



COMUNE DI EMPOLI

STUDIO IDROLOGICO IDRAULICO SUL TORRENTE ORME DI
SUPPORTO ALLA RICHIESTA DI VARIANTE AL REGOLAMENTO
URBANISTICO ED AL PIANO STRUTTURALE PER LA REALIZZAZIONE
DELLA STRADA DI COLLEGAMENTO TRA LA VECCHIA E LA NUOVA VIA
DI VAL D'ORME NEL COMUNE DI EMPOLI

RELAZIONE TECNICA

PROGETTISTI:

ING. GIACOMO GAZZINI



AZIENDA CON SISTEMA QUALITA'
CERTIFICATO DA DNV
UNI EN ISO 9001

HydroGeo

Ingegneria per l'Ambiente ed il Territorio
Studio tecnico associato Ingg. G. Gazzini, T. Staiano
Via Borgognissanti, 9 50123 Firenze
Tel. e FAX 055 21 01 63
e-mail info@studiohydrogeo.it

PROGETTO	LOTTO	FASE	DOC	TIPOLOGIA	TAV.	FOGLIO	REV.	
L 2 2 0	0 1	S T	T X	R E 0 3	0 0 0	DI	A	

REV.	DESCRIZIONE	REDATTO	DATA	VERIFICATO	DATA	APPROVATO	DATA
A	PRIMA EMISSIONE	G. GAZZINI	Aprile '08	G. GAZZINI	Aprile '08	G. GAZZINI	Aprile '08

INDICE

1	PREMESSA.....	2
2	DEFINIZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO	4
2.1	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	4
2.2	LE NORME DELL'AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME ARNO.....	5
2.3	IL REGOLAMENTO URBANISTICO DEL COMUNE DI EMPOLI.....	9
2.3.1	<i>L'art. 30 Ambiti di salvaguardia idraulica.....</i>	<i>9</i>
2.3.2	<i>L'art. 31 Classi di pericolosità idraulica</i>	<i>10</i>
2.3.3	<i>L'art. 32 Fattibilità per aree omogenee sotto il profilo idraulico.....</i>	<i>11</i>
2.4	IL DPGR 26/R DEL 27 APRILE 2007	13
2.5	DEFINIZIONE DELL'APPROCCIO METODOLOGICO.....	15
2.6	MODELLISTICA IDRAULICA.....	17
2.7	MODELLAZIONE DELLE AREE DI POSSIBILE ESONDAZIONE.....	18
2.8	CARATTERIZZAZIONE GEOMETRICA.....	20
2.8.1	<i>Sezioni fluviali.....</i>	<i>20</i>
2.8.2	<i>Aree di potenziale esondazione.....</i>	<i>20</i>
3	MODELLISTICA IDROLOGICA E IDRAULICA.....	22
3.1	LA TRASFORMAZIONE AFFLUSSI – DEFLUSSI	22
3.2	IL MODELLO DI MOTO VARIO.....	25
4	VERIFICA TORRENTE ORME.....	27
4.1	IDROGRAMMI DI PIENA.....	27
4.2	SIMULAZIONI IDRAULICHE	28
4.2.1	<i>Simulazioni Tr 20 Anni</i>	<i>30</i>
4.2.2	<i>Simulazioni Tr 30 Anni</i>	<i>31</i>
4.2.3	<i>Simulazioni Tr 200 Anni</i>	<i>32</i>
4.2.4	<i>Simulazioni Tr 500 Anni</i>	<i>33</i>
5	ANALISI DEI RISULTATI.....	34
6	CONCLUSIONI	35

1 Premessa

Lo studio associato "Hydrogeo - Ingegneria per l'Ambiente ed il Territorio" è stato incaricato di predisporre uno studio idrologico e idraulico sul Torrente Orme, di supporto alla richiesta di variante al Regolamento Urbanistico e al Piano Strutturale per la realizzazione della strada di collegamento tra la vecchia e la nuova via di Val d'Orme nel Comune di Empoli. L'area oggetto di richiesta di variante ricade in sinistra idraulica del Torrente Orme, subito a valle del ponte di attraversamento della strada di Val d'Orme Nuova.

Obiettivo dello studio idrologico-idraulico è l'individuazione delle aree a pericolosità idraulica e l'eventuale messa in sicurezza.

In particolare ai sensi del Decreto del Presidente della Giunta Regionale 27 aprile 2007, n. 26/R "Regolamento di attuazione dell'articolo 62 della legge regionale 3 gennaio 2005, n. 1 (Norme per il governo del territorio) in materia di indagini geologiche dovranno essere individuate:

Aree a Pericolosità idraulica molto elevata (I.4): aree interessate da allagamenti per eventi con $Tr \leq 30$ anni

Aree a Pericolosità idraulica elevata (I.3): aree interessate da allagamenti per eventi con $30 < Tr \leq 200$ anni

Aree a Pericolosità idraulica media (I.2): aree interessate da allagamenti per eventi compresi tra $200 < Tr < 500$ anni.

Aree a Pericolosità idraulica bassa (I.1): aree collinari o montane prossime ai corsi d'acqua per le quali ricorrono le seguenti condizioni:

- a) non vi sono notizie storiche di inondazioni
- b) sono in situazioni favorevoli di alto morfologico, di norma a quote altimetriche superiori a metri 2 rispetto al piede esterno dell'argine o, in mancanza, al ciglio di sponda.

"Nelle situazioni caratterizzate da pericolosità idraulica molto elevata ed elevata è necessario rispettare i seguenti criteri generali :

a) non sono da prevedersi interventi di nuova edificazione o nuove infrastrutture per i quali non sia dimostrabile il rispetto di condizioni di sicurezza o non sia prevista la preventiva o contestuale realizzazione di interventi di messa in sicurezza per eventi con tempo di ritorno di 200 anni;

b) nelle aree che risultino soggette a inondazioni con tempi di ritorno inferiori a 20 anni sono consentite solo nuove previsioni per infrastrutture a rete non diversamente localizzabili, per le quali sarà comunque necessario attuare tutte le dovute precauzioni per la riduzione del rischio a livello compatibile con le caratteristiche dell'infrastruttura;

c) gli interventi di messa in sicurezza, definiti sulla base di studi idrologici e idraulici, non devono aumentare il livello di rischio in altre aree con riferimento anche agli effetti dell'eventuale incremento dei picchi di piena a valle;

d) *relativamente agli interventi di nuova edificazione previsti nel tessuto insediativo esistente, la messa in sicurezza rispetto ad eventi con tempo di ritorno di 200 anni può essere conseguita anche tramite adeguati sistemi di autosicurezza, nel rispetto delle seguenti condizioni:*

- *dimostrazioni dell'assenza o dell'eliminazione di pericolo per le persone e i beni*
- *dimostrazione che gli interventi non determinano aumento delle pericolosità in altre aree;*

e) *possono essere previsti interventi per i quali venga dimostrato che la loro natura è tale da non determinare pericolo per persone e beni, da non aumentare la pericolosità in altre aree e purchè siano adottate, ove necessario, idonee misure atte a ridurre la vulnerabilità.*

f) *della sussistenza delle condizioni di cui sopra deve essere dato atto anche nel procedimento amministrativo relativo al titolo abilitativo all'attività edilizia;*

g) *fino alla certificazione dell'avvenuta messa in sicurezza conseguente la realizzazione ed il collaudo delle opere idrauliche accompagnata dalla delimitazione delle aree risultanti in sicurezza, non può essere rilasciata dichiarazione di abitabilità e di agibilità;*

h) *deve essere garantita la gestione di quanto in essere tenendo conto della necessità di raggiungimento anche graduale di condizioni di sicurezza idraulica fino a Tr 200 per il patrimonio edilizio e infrastrutturale esistente e per tutte le funzioni connesse."*

"Nelle situazioni caratterizzate da pericolosità idraulica media per gli interventi di nuova edificazione e per le nuove infrastrutture possono non essere dettate condizioni di fattibilità dovute a limitazioni di carattere idraulico. Qualora si voglia perseguire un maggiore livello di sicurezza idraulica, possono essere indicati i necessari accorgimenti costruttivi per la riduzione della vulnerabilità delle opere previste o individuati gli interventi da realizzare per la messa in sicurezza per eventi con tempo di ritorno superiore a 200 anni, tenendo conto comunque della necessità di non determinare aggravii di pericolosità in altre aree."

"Nelle situazioni caratterizzate da pericolosità idraulica bassa non è necessario indicare specifiche condizioni di fattibilità dovute a limitazioni di carattere idraulico."

Da quanto sopra emerge pertanto la necessità di individuare per la zona interessata le aree a pericolosità idraulica come indicato dal D.P.G.R. 26/R per eventi con Tr 30,200 e 500 anni, la verifica che non sia interessata da eventi con Tr 20 anni (condicio sine qua non), e la sua eventuale messa in sicurezza per eventi duecentennali.

Lo studio verrà articolato nelle seguenti fasi:

- 1) *quadro conoscitivo: acquisizione della CTR, delle carte tematiche e del rilievo topografico di dettaglio;*
- 2) *definizione dell'approccio metodologico;*
- 3) *elaborazione idrologica: stima delle portate di piena per eventi con tempi di ritorno di 20, 30, 100, 200 e 500 anni attraverso l'utilizzo di un modello di piena a parametri concentrati;*
- 4) *analisi idraulica dello stato attuale del Torrente Orme;*
- 5) *perimetrazione delle aree a pericolosità idraulica ai sensi del regolamento sulle indagini geologiche ed idrauliche;*
- 6) *Individuazione degli eventuali interventi di messa in sicurezza.*

2 Definizione del quadro conoscitivo

2.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il T. Orme è un affluente di sinistra del Fiume Arno. Il suo bacino si estende complessivamente per circa 2738 Ha su territorio collinare, a cui bisogna aggiungere i bacini dei suoi principali affluenti, Torrente Ormicello e Rio della Piovola per un totale di 4893.4 Ha di cui il 92% è rappresentato da territorio collinare.

