota la potenziale esondazione dei fiumi che interessano il territorio

comunale [...]"). Tale deroga è vincolata alla dimostrazione della compatibilità di cui al c. 3 dell'art. 71-sexies.

Il P.A. in oggetto è il n. 14 "Marchisielli", situato a Foligno che, in conseguenza delle presenti valutazioni idrauliche è oggetto di specifica variante [Nalli, 2007], ai sensi dell'ultimo periodo del citato c. 3 dell'art. 71-sexies.

*In mancanza di norme specifiche circa la definizione di tale compatibilità, superando lo schema basato sui soli tempi di ritorno, si è qui proposta una procedura di valutazione fondata sull'analisi esplicita e quantitativa del rischio individuale per la salute umana [Defra/EA], previa definizione della significatività delle perturbazioni indotte dal P.A. allo stato di pericolosità idraulica attuale e della accettabilità delle stesse per i terzi, in senso sia relativo allo stato attuale sia assoluto. In definitiva, **si assume** che vi sia compatibilità laddove il rischio associato, sia per il nuovo intervento sia per i terzi, sia accettabile. Per la accettabilità **si propongono** valori già assunti a riferimento in altre realtà italiane.*

In particolare, gli elementi salienti della procedura proposta sono:

- esplicitazione dei significati assunti per i termini "compatibilità idraulica" e "significatività delle perturbazioni indotte"
- definizione dei livelli di "accettabilità" del rischio per la salute, in base alla procedura esplicita di valutazione empirico-analitica *standard U.K. Defra/EA*
- applicazione di modelli idraulici di analisi della pericolosità idraulica pienamente coerenti ed omogenei a quelli utilizzati nella redazione delle *Mappe* a base delle V4\_06/NTA
- valutazione complessiva del rischio proprio ed indotto, definizione dei principali criteri di garanzia della sicurezza e delle misure di mitigazione adottate e verifica di conformità alla V4\_06/NTA.

I **criteri di valutazione** assunti per la verifica **di accettabilità dell'intervento** sono:

verso terzi

- a. non modifica dei principali elementi di pericolosità di cui in *Mappe*, dato il contenimento delle variazioni di tiranti e velocità temibili per  $T_r=50$  e  $200$  anni al limite di significatività delle analisi idrauliche ( $\Delta h_w=0.10$  m) e su un areale limitato all'intorno dell'intervento
- b. livello di rischio individuale di morte medio annuo contenuto, nella zona di influenza del P.A., entro il limite<sup>65</sup> di **5.0·10<sup>-5</sup>** ( $3.4 \cdot 10^{-5}$ ) ed incremento dello stesso  $\leq 5 \cdot 10^{-6}$  rispetto allo stato attuale ( $2.9 \cdot 10^{-5}$ ), corrispondente a +17%
- c. non modifica dei limiti di *Fascia A* e *B* di cui in *Mappe*
- d. *layout* progettuale che garantisca la preservazione delle principali linee di flusso dell'acqua di inondazione
- e. compensazione totale dei volumi di invaso per  $T_r=200$  anni ( $13.100$  m<sup>3</sup>)

propria

- f. collocazione del P.A. al margine della *Fascia A* e *layout* progettuale con disposizione gli edifici residenziali nelle zone a minor pericolosità e viabilità interna in sicurezza per  $T_r=200$  anni
- g. quote dei primi piani di calpestio e di accesso agli interrati corrispondenti a franchi di sicurezza non inferiori a +1.00 m sul livello di inondazione 50-ennale e +0.50 m su quello 200-ennale

<sup>65</sup> Tenuto anche conto dei previsti interventi sul F. Topino.



- h. protezione dai rigurgiti fognari dei locali interrati
- i. affidamento al *Piano Comunale di Protezione Civile* per la mitigazione di tutti i rischi residui, ivi compreso il crollo d'argine.

Dall'applicazione di tutto quanto sopra, **SI CONCLUDE** che il P.A. "Marchisielli" nel *layout* di *Variante* di cui alle *Tavv.* 1 e 2 -poste le salvaguardie di legittimo interesse pubblico e/o privato previste dalla D.C.C. n. 80/06 e dalla *V4\_06/NTA* per i *PP.AA.* in deroga alle norme di *Fascia A-* è nella sua interezza compatibile con lo stato di pericolosità idraulica definito dalle *Mappe*.

=====

*ing.* Lorenzo Castellani

*Prato*, agosto 2007