Il T.Orme ha origine in prossimità dell'abitato di Montespertoli e dopo aver percorso 16.4 Km arriva alla confluenza con il F.Arno. Nel bacino di collina il rio riceve il contributo di numerosi fossi minori che si sviluppano soprattutto ad Est del corso d'acqua.

Tra la frazione di Case Nuove e quella di Pozzale si chiude il bacino di collina, la cui quota media rispetto alla sezione di chiusura è circa 95 m s.l.m. A valle l'alveo diventa pensile non ricevendo alcun contributo, fatta eccezione per l'immissione del Rio della Piovola nel centro di Empoli.

L'area interessata è situata nel comune di Empoli e risulta rappresentata nella CTR 1:10000 nei Fogli 274080 e 274120, e nella CTR 1:2000 nei fogli 18146, 18154 e 18162.

Nelle elaborazioni la cartografia 1:10000 ed 1:2000 è stata integrata da uno specifico rilievo di dettaglio dell'area e delle sezioni fluviali effettuato dagli scriventi, oltre che da sopralluoghi effettuati sul posto.

In Tavola 1 si riporta la corografia generale.

2.2 LE NORME DELL'AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME ARNO

Per un immediato inquadramento idraulico dell'ambito territoriale interessato dal progetto, sono stati consultati gli elaborati cartografici principali del Piano Stralcio Rischio Idraulico, del Piano Straordinario ai sensi D.L. 180/98 e del Progetto di P.A.I. con l'individuazione delle classi di pericolosità.

Piano Stralcio Rischio Idraulico

Con il D.P.C.M. 05/11/1999 è stato approvato il Piano di Bacino del Fiume Arno previsto dalla L. 183/89 limitatamente allo Stralcio Rischio Idraulico, nella cui cartografia sono riportate

- Carta delle aree di pertinenza fluviale;
- Carta guida delle aree allagate redatta sulla base degli eventi significativi;
- Carta degli interventi strutturali per la riduzione del rischio idraulico.

Le aree di pertinenza fluviale, rappresentate nella Carta delle aree di pertinenza fluviale dell'Arno e dei suoi affluenti allegata al Piano di Bacino, stralcio Rischio Idraulico, devono essere salvaguardate, in generale, per la mitigazione del rischio idraulico. Nella Carta sono comprese le aree di espansione del fiume, le aree destinate dal piano ad interventi di sistemazione dei corsi d'acqua, per lo più da adibire a casse di espansione o ad aree di laminazione per lo scolo delle piene, nonché le zone di ristagno e di trattenimento delle acque in conseguenza di eventi meteorici eccezionali.

La Carta guida delle aree allagate, elaborata sulla base degli eventi alluvionali significativi, posteriori e comprendenti quello del novembre 1966, rappresenta una carta che fornisce indicazioni di pericolosità idraulica.

La Carta degli Interventi Strutturali per la riduzione del rischio idraulico nel bacino dell'Arno riporta le aree destinate agli interventi di piano per la mitigazione del rischio idraulico.

Piano Assetto Idrogeologico

L'Autorità di Bacino del Fiume Arno ha approvato definitivamente il Piano di Bacino Stralcio Assetto Idrogeologico con D.P.C.M. 6 maggio 2005.

In particolare, negli elaborati del PAI, a livello di sintesi in scala 1:25.000, vengono definite le seguenti classi di pericolosità:

- pericolosità idraulica molto elevata (P.I.4), così come definita nel Piano Straordinario approvato con delibera del Comitato Istituzionale n. 137/1999;
- pericolosità idraulica elevata (P.I.3), corrispondente alla classe B.I. così come definita nel Piano Straordinario di cui sopra;
- pericolosità idraulica media (P.I.2) relativa alle aree inondate durante l'evento del 1966 come da "Carta guida delle aree inondate" di cui al Piano di bacino, stralcio relativo alla riduzione del "Rischio Idraulico";
- pericolosità idraulica moderata (P.I.1): rappresentata dall'involuppo delle alluvioni storiche sulla base di criteri geologici e morfologici.

Nelle figure seguenti si riportano le cartografie di interesse.

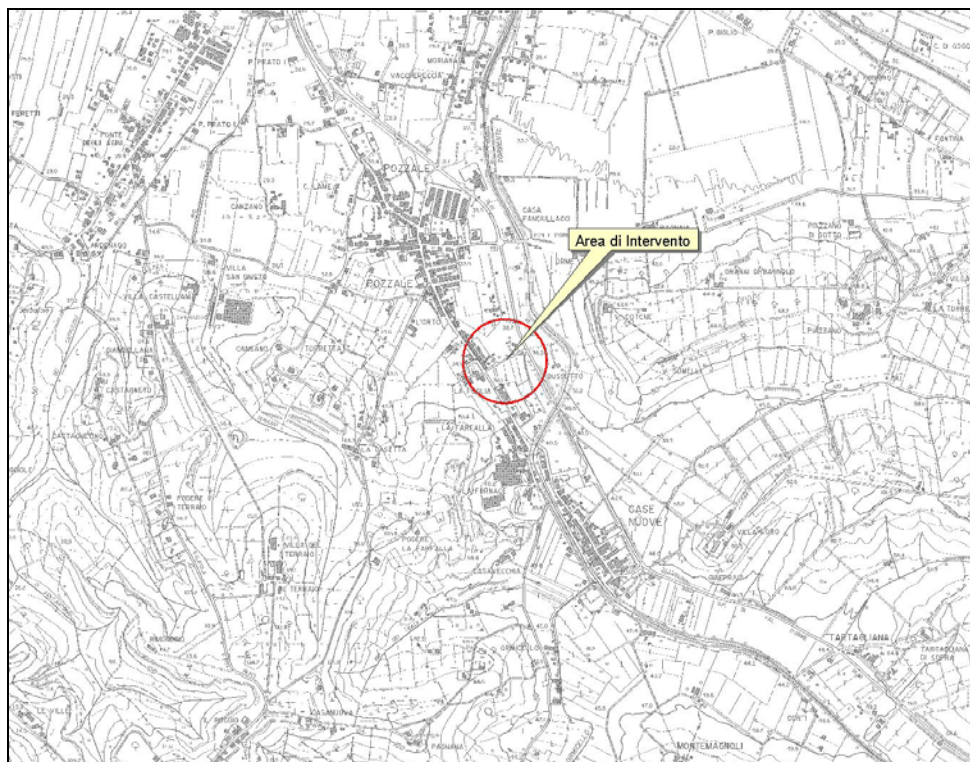


Figura 2-1: Aree di pertinenza fluviale (Piano Stralcio Rischio Idraulico)

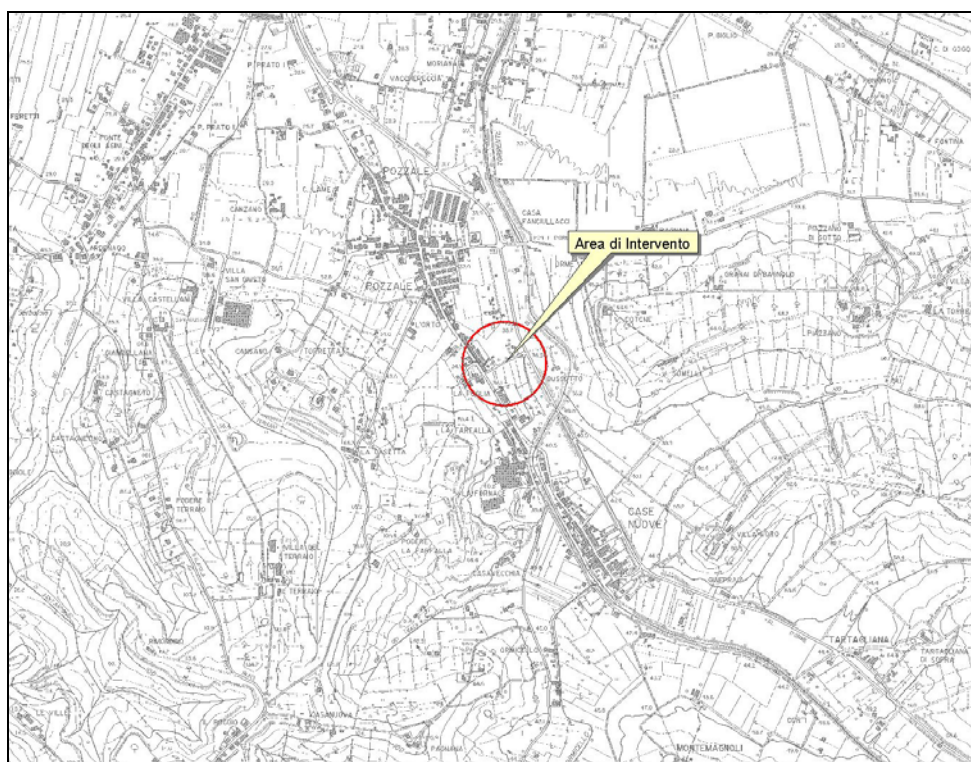


Figura 2-2: Interventi Strutturali per la riduzione del Rischio Idraulico (Piano Stralcio Rischio Idraulico)

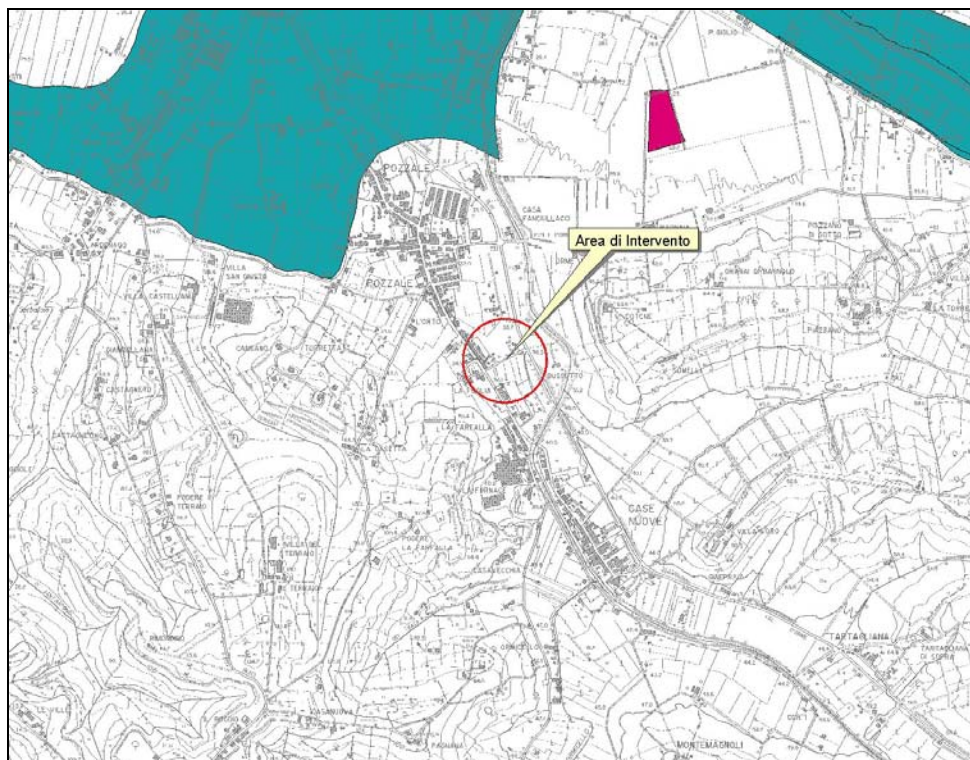


Figura 2-3: Carta guida delle aree allagate (Piano Stralcio Rischio Idraulico)

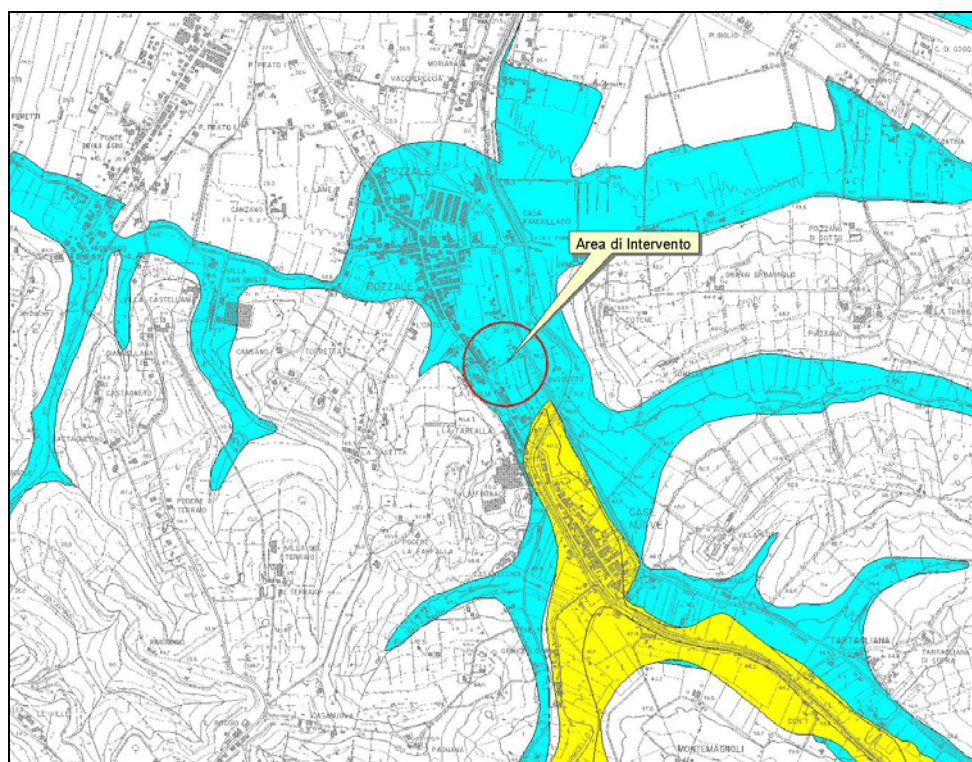


Figura 2-4: Perimetrazioni a livello di sintesi (Piano Assetto Idrogeologico)

La zona di interesse non risulta compresa nelle pertinenze fluviali, nelle aree interessate da interventi strutturali, nella carta delle aree allagate.

Il Progetto di Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico, nell'ambito della perimetrazione delle aree a pericolosità, classifica l'area d'interesse in P.I.1 - Area a pericolosità idraulica moderata.

Per tali aree vale l'art. 8 delle NTA:

"Aree a pericolosità idraulica media e moderata (P.I.2 e P.I.1) e aree di ristagno

Nelle aree P.I.2 e P.I.1 e nelle aree di ristagno sono consentiti gli interventi previsti dagli strumenti di governo del territorio.

Nelle aree P.I.2 e P.I.1 e nelle aree di ristagno il PAI, nel rispetto delle condizioni fissate dagli strumenti di governo del territorio, persegue l'obiettivo di integrare il livello di sicurezza alle popolazioni mediante la predisposizione prioritaria da parte degli enti competenti ai sensi della legge 24 febbraio 1992, n. 225 di programmi di previsione e prevenzione."

2.3 IL REGOLAMENTO URBANISTICO DEL COMUNE DI EMPOLI

2.3.1 L'art. 30 Ambiti di salvaguardia idraulica

La Tavola 2.3 del RU "carta delle aree allagate" riporta la delimitazione degli ambiti di salvaguardia idraulica.

Sono definiti tre ambiti:

Ambito A1 - definito di "assoluta protezione del corso di acqua" che corrisponde agli alvei, alle golene, agli argini dei corsi d'acqua (limitatamente a quelli previsti dalla legge) nonché alle aree comprese nelle due fasce della larghezza di 10 metri adiacenti a tali corsi d'acqua, misurate a partire dal piede esterno dell'argine o, in assenza, del ciglio di sponda.

Ambito A2 - definito di "tutela del corso d'acqua e possibile inondazione" da applicarsi ai corsi d'acqua (limitatamente a quelli previsti dalla legge) con larghezza superiore ai 10 metri, misurata fra i piedi esterni degli argini o, in mancanza, fra i cigli di sponda. Tale ambito corrisponde alle due fasce immediatamente esterne all'ambito A1 che hanno larghezza pari alla larghezza del corso d'acqua definita come sopra con un massimo di metri lineari 100.

Ambito B - comprende le aree potenzialmente inondabili in prossimità dei corsi d'acqua (limitatamente a quelli previsti dalla legge) che possono risultare necessarie per eventuali interventi di regimazione idraulica per la messa in sicurezza degli insediamenti. Tale ambito corrisponde alle aree a quote altimetriche inferiori rispetto alla quota posta a due metri sopra il piede esterno dell'argine o del ciglio di sponda. Il limite esterno di tale ambito è determinato dai punti di incontro delle perpendicolari all'asse del corso d'acqua con il terreno alla quota altimetrica già individuata e non potrà comunque superare la distanza di metri 300 dal piede esterno dell'argine o dal ciglio. L'ambito B è da considerarsi come parte del territorio per la quale l'Amministrazione Comunale deve dotarsi di uno studio idrologico-idraulico, qualora preveda nei propri strumenti urbanistici attuativi edificazioni pubbliche o private.

Nella figura seguente si riporta stralcio della Tavola 2.3 del RU da cui si evince **come l'area interessata dalla previsione della viabilità sia in Ambito B del Torrente Orme.**



Figura 2-5: L'area di intervento in Ambito B come definito dal RU del Comune di Empoli

2.3.2 L'art. 31 Classi di pericolosità idraulica

Le aree del territorio comunale soggette a rischio idraulico sono individuate nella Tav. 2.4 "carta della pericolosità idraulica" ed alle stesse è attribuita la classe di pericolosità idraulica 3 (pericolosità media).

La suddetta carta rappresenta tutte le aree inseribili in classe di pericolosità idraulica 3 indipendentemente dalla causa che genera l'attribuzione della pericolosità. Il grado di pericolosità 3 è stato attribuito a tutte le aree soggette ad una o più delle seguenti condizioni:

- Aree rientranti in uno degli ambiti previsti dalla D.R. 230/94 come ripresa dalla deliberazione 25 gennaio 2000 n. 12;
- Aree soggette in passato ad allagamenti o ristagni;
- Aree morfologicamente depresse con quota inferiore al ciglio di sponda o del piede esterno dell' argine.

Nelle aree indicate con pericolosità idraulica 3 si dovranno mantenere particolari cautele progettuali con specifico riferimento agli aspetti di rischio idraulico che dovranno tener conto delle possibili evoluzioni e dei cambiamenti di assetto del territorio subentrati al momento della progettazione.

In queste aree, fatto salvo l'obbligo del recepimento delle indicazioni contenute nel Regolamento edilizio, i progetti dovranno essere corredati da una relazione idraulica specifica a firma di un tecnico abilitato che evidenzi le condizioni di rischio specifico rilevabili al momento della progettazione e che metta in evidenza le correlazioni tra il rischio idraulico dell'area come ricostruito dagli studi disponibili presso l'Amministrazione e le condizioni idrauliche specifiche del singolo intervento o del gruppo di interventi proposti.

Di seguito si riporta la Tavola 2.4 del RU da cui si ricava come **l'area sia inserita in pericolosità idraulica 3.**



Figura 2-6: Classificazione in pericolosità idraulica 3 del Regolamento Urbanistico

2.3.3 L'art. 32 Fattibilità per aree omogenee sotto il profilo idraulico

Il territorio comunale è stato suddiviso in 8 zone omogenee e due ulteriori zone con presenza di Ambiti denominate Zona A e Zona B, la cui distribuzione è riportata nella Tav. 2.6.

Nella Figura seguente si riporta lo stralcio di tale Tavola da cui si evince **come l'area ricada in Zona B**.



Figura 2-7: L'area ricade in Zona B nella Carta di Fattibilità del RU

Per le aree ricadenti in Zona B vale quanto segue:

Zona B: Classe di fattibilità idraulica 3

Destinazione residenziale: E' necessario attenersi alle misure di salvaguardia previste dal D.C.R. 12/00.

Destinazione industriale - commerciale: E' necessario attenersi alle misure di salvaguardia previste dal D.C.R. 12/00.

Note particolari: E' necessario allegare al progetto una relazione idraulica di dettaglio che dimostri l'assenza del rischio idraulico e la gestione degli smaltimenti delle acque meteoriche. E' necessario predisporre un piano di intervento per la rimozione di eventuali materiali destinati allo stoccaggio al primo piano degli edifici industriali e in caso di allagamento accidentale dovuto a rotture arginali o malfunzionamenti della rete fognaria.

2.4 IL DPGR 26/R DEL 27 APRILE 2007

A seguito della L.R. 01/2005 – Norme per il Governo del Territorio è stato approvato con Decreto del Presidente della Giunta Regionale 27 aprile 2007, n. 26/R il “Regolamento di attuazione dell’articolo 62 della legge regionale 3 gennaio 2005, n. 1 in materia di indagini geologiche. Tale regolamento prevede che debbano essere individuate:

Aree a Pericolosità idraulica molto elevata (I.4): aree interessate da allagamenti per eventi con $Tr \leq 30$ anni

Aree a Pericolosità idraulica elevata (I.3): aree interessate da allagamenti per eventi con $30 < Tr \leq 200$ anni

Aree a Pericolosità idraulica media (I.2): aree interessate da allagamenti per eventi con $20 < Tr < 500$ anni

Aree a Pericolosità idraulica bassa (I.1): aree collinari o montane prossime ai corsi d’acqua per le quali ricorrono le seguenti condizioni:

- a) non vi sono notizie storiche di inondazioni
- b) sono in situazioni favorevoli di alto morfologico, di norma a quote altimetriche superiori a metri 2 rispetto al piede esterno dell’argine o, in mancanza, al ciglio di sponda.

Nelle situazioni caratterizzate da pericolosità idraulica molto elevata ed elevata è necessario rispettare i seguenti criteri generali :

a) non sono da prevedersi interventi di nuova edificazione o nuove infrastrutture per i quali non sia dimostrabile il rispetto di condizioni di sicurezza o non sia prevista la preventiva o contestuale realizzazione di interventi di messa in sicurezza per eventi con tempo di ritorno di 200 anni;

b) nelle aree che risultino soggette a inondazioni con tempi di ritorno inferiori a 20 anni sono consentite solo nuove previsioni per infrastrutture a rete non diversamente localizzabili, per le quali sarà comunque necessario attuare tutte le dovute precauzioni per la riduzione del rischio a livello compatibile con le caratteristiche dell’infrastruttura;

c) gli interventi di messa in sicurezza, definiti sulla base di studi idrologici e idraulici, non devono aumentare il livello di rischio in altre aree con riferimento anche agli effetti dell’eventuale incremento dei picchi di piena a valle;

d) relativamente agli interventi di nuova edificazione previsti nel tessuto insediativo esistente, la messa in sicurezza rispetto ad eventi con tempo di ritorno di 200 anni può essere conseguita anche tramite adeguati sistemi di autosicurezza, nel rispetto delle seguenti condizioni:

- dimostrazioni dell’assenza o dell’eliminazione di pericolo per le persone e i beni
- dimostrazione che gli interventi non determinano aumento delle pericolosità in altre aree;

e) possono essere previsti interventi per i quali venga dimostrato che la loro natura è tale da non determinare pericolo per persone e beni, da non aumentare la pericolosità in altre aree e purchè siano adottate, ove necessario, idonee misure atte a ridurre la vulnerabilità.

f) della sussistenza delle condizioni di cui sopra deve essere dato atto anche nel procedimento amministrativo relativo al titolo abilitativo all'attività edilizia;

g) fino alla certificazione dell'avvenuta messa in sicurezza conseguente la realizzazione ed il collaudo delle opere idrauliche accompagnata dalla delimitazione delle aree risultanti in sicurezza, non può essere rilasciata dichiarazione di abitabilità e di agibilità;

h) deve essere garantita la gestione di quanto in essere tenendo conto della necessità di raggiungimento anche graduale di condizioni di sicurezza idraulica fino a Tr 200 per il patrimonio edilizio e infrastrutturale esistente e per tutte le funzioni connesse.

Nelle situazioni caratterizzate da pericolosità idraulica media per gli interventi di nuova edificazione e per le nuove infrastrutture possono non essere dettate condizioni di fattibilità dovute a limitazioni di carattere idraulico. Qualora si voglia perseguire un maggiore livello di sicurezza idraulica, possono essere indicati i necessari accorgimenti costruttivi per la riduzione della vulnerabilità delle opere previste o individuati gli interventi da realizzare per la messa in sicurezza per eventi con tempo di ritorno superiore a 200 anni, tenendo conto comunque della necessità di non determinare aggravii di pericolosità in altre aree.

Nelle situazioni caratterizzate da pericolosità idraulica bassa non è necessario indicare specifiche condizioni di fattibilità dovute a limitazioni di carattere idraulico.

Alla luce di quanto sopra, nonostante la pericolosità dell'area oggetto del presente studio sia stata individuata negli strumenti di governo del territorio secondo la vecchia normativa, per la determinazione della pericolosità analitica si farà riferimento ai nuovi criteri dettati nel regolamento 26/R.

2.5 DEFINIZIONE DELL'APPROCCIO METODOLOGICO

Il presente lavoro è finalizzato alla verifica degli effetti indotti dal Torrente Orme nell'area interessata dalla Variante al regolamento Urbanistico. Obiettivo dello studio è la determinazione delle pericolosità idrauliche, ed eventualmente l'individuazione degli interventi di messa in sicurezza.

Tenendo presente che, sulla base della perimetrazione delle aree a pericolosità idraulica, dovranno essere individuati gli interventi eventualmente necessari, o dovranno essere approvate le previsioni urbanistiche senza la necessità di procedere alla realizzazione di alcun intervento, è indispensabile che l'approccio metodologico utilizzato sia analitico ed omogeneo su tutto il territorio considerato; per questo si è adottata una metodologia già utilizzata negli studi effettuati dall'Autorità di Bacino per la delimitazione delle aree soggette a rischio idraulico.

Ai fini dell'individuazione delle aree a pericolosità idraulica, l'approccio deve necessariamente considerare un corso d'acqua nella sua più completa caratterizzazione spaziale, sia in termini d'estensione, sia in termini di contributi laterali provenienti dagli affluenti considerati.

Infatti, la determinazione delle aree inondabili dipende in sostanza dalla distribuzione spazio-temporale dei volumi di piena; pertanto, in ogni sezione del corso d'acqua, i volumi d'esondazione dipendono, a parità d'evento che li genera, dalla dinamica di propagazione e d'esondazione verificatasi nelle sezioni precedenti. Lo stesso ragionamento vale per i contributi di piena al corso d'acqua principale provenienti dagli affluenti.

E' pertanto necessario, da un lato, stimare gli idrogrammi di piena in arrivo al corso d'acqua, e dall'altro analizzarne la loro propagazione e laminazione lungo il corso d'acqua per effetto di opere, esondazioni, diversivi ed immissioni laterali.

Di qui la necessità di un approccio integrato di tipo idrologico-idraulico che consideri l'asta fluviale d'interesse, il relativo bacino afferente e le connessioni idrauliche laterali per la simulazione dei fenomeni di tracimazione e inondazione.

Le sollecitazioni idrologiche al sistema, costituite in generale da eventi caratterizzati da intensità di pioggia variabili nel tempo e nello spazio e dalle condizioni fisiche "iniziali" del bacino idrografico, vengono rappresentate da idrogrammi sintetici definiti in base alle curve di possibilità pluviometrica per preassegnata durata di pioggia e tempo di ritorno. Attraverso la modellistica idrologica, vengono definiti gli idrogrammi di piena nelle varie sezioni d'interesse del corso d'acqua considerato, tenendo conto che i contributi di piena degli interbacini sono valutati adottando la stessa durata di pioggia ed un coefficiente di ragguglio areale tale da garantire una distribuzione spaziale coerente dell'evento.

La propagazione dei deflussi di piena così generati e la valutazione dei fenomeni esondativi lungo l'asta fluviale considerata, avviene tramite il modello idraulico di moto vario, più avanti descritto, in grado di fornire in ogni sezione dell'asta fluviale l'idrogramma di piena in transito, i volumi eventualmente tracimati dalle strutture di contenimento ed i livelli in ciascuna sezione fluviale.

Le simulazioni idrologiche-idrauliche sopra descritte vengono implementate per la durata dell'evento di pioggia che massimizza il picco di portata, alla sezione di chiusura considerata.

Vengono infine delimitate le aree inondabili assumendo le condizioni più gravose che in ciascuna sezione si verificano in termini d'altezza d'acqua mediante l'involuppo dei valori massimi ottenuti da ciascuna simulazione.

Si perviene quindi alla mappatura delle aree inondabili per eventi con tempi di ritorno pari a 20, 30, 200 e 500 anni.

2.6 MODELLISTICA IDRAULICA

Nel presente lavoro per la determinazione delle aree inondabili è stata adottata una schematizzazione quasi-bidimensionale del tipo proposto da Cunge, che associa ad un modello idraulico non stazionario, una rappresentazione "a celle d'accumulo" delle aree inondabili adiacenti al corso d'acqua, opportunamente schematizzate e connesse idraulicamente.

La scelta di adottare un modello idraulico non stazionario integrato da un modello d'inondazione, anziché un più semplice e meno oneroso modello di moto permanente, è dettata essenzialmente dai seguenti fattori:

1. Il modello di moto permanente è in grado di simulare correttamente solo i fenomeni che si svolgono a portata costante nel tempo, ignorando pertanto gli effetti dei meccanismi di propagazione e attenuazione delle stesse portate in alveo che solo un modello di moto vario può simulare;
2. Il modello di moto permanente non può simulare un evento di piena in un sistema idraulico di corsi d'acqua naturali tra loro connessi a formare una rete idrografica, poiché ogni corso d'acqua ha tempi di risposta propri e pertanto sussistono sfasamenti temporali tra le onde di piena che talvolta possono risultare anche determinanti nelle modalità di svolgimento del fenomeno inondativo e che solo con un modello di moto vario possono essere messi in conto.

La risoluzione dello schema di moto viene ottenuta per via numerica, discretizzando le equazioni nel dominio spazio-temporale mediante opportuni schemi numerici. La soluzione viene pertanto ottenuta solo nei punti di discretizzazione (e non con continuità su tutto il dominio). Tali punti sono rappresentati dalla sezioni geometriche rilevate (discretizzazione spaziale) e dalla scansione temporale utilizzata nella rappresentazione dei fenomeni (discretizzazione temporale).

Il grado di risoluzione che si ottiene deriva, quindi, dalla densità delle sezioni rilevate e dal passo temporale adottato.

Analogamente, il grado di risoluzione temporale è funzione della qualità dei dati di pioggia e/o di portata che risultano disponibili per la caratterizzazione del regime idraulico cui sono sottoposti i corsi d'acqua considerati.

Per questo studio è stato deciso di utilizzare una scansione temporale di 10 secondo nella modellazione idraulica, e di 15 minuti per la restituzione dei risultati, da considerarsi comunque idonea alla modellazione, vista la durata degli eventi che caratterizzano i bacini studiati.

2.7 MODELLAZIONE DELLE AREE DI POSSIBILE ESONDAZIONE

Definita la modellazione del moto all'interno delle aste fluviali, resta da definire la modellazione del fenomeno esondativo delle aree adiacenti.

Eccettuato il caso in cui tali aree siano d'ampiezza confrontabile con quella dell'alveo attivo e non riparate da argini, situazione che permette molto semplicemente di assumere in ogni istante come quota d'inondazione quella idrometrica in alveo, il problema è quello di simulare la propagazione dei livelli di piena su aree talvolta molto estese.

Nel modello quasi-bidimensionale a celle interconnesse, si assume che il fenomeno dell'allagamento di ciascuna cella avvenga in modo sincrono, cioè non venga messo in conto il tempo effettivo connesso alla reale propagazione sul terreno dei volumi esondati. Questo ultimo è, peraltro, di difficile stima, soprattutto in casi di aree fortemente antropizzate, dove la presenza di strutture e infrastrutture condiziona la velocità e le direzioni lungo le quali l'allagamento si propaga.

L'approssimazione adottata è tanto più accettabile quanto maggiore è il numero di celle in cui vengono suddivise le aree complessivamente soggette ad esondazione. Infatti, in tal modo, il riempimento di ciascuna cella è regolato dalle caratteristiche degli sfioratori di collegamento tra le celle, che, in funzione della quota e della lunghezza, influenzano la velocità di riempimento della cella successiva. Sono comunque trascurati gli effetti della non stazionarietà e bidimensionalità connessi al fenomeno di propagazione del fronte d'inondazione.

La simulazione del fenomeno esondativo si basa inoltre sulle seguenti ipotesi:

- i volumi idrici d'inondazione si generano esclusivamente per tracimazione sulle sommità arginali del corso d'acqua. Non sono considerati altri fenomeni quali, ad esempio, il collasso delle strutture arginali o fenomeni di rigurgito diversi da quelli già considerati nel presente studio; anche gli elementi infrastrutturali delimitanti le aree di potenziale inondazione, quali rilevati stradali, ferroviari, ecc., si considerano, al pari degli argini fluviali, tracimabili senza collasso;
- le aree suscettibili d'inondazione sono preventivamente delimitabili sulla base delle caratteristiche morfologiche e infrastrutturali del territorio; si definiscono in tal modo le aree di potenziale esondazione;
- l'identificazione delle aree potenzialmente inondabili, suddivise in celle elementari, si basa sull'analisi delle sezioni fluviali, della cartografia 1:10.000 e 1:2000 e dei rilievi e soprattutto su sopralluoghi atti all'individuazione di caratteristiche locali non individuabili sulla carta;
- il fenomeno dell'allagamento di ciascuna cella in cui sono suddivise le aree potenzialmente inondabili avviene con una legge di riempimento ricavata in base alle caratteristiche morfologiche dell'area. Si trascurano in questo modo gli effetti della non stazionarietà e bidimensionalità connessi al fenomeno di propagazione del fronte d'inondazione.

La propagazione dei livelli idrici nelle celle avviene pertanto attraverso la sola legge di continuità. A tale scopo è necessario considerare il volume accumulato nella singola cella e le sue variazioni dovute agli scambi di portata con le celle circostanti.

Ad ogni passo temporale l'equazione di continuità impone il bilancio tra i volumi netti transitati attraverso la cella e la variazione di volume locale, sotto le ipotesi che il volume accumulato in ciascuna cella è univocamente correlato all'altezza idrica nella cella stessa, e le portate scambiate sono funzione dei livelli a monte e a valle delle connessioni idrauliche.

Il trasferimento dei volumi d'esondazione, sia dall'alveo alle celle d'accumulo sia tra le stesse celle, avviene tramite soglie sfioranti assimilabili a stramazzi in parete grossa, con possibilità di funzionamento bidirezionale, in condizioni di deflusso libero oppure rigurgitato in funzione dei livelli a monte e a valle dello stramazzo.

2.8 CARATTERIZZAZIONE GEOMETRICA

Per i corsi d'acqua studiati occorre disporre delle caratteristiche geometriche (sezioni fluviali) necessarie alla simulazione dei fenomeni di propagazione delle onde di piena ed individuare le aree potenzialmente soggette a fenomeni esondativi per poter simulare il comportamento idraulico dei volumi non contenibili in alveo.

In particolare per lo studio effettuato sono stati utilizzati i seguenti dati:

- Rilievo di alcune sezioni fluviali, e piano quotato dell'area realizzato nel aprile 2008;
- CTR 1:2000 del Comune di Empoli.

2.8.1 Sezioni fluviali

Per le simulazioni idrauliche condotte sono state utilizzate le sezioni ed i piani quotati riportati in Tavola 2. Nella restituzione dei risultati la base cartografica utilizzata è invece la CTR 1:2000.

Per quanto riguarda il Torrente Orme, il rilievo plano-altimetrico delle sezioni copre un tratto del corso d'acqua per un'estensione totale di circa 1200 metri.

Le sezioni sono state rilevate con strumentazione GPS in coordinate WGS 84, e quindi trasformate in coordinate Gauss Boaga attraverso il software Verto 2000 dell'Istituto Geografico Militare, che fornisce le griglie con i parametri di trasformazione.

Nel caso di zone impervie, non raggiunte dal segnale GPS, e nel caso di manufatti quali ponti si è proceduto al rilievo attraverso Stazione Totale in configurazione Smart Station, permettendo pertanto il funzionamento dello strumento topografico tradizionale nello stesso sistema di riferimento WGS 84.

Nella Tavola 2 è rappresentato il modello idraulico e la disposizione planimetrica delle sezioni del rilievo secondo il codice attribuito, oltre ai punti di rilievo battuti.

2.8.2 Aree di potenziale esondazione

Si definiscono aree di potenziale esondazione (APE) tutte quelle aree potenzialmente soggette a fenomeni esondativi per le quali risulta prevalente il processo d'invaso rispetto a quello di trasporto.

La modellazione idraulica adottata necessita della conoscenza delle caratteristiche geometriche di tali aree al fine di simularne correttamente il loro comportamento idraulico.

La caratterizzazione geometrica delle aree è stata condotta secondo i seguenti criteri:

1. Individuazione delle aree di potenziale esondazione: tale operazione è stata condotta sulla base della cartografia in scala 1:10000 e 1:2000 e del rilievo di dettaglio dove disponibile.
2. Suddivisione delle aree di potenziale esondazione in celle elementari: sulla base dei punti quotati della cartografia indicata al punto precedente, dei rilievi topografici di dettaglio e, ove necessario, dall'analisi delle sezioni fluviali coadiuvata da sopralluoghi, vengono identificati i rilevati stradali, i corsi d'acqua minori ed i contenimenti naturali. Questi vengono assunti come elementi di contorno che delimitano le celle elementari, o "casse", di forme e dimensioni variabili.
3. Caratterizzazione morfologica delle aree di potenziale inondazione: in tale fase si è proceduto alla definizione delle caratteristiche plano-altimetriche delle celle elementari sulla base dei rilievi topografici e della cartografia, da cui è stato ricavato il DEM (modello digitale delle quote del terreno) con l'obiettivo di ottenere, in forma automatica, la legge di riempimento volumi-quote d'inondazione $V=V(H)$.
4. Definizione delle connessioni idrauliche: sulla base di quanto ottenuto nelle fasi precedenti e dell'analisi dettagliata delle caratteristiche morfologiche, infrastrutturali e idrauliche del territorio sono state definite le connessioni idrauliche tra l'alveo principale e le celle di potenziale esondazione, e tra le aree stesse. Tramite le connessioni idrauliche e gli elementi di contenimento si definiscono, in pratica, le modalità dei processi esondativi in ciascun'area e in relazione a quelle adiacenti.

La quota di sfioro per le connessioni alveo/cella è stata definita come la quota di sommità di sponda ricavata dalle sezioni. Per gli sfioratori cella/cella è stato identificato l'andamento plano-altimetrico dell'elemento di contenimento che separa le aree stesse.

Nella Tavola 2 sono riportate le aree di potenziale esondazione con la relativa codifica.

3 Modellistica idrologica e idraulica

3.1 LA TRASFORMAZIONE AFFLUSSI – DEFLUSSI

La determinazione degli idrogrammi di piena non può prescindere dai parametri, ormai generalmente utilizzati e condivisi, della procedura di regionalizzazione delle portate di piena (AITo). Tale procedura parte dalla teoria dell'idrogramma istantaneo unitario geomorfologico, di cui riportiamo di seguito le linee principali.

L'input meteorico è rappresentato da uno "ietogramma sintetico" la cui frequenza viene stimata a partire dalle curve di possibilità climatica.

Il modello è strutturato in modo da ricercare, per un dato tempo di ritorno, il valore critico della durata di pioggia che massimizza la portata di piena, in funzione delle caratteristiche geomorfologiche del bacino idrografico. Viene in tal modo definita una pioggia di una determinata durata con intensità costante.

Il metodo per studiare la risposta idrologica in termini di deflussi è quello basato sul cosiddetto *idrogramma istantaneo unitario* (*Instantaneous Unit Hydrograph, IUH*), vale a dire l'idrogramma di piena causato da un evento impulsivo di pioggia di volume unitario e durata tendente a zero. Infatti, con le ipotesi di linearità e stazionarietà della risposta, l'idrogramma di piena può essere calcolato tramite la convoluzione fra ietogramma efficace e IUH:

$$Q(t) = \int_0^t U(\tau) p(t - \tau) d\tau$$

dove:

$Q(t)$ è la portata defluente;

$p(t) = A \cdot i(t)$, con A area del bacino e $i(t)$ pioggia netta ragguagliata sul bacino;

$U(t)$ è l'idrogramma unitario per cui $\int_0^{\infty} U(t) dt = 1$

Il momento di primo ordine dell'IUH rispetto all'origine (baricentro) definito dalla

$$T_l = \int_0^{\infty} U(t) t dt = 1$$

viene detto *tempo di ritardo* (lag) T_l .

Ad esempio l'idrogramma unitario di Nash ha la seguente formulazione:

$$U(t) = \frac{1}{k\Gamma(n)} \left(\frac{t}{k}\right)^{(n-1)} e^{-\left(\frac{t}{k}\right)}$$

In questo schema il tempo di ritardo è dato dal prodotto nk (pari proprio alla media dell'idrogramma unitario).

I parametri n , k e T_l dell'idrogramma unitario di Nash sono stati ricavati sulla base delle caratteristiche geomorfologiche del reticolo idrografico, mediante le seguenti espressioni:

$$n = 3.29(R_b/R_a)^{0.78} R_l^{0.07}$$

$$k = 0.7[R_a/(R_b R_l)]^{0.48} L_c/v$$

$$T_l = 2.3 \left(\frac{R_b}{R_a} \right)^{0.3} R_l^{-0.41} \frac{L_c}{v}$$

in unità congruenti, dove:

R_b = rapporto di biforcazione;

R_l = rapporto di lunghezza;

R_a = rapporto di area;

L_c = lunghezza del canale principale (dalla sorgente alla sezione di interesse);

v = fattore cinematico legato alla velocità della piena ("media spazio-temporale di scorrimento dell'acqua o di propagazione dell'onda di piena").

I parametri geomorfologici elencati possono essere calcolati, una volta ordinato il reticolo idrografico secondo Strahler, sulla base delle note relazioni:

$$N_u = R_b^{\omega-u}$$

$$\bar{L}_u = \bar{L}_1 R_l^{u-1}$$

$$\bar{A}_u = \bar{A}_1 R_a^{u-1}$$

dove:

ω = ordine massimo del reticolo;

N_u = numero delle aste di ordine u ;

\bar{L}_u = lunghezza media delle aste di ordine u ;

\bar{A}_u = area media sottesa da aste di ordine u .

La trasformazione da pioggia reale a netta adottata, richiede la stima di due parametri: la perdita iniziale è schematizzata introducendo un *volume unitario di perdita iniziale* (indicato con I_a) che assorbe completamente la precipitazione durante i primi momenti dell'evento (dall'istante iniziale dell'evento $t=0$ sino all'istante $t=t_a$), mentre la perdita durante l'evento viene schematizzata con una *infiltrazione costante a saturazione* (indicata con K_s):

$$I_a(t) = I_a(0) + \int_0^{t_a} (P(\tau) - K_s) d\tau$$

se $t < t_a$

$$P_n(t) = 0$$

$$I_a(t) = I_a$$

se $t \geq t_a$

$$P_n(t) = P(t) - K_s$$

dove:

$P(t)$ intensità di precipitazione ragguagliata sul bacino [mm/h];

$P_n(t)$ intensità di precipitazione netta sul bacino [mm/h];

$I_a(t)$ perdita iniziale all'istante t dell'evento [mm];

$I_a = I_a(t_a)$ volume di perdita iniziale per unità di area [mm];

K_s velocità di infiltrazione a saturazione [mm/h].

Il modello di trasferimento adottato è quello, già citato, dell'idrogramma unitario di tipo $\Gamma(n, k)$ introdotto da Nash e caratterizzato dal parametro di forma (n) e da quello di scala (k).

I parametri utilizzati per il calcolo delle portate di piena risultano, in sostanza, i seguenti:

- I_a volume unitario di perdita iniziale [mm];
- K_s velocità di infiltrazione a saturazione [mm/h];
- n parametro di forma dell'idrogramma di Nash [-];
- k parametro di scala dell'idrogramma di Nash [h].

Lo studio di regionalizzazione, attraverso la taratura sistematica dei dati relativi ad eventi registrati nei 42 bacini strumentati dal Servizio Idrografico, ha fornito una relazione fra i valori di T_l ed i parametri geomorfici:

$$T_l = 0.42 \left(\frac{R_b}{R_a} \right)^{0.3} R_l^{-0.41} \frac{L_{mc}}{A^{0.075}} \quad [\text{h}]$$

dove A è l'area del bacino [kmq] e L_{mc} la lunghezza del reticolo [km] calcolata come *cumulata delle lunghezze medie per i vari ordini gerarchici*.

I valori di I_a e K_s sono calcolati in funzione dell'uso del suolo e dalla geologia dei bacini, resi indipendenti dalle dimensioni del bacino idrografico. I parametri geomorfologici provengono invece dalla gerarchizzazione secondo Strahler del reticolo idrografico sotteso per ciascuna sezione di calcolo.

3.2 IL MODELLO DI MOTO VARIO

Il modello di moto vario simula i processi di trasferimento e di accumulo cui sono soggetti i volumi di piena durante il verificarsi degli eventi. In particolare, il modello di moto vario risolve, in forma numerica, le equazioni di continuità e del moto per una corrente liquida in condizioni non stazionarie che risultano, rispettivamente:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q(x) = 0$$

$$\frac{\partial H}{\partial x} = -\frac{1}{g} \frac{\partial U}{\partial t} - J$$

in cui:

A = area della sezione liquida [m^2]

Q = portata [m^3/s]

$q(x)$ = portata laterale (positiva se entrante) [m^2/s]

H = carico totale della corrente [m]

g = accelerazione di gravità [m/s^2]

U = velocità media della corrente [m/s]

J = perdite di carico effettivo per unità di lunghezza

x = ascissa corrente lungo l'alveo [m]

t = tempo [s]

Assumendo la gradualità spazio-temporale del fenomeno, la perdita di carico effettivo può essere stimata con un'equazione analoga a quella adottata per il moto uniforme:

$$J = \frac{U|U|}{gC^2R}$$

ove, oltre ai simboli già noti, R è il raggio idraulico e C il coefficiente di resistenza esprimibile nella forma:

$$C = \frac{KsR^{\frac{1}{6}}}{\sqrt{g}}$$

ove Ks [$m^{\frac{1}{3}}s^{-1}$] è il coefficiente dimensionale di Gauckler-Strickler.

Per includere nel modello gli effetti dissipativi indotti da variazioni di sezione, quali allargamenti o restringimenti, si valutano le perdite di carico effettivo addizionali, ΔH , mediante la formula:

$$\Delta H = \frac{Q^2}{2g} \xi \Delta(\alpha / A^2)$$

ove α è il coefficiente di ragguglio della energia cinetica e ξ può assumere valori compresi tra 0.1 e 0.8 maggiori nel caso di allargamento della sezione e minori nel caso di restringimento.

Per la risoluzione del sistema di equazioni è necessario conoscere le condizioni al contorno di ciascun tratto sia a monte che a valle.

La condizione di valle può essere costituita da un idrogramma di livelli idrometrici, oppure da un legame funzionale tra portata e livelli, ovvero una scala di deflusso.

A monte invece è necessario imporre una condizione sulla portata in ingresso attraverso un idrogramma di piena che è ricavato sulla base dell'analisi idrologica già descritta al paragrafo precedente.

Dal punto di vista strettamente numerico l'associazione allo schema di moto vario di una rappresentazione a celle di accumulo, comporta lo studio di fenomeni non stazionari attraverso la sola legge di invaso:

$$A_{ck} \frac{\partial h_k}{\partial t} = \sum_i Q_{ki}(h_k, h_i)$$

Ove A_{ck} e h_k rappresentano rispettivamente l'area e il livello idrico della cella k-esima, h_i il livello idrico nella generica cella i-esima circostante, e Q_{ki} la portata scambiata con detta cella.

In questa trattazione la determinazione delle curve d'invaso delle aree adiacenti a ciascun corso d'acqua risulta di fondamentale importanza per la corretta simulazione dell'inondazione. A partire dai perimetri delle aree di potenziale esondazione, è stato quindi costruito un modello digitale del terreno (DTM), e successivamente calcolate le curve d'invaso.

4 Verifica Torrente Orme

Il Torrente Orme, è stato verificato per un tratto di lunghezza pari a circa 1.2 Km, nell'intorno dell'area oggetto di Variante.

Obiettivo del presente studio è la perimetrazione delle aree a pericolosità idraulica come richiesto dal Regolamento in materia di indagini geologiche, partendo dall'individuazione delle aree allagate per eventi meteorici caratterizzati da tempi di ritorno pari a 20, 30, 100, 200 e 500 anni.

4.1 IDROGRAMMI DI PIENA

Lo studio idrologico sul Torrente Orme è finalizzato alla determinazione degli input in ingresso al modello idraulico.

La Regionalizzazione delle portate di piena evidenzia per il Torrente Orme alla sezione di chiusura della modellistica idraulica implementata, in corrispondenza della sezione di valle rilevata, i seguenti parametri per implementare il modello idrologico riportati nella tabella sottostante (ALTO 2000).

	Sezione Valle
<i>la</i>	7.715
<i>Ks</i>	0.259
<i>N</i>	1.929
<i>K</i>	1.303
<i>Area</i>	43.280

Tabella 4-1: Parametri del modello idrologico Torrente Orme

L'idrogramma di piena è stato dunque calcolato con il modello di Nash considerando un evento di pioggia uniformemente distribuito su tutto il bacino, di durata tale da massimizzare il colmo dell'onda di piena ($dc \cong tc$).

Nella figura seguente sono riportati gli idrogrammi di piena alla sezione di chiusura per eventi con tempo di ritorno pari a 20, 30, 200, 500 anni.

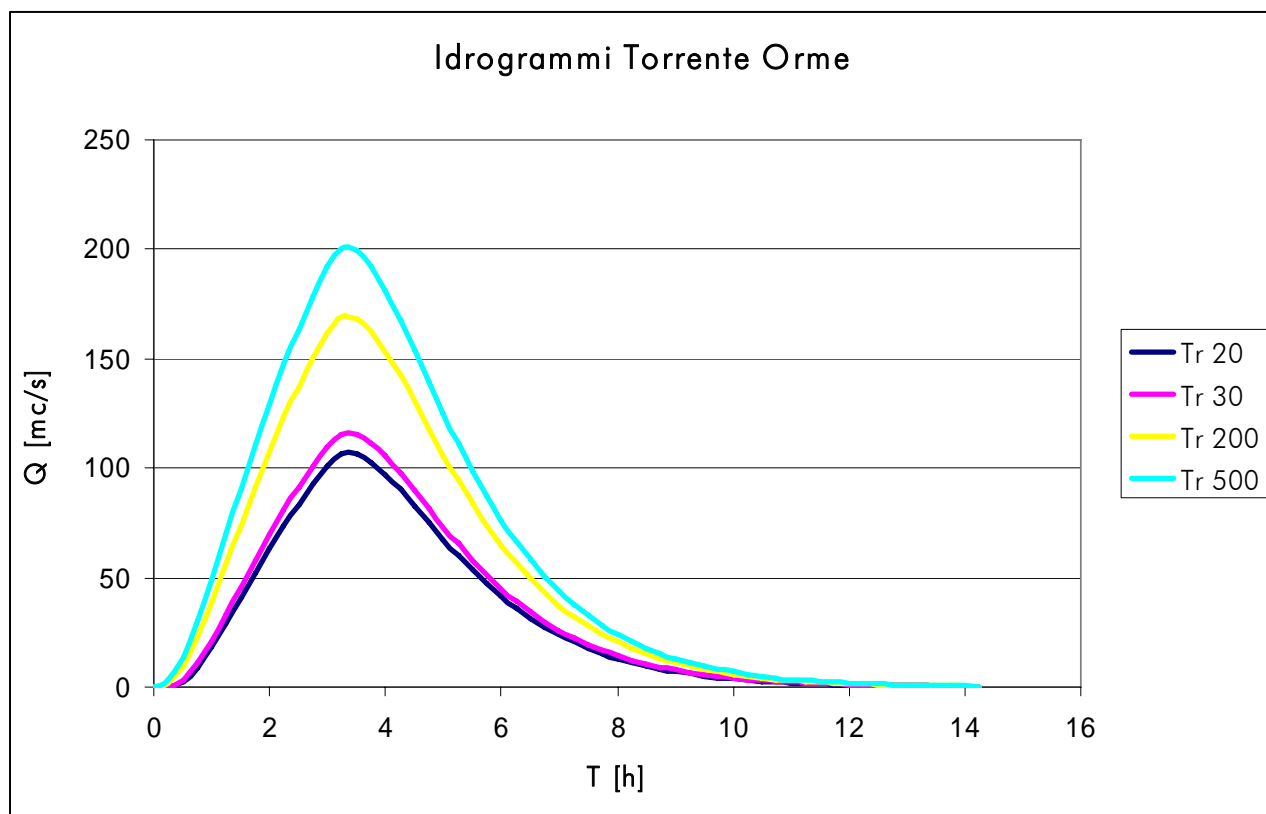


Figura 4-1: Idrogrammi di piena in ingresso al modello idraulico Torrente Orme

	Tr 20 Anni [mc/s]	Tr 30 Anni [mc/s]	Tr 200 Anni [mc/s]	Tr 500 Anni [mc/s]
Torrente Orme	106.33	115.57	169.28	200.26

Tabella 4-2: Picco di portata degli idrogrammi con Tr 20, 30, 200 e 500 anni per il Torrente Orme

4.2 SIMULAZIONI IDRAULICHE

La scabrezza utilizzata nel modello è pari a $0.033 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ di Manning, compatibile con la situazione rilevata durante i sopralluoghi effettuati.

Come condizione di valle, per tutte le simulazioni con tutti i tempi di ritorno, è stata utilizzata la pendenza dell'energia che in prima approssimazione può essere assunta pari alla pendenza del corso d'acqua.

Si è proceduto quindi alle simulazioni idrauliche del corso d'acqua utilizzando una modellazione di moto vario. I dati in ingresso di rilievo sono stati desunti dalla CTR 1:2000 e dal rilievo di dettaglio.

La modellistica idraulica implementata è riportata in Tavola 2, in cui sono evidenziate le sezioni di rilievo e le aree di potenziale esondazione con i codici attribuitigli.

Sulla base dei risultati ottenuti dalle simulazioni idrauliche si è proceduto alla perimetrazione delle aree soggette ad inondazione, per eventi con Tr 20, 30, 200 e 500 anni, e da queste determinate le pericolosità idrauliche come richiesto dal D.P.G.R. 26/R.

Nelle tabelle seguenti, ed in Tavola 3, si riportano i livelli idrometrici raggiunti nelle sezioni fluviali di rilievo, e livelli e volumi di esondazione nelle aree individuate nella modellistica idraulica, per eventi con diversi tempi di ritorno.

In tavola 4 si riportano le aree allagate per diversi tempi di ritorno e le pericolosità idrauliche derivanti dalla modellazione effettuata sul Torrente Orme.

4.2.1 Simulazioni Tr 20 Anni

TR 20 anni						
Codice Sezione	RS	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Vel Chnl	Froude
		[mc/s]	[m]	[m]	[m/s]	
00471 08	17	106.33	36.07	38.64	2.81	0.81
00450PB08	16	106.34	35.02	37.56	2.80	0.67
00450PC08	15	106.34	35.02	37.48	2.89	0.70
00448BB08	14	106.33	35.57	37.61	2.07	0.51
00448BC08	13	106.34	34.71	37.47	1.85	0.42
00436PB08	12	106.33	34.27	37.34	1.57	0.39
00436PC08	11	106.33	34.27	37.32	1.59	0.40
00436PD08	10	106.33	34.13	37.10	2.57	0.65
00418 08	9	106.33	33.84	36.55	2.23	0.61
00409 08	8	106.32	33.62	36.21	2.33	0.63
00390 08	7	106.32	32.72	35.44	2.51	0.62
00369PA08	6	106.32	32.24	34.05	3.23	0.90
00369PB08	5	106.32	32.04	34.16	3.04	0.79
00369PC08	4	106.32	32.04	34.01	2.93	0.77
00368BB08	3	106.32	32.30	33.99	2.98	0.79
00368BC08	2	106.32	31.67	34.15	2.27	0.53
00355 08	1	106.32	31.13	33.59	2.68	0.71

Tabella 4-3: Livelli e grandezze idrauliche TR 20 anni

TR 20 anni			
Storage Area	W.S. Elev	SA Min El	SA Volume
	[m]	[m]	[1000 m3]
Sx 1	35.1	35.1	0
Sx 2	33.4	33.4	0
Sx 3	34.1	34.1	0
Sx 4	31.9	31.9	0

Tabella 4-4: Livelli e volumi nelle Aree di Potenziale Esondazione Tr 20 anni

Le grandezze indicate nelle due tabelle indicano rispettivamente:

Codice Sezione: Codice della sezione riportato sul modello idraulico

RS: River Section, codice della sezione su Hec ras

Q Total: Valore di portata [mc/s]

Min Ch El: Quota del fondo alveo [m s.l.m.]

W.S. Elev: Livello raggiunto nella sezione [m s.l.m.]

Vel Chnl: Velocità della corrente [m/s]

Froude: Numero di Froude [#]

Codice Ape: Codice dell'area di potenziale esondazioni riportato sul modello idraulico

SA Min El: Quota minima nell'Ape [m s.l.m.]

W.S. Elev: Livello raggiunto nell'Ape [m s.l.m.]

SA Volume: Volume invasato nell'Ape [x1000 mc]

4.2.2 Simulazioni Tr 30 Anni

TR 30 anni						
Codice Sezione	RS	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Vel Chnl	Froude
		[mc/s]	[m]	[m]	[m/s]	
00471_08	17	115.56	36.07	38.72	2.86	0.81
00450PB08	16	115.56	35.02	37.65	2.90	0.67
00450PC08	15	115.56	35.02	37.56	3.00	0.71
00448BB08	14	115.55	35.57	37.71	2.13	0.52
00448BC08	13	115.56	34.71	37.57	1.91	0.43
00436PB08	12	115.55	34.27	37.44	1.61	0.39
00436PC08	11	115.55	34.27	37.42	1.63	0.40
00436PD08	10	115.55	34.13	37.19	2.64	0.66
00418_08	9	115.55	33.84	36.64	2.27	0.61
00409_08	8	115.55	33.62	36.30	2.38	0.62
00390_08	7	115.55	32.72	35.52	2.60	0.63
00369PA08	6	115.55	32.24	34.13	3.31	0.90
00369PB08	5	115.55	32.04	34.22	3.14	0.80
00369PC08	4	115.55	32.04	34.09	3.02	0.77
00368BB08	3	115.55	32.30	34.07	3.06	0.79
00368BC08	2	115.55	31.67	34.24	2.36	0.54
00355_08	1	115.55	31.13	33.67	2.76	0.72

Tabella 4-5: Livelli e grandezze idrauliche TR 30 anni

TR 30 anni			
Storage Area	W.S. Elev	SA Min El	SA Volume
	[m]	[m]	[1000 m3]
Sx 1	35.1	35.1	0
Sx 2	33.4	33.4	0
Sx 3	34.1	34.1	0
Sx 4	31.9	31.9	0

Tabella 4-6: Livelli e volumi nelle Aree di Potenziale Esondazioni Tr 30 anni

Le grandezze indicate nelle due tabelle indicano rispettivamente:

Codice Sezione: Codice della sezione riportato sul modello idraulico

RS: River Section, codice della sezione su Hec ras

Q Total: Valore di portata [mc/s]

Min Ch El: Quota del fondo alveo [m s.l.m.]

W.S. Elev: Livello raggiunto nella sezione [m s.l.m.]

Vel Chnl: Velocità della corrente [m/s]

Froude: Numero di Froude [#]

Codice Ape: Codice dell'area di potenziale esondazioni riportato sul modello idraulico

SA Min El: Quota minima nell'Ape [m s.l.m.]

W.S. Elev: Livello raggiunto nell'Ape [m s.l.m.]

SA Volume: Volume invasato nell'Ape [x1000 mc]

4.2.3 Simulazioni Tr 200 Anni

TR 200 anni						
Codice Sezione	RS	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Vel Chnl	Froude
		[mc/s]	[m]	[m]	[m/s]	
00471_08	17	169.19	36.07	39.23	2.91	0.74
00450PB08	16	169.13	35.02	38.07	3.46	0.73
00450PC08	15	169.11	35.02	37.91	3.67	0.79
00448BB08	14	169.12	35.57	38.18	2.39	0.57
00448BC08	13	169.12	34.71	38.04	2.23	0.49
00436PB08	12	169.11	34.27	37.91	1.84	0.40
00436PC08	11	169.11	34.27	37.89	1.86	0.41
00436PD08	10	169.10	34.13	37.58	3.10	0.72
00418_08	9	168.61	33.84	37.08	2.47	0.61
00409_08	8	166.82	33.62	36.77	2.60	0.60
00390_08	7	166.82	32.72	35.91	3.06	0.68
00369PA08	6	166.81	32.24	34.55	3.64	0.88
00369PB08	5	166.81	32.04	34.51	3.64	0.83
00369PC08	4	166.81	32.04	34.28	3.46	0.79
00368BB08	3	166.81	32.30	34.50	3.41	0.81
00368BC08	2	166.81	31.67	34.68	2.74	0.59
00355_08	1	166.81	31.13	34.07	3.13	0.74

Tabella 4-7: Livelli e grandezze idrauliche TR 200 anni

TR 200 anni			
Storage Area	W.S. Elev	SA Min El	SA Volume
	[m]	[m]	[1000 m3]
Sx 1	35.36	35.1	0.95
Sx 2	34.41	33.4	5.37
Sx 3	34.1	34.1	0
Sx 4	32.27	31.9	0.69

Tabella 4-8: Livelli e volumi nelle Aree di Potenziale Esondazioni Tr 200 anni

Le grandezze indicate nelle due tabelle indicano rispettivamente:

Codice Sezione: Codice della sezione riportato sul modello idraulico

RS: River Section, codice della sezione su Hec ras

Q Total: Valore di portata [mc/s]

Min Ch El: Quota del fondo alveo [m s.l.m.]

W.S. Elev: Livello raggiunto nella sezione [m s.l.m.]

Vel Chnl: Velocità della corrente [m/s]

Froude: Numero di Froude [#]

Codice Ape: Codice dell'area di potenziale esondazioni riportato sul modello idraulico

SA Min El: Quota minima nell'Ape [m s.l.m.]

W.S. Elev: Livello raggiunto nell'Ape [m s.l.m.]

SA Volume: Volume invasato nell'Ape [x1000 mc]

4.2.4 Simulazioni Tr 500 Anni

TR 500 anni						
Codice Sezione	RS	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Vel Chnl	Froude
		[mc/s]	[m]	[m]	[m/s]	
00471_08	17	200.12	36.07	39.51	2.86	0.67
00450PB08	16	200.12	35.02	38.24	3.79	0.76
00450PC08	15	200.10	35.02	38.02	4.12	0.87
00448BB08	14	189.95	35.57	38.32	2.48	0.59
00448BC08	13	200.10	34.71	38.24	2.39	0.53
00436PB08	12	200.04	34.27	38.09	2.00	0.43
00436PC08	11	200.04	34.27	38.07	2.03	0.43
00436PD08	10	192.72	34.13	37.70	3.33	0.75
00418_08	9	189.30	33.84	37.22	2.56	0.61
00409_08	8	190.82	33.62	36.99	2.41	0.54
00390_08	7	190.07	32.72	36.07	3.22	0.70
00369PA08	6	190.06	32.24	34.72	3.76	0.88
00369PB08	5	190.06	32.04	34.68	3.86	0.85
00369PC08	4	190.06	32.04	34.44	3.66	0.81
00368BB08	3	190.06	32.30	34.68	3.54	0.81
00368BC08	2	190.06	31.67	34.85	2.89	0.61
00355_08	1	190.06	31.13	34.24	3.27	0.74

Tabella 4-9: Livelli e grandezze idrauliche TR 500 anni

TR 500 anni			
Storage Area	W.S. Elev	SA Min El	SA Volume
	[m]	[m]	[1000 m3]
Sx 1	35.51	35.1	2.23
Sx 2	34.51	33.4	6.46
Sx 3	34.1	34.1	0
Sx 4	33.4	31.9	36.76

Tabella 4-10: Livelli e volumi nelle Aree di Potenziale Esondazioni Tr 200 anni

Le grandezze indicate nelle due tabelle indicano rispettivamente:

Codice Sezione: Codice della sezione riportato sul modello idraulico

RS: River Section, codice della sezione su Hec ras

Q Total: Valore di portata [mc/s]

Min Ch El: Quota del fondo alveo [m s.l.m.]

W.S. Elev: Livello raggiunto nella sezione [m s.l.m.]

Vel Chnl: Velocità della corrente [m/s]

Froude: Numero di Froude [#]

Codice Ape: Codice dell'area di potenziale esondazioni riportato sul modello idraulico

SA Min El: Quota minima nell'Ape [m s.l.m.]

W.S. Elev: Livello raggiunto nell'Ape [m s.l.m.]

SA Volume: Volume invasato nell'Ape [x1000 mc]

5 Analisi dei risultati

Dall'analisi dei livelli raggiunti nelle sezioni e nelle aree di potenziale esondazione, attraverso anche la rappresentazione DTM (Digital Terrain Model) del terreno, è quindi possibile procedere alle perimetrazioni delle aree allagate.

Dalla modellistica idraulica emerge come il Torrente Orme, nel tratto di interesse, sia generalmente in grado di smaltire eventi con Tr 200 anni, e come i manufatti presenti (Ponti) siano adeguatamente dimensionati. Si verificano esclusivamente delle esondazioni in sinistra idraulica in corrispondenza della sezione 00418__08, che vanno ad interessare pertanto le zone adiacenti al corso d'acqua.

La Nuova strada di Val d'Orme è tale comunque da formare, date le sue quote, una barriera idraulica all'allagamento della zona interessata da proposta di variante al Regolamento urbanistico.

In Tavola 4 sono riportate le perimetrazioni delle aree allagate per diversi tempi di ritorno e le pericolosità idrauliche ai sensi del DPGR 26/R. Tali perimetrazioni sono fatte esclusivamente in sinistra idraulica e limitatamente alla zona di interesse, e come già specificato in precedenza nell'ipotesi di non fallibilità delle strutture arginali, e senza considerare eventuale materiale flottante che potrebbe ostruire la sezione libera al deflusso delle acque.

In tali ipotesi si può verificare come la zona interessata da proposta di Variante al Regolamento Urbanistico per la realizzazione della strada di collegamento tra la nuova e la vecchia Via di Val d'Orme non sia interessata da fenomeni esondativi, e pertanto non abbia limitazioni di fattibilità dal punto di vista idraulico.

6 Conclusioni

Il presente studio idrologico idraulico sul Torrente Orme è stato redatto a supporto della proposta di variante al Regolamento Urbanistico del Comune di Empoli per la realizzazione della strada di collegamento tra la Via Nuova e la Via Vecchia di Val d'Orme.

Lo studio è stato redatto ai sensi del DPGR 26/R del 27 aprile 2007, "Regolamento di attuazione dell'articolo 62 della legge regionale 3 gennaio 2005, n. 1 (Norme per il governo del territorio) in materia di indagini geologiche.

In particolare per l'area interessata dalla nuova viabilità, emerge da un punto di vista idraulico che:

1. Non risulta perimetrata nella carta delle aree allagate, degli interventi strutturali e delle aree di pertinenza fluviale ai sensi del Piano Stralcio Rischio Idraulico dell'Autorità di Bacino del Fiume Arno approvato con DPCM 05/11/1999.
2. Risulta perimetrata in area P.I. 1 del Piano Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino del Fiume Arno, e pertanto non soggetta a limitazioni di carattere idraulico.
3. Risulta in Ambito B del Torrente Orme ai sensi dell'art. 30 salvaguardie idrauliche del Regolamento Urbanistico.
4. Risulta in classe di pericolosità 3 ai sensi dell'art. 31 Pericolosità idrauliche del Regolamento Urbanistico, ed in queste aree, fatto salvo l'obbligo del recepimento delle indicazioni contenute nel Regolamento edilizio, i progetti dovranno essere corredati da una relazione idraulica specifica a firma di un tecnico abilitato che evidenzi le condizioni di rischio specifico rilevabili al momento della progettazione e che metta in evidenza le correlazioni tra il rischio idraulico dell'area come ricostruito dagli studi disponibili presso l'Amministrazione e le condizioni idrauliche specifiche del singolo intervento o del gruppo di interventi proposti.
5. Risulta in Zona B ai sensi dell'art. 32 Fattibilità idraulica del Regolamento Urbanistico per le quali valgono le salvaguardie della DCR 12/00.
6. Non risulta soggetta ad allagamenti in base alla modellistica analitica implementata e pertanto non soggetta a pericolosità idraulica ai sensi del DPGR 26/R del 27 aprile 2007

Per quanto sopra esposto si ritiene pertanto che la proposta di variante al Regolamento Urbanistico del Comune di Empoli per la realizzazione della strada di collegamento tra la Via Nuova e la Via Vecchia di Val d'Orme, non abbia limitazioni di fattibilità da un punto di vista idraulico.